



**BİYOMİMETİK YAKLAŞIMLAR BAĞLAMINDA GÜNÜMÜZDE YAPI
MALZEMESİ KULLANIM ÖLÇÜTLERİ**

Sıla YILDIRIM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2020

Sıla YILDIRIM tarafından hazırlanan “BİYOMİMETİK YAKLAŞIMLAR BAĞLAMINDA GÜNÜMÜZDE YAPI MALZEMESİ KULLANIM ÖLÇÜTLERİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi MİMARLIK Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Figen BEYHAN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylamıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Gediz URAK

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 28/07/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Cevriye GENCER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sıla YILDIRIM
28/07/2020

BİYOMİMETİK YAKLAŞIMLAR BAĞLAMINDA GÜNÜMÜZDE YAPI MALZEMESİ KULLANIM ÖLÇÜTLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Sıla YILDIRIM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2020

ÖZET

Çevresel sorunlar, ekonomik ve sosyal gereklilikler günümüzde mühendislik ve yapı tasarımı alanlarını etkilemekte, yapı malzemelerinden mekanik dayanım, termofiziksel ve optik özelliklerden daha fazlasının talep edilmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda çok işlevli, fiziksel ve kimyasal dayanımı yüksek, uyaranlara duyarlı malzeme özelliklerine sahip olmak, birçok uygulama için önemli bir konu haline gelmiştir. Bu gereksinimleri yerine getirmek için yenilikçi çözüm yolları araştırılmaktadır. Bu yenilikçi yaklaşımlardan biri, insan ve yapılı çevre sorunlarına çözüm üretmek için doğadan ilham alan biyomimetik tasarım yaklaşımıdır. Yapı malzemeleri için sürekli artan gereksinimlerin çoğu, doğanın malzemeleri tarafından karşılanabilmektedir ve doğa farklı fonksiyonlara sahip, gelişmiş performans gösteren yeni yapı malzemeleri için yararlanılabilecek potansiyeller sunmaktadır. Bu kapsamda çalışmanın temel amacı, biyomimetik tasarım yaklaşımının; yapı malzemesinin tasarım ve üretim süreçlerinde izlenmesiyle, biyomimetik yapı malzemelerinin, yapı malzemesi kullanım ölçütleri kapsamında çevresel girdi çıktılarından, bina ömrüne, tasarıma sağladığı esneklikten, kullanıcı konforuna kadar yaptığı etkileri ve yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri için biyomimetik yaklaşımların çözüm olma potansiyellerini araştırmaktır. Bu amaçla; biyomimetik yapı malzemeleri için ele alınan problemler ve fırsatlar ana hatlarıyla ortaya konulmaya ve açıklanmaya çalışılmıştır. Uygulanmış ve kavramsal düzeyde kalmış olan biyomimetik yapı malzemesi örnekleri; malzemelerden beklenen temel ve yenilikçi özellikler ve yaygın kullanılan yapı malzemelerinde görülen olumsuzluklar kapsamında irdelenmiş ve tartışılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan malzemelere göre biyomimetik malzemelerin spesifik durumlara daha fazla cevap verebildiği görülmüş ve biyomimetik tasarım yaklaşımının yapı malzemelerinin teknik performanslarını arttırdığı, enerji ve kaynak verimliliği sağladığı, kullanıcı konforuna ve binaların çevresel etkilerini azaltmada katkı sunduğu, uygulanabilecek potansiyeller barındırdığı sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu : 80114

Anahtar Kelimeler : Biomimetik, Yapı malzemeleri, Biyomimetik yapı malzemeleri

Sayfa Adedi : 193

Danışman : Prof. Dr. Figen BEYHAN

BUILDING MATERIAL USAGE CRITERIA IN THE CONTEXT OF BIOMIMETIC APPROACHES

(M. Sc. Thesis)

Sıla YILDIRIM

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2020

ABSTRACT

Environmental problems, economic and social requirements affect the fields of engineering and building design today, causing demands for more than mechanical strength, thermophysical and optical properties from building materials. In this regard, it has become an important issue for many applications to have multi-functional, high physical and chemical resistance, stimulus-sensitive material properties. Nowadays, researches are performed for innovative solutions to fulfill these requirements. One of them is the nature-inspired biomimetic design approach. Many of the ever-increasing requirements for building materials can be met by natural materials, and nature offers the potential to be exploited for new materials with different functions and improved performance. The main aim of the study is to monitor the biomimetic design approach in the design and production processes of building materials, the effects of biomimetic building materials from environmental outputs to material usage criteria, from the flexibility to comfort, and to explore their potential of the solution of biomimetic approaches for common materials. For this purpose, the problems and opportunities addressed for biomimetic building materials are explained. Examples of applied biomimetic building materials, remained at the conceptual level, were discussed in basic and innovative properties expected from materials and the negativities seen in common materials. In conclusion, it has been seen that biomimetic materials can respond more to specific situations than widely used materials, and it has been concluded that the biomimetic design approach increases the technical performance of building materials, provides energy and resource efficiency, contributes to comfort and reducing the environmental impact of buildings.

Science Code : 80114

Key Words : Biomimetic, Architectural materials, Biomimetic building materials

Page Number : 193

Supervisor : Prof. Dr. Figen BEYHAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince benden anlayışını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Figen BEYHAN'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Tez savunma jürimde bulunan ve tez çalışmama katkı sağlayan değerli jüri başkanı Sn. Prof. Dr. Zehra Gediz URAK'a ve değerli jüri üyesi Sn. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Beni bu günlere sabır ve büyük emeklerle getiren, hayatım boyunca varlıkları ile bana güç veren ve desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen canım annem ve babam Serpil ve Adnan YILDIRIM'a, kardeşlerim Eda ve Eylül YILDIRIM'a ve bu süreçte bana destek olan tüm dostlarıma ve yakınlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	5
2.1. Doğa Esinli Fikirler ve Biyomimikri Kavramı	5
2.2. Biyomimetik Tasarım Yaklaşımları ve Biyomimikri Düzeyleri.....	9
2.3. Biyomimikri ve Mimarlık	20
2.3.1. Mimarlık tarihinde doğa ile etkileşim.....	20
2.3.2. Mimarlık ve biyomimetik tasarım ilişkisi	25
2.3.2. Mimarlıkta biyomimetik tasarım örnekleri	28
2.4. Günümüz Yapı Malzemelerinin Kullanım Ölçütlerinin Belirlenmesi	32
2.4.1. Geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri ve özellikleri	32
2.4.2. Günümüz yapı malzemelerinin kullanım ölçütleri.....	52
3. MATERYAL VE METOT	61
4. BİYOMİMETİK YAPI MALZEMELERİ VE GÜNÜMÜZ YAPI MALZEMELERİNE ETKİLERİ.....	63
4.1. Biyomimetik Malzemelerin Tanımı ve Gelişimi	63

Sayfa

4.3. Biyomimetik Yapı Malzemelerinin Sınıflandırılması.....	67
4.4. Biyomimetik Yapı Malzemeleri.....	70
4.4.1. Kendi kendini temizleyen biyomimetik malzemeler	70
4.4.2. Sis ve buğu önleyici biyomimetik malzemeler	94
4.4.3. Buzlanma önleyici biyomimetik malzemeler.....	100
4.4.4. Su ve sis toplayan biyomimetik malzemeler.....	107
4.4.5. Pasif iklimlendirme sağlayan biyomimetik malzemeler	127
4.4.6. Kendi kendini onaran biyomimetik malzemeler	136
4.5. Biyomimetik Yapı Malzemelerinin Kullanım Ölçütlerinin Belirlenmesi.....	154
5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	157
KAYNAKLAR	173
ÖZGEÇMİŞ	193

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Geçmişten günümüze biyomimetik çalışmalar.....	9
Çizelge 2.2. Biyomimikri uygulaması için bir çerçeve.....	16
Çizelge 2.3. İncelenen örneklerin biyomimetik özellikleri.....	31
Çizelge 2.4. Değişik kaynaklardaki yapı malzemesi kullanım ölçüt ve kriterlerinin farklı sınıflandırılmalarının özeti	54
Çizelge 2.5. Günümüz yapı malzemelerinin kullanım ölçütleri	57
Çizelge 4.1. Doğada bulunan biyolojik materyaller ve seçilen özellikleri	68
Çizelge 4.2. Biyomimetik yapı malzemelerine ilham olabilecek doğadaki malzeme işlevleri, bu işlevi sağlayan organizma ve özellikleri	69
Çizelge 4.3. Biyolojik unsurlardan esinlenen biyomimetik kendi kendini temizleyen yüzeylere genel bakış.....	71
Çizelge 4.4. Lotus etkili boyalar - biyomimetik malzeme örneği.....	76
Çizelge 4.5. Lotus etkili kaplamalar - biyomimetik malzeme örneği.....	79
Çizelge 4.6. X-Terior kaplama – biyomimetik malzeme örneği	83
Çizelge 4.7. StoColor Dryonic boya - biyomimetik malzeme örneği.....	86
Çizelge 4.8. SLIPS - biyomimetik malzeme örneği	90
Çizelge 4.9. Fotokatalitik kaplama - biyomimetik malzeme örneği	93
Çizelge 4.10. Sivrisinek gözü ilhamlı kaplama - biyomimetik malzeme örneği	97
Çizelge 4.11. Güve gözü ilhamlı cam filmi - biyomimetik malzeme örneği.....	98
Çizelge 4.12. Sinek gözü ilhamlı kaplama - biyomimetik malzeme örneği	100
Çizelge 4.13. Özel ıslanabilirlik ve anti-buz teknolojisi ile ilgili yayınlanan makalelerin yıllık yüzdesi (2006-2015 arası)	100
Çizelge 4.14. Buzlanma önleyen SHS - biyomimetik malzeme örneği.....	102
Çizelge 4.15. Buzlanma önleyen SLIPS - biyomimetik malzeme örneği.....	105
Çizelge 4.16. Buzlanma önleyen antifrizli kaplama - biyomimetik malzeme örneği.....	106

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.17. Çöl böceği ilhamlı su toplayan mesh - biyomimetik malzeme örneği	112
Çizelge 4.18. Örümcek ağı ilhamlı su toplayan malzeme-biyomimetik malzeme örneği.....	116
Çizelge 4.19. Aquaweb - biyomimetik malzeme örneği.....	118
Çizelge 4.20. SRS - biyomimetik malzeme örneği.....	121
Çizelge 4.21. Biyomimetik su toplama ağları - biyomimetik malzeme örneği	124
Çizelge 4.22. Biyomimetik su toplama ağları - biyomimetik malzeme örneği	126
Çizelge 4.23. Adaptif mimari sistemlere dahil edilen higromorfik malzemeler: sürdürülebilirlik hedefine yönelik yaraları	129
Çizelge 4.24. Higromorfik biyomimetik malzemeler - biyomimetik malzeme örneği.....	131
Çizelge 4.25. Termo bimetel malzemeler - biyomimetik malzeme örneği.....	133
Çizelge 4.26. Stoma tuğlası - biyomimetik malzeme örneği	135
Çizelge 4.27. Kendi kendini onaran beton - biyomimetik malzeme örneği	143
Çizelge 4.28. Biomason tuğla - biyomimetik malzeme örneği.....	145
Çizelge 4.29. Kendi kendine tamamlanan beton - biyomimetik malzeme örneği	148
Çizelge 4.30. Kendi kendini onaran kompozitler - biyomimetik malzeme örneği.....	149
Çizelge 4.31. Biyomimetik malzemeler ve kazanılan yapı malzemesi özellikleri	151
Çizelge 4.31. (devam) Biyomimetik malzemeler ve kazanılan yapı malzemesi özellikleri	152
Çizelge 4.31. (devam) Biyomimetik malzemeler ve kazanılan yapı malzemesi özellikleri	153
Çizelge 4.32. Yapı malzemesi kullanımındaki ana parametreler ve biyomimetik yapı malzemelerinin kullanım ölçütleri	155
Çizelge 5.1. Biyomimetik yapı malzemesi örnekleri ve biyomimetik tasarım unsurları karşılaştırma tablosu	158
Çizelge 5.2. Geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinde görülen olumsuz özelliklerin biyomimetik yapı malzemeleri ile çözülmesi bu özelliklerden yararlanılması, yeni işlevler eklenmesi.....	160

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.2. (devam) Geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinde görülen olumsuz özelliklerin biyomimetik yapı malzemeleri ile çözülmesi, bu özelliklerden yararlanılması, yeni işlevler eklenmesi	161
Çizelge 5.2. (devam) Geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinde görülen olumsuz özelliklerin biyomimetik yapı malzemeleri ile çözülmesi, bu özelliklerden yararlanılması, yeni işlevler eklenmesi	162
Çizelge 5.2. (devam) Geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinde görülen olumsuz özelliklerin biyomimetik yapı malzemeleri ile çözülmesi, bu özelliklerden yararlanılması, yeni işlevler eklenmesi	163
Çizelge 5.3. Biyomimetik yaklaşımların malzemeye kazandırdığı özel performanslar bakımından incelenen 24 adet örneğin karşılaştırılması.....	165
Çizelge 5.4. Biyomimetik yaklaşımların malzemelerinin, günümüz yapı malzemesi kullanım ölçütleri bakımından karşılaştırılması	168
Çizelge 5.4. (devam) Biyomimetik yaklaşımların malzemelerinin, günümüz yapı malzemesi kullanım ölçütleri bakımından karşılaştırılması	169

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Aşağıdan yukarı tasarım yaklaşımında adımlar.....	11
Şekil 2.2. Kendi kendini temizleyen boya Lotusan'ın aşağıdan yukarıya yaklaşımı	12
Şekil 2.3. Yukarıdan aşağıya tasarım yaklaşımında adımlar	14
Şekil 2.4. Yukarıdan aşağıya süreçte biyolojik şablonlardan biyomimetik ürüne ilerleme: Flectofin.....	14
Şekil 2.5. Biyomimikri düzeyleri.....	15
Şekil 2.6. Gotik mimarinin taşıyıcılarını insan iskeleti ile karşılaştıran bir diyagram	21
Şekil 4.1. Biyomimetik malzeme biliminin kapsamı ve diğer disiplinlerle ilişkisi	65
Şekil 4.2. Geleneksel cephe kaplamaları ve lotusan uygulanmış cephe karşılaştırması....	75
Şekil 4.3. a) Mikroskop altında görüntülenen geleneksel cam ve b) süperhidrofobik kaplamalı cam.....	77
Şekil 4.4. Microguard teknolojisi ile üretilen film tabakalarını çalışma prensibi.....	81
Şekil 4.5. Gözenekli katı yüzeyin kayganlaştırıcı sıvı ile kaplanması ile SLIPS üretimi	87
Şekil 4.6. Lazer ile polimerlerin laygan sıvı ile doldurulmuş gözenekli yüzeylere (SLIPS) dönüşmesi	88
Şekil 4.7. a) Fotokatalitik aşama ve b) süperhidrofilik aşama	91
Şekil 4.8. Kaplamasız geleneksel seramik (solda) ve TiO ₂ 'li süperhidrofilik seramiğin (sağda) lekelenme durumları	92
Şekil 4.9. Geleneksel buzlanma önleme yöntemlerinden süperhidrofobik anti buzlanma ve daha gelişmiş malzemelere kadar evrim süreci.....	101
Şekil 4.10. Kurbağa derisinin iki tabakalı işlevselliği ve antifriz dolgulu süperhidrofobik gözenekleri olan biyomimetik kaplama	105
Şekil 4.11. AquaWeb'in çalışma stratejisi	117
Şekil 4.12. Hidrofilik yönlü SRS nin yüzey yapısı görünümü ve ilham alınan yüzeyler	119

Şekil	Sayfa
Şekil 4.13. Böcek-çayır-kaktüsten esinlenen biyomimetik yüzeyler ve biyomimetik ağ tasarımı	122
Şekil 4.14. Kaktüslerden ve çöl çayırılarından ilham alan mikro oluklar içeren ağların fikir şeması	123
Şekil 4.15. Su toplama ağlarının karşılaştırılması	123
Şekil 4.16. Malzemenin tasarımında ilham alınan canlılar ve özellikleri.....	125
Şekil 4.17. Vasküler tabanlı kendi kendini iyileştirme yaklaşımları; a) Tek kanallı, b) çok kanallı damar sistemi.....	139
Şekil 4.18. a) Mikrokapsülün ve b) kimyasal ajanın çatlağa yayılma mekanizmasının şeması c) Polimer esaslı bir kompozitte kırılmış bir mikrokapsül	139
Şekil 4.19. Betonda su temini ile geliştirilmiş hidrasyon ve kristalizasyon: otojen kendi kendine onarım	140
Şekil 4.20. Kendi kendini tamir eden betonda kullanılan bakteriler.....	141
Şekil 4.21. Betondaki bakterinin suyla teması ve kireçtaşı oluşturarak çatlak onarma senaryosu	141
Şekil 4.22. Kendi kendini onaran kompozitinin hasar karşısındaki davranış döngüsü	149

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Leonardo Da Vinci'nin ornithopter tasarım eskizleri	6
Resim 2.2. Lotustan ilham alan boya Lotusan	10
Resim 2.3. Kutu balığı ve ağaç büyüme paternlerinden esinlenen biyonik araba	13
Resim 2.4. Geko ayağı ve gekoskin kumaşlar	17
Resim 2.5. Sarmaşığın büyüme davranışından esinlenilerek geliştirilen Solar Ivy	18
Resim 2.6. Bal peteğinden yola çıkılarak tasarlanan sandviç panel	19
Resim 2.7. Acanthus bitkisi; Roma'nın Panteon kentinde Korint sütun başlığı	21
Resim 2.8. Sagrada Familia'nın ağaçlardan ilham alan taşıyıcıları	22
Resim 2.9. Kristal Saray ve dev nilüfer yaprağı	23
Resim 2.10. Uyluk kemiğinin boşluklu kafes yapısı ve Eyfel Kulesi	23
Resim 2.11. Projenin genel görünümü ve kaktüsten etkilenen cephe tasarımı	25
Resim 2.12. Dives in Misericordia Kilisesi'nin beyaz renkli beton cephesi	28
Resim 2.13. Namib çöl böceği ve Namibya Hidroloji Merkezi	29
Resim 2.14. Expo 2015 İtalyan Pavyonu ve biyodinamik beton cephesi	30
Resim 2.15. Hidroseramik malzeme katmanları ve hidroseramik kaplamalı bina projesi ..	30
Resim 4.1. a) Dulavratotu tohumu, b) Cırt bant mikroskop görünümü c) Velcronun ilk uygulamalarından biri astronot kıyafetleri ve eldivenleri	64
Resim 4.2. Süper ıslanabilirliğe karşılık gelen çok ölçekli yapılara sahip biyolojik malzemeler	72
Resim 4.3. Çamur ile kirlenmiş bir lotus yaprağının yağmur ile temizlenmesi	74
Resim 4.4. Lotus yaprağı yüzeyinin ve papillaların SEM görüntüsü	74
Resim 4.5. Lotusanın çalışma prensibi	76
Resim 4.6. Süper hidrofobiklik ve yüksek görünür geçirgenlik sergileyen cam, polikarbonat ve PMMA üzerine biriken su damlaları	77

Resim	Sayfa
Resim 4.7. Lotus etkili süperhidrofobik kaplamalı ve kaplamasız camın davranışları	78
Resim 4.8. Kendi kendini temizleyen termoplastik levhalar	78
Resim 4.9. Salyangoz kabuğunun mikroskobik boyuttaki görünümü	80
Resim 4.10. X-Terior kaplama uygulanmış bina cephesi örnekleri.....	82
Resim 4.11. a)Exchange Tower: Microguard kaplamanın cam bina cephesine uygulanması. b)Telecommunication Company Office: Microguard kaplamanın boya üzerine uygulanması.....	83
Resim 4.12. a) böceğin kabuk görünümü ve kabuğun mikroskop altındaki görünümü b) StoColor Dryonic® boyanın mikroskobik yapısı.....	84
Resim 4.13. a,b) Biyomimetrik StoColor Dryonic®'in neredeyse tüm bina cephesine ve c) boyanın ahşap üzerine uygulanması	85
Resim 4.14. Biyomimetrik StoColor Dryonic®'in standart boyaya göre suyu daha çabuk uzaklaştırması.....	85
Resim 4.15. a) Sürahi bitkisi ve b) elektron mikroskobu altındaki farklı radyal sırtlara sahip yüzeyi	87
Resim 4.16. SLIPS in çeşitli sıvılar ile deneyi.....	88
Resim 4.17. SLIPS uygulanmış temiz bir PV panel	90
Resim 4.18. Kaplanmış bölüm (sağ) berrak hale ince bir su filmi bulunmaktadır, kaplanmamış kısmı (sol) su damlacıkları ile doludur	92
Resim 4.19. TiO ₂ esaslı, kendi kendini temizleyen karolu bir bina (solda) ve yaklaşık 3 yıl boyunca (sağda) açık havaya maruz kaldıktan sonra kaplama malzemesi	93
Resim 4.20. a) Sivrisinek bileşik gözlerin resmi. b) gözün SEM görüntüsü. c) tek bir gözün yüzeyi altıgen çıkıntılar ile kaplanmıştır.....	96
Resim 4.21. a) Bileşik göz ilhamlı yapay malzemenin optik mikroskop fotoğrafı, b) SEM görüntüsü ve c) yüzeyinde bulunan su damlası.....	96
Resim 4.22. Güvenin bileşik gözünün SEM görüntüleri	98
Resim 4.23. a) Buğulanma önleyici film uygulanmamış cam ve b) uygulanmış cam.....	98
Resim 4.24. Geleneksel cam ile sinek gözünden ilham alan biyomimetik kaplamalı camın buğu durumlarının kıyaslanması.....	99

Resim	Sayfa
Resim 4.25. a) Alüminyum plakanın süperhidrofobik yüzey ile kaplanmamış tarafı ve b) kaplanmış tarafının buzlanma durumu	102
Resim 4.26. a) Sürahi bitkisi, b, c) bitki yüzeyinin SEM görüntüleri ve d) bitkiden ilham alan SLIPS modeli	103
Resim 4.27. SLIPS ve SHS' nin yüzeye buz yapışmasını önleme performansları.....	103
Resim 4.28. Kaplamasız alüminyum plakada ve SLIPS uygulanmış alüminyum plakada buz oluşumunun görüntüleri ve ardından ısı ile donmanın giderilmesi	104
Resim 4.29. Su toplayan bazı hayvanların ve bitkilerin mekanizmalarının özeti.....	108
Resim 4.30. a) Namib çöl böceğinin optik fotoğrafı. b) mum kaplı yüzey üzerinde mumsu tabakası olmayan bir tümseğin SEM görüntüsü. c) tümsekler ve çöküntülerin SEM görüntüsü	109
Resim 4.31. Namib böceğinden esinlenerek geliştirilen sis toplayan mesh malzeme.....	110
Resim 4.32. Seawater green house; Sis toplayan mesh malzeme ile kaplanmış Umman'da yapılan deniz sisinden su elde ederek üretim sağlanan sera	111
Resim 4.33. Las Palmas Su Tiyatrosu'nda cam önüne koyulan biyomimetik malzeme ile cephe, yoğunlaşan deniz suyunu tuzdan arındırıp toplar.....	111
Resim 4.34. a) Örümcek ağı üzerinde damlacık birikimi ve b) ağın iplik yapısından kaynaklanan düğüm ve bağlantı alanları	112
Resim 4.35. Su damlasına sahip fiber bazlı elyaf sis toplayıcı	113
Resim 4.36. Örümcek ağının yapısından ilham alan düğüm ve eklem noktalarından oluşan elyafli sis toplama ağı.....	114
Resim 4.37. Elyaf polimerleri ve çeşitli geometrileri ile sırasıyla verimleri	115
Resim 4.38. Warka Su Kulesi ve biyomimetik elyaf.....	115
Resim 4.39. AquaWeb'in tasarımında esinlenilen canlı sistemler	117
Resim 4.40. Hidrofobik SLIPS, hidrofilik SLIPS, hidrofilik SRS ve hiyerarşik SHS'de su hasadı.....	120
Resim 4.41. Sol panel SRS, orta panel SLIPS ve sağ panel süperhidrofobik bir yüzey, son resim SRS'nin yakından görünümü	120
Resim 4.42. Kaktüsün yüzey yapıları ve dikenler üzerindeki mikro iğneler.....	121

Resim	Sayfa
Resim 4.43. (a) Namib çöl çayırı b) üzerinde oluşan su damlacıkları c) uzun olukların mikroskop görüntüsü ve şeması.....	122
Resim 4.44. Su damlacıklarının yerçekimine karşı hareketi.....	125
Resim 4.45. a) Tümseklerin tepesi ile düz bir bölgede büyüyen damlacıkların ve b) düz bir kaygan yüzey ile asimetrik tümsekli yüzeyin su toplama işlevinin karşılaştırılması	126
Resim 4.46. Özerk kendi kendine şekillendirme davranışını sergileyen bitki sistemleri ..	128
Resim 4.47. Neme göre açılıp kapanabilen çam kozalakları	129
Resim 4.48. a) Doğrudan güneş ışığı ve ortamdaki bağıl nemle tetiklenen malzeme	130
Resim 4.49. Açık (sağ) ve kapalı durumda (solda) gösterilen higromorfik malzemeye sahip bir kabuk prototipi	130
Resim 4.50. The Meteorosensitive Pavillion’ un tasarımı	131
Resim 4.51. Paneller halinde tasarlanmış termo bimetal örneği ve malzemenin çalışma prensibi	132
Resim 4.52. Termo bimetal binalarda dinamik duvar sistemi olarak kullanılmasına dair bir ön çalışma	132
Resim 4.53. Sıcaklık değiştikçe küre şeklinde açılan ve kapanan genişleyebilir termo bimetal yüzey	133
Resim 4.54. Stoma tuğlasının fonksiyonel parçaları	134
Resim 4.55. Çevresel neme göre içeriye hava girmesini sağlayan sistem.....	135
Resim 4.56. Kendinden onarımlı beton ve çatlak onarımı.....	141
Resim 4.57. Kum, bakteri ve besin maddeleri ile biomason tuğla kendi kendine tamamlanması	144
Resim 4.58. BioMason'un tuğlaları çeşitli şekil ve tarzlarda oluşturulabilir	145
Resim 4.59. San Francisco’da bir avluda biomason tuğla montajı ve tuğlalardan oluşan bir duvar örneği	145
Resim 4.60. CO ₂ ' den yapılmış çeşitli boyutlardaki agrega, çakıl ve kum formları	147
Resim 4.61. San Francisco Uluslararası Havaalanının geçici biniş alanına biyomimetik beton uygulaması.....	147

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

cm

Santimetre

CO₂

Karbondiyoksit

m

Metre

m²

Metre kare

m³

Metre küp

mm

Milimetre

µm

Nanometre

Kısaltmalar

Açıklamalar

HVAC

Heating Ventilating and Air Conditioning

SHS

Süperhidrofobik Yüzey

SRS

Hidrofilik Yönlü Yüzey

VOC

Uçucu Organik Bileşik

1. GİRİŞ

Günümüzün karmaşık mühendislik ve yapı tasarımı alanları, yapı malzemelerinden mekanik dayanım, elektrik, optik ve manyetik özelliklerden daha fazlasını talep etmektedir. Çok işlevli, uyarlanabilir, etkileşimli, fiziksel mekanik ve kimyasal dayanımı yüksek, uyaranlara duyarlı malzeme özelliklerine sahip olmak, gelecekteki birçok uygulama için çok önemli bir konu haline gelecektir. Modern malzeme bilimi, metaller, seramikler ve camlar gibi geleneksel yapı malzemelerinin yanı sıra, uzun bir kullanım geçmişine sahip olan polimerler ve yarı iletkenler üzerine odaklanmaktadır ve bunun yanında günümüzde artan gereksinimler ile bu malzemelerin geliştirilip performanslarının artırılması için çeşitli teknolojik gelişmeler yaşanmaktadır. Yapısal performans için sürekli artan gereksinimler daha güçlü, daha sert, daha dayanıklı ve daha hafif malzemelerin geliştirilmesine dikkat çekerken, ayrıca günümüz gereklilikleri ekonomik, kullanıcı ve çevre sağlığına uyumlu, estetik özellikler taşıyan vb. özelliklere sahip malzemelerin araştırmasını ve geliştirilmesine neden olmaktadır.

Yapı malzemeleri için sürekli artan söz konusu gereksinimlerin çoğu, doğada biyolojik malzemeler tarafından karşılanabilmektedir ve bu malzemeler genellikle sentetik malzemelerden daha üstündür. Bu nedenle de doğa, farklı fonksiyonlara sahip ve gelişmiş performans gösteren yeni yapı malzemeleri için çözüm havuzu olarak hizmet edebilecek çok çeşitli materyaller sunmaktadır.

Doğadaki birçok malzeme, karmaşık çok işlevli biyolojik sistemlerde entegrasyon ve kullanım sağlayan ikincil özelliklerle birleştirilen mukavemet veya sertlik gibi mükemmel birincil malzeme özellikleri sergiler ve yüksek esneklik, hata toleransı, adaptasyon, modülerlik ve çoklu işlevsellik gibi farklı özellikleri bir araya getirir. Bu da onları çok çeşitli uygulamalar için nitelikli hale getirir. Buna karşılık, teknik malzemeler genellikle homojendir ve sadece birkaç işlevi yerine getirecek şekilde optimize edilmiştir. Teknolojik zorluklara yeni yaklaşımların geliştirilmesi için, biyolojik yapıların, işlemlerin ve işlevlerin birikiminden yararlanmak faydalıdır. Bu, biyomimetik yaklaşım için başlangıç noktasıdır. Biyolojik ilkeler 3.8 milyon yıllık evrim boyunca optimize edilmişlerdir. Doğadaki hayvanlar, bitkiler ve böcekler binlerce yıl öncesinden günümüze kadar kendi kendini temizleme, kendi kendine onarım, suyu ve enerjiyi verimli kullanma, sürtünme azaltma, adaptif büyüme, hiyerarşik yapılanma ve daha fazlası gibi insanların ürettiği muadil

özmlerden daha etkin çözümler geliştirmek üzere evrimleşmiştir. Bu çözümlerden bazıları insanlara etkin sonuçlar elde etmeleri için ilham vermektedir.

Biyomimetik malzeme araştırması, hızla büyüyen ve önemli potansiyele sahip bir alan haline gelmektedir. Doğanın gözleminden elde edilen önemli keşifler, malzeme laboratuvarlarında yenilikçi fikir ve ilkelerin biyomimetik yapı malzemelerinin geliştirilmesine uygulanmasını ve belirli veritabanlarının oluşturulmasını içeren sistematik bir yaklaşımla günümüz yapı malzemesi anlayışını değiştirip geliştirecektir.

Araştırmanın amacı

Bu çalışmada incelenen akademik çalışmalar ve araştırmalar kapsamında yenilikçi bir tasarım ve üretim yaklaşımı olan biyomimetik yaklaşım ile oluşturulan yapı malzemelerinin; üretim sürecindeki çevresel girdi ve çıktılarından, bina ömrüne, tasarım için sağladığı esneklikten, kullanıcı konforuna vb. kadar yaptığı etkiler araştırılmıştır. Günümüz yapı malzemesinin kullanım ölçütleri ve gereklilikleri kapsamında, yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri ilgili olumsuzluklar ve sorunlar için biyomimetik yaklaşımların çözüm olacak, katkı sağlayacak potansiyelleri araştırılmıştır. Biyomimetik yapı malzemelerine doğadan edinilen fikirlerin nasıl ve ne amaçla aktarıldığı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Biyomimetik ve mimarlıkta yapı malzemeleri için ele alınan problemler ve fırsatlar ana hatlarıyla ortaya konulmaya ve mimarlık için yararlanılabilecek kesişme alanları açıklanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla tasarlanarak uygulanmış, kavramsal ve deneysel düzeyde kalmış olan biyomimetik yapı malzemesi örnekleri malzemelerden beklenen temel ve yenilikçi özellikler kapsamında irdelenmiş ve tartışılmıştır.

Araştırmanın önemi

Bu tez çalışması, biyomimetik malzemeler ile doğa, bilim, malzeme mühendisliği ve mimari tasarım arasındaki iletişim boşluğunun kapatılmasının önemine genel bir bakış sunmaktadır. İnceleme, genel olarak biyomimetik materyallerin çeşitli alanlardaki rolüne ve ardından olası mimari uygulama alanlarına genel bir bakış açısı içermektedir. Biyomimetik yapı malzemelerinin örnek olay incelemelerindeki davranışları ve uygulamaları değerlendirilerek olası analizler ve gelişmeler aktarılmaktadır. Bu katkı ile önemli biyolojik potansiyellerin yeni biyomimetik malzemeler için en iyi uygulamaları ve daha ileri araştırma ve geliştirme

faaliyetleri için potansiyelleri belirlenmeye çalışılmaktadır. Bununla birlikte, malzemeler eleştirel bir şekilde incelenerek yapı sektörünün modern gereksinimlerini karşılayabilecek özellikleri tartışılmaktadır. Böylece bu çalışma; biyomimetik yapı malzemelerinin örnek olay incelemelerindeki davranışları ve uygulamaları değerlendirerek, olası analizleri ve gelişmeleri aktararak yapı malzemelerindeki biyomimetik gelişmelerin önemini, günümüzde yapı malzemesinden beklenen performanslar kapsamında biyomimetik yapı malzemelerinin özelliklerini ortaya koymak adına önem taşımaktadır.

Araştırma sorusu

Doğanın malzemelerinin özelliklerinin, performans ve işlevlerinin biyomimetik tasarım yaklaşımı aracılığıyla yapı malzemelerine aktarılması çok yönlü yenilikçi malzemeler geliştirilmesine yardımcı olarak geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri için yeni çözümler ve katkılar sunabilir mi? Biyomimetik yaklaşımın günümüz yapı malzemesine, çevreye etkileri ve daha iyi bir yaşam kalitesine katkıda bulunabilecek potansiyelleri nelerdir?

Hipotez

Doğa uzun süreçte çok işlevli malzemeler geliştirerek, karmaşık çok değişkenli ortamları ve uygulamaları aşabilecek potansiyele sahip olarak, günümüzde yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerine yeni çözümler sunmak, yeni bir malzeme ve yüzey sınıfını uyarlamak ve tasarlamak için çözüm havuzu sunmaktadır. Biyomimetik tasarım yaklaşımı pek çok disiplinde olduğu gibi mimarlık alanında da yenilikçi çalışmalara öncülük ederek özellikle geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerine çözümler sunarak yalnızca olumsuz özellikleri azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda çevresel etkileri azaltacak, olumlu çevresel, sosyal ve ekonomik çözümler de yaratacak potansiyeller barındırmakta ve biyomimetik yapı malzemeleri, yapı malzemelerinin günümüzdeki kullanım ölçütlerini karşılayabilecek özellikleri taşımaktadır.

Materyal ve metot

3. Bölümde çalışmanın materyal ve metodu detaylı olarak anlatılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

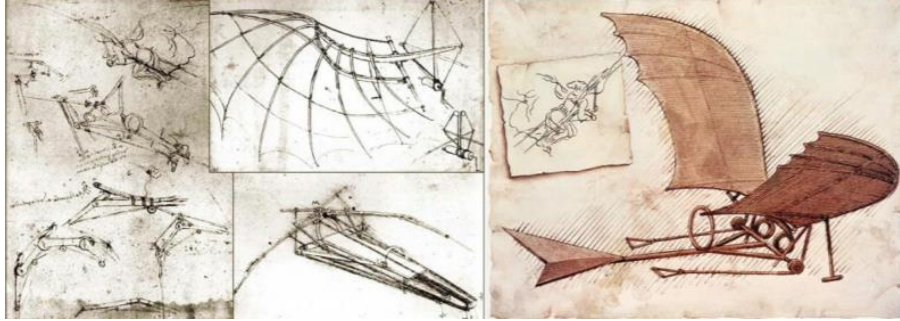
Yapı malzemeleri alanında karşılaşılan sınırlılıklar, kısıtlamalar ve günümüzde beklenen performans özellikleri konusundaki çözümlerin doğada aranması kapsamındaki bu çalışmanın ilk aşaması olarak bu bölümde, ilk önce biyomimikri kavramı ve biyomimetik tasarım yaklaşımları, biyomimikri seviyeleri, biyomimikri ve mimarlık ilişkisi incelenmiştir. Biyomimetik yaklaşımların mimarlık disiplinine olan yansımaları hakkında literatür çalışmasına yer verilerek mimarlık-doğa etkileşimiyle ilgili bir arka plan sunulmuştur. Bu kavramlar literatürde taranmış ve yapılan araştırmalar tezin alan çalışması için bir temel oluşturmuştur.

Ayrıca biyomimetik yaklaşımların malzemelerin özelliklerini, işlevlerini ve performanslarını çeşitli yönlerden etkilediği varsayılarak bu özellik ve performansların değerlendirilip anlaşılabilmesi amacıyla günümüzde yaygın olarak kullanılan hem geleneksel hem de modern yapı malzemeleri genel olarak incelenmiştir. Bu malzemelerin olumlu ve olumsuz genel özellikleri aracılığıyla, malzemelerin kullanım ölçütleri açıklanmıştır.

2.1. Doğa Esinli Fikirler ve Biyomimikri Kavramı

Uzun yıllar boyu süren evrimle birlikte, doğa bugün karşı karşıya kaldığımız her meydan okuma için çok verimli sistem ve stratejiler geliştirmiştir. Bunlar geleneksel çözümlerimize yaratıcı alternatifler sağlamak ve bu sistemleri yenilemek için veri tabanı oluşturmaktadır. Doğa yaşamın ortaya çıkmasından bu yana tahminen 3,8 milyar yıl boyunca evrim geçirmiş ve bu süreçte neyin iyi olduğunu, neyin işe yarayıp neyin devam ettiğini bilecek şekilde gelişmiştir. Bu nedenle de varlığından bu yana insanlık, doğada çözüm aramayı sürdürmüş ve ondan ilham almıştır. Örneğin, Çinliler yaklaşık 3000 yıl önce yapay ipek yapmaya çalışmışlardır. Antik Yunan'da geçmişi M.Ö 500 yılına kadar uzanan bir anlayışla filozoflar doğal organizmaları, bir tasarımın klasik güzellik idealiyle uyumlu bir denge ve oran için modeller olarak görmüşlerdir. 1482'de Leonardo Da Vinci ise, uçan makine (*ornithopter*) icat etmek için kuşlardan ilham almıştır. Hiçbir zaman başarılı olamasa da "uçan makine" çizimlerinin yanı sıra kuşların anatomisi ve uçuşunun gözlemleri üzerine çok sayıda not ve eskiz bırakmıştır (Resim 2.1). Vinci'nin çalışmalarını geliştirerek, 1903'te

havadan daha ağır olan ilk uçağı uçurmayı başaran Wright Kardeşler, güvercinleri gözlemleyerek onlardan ilham almıştır (Mazzoleni, 2013).



Resim 2.1. Leonardo Da Vinci'nin ornithopter tasarım eskizleri (URL 1).

19. yüzyılda ise mühendisler ve mucitler tarafından özellikle doğadan ilham alan cihazların gelişimi hızlandırılmıştır. 20. yüzyıla gelindiğinde ise doğadan ilham alan ve ona yönelen araştırmacıların sayısının artması ile bu konuda farklı terimler ve kavramlar ortaya atılmaya başlanmıştır. Bunlardan biri de doğanın veri tabanından yararlanmak, en iyi fikirlerini incelemek ve daha sonra insan sorunlarına çözüm bulmak için doğanın stratejilerini kullanmaya dayanan biyomimikri yaklaşımıdır.

1990'lardan bu yana “doğadan öğrenilmiş/ esinlenilmiş/ modellenmiş/ uyarlanmış ya da uygulanmış” tasarımlar “biyomimesis” kavramıyla açıklanma çalışılmaktadır (Benyus, 1997). Literatürde benzer şekilde “biyomimes”, biyomimetik”, “biyonik”, “biyoesinli” “biyoteknoloji” ve “biyognoz” gibi terimler bulunmaktadır. Bu terimler kullanım alanlarına ve çalışılan disipline göre nüanslar bulunmaktadır ancak temelde her biri doğadan fikir alma eylemiyle ortaya çıkan sonuçtur ve benzer anlamlar taşımaktadır (Vincent, 2008) ve aynı biçimde “doğadan öğrenerek” ileri teknolojiler geliştirilmesine yönelik araştırma ve çalışmalar için kullanılmaktadır (Selçuk ve Sorguç, 2007).

Biyonik terimi, biyoloji ve teknoloji kelimelerinin birleşimiyle oluşturulmuş ve ilk kez Jack Steele tarafından 1960'ta kullanılmıştır. Biyonik terimi dar bir tanıma sahiptir: robotik ve canlı madde, doku, vücut parçaları ve organların mekanik versiyonlarla değiştirilmesi veya geliştirilmesi ile ilgilidir (Gruber, 2011). Biyoteknoloji ise endüstriyel işlemler için biyolojik sistemler kullanan insan çevresini korumak için herhangi bir biyolojik organizma kullanan bir biyomimikri formunu ifade eder (Pele ve Cimpeanu, 2012).

Biyonik yerine biyolojiden teknolojiye fikir aktarımını tanımlamak için 1950'li yıllarda Amerikalı Mühendis ve akademisyen Otto Schmitt tarafından biyomimetik kavramı kullanılmıştır. Biyomimetik kavramı insanlığın problemlerine doğanın yüzyıllardır test ettiği stratejileri inceleyerek sürdürülebilir çözüm yöntemleri arayan bir tasarım yaklaşımı olarak tanımlanmıştır (Eggermont, 2007).

Biyomimikri terimi ilk olarak 1982'de ortaya çıkmıştır. Benyus (1997) tarafından yapılan çalışmalarla bu kavramlar tekrar gündeme getirilmiştir. İlk kez bilim insanı ve yazar Janine Benyus tarafından yazılan 1997 tarihli “Biyomimikri: Doğadan Esinlenen İnovasyon (Biomimicry: Innovation Inspired by Nature) adlı kitapta biyomimikri kavramı somutlaştırılmıştır (Rankouhi, 2012) ve bu kitapta terim “doğanın dehasının bilinçli olarak taklit edilmesi” olarak tanımlanmıştır (Benyus, 1997). Benyus tarafından yazılan bu kitap ile konunun geniş kitlelere ulaşması sağlanmış ve biyomimikri terimi popülerleşmiştir. 2005 yılında Bryony Schwan ve Janine Benyus Biyomimikri Enstitüsü'nü kurmuştur ve 2007 yılında Chris Allen, dünyanın doğal çözümlerin bir listesini içeren ilk dijital kütüphanesi olan “AskNature” ın başlatılmasına yardımcı olmak için Benyus ve Schwan'a katılmıştır (Radwan ve Osama, 2016).

Benyus'a göre biyomimikri doğayı model (model), ölçüt (measure) ve akıl hocası (mentor) olarak kullanmayı amaçlayan, doğada bulunan sistemleri inceleyen ve ardından ilişkili problemleri çözmek için bu sistemleri, modelleri, süreçleri ya da stratejileri taklit eden bilim dalıdır. Michael Pawlyn ise Mimarlıkta Biyomimikri adlı kitabında, disiplini “sürdürülebilir çözümler üretmek için biyolojik formların, süreçlerin ve sistemlerin işlevsel temelini taklit etmek” olarak tanımlamaktadır (Pawlyn, 2011).

Bu tanımlamaların yanında biyomimetik alanı oldukça disiplinlerarasıdır. Biyologlar, fizikçiler, kimyagerler, malzeme bilimcileri ve tasarımcılar tarafından doğada bulunan çeşitli nesnelerin, süreçlerin ve canlıların biyolojik fonksiyonlarının, yapılarının ve ilkelerinin anlaşılmasını ve tasarımcılar, mühendisler, malzeme bilimcileri ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen yapı tasarımı, çeşitli malzeme ve cihazın tasarımı ve imalatı gibi birçok biyomimetik yeniliği içerir (Bhushan, 2009). Bundan hareketle biyomimetik yaklaşım doğada var olan malzemelere benzer performansa sahip materyaller üretmek için de bilimsel mekanizmalar için bir tanımlayıcı olarak önerilmektedir (Wahl, 2006).

Biyomimetik, bilim olarak, endüstri devriminin ortaya çıkması ile ivme kazanan teknolojik gelişmelerle birlikte yaygınlaşmaya başlamıştır. 90'lı yılların sonlarına doğru ise biyomimetik kavramı biyomimikrinin birçok disiplinde kendine yer bulması ile daha sürdürülebilir “yeşil” hareketle ilgili olarak anılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda biyomimikri çevre sorunlarını engelleyebilmek için kaynak ve enerji verimliliği sağlayacak, üretim ve kullanım aşamalarında daha az olumsuz çevresel etkiye sahip bir tasarım yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır (Jacobs, 2014).

Biyomimetik kelimesi nispeten yenidir ancak biyomimetik yeni bir fikir değildir; insanoğlu yüzyıllar önceden bu yana, pek çok insanlık probleminin çözümü, çeşitli malzeme ve cihazların ilham ve gelişimi için doğaya bakmıştır (Çizelge 2.1).

Biyomimikrinin problem çözme üzerindeki vurgusu onu, biyomorfizm (doğanın şekillerine ve formlarına dayalı tasarım) gibi ilgili kavramlardan ayırmaktadır (Yedekçi, 2015). Tezin giriş bölümünde ve kuramsal çerçevesinde açıklandığı üzere 21. yüzyılda beklenen dönüşümlere, ihtiyaç duyulan problem çözümlerine biyomimikri ile ulaşılabilecektir. En basit ifade ile tasarımda doğal öğrenme/esinlenme/modelleme/uyarlama ile sağlanan işlev; süreç ve sonuca dair ise biyomimetik, sonuç biçimsel kaygılarla elde edilmişse o zaman biyomorfik tasarım olarak adlandırılmaktadır (Pawlyn, 2011).

Çeşitli terimlerle tanımlanmaya çalışılan doğadan ilham alma/esinlenme/öğrenme/uygulama kavramlarının her alandaki karşılığı farklılık göstermektedir. Araştırmacılar tarafından biyomimetik bilimi sürdürülebilir yapılar ve dolayısıyla çevreler için araştırılmaya devam edilmektedir. Bu araştırma çalışmaları devam ettikçe yeni terimlerin ve beraberinde yeni tanımlamaların ve kavramaların literatüre eklenmesi mümkün görünmektedir. Bu terimlerin dışında son zamanlarda, "biyoesinli" terimi sıkça kullanılmaktadır, bu terim çok genel bir anlamı karşılamaktadır ve terimlerin hepsini kapsayıcı olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda genel terimler olarak biyomimikri/biyomimetik, doğanın yaklaşımını taklit eden her türlü biyoesinli tasarım yaklaşımını ifade ettiği için (Pohl, Speck ve diğerleri, 2010) bu tez çalışmasında biyomimetik/biyomimikri terimleri kullanılmaktadır.

Çizelge 2.1. Geçmişten günümüze biyomimetik çalışmalar (Selçuk, 2009).

BİYOMİMETİK ÇALIŞMALAR

biyolojiden teknolojiye

kuş yuvalarından alınan ilham	öncelikli periyotlar	kulübeler
örümcek ağları		çadırlar
leonardo da vinci'nin 16.yy icatları		yenilik
yunus derilerini taklit etme		gemi gövdesi
texas'da çalılardan alınan ilham, michael kelly		dikenli tel
1868		
şahin kanadı, wright kardeşler 1904		uçak
sırça otu, george mestral 1940		velcro
sinir hücrelerinin beyinde bilgi aktarımı		modern mikroişlemci
yapraktan alınan ilham		güneş paneli
robotics insan vücudu taklit etme	1990'lar	protezler
yarasalar gibi sesle yer bulma		sonar, radar
hafiflik balık ve kuş gözlemleme		uçanın ayrodinamik formu
termit yuvalarının havalandırması		eastgate binası, zimbabve
baykuş tüyleri-rüzgar sessizliği		japon yapımı shinkansen treni
gecko kertenkelesinin yüzeye yapışması		yeni nesil yapıştırıcı
lotus etkisi- kendi kendini temizleme		lotusan, cephe elemanı
kuş tüylerinin ışığı kırması, ray anderson 1995		entropy (halı)
yayınlar 'Biyomimikri' janine benyus 1998		biomimetik devrim
kertenkelenin renk değiştirmesi		renk değiştiren kıyafetler
doğadaki spiraller		pax çark
fotosentez		dsc solar paneller
balinaların temizleyici filtresi		baleen filtre teknolojisi
biyomateriyaller köpekbalığı derisi		speedo dalış kıyafeti
biyomimetik robotlar hamamböceği		marşa gönderilen robotlar nasa
bulanık mantık penguenlerin yalıtımı		akıllı kumaşlar
örümcek ipeği strüktür		kevlar
ekosistem taklidi, jhohn todd		living machine atık su dönüşümü
insan anatomisi salyangoz hareketi		salyangoz robotlar
istiridyeden nasıl kabuğunu oluşturur, dr.belcher		şarj edilebilir bataryalar
2004		
timsah derisindeki kollajen lifleri	2000'ler	fiberglas teknolojisi
ateşböceklerinin sarı yeşil ışık üretimi		verimli ışık
incinin yapısındaki bozukluk		jet motorlarının tamiri
ağaç dallarının bölünmeleri		zic fiat
yarasaların engelleri aşmaları		robot akıllı akustik sensör

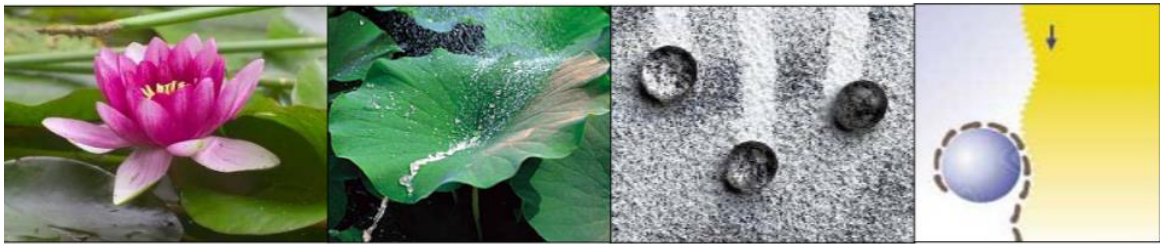
2.2. Biyomimetik Tasarım Yaklaşımları ve Biyomimikri Düzeyleri

Zari (2007) karşılaşılan probleme karşı tasarımcıların uygulayabilecekleri çeşitli çözümler için yararları/öğretileri tam anlamıyla yakalayabilmek amacıyla doğru biyomimetik yaklaşımı analiz etmenin önemli olduğunu belirtmiştir. Tasarım süreci olarak biyomimetik

yaklaşımlar temel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Birincisi bir insan ihtiyacını veya tasarım problemini tanımlamak ve diğer organizmaların veya ekosistemlerin bunu nasıl çözdüğüne bakmak, biyolojiye bakan tasarım olarak tanımlanırken, ikincisi ise bir organizma veya ekosistemde belirli bir karakteristik, davranış veya işlevi belirlemek ve bunu insan tasarımlarına çevirmek, atıfta bulunmak tasarımı etkileyen biyoloji olarak tanımlanmaktadır (Zari, 2007). Bunlar “yukardan aşağıya yaklaşım” (teknoloji çekisi) ve “aşağıdan yukarıya yaklaşım” (biyoloji itkisi) veya şeklinde adlandırılmaktadır.

Aşağıdan yukarıya yaklaşım

Aşağıdan yukarıya yaklaşım “çözüme yönelik”, “çözüm odaklı yaklaşım”, “endüksiyonla biyomimetik” veya “tasarımı etkileyen biyoloji” olarak da adlandırılır (Aziz, 2016). Aşağıdan yukarıya yaklaşımda biyomimetik bir gelişimin başlangıç noktası biyolog veya ekolog tarafından yapılan araştırmadır. Bu yaklaşımda biyolojik bilgi insan tasarımını etkiler yani yeni biyomimetik çözümler, temel biyolojik araştırmanın yeni ve umut verici sonuçlarından doğar (Pohl, Speck ve diğ., 2010). Örneğin, bataklık sularında temiz olarak kalan lotus çiçeğinin bilimsel analizi, Lotusan boyası (Resim 2.2) da dahil olmak üzere birçok tasarım yeniliğine yol açmıştır. Dolayısıyla bu yaklaşımın avantajı, biyolojinin insanları önceden belirlenmiş bir tasarım probleminin dışında olabilecek şekilde de etkileyebilmesidir. Bu da daha önce düşünülmemiş teknolojiler, sistemler veya tasarım çözümlerine yaklaşımlar ile sonuçlanabilmektedir (Vincent, Bogatyrev ve diğ., 2005).



Resim 2.2. Lotustan ilham alan boyalar Lotusan (Baumeister, 2007).

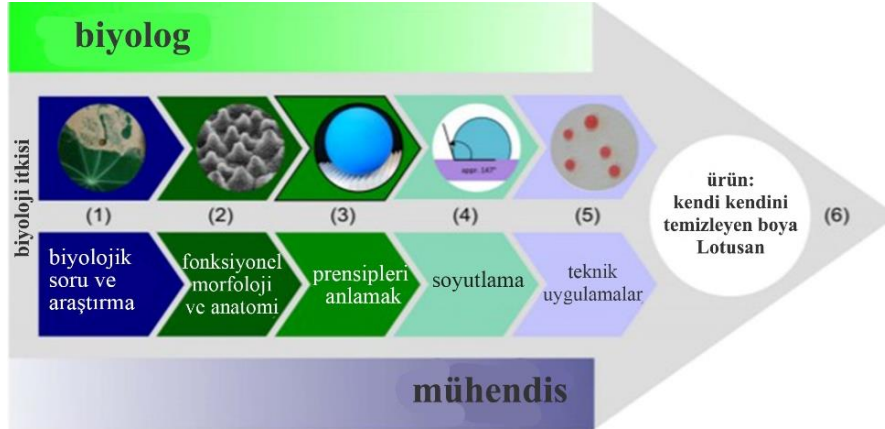
Elde edilen bilginin genişletilmesi, bunların yenilikçi teknik uygulamalara ve tasarım çözümlerine dönüştürülmesi için mühendislerden, teknisyenlerden ve mimarlardan işbirliği gerekmektedir (Pohl, Speck ve diğ., 2010). İşbirlikçi tasarım süreci, başlangıçta belirlenmiş insan tasarım problemlerinden ziyade ilgili biyolojik veya ekolojik araştırma bilgisine sahip kişilere bağlıdır. İnsan tasarım çözümleri ve diğer türler tarafından kullanılan taktikler

arasındaki benzerlikler oldukça azdır. Bundan dolayı da tasarım açısından bir dezavantaj, derinlemesine bir biyolojik araştırmanın yapılması ve ardından toplanan bilgilerin tasarım bağlamıyla ilgili olarak tanımlanması gerektiğidir. Bu nedenle biyologlar ve ekologlar araştırmalarının yeni uygulamaların yaratılmasındaki potansiyelini fark edebilmelidirler (Zari, 2007).

Aşağıdan yukarıya tasarım yaklaşımı sürecinde (Şekil 2.1) birbirini takip eden adımlar, Lotusan örneğine uyarlanmıştır (Şekil 2.2). İlk işlem adımı bir biyolojik sistemin biyomekanik ve fonksiyonel morfolojisini analiz etmektir. Ürün geliştirmenin başlangıç noktası, form-yapı-işlev ilişkilerinin ayrıntılı bir şekilde anlaşılması ve biyolojik modelden keşfedilen ilkelerin belirlenmesi ile tanımlanan biyolojik sistemlerin biyologlar tarafından araştırılmasıdır. Bu ilkeler daha sonra teknolojik uygulamalarına rehberlik etmek için güçlü bir biyoloji geçmişi olmayan kişilerin kavrayışını kolaylaştırmak için soyutlanmaktadır. Soyutlama düzeyinde, keşfedilen ilkelerin biyolojik modelden ayrılması gerçekleşir. Daha sonra, genellikle önce laboratuvar ölçeğinde ve daha sonra mühendislik ölçeğinde gerçekleşen teknik uygulama ile ilgilidir. Daha sonra biyomimetik ürünler üretim sekanslarına ve maliyetlerine göre optimize edilir (Speck ve Speck, 2008).



Şekil 2.1. Aşağıdan yukarı tasarım yaklaşımında adımlar (Jean Knippers, 2009).

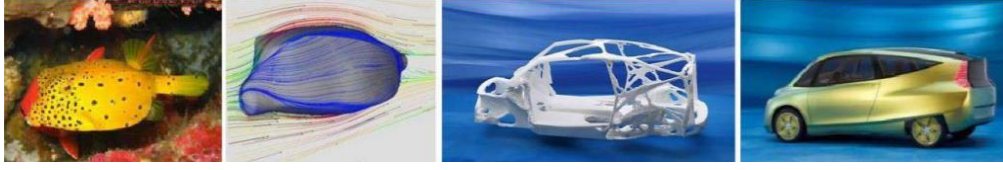


Şekil 2.2. Kendi kendini temizleyen boya Lotusan'ın aşağıdan yukarıya yaklaşımı (Aizenberg ve Fratz 2009).

Yukarıdan aşağıya yaklaşım

Yukarıdan aşağıya yaklaşım “probleme odaklı”, “analojiyle biyomimetik”, “çözüm odaklı biyolojik ilhamlı tasarım” ve “tasarımdan biyolojiye” olarak da adlandırılmaktadır (Aziz, 2016). Bu yaklaşımda, önce bir insan ihtiyacı veya tasarım probleminin tanımlandığı ve daha sonra diğer organizmaların veya ekosistemlerin bunu çözme yollarının araştırılması söz konusudur. Tasarımcıların çözümler için yaşayan dünyaya baktığı yaklaşım, tasarımcıların sorunları belirlemelerini ve biyologların bunları benzer sorunları çözen organizmalarla eşleştirmelerini gerektirir (Zari, 2007).

Bu yaklaşım, tasarımın ilk hedeflerini ve parametrelerini belirleyen tasarımcılar tarafından etkin bir şekilde yönlendirilir (El Ahmar, 2011). Böyle bir yaklaşıma örnek olarak Daimler Chrysler'in prototip Bionic Car (Resim 2.3) gösterilebilir. Büyük hacimli, küçük bir tekerlekli taban otomobili yaratmak için, otomobilin tasarımı, kutuya benzer şekli ile aerodinamik balık olan boxfish'e (ostracion meleagris) dayanıyordu. Otomobilin şasisi ve yapısı da biyomimetiktir, ağaçların stres konsantrasyonlarını en aza indirecek şekilde nasıl büyüyebileceğine dayanan bir bilgisayar modelleme yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır. Ortaya çıkan yapı, malzeme sadece en çok ihtiyaç duyulan yerlere tahsis edildiğinden neredeyse iskeletsel görünmektedir (Vincent, Bogatyrev ve diğ., 2006).



Resim 2.3. Kutu balığı ve ağaç büyüme paternlerinden esinlenen biyonik araba (Zari, 2007).

Bu yaklaşımda tasarımcılar, organizmaları veya ekosistemleri gözlemleyebiliyorlarsa veya mevcut biyolojik araştırmalara erişebiliyorlarsa, potansiyel biyomimetik çözümleri derinlemesine bilimsel bir anlayış veya hatta bir biyolog veya ekolog ile işbirliği yapmadan araştırabilmektedirler. Bununla birlikte bu yaklaşımın dezavantajı, sınırlı bir bilimsel anlayışla, biyolojik bilginin bir insan tasarımına çevrilmesi sığ bir seviyede kalma potansiyeline sahip olmasıdır. Örneğin, organizmaların formlarını ve bazı mekanik yönlerini taklit etmek kolaydır, ancak bilimsel işlemler olmadan kimyasal işlemler gibi diğer yönleri taklit etmek zordur. Bu dezavantajlara rağmen, böyle bir yaklaşım, inşa edilmiş çevreyi sürdürülemez olandan verimli paradigmaya geçirmeye başlamanın bir yolu olabilir (McDonough ve Braungart, 2002).

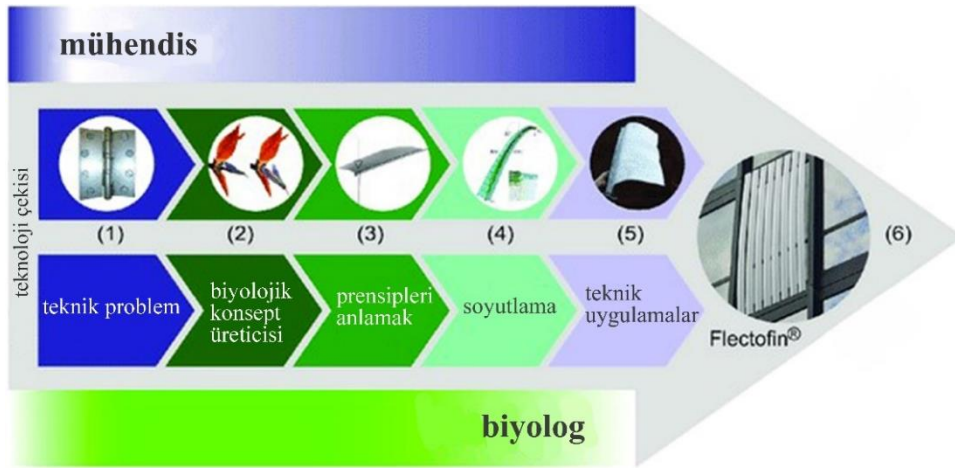
Yukarıdan aşağıya yaklaşımla genelde mevcut tasarım üzerinde gelişme ve iyileştirme gerçekleştirilir. Biyonik araba (Resim 2.3) örneğinde de görüldüğü gibi araç yakıt kullanımı açısından daha verimlidir, çünkü kutu balıkların taklit edilmesi nedeniyle daha aerodinamiktir. Ayrıca, arabanın yapısındaki minimum malzeme ihtiyacını belirlemek için ağaç büyüme modellerinin taklit edilmesiyle malzeme verimlidir. Ancak otomobilin kendisi taşımacılığa yeni bir yaklaşım değildir, bunun yerine, taşımacılığa bir cevap olarak otomobilin kendisinin fikrini yeniden incelemeyen mevcut teknolojiye küçük iyileştirmeler yapılmıştır.

Bu yaklaşımda mevcut teknik ürünler için biyomimetik yenilikler ve iyileştirmeler aranmaktadır. Mevcut bir ürünün daha da geliştirilmesi, yukarıdan aşağıya süreçte biyolog ve tasarımcı işbirliğini gerektirmektedir. Yukarıdan aşağıya tasarım yaklaşımı sürecinde (Şekil 2.3) birbirini takip eden adımlar, Flectofin örneğine uyarlanmıştır (Şekil 2.4). Sürecin ilk adımında, teknik problem ve sınır koşulları tam olarak tanımlanmalıdır. Daha sonra spesifik teknik gereksinimler için konsept üreticisi olabilecek en uygun örnekler biyologlar ve mühendisler tarafından taranır. Daha sonra uygun olabilecek biyolojik çözümlerden biri veya ikisi daha ileri analizler için seçilir ve deneysel olarak araştırılır ve probleme

uygunlukları ile karakterize edilir. Aşağıdan yukarıya işlemde olduğu gibi yukarıdan aşağıya işlemde bir sonraki adım soyutlamadır. Başarılı bir bilgi aktarımını takip eden bir sonraki adım, çözümün teknik uygulama potansiyelini araştırmaktır. Daha sonra, optimize edilmiş ilk prototipler üretilir ve performansları test edilir (Speck ve Speck, 2008).



Şekil 2.3. Yukarıdan aşağıya tasarım yaklaşımında adımlar (Jean Knippers, 2009)

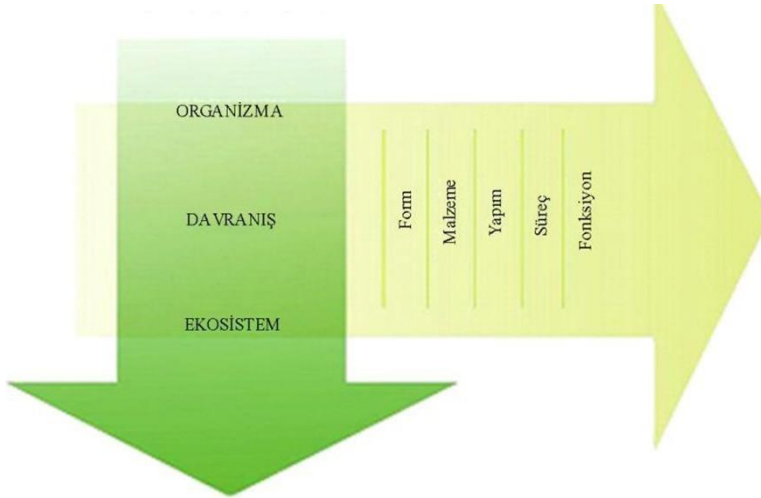


Şekil 2.4. Yukarıdan aşağıya süreçte biyolojik şablonlardan biyomimetik ürüne ilerleme: Flectofin (Speck, Speck ve diğerleri, 2017)

Aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya yaklaşımın birbirlerine göre bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Aşağıdan yukarıya doğru süreçte biyolojik fonksiyonlar ve yapılarda yeni kavrayışlara dayanarak, prensip anlaşılırsa ve soyutlama başarılı olursa, geliştirilen teknik uygulamalar çok sayıda probleme uygulanabilir. Bu durumda, yenilikçi sıçramalar daha büyük olabilmektedir. Bununla birlikte, tipik bir aşağıdan yukarıya yaklaşım

süreci uzun zaman gerektirmektedir. Genel olarak, teknik uygulama için biyolojik fonksiyonun veya yapının tanınması ile ondan kaynaklanan yenilikçi bir biyomimetik ürünün üretimi arasında geçen süre uzundur. Yukarıdan aşağıya yaklaşımda problem tanımlı olduğu için diğerine kıyasla hızlı bir şekilde ürünün biyomimetik olarak geliştirilmesine yol açabilmektedir. Yukarıdan aşağıya sürecin en büyük dezavantajı, yenilikçi sıçramaların genellikle nispeten küçük olmasından kaynaklanmaktadır.

Aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya tasarım yaklaşımları dahilinde bir tasarım problemine uygulanabilecek üç farklı biyomimikri düzeyi bulunmaktadır. Zari (2007) biyomimetik teknolojilerdeki bu üç düzeyi “organizma”, “davranış” ve “ekosistem” olarak tanımlamaktadır. Bu seviyelerin her birinde, taklit için olası beş boyut daha vardır (Şekil 2.5). Bu üç seviyede uyarlanan/taklit edilen/öğrenilen uygulamalar neye benzediği (form), neden yapıldığı (malzeme), nasıl yapıldığı (yapım), nasıl çalıştığı (süreç) veya neler yapabildiği (fonksiyon) açısından biyomimetik olabilir.



Şekil 2.5. Biyomimikri düzeyleri (Zari, 2007).

Aşağıdaki Çizelgede (Çizelge 2.2.) termitin farklı yönlerinin tasarıma nasıl ve ne düzeyde etki edilebileceği gösterilmiştir. Her bir biyomimikri düzeyi ve benzetime ilişkin beş farklı boyut tablo ile termit veya bir termitin parçası olduğu ekosistem üzerinden açıklanmıştır. Bina - termit karşılaştırması üzerinden örneklendirilen bu sınıflandırmada her düzeye ilişkin örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.2. Biyomimikri uygulaması için bir çerçeve (Zari, 2007).

Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Unsur	Örnek: Termitleri taklit eden bir bina
Organizma Düzeyi	Biçim	Bina termite benzer.
	Malzeme	Bina termitle aynı malzemeden yapılır. Örneğin malzeme termitin kabuğunu taklit eder.
	İnşaat	Bina termitin oluşum şeklini taklit eder. Örneğin çeşitli büyüme dönemlerinden geçer.
	Süreç	Bina bir termite benzer şekilde çalışır.
	Fonksiyon	Binanın termite benzer şekilde işler. Örneğin selüloz atıklarını geri dönüştürür.
Davranış düzeyi	Biçim	Bina bir termit tarafından yapılmış gibi görünür. Örneğin termit tepciklerini kopyalar.
	Malzeme	Bina termitinkine benzer bir malzeme ile yapılır. Örneğin parçalanmış ince toprak.
	İnşaat	Bina termitin inşa etmek için kullandığına benzer yapım teknikleriyle inşa edilir.
	Süreç	Bina bir termit tepciği gibi çalışır ve termitlerin bir arada çalışmasını taklit eder.
	Fonksiyon	Bina bir termit tarafından yapılmış gibi işler. Örneğin iç ortam koşulları termal olarak optimal olacak şekilde düzenlenir.
Ekosistem düzeyi	Biçim	Bina içinde termitlerin yaşadığı bir ekosisteme benzer.
	Malzeme	Bina bir termit ekosisteminin meydana geldiği malzemelere benzer malzemelerden yapılır. Örneğin doğada kendiliğinden var olan malzemeler kullanılmıştır.
	İnşaat	Bina bir termit ekosistemi gibi kurulur. Örneğin ortak ilkeler veya işlevler içerir.
	Süreç	Bina bir termit ekosistemiyle aynı mantıkla işler. Örneğin güneşten enerjiyi alır ve dönüştürür, suyu depolar.
	Fonksiyon	Bina bir termit ekosistemindeki süreçler arasındaki ilişkileri kullanarak karmaşık bir sistemi faydalı hale getirerek işlev görür.

Organizma düzeyi

Organizma seviyesi bitki veya hayvan gibi spesifik bir organizmaya karşılık gelir ve organizmanın şekil, bileşen, malzeme ya da görünüşü gibi morfolojik özelliklerini yani bir kısmını veya tamamını taklit etmeyi içermektedir (Pawlyn, 2011). Biyomimetik tasarım örneklerinin çoğu, tek bir organizmaya veya bir kısmına dayalı tasarımla ilgilidir. İnsanlar, organizmaların halihazırda ele almış olabileceği, genellikle enerji ve malzeme açısından etkili yollarla, toplumun yaşadığı sorunları çözmek için yararlanabilecekleri geniş bir örnek havuzuna sahiptir. Örneğin geko kertenkelesinin ayak pedlerinde, yüzeylere uyabilen yumuşak bir alt tabaka görevi gören setae adı verilen milyonlarca küçük tüyleri vardır. Kertenkelenin ayak parmakları, sıvı veya yüzey gerilimi olmadan çoğu yüzeye yapışmasına izin verir. Sürünge daha sonra yüzeyde hiçbir kalıntı bırakmadan kendini kolayca serbest bırakabilir. Bu özellikten yola çıkılarak yapışkan içermeyen bir yapıştırma

malzemesi olan “Geko Bant” ve yapılan araştırmalar sonrasında “Geckskin” kaplamalı kumaşlar geliştirilmiştir (Resim 2.4). Bu malzemeler tekrar tekrar kullanılabilir, ağır yükleri taşıma ve kuru yapışma, yeniden kullanılabilir/ tersinir olma kombinasyonu, tıp ve endüstrinin yanı sıra günlük yaşamdaki yeni uygulamalar için zengin olanaklar sunmaktadır (Shimomura, M. (2010))



Resim 2.4. Geko ayağı ve gekoskin kumaşlar (URL 2).

Ancak organizma düzeyin biyomimikri; organizmanın ekosistemle daha geniş bir bağlamda nasıl etkileşim sağladığı ve ya nasıl katkıda bulunduğunu taklit etmediği için geniş kapsamlı yöntem değildir. Bir organizmayı, ekosisteminin bağlamına nasıl katılabileceğini ve katkıda bulunabileceğini değerlendirmeden taklit etmek, çevresel etki açısından geleneksel veya hatta ortalamanın altında kalan tasarımlarla sonuçlanabilmektedir (Reap, Baumeister ve Bras, 2005). Bu duruma bir örnek Velcro'dur. Velcro, bazı bitkilerin çapaklarının hayvan kürküne nasıl bağlandığını taklit ederken, ürünün kendisi petrokimyasallardan yapılır ve geri dönüştürülmez. Ürün biyomimetik olmasına rağmen fermuarlar veya düğmeler gibi diğerk bağlantı elemanlarından daha sürdürülebilir değildir (Armstrong, 2009).

Organizmaların taklit edilmesi, bütün bir sistemin, çevrenin düşünülmesinden ziyade belirli bir özellikte olma eğiliminde olduğundan bu düzeyin mimarlık alanındaki uygulamaları da genelde binalara eklenen teknolojilerin gelişmesine yol açmaktadır (Armstrong, 2009). Böylece yeni ve yenilikçi bina teknolojileri veya malzemelerinin geliştirilmesini sağlanmaktadır. Her ne kadar organizma düzeyinde taklit yenilikçi teknolojiler ya da malzemeler ortaya çıkarabilecek olsa da sürdürülebilirlik bağlamında aynı etkiyi yeteri kadar gösterememektedir (Zari, 2007).

Davranış düzeyi

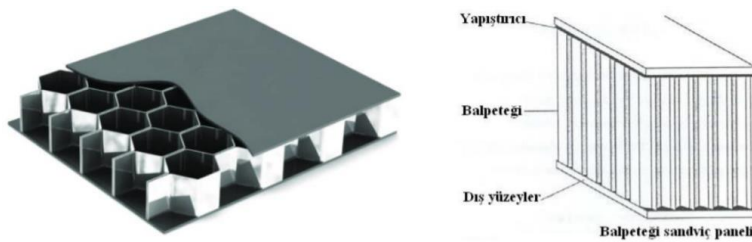
Davranış düzeyinde biyomimikride taklit edilen organizmanın kendisi değil, hayatta kalma davranışı veya stratejileridir. Çok sayıda organizma insanlarla aynı çevre koşullarıyla karşılaşmaktadır ve bu nedenle benzer sorunları çözmeleri gerekmektedir (Turner ve Soar, 2008). Bu organizmalar ekosistem içerisinde kısıtlamalar ve sınırlıklarla başa çıkarak, kısıtlı enerji ve malzemeyle yaşamlarını idare etme ve karşılaştıkları problemleri çözme eğilimdedirler. Dolayısıyla organizmaların geliştirdikleri davranışların incelenmesi ve problem çözümünde bir rehber olarak kullanılması etkili biyomimikri yöntemlerinden birisidir (Reap, Baumeister ve Bras, 2005).

Davranış düzeyinde biyomimikriye sarmaşıklardan yola çıkılarak geliştirilen güneş paneli gibi çalışan ve cephe kaplama malzemesi olarak kullanılabilen “Solar Ivy” örnek verilebilir (Resim 2.5). Birçok bitki besin kaynakları için rekabet ederken, sarmaşık diğer toprak bitkileriyle rekabet etmek zorunda kalmadan yeterli güneş ışığı ve besin almasına izin veren bir büyüme davranışı geliştirmiştir. Sarmaşıklar destek için başka bir yapı kullanarak dikey olarak büyüyerek, diğer bitkilerle rekabet etmek zorunda kalmadan doğrudan güneş ışığı alır. Bitkinin bu davranışı solar ivy sisteminde kullanılmış ve malzemedeki böylece, yaprak rengi, aralık, yönlendirme ve fotovoltaiik tip dahil olmak üzere birçok özelleştirme türüne izin veren modüler bir tasarım geliştirilmiştir. Ürünün yaprak benzeri kısımları da sarmaşık yapraklarının yönelme davranışına benzer şekilde her açıdan ışığı almak adına farklı yönlerde bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Solar Ivy, farklı bina türlerine ve iklimlere de uyarlanabilir. Ürün güneş enerjisinden enerji üretirken, aynı zamanda binalar için gölge sağlayarak iklimlendirme maliyetlerini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Bu ürün güneş panellerinin aksine az yer kaplar, daha incedir ve dikey boşluklardan yararlanılarak bina cephelerine yerleştirilmek üzere tasarlanmıştır (URL 3).



Resim 2.5. Sarmaşığın büyüme davranışından esinlenilerek geliştirilen Solar Ivy (URL 3).

Davranış düzeyinde biyomimikride yararlanılan başka bir organizma davranışı ise bal arılarının yuvalarını altıgen şeklinde inşa etmeleridir. Bu davranışın temelinde, enerjiyi ve malzemeyi verimli kullanarak, maksimum kapasite ve en az yapı malzemesi ile bir depo inşa etme konusunda iki boyutlu şekiller arasında altıgenin en kompakt şekil olması yatmaktadır (Singh ve Nayyar, 2015). İç kısmı altıgen petek şeklinde tasarlanan bir sandviç panelin normal bir I profile göre burulma ve eğilme dayanımının çok daha yüksek olduğu görülmüştür (Resim 2.6). Bal peteğinin bu yüksek mekanik dayanımı, yüksek dayanımlı panel ihtiyacı gerektiren havacılık gibi alanlarda kullanılmaktadır (Bekem, Ercan ve diğerleri, 2011)



Resim 2.6. Bal peteğinden yola çıkılarak tasarlanan sandviç panel (Kamalieva ve Charkviani, 2017).

Ekosistem düzeyi

Üçüncü seviye, ekosistemlerin taklit edilmesi ve başarılı bir şekilde çalışmalarına izin veren ortak ilkeler veya işlevleri içermektedir. Temel olarak bir dizi bileşenin ve sürecin bir ekosistemi oluşturduğu ve ekosistemin sorunsuz çalışması için birbirleriyle uyumlu çalışmaları gerekliliğinden yola çıkılarak ekosistem taklit edilmektedir (Zari ve Storey, 2007).

Ekosistemlerin tasarımlarda taklit edilmesi “ekomimikri” olarak da tanımlanmıştır (Russell, 2004). Pawlyn (2011) ekosistem düzeyinde taklidin organizma ve davranış düzeyindeki taklitten çok daha karmaşık olduğunu ve derin araştırma gerektiğini belirtmiştir. Ekosistemler esnekler, uyarlanırlar ve gelişirler, iyileşme kapasitesine sahiptirler ve daha da önemlisi, devam eden yaşama elverişli koşullar yaratırlar (Kibert, Sendzimir ve Guy, 2002). Yaşayan dünya, tasarımcılara mimari tasarıma ilişkin öngörü sağlayacaksa, binalar bir yaşam sisteminin parçaları olarak düşünülebilir. Bir ekosistemle aynı şekilde, bu tür binalar şu şekilde tasarlanabilir: enerji ve besin (malzeme) üreten; temiz hava ve su sağlayan; atıkların karmaşık, uyarlanabilir ve döngüsel bir sistemde kullanan ve dönüştüren. Bazı

yazarlar ekosistem temelli biyomimikri için genel prensipler ve ekosistemlerin anlaşılmasını mimari tasarıma dahil etmek için yöntemler derlemişlerdir (Zari ve Storey, 2007). Ancak ekosistem düzeyinde biyomimikri ile ilgili kapsamlı mimari bilgilere sahip olmayan araştırmacılar, bu yaklaşımın özelliklerini göstermek için projeler önermişlerdir, çalışmalar çoğunlukla tasarım aşamasında deneysel ve kavramsal olarak kalmıştır. Bunun yanısıra ekosistem düzeyinde biyomimikri yaklaşımının tam anlamıyla kullanıldığı biyomimetik bir malzeme örneğine rastlanılmamıştır.

2.3. Biyomimikri ve Mimarlık

2.3.1. Mimarlık tarihinde doğa ile etkileşim

Doğanın tasarımda esinlenme/öğrenme/uyarlama kaynağı olarak kullanılmasının insan yapımı ortamların başlangıcına dayandığı yani insanlığın tarım devrimi ile yerleşik hayata geçip kendine barınak inşa etmesi ile başladığı düşünülmektedir. İnsanlar yerleşik yaşama geçmeden önce yaşadıkları mağara ve ağaç kovuklarından esinlenerek yeni barınaklarını onlara benzer formlarda inşa etmiş ve süslemişlerdir bu yaklaşım doğanın unsurlarından esinlenme/öğrenme/uyarlamayla tasarlamamanın ilk adımlarından sayılmaktadır (URL 4).

Sahip olduğu devrimsel, yenilikçi, evrensel, nesnel olma özellikleriyle doğabilimsel kavramlar, teoriler, metotlar mimarlar için kendi bilgi alanının sorunlarına çözüm bulmak yolunda potansiyel kaynaklar olarak görülmüştür (İnceköse, 2008). Doğadan farklı form, teknik ve işlev türleri için esinlenme/öğrenme/uyarlama kaynağı olarak etkilenmişlerdir. Bu etkinin kanıtı, Mısır ya da Greko-Romen mimarisinden Art Nouveau'ya, 20. yüzyılda Frank Lloyd Wright'ın çalışmalarına ve daha sonra bu gelişime dahil olan günümüz binalarının yaratıcılığına kadar çeşitli binalarda hala görülebilmektedir.

Doğadan elde edilen bilgiden esinlenme/öğrenme/uyarlama mimarlık tarihinin farklı dönemlerinde farklı yaklaşımlarla günümüze kadar devam etmiştir (İnceköse, 2008). Doğanın mimari tasarım için ilham kaynağı olarak kullanılması büyük ölçüde organik formun taklidi ile sınırlı kalmış ve bu, mimarlık tarihinin geneli için geçerli olmuştur.(Portoghesi, 2000). Doğanın formlarının taklidi Mısır uygarlığının eski tapınaklarında, lotus bitkisinden esinlenen tapınak sütunlarında görülmektedir. Ağaçlar ve bitkiler genellikle Yunan ve Roma çağlarında klasik düzenin süslü yapısal sütunları için de

bir ilham kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu sütunlarda Yunan ve Roma mimarisinde yaygın olarak görüldüğü *Acanthus* bitkisinden esinlenilmiştir (Resim 2.7). Bu zaman dilimi boyunca mimari dekorasyonda çok yaygın olarak kullanılan süslemelerin bitkiler ve ağaçlardan esinlendiği açıktır (Aziz, 2016).



Resim 2.7. Acanthus bitkisi; Roma'nın Panteon kentinde Korint sütun başlığı (Rian ve Sassone, 2014).

Daha sonraki dönemlerde ise sütunlar, kirişler, tonoz ve tonozun destekleyici yapısal çerçevesinde en basit yorumla özellikle doğanın anatomilerinden esinlenildiği, insan ve hayvan iskelet sistemlerinden yola çıkıldığı ve mimariye uygulandığı söylenebilir (Şekil 2.6). İskelet sistemlerin ve mimarideki yapısal düzenlemelerin bu karşılaştırması 12. ve 16. yüzyıl arası gelişen Gotik Mimari’de açıkça görülebilmektedir (Steadman,2008).



Şekil 2.6. Gotik mimarinin taşıyıcılarını insan iskeleti ile karşılaştıran bir diyagram (Bartholomew, 1840).

Rönesansın başlamasıyla birlikte 15. Yüzyılda tasarımda ve mimaride doğanın formları daha yaygınlaşmaya başlanmış, doğayı ilham kaynağı olarak gören mimari akımlar ve üsluplar görülmüştür. Daha sonraki dönemde doğal formların mimaride kullanımı Rokoko ve Barok

üsluplarının biçimsel dilini oluşturmuştur (Melvin, 2005). Bu üsluplarda doğanın organik biçimlerinden, eğri çizgi ve kıvrımlardan, bitki ve çiçek biçimlerinden ilham alındığı görülmektedir (Rian ve Sassone, 2014).

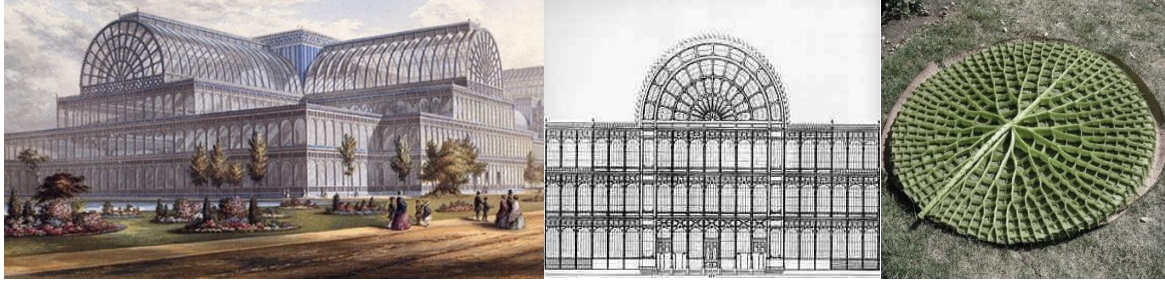
19. yüzyılın başlarına geldiğinde ise ortaya çıkan Art Nouveau akımıyla döneminin yapıları doğayı çiçek desenleri ve kavisli yapı formları ile taklit etmeye başlamıştır (Pohl ve Nachtigall, 2015). Art Nouveau tarzıyla Antonio Gaudi 19. yüzyılın sonlarından 20. yüzyılın başına kadar, doğadan ilham alarak etkileyici yapısal formlar tasarlamıştır. Antonio Gaudi Art Nouveau tarzıyla 19. yüzyılın sonlarından 20. yüzyılın başına kadar, doğadan ilham alarak; mimari formlar ve doğadan esinlenen yapılar arasındaki kombinasyon ile etkileyici bir yapısal formlar tasarlamıştır. Yapısal form olarak özellikle ağaçlardan ilham alan ünlü bir yaklaşımı vardır. 1882'de başladığı Sagrada Familia kilisesi, yapısal bir soruna cevap vermek için doğanın işlevsel formlarını kullanmanın iyi bilinen bir örneğidir. Mimar Barselona'daki bu ünlü yapısında (Resim 2.8) destekleyici yapı için içeride dallanmış ağaçlardan, dışarıdaki taşıyıcılarda ise sekoya ağaçlarından ilham almıştır (Orman, 2013).



Resim 2.8. Sagrada Familia'nın ağaçlardan ilham alan taşıyıcıları (URL 5).

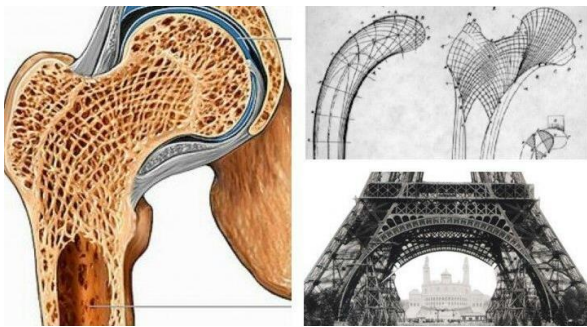
1851 yılında İngiltere'de ise, Sanayi Devrimi'nden sonra ortaya çıkan teknolojik gelişmelerin sergilenmesi için inşa edilmiş olan Kristal Saray'ın (Crystal Palace) tasarımında James Paxton dev nilüferleri (*Victoria Amazonica*) gözlemleyerek onlardan ilham alarak binanın yapısal sistemini tasarlamıştır. Paxton yaprakların radyal bir kaburga ve onu destekleyen çapraz kaburgalar tarafından taşındığını ve böylece bu kırılğan görünümlü nilüfer yaprakları bir yetişkinin ağırlığını destekleyebileceğini keşfetmiştir. Kristal Saray'ın demir yapısı yaprakların kaburgalarına ve gövdelerine dayanmaktadır (Resim 2.9). Yaprığın kendi dokusu hafif cam kısımları temsil etmektedir, yinelenen desen çerçevesi ise geniş cam

alanları desteklemektedir ve böylece doğaya benzetim sayesinde cam ve demir kullanarak devrine göre geniş bir açıklık kapatan hem hafif hem de sağlam bir çatı tasarlamıştır (Meadows, 1999).



Resim 2.9. Kristal Saray ve dev nilüfer yaprağı (Pereira, 2013).

Diğer bir örnek de Paris'in evrensel bir sembolü olan Gustave Eiffel tarafından tasarlanan ve 1889 yılında yapımı tamamlanan Eyfel Kulesi'dir. Anatomist Hermann von Meyer, geniş bir hareket aralığı sağlayan, küçük bir kemik kümesinden oluşan ve iç içe geçmiş birçok kıvrımlı yapıdan oluşan uyluk kemiğini incelemiş ve bu kemiğin büyük yüklere dayanacak biçimde şekillendiğini farketmiştir. Mühendis Karl Cullmam bu yapının, mühendislikteki önemi üzerinde durarak kalçadan gelen yükü daha uzun olan bacak kemiklerine çok iyi biçimde aktardığını belirtmiştir (Pereira, 2013). Gustave Eiffel bu yapının prensiplerini tasarladığı kuleye uyarlamıştır (Resim 2.10) ve bu ilham yapıya dayanıklılık katmış ayrıca kemiğin boşluklu kafes yapısı da taklit edilerek havalandırma problemi çözülmüştür. Bu boşluklu kafes yapı dayanıklılık ve havalandırmaya olan katkılarının yanı sıra daha az malzeme kullanılmasına olanak tanımıştır.



Resim 2.10. Uyluk kemiğinin boşluklu kafes yapısı ve Eyfel Kulesi (URL 5).

Mimari tasarımda doğadan esinlenme/öğrenme/uyarlama 20. yüzyıl mimarisinde az sayıda örnekte bulunmaktadır. Bu dönemde biyolojik fikirler, Le Corbusier gibi birçok modern mimarın yazılarında öne çıkmıştır ve Le Corbusier biyolojiyi “mimarlık ve planlamada yeni büyük kelime” olarak ilan etmiştir (El Ahmar, 2011).

20. yüzyılda doğal dünyadan ilham alan pek çok yaklaşımlardan en ünlüsü F.L.Wright’ın simgeleştirdiği organik mimarlıktır (Mazzoleni, 2013). Wright binaların doğal ekosistemlere benzediğini ve bu ekosistemlerde olduğu gibi tasarımın unsurlarının kendi arasında ilişkili olmasını savunur, yapı ve doğa arasında tam bir birlik sağlamak için biyoloji ve mimariyi birleştiren bir ideolojisi vardır. Bu yüzyılın ortalarına kadar doğadan yararlanılan tasarımlarda genelde doğal formların benzetimi görülmektedir. Daha sonraları ise mimarlar sadece bitki ve hayvanların formlarını taklit etmekle kalmayıp, doğada büyüme ve evrim süreçlerine benzeyen tasarım yöntemleri bulmaya çalışmışlardır. 20. yüzyılın ilk yarısına kadarki doğadaki formu biçimsel kaygılarla ve bir anoloji ile yapılara aktarma davranışına karşılık 1950’ lerde Buckminster Fuller ve hemen ardından Frei Otto’nun malzeme, form ve strüktürün oluşum sürecini anlamaya yönelik sorgulamaları ve yeni form ve strüktür arayışları mimari tasarımda doğadan bilinçli öğrenme sürecinin başlangıcı olarak düşünülebilir. Yapım yöntemleri açısından da 20.yy.ın ilk yarısında mimarlıkta strüktürel tasarım eğilimlerinin ve yeni malzeme arayışlarının etkisi ile de olsa gerek, doğa-mimarlık ilişkisinin pek çok mimar ve mühendis tarafından bilinçli olarak araştırıldığı görülmektedir (Selçuk ve Sorguç, 2007).

1950’lerin sonlarında ise Japonya’da Kenzo Tange liderliğinde mimarlıkta “Metabolizma” hareketi göze çarpmaktadır bir grup Japon mimar olan Metabolistler, şehirlere ve binalara, zaman içinde organik büyüme ve dönüşüm sağlayabilen genişletilebilir, esnek yapılar olarak bakmışlardır (Lökçe, 2001).

21. yüzyılın başlarına gelindiğinde ise mimarlığın doğa ile ilişkisi mimarlıkta enerji verimliliği arayışı ve sürdürülebilirlik bilinci ile ilişkilendirilmeye başlanmıştır. Bu bağlamda yılda çok az yağış alan kavurucu bir çöl ülkesi olan Katar için tasarlanan, Katar Belediye İşleri ve Tarım Bakanlığı (MMAA) 'nın yeni ofis binasının tasarımında, tasarımcılar binanın hem formu hem de işlevsel özellikleri için tasarımın ilham kaynağı olarak kaktüs kullanarak, cam ve suyu kullanan modern bir bina tasarlamışlardır. Kaktüs dikenlerinin gölgeleme

özelliklerine dayalı olarak binanın dışına güneşlikler eklemişlerdir (Meinhold, 2009). Bina kaktüslerin aerodinamik bitki şekli, sıcak ve kuru ortamlarda başarıyla hayatta kalabilmelerini sağlayan işlevini taklit eden bir biyomimetik tasarım örneğidir (Resim 2.11) (Mansour, 2010). Pencerelerdeki güneşlikler, kaktüsün suyu tutmak için gün yerine geceleri terlemeye maruz kalması gibi ısıya tepki olarak açılıp ve kapanmaktadır. Binadaki güneşlikler, alana aktarılan güneş ışığı ve ısıнын miktarını düzenlemek için arzu edilen iç sıcaklığa bağlı olarak otomatik olarak yukarı ve aşağı dalgalanma yeteneğine sahiptir. Bu yenilikçi çözüm, binanın düzgün çalışması için gerekli olan yapay soğutmanın boyutunu ve miktarını azaltmanın yanı sıra estetik açıdan hoş sürdürülebilir bir çözüm sunmasını sağlar (Meinhold, 2009).



Resim 2.11. Projenin genel görünümü ve kaktüsten etkilenen cephe tasarımı (Meinhold, 2009).

Özetle geçtiğimiz yüzyıllardan bu yana birçok mimar tasarımlarında bazı yaklaşımları doğadan esinlenerek geliştirdiklerini vurgulamıştır. Bu ilişki mimari dekoratif öğeler ve form biçimlenişi için doğadan kopyalama ile başlayarak bir organizmanın ya da sistemin, davranış, biçim, malzeme, inşaat yöntemi, işlem stratejileri ya da işlev açısından esinlenme/öğrenme/uyarlama ile günümüz gerekliliklerini gerçekleştiren bir mimari oluşturulmasına katkı sağlamak için bir inovasyon kaynağı olarak kullanılmasına doğru evrilmiştir.

2.3.2. Mimarlık ve biyomimetik tasarım ilişkisi

Doğa, biyomimetik kavramı henüz mevcut olmadan da tarih boyunca mimarlar ve tasarımcılar için ilham ve çözüm kaynağı olmuştur. Doğadaki formlar, yapılar, sistemler, süreçler ve organizmalar tasarımcılara ve mimarlara gelişmiş ve yenilikçi çözümler bulma konusunda geniş ölçüde yardımcı olmuştur. Geçmişten bu yana tasarımcılar tarafından

geliştirilen yapılar, sistemler, bileşenler ve malzemeler doğanın yapılarından, sistemlerinden ve malzemelerinden kökenlere sahiptir.

Doğadaki tüm canlılarda, form, fonksiyon ve materyallerin eşzamanlı olarak uyum sağlama yeteneğinin olduğu gözlenmiştir. Bu süreç “doğal dünyada çok boyutluluk” olarak düşünülebilir. Doğadaki her organizma aşırılıklardan ve “aşırı inşa etmekten” kaçınır, minimum malzeme ve enerji ile maksimum verim kazanır, geri dönüşüm yapar ve her şey için bir kullanım bulur atık oluşturmaz, yerel uzmanlık gerektirir, güneş ve diğer doğal enerji kaynakları üzerinde çalışır (Benyus, 1997). Tüm bunların yanında doğadaki canlılar sürekli değişen dış koşullara maruz kalmaktadırlar, bu farklılaşan koşullar sadece doğadaki canlıları değil içinde yaşadığımız binaları da etkilemektedir. Bu nedenle de bir binayı oluşturan bina sistemlerinin, bileşenlerinin bulundukları ortamın koşullarına ve gereksinimlerine uyumlu ve cevap verebilir nitelikte olması gerekmektedir. Bunun için en etkin çözüm ise parçası olduğumuz ve çevremizi saran doğanın düzenini anlamak ve ona uyum sağlamaktan geçmektedir (Gür, 2004). Bu nedenle de mimarlığın doğal ve sürdürülebilir tasarımlara dahil olması temel bir gereksinimdir. Mimarlık ve biyoloji arasındaki örtüşmeleri araştırmak, tasarımcıları sadece çevre dostu binaları değil aynı zamanda malzemeler, mekanlar ve sürdürülebilir çevreleri de yaratmaları için yönlendirecektir. Böylece söz konusu sürdürülebilirlik yalnızca ekolojik ve çevresel alanda sınırlı kalmayacak ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik kalkınmaya da katkı sağlayacaktır (Karabetça, 2015).

Biyomimetik mimaride ana fikir şu anda karşılaştığımız hemen hemen her sorun için - ister enerji üretiyor, ister tatlı su buluyor, ister iyi huylu malzemeler üretiyor olsun – doğanın zaten bir çözüm üretmiş olmasıdır. Bu nedenle amaç, doğal formların taklit edilmesini aşmak ve bu formların ve sistemlerin arkasında yatan ilkeleri anlamaya çalışmaktır.

Biyomimetik mimari, doğal formları kopyalayarak değil, bu formları yöneten kuralları anlayarak doğada sürdürülebilirlik için çözümler arayan çağdaş bir mimarlık felsefesidir. Stilistik kodlardan ziyade bir dizi ilkeyi izleyen sürdürülebilir tasarıma çok disiplinli bir yaklaşımdır. İnsan yapımı sorunları çözmek için ilham almak amacıyla doğanın, modellerinin, sistemlerinin ve süreçlerinin incelenmesi daha büyük bir hareket olan biyomimikrinin parçasıdır (Spiegelhalter ve Arch, 2010). Ancak doğanın bilgilerinin bina tasarımına uygulanması şimdiye kadar büyük ölçüde organik formun taklidi ile sınırlı kalmıştır. Biyomimetik mimari, doğayı yapıli formun estetik bileşenlerine ilham kaynağı

olarak kullanmanın ötesine geçer, bunun yerine doğayı binanın işleyişindeki sorunları çözmek için kullanmayı amaçlar. Biyomimetik mimari mutlaka yeni bir estetiğe dönüşmez, biyomimikrinin biyolojiden bir yorumlama, adaptasyon veya türetme içerdiğini vurgulamaktadır (Vincent, Bogatreva ve diğ. 2006). Bu uyarlama süreci genellikle onlara ilham veren organizmaya hemen benzemeyen, ancak aynı işlevsel kavramları kullanan tasarımlarla sonuçlanır. Bu nedenle biyomimikri, tasarımda organik formun estetik taklidi ile ilgilenen organik, biyomorfik veya zoomorfik mimariyle aynı değildir (Feuerstein, 2002). Doğayı daha sürdürülebilir hale getirmek amacıyla taklit eden binalar, yaşayan dünyanın biçiminden ziyade nasıl işlev görebildiğini taklit etmelidir (Mathews, 2011). Yapılı çevrenin çalışma sistemlerini ve içinde bulundukları daha geniş ekosistemler ve kültürel bağlamlarla ilişkilerini dikkate almalıdırlar.

Bilimsel araştırmalar sonucunda ortaya çıkan yeni ekolojik ve biyolojik bilgiler ile doğa insanoğlu için daha anlaşılabilir olmuş ve yapı alanı için çözüm havuzu haline gelmiştir. Bu çözüm havuzunda belirli bir habitatta türlerin esnekliği, uzun ömürlü tasarım için önemli öğretiler sağlayabilir. Örneğin hayvanların iskelet, dolaşım, bağışıklık, sindirim, iletişim ve duyuşal gibi sistemleri olduğu gibi, binaların da yapı, dolaşım, koruma, enerji ve su kullanımı, iletişim ve termal düzenleme sistemleri vardır. Çevre ile etkileşen bir iç sistemler ağı olarak görülmesi gereken ve daha geniş bir küresel sistem ağının bir parçası olan bina, bir hayvanın ekolojik alanı ile olan etkileşimlerinden ilham alabilir. Bu bağlamda biyomimetik yaklaşım mimarlardan, bir binayı içinde yaşanan bir makine olarak düşünmek yerine içinde yaşanan, yaşayan bir varlık olarak düşünmelerini ister (Benyus, 2002).

Koelman'a (2004) göre, biyomimetik yaklaşımlar binalara üç temel şekilde uygulanabilmektedir; daha güçlü, daha dayanımlı, daha sert, kendi kendine bir araya gelen/birleşen ve kendi kendini iyileştiren malzemeler yaparak; ısıtma ve soğutma gibi binaların bazı konfor gereksinimlerini karşılamak için doğal süreçler ve kuvvetler kullanarak; son olarak sıfır atık ve atıkların tekrar kullanımını olanak vererek, kaynakları tüketmek yerine kaynaklara katkı sağlayarak biyomimikri ilkelerini kullanarak/ uygulayarak (Koelman, 2004).

Bu açıklamaya göre biyomimetik yaklaşımların binalara malzeme kapsamında uygulanmasına baktığımızda doğadan gözlem yapma/öğrenme/uyarlama/farkındalık süreçleri ile doğanın malzemelerinin ihtiyaç duyulan hafiflik, mekanik dayanım, kendini

onarabilme ve enerji verimliliği gibi özelliklerini sağlayan biçimsel ve yapısal özelliklerinin incelenmesi, çözümlenmesi ve modellenmesi birçok araştırmacının dikkatini doğadaki canlı ya da cansız unsurlara yöneltmiştir ve çok farklı kullanım alanlarında, yeni ve sürdürülebilir malzeme ihtiyaçlarını karşılamak adına çözüm olabilecek pekçok araştırma ortaya çıkmıştır (Selçuk ve Sorguç, 2007). Bu bağlamda tez çalışması kapsamında biyomimetik yaklaşımların binalara malzeme alanında uygulanmasına dair bazı önemli örneklerin strateji ve teknik prosedürleri bu kısımda incelenmiştir.

2.3.2. Mimarlıkta biyomimetik tasarım örnekleri

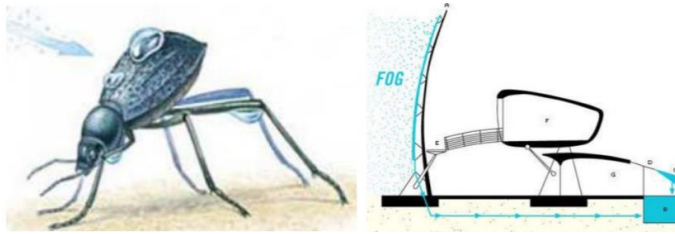
2003 yılında Roma’da inşa edilen ve mimar Richard Meier tarafından tasarlanan Dives in Misericordia Kilisesi’nde (Resim 2.12) sadece yüksek mekanik performans ve dayanıklılık ile değil, prestij ve sembolik anlam açısından da parlak beyaz renkli beton kullanılması gerekmektedir. Lotus bitkisinden ilham alınarak üretilen, estetik görünümünü zaman içinde değişmeden koruyabilen, bu özel betonun kendi kendini temizleme özelliği bulunmaktadır. Bina cephesinde kullanılan bu beton sadece mimari açıdan değil aynı zamanda çevresel etki için de önemlidir (URL 6).



Resim 2.12. Dives in Misericordia Kilisesi’nin beyaz renkli beton cephesi (URL 6).

Namibya Üniversitesi Hidroloji Binası Batı Afrika’da sürdürülebilir kalkınma ve su kullanımını araştırmak için Matthew Parkes tarafından tasarlanmıştır. Tasarımda Namibya Çölü böceğinin su toplama tekniği temel alınmıştır. Namibya iklimi oldukça kuraktır ve arazinin bir bölümü dünyanın en kuru yerlerinden biridir. Mimar, çöl böceğinin kabuk özelliklerinden, sis toplama davranışından ve böylece bu zorlu koşullarda nasıl hayatta kaldığından etkilenmiştir. Böcek su ihtiyacını, vücudunu rüzgara doğru eğerek çöl üzerinde hızla hareket eden sisten yakalayarak karşılamaktadır. Sis, böceğin kabuğunda bulunan değişken hidrofilik, hidrofobik pürüzlü yüzeylerde toplanır ve damlacıklar oluşur, oluşan

damlacıklar daha sonra böceğin ağzına yuvarlanır (Hamilton ve Seely, 1976). Parker sisten toplanan su damlacıklarını kullanılabilir suya dönüştürmek için aynı tip teknolojiyi bir bina tasarımında (Resim 2.13) kullanmıştır. Binanın yönü, suyun etkin bir şekilde toplanabilmesi için okyanusa bakmaktadır. Binadaki örgü elek/ağ üzerinde sisin yakalanmasını daha sonra damlacıkların oluşup dikey yönde elek/ağ boyunca eleklerin altında bulunan oluk sistemine akmasını sağlamıştır. Havanın içindeki nemi yakalayan, kavisli naylon ağ yüzey tıpkı böceğin kabuğunda bulunan tümsekli yapı gibi biçimlendirilmiştir ve hidrofilik bir yüzey meydana getirilmiştir (Maglic, 2012). Bu şekilde toplanan su daha sonra oluklar arasından suyu uygun bir soğutucu sıcaklığında tutan büyük sarnıçlara taşınır, böylece su buharlaşmaz.



Resim 2.13. Namib çöl böceği ve Namibya Hidroloji Merkezi (URL 7).

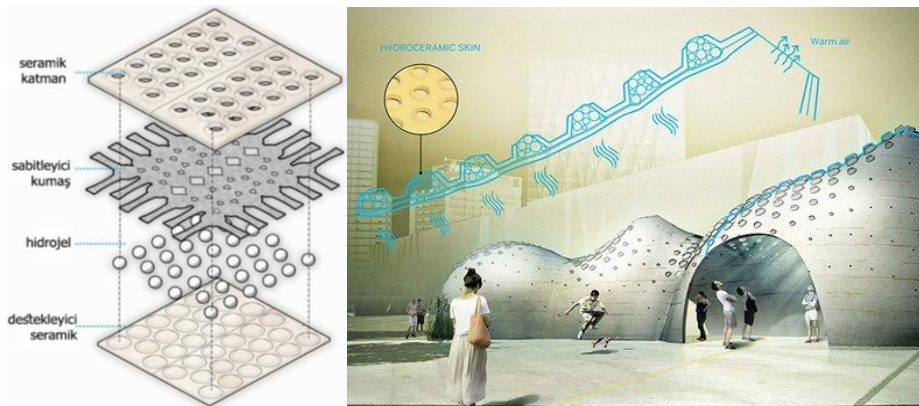
İtalya'da, Milano'daki Expo 2015 için tasarlanan İtalyan Pavyonu başta geçici bir bina olarak tasarlanmışsa da daha sonra sergi alanları, ofisler ve etkinlik alanları ile kalıcı bir yapı haline gelmiştir. Binanın tasarımında orman örüntüsünden yola çıkılmıştır ve “kentsel orman” yorumlaması ile dallanmış dış bir dış kabuk bulunmaktadır. Bu dallanmış dış kabuk yapısı 2000 ton “biyodinamik beton” diye adlandırılan malzemeden oluşmaktadır (Resim 2.14) (URL 8).

Araştırma dünyasının endüstri ile işbirliğinden doğan biyodinamik beton sayesinde etkili bir sonuç elde edilmiştir. Betonda bulunan fotokatalitik etken bileşen, havadaki bazı kirletici maddelerin yakalanmasına, onların inert tuzlara dönüşmesine ve böylece bina cephesinin temiz kalmasını sağlarken dış havanın da kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Beton kolay işlenebilen ve karmaşık şekillere olanak tanıyan özel bir formüle sahiptir. Bu işlenebilirlik sayesinde biyodinamik beton üstün bir yüzey kalitesi sağlamaktadır. Bu betonun üretiminde yararlanılan fotokatalitik etki için bitkilerin fotosentez reaksiyonu sonucu güneş ışığı ile suyun hidrojen ve oksijene ayrışmasından yola çıkılan bir yaklaşım bulunmaktadır.



Resim 2.14. Expo 2015 İtalyan Pavyonu ve biyodinamik beton cephesi (URL 8).

Katalonya İleri Mimarlık Enstitüsü'nün (IAAC) 2014'te geliştirdiği “Hidroseramik Projesi” kapsamında tasarlanan binada (Resim 2.15) iç mekanın termal düzenlemesi ve binanın enerji tüketimini iyileştiren biyometrik bir seramik kaplama malzemesi kullanılmıştır. Bu yapı malzemesinin tasarımında insan cildinin gözenekleri aracılığıyla terleme ve evaporatif soğutma yapmasından yola çıkılarak davranışsal düzeyde biyomimikri yaklaşımından yararlanılmıştır. Hidroseramik malzeme duvarları tek başına soğutan, yüksek sıcaklıkların olduğu günlerde ısıyı düşürmeye ve böylece klima maliyetlerini düşürmeye yardımcı olan bir malzeme sistemidir (URL 9). Malzeme hidrojel denilen su emen bir malzeme ve delikli seramik katmanlarının birleşimiyle oluşmuştur. Hidrojel suyu emer ve sıcak olana kadar tutar, sıcaklık yükseldiğinde su buharlaşarak sıcaklığı düşürür ve nem seviyesini yükseltir. Yani dış ortam ne kadar sıcaksa soğutma etkisi o kadar artar. Malzeme sıcaklığı 5 veya 6 dereceye kadar düşüren ve nemi arttıran evaporatif soğutma malzemesi olarak çalışır (URL10).

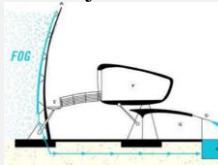


Resim 2.15. Hidroseramik malzeme katmanları ve hidroseramik kaplamalı bina projesi (URL10).

İncelenen örnekler kapsamında mimarların tasarımda çözüm arayışları için doğanın farklı yönlerini inceledikleri ve elde ettikleri bilgileri binalarında malzeme uygulamalarıyla

kullandıkları anlaşılmıştır. Biyomimetik tasarım örnekleri; biyomimikri seviyeleri, esinlenilen biyolojik örnek, bu örneğin uygulanan özellikleri ve çözülen problem açısından Çizelge 2.3'te karşılaştırılmışlardır.

Çizelge 2.3. İncelenen örneklerin biyomimetik özellikleri

Mimari tasarım örneği	Esinlenilen biyolojik örnek	Tasarımda uygulanan özellik	Problemin çözümü	Biyomimikri düzeyi
Dives in Misericordia Kilisesi 	Lotus yaprağı	Lotus yaprakları yüzey yapıları sayesinde kirli bataklık ortamlarında bile her daim temizdirler.	Yapının cephelerinde kullanılan betonun beyaz ve temiz kalabilmesi için kendi kendini temizleme özelliği kullanılmıştır.	Organizma Düzeyi
Namibya Üniversitesi Hidroloji Binası 	Namib çöl böceği	Böceğin kabuk yapısındaki hidrofilik-hidrofobik alanlar ve duruşu ile sisten suyu yakalar ve çöl ortamında hayatta kalırlar.	Kurak iklimde binada kullanılan örgü elek malzemesi ile sisten su toplanarak su problemi çözülmüş.	Organizma Düzeyi
Expo 2015 İtalyan Pavyonu 	Fotosentez reaksiyonu	Fotosentez sayesinde güneş ışığı ile suyun hidrojen ve oksijene ayrışması sağlanır.	Betonda bulunan fotokatalitik bileşen, kirletici maddelerin inert tuzlara dönüşmesine ve böylece bina cephesinin temiz kalmasını sağlarken dış havanın da kirliliğini de azaltır.	Davranış Düzeyi
Hidroseramik Kaplamalı Bina Projesi 	İnsan cildi	İnsan cildi gözenekleri aracılığıyla terleme ve evaporatif soğutma yapar.	Hidroseramik malzeme duvarları tek başına soğutarak yüksek sıcaklıkların olduğu günlerde ısıyı düşürmeye ve böylece klima maliyetlerini ve enerji tüketimini azaltmaya yardımcı olur.	Davranış Düzeyi

Tabloda (Çizelge 2.3) görüldüğü üzere biyomimetik yaklaşımlar ile oluşturulan çözümler binaların malzeme bileşenlerinde çeşitli işlevler açısından etkin rol oynamaktadır. Doğanın geliştirdiği malzemelerin yüzey özellikleri, bileşen özellikleri ve işlevleri, yapı malzemelerine entegre edildiğinde üstün özelliklere sahip malzemeler ortaya çıkmıştır. İncelenen örnekler kapsamında biyomimetik yaklaşımlar mimarlıkta malzeme alanına farklı düzey ve ölçekte uygulanmış olsalar da, incelenen örneklerin tümünde ele alınan problemin

etkin olarak çözülmesi gözlenen ortak paydadır. Bu bağlamda da yapı malzemelerinin özellikleri ve doğadaki malzeme örnekleri araştırılarak, benzer prensiplerin yapı malzemelerine uygulanması, sorunların ve ihtiyaçların çözümünde tasarımcılara yardımcı olacaktır.

2.4. Günümüz Yapı Malzemelerinin Kullanım Ölçütlerinin Belirlenmesi

2.4.1. Geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri ve özellikleri

Yapılara ilişkin yeni gerekliliklerin ortaya çıkması, buna bağlı olarak yapı malzemelerinin üretimi ve kullanımında, bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile yaşam standardındaki kalite beklentileri, beraberinde önemli değişim ve farklılaşmaları güncel hale getirmektedir. Her malzeme için optimum özellikler gözönüne alınarak malzemenin üretimi yanında, kullanımlarında da birey ya da toplum için sınırlılıkların söz konusu olabileceği ve bunların hangi sınırlarda tüketilebileceği gibi konular irdelenmelidir. (Tay ve Show, 1999). Bu bağlamda günümüz dünyasının kültürel, sosyal, ekonomik ve çevresel sorunları dikkate alındığında, mimarlık eyleminin gerçekleştirilmesinde tüm malzemelerin tasarım ve üretim süreçlerinde irdelenmesi; tasarlanan yapı sistemleri ve kullanılan malzemelerin performans odaklı olması ve özelliklerinin iyi anlaşılması önemlidir.

İnsanoğlu doğadan direkt olarak elde ettikleri malzemelerlerden sonra, önce seramikleri sonra metalleri ve daha sonra da polimerleri kullanmıştır. Modern malzeme bilimi, doğal taşlar, ahşap malzemeleri, seramikler ve camlar gibi geleneksel yapı malzemelerinin yanısıra, uzun bir kullanım geçmişine sahip olan polimerler, metaller ve kompozit malzemeler vb. malzemeler üzerine de odaklanmaktadır ve bunun yanında günümüzde artan gereksinimler ile bu malzemelerin geliştirilip performanslarının artırılması için çeşitli teknolojik gelişmeler yaşanmaktadır. Yapısal performans için sürekli artan gereksinimler, daha güçlü, daha sert, daha hafif, ekonomik, estetik, birden fazla işlevi aynı anda sağlayan, uyarılara duyarlı, uzun ömürlü, esnek kullanıma olanak veren ve çevreye zarar vermeyen malzemelerin araştırmasını ve geliştirilmesini sağlamaktadır.

Bu bağlamda gelişen malzeme teknolojileri kapsamında günümüzün yapı malzemelerinin kullanım ölçütlerinin belirlenebilmesi ve anlaşılabilmesi amacıyla bu bölümde mimaride geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan geleneksel ve modern yapı malzemelerinin özellikleri genel olarak incelenmiş ve böylece bu malzemelerin söz konusu ölçütleri karşılayabilme durumuna genel bir bakış sunulmuştur.

Ahşap

Ahşap, yapı üretiminde malzemenin kullanılmaya başlanmasıyla eş zamanlı olarak kullanılan geleneksel bir yapı malzemesidir. Geleneksel süreçte çevreden elde edilip doğal haliyle kullanılan bir yapı malzemesi olan ahşabın yanısıra, malzemenin dayanımını arttırmak, kullanım şeklini ve sınırlarını genişletmek için, günümüzde yapı sektörü ve malzeme teknolojilerindeki gelişmelerle beraber yapay ve çağdaş ahşap yapı malzemeleri de üretilmektedir.

Ahşap doğal bir yapı malzemesidir ve insan sağlığına uyumludur. Ahşap yüzeylerin doğal renk ve desende olması, dolayısıyla açık ya da koyu renkte olabilmesi estetik görünüme katkı sağlar. Ahşap çelik, beton, taş ve kerpiç gibi malzemelerle bir uyum içerisinde kullanılabilir. Ahşap alternatifi olan diğer malzemelere oranla yüksek ısı yalıtımı sağlar, uzun ömürlüdür, akustik açıdan iyi bir malzemedir, gürültüyü emer (URL 11). Ahşap taş ya da tuğla kadar olmasa da basınca ve yatay kullanımda çekmeye ve eğilmeye karşı dayanıklıdır ve dayanımına karşın oldukça hafif bir malzemedir (İzgi, 1999). Geri dönüştürülebilir ve tekrar kullanılabilir, üretim ve uygulama açısından çevre kirliliği oluşturmaz, ömrü tükenince biyolojik olarak yok edilebilir ve ayrıca kaynağı yenilenebilirdir, işlendikten sonra dahi içinde karbondioksiti tutar, kurutulmuş haliyle iyi bir elektrik yalıtkanlığına sahiptir, eldesi ve üretimi oldukça hızlıdır (URL 11). Ahşap genel olarak ısı yalıtımı, akustik ve diğer fiziksel özellikleri ile kullanıcı konforu sağlayan bir malzemedir. Kolay tutuşan bir malzeme olmasına rağmen yangın sırasında uzun süre taşıyıcılık özelliğini kaybetmez.

Ahşabın olumlu özelliklerinin yanında bazı olumsuz özellikleri de mevcuttur. Ahşabın özellikleri elde edildiği ağaç çeşidine göre değişiklik göstermektedir. Ağaçlardaki çeşitlilik farklı ağaç çeşitlerinden elde edilen ahşap yapı malzemelerine de yansımakta böylelikle ahşap malzemeler; yoğunlukları, mukavemetleri, dayanımları, termal özellikleri, elektriksel özellikleri, akustik özellikleri, fiziki görünüşleri, dokuları, kokuları, ağırlıkları ve sertlikleri

gibi temel özelliklerde birbirlerinden farklılıklar göstermektedirler. Malzemenin kimyasal dayanımı da iç mekân hava kalitesi şartlarına ve iklim koşullarına bağlıdır. Bu durumlar malzemede belli bir standardizasyonun oluşmasını engellemektedir (Kartal, 2015). Bunun yanında taşıyıcı olarak kullanılan doğal ahşap malzemelerin boyutları sınırlıdır (İzgi, 1999). Yapay ahşap elemanlar yardımıyla bu sınırlamanın önüne geçilmeye çalışılmaktadır ancak bu tür üretimlerde yapay ahşap elemanların boyutları yanında, üretimi yapan makinelerin ölçüleri ve ahşap elemanların nakliye imkânlarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Taşıyıcı yapay elemanlarda da standart uzunluk sınırlıdır ve bu malzemeler yüksek maliyete sahiptir (Kartal, 2015). Yapı üretimi için kullanılan ahşap malzemelerin doğal yapısından kaynaklanan çeşitli sorunlar genel olarak; yüksek nemlilikte mantar yada böcek tahribatına uğrayabilmesi ve mukavemetin düşmesi, nem oranı değişikliğinde boyut değişimi ve boyut değişikliğinin her doğrultuda aynı olmaması, yanabilen bir malzeme olması, güneş, rüzgâr ve yağmur gibi dış etkilere etkilenebilmesidir. Ahşap mekanik aşınmaya karşı da oldukça dirençsizdir. Ahşap elemanların kullanıldığı ortamda, ışık, sıcaklık ve rutubet gibi çevre şartları tahribata ortam hazırlayabilir. Ayrıca, güneşin etkisiyle ahşabın rengi solup grileşebilir, yağmurun da etkisiyle çatlamalar olabilir ve kirlenebilir (Lewitzki ve Schulze, 1999). Ahşabın böcekler, kurtlar ve mantarlara karşı dayanıksız bir malzeme olması mukavemetinin düşmesinin yanında malzemede küf oluşumuyla beraber insan sağlığına zararlı etkilere sebep olabilmektedir. Ayrıca ahşap malzemeler, her organik malzeme gibi formaldehit yaymaktadır. Formaldehit yayımının insanlar için gözlere, nefes yolları ve bağlı organlara verdiği zararlı olduğu bilinmektedir (Kartal, 2015).

Ahşap malzemenin eldesi kolay olmakla birlikte bu süreç bilinçsiz tüketim orman tahribatı yaratarak çevreye karşı büyük bir sorun teşkil etmektedir. Ahşabın olumsuz yönlerinden biri de; ilk yapım ve kullanım maliyetinin fazla olmasıdır. Ahşap periyodik bakıma ihtiyaç duyan bir malzemedir. Gerektiği şekilde bakımı yapılmayan ahşap malzemenin kullanım ömrü azalmakta ve çürüme başlamaktadır. Sürekli bakıma ihtiyaç duyması, ahşabın kullanım aşamasında da ekonomi sağlamadığını ortaya koymaktadır (URL 12).

Tuğla

Tuğla yapı tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesi sayılabilir. Tuğlalar; kum içeren killi toprakların, suyla karıştırılıp ve hamur haline getirilmesinden sonra kalıplanarak, özel fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen yapı malzemeleridir. Geçmişten günümüze yapı ve

malzeme teknolojilerinin gelişmesiyle beraber tuğlanın masif kullanımı yerini farklı ebatlarda, uygulaması kolay ve daha estetik sistemlere bırakmıştır. Tuğlanın taban tuğlaları, pres tuğlaları, yatay delikli tuğlalar, düşey delikli tuğlalar vb. gibi değişik fonksiyonlara sahip çeşitleri bulunmaktadır (Eriç, 1996). Günümüzde bu malzemelerden elde edilen ürünler, çoğunlukla betonarme yapıların duvar ve döşemelerinde dolgu malzemesi olarak, ayrıca deprem riski az olan bölgelerde sınırlı yükseklikte yığma yapılarda taşıyıcı olarak kullanılmaktadır (Çiçek, 2002). Bu kullanımların yanında cephe kaplaması ve dekoratif amaçlarla da tuğlanın kullanımı oldukça yaygındır.

Tuğla, hammaddesi killi toprak olan, doğadan elde edilen ve tükenme ihtimali olmayan bir malzeme olduğu için yerel bir malzeme olarak nitelendirilebilir. Tuğlalar insan sağlığına zararlı madde içermeyen doğal kaynaklı malzemelerdir. Ekonomiktirler, bakım masrafları gerektirmezler, çeşitli boyut renk ve görünümde oldukları için estetik ihtiyaçları karşılayabilirler, ahşap, beton vb. birçok malzeme ile uyumlu olarak çalışabilirler. Gözenekli yapıları sayesinde ısı yalıtımı sağlarlar, hafiftirler, mekanik dirençleri yüksektir, çeşitlerine ve üretim tekniklerine göre mekanik dayanımları değişmektedir, uzun ömürlüdürler, ses iletimleri azdır (Çiçek, 2002). Tuğla yanıcı olmayan bir malzemedir ısıya ve yangına dayanımı yüksektir, yangın esnasında zehirli gaz salmazlar. Ayrıca geri dönüştürülebilir niteliktedirler, tekrar kullanılma olanaklarına sahiptirler.

Tuğlaların olumsuz özelliklerine baktığımızda ise en göze çarpan etki; malzemelerin çevresel etkileri ile ilgili olan üretim süreçlerinde harcanan fosil kökenli yakıt miktarının ve ortaya çıkan sera gazı miktarının fazla olması ve atmosfere kirletici partikül salınmasıdır. Tuğla endüstrisi her yıl yaklaşık 800 milyon ton küresel CO₂ emisyonundan sorumludur (Joseph ve Tretsiakova-McNally,2010). Her ne kadar tuğla doğal ve sürdürülebilir bir malzeme olarak nitelendirilse de üretiminde gereken enerji miktarı ve olumsuz çevresel etkileri göz ardı edilemez ve bu problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için çalışmalar yürütülmektedir ve tuğla üretim sürecinden ateşleme prosesi çıkarılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca gözenekli yapısı nedeniyle toz ve kir çekmektedir bu da görünümü etkilemenin yanında yapıya statik elektrik yükü de eklemektedir. Tuğlalar aşınma ve çizilmeye yani mekanik aşınmalara karşı dayanıksızdır. Bunların yanı sıra normal şartlar altında tuğla belirli bir miktar suyu emmektedir. Zamanla emilen su tuğlada çeşitli hasarlar meydana getirmektedir. (Eriç, 1996) Tuğlanın mekanik dayanımı su emme oranına bağlıdır. Tuğlanın içerisine giren suyun donarak genişlemesi sonucunda tuğlada çatlaklar, pullanmalar,

kopmalar vb. hasarlar meydana gelmektedir (Güzel, 2006). Tuğlaların kimyasal dayanımlarına baktığımızda kimyasal etkenlere karşı dayanımlarının yüksek olduğunu söylemek mümkünse de tuğlanın yapısında bulunan bazı tuzlardan dolayı çiçeklenme olayı meydana gelmektedir. Tuğlanın su emmesiyle eriyerek yüzeyde tortulaşan bu tuzlar, çiçeklenme olayına sebep olmaktadır. Çiçeklenme dış cephelerde görüntü bozukluklarına sebep olduğu gibi tuğlanın mukavemetini de düşürmektedir (Tuncel, 1998).

Cam

Cam ana maddesi silis olan, inorganik esaslı, yüksek sıcaklıklarda akıcılığı olan, soğuyunca katılaştıran bir malzemedir. Üretimi esnasında hızla soğuduğu için amorf bir yapıdadır, bu özellik cama saydamlık ve sağlamlık kazandırır. Cam geçmişten günümüze kadar gerek inşaat, gerekse süs eşyası olarak kullanılmaktadır. İnsanoğlu tarafından üretilen ilk camın tarihi MÖ 3500’lü yıllara dayanmaktadır (Boduroğlu, Kariptaş ve Sarıman, 2010).

Günümüz mimarlığına gelinceye kadar mimari anlayıştaki değişim süreci içinde değişim ve gelişimden en çok etkilenen unsurlardan biri bina cepheleri ve dolayısıyla da cam olmuştur. Le Corbusier mimarlığın tarihi için; “bu pencerenin mücadelesinin öyküsüdür” diye bir tanımlama yapmıştır (Sezer, 2005). Cam kullanımındaki öncelikli amaç iç mekan çevresel etmenlerden korunurken dış mekan ile görsel bağlantı kurulmasıdır. Mimarlık tarihi boyunca saydamlık konusu daima bir sorun ve ulaşılması gereken bir hedef olmuştur. Geçmişteki teknik sınırlamalar günümüzde teknolojinin gelişmesiyle beraber, geliştirilmiş malzeme özelliklerine ve tasarım esnekliğine bırakmıştır (Slessor, 1998). Bilinen en eski yapı malzemelerinden biri olan cam, uzun bir gelişim sürecinin ardından günümüz mimarlığındaki yerini almıştır. 17.yüzyıla kadar sanayileşmemiş olan camın asıl gelişimi son yüzyılda olmuştur.

Teknolojideki gelişmeyle birlikte yapı malzemesi olarak cam, tasarımda hem teknik hem estetik yönden özgürlük ve özgünlük sunmaktadır (Onat, 2004). 20. yüzyılın ilk yarısına kadar sadece pencerelerde kullanılan cam, daha sonra cephenin tamamında kullanılmaya başlanan modern bir yapı malzemesi haline gelmiştir ve günümüz mimarisinde özellikle yüksek binalarda en fazla kullanılan malzeme olmuştur. Bu gelişmelerle beraber camlardan beklentiler de değişmiştir. Farklı beklentilere göre yapıda kullanılabilecek çeşitli cam türleri üretilmiş; ısı kontrolü, güneş kontrolü sağlayan, ısıya dirençli, darbeye dayanıklı, yüksek

optik özellikleri olan, yangına dayanıklı vb. özellikleri olan birçok nitelikli cam türü bulunmaktadır. Cam teknolojilerindeki gelişmeler enerji korunumu ve verimliliği açısından da olumlu etkiler sağlamaktadır. İç mekanda sadece aydınlatmanın getirdiği enerji yükünde değil, aynı zamanda ısıtma soğutma için harcanan enerjide de azalma sağlanarak enerji tasarrufu ile iklimlendirme ve görsel açıdan konfor koşulları yaratılır (URL 13).

Yapı malzemesi olarak camın genel özellikleri şu şekilde özetlenebilir; mimaride kullanımını yaygınlaştıran en önemli özelliği saydamlığıdır, optik özellikleri gelişmiştir. Cam malzeme esnek çözümler sunar, estetikdir. Cam yüksek ısı iletkenliğine ve geçirgenliğine sahiptir, bu da bina ve çevresi arasında istenmeyen ısı kazanımı ve kaybına neden olmaktadır, özellikle ısı geçirgenliği nedeniyle ısıtma giderlerine olumsuz etkisi olmaktadır (Eriç, 2002).

Camın statik dayanımı düşüktür, kırılabilirliği fazladır. Dayanımdaki düşüşü yapım sürecinde kazandığı yüzey özellikleri de etkilemektedir, cam tamamen düzgün yapıda bir malzeme değildir yüzeyinde mikro çatlaklar girinti ve çıkıntılar bulunmaktadır (Sev, Gür ve Özgen, 2003). Uygulaması kolay olsa da montaj sırasında dikkatli davranılmalıdır, cephe montajındaki hatalar kullanıcı konfor şartlarını ve güvenliğini olumsuz etkilemektedir. Özel olarak geliştirilmemiş camların akustik performansları zayıftır, camın kalınlığı arttırılsa dahi belli bir seviyeden sonra cam gürültü kontrolünde yetersiz kalacaktır. Yangın esnasında camlar belli bir ısıya ulaşınca patlayarak etrafa dağılmaktadır bu da can ve mal kaybına neden olabilmektedir (Yaman ve Sarıcıoğlu, 2017). Günümüzde yüksek binalarda kullanılan cam cepheler için rüzgar yüküne karşı dayanıklılık önemlidir. Camlar sudan pek etkilenmezler ancak basınç altındaki su buharına maruz kalırlarsa kolayca aşınabilirler, su ve neme karşı dayanımları vardır. Cam etkileşimde bulunduğu gaz ve sıvılara karşı dirençlidir, kimyasal dayanımı yüksektir ancak mekanik aşınmadan etkilenir. Cam malzeme kullanım aşamasında insan sağlığı ile uyumludur, hiçbir zararlı etkisi yoktur. Geri dönüştürülebilir niteliktedir, kullanım ömrünü tamamladıktan sonra tekrar kullanılabilir (Boduroğlu, Kariptaş ve Sarıman, 2010).

Camın üretiminde yerel kullanılan hammadde doğadan elde edilir, tükenme ihtimali yoktur ve bu nedenle yerel bir malzemedir. Ancak diğer doğal kaynaklı malzemelerde olduğu gibi hammadde eldesi aşamasında çevreye zarar verilmektedir (Onat, 2004). Cam sektöründe CO₂ emisyonu yüksektir. Bu emisyonlar hammaddenin elde edilmesi için ve camın üretim

sürecinde eritme işlemi için gerekli olan ısıdan dolayı harcanan enerjiden kaynaklanmaktadır, bu nedenle de cam enerji tüketimi açısından olumsuz özelliğe sahiptir (Boduroğlu, Kariptaş ve Sarıman, 2010). Bir diğer olumsuzluk ise camın özellikle dış cephelerde kullanıldığında çok çabuk kirlenmesidir. Bu da ısı, ışık, görüntü, estetik sorunları meydana getirmekte bu durum da sürekli temizlenme ve bakım ihtiyacına yol açtığı için, zaman ve enerji kaybına neden olmaktadır. Kirlenmenin yanında cam yüzeyler sıcaklık farklarından ve buhar etkisinden dolayı buğulanmaktadır bu durum camın optik özelliklerini olumsuz etkilemekte doğal aydınlatmayı azaltmakta, güneş enerjisi sistemlerinde enerji verimliliğini düşürmekte, bazı kritik durumlarda güvenliği olumsuz etkilemektedir. Camın buğulanması gibi buzlanması da aynı olumsuz etkilere sahiptir. Camın bu olumsuz ve zayıf özelliklerini ortadan kaldırmak veya azaltmak için teknolojinin yardımıyla yeni çözüm yolları geliştirilmekte ve bu konuda araştırmalar devam etmektedir.

Doğal taşlar

Doğal taşlar tarih öncesi dönemlerden bu yana yapım sürecinin başlamasıyla beraber kullanılan geleneksel yapı malzemelerindendir. Özellikle Endüstri Devrimi öncesinde taşıyıcı amaçlı masif, strüktürel eleman olarak genelde yığma yapılarda kullanılmış ve doğada neredeyse kullanıma hazır halde olan malzeme çevreden elde edilerek geleneksel yöntemlerle şekillendirilmiştir. Günümüzde ise doğal taşların üretiminde ve eldesinde geleneksel yöntemlerden uzaklaşmıştır. Gelişen teknoloji ile beraber doğal taşlar istenen boyut ve şekilde kesilerek kullanılmaktadır bu da tasarımda esneklik ve estetik görünüme katkı sağlamaktadır. Endüstri devriminden sonra doğal taşlar masif, strüktürel eleman olarak kullanılma özelliklerini çoğunlukla yitirip, malzeme çeşitlerinde meydana gelen gelişmelerle beraber günümüzde genelde özel amaçlarla kullanılır hale gelmişlerdir (Berber, 2012). Doğal taş yapıların duvarlarının tamamında ya da düşey veya yatay taşıyıcı malzeme olarak, yapının yüzeylerinde kaplama malzemesi olarak, yapının farklı bölümlerinde süsleme ve dekorasyon malzemesi olarak ve çeşitli büyüklüklerde kırılarak ya da toz haline getirilerek agrega olarak kullanılmaktadır (MEB, 2013).

Doğal taşın yapı malzemesi olarak özellikleri taşın cinsine ve onu oluşturan minerallerin bağlanma sekline göre değişiklik gösterir (URL 14). Doğal taşlar yüksek yoğunluğa, yüksek dayanıklılığa, yüksek yüzey sertliğine ve yüksek termal iletkenliğe sahiptir. Taşıyıcı

nitelikleri yüksektir ancak basınç ve eğilmede çekme dayanımları taşın türüne göre değişiklik göstermektedir, bu nedenle de belli bir standardı yoktur (Çorbacı, 2015).

Doğal taşın basınç ve aşınma direnci yüksektir. Doğada yaygın olarak bulunur, doğal bir malzemedir, insan sağlığına olumsuz etkisi yoktur, yiyecek hazırlanan mekânlarda güvenle kullanılmaktadır. Yanıcı değildir ve yangın sırasında da sağlığa zararlı herhangi bir madde açığa çıkmamaktadır. Doğal taş ısıyı iyi soğurmakta ve yalıtım sağlamaktadır. Binaların dışına kaplandığında binanın istenmeyen şekilde ısınmasını soğumasını engellemektedir (URL 14). Bazı doğal taşların çok iyi ısı iletkenliği olmasının yanında çok yüksek bir ısı depolama kapasitesi de bulunmaktadır. Isıl kütlesi, ısı gecikme zamanının uzun olması sayesinde iç mekan iklimlendirmesinde etkilidir. Maliyet kullanım ömrü açısından ekonomiktir. Renk, yapı, doku, yüzey çeşitliliği ve istenilen boyut ve şekilde üretilmeleri sayesinde estetik etki yaratırlar. Bölgelere ve iklimlere göre değişik kullanım şekilleri bulunur (Berber, 2012) ve taşın bir araya gelişindeki detaylar, düzen tasarım dilini oluşturur ve inşa edildiği yöresel bölgenin mimari karakterini belirler. Bazı durumlarda herhangi bir birleştiriciye, bağlayıcıya gerek kalmadan bir araya getirilip örülebilir. Doğal taş uygulamalarında malzeme kadar işçilik de çok önemlidir (İzgi, 1999).

Doğal taşların bu olumlu özelliklerine rağmen bazı olumsuz özellikleri bulunmaktadır. Doğal taşlar birim ağırlıkları ve yoğunlukları nedeniyle yapıya statik yük bindirirler. İşlenme ve kullanma olanakları konusunda da bazı zorluklar bulunmaktadır (Berber, 2012). Mekanik dayanımları, yangın, kimyasal madde, aşınma dirençleri gibi özelliklerin sağlanabilmesi için belirli kalınlıkta kullanılmaları gerekmektedir ve bu nedenle alan ve yer kaybına neden olmaktadır.

Doğal taşlar taş ocaklarından elde edilmektedirler. Taşlar ocaklardan kütleler halinde çıkarılır daha sonra plakalar halinde yapıda kullanıma uygun şekil ve boyutlara getirilir. Taşın ocaktan çıkarılması amacıyla kanal açma makineleri ve patlayıcılar kullanılmaktadır. Kanal açma işlemi sırasında taşta zayıt olmakta, patlayıcılar kullanıldığında ise taş ocaklarının etrafındaki çevre tahrip edilmekte ve hayvanların doğal yaşam alanları bozulmaktadır. Bunların yanında taş yüzeylerinde asit ve kumla yapılan bazı uygulamalar da yine çevreye zarar vermektedir (Kartal, 2018).

Taşların dayanımları ve dirençleri genel olarak yüksek olsa da çoğu zaman çevresel ve zamana bağlı faktörler sebebiyle bozulmalara maruz kalmaktadırlar. Bu etkiler sonucu zamanla zayıflayan taşlar fiziksel ve mekanik özelliklerinin çoğunu kaybetmektedir. Bu etkiler taşların doğal bağlayıcılarının eriyerek uzaklaşmasına ve yüzeyde kabuk oluşumuna yol açmaktadır. Nemli ve kuru havanın birbirini takip etmesi sonucunda da taşta parça kopmaları ve ufalanmalar meydana gelebilmektedir (Hattap, 2002). Yapıların doğrudan dış çevreyle etkileşimde olan çatı, dış duvar ve dış cephelerinde kullanılan doğal taşlar bu durumdan daha çok etkilenmektedir. Bu taşlar yağmurun, suyun yüzeydeki hareketi, ıslanma-kuruma, donma-çözünme döngüleri, sıcaklık değişimleri ve rüzgarın etkisiyle bozulmaktadır. Hava kirliliği de doğal taşları bu yönde olumsuz etkilemektedir, taş yüzeyler kirin ve tozun tutunması için gerekli pürüzlü yüzey dokusuna sahiptir. Havada taşınan kirletici partiküller zamanla taş yüzeyine yapışıp birikir ve taş yüzeyinin doğrudan yağmur suyu ile yıkanmayan bölümlerinde hava kirliliği sonucunda siyah tabakalar ve kabuk atma görülmektedir. Taşın yüzeyinde kalın ve koyu gri-siyah renkli kabuk halinde meydana gelen bu durum sonucunda estetik görünüm bozulur, temizlenme ve bakım ihtiyacı doğar. Doğal taşlardaki bu olumsuz etkilerde fiziksel ve kimyasal bozunmadan ziyade özellikle biyolojik bozunmanın da önemi büyüktür. Bakteri ve mantarlar taşta pul pul dökülmelere, hayvanlar deliklere, likenler ise taşta kabuk ve çukurlara neden olurlar (Dolar ve Yılmaz, 2014).

Yapıda kullanılacak taşların özellikleri farklılık gösterdiğinden kullanım yeri ve amacına uygun seçilmeleri gerekmektedir. Taşları seçerken; birim hacim ağırlıkları, su emme, aşınmaya, ısıya, darbeye, neme ve aside dayanıklılıkları, basınca ve çekme mukavemeti, atmosferik etkilere dayanımları, eğilme mukavemeti, taşın iç yapısından kaynaklı çatlak olup olmadığı, UV ışınlarına bağlı renklerinde değişim olup olmadığı (Berber, 2012), ateşe dayanıklı olması, işlenebilirliği dikkat edilmesi gereken kriterlerdir (Çorbacı, 2015). Bu kriterlerin maksimum düzeyde sağlanabilmesi için yapay taş endüstrisi gelişmiştir. Yapay taşlar estetik, hijyenik, uzun ömür, asitten etkilenmeyen, ısıya ve kimyasal kirliliğe karşı dayanıklı olarak, taşın işlenmesini kolaylaştırıp hızlandıran teknolojilerle üretilmektedirler ve doğal taşlara oranla daha sert ve dayanıklı olduklarından her yerde, özellikle yoğun sirkülasyonun olduğu alanlarda cephe ve dış mekan kaplamalarında kullanılmaktadırlar. Yapay taş malzemeler; doğal taş malzemenin, doğal görünüşü, özel dokusu, dayanıklılığının yüksek olması ve dış etkilere dayanım özelliklerine rağmen yapay taşların sağlamış olduğu çok çeşitli görsel etki, ebat ve detay çeşitleri sayesinde sağladığı kolaylık nedeniyle de tercih edilebilmektedir (Berber, 2012).

Seramik malzemeler

Bir ya da daha fazla metalin metal olmayan bir elementle yüksek sıcaklıkta bir araya getirilmesiyle oluşan malzemedir. Seramik sürekli kendini yenilemiş Geçmişten günümüze ulaşarak hem geleneksel hem çağdaş malzemelerden biri olmuştur. Seramikler, mühendislik malzemeleri içinde kullanımı yaygın olan malzemelerdendir, çünkü seramikler; kırılğan ve tok, opak ve saydam, yalıtkan, yarı iletken ve süper iletken, düşük ve yüksek ergime dereceli, tek kristal ve çok kristal, kristal ve camsı, gözenekli ve yoğun olarak; birbirinin tersi özelliklere sahip geniş bir malzeme ailesidir. (Toplan, 2008). Seramik malzemeler genellikle; geleneksel seramikler ve ileri teknoloji seramikleri olmak üzere iki grupta ele alınırlar. Geleneksel seramikler genelde mimaride, sıhhi ürünlerde, tıbbi aletlerde vb. yerlerde; ileri teknoloji seramikler ise kalça protezi, çip malzemesi bilgisayar teknolojileri, havacılık malzemeleri vb. yerlerde kullanılır. Seramik malzemeler genellikle; geleneksel seramikler ve ileri teknoloji seramikleri olmak üzere iki grupta ele alınırlar. Geleneksel seramikler genelde mimaride, sıhhi ürünlerde, tıbbi aletlerde vb. yerlerde; ileri teknoloji seramikler ise kalça protezi, çip malzemesi bilgisayar teknolojileri, havacılık malzemeleri vb yerlerde kullanılır (Pekdemir, 2019).

Bu çalışmada yapı sektöründe kullanımı yaygın olan klasik, geleneksel seramik malzeme olarak yer duvar karosu, sıhhi tesisat ürünleri ve cephe karolarının genel özellikleri incelenmiştir. Karo seramik, seramik malzemeden çeşitli ebatlarda levhalar halinde üretilen, zemin ve duvar kaplama malzemesidir. Seramik; kil, kum ve diğer doğal malzemelerin karışımlarından oluşmaktadır (Timellini ve Palmonari, 1989). Seramik karolar, farklı kullanım olanakları ve alanları olan esnek tasarıma uygun bir malzemedir. Çeşitli bileşikler kullanılarak amaca uygun seramikler üretilmektedir. Duvar, zemin, dış cephe ve sıhhi ürünlerde kullanılmaktadırlar. İstenilen formda üretilebilme kolaylığı sunarlar, uygulaması ve işçiliği kolaydır. Seramik karolar fırınlarda çok yüksek derecede pişirildikleri için sert, yoğun ve çok dayanıklı bir yapı malzemesi haline gelmektedirler (Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi, 1997).

Seramikler, yüksek derecede fırınlanması sonucu oluşan kararlı yapısı sayesinde diğer maddelerle veya çevresiyle etkileşime girme eğiliminde değildir veya çok az eğilimlidir. Seramik malzemeler çözünmeye veya değişmeye uğramaz, sadece suyla temasta değil asit, deterjan gibi çoğu kimyasal malzemeden de etkilenmezler. Birçok ortamda yüksek kimyasal

kararlılıkları vardır (Timellini ve Palmonari, 1989). Yüksek sıcaklıklara ve donmaya dayanıklı, yüksek ergime derecesine sahip, korozyona ve oksitlenmeye dirençli, Sürtünme katsayıları düşük, mekanik aşınmaya dayanıklı, elektrik ve ısı iletkenlikleri düşüktür (Karagöz, 2008). Kıl, kum gibi malzemelerden oluştukları için doğal, insan sağlığı açısından zararsız malzemelerdir. Hammadde kaynakları bol ve ucuzdur, üretiminde pahalı ve stratejik metallere gerek duyulmamaktadır. Yüzey alanlarına oranla oldukça ince malzemelerdir bu nedenle de hafiftirler. Kolay temizlenirler, Seramik malzemeler, genellikle metal oksitlerle renklendirilmiş olduklarından UV ışınlarına karşı iyi bir dayanım gösterirler, renkleri sararmaz ve solmaz. Son derece dayanıklı bir malzeme olduğu için uzun yıllar boyunca kullanılabilirler, uzun ömürlüdürler. Üzerine yapılabilen çeşitli desenler sayesinde estetik malzemelerdir seçim olanakları ve çeşitlilikleri fazladır. Basınç mukavemetleri yüksek ancak çekme mukavemetleri düşüktür. Seramikler sert gevrek ve kırılgan bir yapıya sahiptir (Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi, 1997).

Üretimleri sırasında fırınlarda çok yüksek derecede pişirilmeleri nedeniyle yüksek enerji ve fosil yakıt tüketimleri vardır, CO₂ emisyonları yüksektir. Bunun yanında özellikle cephe kaplamalarında kullanılan seramik malzemeler dış ortam koşullarına maruz kaldıkları için kirlenirler, bu da istenmeyen görünüm oluşmasına, bakım ve yenileme masraflarının artmasına neden olmaktadır. Aynı şekilde bina içinde özellikle ıslak hacimlerde kullanılan seramiklerde de su lekesi, kir ve kireç birikimi bunlara bağlı zararlı mikroorganizma oluşumu görülmektedir bu da iç ortam hava kalitesini etkileyerek koku oluşumuna sebebiyet verebilmektedir.

Beton

Beton agrega çimento, su ve katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen ilk önce plastik halde bulunan, daha sonra döküldüğü kalıbın şeklini alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun bulunuşu ve kullanımı uzun yıllar öncesine dayanmaktadır ve günümüzde inşaat sektöründe kullanımı yaygın olan, farklı alanlarda değişik gereksinim ve fonksiyonlara cevap verebilen, teknolojik gelişmelerle işlevi ve özellikleri geliştirilen bir malzemedir. Endüstri devriminin ardından yaygınlaşmasına rağmen, günümüzde betonun dünya çapında yıllık üretim miktarı ortalama 13 milyar ton seviyelerindedir, insanoğlu sadece suyu betondan daha yüksek oranda tüketmektedir (Şahmaran, 2017). Betonun bu kadar yüksek oranda ve yaygın olarak kullanılmasında

ekonomikliği, üretim kolaylığı, döküldüğü kalıbın şeklini alması, kolay şekil verilebilir olması ile kazandığı plastik form ve demirle birleşiminin ortaya koyduğu direnç gibi özellikleri etkilidir (Eriç,1970). Bu özellikler doğal taşlarla yapılamayan birçok yapı elemanının üretilmesini mümkün kılmıştır. Sertleşmiş betonun basınç dayanımı oldukça yüksek ancak çekme dayanımı düşüktür, bu nedenle beton malzeme çelik donatılarla birleştirilerek çekmeye dayanımlı hale getirilir. Betonu çelikle iyi aderans göstermesinin yanında boya, kireç vb. malzemelerle de uyumludur. Yüksek dayanım değerlerine sahip olduğu için uzun ömürlüdür, çevresel etmenlere ve yangına karşı dayanımlıdır (Kartal, 2018).

Normal betonlar metrekaresine düşen ağırlıklarının ses geçişini önlemede yeterli olması nedeniyle gürültü kontrolünde kullanılabilir. Beton yol köprü havaalanı döşeme kaplamaları ve su boruları gibi aşınma etkisi olan yerlerde kullanılır ve genellikle basınç dayanımı yüksek olan betonların aşınma dayanımları da yüksektir. Beton sadece bu çok yönlü özelliklerinden dolayı değil aynı zamanda mimari bir malzeme olduğu için de yaygın olarak kullanılır. Taşıyıcı ve yapı malzemesi olarak kullanımının yanında tematik ve estetik amaçlarla da kullanılmaktadır. Plastik bir malzeme olduğu için karmaşık biçimlerde dökülebilir, yüzeyine doku verilebilir, pigment kullanılarak renklendirilebilir (Karagüler, 2017).

Betonun özelliklerini genel olarak agrega belirler. Betonun basınç dayanımı, aşınma dayanımı, yangın direnci vb. özellikleri betondaki su/çimento oranına, agreganın tane büyüklüğüne, tane dağılımına, agreganın yüzey yapısına, biçimine, cinsine, agrega dayanımına ve yanında çimento tipine göre değişmektedir (Şahmaran, 2017). Örneğin betonun çimento miktarı agregaya kıyasla az ise aşınma etkisi agregaya gelir, aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması betonun aşınmaya karşı dayanımını artırır. Beton yangına dayanıklıdır ancak beton içerisindeki hidrate çimento tanecikleri ısıya etkisiyle beraber dehidrate olur ve betonun dayanımı düşer, agregalar da ısıyla deforme olurlar, yangın sırasında ısı çok yükseldiğinde beton patlayabilir. Beton üretilirken agrega olarak içine bazı geri dönüştürülmüş veya atık malzemeler de eklenebilmektedir. Böylelikle çevresel olarak olumsuz özelliklere sahip atıklar kullanılabildiği gibi yenilemeyen hammaddelerin tüketimi de engellenebilmektedir (Kartal, 2018).

Bahsedilen olumlu özelliklerine rağmen betonun bileşiminde kullanılan malzemelerin üretim süreçlerine bağlı olarak çevreye ciddi olumsuz etkileri bulunmaktadır. Malzemenin içinde bulunan çimentonun üretim sürecinde gerekli ısı için oldukça yüksek miktarda enerji tüketilmekte ve karbon salınımı gerçekleşmektedir. Beton sanayi her yıl agrega olarak kullanılmak üzere 10 milyar ton taş ve kum, 10 milyar ton su tüketmekte böylece yüksek oranda doğal kaynak tüketimine yol açmaktadır. Agreganın doğadan elde edilmesi sırasında oluşan en büyük sorunlardan birisi doğal topografyanın bozulmasıdır, agregaların temini doğada kalıcı izler bırakmaktadır. Bunun sonucunda erozyon, hava ve su kirliliği gibi olumsuzluklar oluşmaktadır. Beton malzemenin üretiminde, hammaddelerin elde edilmesi, bileşen haline getirilmesi, nakliyesi, kullanılması sırasında yüksek miktarda enerji harcanmaktadır. Kullanılan enerji miktarının fazla olması daha çok fosil yakıt kullanımını ve çevre kirliliğini beraberinde getirmektedir (Boduroğlu, Kariptaş ve Sarıman, 2010).

Dünyadaki karbon salınımının %7'lik miktarının çimento ve beton sanayinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Dünya nüfusundaki artış ve betonun kullanımına artan talep ile birlikte bu oranın aşırı biçimde artacağı düşünülmektedir (Kartal, 2018). Beton üretimi sırasında sadece CO₂ ortaya çıkmamakta, CO, SO ve NO gibi çok sayıda farklı hava kirleticisi partikül de ortaya çıkmakta ve bu hava kirleticiler de hem insan sağlığını hem de yapı sağlığını tehlikeye atmaktadır. Atmosferde yoğun miktarda bulunan bu kirleticiler yağmurlarla toprak ve suya karışmaktadır.

Beton yapıların yıkımı ve ortadan kaldırılması esnasında da ortaya çıkan çevresel sorunlar oldukça fazladır. Beton yapıların yıkımı sırasında hem hava hem de su kirliliği artmaktadır. Betonun ekolojik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla üretim sürecinde kullanılan malzemelerin enerji girdilerinin ve çevresel kirliliğe etkilerinin azaltılabilmesi için önemli çalışmalar yürütülmektedir. Bu etkilerin azaltılmasının yanında betonun özelliklerinin geliştirilmesi ve betona yeni üstün özellikler eklenmesi için de çalışmalar yaygındır ve gelişen teknoloji ile kullanılabilecek özel beton türleri geliştirilmiştir. (Kartal, 2018). Betonun çevresel olumsuz etkilerinin yanında ağır bir malzeme olması da olumsuz özelliğidir, yapıya statik yük bindirir, aşırı yüklemeler altında güvenlik eksikliği bulunur, uzun süreli kullanımda dürabilite (çevresel etkilere karşı dayanıklılık) eksikliği görülebilmektedir (Şahmaran, 2017).

Normal geçirimli betonlar su emer ve su betonun iç bölgelerine ilerleyince beton hasar görür ve dayanımı düşer. Betonun su emmesi sonucu çiçeklenme olayı da görülmektedir, çiçeklenme beton içindeki tuzların su ile çözülüp beton yüzeyine çıkmasıdır ve estetik açıdan görünümü bozar. Ayrıca beton yüzeyi mekanik aşınmaya karşı dayanıksızdır. Tozuma ve parça kopması görülebilmektedir.

Betonun büzülmesi, aşırı donma ve çözülme gibi doğal süreçler ve ağır yükler betonda çatlamayı tetikleyebilir. Çatlaklar estetik açıdan olumsuz etki yarattığı gibi, beton dayanımı açısından zamanla çatlaklardan içeriye betona zararlı malzemelerin sızmasına neden olmaktadır. Betondaki büyük çatlaklar kadar küçük çatlaklar da tehlikeli olabilmektedir. Beton, çelik takviyelerin etrafında sıklıkla bir destek olarak kullanılır ve küçük çatlaklar bile çeliği aşındıran, dayanımı azaltan hatta yıkıcı çöküşe bile neden olabilen su, oksijen ve karbondioksiti kanallandırmaktadır. Bu durum sürekli kullanımda olan köprüler ve otoyollar gibi yapılarda felakete yol açmadan tespit edilmelidir bu da büyük ve masraflı bir süreçtir (Şahmaran, 2017). Betondaki çatlakların oluşmasını önlemek ya da bu çatlakların kapanmasını sağlamak için çeşitli teknolojiler ve yöntemler geliştirilmekte bu konuda araştırmalar devam etmektedir.

Metaller

Metallerin yapı malzemesi olarak kullanımı Endüstri Devrimi'nden sonra yaygınlaşmıştır. Bu döneme kadar üretimleri zor olduğu için çok yaygın kullanılamayan metallerin 19. yy'da endüstriyel üretimi başlamış, ardından ise günümüzdeki kullanımına kavuşmuştur. Metaller Endüstri Devrimi'nin en önemli sembollerinden biri haline gelmiştir.

Metaller günümüzde yapılarda taşıyıcı, kaplama ve detay malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. İnşaatta kullanılan metaller, bileşimlerine göre demirli metaller ve demirsiz metaller olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Demirsiz metaller demir olmayan metallerin endüstride önemli kullanım alanları vardır. Demirsiz metaller, bileşiminde demir bulundurmeyen tüm diğer metallerdir, örnek olarak alüminyum, bakır, çinko, kurşun ve bunların alaşımları gösterilebilir. Bu metaller yapıda genellikle taşıyıcı görevi olmayan veya çok az olan elemanların yapımında kullanılır, bundan dolayı da detay malzemeleri sınıfına girmektedirler. Bu metaller korozyona dayanıklı, hafif, güzel görünümlü, kolay işlenebilir, çok iyi elektrik ve ısı iletkenliğine sahip malzemelerdir. Yapılarda yağmur suyu

malzemelerinde, saçaklarda çatı malzemelerinde, boru ve bağlantı elemanlarında, elektrik kablolarında, dekoratif amaçlarla bina içinde ve dışında kullanılabilir (MEB, 2012). Ancak demirsiz metallerin elastisite modülleri, sertlik ve mukavemetleri daha düşüktür bunun yanında ekonomik açıdan pahalı malzemelerdir.

Demir esaslı metaller ise bileşiminde demir bulunan metallerdir, demir, çelik ve çeşitli demir ve çelik alaşımları bu malzemelere örnek olarak gösterilebilir. Demirli metaller yapıda taşıyıcı eleman olarak kullanılmaktadır. Bu metaller arasından çelik günümüzde yapılarda en yaygın olarak kullanılan malzemelerden biridir. Çelik malzemeler yapıda; betonarme yapılarda donatı olarak veya çelik yapılarda taşıyıcı malzeme (profil) olarak iki şekilde kullanılmaktadır. Çelik çok dayanıklı bir yapı malzemesidir, homojen yapıdadır bu nedenle kendisinden bekleneni karşılar, sürpriz davranışlar sergilemez, statik hesaplarda hata payı düşüktür, hafiftir, kendi ağırlığına oranla çok fazla yük taşır, deprem yüklerini alır, küçük kesitler ile kolonsuz geçiş imkânı sağlarlar büyük mekanlarda istenilen tasarımın yapılmasına olanak tanır ve değişimlere kolayca uyum sağladığı için de tasarımda esneklik sağlar, uzun ömürlüdür, kolay bakım, onarım, değişim olanakları vardır, çelik malzeme yüksek oranda geri dönüştürülebilir niteliktedir (Özdil, 2007).

Demir ve çelik yapı malzemesi olarak zehirli değildir, uçucu zararlı bileşikler yaymazlar, alerjik değildir, sağlığa zararları yoktur, biyolojik zararlılardan etkilenmezler. Çelik malzemeler betonla çok iyi aderans sağlar, çelik malzemelerin büyük çoğunluğu metal ve plastik malzemeler ile kaplanmaya ve boyanmaya elverişlidirler, diğer yapı malzemeleriyle kullanımda uyumluluk gösterirler (MEB, 2012).

Çelik malzemelerin olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Çelik malzemeler yanıcı olmamasına rağmen ısı yükseldikçe malzemenin mukavemeti ve elastiklik modülü hızla düşer ve çeliğin taşıma gücü kaybolur. Yangın sırasında yükselen ısıya çelik konstrüksiyon üzerinde de yıkıcı etkileri vardır, ısınan çelik malzeme genişler ve uzar birleşim noktalarında bozulmalar meydana gelir. Çeliğin yüksek ısıdan olumsuz etkilenmemesi için özel kürler ve bakımlar yapılabilmektedir ancak bu da maliyeti arttırmaktadır. Çelik oksijen, su veya kimyasal bir madde ile temas ettiğinde korozyona uğrayabilmekte ve bu da periyodik bakım ve yalıtım ihtiyacını doğurmaktadır. Isı, ses iletkenliği yüksek olduğu için yalıtım maliyetleri yüksektir. Çelik diğer malzemelere oranla pahalı bir malzemedir. Ayrıca çelik yapı alanında

kalifiye kalifiye eleman gerekmektedir ancak bu alandaki kalifiye eleman azlığı bir dezavantajdır.

Çeliğin özelliklerinin yanında genel olarak yapı malzemesi olarak kullanılan metal malzemelerin kendine has özelliklerine baktığımızda olumlu ve olumsuz yönleri olduğu görülmektedir. Metaller çok yüksek çekme ve basınç dayanımlarına sahiptirler, homojen ve boşluksuz yapıdadırlar, yük altında çok az şekil değiştirirler, çok ince levhalar halinde kullanıldıklarında bile sıvı ve gazlara karşı geçirimsizdirler, darbeye ve mekanik aşınmaya dirençlidirler, parlaktırlar ve ışığı yansıtırlar, kolayca şekillendirilip tel, levha ve toz haline getirilebilirler, elektrik ve ısıyı iyi iletirler, bakım ihtiyaçları vardır ancak bakımları diğer malzemelerden daha kolaydır, yüzeylerinin düzgün olduğu için az kir tutarlar, UV ışınlarından etkilenmezler, radyasyonu yansıtırlar, dış tesirlere dayanıklıdırlar, uzun ömürlüdürler, renk ve doku çeşitliliği fazladır, estetik görünüm sağlarlar, yeniden kullanıma ve geri dönüşüme uygundurlar.

Metal malzemelerin korozyon dayanımları düşüktür ve korozyon etkisiyle kütle kaybına uğrarlar, yüzeylerinde istenmeyen buğulanma ve buz birikimi görülür, özellikle metal çatı uygulamalarında yoğuşma görülmektedir, yoğuşma etkisi ısı transferi katsayısını yükseltir, ısı kayıplarını da arttırır. Isı iletkenlikleri yüksek olduğu için metal malzemeler yalıtım gerektirir (Biçer ve Işık, 2012). Zamanla metal malzemelerde yorulma (elastiklik sınırının zorlanması) akma (güç ve ısı ile deformasyon), kimyasal bozulmalar, kütle kaybı görülebilmektedir. Ayrıca metal malzemelerin maliyetleri yüksektir.

Metaller ekolojik açıdan incelendiğinde çevresel etkilerinin çok olduğu görülmektedir. Metal malzemelerin üretiminde malzeme cevherden elde edilip işlenmeye başlanmasından itibaren ağır metaller atmosfere yayılmaktadır bu da yağmurla beraber toprağa ve suya karışarak canlılara ve çevreye zarar vermektedir. Metal malzemeler yenilenemeyen tükenbilir kaynaklardan üretilmektedir (Kartal, 2015). Bunun yanında üretim aşamasında yüksek miktarda enerji tüketmektedirler ve metal işlenmesi ve saflaştırılması amacıyla yüksek ısı gerekmesi nedeniyle fosil kaynaklı enerji tüketimi ve buna bağlı CO₂ salınımı da yüksektir.

Polimerler (Plastikler)

Polimer malzemeler petrol, doğal gaz, kömür ve tuz gibi doğal kaynaklardan (Adams, 1993) tamamen yapay olarak elde edilen sentetik malzemelerdir. 19.yy.da gelişmeye başlayan plastik (polimer) malzemeler üstün ve olumlu özellikleri sayesinde giderek hayatın her alanında yaygınlaşmıştır. Polimerler yapı sektöründe pek çok yapı türünde farklı işlevlerde ve uygulamalarda kullanım bulmalarıyla da oldukça geniş kullanım alanı olan yaygın malzemelerdir. Günümüzde üretilen polimerlerin yaklaşık %30'u inşaat sektöründe kullanılmaktadır (Okay, 2003). Plastik malzemelerin kimyasal yönden çok farklı türleri bulunur ve her çeşitten farklı bileşimler üretilebilir dolayısıyla sınıflandırılması da çok kolay değildir. Plastik malzemeler ısı karşısındaki davranışlarına göre termoplastikler ve termosetler olmak üzere ikiye ayrılabilirler. Termoplastikler oda sıcaklığında katı ve serttirler ancak sıcaklık arttıkça yumuşayıp elastik hale gelirler hatta eriyip sıvıya dönüşebilirler. Termoplastik türleri ısı ile şekillendirilebilir, ancak kullanım yerlerindeki sıcaklığa bağlı olarak kullanım alanları kısıtlanabilir. Termoset polimerler ise sadece üretimleri sırasın polimerleşme aşamasında şekillendirilebilen, sıcaklık yükseldikçe yumuşamayan, tersine ısıtıldıkça sertleşen, sıcaklık arttıkça bozunmaya başlayan, sadece bir kez şekil verilebilen plastik malzemelerdir (Kartal, 2018).

Plastik malzemeler genel olarak hafiftir, kolay işlenebilir ve şekillendirilebilirler, üretimleri kolay ve ucuzdur (Adams, 1993). Kullanıma uygun olarak toz, taneli, levha ve hamur halinde üretilebilirler, korozyon dirençleri yüksektir, ısı ve ses yalıtımı sağlarlar, kısmen yanıcıdır, elektriği iletmezler, ısıya karşı dayanımları düşüktür ve ısıl genleşme oranları yüksektir bu nedenle örneğin metal üzerine kaplandıklarında uyumsuz çalışacaklardır (Mutluay ve Demirak, 1996). Isı iletkenliklerinin düşüklüğü ve hafif olmaları nedeniyle enerji verimliliği sağlarlar, dış etkilere ve atmosfer etkilerine dayanıklıdır, uygulamaları kolaydır, bazı çeşitleri kimyasallara karşı da direnç göstermektedir, nem almazlar, renklendirilebilirler. Polimerler profil, plak, kaplama, örtü, dokuma, bağlayıcı ve katkı malzemeleri şeklinde yapı sektöründe kullanılırlar, kullanımda ve uygulamada esneklik sağlarlar.

Tüm bu olumlu özelliklerine rağmen polimerler ısıya dayanıksızdır, malzemelerde istenmeyen şekil değişimleri ve kuvvet etkisiyle parçalanmalar meydana gelebilir (Demirarslan, 2004). UV ışınları altında renkleri solabilir, basınç altında deforme olabilirler.

Polimer malzemelere farklı özellikler kazandırabilmek ve olumsuz özelliklerini giderebilmek için değişik katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu maddeler sayesinde plastik malzemenin esnekliğinin arttırılması, mukavemetin yükseltilmesi, dış etkilere karşı solma, kırılabilirliğin önlenmesi gibi özellikler sağlanabilir (Demirarslan, 2004). Ancak Plastikler, renklendirilme, esneklik ve sertlik vb. özelliklerini sağlayan zararlı kimyasal maddelerin kullanılmasından dolayı çevreye en çok zarar veren malzemeler arasındadır (Berber, 2012).

Bunun yanında dünyada tüketilen petrolün % 4'lük kısmı plastik malzemelerin üretimi için kullanılmaktadır ve polimerlerin üretiminde yüksek miktarda fosil yakıt tüketimi nedeniyle hem yenilenemeyen kaynaklar tüketilmekte hem de CO₂ emisyonu artmaktadır. Polimerlerin çevreye zararları sadece üretim sürecinden kaynaklanmamaktadır, kullanım polimer kökenli malzemelerin büyük kısmı zararlı gaz salınımına da neden olmaktadır. Malzemelerin imha süreçlerinde de önemli oranda ağır metal atmosfere salınmakta ve atık oluşmaktadır (Joseph ve Tretsiakova-McNally, 2010). Ayrıca polimer malzemelerin çoğu çok dayanıklı olduğundan uzun yıllar doğada yok olmadan kalabilmekte çevre kirliliği ve atık sorunu oluşturmaktadırlar. Bu nedenle de son yıllarda yapı sektöründe özellikleri iyileştirilmiş ve güçlendirilmiş polimer kompozitlerin üretimi ve kullanımı ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Alüminyum, çelik, cam, ahşap, seramik, vb. malzemelerle birleştirilerek oluşturan bu tip malzemelerin mekanik özellikleri ve geri dönüştürülebilirlik olanaklarının daha fazla olduğu düşünülmektedir. Bu amaçla yapılan araştırmalar örneğin ahşapla güçlendirilmiş kompozit polimer malzemenin geleneksel yöntemle üretilmiş polimerden daha ekonomik, daha hafif, mekanik ve kimyasal özellikler açısından daha güçlü olduğunu göstermiştir.

Ancak bu tip kompozit malzemelerde yapısal bütünlükle ilgili bazı sorunların ortaya çıkabilmektedir. Örneğin tabakalı kompozit malzemelerde delaminasyon denilen kompoziti oluşturan tabakların birbirinden ayrılması veya kompozitin üretimi sırasında oluşan sonradan düzeltilmesi zor olan çatlaklar gibi malzemenin işlevini ve performansını tamamen etkileyen olumsuzlar görülebilmektedir. Bu sorunların önüne geçebilmek için kendi kendini onaran polimer esaslı malzemelerin üretimi için bulunmaktadır (Joseph ve Tretsiakova-McNally, 2010).

Boyalar

Boyalar yapıların dış ve iç cephelerinde; kapı, pencere ve mobilyalarda dekoratif amaçlı renk vermek, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı koruyucu ve örtücü bir film (tabaka) oluşturmak amacıyla kullanılan kimyasal bir malzemedir. Boyalar temel olarak dört bileşen oluşmaktadır; bağlayıcı, inceltici, pigmentler ve diğer katkı maddeleri (Tiarks, Frechen ve diğerleri, 2003). Genel olarak boyaların renk, doku, parlak-mat olmak üzere seçenekleri çeşitlidir, bu da estetik görünüme katkı sağlamaktadır, bunun yanında boyların çeşitlerine göre beton, metal ahşap ile aderansları iyidir, farklı malzemeler ile uyumlu çalışırlar. Boyanın kalitesi ve uygulaması uygun olduğu takdirde boya uzun ömürlü kullanım sunmaktadır. Boyaların özellikleri teknolojinin gelişmesi birlikte değişmiştir, örneğin yangına dirençli, yanmaz tutuşmaz boyalar, su geçirmez, neme dayanıklı, kendini temizleyen vb. özellikte boyalar geliştirilmektedir.

Binalarda kullanılan boyalar kullanım yerlerine ve içerdikleri çözücülere göre sınıflandırılabilir. Kullanım yerlerine göre boyalar genelde iç ve dış cephede duvar yüzeylerinde kullanılan boyalar, ahşap ve metal yüzeyler kullanılan boyalar diye ayrılabilir. Metal üzerine uygulanan boyalar genellikle malzemeyi korozyondan korumak amacıyla uygulanır, malzemenin ömrünü uzatır ve dayanıklılığının azalmasını önler. Ahşap boyaları ise ahşap malzemenin biyolojik zararlıların etkisiyle zarar görmesini, mevsimsel değişimler, güneş ve yağmurun etkileri ile ahşabın yıpranıp görüntüsünün bozulmasını önler. Ahşabın kullanım sırasında renk, direnç ve estetik özelliklerini korur, kusurlarını örter ve malzemeye estetik değer katar (Peker 1998).

Çözücülerine göre boyalar ise su bazlı ve solvent bazlı (sentetik) boyalar olarak sınıflandırılmaktadır. Su bazlı boyalar kokusuzdur, uygulamadan kısa bir süre sonra boyanan mekânlar kullanıma açılabilir. Çevreye ve insan sağlığına zarar vermez, uçucu zararlı bileşikler içermez, çabuk kurur, nefes alır, uygulaması kolaydır, ekonomiktir, kısmen de olsa suyla temizlenebilir. Solvent bazlı boyalar, uygulama ve kuruma esnasında koku verir. Solvent bazlı boyaların kuruması için gereken süre su bazlı boyalardan uzundur. Temizliği ise kimyasal çözücülerin yardımı olmaksızın kolayca gerçekleşmediğinden zararlı yan etkileri vardır. Solvent bazlı boyaların silinme dayanımları su bazlı boyalara göre çok daha yüksektir. Ancak bu tip boyalarda da sararma riski vardır. Özellikle astım hastaları ve alerjisi olanların bulunduğu mekanların solvent bazlı boyalar ile boyaması sağlık açısından problem

yaratabilir (MEB, 2012). Bununla beraber su bazlı boyalar duvarda oluşan alkali etkiye (nem ile birlikte) çok daha dirençlidirler. Yangına karşı ise su ile incelen plastik boyalar dirençlidir, sentetik veya yağlı boyalar, vernik, astar ve tinerler yanıcıdır, bu boyalar açık alev, aşırı ısı üreten yerlerden uzak tutulmalıdır. Sentetik boyaların atıkları genel olarak tehlikeli ve yanıcıdır. Sentetik boyalar yapıları gereği önemli miktarda uçucu organik bileşikler (VOC) içermektedir. Bunların iç mekanda kullanılmasıyla ortaya çıkan gazların kötü koku yaydıkları, ortaya çıkan gazların zamanla başka maddelerle reaksiyona girerek ikincil zararlı maddeleri oluşturabildikleri belirlenmiştir. Sentetik olarak elde edilen boyar maddelerin iç mekânlarda insanlar üzerinde göz ve solunum yolunda tahriş ve alerji gibi olumsuz etkileri bulunabilmektedir (Jahan ve Gupta, 1991). Boyaların yapısında bulunan ağır metaller insan ve çevre için zehirli etkiye sahiptir.

Sentetik boyaların zararlarına başka bir örnek ise sentetik ahşap boyalarının çevreye olumsuz etkisidir. Sentetik ahşap boyaların ahşabı koruyabilmeleri için kimyasal maddelerinin, ahşap zararlılarına karşı zehirli etkilerinin olması gerekmektedir. Bu kimyasallar, boya ve koruyucu olarak ahşaba uygulandığında, ahşap malzemelerin kullanımı süresince ve ürünün kullanım ömrü sonunda imhası ve yakılmasıyla havaya, toprağa ve suya geçerek çevreye ve başka canlılara da zarar verebilmektedir (Kurtoğlu, 1984). Bunların yanında üretim aşamasında da boyalı atık sular ve çevreye salınan boya atıkları canlılar üzerinde toksik etki oluşturmaktadır.

Boyanın insan ve çevre sağlığına olumsuz etkilerinin yanında teknik özellikleri ilgili olarak da olumsuz yönleri bulunmaktadır. Boyanın uygulanacağı yüzey önceden uygulama için temizlenip hazırlanmalıdır, hava koşulları uygun olmalıdır aksi durumlarda boyada çatlama, dökülme, kabarma görülebilmektedir. Sıcaklığın artması ile malzemelerde genleşme görülür, bu durumda da farklı karakterde olan malzemeler bir arada kullanıldığında, ek yerlerinden ayrılmalara ve buralarda boyalarda çatlama ve dökülmeler olur. Cephenin yağmur suyundan en az düzeyde etkilenmesi ve suyun duvar bünyesine girmemesi için genellikle ince sıva çok sert yapılır veya su geçirmez bir boya ile kapatılır bu durumda içeriden gelen buhar dışarıya atılmayabilir, geçirimsiz boya tabakası altında yoğunlaşarak birikir, soğuk havanın etkisiyle boya kabuklar, parçalar halinde düşer ya da su buharı yoğunlaşmadan geçirimsiz boya altında birikirse, boyayı kabartıp patlatarak dışarı çıkar (Koçu ve Dereli, 2008). Ayrıca fazla yağış alan bölgelerde sürekli suya ve neme maruz kalan boyalarda yıpranma gözlemlenebilir, bu kötü bir görünüme neden olur. Bu durum bakım ve

yenileme giderlerini arttırır, enerji ve zaman kaybına neden olur. Bunun yanı sıra binalarda yaygın olarak kullanılan boyalarda kirletici partiküllerin birikmesi ve nemin etkisiyle yüzeyde bazı bakteri, mantar, küf, yosun ve virüs türleri üremektedir. Nemin ve bu mikroorganizmaların etkisiyle bozulan yapı ürünlerinden, ortama bozulmuş ürün tozları yayılır. Bozulmuş ürün tozları ve mikroorganizmalar insan vücuduna yerleşerek hastalık yapıcı etki oluşturmaktadır (Akman, Ketenoğlu ve diğerleri, 2000).

Bu olumsuz ve zayıf yönlerin önlemesi ile kaliteli ve uygun boyanın kullanımı ve seçimi için hem işin kalitesine etkileyecek, hem de sağlık, güvenlik ve çevre riskleri açısından çeşitli parametreler bulunmaktadır. Boyadan genel olarak örtücülük, kapaticılık, kolay uygulanabilir olması, fiziksel etkilere dayanıklı olması. (sürtünme, çizilme, silinme vb.) kimyasal etkilere dayanıklı olması (sabun, yağ, deterjan vb.), atmosferik şartlara ve özel şartlara dayanıklı olması (soğuk, sıcak, yağmur, güneş vb.) , dekoratif olması (renk, parlaklık, matlık vb.) beklenmektedir. Bunların yanında silinebilirlik, solmama, sararmama, sarfiyat ve maliyet de önemlidir. Boyalar bu şartları sağladıklarında uzun ömürlü olmaktadır. Bu çalışmada geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan bazı geleneksel ve modern yapı malzemelerinin özellikleri incelenmiş, genel olarak olumlu ve olumsuz, zayıf ve/veya günümüz gerekliliklerini karşılamayan eksik yönleri üzerinde durulmuş bunlardan elde edilen çıkarımlar yardımıyla günümüz yapı malzemelerinin kullanım ölçütleri için bir fikir tabanı sağlanmıştır.

2.4.2. Günümüz yapı malzemelerinin kullanım ölçütleri

Geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerine baktığımızda yapılaşma sürecinin başlamasıyla tasarımcılar ekosistem içerisinde ulaşabildikleri kolayca elde edilebilen ve uygulaması basit bir şekilde olan geleneksel yapı malzemeleri kullanmışlardır. Yapı malzemeleri alanında kullanılan malzemenin çeşidi, boyutları, özellikleri, uygulama ve kullanım teknikleri, üretim süreci ve yöntemleri konusunda 19.yy.a kadar genel olarak önemli bir gelişim ve yenilik olmamıştır (İzgi, 1999). Sanayi Devrimi öncesinde tasarımcının malzeme seçimi büyük ölçüde yerel kaynaklı malzemelerle sınırlıydı: taş, tuğla, kil, kum ve ahşap başlıca yapısal malzemelerdi. Bu materyaller yüzyıllardır kullanılmış böylece malzeme seçimi sınırlı olmasına rağmen, malzemelerin özellikleri, güçlü yönleri ve sınırlamaları hakkında net bir anlayış oluşmuştur (Abdelrahman, 2011).

Günümüzde ise yapı malzemeleri alanı günümüzde bilim ve teknolojik gelişmelerin en yoğun izlendiği alanlardan biridir. Zamanla gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel malzemelerin yanında beton, polimer, metal malzemeler vb. malzemeler de yaygınlaşmış ve geleneksel malzemeler yerlerini daha çok insan yapımı sentetik malzemelere bırakmaya başlamışlardır. Bu bağlamda sürekli olarak pazara yeni yapı malzemeleri sunulmakta, yaygın olarak kullanılan geleneksel ve modern yapı malzemelerine biyomimetik yaklaşımlar gibi yenilikçi yöntemler ile teknolojik yeni özellikler eklenmekte, böylece performans özellikleri geliştirilerek yeni kullanım alanları ve olanakları sağlanmaktadır. Bu çeşitlilik ile birlikte geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan modern ve geleneksel malzemelerin özellikleri, olanakları ve sınırlamalarındaki net anlayışa karşın; yeni teknoloji malzemelerin özellikleri, diğer malzemelerle etkileşimleri, teknik olanakları, ekonomik analizleri, maliyetleri, seçim ve kullanım ölçütleri, çevresel etkileri gibi konular yeterince netleşerek bilinir hale gelmemiştir (Alçıder, 2011). Teknolojik gelişmeler sonucu malzeme teknolojileri ve ürünlerinin karmaşık komplike bir yapı kazanması ile malzeme seçimi, kullanımı ve değerlendirilmesi zorlaşmıştır. Bu nedenle de yapı malzemesi kullanımında geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan malzemelere bağımlılık devam etmektedir.

Yapı malzemeleri yapıyı çevrenin fiziksel bünyesini oluşturan, binaları meydana getiren unsurdur, bir yapı günümüz teknolojisi ve yöntemleri ile gelişen, çoğalan ve çeşitlenen yapı malzemelerinden oluşur. Bu da yapı malzemelerinin tek başına ve bütünleşik olarak binalarda etkili rol oynamasına neden olmaktadır. Malzemenin seçim ve kullanımı, yapı tasarımı ve üretimi sürecinin her bileşeninin içine dahil olmaktadır, yapının fiziki bünyesinin özelliklerini belirler, sağlıklı bir yapı oluşumunda oldukça etkilidir (Aykanat, 2014). Ayrıca bunlara bağlı olarak, kullanıcı gereksinimlerinin karşılanmasında, yapının yaşam döngüsünde, kullanım süresinde ve yapının çevresiyle etkileşiminde de oldukça önemli rol oynamaktadır. Tüm bu durumlardan dolayı da yapı üretim sürecinin en önemli adımlarından biri malzeme özelliklerinin ve kullanım kriterlerinin iyi anlaşılması, buna bağlı olarak malzeme seçiminin doğru bir şekilde yapılmasıdır.

Yapı malzemesinden yüksek düzeyde verim elde edebilmek ve kullanıcılar için en uygun, sürekli konfor koşullarının sağlandığı yapıyı bir çevre elde edebilmek, kısaca yapı malzemesinin doğru ve uygun kullanımı amacıyla, malzemenin gerekli özellikleri analiz edilerek kullanım ölçütleri belirlenmelidir. Bunun yanı sıra her geçen gün kullanıma sunulan

yeni ve değişik teknolojilerle üretilmiş, teknik özellikleri, maliyetleri, çevresel etkileri gibi özellikleri belirsiz, uygulaması yapılmamış, denenmemiş yapı malzemeleri ile malzeme seçim ve kullanım ölçütlerinin yeni boyutlarla yeniden alınıp değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bunun için de yapı malzemelerinin doğası, fiziksel ve kimyasal özellikleri, yapısal özellikleri, yangındaki davranışları, diğer malzemelerle etkileşimleri, belirli bir durum için beklenen dayanıklılıkları, maliyetleri, mimari estetik özellikleri, bakım gereksinimleri ve diğer çevresel etkileri tasarımcılar tarafından anlaşılmalı ve bilinmelidir (Abdelrahman, 2011). Tüm bu kriterlerin yanı sıra gelişen biyomimetik tasarım ve üretim teknolojileri ile günümüz yapı malzemelerinden özel performans özellikleri ve işlevler beklenmektedir. Bu da mevcut malzeme kullanım ölçütlerini etkileyip güncelleyerek, genişletecek bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Günümüzde yapı malzemesinin seçim ve kullanım ölçütlerini belirlemek amacıyla yapılan literatür araştırmasında bu konuda farklı kriterlerin belirlendiği görölmektedir. Farklı kaynaklarda, malzeme kullanımını etkileyen kriterler tabloda (Çizelge 2.4) çeşitli alt başlıklar altında gruplandırılmıştır.

Çizelge 2.4. Değişik kaynaklardaki yapı malzemesi kullanım ölçüt ve kriterlerinin farklı sınıflandırılmalarının özeti (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Zhou ve diğerleri (2009)	Sirisalee ve diğerleri (2004)	Mangonon (1999)	Ashby and Johnson (2002)	Esin (1980)	Ashby (1992)
-Mekanik Özellikler	-Mekanik Özellikler	-Fiziksel Faktörler	-Genel Özellikler	-Üretim Gereksinimleri	-Genel Özellikler
-Ekonomik Özellikler	-Maliyet	-Mekanik Faktörler	-Teknik Özellikler	-Ekonomik Faktörler	-Mekanik Özellikler
-Çevresel Özellikler		-Malzemenin Ömrü	-Ekonomik Özellikler	-Bakım Faktörleri	-Termal Özellikler
		-Maliyet ve Ulaşılabilirlik	-Estetik		-Aşınma
		-Yönetmelik ve Standartlara Uygunluk			-Korozyon

Bu kaynakların çoğunda, tasarım süreci hem teknik hem de teknik olmayan kriterler tanımlanmaktadır, ancak çoğunlukla teknik tarafa odaklanmışlardır. Özet tablosunun yanı sıra literatür araştırması kapsamında ulaşılan birçok çalışmadan kendi aralarında hem kesişen hem de farklı yaklaşımlar içeren, teknik olmayan kriterlere de odaklanan üç tanesi bu bölümde incelenmiştir. Bu çalışmalardan biri Ljungberg (2007) tarafından yapılmış ve malzeme kullanım kriterleri yedi maddede özetlenmiştir:

- Malzemenin üretim yöntemleri
- Fonksiyon ve yapısal talepler
- Pazar veya kullanıcı talepleri
- Tasarım
- Fiyat
- Çevresel etki
- Malzemenin ömrü

Başka bir çalışma ise Franzoni (2011) tarafından yapılmış ve kriterler dokuz madde halinde özetlenmiştir:

- Mekanik özellikler: Mukavemet, sertlik vb.
- Termal performans: Kullanımda tatmin edici bir enerjisel davranış elde etmek için
- Akustik performans: Tatmin edici bir iç mekan konforu elde etmek için
- Çevresel etkilere dayanım: Malzemelerin ömrünü etkilediği için
- Ağırlık ve boyut sınırları: Yapının belirli özelliklerine uygun olması için
- Güvenlik: Yangın güvenliği vb.
- Özel gereklilikler: Binaların kullanımına bağlı örn. Hastaneler için hijyen gereksinimleri, okullar için güvenlik gereksinimleri, kütüphaneler için renk, şeffaflık gereksinimleri, vb.
- Estetik görünüm
- Maliyet

Yapı malzemesi kullanımı ve seçimi için kriter çalışmalarından biri de Aykanat (2014) tarafından yapılmıştır. Çalışmada kriterler yedi ana parametre altında toplanmış ve sonra teknik performans özellikler kendi içerisinde beş başlığa ayrılmıştır:

Ana parametreler:

- Uygun teknik performansı sağlayan,
- En az enerji kullanımını hedefleyen,
- Teknik düzeydeki özellikleri ile mekânda hijyen ve konfor koşullarını sağlayan,
- Tasarımda öngörülen estetik gereksinmelere cevap veren,
- Kısa ve uzun dönem masrafları açısından hesaplı olan,
- Toplumun her kesiminin elde edebilirliğini sağlayan,
- Çevre kirliliği yaratmayan ve doğaya geri dönüşümü bulunan, doğal çevre ile barışık malzemelerdir.

Teknik performans özellikleri aşağıdaki ölçüt ve özellikler açısından ele alınmıştır:

- Strüktürel servis özelliği
- Yangın güvenliği özelliği
- Kullanışlılık ve termo-fiziksel kapasite özelliği
- Dayanıklılık özelliği
- Diğer malzeme ve bileşenlerle bir arada kullanılabilme (uyum) özelliği

İncelenen çalışmalar kapsamında günümüz yapı malzemelerinin minimum çevresel etki ile optimum performans için kullanım ve seçim kriterleri açısından çok boyutlu birçok parametre içerdiği ancak verilen örnekler dahil çoğu çalışmanın ölçütler için gerekli çerçeveyi tam anlamıyla çizemediği, ayrıca biyomimetik yaklaşımlar ile geliştirilen yapı malzemelerinin sahip olduğu özel performans ve işlev özelliklerine değinilmediği görülmüştür. Bu nedenle de günümüz yapı malzemesinin, rasyonel seçimi ve doğru kullanımı için literatüre dayalı analiz çalışmaları yapılarak, bu bölümde incelenmiş olan geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin olumlu ve olumsuz genel özellikleri aracılığıyla, malzemelerin kullanım ölçütleri açıklanmıştır. Bu kullanım ölçütleri; teknik, ekonomik, arz talep durumu, sosyal ve çevresel etki parametreleri göz önünde bulundurularak özet başlıklar halinde belirlenmiş ve belirlenen ölçütler beş ana başlık altında Çizelge 2.5’ de toplanmıştır.

Çizelge 2.5. Günümüz yapı malzemelerinin kullanım ölçütleri (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Yapı Malzemesi Kullanımında Ana Parametreler	Yapı Malzemesi Kullanım Ölçütleri
Ekonomik özellikler	- Maliyet (üretim, bakım onarım maliyeti, amorti edilebilirlik) - Marketteki ulaşılabilirlik - Üretim verimliliği
Teknik özellikler	- Mekanik özellikler (çekme, basınç vb.) - Dayanıklılık (yangın, su ve nem, ısı, don, korozyon, darbe, kimyasal ürünlere vb.) - Termal özellikler - Akustik ve optik özellikler - Temizlenebilirlik ve hijyen - Diğer malzemelerle uyumu - Hafiflik - Uygun boyutlandırma ve esnek tasarım sağlama - Uzun ömürlülük - Özel performans özellikleri
Sosyal özellikler	- Mimari estetik - Kullanıcı sağlığına ve güvenliğine uygunluk - Konfor şartlarını sağlama
Arz talep durumu	- Bilinirlik, geçerlilik ve kullanıcı tercihi - Pazarlama oranı
Çevresel etki özellikleri	- Kaynak ve enerji verimliliği - Düşük emisyon - Geri dönüşüm ve yeniden kullanım

Oluşturulan tablo (Çizelge 3.2) temel niteliktedir, biyomimetik tasarım yaklaşımları ile geliştirilen ve üretilen yapı malzemelerinin kullanım ölçütlerinin belirlenebilmesi için yönlendirici görevi görecektir. Tabloda geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin olumlu ve olumsuz yönlerine dikkat çeken parametre ve ölçütler yardımıyla, malzemeler bina tasarımının önemli bir parçası olarak tanımlanırken, yapı malzemesinin odak alanları da anlatılmaya çalışılmıştır. Bu ölçütlerin her birinde malzemeyi karakterize edebilecek bir dizi kriter vardır. Sonuç olarak kullanım ölçütlerine uygun malzemenin kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilen, istenen performansları ve şartları sağlayan, en ekonomik malzeme olduğu söylenebilir. Günümüzde yapı malzemesi kullanım ölçütlerinin belirlenmesi kullanıcı istekleri, çevre koşulları ve çevresel etkiye, ürünün tasarımcı tarafından bilinirliğine ekonomik ve teknolojik olanaklara ile sınırlamalara ve yapının gereksinimine bağlı birçok değişkenin analizini ve değerlendirmesini gerektiren zor bir süreçtir. Bu ölçütler yardımıyla uygun ve doğru malzeme kullanılarak yapıda oluşabilecek problemlerin önüne geçilebilir sağlıklı yapılar ile sağlıklı yapıları çevreler oluşturulabilir.

Çalışmanın sınırları ve varsayımları

Bu çalışma için, mimarlık, inşaat ve bina tasarımında kullanılan biyomimetik malzemeler hakkındaki mevcut literatür sistematik olarak analiz edilmiştir. Literatür taraması araştırmacıların ve tasarımcıların, binaların enerji verimliliğini artırmak ve yapı malzemelerinin termo-fiziksel-optik özelliklerini geliştirerek biyomimetik malzemeler tasarlamak için hayvanlardan, bitkilerden veya mikroorganizmaların yenilikçi biyolojik sistemlerinden büyük ölçüde ilham aldıklarını, yararlandıklarını göstermektedir. Bununla birlikte, yenilikçi biyomimetik malzemelerin kapsamının geniş olmadığı ve yayınlanan araştırmaların çoğunun tek seferlik vakalarla ilgili olduğu görülmektedir. Yapılan literatür taraması sonucunda mimaride, çok az sayıda yayın doğal yaşamdan öğrenilmiş/ esinlenilmiş/ modellenmiş/ uyarlanmış ya da uygulanmış biyomimetik malzemeler üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Mimari ve biyomimetik konusunda çoğu basılmış yayın sadece malzemelerin geliştirilmesindeki biyolojik kökeni içermektedir. Bu çalışmaların çoğu biyomimetik malzeme örnekleri ve malzemelerin içeriğinden ziyade inşaat ve imalatla sürdürülebilirliği uygulamak, sosyal sürdürülebilirlik ve koruma ekonomisi, inşaat ve yıkımın yüksek kalitede geri dönüşümü, malzeme akışı, sürdürülebilir şehirler, kentsel metabolizma, eğitimde yaratıcılık, yaşam döngüsü analizi ve peyzaj ve altyapı alanlarında biyomimikri konularına odaklanmıştır. Bu nedenle söz konusu çalışmaların çoğu biyomimetik yapı malzemelerinin içerikleri üzerine yeterli bilgi vermemektedir.

Sistematik bir literatür taraması yapılarak mimari tasarımda yapı malzemesi ölçeğinde biyomimetik prensiplerin uygulanmasına dair örnekler olup olmadığı ortaya konulmaya çalışılmıştır ve bu süreç malzeme inovasyonu amacıyla biyomimetik yaklaşımların mimari ilkelere dönüştürülebilmesini incelemek için kullanılmıştır. İnceleme sırasında, bulunan çalışma ve araştırmalardan bazıları aşağıdaki nedenlerle hariç tutulmuştur:

- Herhangi bir malzemenin yapısı düşünüldüğünde doğada bulunan malzeme ve yapı arasında benzerlik vardır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda yenilikçi biyo-ilhamlı bina kabukları da çok büyük ölçekli biyo-ilhamlı malzeme olarak kabul edilebilir. Bu tip doğadan esinlenmede kabuklar küçük modüler birimlerden (örneğin stoma tuğlası gibi) oluşmuyorsa bu konuya dahil edilmemiştir.
- Doğada malzemeler genellikle karmaşık formlarda yapılanmaktadır. Doğal malzemelerin bu özelliğinden esinlenerek mimaride malzeme etkinliğini geliştirmek

amacıyla hızlı prototipleme yöntemi kullanılmaktadır ve doğanın malzemelerinin hiyerarşik bir yapıda katman katman birikimi taklit edilmektedir. Bu şekilde üretilen yüzeyler de biyomimetik malzeme olarak görülebilmektedir fakat bu çalışma doğanın malzemelerinin yapısını şeklen taklit eden ve işlevsel amaçlarına öykünmeyen bu örnekleri içermemektedir.

- Binaların dış cephelerinde bazen doğal organizmalar yapay malzemeler ile birleştirilmeden kullanılmaktadır. Örneğin, bazı biyolojik yapı cephelerinde doğal malzemeler, kirletici ve uçucu bileşikleri emerek filtrasyon ile temiz hava sirkülasyonu sağlamaktadır (örneğin yaşayan duvarlar). Doğal malzemelerin doğrudan kullanımı ile ısı yalıtımına da katkı sağlamaktadır ancak bu tür biyolojik malzemelerin yenilikçi kullanımı yağmura, rüzgâra ve yüksek sıcaklığa etkili bir iklim tepkisi gösterse de, bu çalışmaya yenilikçi biyomimetik materyaller olarak dahil edilmemiştir.
- Ayrıca bina kabuğu tasarlamak için doğal organizmaların inşaat sürecinin taklit eden örneklerle de çalışmada yer verilmemiştir. Örneğin Silk Pavilion’da hafif bir iskele imal etmek için ipekböceklerinin kozalarına benzer şekilde, 3D yazıcı kullanılarak kabuk oluşturulmuştur buna benzer biçimde doğadan ilham alan malzeme türleri de bu araştırmadan çıkarılmıştır.

Özetle literatür taraması sırasında, çalışmanın alan çalışması bölümü olan 4. Bölümde kullanılmamak üzere, doğanın tamamen görsel ve biçimsel yorumuyla ilgilenen işlevsel özelliklerini kullanmayan örnekler elenmiştir.

Bu çalışmada geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan bazı geleneksel ve modern yapı malzemelerinin özellikleri incelenmiş, genel olarak olumlu ve olumsuz, zayıf ve/veya günümüz gerekliliklerini karşılamayan eksik yönleri üzerinde durulmuş bu yönlerin doğadaki malzemeler tarafından sağlanabildiği varsayımı öne sürülerek, tezin alan çalışması biyomimetik yapı malzemeleri konusunda özelleşmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Tez çalışmasında; konunun net olarak anlaşılmasını sağlamak, eleştirel bakış açısını mümkün kılmak ve veri toplama, aktarma yöntemi ile çalışmaya esneklik kazandırarak gelecek tahminleri yapılabilecek ve gelecek gelişmelerle güncellenebilecek nitel bir araştırma yöntemi kullanılmıştır. Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde araştırma sorusu ve hipotez ile problem tanımlanarak amaç, kapsam ve önem açıklanmıştır.

Daha sonra bir önceki bölüm olan ikinci bölümde çalışmanın ana omurgasını oluşturan “biyomimetik tasarım yaklaşımının” ne olduğu, nasıl işlediği ve uygulandığı açıklanmış, mimarlık ve doğa etkileşiminin tarihçesi incelenmiş, biyomimetik tasarım yaklaşımının mimariye yansması malzeme odaklı örnekler üzerinden ele alınmıştır ve böylece biyomimetik tasarım ve mimarlık ilişkisine genel bir çerçeve çizilmiştir.

Ardından bu bölümde çalışmada geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan bazı geleneksel ve modern yapı malzemelerinin özellikleri incelenmiş, bunların olumlu, olumsuz, zayıf ve/veya günümüz gerekliliklerini karşılamayan eksik yönleri ile bu malzemelere dair seçim, uygulama ve kullanım sürecini kapsayan dikkat edilmesi gereken kriterler literatür taraması yöntemiyle araştırılmış, malzemelerde görülen teknik, ekonomik, çevresel vb. sorunlar ortaya konmuştur. Daha sonra bu araştırma ışığında günümüzde yapı malzemelerinin kullanım ölçütleri, malzemelerden beklenen performans özellikleri literatüre dayalı analiz çalışmaları yapılarak belirlenmiştir.

Çalışmanın sınırları ve varsayımlarına değinilmiş, geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin olumsuz, zayıf ve/veya günümüz gerekliliklerini karşılamayan eksik yönlerinin doğadaki malzemeler tarafından sağlanabildiği, bu malzemelerde görülen teknik, ekonomik, çevresel vb. sorunların doğanın stratejileri ile çözülebileceği, ayrıca biyomimetik yaklaşımla geliştirilen malzemelerin günümüz yapı malzemelerinin kullanım ölçütlerini, malzemelerden beklenen performans özelliklerini karşılayarak olumlu çevresel, sosyal ve ekonomik çözümler de yaratacağı varsayımı öne sürülerek, tezin alan çalışması biyomimetik yapı malzemeleri konusunda özelleşmiştir. Literatür taraması ve kavramsal çerçeve olarak adlandırılan bu çalışmanın, alan çalışması için temel bilgileri içeren bir altlık niteliğinde kullanılması ve elde edilen verilerle yapılacak alan çalışmasının değerlendirilebilmesi planlanmıştır.

Dördüncü bölümde biyolojik malzemelerin işlevlerini oluşturan özelliklerden yola çıkılarak biyomimetik yapı malzemelerine ilham olabilecek üstün işlevler ve bu işlevlere sahip doğal organizmaların özelliklerinden yola çıkılarak biyomimetik yapı malzemeleri çeşitli işlevlerine göre sınıflandırılarak ele alınacak ve uygulanmış ya da deneysel örneklere yer verilecektir. Örnekler; yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin olumsuz, zayıf ve sorun teşkil eden yönlerinin giderilmesi/çözülmesi ve günümüzde yapı malzemesi kullanım ölçütleri açısından analiz edilerek biyomimetik yapı malzemelerinin getirdiği çözümler, farklılıklar ve yenilikler ortaya konulacaktır.

Değerlendirme ve sonuç bölümü olan beşinci bölümde ise biyomimetik yapı malzemesi örnekleri, biyomimetik yaklaşım, biyomimetik düzey ve yararlanılan organizmaların özellikleri ile değerlendirilecek, yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri ile ilgili teknik, sosyal, çevresel, ekonomik olumsuzlukların biyomimetik tasarım yaklaşımı ile geliştirilen biyomimetik yapı malzemeleri sayesinde giderilip giderilmediği tartışılacak, biyomimetik yapı malzemeleri, oluşturulan kullanım ölçütleri ve parametreler aracılığıyla analiz edilecektir. Analizler sonucu elde edilen bulgular tartışılarak ve bu araştırmada edinilen dersler ve ihtiyaç duyulan gelecek çalışmalarının bazıları özetlenecektir.

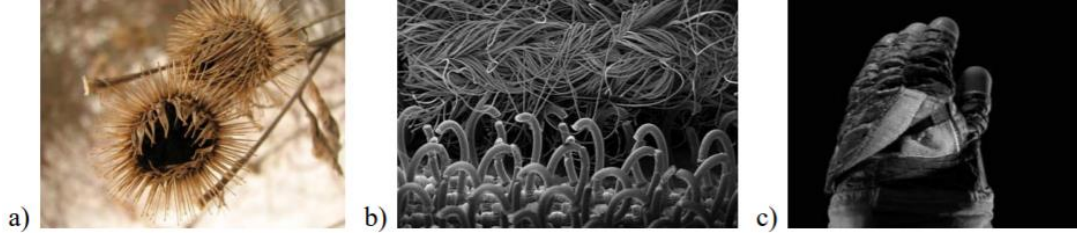
4. BİYOMİMETİK YAPI MALZEMELERİ VE GÜNÜMÜZ YAPI MALZEMELERİNE ETKİLERİ

4.1. Biyomimetik Malzemelerin Tanımı ve Gelişimi

İçinde bulunduğumuz Ekolojik Çağ'da ihtiyaç duyacağımız derslerin çoğu doğanın kendisinde bulunabilir. “Endüstri Devrimi” ya da “Fosil Yakıt Çağı” olarak da anılan dönem ile bir zamanlar doğanın geliştirdiği çözümlerle ortak olarak yaşadığımız öğretilerden bir sapma görülmüştür. Fosil yakıtların yaygınlığı ve rahatlığı, aşırı verimsizliğin artmasına izin vermiştir ve kaynakların etkinliğini zayıflatmıştır. Tasarım ve üretimde birçok yerel yaklaşımda görülebilen doğadan gelen dersler bu nedenle terk edilmiştir ve büyük ölçüde ortak hafızamızdan kaybolmuştur.

Günümüzde ise karbon salınımı gittikçe daha belirgin hale gelmiştir, bu gibi nedenler ve sorunlardan dolayı da doğal organizmaların geliştirdiği yöntemlerin üstün etkinliğini araştırmak için fırsatlar geliştirilmiştir (Pawlyn, 2011). Dünyadaki yaşam tarihi boyunca doğa, organizmaları, süreçleri ve malzemeleri iyileştirmek için deneme yanılma sürecinden geçerek problemleri çözmek amacıyla birçok farklı yöntem, gelişim ve adaptasyon gelişim gerçekleştirmiştir. Bunun sonucunda da doğa, çok az miktarda malzeme ile inşa edilmiş işlevsel sistemlere etkili örnekler sunmaktadır (McKittrick, Chen ve diğerleri, 2010).

Geçmişten bu yana doğanın çözümlerinden bazıları insanlara etkili sonuçlar elde etmeleri için ilham vermiştir. Örneğin, balık ağları fikri örümcek ağlarından kaynaklanmış olabilir; altıgen peteklerin mukavemeti ve sertliği, uçaktaki hafif yapılarda ve diğer birçok uygulamada kullanılmasına yol açmış olabilir. Biyomimetik bilimi nispeten yakın zamanda popülerlik kazanmış olsa da, fikir binlerce yıldır varlığını sürdürmektedir. Çinliler 3000 yıldan uzun bir süre önce yapay ipek yapmaya çalışmışlar ve doğadan yeni materyaller tasarlamayı öğrenmede örnek olmuşlardır. Daha yakın tarihlere baktığımızda 1940' larda muhtemelen doğadan ilham alan malzemelerin en bilinen örneklerinden biri olan “velcro” yu görmekteyiz. İsviçreli mucit George de Mestral köpeğiyle tarlada yürüyüşe çıkıp döndüğünde pantolonuna ve köpeğinin kürküne yapışan, dulavratotu adı verilen bitkileri fark etmiştir. Çapakların daha yakından incelenmesi üzerine de kanca benzeri yapıları keşfetmiştir, bu da kanca ve halka bağlantı elemanı Velcro'nun icat edilmesine yol açmıştır (Resim 4.1.) (Bello, Adegoke ve Oyewole, 2013)



Resim 4.1. a) Dulavratotu tohumu, b) Cırt bant mikroskop görünümü c) Velcronun ilk uygulamalarından biri astronot kıyafetleri ve eldivenleri (Bello, Adegoke ve Oyewole, 2013).

Tüm bu temel örneklerin yanında doğanın malzemeleri; geleceğin malzemeleri için önemli dersler sunan değiştirilebilir mekanik özelliklere sahip olmak, saniyeler içinde düşük ve yüksek sertlik arasında geçiş yapabilmek, birçok bitki ve hayvanın karşılaştırılabilir insan yapımı çözümlerden daha süperhidrofobik, kendi kendini temizleyen, kendi kendine onarım sağlayan, enerji tasarruflu, sürtünmeyi azaltan, kuru yapışma özelliği gösteren, uyarlanabilir büyüme gibi aynı anda birden çok işlevi yerine getiren üstün özellikler gösterirler (Liu ve Jiang, 2011). Bu biyolojik malzeme yapılarını ve işlevlerini taklit etmek, ulaşımdan, enerji üretimine, biyomedikal ürünlerden inşaat sektörüne kadar çeşitli uygulamalar için kullanışlı yeni bir ileri malzeme sınıfının geliştirilmesine yol açabilir. Bu noktada insan problemlerini çözmek için doğanın, modellerinden, sistemlerinden, süreçlerinden öğrenilmesi/ esinlenilmesi/ modellenmesi/ uyarlanması ya da uygulanması amacıyla doğanın bu unsurlarının incelenmesini içeren biyomimetik yaklaşım önem kazanmaktadır.

Doğanın bütün bu eşsiz özellikleri nedeni ile malzeme bilimindeki biyomimetik araştırmalar hızla büyüyen bir alan haline gelmiştir. Doğal malzemelerin ve süreçlerin ilham verdiği, karmaşık çok değişkenli ortamları ve uygulamaları aşma potansiyeline sahip yeni bir malzeme ve yüzey sınıfı olan malzemelere biyomimetik malzemeler denilmektedir. Kısaca biyomimetik malzemeler doğal biyolojik malzemelerin yapısını ve mekanik özelliklerini taklit ederek veya yorumlayarak üretilmiş sentetik ürünlerdir. Bu özellikler ve fonksiyonlar malzemelerin nano-, micro-, meso-, makro- ve mega- yapıları ile düzenlenmektedir. Sonuç olarak, biyolojik malzemelerin çeşitli ölçeklerdeki yapıları, başarısızlık toleransı, adaptasyon ve çok işlevsellik dahil olmak üzere çoklu özelliklerin bir kombinasyonuna yol açmaktadır (Ullah, Shi ve diğerleri, 2018). Biyomimetik malzemeler de bu ölçekteki müdahaleler ve düzenlemelerle üretilmektedir. Biyomimetik malzemelerin doğadakiler kadar başarılı olabilmesi için doğal malzemelerin karakteristik özellikleri ve yüzeyleri, yüzey morfolojisi ile fiziksel ve kimyasal özellikler arasındaki karmaşık ilişkilerin

yaralanan biyomimetik tasarımların ana teması bulundukları çevre ile uyum içinde olmalarıdır. Doğada insan dışındaki organizmalar tüketici değildir, doğal dengenin devamı için bulunduğu çevre ile sürekli alışveriş halindedir. Enerji verimliliği sağlayan, doğal dengenin sürekliliğini korumayı amaçlayan tasarım anlayışında bina çevresinden soyutlanmamalı organizmalarda olduğu gibi çevre koşullarıyla bütünleşerek onunla alışveriş halinde olmalıdır. Bu noktada biyomimetik pek çok alanda olduğu gibi mimarlık dünyasında da tasarımcıları ve yapı teknolojilerini; esnek ve en iyi çözümleri sunabilmesi, enerji ve malzeme verimliliğini sağlayarak, en azla en iyi sonuca götürmesi bakımından oldukça önem kazanmıştır.

Biyomimetik yaklaşımla esneklik, konfor, rahatlık, enerji, iklim duyarlılığı ve çevresel etki ihtiyaçlarına cevap verebilecek yapı malzemeler üretilmesine yardımcı olmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe araştırılan biyomimetik malzemelerin kullanımının inşaat endüstrisinin karbon ayak izini önemli ölçüde azaltacağı öngörülmektedir. Kullanım sürecinde biyomimetik malzemelerin kullanımı ile binanın bakımı ile ilgili olarak binanın yaşam döngüsü maliyetini büyük ölçüde azaltacaktır.

Bu nedenlerle de günümüzde, teknolojilerin gelişimi, biyomimetikten yaralanan mimarlara, doğada bulunabilecek karmaşık yapıları yeniden oluşturmada, yenilikçi inşaat yöntemleri ve malzemeleri kullanarak yardımcı olmaktadır. Son yıllarda mimari tasarımlar, doğa ve biyolojiden algılama, tepki, adaptasyon ve farklılaşma, bilginin işlenmesi ve enerji çalışması açısından etkilenmiştir (Biggins, 2011). Bu etkilenme ve teknik gelişmeler ile yapı malzemelerinde aranan yüksek mukavemet, sertlik ve tokluk, kendi kendini iyileştirme, kendi kendini temizleme, kendi kendine adapte olma ve optik işlevleri içeren arzulanan ve belirtildiği gibi çok işlevli performans özelliklerine sahip malzemelerde doğa yol gösterici olmaktadır. Bununla birlikte, malzeme bileşenlerinin seçimi, mevcut farklı bileşenler arasındaki değişken kısıtlama dereceleri, değişken sınır koşulları ve yeni mimari düzenlemeler gibi tasarım değişkenlerinde daha fazla esneklik göstermesi ve çevresel etkileri nedeniyle biyomimetik olarak geliştirilmiş malzemeleri imal etmek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu gereklilikle yeni bir alan olarak biyomimetik malzeme bilimi, malzeme bilimi ve biyoloji arasındaki arayüzde hızla gelişmektedir (Hengstenberg, Bloch ve diğerleri 2001).

4.3. Biyomimetik Yapı Malzemelerinin Sınıflandırılması

Biyomimetik malzemelerdeki gelişmeler birçok uygulama alanında giderek daha fazla ilgi çekmektedir. (Taylor 2007) Bunlardan biri de daha önce belirtildiği gibi yapı malzemesi alanıdır. Bunun nedenlerinden biri, sentetik, insan yapımı malzemelerle karşılaştırıldığında biyolojik materyallerin, karmaşık gereklilikleri ve performansları, minimum miktarda malzeme ve enerji ile yerine getirme açısından oldukça verimli olmasıdır (Wegst ve Ashby, 2004). Bunun aksine, insanlık her gün kullanılan temel ürünleri yaratmak için çok sayıda farklı bileşiğe başvurur. Ek olarak, bu ürünler genellikle aşırı sıcaklık veya pH gerektiren koşullarda üretilmekte ve organik çözücüler, toksik bileşikler gibi zararlı maddeler içerebilmektedir. Bu durumun sonucunda da her geçen gün çevre üzerindeki olumsuz etkimiz artmaktadır.

Biyomimetik tasarım yaklaşımı ile çok işlevli, hafif, dayanıklı, iyi huylu ve geri dönüştürülebilir insan yapımı malzemeleri geliştirilebilir (Pereira, Monterio ve Prazeres, 2015). Son bilimsel çalışmalara göre, biyomimetik yaklaşımla ürün geliştirmenin ilk adımı biyolojik organizma ve sistemlerden benzersiz özelliklerin seçilmesi ve bunları etkin bir kaynak olarak kullanılmasıdır (Nasr, 2017). Bu özelliklere; kendi kendini temizleme, kendi kendini onarma ve iyileştirme, sürtünme azaltma, termal depolama, azaltma, kuru yapışma, uyarlanabilir büyüme, enerji tasarrufu ve üstün mekanik dayanım gibi işlevler örnek olarak verilebilir (Bello, Adegoke ve Oyewole, 2013).

Üstün ve özel özelliklere sahip organizmalar çeşitlendirilebilir. Örneğin örümcek ipeğinin yüksek dereceli çeliğe benzer bir gerilme mukavemetine sahip olması (Vollrath, Madsen ve Shao, 2001), kertenkele ayağının van der Waals kuvvetlerine dayanan olağanüstü yapışma gücü (Autumn, Liang ve diğ., 2000), deniz kabuklularının hafif yapılarına rağmen yüksek basınç kuvvetlerine dayanımları (Jackson, Vincent ve Turner, 1988), bazı güve ve sivri sinek çeşitlerinin gözlerinin yansıma ve buğulanmayı önlemesi (Boden ve Bagnall, 2006), morfo kelebeklerinin pigment içermeyen yapısal renge sahip olması ve lotus gibi bazı bitkilerin kendi kendini temizleme özelliği bu organizma ve özelliklerden bazılarıdır.

Doğal malzemelerde bulunan bu özelliklerin birçoğunun boyalar, kaplamalar, filmler, beton, cam, seramikler, ahşap malzemeler, taşlar, lifler ve izolasyona dahil edilmesi, altyapıların ve binaların yapımında devrim yapma potansiyeline sahiptir (Pereira, Monterio ve Prazeres,

2015). Gelişen bilim ve teknolojiye rağmen doğanın materyalleri hala en son teknoloji ile çözülemeyen bazı özelliklere sahip olsalar da, doğanın malzemelerinin işlevlerini oluşturan özellikleri, yapıları ve malzemelerin oluşma tekniklerinin, yollarının arkasındaki ilkeleri inceleyip anlayarak, yapı malzemeleri alanında yenilikler yapılabilmektedir. Bu neden ve amaçla da Çizelge 4.1’de biyolojik materyaller ve seçilen özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1.Doğada bulunan biyolojik materyaller ve seçilen özellikleri (Ke, Jiao ve diğ., 2014).

Bitki tabanlı yumuşak doku biyomalzemeler		Hayvansal tabanlı yumuşak doku biyomalzemeler		Hayvansal tabanlı sert doku biyomalzemeler	
Lotus yaprağı	-Süperhidrofobiklik -Düşük adezyon	Su koşucusu (böcek)	-Süperhidrofobiklik	Kemik	-Mekanik dayanım
Pirinç yaprağı	-Anizotropik -Süperhidrofobiklik	Sivrisinek birleşik gözü	-Süperhidrofobiklik -Yansıma önleyicilik -Buğu önleyicilik	Denizkulağı sedefi	-Mekanik dayanım -Yapısal renk
Bambu gövdesi	-Mekanik dayanım	Kuş tüyü	-Süperhidrofobiklik -Hafiflik	Diş	-Mekanik dayanım
Bambu yaprağı	-Anizotropik -Süperhidrofobiklik	Kutup ayısı kürkü	-Termal yalıtım	Boynuz	-Mekanik dayanım
		Ağustosböceği kanadı	-Yansıma önleyicilik -Süperhidrofobiklik	Deniz kabuğu	-Mekanik dayanım
Gül taç yaprağı	-Yapısal renk -Süperhidrofobiklik	Kelebek kanadı	-Yapısal renk -Süperhidrofobiklik	Balık pulu	-Sürtünme azaltma -Süperolefobik
		Örümcek ipeği	-Mekanik dayanım		
		Köpekbalığı derisi	-Sürtünme azaltma -Biyokirlilik önleyicilik		

Çizelgedeki biyolojik malzemelerin işlevlerini oluşturan özelliklerden yola çıkılarak biyomimetik yapı malzemelerine ilham olabilecek üstün işlevler ve bu işlevlere sahip doğal organizmalar ile özellikleri aşağıdaki tabloda (Çizelge 4.2) örneklendirilmiştir.

Çizelge 4.2. Biyomimetik yapı malzemelerine ilham olabilecek doğadaki malzeme işlevleri, bu işlevi sağlayan organizma ve özellikleri (yazar tarafından oluşturulmuştur)

İlham Alınan Organizma	İşlevleri Sağlayan Malzeme Özellikleri	Doğadaki Üstün Malzeme İşlevleri
-Lotus, pirinç, gül vb. yaprakları -Salyangoz kabuğu -Köpek balığı derisi	-Süperhidrofobiklik -Süperhidrofiliklik -Düşük sürtünme kuvveti	Kendi kendini temizleme
-Böcekler -Kertenkeleler -Kaktüsler -Örümcek ağları	-Süperhidrofobiklik -Süperhidrofiliklik -Düşük sürtünme kuvveti	Su ve sis toplama
-Ağaç kabukları -Mercan resifleri -Kertenkeleler	-İyileştirici salgılar, -Ters kas kontrolü -Mineralizasyon	Kendi kendini onarma ve iyileştirme – kendiliğinden oluşma (biyomineralizasyon)
-Güve gözleri -Sivrisinek gözleri	-Birleşik göz yapısı	Sis ve buğu önleme
-Bitkiler -Kurbanlar -Balıklar	-Süperhidrofobiklik -Sıvı infüzyonu -Anfiriz proteinler	Buz ve donu önleme
-İnsan derisi -Bitki stoması -Çam kozalakları	-Homeostazis -Terleme -Higromorfizm	Doğal havalandırma ve soğutma

Çizelgede (Çizelge 4.2) görüldüğü gibi doğanın malzemeleri insan yapımı malzemelerde bulunmayan pek çok üstün işleve sahiptir ve bu işlevler canlılar tarafından çeşitli yüzey, bileşen ve sistem özellikleri ile elde edilmektedir, ayrıca aynı özelliğin birden farklı işlevi sağlamada etkili olduğu da görülmektedir. Oluşturulan çizelge ile ayrıca günümüzde yaygın olarak kullanılan modern ve geleneksel yapı malzemelerde görülmeyen özelliklere ve işlevlere dikkat çeken ve sonuç olarak biyolojik prensiplerin malzeme tasarım prensiplerine transferini kolaylaştıran temel bir biyomimetik çerçeve elde edilmiştir. Bu çerçeve kullanılarak organizmaların biyolojik malzemelerinden öğrenen/ esinlenen/ modellenen/ uyarlanan ya da uygulanan yenilikçi malzemeler daha sistematik bir şekilde oluşturulabilmektedir. Çizelge kapsamında verilen işlevler dahilinde biyomimetik yapı malzemeleri yedi başlık altında ele alınabilir:

- Kendi kendini temizleyen biyomimetik malzemeler
- Sis ve buğu önleyici biyomimetik malzemeler
- Buzlanma önleyici biyomimetik malzemeler
- Su ve sis toplayan biyomimetik malzemeler

- Kendi kendini onaran biyomimetik malzemeler
- Pasif iklimlendirme sağlayan biyomimetik malzemeler

4. 4. Biyomimetik Yapı Malzemeleri

4.4.1. Kendi kendini temizleyen biyomimetik malzemeler

Kendi kendini temizleme teknolojisi, 20. yüzyılın sonlarından beri gelişmiş ve pratik uygulamalara yol açmıştır. Kendi kendini temizleme teknolojisinin uygulama alanı çok geniştir, pencere camından, güneş pili panellerine kadar çeşitlilik göstermektedir. Kendi kendini temizleyen yüzey, suyun etkisiyle kendini temiz tutar, bu da bakım maliyetinde, enerjide ve kimyasal temizleyici kullanımında bir düşüş sağlamaktadır. Leke önleyici, kirlenmeyi önleyici, düşük yapışma, düşük sürtünme, anizotropik ıslatma, yansıma önleyici, yönlü yapışma, fotokataliz ve buğu önleyici yüzey teknolojileri dahil olmak üzere çevreye duyarlı yeşil bir teknoloji olan kendi kendini temizlemeyi geliştirmek için çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu teknolojinin gelişimi, çeşitli canlıların kendi kendini temizleme işlevlerini, yapılarını ve prensiplerini anlamaya dayanmaktadır (Bhushan, 2009). Kendi kendini temizleyen yüzeyler günlük yaşamda, tarımda, endüstride ve askeri alanda ümit verici pratik uygulamalara sahiptir. Son yıllarda, kendi kendini temizleyen fonksiyonel malzemeleri hazırlamak için çok sayıda sentez stratejisi geliştirilmiştir. Günümüzde, kendini temizleyen yüzeyler camdan, çimentoya, karodan, tekstile potansiyelleri büyük küresel bir pazara sahiptir.

Kendi kendini temizleme teknolojisinin başlangıcı iki bin yıldan daha uzun bir süre önce, bazı bitkilerin kirli yaşam alanlarına rağmen neredeyse her zaman temiz yapraklara sahip olduğu gözlenmesine dayanmaktadır. Ancak bu fenomen 20. yüzyılın ikinci yarısına kadar bilimsel doğrulukla açıklanamamıştır. Örneğin lotus bitkisi Asya ve Doğu Amerika'daki bataklık ve sığ sularda yetişen bir türdür (Borsch ve Barthlott 1994). Lotus'un çamurlu sudan tamamen temiz çıkması, bitki yapraklarının temizliği arasındaki düşük ıslanabilirlik arasındaki ilişki mekanizması 1960'ların ortalarında ortaya çıkan yüksek çözünürlüklü elektron mikroskopunun (SEM) gelişmesine kadar bir sır olarak kalmıştır (Goldstein ve diğerleri, 1981). Çok sayıda bitki türü ve çeşitli kirleticilere karşı kendi kendini temizlemeye ilişkin ilk kapsamlı deneysel çalışma Almanya, Bonn Üniversitesi'nde Barthlott ve Neinhuis (1997) tarafından yapılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda elde edilen sonuçlar, etkili bir

kendini temizleme mekanizmasının yapısal temelini göstermiştir. Son zamanlarda yapılan bazı araştırmalar ile örneğin Cheng ve diğerleri (2006), Guo ve Liu (2007), kendiliğinden temizleme verimliliğinin değerlendirilmesinden ziyade ıslanabilirliğe odaklanmakta olup, kendi kendini temizleme özelliklerinin bitkilerle sınırlı olmadığını ve belirli hayvan gruplarında da bulunabileceğini belirtmiştir. Bu bitki ve hayvanların kendi kendini temizleme özellikliğini sağlayan işlevlerini, yapılarını ve ilkelerini anlayarak günümüzde kullanılan kendi kendini temizleme yöntemleri geliştirilmektedir. Bu canlılarda bir yüzeyi temiz tutmak için süperhidrofobik, süperolefobik ve süperhidrofilik olmak üzere üç çeşit yüzey özelliği bulunmaktadır. Lotus yaprakları, pirinç yaprakları, ağustosböceği kanatları, kelebek kanatları, salyangoz kabuğu, balık ölçeği, köpekbalığı derisi, sürahi bitkisi ve fotosentez gibi biyolojik unsurlar kendi kendini temizleyen yüzeylere ilham verir. Çizelge 4.3'te gösterildiği gibi bu çeşitli organizmalara ve doğal olaylara genel bir bakış sunulmaktadır (Nishimoto ve Bhushan, 2013).

Çizelge 4.3. Biyolojik unsurlardan esinlenen biyomimetik kendi kendini temizleyen yüzeylere genel bakış (Nishimoto ve Bhushan, 2013).

Biyolojik Unsur	Yüzeyin Biyoilham Verebilecek Özellikleri
Süperhidrofobik Yüzeyler	Lotus yağrağı
	Süperhidrofobiklik
	Düşük adezyon
	Düşük sürtünme
	Pirinç Yaprığı
	Süperhidrofobiklik
	Anizotropik ıslanma
Hidrofilik ve Olefilik (su içinde) Yüzeyler	Düşük sürtünme
	Ağustosböceği kanadı
	Süperhidrofobiklik
	Yansıma Önleyicilik
	Kelebek kanadı
	Süperhidrofobiklik
	Yönlü adezyon
Süperhidrofilik Yüzeyler	Düşük sürtünme
	Salyangoz kabuğu
	Süperolefobiklik
	Balık pulu
	Süperolefobiklik
	Köpekbalığı derisi
	Olefobiklik
Süperhidrofilik Yüzeyler	Düşük sürtünme
	Kirlenme önleyicilik
	Sürahi bitkisi
	Düşük sürtünme (kayganlık)
	Fotosentez
	Fotokataliz
	Süperhidrofiliklik
Süperhidrofilik Yüzeyler	Kendini ştelize etme
	Buğulanma önleme

Çizelgede 4.3'te görüldüğü gibi kendi kendini temizleme özelliğinin yanında bu yüzeyler düşük yapışma, düşük sürtünme, anizotropik ıslatma, yansıma önleyici, yönlü yapışma,

kirlenme önleyici, fotokataliz, kendi kendine temizleme ve buğu önleyici gibi özel özellikler de göstermektedir (Nishimoto ve Bhushan, 2013). Tüm çoklu işlevler doğal malzemelerin genel olarak mikroskobik yüzey özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzey özellikleri bazı organizmalar ve bunların yüzeylerinin elektron mikroskobu altındaki görünümüyle eşleştirilmiştir (Resim 4.2).



Resim 4.2. Süper ıslanabilirliğe karşılık gelen çok ölçekli yapılara sahip biyolojik malzemeler (Wang, Liu, Yao ve Jiang, 2015).

Lotus yaprakları (Resim 4.2.a), dal benzeri nanoyapılar tarafından kapsanan rastgele dağılmış mikropapillalar nedeniyle düşük yapışkanlık, süper hidrofobik ve kendi kendini temizleme özellikleri göstermektedir. Pirinç yaprağı yüzeyleri (Resim 4.2.b), lotus benzeri mikropapillaların bir boyutlu sıra ile düzenlenmesinden kaynaklanan anizotropik süperhidrofobikliğe sahiptir. Kelebek kanatları (Resim 4.2.c), çok katlı yapılar nedeniyle yönsel yapışma, süperhidrofobiklik, yapısal renk, kendi kendini temizleme, kimyasal algılama kabiliyeti ve flüoresans emisyon fonksiyonları göstermektedir. Sivrisinek bileşik gözleri (Resim 4.2.d), süperhidrofobik, sis önleyici ve antireksiyon fonksiyonları göstermektedir. Kırmızı gül yaprakları (Resim 4.2.e), periyodik mikropapilla dizilerinden kaynaklanan yüksek adezyon ve yapısal renk ile süperhidrofobiklik göstermektedir. Balık pulları (Resim 4.2.f), sürtünme azaltma, havadaki superoleofiliklik ve nanoyapılar tarafından kaplanan yönlendirilmiş mikropapillaya bağlı olarak suda superoleophobiklik göstermektedir (Wang, Liu, Yao ve Jiang, 2015). Biyomimetik yapı malzemesi teknolojisi alanında bu özellikler arasından en çok süperhidrofobik ve süperhidrofilik yüzey özelliklerinden ilham alınarak çalışmalar yapılmaktadır. Süperhidrofobik yüzeylerin kendi kendini temizleme etkisi, yüksek su temas açılarından kaynaklanmaktadır. Bu yüzeylerdeki su, üzerlerinde bulunan toz ve kiri kolayca alıp götüren neredeyse küresel damlacıklar

oluşturmaktadır. Damlacıkların yuvarlanma hareketi, kendi kendini temizlemede önemli bir süreçtir ve karmaşık bir fiziksel fenomendir.

Süperhidrofobik yüzeyler, aşırı su itici özelliklerinden dolayı çeşitli teknolojik uygulamalar için büyük ilgi çekmektedir. Teknolojik gelişmeler, hidrofobik yüzeyler ve düşük yapışma ve sürtünmeli arayüzler gerektiren yeni malzemeler ve yüzey tasarımları geliştirmeyi teşvik etmiştir. Hidrofobik (su geçirmez) yüzeyler ya düşük yüzey enerjili malzemeler kullanılarak ya da yüzeyleri silikon ya da balmumu gibi malzemelerle kimyasal olarak işleminden geçirerek yapılabilir. Bir hidrofobik yüzeyin hidrofobikliğini artırmak için kullanılabilecek bir başka teknik, yüzey pürüzlülüğünü artırarak yüzey alanını arttırmaktır. Eğer bir yüzey başlangıçta hidrofobik ise, o zaman bu yüzeye pürüzlülüğü vermek onu daha da hidrofobik hale getirecektir (Nosonovsky ve Bhushan 2005). Hidrofobiklik bir su damlası ve bir yüzey arasında yapılan basitçe temas açısı ile karakterize edilmektedir. Yüzey hidrofobik ise, temas açısının değeri 90° 'den büyüktür, 150° ila 180° arasında temas açısına sahip yüzeylere de süperhidrofobik denilmektedir. Kısaca yeterli pürüzlülük ve uygun yüzey enerjisi süperhidrofobikliğe yol açabilir. Süperhidrofobikliğe örnek olarak daha önce de bahsettiğimiz gibi lotus yaprağı ve buna ek olarak, başka bitkiler ve hayvanlar da gösterilmektedir. Bu fenomenden etkilenerek, biyomimikriye dayanan pek çok yapay süperhidrofobik yüzey tasarlanmış ve üretilmiştir. Teknolojinin gelişmesi ve sürdürülebilir bir çevre yaratma arzusuyla birlikte, süperhidrofobik malzemelerin teorik çalışmaları ve analitik teknikleri son zamanlarda büyük dikkat çekmiştir. Bunların arasında esneklikleri, iyi işlem kabiliyetleri ve düşük maliyetleri olan polimerler süperhidrofobik yüzeyler inşa etmek için en umut verici malzemelerden biri haline gelmiştir (Wen, Guo ve Liu, 2017).

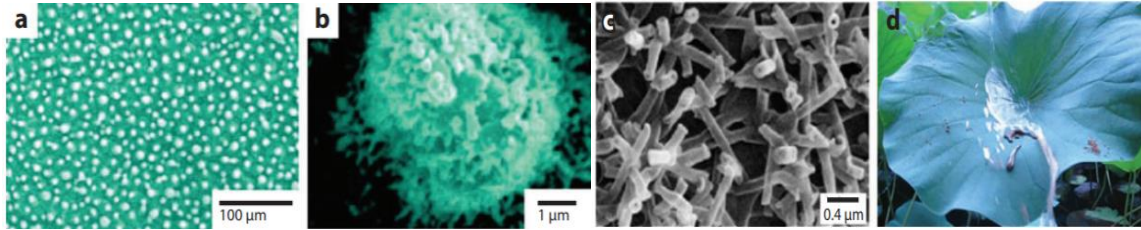
Süperhidrofobik kaplamalar; otomotiv endüstrisinde araba camlarının iç yüzeyinde buğulanmanın oluşmasını önlemek amacıyla, sağlık sektöründe uzun süren dayanıklılıkları ve antibakteriyel özellikleri sayesinde cerrahi aletlerde kullanılmaktadır. Ayrıca, süperhidrofobik yüzeyler mimaride kullanılarak binaların dış cephelerinin her zaman temiz kalmaları sağlanabilmektedir (Özgür ve diğerleri, 2007).

Kendi kendini temizleyen doğal malzemelerin çeşitliliği arasında, süperhidrofobiklik olarak nilüfer yaprağı en umut verici olanlardan biridir. Lotus bitkisi çamur içinde yetişmesine rağmen yaprakları görünüşte asla kirli değildir (Resim 4.3).



Resim 4.3. Çamur ile kirlenmiş bir lotus yaprağının yağmur ile temizlenmesi (Koch, Bhushan ve Barthlott, 2009).

Araştırmalar, lotus yaprağı yüzeylerinin $5\ \mu\text{m}$ ile $9\ \mu\text{m}$ arasında değişen çaplarda rastgele dağılmış mikropapillere sahip olduğunu göstermiş (Şekil 4.4.a), her papillada ise yaklaşık $120\ \mu\text{m}$ çapında ince dal benzeri nanoyapılar gözlenmiştir (Şekil 4.4.b). Bu çok ölçekli yapılar, yaprak yüzeyi ve su damlacıkları arasında en düşük temas alanı sağlayan hava cebi oluşturmaktadır. Ayrıca, nilüfer yaprağı yüzeylerinde (Şekil 4.4.c) tübül yapı, hidroforik üç boyutlu mumsu yapılar da bulunmaktadır. Yüzeyindeki su damlacıkları neredeyse küreseldir ve her yöne serbestçe yuvarlanabilir ve böylece kir parçacıklarını toplayabilir (Şekil 4.4.d) (Genzer ve Efimenko, 2006). Buna da lotus ya da nilüfer etkisi denilmektedir.



Resim 4.4. Lotus yaprağı yüzeyinin ve papillaların SEM görüntüsü (Genzer ve Efimenko, 2006).

Toz ve diğer kirlilikler nilüfer yaprağındaki yağmur damlaları tarafından durulanır. Birçok sektör bu etkiyi tekstil, plastik, cam veya diğer malzemeler üzerinde uygulamaya çalışmaktadır. Lotus yaprakları tarafından ilham verilen sayısız yapay süperhidrofobik yüzey, tekstil, fayans ve cam gibi çeşitli substratlar üzerinde kendi kendini temizleyen kaplamalar kullanılarak geliştirilmiştir (URL 15).

Lotus etkili boyalar

Lotus etkisinden esinlenerek oluşturulan malzemelerden biri de kendi kendini temizleyen boyalardır. Bunlardan en bilineni olan Lotusan doğadan ilham alınarak tasarlanmış yenilikçi

biyomimetik bir malzemedir. Lotusan içinde hidrofobik silika gibi nanopartiküllerin bulunduğu yapışkan bir film olan boyadır. Bu buluşun en etkili biyomimetik tasarımlardan biri olmasını sağlayan, inovasyonun biyoloji-bilim-endüstri alanlarının işbirliği ile yapılmış olmasıdır (Shimomura, 2010).

Bina cepheleri saklanamaz ve korunamaz, gece gündüz rüzgâr, hava olayları ve emisyonlara maruz kalır. Bina cephelerinde sis, yağmur ve nem, yosun ve mantarların üremesine neden olur bunun yanında yıllar geçtikçe, havadaki kir parçacıkları birikir ve istenmeyen kirli bir görüntü oluşturur. Geleneksel cephelerde kir parçacıkları yüzeyde birikmektedir (Şekil 4.2). Yüzey daha az hidrofobiktir ve bu nedenle suyla daha çok ıslanabilir ve kir parçacıkları daha iyi yapışır (URL 16). Bu nedenle lotus etkili boyalar yapı sektöründe özellikle cepheler için büyük önem taşımaktadır. Lotusan uzun ve geniş cephelerde de etkilidir. Yosun ve mantarlara karşı doğal koruma sağlar, nem düzenleyici etki gösterir (URL 16). Lotusanın çalışma prensibi (Şekil 4.2) sayesinde cepheye yağmur, sis ve nem yapışmaz, algler ve mantarların besinleri yoktur, cepheler temiz ve kuru kalır (Resim 4.5). Kimyasal temizleyici kullanımını ve enerji kaybını azaltır. Yangına dayanımı yüksektir, aşırı derecede hidrofobiktir ve şişme göstermez (Antony, Griebhammer ve diğ. 2016). Yüksek su buharı geçirgenliğine sahiptir. Lotus etkili boyalara ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.4'te tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.4).

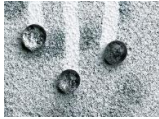


Şekil 4.2. Geleneksel cephe kaplamaları ve lotusan uygulanmış cephe karşılaştırması (URL 16).



Resim 4.5. Lotusanın çalışma prensibi (URL 16).

Çizelge 4.4. Lotus etkili boyalar - biyomimetik malzeme örneği

LOTUS ETKİLİ BOYALAR	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓	✓		
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Lotus yaprakları	Lotus yaprağının yüzeyinde bulunan süperhidrofobik yapılar yaprak yüzeyi ve su damlacıkları arasında düşük temas sağlayan hava cebi oluşturur. Böylece yaprak kir tutmaz.		Malzeme kendi kendini temizler, uzun ömürlü ve estetik görünümlüdür, biyokirleticilere, yangına karşı dayanıklıdır. Bakım onarım maliyeti düşüktür, çevre kirliliğini azaltır. Kimyasal temizleyici kullanımını ve enerji kaybını azaltır.	

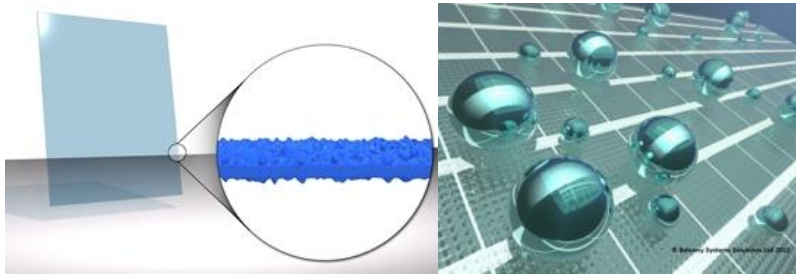
Lotus etkili kaplamalar ve camlar

Günümüzde otomotiv sektörü ve mimaride kullanımı artan cam cepheler ile bu yüzeylerin temizliği, dış etkenlere ve kirliliğe bağlı olarak geçirgenliğini koruması önem kazanmıştır. Bu bağlamda da Ebert ve Bhushan (2012b) tarafından süperhidrofobik transparan bir kaplama üretilmiştir ve bu malzeme aşınma testlerinde de yüksek dayanıklılık göstermiştir (Resim 4.6). Saydamlık gibi optik özellikler çeşitli uygulamalar için önemlidir. Süper hidrofobikliği sağlamak için belirli bir yüzey pürüzlülüğü seviyesi gerekli olsa da bu boyutlarda, pürüzlülük görünür ışık altında algılanmaz bu nedenle de yeterli saydamlık sağlanabilir (Ebert ve Bhushan, 2012a).



Resim 4.6. Süper hidrofobiklik ve yüksek görünürlük sergileyen cam, polikarbonat ve PMMA üzerine biriken su damlaları (Ebert ve Bhushan, 2012b).

Kendi kendini temizleyen bir cam yüzeye ulaşmak için çözümlerden biri BalcoNano® (Şekil 4.3.b) kaplamadır. Çok gözenekli ve mikroskobik olarak pürüzlü bir yüzey olan geleneksel cam (Şekil 4.3.a) kirlenmeye, bakteri ve diğer çeşitli tortulara neden olan bir mıknatıstır. Bu, zamanla camın yüzeyini, parlaklığını ve netliğini bozar (URL 17). Cam yüzeylere uygulanan BalcoNano® sert, dayanıklı bir koruyucu kaplamadır. Kir ve diğer tortular cam yüzeye yapışamaz ve suyla kolayca temizlenebilir (URL 18). Avantajları, aynı şekilde organik ve inorganik kirler üzerinde çalışmasıdır. Bu kaplama, cam yüzeyini çizilmeye karşı çok daha dayanıklı kılar ve kir kolayca yıkanabileceğinden temizlik yapılması gerektiğinde kimyasalların kullanılma ihtiyacını azaltır. Bu uygulama, uygun şekilde yapıldığında, dış koşullarda 3 ile 10 yıllık bir ömre sahiptir (URL 19).



Şekil 4.3. a) Mikroskop altında görüntülenen geleneksel cam ve b) süperhidrofobik kaplamalı cam (URL 15).

Camın yanı sıra BalcoNano®, silika bazlı seramik, mermer, porselen gibi herhangi bir malzemeye uygulamak için uygundur. Cam duş kabinleri veya bölmeleri, cam veranda kapıları, kış bahçeleri, cam pencereler, cam balkonlar, cam masa üstü, mermer mutfak tezgahları, porselen banyo armatürleri, seramik fayanslar ve hatta arabaların ön camında BalcoNano® kaplamadan yararlanabilir. Kaplama, malzeme yüzeyindeki silikon dioksit

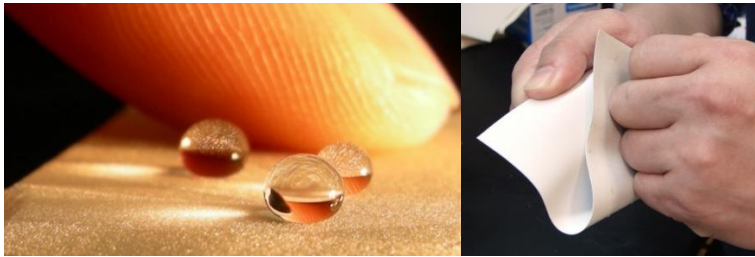
(silika) ile moleküler bir bağ oluşturur; bu, malzemenin yüzeyini su geçirmez ve yapışmaz hale getirecek şekilde koruyan sert ve şeffaf bir kalkan oluşturur (Resim 4.7.).



Resim 4.7. Lotus etkili süperhidrofobik kaplamalı ve kaplamasız camın davranışları (URL 20).

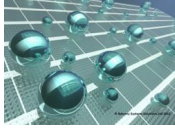
Ayrıca bu kaplama PV paneller üzerine uygulanabilmektedir. Toz ve kir, enerji verimi ve yatırım getirisini etkileyen olumsuz etkenlerdendir. Cam üzerinde kir ve toz güneş ışınlarını fazlaca engeller ve güneş panelleri kirlendiğinde % 65'e varan oranda üretim azalabilir (URL 21). Kaplama sayesinde enerji verimli bir şekilde elde edilebilir, kayıplar azaltılır.

Bir diğer örnek ise kendi kendini temizleyen termoplastik levhalardır (Resim 4.8) Kauçuk yer kaplamaları ile malzemesinde başka bir değişiklik yapmadan dayanıklı, süperhidrofobik yüzeyler geliştirilmiştir. Bu levhalar; mekanik çizilmeye ve aşınmaya karşı dirençlidirler deneysel olarak test edilmiş ve kimyasal olarak stabil olan bu yüzeyler % 4 alkali ve kaynar su içeren çözeltilere maruz kaldıktan sonra bile kendi kendini temizleme özelliklerini korumaktadırlar. Yüzeyler uzun süre yüksek debilerde su ile durulanabilmekte ve yüksek basınç altında suya batırıldıklarında bile kuru kalmaktadırlar (URL 20). Lotus etkili kaplamalara ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.5'te tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.5).



Resim 4.8. Kendi kendini temizleyen termoplastik levhalar (URL 20).

Çizelge 4.5. Lotus etkili kaplamalar - biyomimetik malzeme örneği

LOTUS ETKİLİ KAPLAMALAR  	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
	✓		✓		
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Lotus yaprakları	Lotus yaprağının yüzeyinde bulunan pürüzlü süperhidrofobik yapılar yaprak yüzeyi ve su damlacıkları arasında düşük temas sağlayan hava cebi oluşturur. Böylece yaprak kir tutmaz.		Malzeme kendi kendini temizler, serttir, aşınmalara, çizilmelere dayanıklıdır. Optik özellikler açısından 3-10 yıl ömürlü saydamlığını korur, kimyasal temizleyici kullanımını azaltır, PV panel üzerine kaplanarak enerji verimliliğini artırır. Çeşitli malzeme yüzeylerine uygulanabilir.	

Su geçirmezlik, kendi kendini temizleme, buzlanmayı önleme, sürtünme azaltma ve korozyon direnci gibi alanlarda biyomimetik süperhidrofobik malzemelerin yüksek uygulama potansiyeli günlük yaşamımızda ve endüstrimizde önemli değişiklikler yapacaktır. Önemli ilerlemelere rağmen biyomimetik süperhidrofobik malzemeler hiçbir zaman beklenen kadar yaygın olmamıştır. Bunun nedeni, kimyasal kararlılık ve özellikle mekanik dayanıklılık olmak üzere iki ana konunun henüz ele alınmamasıdır (Si, Dong ve Jiang, 2018). Tüm bu ilerlemelere rağmen, genel olarak mevcut araştırma başarıları gerçek uygulamalardan uzaktır. Biyomimetik performanstan hizmet ömrüne kadar, ilgili araştırmalar şu anda ciddi problemlerle karşı karşıya kalmıştır.

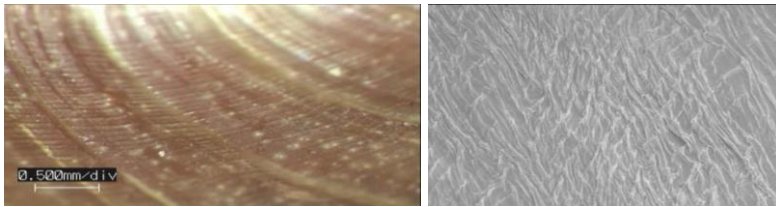
Süperhidrofilik yüzeyler ise süperhidrofobik yüzeylere zıt bir terim olarak ortaya çıkmıştır. Süperhidrofobik yüzeylere benzer şekilde, yüzey pürüzlülüğü, bu yüzeyler için de gerekli bir özelliktir (Wang, Liu, Yao ve Jiang, 2015). Süperhidrofilik yüzeylerde su damlacıkları yerine düz bir film şeklinde yüzeyde yayılmakta ve yüzeydeki kirlenici malzemeleri, yayılan su tabakası ile kolayca yıkamaktadır. Bu yüzeyler tamamen su geçirmez özellikte değildir. Bu tür yüzeyin ıslanabilirliği, yüzey serbest enerjisine ve yüzey geometrik yapısına bağlıdır (Wenzel, 1936). Islanma (hidrofilik özellik), bir su damlası ve bir yüzey arasında yapılan

basitçe temas açısı ile karakterize edilir ve yüzeyler 90° 'den daha düşük bir temas açısına sahip olduğunda meydana gelmektedir (Nosonovsky ve Bhushan, 2005).

Piyasaya sunulduğundan beri, bir süperhidrofilik yüzeyin yüzey kimyası ve pürüzlü yapının bir kombinasyonu ile imal edilmesi için birçok teknik uygulanmıştır. Bununla birlikte, çeşitli uygulama alanlarından ötürü, süperhidrofilik yüzeyler, silikon, tekstil, cam, alüminyum, çelik, diğer metal yüzeyler ve benzerleri gibi çok çeşitli substrat malzemeleri üzerinde imal edilmiştir (Otitoju, Ahmad ve Ooi, 2017).

Süperhidrofilik özellik gösteren biyolojik yüzeyler incelendiğinde örneğin balık pullarında olduğu gibi süperhidrofilikliğin yanı sıra benzersiz bir süperolefobik (yağ itici özellik) özellik de sergiledikleri anlaşılmıştır (Liu, Wang ve diğerleri, 2009). Bu nedenle de her ne kadar çoğu araştırma bitkisel süperhidrofobik yüzeylerin üretilmesine odaklanmış olsa da, süper hidrofilik yüzeyler, köpük önleyici, zehirli boya önleme ve kendi kendini temizleme gibi geniş pratik uygulamaları nedeniyle de büyük ilgi görmektedir (Wang, Liu, Yao ve Jiang, 2015).

Süperhidrofilik biyomimetik malzemelere ilham olan canlılardan biri salyangozdur. Salyangozlar sadece yağışlı mevsimlerde görülmelerine rağmen, yüzeyleri daima temiz kalır. Salyangoz kabuğunun üst yüzeylerinde, zift ve protein tabakasından oluşan oluklar mevcuttur. Bu olukların içindeki nano boyutlu kanallar yüzey pürüzlülüğü sağlar. Bu da süperhidrofilikliğini arttıran bir özelliktir (Nishimoto, Bhushan ve diğerleri, 2013). Salyangoz kabuğunun yüksek düzenliliğe sahip pürüzlü bir yüzey yapısı vardır (Resim 4.9).



Resim 4.9. Salyangoz kabuğunun mikroskopik boyuttaki görünümü (URL 22).

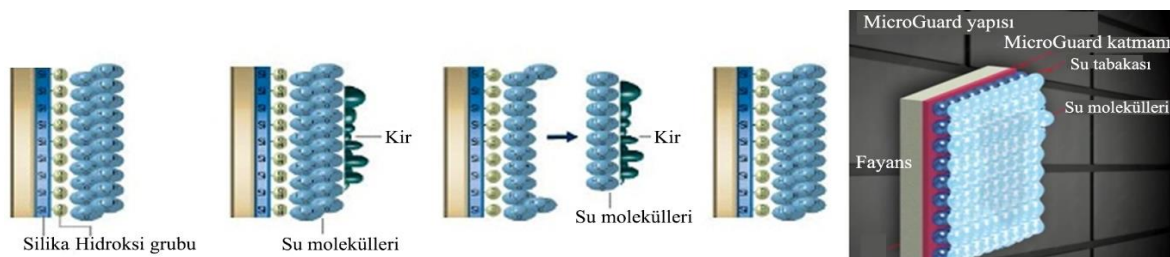
Araştırmalar salyangoz kabuğu yüzeyinin su varlığı ile birlikte yağ itici süperolefobik özellikte olduğunu göstermiştir. Süperolefobikliğin muhtemelen yüzeyde sıkışmış su moleküllerinin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak, salyangoz

kabuğunun kendi kendini temizleme özelliğinin anahtarının süperolefobikliği olduğu ortaya çıkmıştır yani, ıslanan yüzeye kirin yapışması oldukça zordur (Nishimoto, Bhushan, 2013). Salyangoz kabuğunun bu özellikleri, seramik karolar, tuvaletler ve banyolarda kullanılan sıhhi tesisat armatürleri ile ayrıca mutfaklardaki (çoğunlukla mutfak lavabosu) birçok uygulamaya ilham vermiştir. Özellikle, karolara ait hidrofiliklik su bağlama yeteneğini etkileyen silika bazlı kaplama ile artırılmış, böylece su molekülleri yüzeyde absorbe edilmiş, ince bir su tabakası oluşmuştur. Ayrıca, ana kirlilik kaynaklarının yağ olduğu mutfak evyelerinde paslanmaz çelik yüzeylerin kaplama tekniği de geliştirilmiştir. Silika bazlı seramik kaplama ile paslanmaz çelik yüzey hidrofilik ve oleofilik bir yüzeye dönüştürülmüştür.

Salyangoz kabuğundan esinlenilerek oluşturulmuş biyomimetik yapı malzemeleri

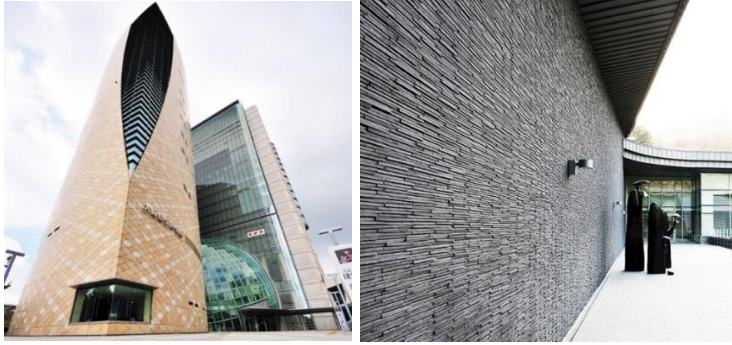
1990'ların başlarında Japon kiremit ve seramik üreticisi bir firma yapılan araştırmalar sayesinde salyangoz kabuklarının her zaman temiz olma özelliklerinin yapı malzemelerine uyarlanabileceğini keşfetmiştir. Birkaç yıl süren araştırma ve testlerden sonra, dış duvar karolarının üzerine boyanabilen ve egzoz, duman ve diğer kirlenmelerden korunmak için "Suitewall" adında bir silika kaplama geliştirmişlerdir. Doğal olarak toprakta bulunan bir element olan silika, havadaki nemin kolayca tuttuğu mikroskobik tümsekler oluşturur ve bir salyangoz kabuğunda bulunanla aynı tür küçük kir tutucu olukları oluşturur (URL 23).

Bir diğer yenilik olan "Microguard" teknolojisi (Şekil 4.4) ile salyangoz kabuğunun işlevini taklit eden kendi kendini temizleyen yüzey kaplamaları elde edilmiştir. MicroGuard kaplama teknolojisi ile metal korozyon koruması için koruyucu kaplamalar, çok sayıda iç veya dış yüzeyde küf azaltma; beton veya dekoratif taş üzerinde lekelenmenin ve kirlenmenin; seramik ve fayans yüzeylerin lekelenme, küflenme ve matlaşmasının önlenmesi gibi uygulamalar gerçekleştirilmektedir (URL 24).



Şekil 4.4. Microguard teknolojisi ile üretilen film tabakalarını çalışma prensibi (URL 25).

Geliştirilen “Microguard” teknolojisiyle nanoteknolojik olarak üretilen biyomimetik yapı malzemelerinden biri X-Terior kaplamadır. Kaplamanın yüzeyinde gözle görülmeyen bir su tabakası oluşur ve böylece dışarıdan gelen kirleri üzerine yapıştırarak temizler. Binaların temiz kalmasını sağlayan X-Terior kapama hafiftir, binalara statik yük vermez, yüksek binalarda da kolaylıkla uygulanabilmektedir. Gün ışığındaki değişimler, gece-gündüz farkları ve mevsimsel değişimlerden etkilenmez. Buz tutmama ve yanmama özelliklerine sahiptir. Havadaki toz taneciklerinin binayla etkileşimini engelleyerek dış cephede statik elektrik birikimini engellemektedir. Çok fazla model ve renk seçeneği bulunmaktadır böylece mimari estetiğe de uyumlu olarak uygulanabilmektedir. Bina dış cephelerinde kullanıldığı gibi (Resim 4.10) iç cephelerde de kullanılabilir. Ürün Dünya Ekoloji Kataloğunda yer alan üretim safhasında düşük karbon salınımı bulunan, kullanım safhasında enerji ve ekonomik anlamda tasarruf sağlayan ve geri dönüştürülebilir bir malzeme olması özellikleri ile çevreye duyarlı bir üründür (URL 26).



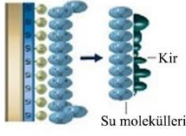
Resim 4.10. X-Terior kaplama uygulanmış bina cephesi örnekleri (URL 26).

Microguard teknolojisinin uygulandığı tuğlalar, kiremitler ve dış cephe için taş kaplama malzemeleri oldukça uzun ömürlü malzemelerdir. Her türlü iklim koşuluna bol yağışa ve aşırı ısıya dayanıklıdır ve %1’lik su emme oranıyla geleneksel tuğla ve kiremite göre neredeyse emici olmayan bir üründür bu nedenle de su yalıtım özelliklerine sahiptir (URL 25). Tuğla, kiremit gibi yüzeyler dışında geçirgen cam yüzeylere, büyük ölçekteki cam bina cephelerine ve de direkt olarak boya yüzeylerine de uygulanabilmektedir (Resim 4.11). Malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.6’da tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.6).



Resim 4.11. a)Exchange Tower: Microguard kaplamanın cam bina cephesine uygulanması.
b)Telecommunication Company Office: Microguard kaplamanın boya üzerine uygulanması (URL 27).

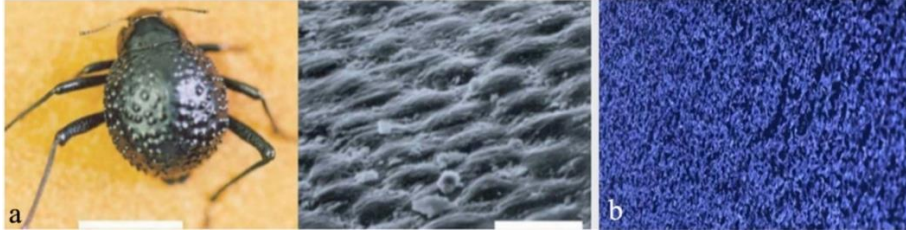
Çizelge 4.6. X-Terior kaplama – biyomimetik malzeme örneği

X-TERIOR KAPLAMA	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓	✓		
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Salyangoz kabuğu	Salyangoz kabuğunun yüksek düzenliliğe sahip pürüzlü bir yüzey yapısı vardır. Bu yapı süperhidrofilik ve süperolefobik özellik gösterir böylece kabuk her zaman temiz kalır.		Kendi kendini temizler, hafiftir, işçiliği, uygulaması kolay ve ucuzdur. Her türlü binaya uygulanabilir, gün ışığı ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmez, su yalıtımı sağlar, buz tutmaz, yanmaz. Çok sayıda model ve renk ile çeşitli malzemelere uygulanır. Üretiminde düşük karbon salınımı bulunur, kullanım safhasında enerji ve ekonomik anlamda tasarruf sağlar ve geri dönüştürülebilir.	

Namib çöl böceğinin kabuğundan esinlenilerek oluşturulmuş biyomimetik boya:

Kendi kendini temizleyen süperhidrofilik yüzeyler için ilham kaynağı olarak olarak yararlanılan canlılardan biri de Namib çöl böceğidir. Böcek yüksek rüzgarlar, gün boyunca süren aşırı sıcaklıklar ve şafak vakti yoğun sis gören zorlu ortamlardan birinde yaşar. Sisten su toplama davranışı sayesinde hayatta kalır. Kabuğundaki hidrofilik ve hidrofobik

bölgeleri, yükselen tümsekler vasıtasıyla birleştiren böcek (Resim 4.12.a); sisin su damlacıklarını çeker ve bu damlacıkları ağza kanalize edebilir. Su damlacıkları hidrofilik tümseklerin üzerine yapışırlar ve belirli bir boyuta ulaşıncaya kadar büyürler ve kabuktaki hidrofobik oluklardan ağza doğru yuvarlanırlar (Parker ve Lawrence, 2001).

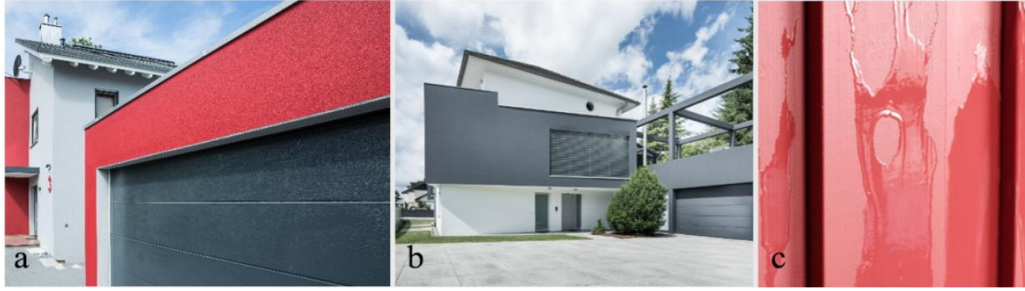


Resim 4.12. a) Böceğin kabuk görünümü ve kabuğun mikroskop altındaki görünümü (Chen ve Rosi, 2010). b) StoColor Dryonic® boyanın mikroskobik yapısı (URL 28).

Böceğin bu eşsiz özelliğinden yararlanıp, hidrofilikliğine yoğunlaşan çalışmalar sonucu kendi kendini temizleyen; StoColor Dryonic dış cephe boyası geliştirilmiştir. Böceğin sisi hızlı bir şekilde sıvıya dönüştürüp akıtması burada araştırmacıların dikkatini çeken temel fonksiyondur. Bu yüksek performanslı drenaj tekniği yeni bir cephe boyasına dönüştürülmüştür. Böylece boyanın sadece yağmurda değil nemli havalarda da işlevini yerine getirmesi planlanmıştır. StoColor Dryonic kabuktaki mikro yapılara benzer şekilde bağlayıcı ve doldurucularla simüle edilmiştir (Resim 4.12.b) yani yüzeyin mikro yapısı, oldukça hızlı su geçirmezlik sağlayan etkin bir bağlayıcı madde ve dolgu maddesi mimarisinden oluşur.

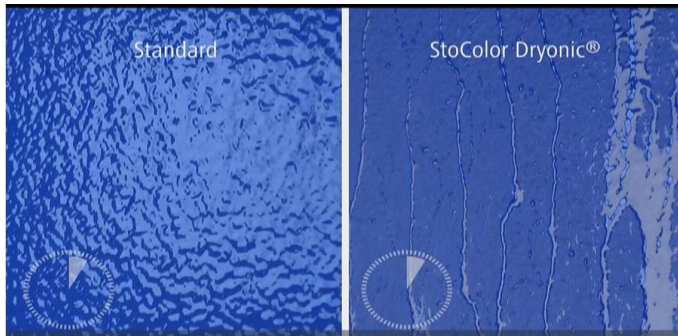
Cepheler sürekli olarak hava, çiy ve yağmura maruz kalır. Bu da cephelerin zararlı mikroorganizmalar tarafından saldırıya uğrama risklerini arttırır. Böceğin eşsiz dokusunun işlevine benzer olarak boya sisi hızlıca sıvıya dönüştür ve cephenin kuru kalmasını sağlar. Böylece boyadaki teknoloji zararlı mikroorganizmaları besinsel temellerinden mahrum eder ve mantar, yosun benzeri oluşumları engeller. Boya; sıva, beton, klinker, metal, kil fayans, lifli çimento levha, ahşap veya plastik gibi neredeyse tüm bina yüzeylerinde çalışır (Resim 4.13). Cephe boyası, çiy ve sisin rekor sürede akmasını sağlar, cepheyi güneşte solma veya ısınmaya karşı korur (URL 28). Suyu emmez ve geçirmez ancak buharı geçirir böylece sağlıklı kullanıcı koşulları yaratır. Çok yüksek mekanik dayanımı bulunur, sürtünme, aşınma ve kimyasallara karşı dayanıklıdır. Boya ateşe maruz kaldığında alev yayılımı ve duman gelişimi düşüktür. Optimum dayanıklılık, renk kararlılığı ve sürdürülebilirliğin yanı

sıra çok çeşitli tasarım olanakları sunar. StoColor Dryonic konvansiyonel yüksek pigmentli boyalarda bulunan geniş yüzeylerde kırılma ve kolayca dökülme gibi olumsuzluklara sahip değildir, bu da bina girişleri gibi çok sık kullanılan bölgelerde avantaj oluşturmaktadır. Yenileme döngüsünü uzun süre ortadan kaldırdığı için ekonomik ve çevre dostudur (URL 29).



Resim 4.13. a,b) Biyomimetrik StoColor Dryonic®'in neredeyse tüm bina cephesine ve c) boyanın ahşap üzerine uygulanması (URL 28).

Darmstadt'taki Fraunhofer Enstitüsü, yoğunlaştırılmış yüzey suyunu giderebilmeleri için beş cephe boyasını test etmiştir. Ölçümler açıkça StoColor Dryonic' in suyu en hızlı şekilde dağıttığını ve nemi emmediğini açıkça göstermektedir (Resim 4.14) (URL 28).



Resim 4.14. Biyomimetrik StoColor Dryonic®'in standart boyaya göre suyu daha çabuk uzaklaştırması (URL 28).

Özetle boya; yağmur ve çiy oluşumundan sonra hızlı kuruma, cephelerde alg ve mantarlara karşı koruma sağlayan biyonomik etki prensibi, yüksek renk çeşitliliği, aşırı ısınmayı engelleme ve stabilite, sert ve koruyucu olma gibi özelliklere sahiptir. Boya bina yüzeyinin her yerine uygulanabildiği gibi direkt kuru ahşap yüzeylere de uygulanabilmektedir (Resim 4.13.c). Ahşap uzun süre güzel ve sağlam kalır. İşlem hızlı ve kolaydır, ahşabın sorunlu bileşenlerini engeller, ahşaba yalıtım sağlar, ek olarak bir kaplamaya gerek kalmaz. Mekanik olarak

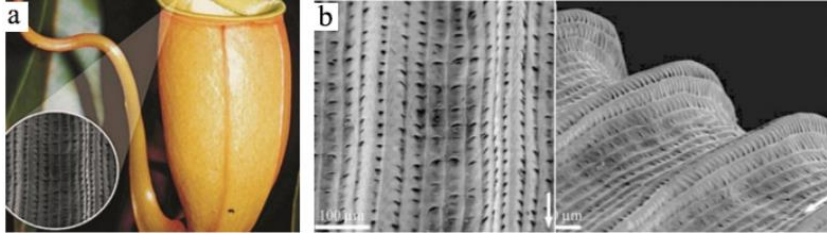
dayanımı fazladır (URL 28). Malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.7’de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. StoColor Dryonic boya - biyomimetik malzeme örneği

STOCOLOR DRYONIC  	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓	✓		
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Namib çöl böceği	Böcek; kabuğundaki hidrofilik ve hidrofobik bölgeler yardımıyla sis suyunu toplar ve sisi hızlı bir şekilde sıvıya dönüştürüp akıtır.		Boya kendi kendini temizler, mikroorganizma oluşumunu engeller, neredeyse tüm bina yüzeylerine, çeşitli malzemelere uygulanabilir. Geniş renk çeşitliliği bulunur, solmaz, su yalıtımı sağlar, güneşten ısınmayı azaltır, aşınma ve kimyasal dayanım ile mekanik stabilitesi yüksektir. Yangında alevlenmesi azdır, estetik, uzun ömürlüdür, bakım masrafı azdır.	

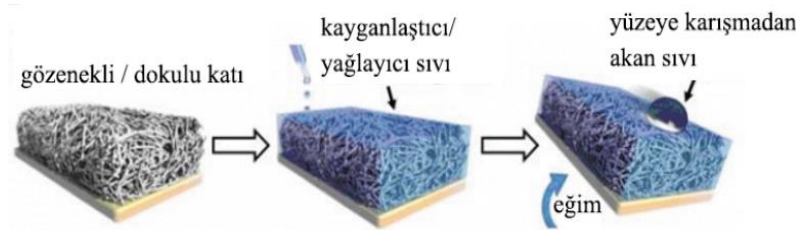
Sürahi bitkisi ve kendi kendini temizleyen kaplama

Etçil bitkiler olarak da bilinen sürahi bitkileri (Resim 4.15.a) avlarını (özellikle böcekleri) yakalamak için sürahi şeklindeki yapraklara sahiptir. Sürahi bitkisinin böcekleri yakalamak için sahip olduğu en önemli özelliklerinden birinin kaygan yüzeyleri olduğu düşünülmektedir. Bitkinin yüzeyi mikro ölçekteki radyal sırta sahiptir (Resim 4.15.b). Bitkinin yüzeyinin mikro ölçekteki özellikleri ve higroskopik (nem çeken) nektar salgılanmasından dolayı süper hidrofiliklik gösterir. Sonuç olarak, nemli koşullarda stabil su filmleri oluşur ve su filmi, üzerine basan böceklerin, ayaklarındaki yağları iterek, bitkinin içine kaymalarına neden olmaktadır. Sürahi bitkisinin kaygan yüzeyinde görülen sistemden esinlenerek çok sayıda sentetik süperhidrofilik yüzey üretilmiştir (Sethi ve Manik, 2018).



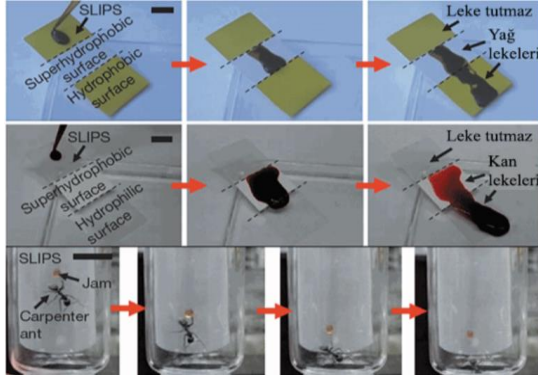
Resim 4.15. a) Sürahi bitkisi ve b) elektron mikroskobu altındaki farklı radyal sırtlara sahip yüzeyi (Bohn ve Federle, 2004).

Araştırmacılar sürahi bitkisinden ilham alan özel sıvı ve buz iticiliğine, basınç stabilitesine sahip, gelişmiş optik saydamlığı olan, kendi kendini iyileştiren, kaygan sıvı ile aşılınmış, gözenekli yüzeyler üretmişlerdir (Şekil 4.5) (Wong, Kang ve diğerleri, 2011). Bu kayganlık tekniği taklit edilerek suları olduğu kadar yağları da iten “omnifobik” bir yüzey geliştirmişlerdir. Kaygan sıvı ile doldurulmuş gözenekli yüzeyler “SLIPS” olarak tanımlanmaktadır. Bu yüzeyler, rastgele bir nano elyaf ağından oluşan sünger benzeri bir malzemeden üretilmiştir. Malzeme daha sonra sıvılarla karışmayan, bir kayganlaştırıcı film ile kaplanmıştır.



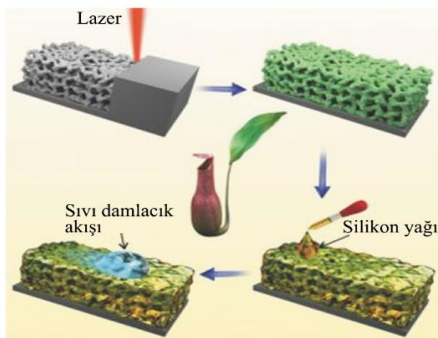
Şekil 4.5. Gözenekli katı yüzeyin kayganlaştırıcı sıvı ile kaplanması ile SLIPS üretimi (Wong, Kang ve diğerleri, 2011).

Yüzeye yağ veya kan gibi bir kompleks sıvı damlası yerleştirildiğinde, yüzey hafifçe eğilmiş olsa bile hızlı bir şekilde sıvıyı kaydırmaktadır (Resim 4.16) (Wong, Kang ve diğerleri, 2011). Çeşitli sıvıları iten sağlam bir sentetik yüzey oluşturmak, biyomedikal cihazlardan, yakıt taşımacılığına ve mimariye kadar uzanan alanlar için geniş teknolojik etkilere sahip olacaktır.



Resim 4.16. SLIPS in çeşitli sıvılar ile deneyi (Wong, Kang ve diğerleri, 2011).

Kayganlaştırıcı film ayrıca, gözenekli malzemenin aşınma veya çarpma sonucu hasar görmesinin ardından gözenekli yapıların içine girerek, iyileştirir ve işlevini korur, ayrıca optik olarak saydamlaştır (Wong, Kang ve diğerleri, 2011). Şu ana kadar SLIPS'in tüm benzersiz özelliklerine sahip hiçbir sentetik yüzey bildirilmemiştir: anlık ve tekrarlanabilir kendi kendini iyileştirme, aşırı basınç kararlılığı, antibakteriyellik ve optik şeffaflık (Wong, Kang ve diğerleri, 2011). SLIPS'in metal yüzeylere uygulanması için özel yapışkan bir kaplama geliştirilmiştir, kaplama; çeşitli şekillerdeki metal yüzeylere büyük çapta uygulanabilir, hatasız, pürüzsüz bir yüzey sağlar. SLIPS'in, düşük yüzey enerjili gözenekli katı malzemelerle (örneğin gözenekli teflon ve epoksi reçine bazlı nanoyapılı yüzeyler) ve çeşitli kayganlaştırıcı sıvılarıyla, üretimi basit ve ucuzdur. Katı malzemenin gözenekleri lazer teknolojisi yardımıyla arttırılır, böylece katı malzemenin yüzeyi süngerimsi hale gelir ve yüzeye kayganlaştırıcı sıvı (silikon yağı vb.) emdirilir (Şekil 4.6). SLIPS, katı malzemeden oluşan alt tabakanın hassas doku geometrisine duysız olduğu için, bahsedilen katıların herhangi biri pahalı üretim tesislerine ihtiyaç duymadan çok omniphobik bir yüzeye dönüştürülebilir (URL 30).



Şekil 4.6. Lazer ile polimerlerin laygan sıvı ile doldurulmuş gözenekli yüzeylere (SLIPS) dönüşmesi (Troeger, 2018).

Araştırmacılar, yeni malzemenin sektördeki alternatif kaygan yüzeylere göre büyük bir avantajının da sağlamlığı olduğunu söylemektedir. Örneğin lotus yapraklarının su itici özelliklerine dayanan malzemeler, yüksek basınçta kararsız hale gelebilecek, düşük performansa veya kalıcı hasara yol açan sıkışmış hava katmanına dayanmaktadır. Buna karşın SLIPS filmi kendinden düzdür ve yüzey gerilimi olan maddelere karşı neredeyse mükemmel kayganlık sağlar. Lotustan ilham alan yüzeyler, yağlar gibi düşük yüzeyli sıvıları iterken çok daha fazla zaman harcamaktadır, çünkü bunlar dokular arasındaki boşluklara batma eğilimindedir.

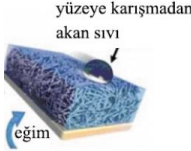
SLIPS'in sıcaklık ve basınç stabiliteleri, ham petrol ve biyoyakıt gibi ekonomik açıdan önemli sıvıların enerji verimli, yüksek sıcaklıkta taşınması için idealdir. SLIPS ayrıca soğutma teknolojilerinde, hatta kutupsal ortamlarda çalışan aletler için buza dayanıklı kaplamalar olarak kullanılabilir (Dacey, 2011).

SLIPS teknolojisi suya ve diğer sıvılara kilitlenerek metaller, plastikler, optikler, tekstiller ve seramikler üzerinde kaygan, olağanüstü itici ve sağlam kendi kendini temizleyen yüzeyler oluşturur. Uygun, gözenekli herhangi katı bir malzemeye bu teknoloji ve işlevler eklenebildiği için o katının uygulama yöntemine bağlı olarak mekanik montaj, yapıştırma vb. şeklinde uygulanma imkanı sunar. Bilim adamları, malzemenin çeşitli şekillerde örneğin dökme olarak uygulanabileceğini ve bu uygulamanın ucuz olacağını bu sayede de petrolün verimli taşınması için kaygan borular da dahil olmak üzere çeşitli olası uygulamalara sahip olduğunu söylemektedirler. SLIPS'in biyomedikal sıvı kullanımı, yakıt taşımacılığı, kirlenmeyi önleyici, buzlanmayı önleyici, kendi kendini temizleyen pencereler ve optik cihazlarda ortaya çıkan ihtiyaçları karşılayabilecek omnifobik malzemeler olarak işlev görmesi beklenmektedir. Bu yüzeyler güneş pilleri ve sensörler gibi optik yüzeylerde leke tutmaz kaplamalar olarak da kullanılabilirler ve güneş panellerinden böylece çok daha fazla enerji verimi alınır (Resim 4.17) (Wong, Kang ve diğerleri, 2011). Malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.8'de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.8).



Resim 4.17. SLIPS uygulanmış temiz bir PV panel (Sutha, Suresh ve diğerleri, 2017)

Çizelge 4.8. SLIPS - biyomimetik malzeme örneği

SLIPS	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓	✓		
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri	Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri		
		Bitki üzerine gelen böcek gibi küçük canlıları kaygan yüzeyi sayesinde avlar	Kendi kendini temizleyen, buz iticiliğine, basınç stabilitesine sahip, gelişmiş optik saydamlığı olan, kendi kendini iyileştiren, aşırı basınç kararlılığı ve optik şeffaflığı olan, üretimi basit ve ucuz, uygulaması kolay bir malzemedir. Sıcaklık stabilitesi, UV dayanımı, aşınma ve kimyasal direnci vardır, geniş uygulama alanı potansiyeli bulunur ve enerji kullanımını azaltır.		

Fotokatalitik süperhidrofilik malzemeler

Doğanın hidrofilikliğini taklit etmenin bir yolu da fotokatalitik aktiviteden geçmektedir. Fotokatalitik reaksiyon bitkilerin fotosentez yapması ile benzeşir. Fotosentez sayesinde güneş ışığı ile suyun hidrojen ve oksijene ayrışması sağlanır. Fotokatalitik ürünler, uçucu organik bileşiklerin, zararlı bakterilerin bulundukları ortamda parçalanarak tamamen zararsız olan H₂O ve CO₂'e dönüşmelerini sağlayarak, canlı hayatını tehdit edebilecek kirliliğin önüne geçilmesini sağlamaktadır (Balte, 2009)

Süperhidrofiliklik, fotokatalitik aktivite tarafından da gerçekleştirilmektedir. Genel olarak, herhangi bir katı yüzey kimyasal ve fiziksel yaklaşımlarla süperhidrofilik olarak işlenebilmektedir. Yaygın bir yaklaşım olarak yüzey kaplamalarındaki metal oksitler, kendi kendini temizleyen ve süperhidrofilik uygulamalarda uygulanmaktadır. Fotokatalitik kaplamalar organik malzemelere ve insan sağlığına kesinlikle zarar vermeyen, bir kere kullanıldığında uzunca bir süre etkinliğini koruyabilen ve ışık enerjisini kullanarak kimyasal bir reaksiyon oluşturan, nanoteknolojik ve fotokimyasal yüzey kaplama ürünüdür. TiO_2 doğada rapor edilen süperhidrofilik özelliğin keşfedilmesinden bu yana en meşhur “foto-tepkili” ıslatıcı malzemelerden biri haline gelmiştir (Si, Dong ve Jiang, 2018).

Fotokatalitik etkili kendi kendine temizleme işlevi iki aşama da gerçekleşmektedir ve bunlar fotokatalitik aşama ile süperhidrofilik aşamalarıdır (Şekil 4.7). Kaplanmış filmin fotokatalitik etkinliği, ultraviyole ışık altında reaksiyona girerek organik kirleri parçalamaktadır. Bu, 'fotokatalitik' aşama olarak bilinir. Bu reaksiyon aynı zamanda cam yüzeyin süperhidrofilik hale gelmesine neden olur. Bu, suyu küreselden ziyade bir tabaka gibi yayılmaya zorlar, böylece cam yüzeyindeki gevşemiş kalıntıları yıkar ve bu 'süperhidrofilik' aşamadır. Bu kaplamaların maliyeti düşüktür, kimyasal kararlılıkları yüksektir ve yangın geciktirici özellikleri de bulunmaktadır. Genel olarak, bina camlarında ve güneş panellerinde uygulaması görülmektedir (URL 31).



Şekil 4.7. a) Fotokatalitik aşama ve b) süperhidrofilik aşama (URL 31).

Bu şekilde üretilen süperhidrofilik yüzeyler, 10 dakika boyunca 130°C sıcaklıkta kaynar suda bile küçük minik damlacıklar göstermiştir ve 1 dakika sonra tamamen kuru hale gelmişlerdir (Syafiq, Vengadaesvaran ve diğerleri, 2018). Örneğin, bu yüzeyler ile kaplanmış panellerin kaplanmamış panele göre yansımada % 65 oranında belirgin bir azalma sağladığı gözlenmiştir. Bunun nedeni, kaplanmış paneldeki toz ve kirin yağışla beraber temizlenmesidir. Fotokatalizle kendi kendini temizleyen camlar geleneksel camlara göre

mükemmel bir buğu önleyici, su çizgisi ve kirlenme önleyici özelliğe sahiptir (Resim 4.18) (Syafiq, Rahim ve diğerleri, 2018).



Resim 4.18. Kaplanmış bölüm (sağ) berrak hale ince bir su filmi bulunmaktadır, kaplanmamış kısmı (sol) su damlacıkları ile doludur (URL 31).

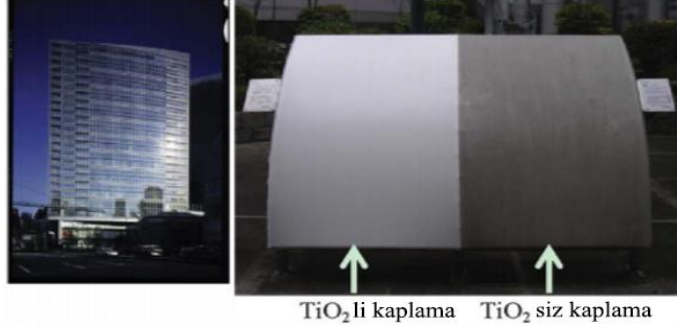
TiO₂'li süperhidrofilik seramikler de yapı endüstrisinde sıkça kullanılmaktadır. Titanyum dioksit (TiO₂), çözünmeyen bir şekilde ve yüksek sıcaklıkta seramik yüzeye kalıcı olarak yakılır. Kalıcı bir katalizör olarak, ışıkla (fotokataliz) oksijen ve nem ile aktifleşen, yaşam boyu süren bir reaksiyonu tetikler. TiO₂; ışık, oksijen ve hava nemi arasındaki reaksiyon için katalizör görevi görür, antibakteriyel etkiye sahiptir ve kötü kokuları ayrıştırır. Geleneksel kaplamalara göre en önemli avantaj, mekanik hasar ve mekanik ve kimyasal aşındırıcı temizlik karşısında dayanıklılıktır. Bunun yanında geleneksel kaplamasız seramiklerin üzerinde su damlaları birikir ve kuruyunca leke bırakır, TiO₂'li süperhidrofilik seramiğin üzerindeki su damlaları film tabakası olarak yayılır ve kuruyunca iz bırakmaz (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Kaplamasız geleneksel seramik (solda) ve TiO₂'li süperhidrofilik seramiğin (sağda) lekelenme durumları (URL 32).

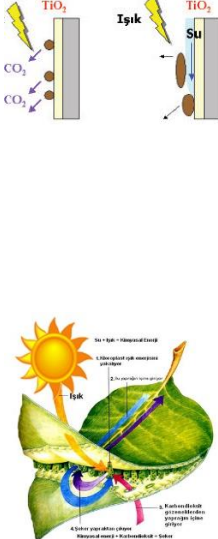
Bu kaplamalar iç mekan seramiklerinde kullanılabildiği gibi bina dış cephelerinde de kullanıma olana tanır ve işlevlerini yerine getirerek cephenin bakım ve yenileme masraflarını azaltır (Resim 4.19). Ayrıca fotokatalitik işlem burada bir hava temizleyici gibi davranır: kirlenici moleküller karo yüzeyiyle temas ettiğinde, ışıkla aktive olan bir katalizör olarak titanyum dioksit, onları hemen zararsız olan ve daha sonra bir sonraki kez kolayca yıkanan mineral tuzlara dönüştürür, fayans temizlenir. Sonuçta önemli ölçüde iyileştirilmiş

iç mekan havası sağlanır (URL 32). Malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.9’da tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.9).



Resim 4.19. TiO₂ esaslı, kendi kendini temizleyen karolu bir bina (solda) ve yaklaşık 3 yıl boyunca (sağda) açık havaya maruz kaldıktan sonra kaplama malzemesi (Nishimoto ve Bhushan, 2013).

Çizelge 4.9. Fotokatalitik kaplama - biyomimetik malzeme örneği

FOTOKATALİTİK KAPLAMA	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
	✓		✓		
	İlham alınan doğal reaksiyon	Reaksiyonun İlham Alınan Özellikleri	Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri		
	Fotosentez reaksiyonu	Fotosentez sayesinde güneş ışığı ile suyun hidrojen ve oksijene ayrışması sağlanır.	Kendi kendini temizleyen, buğu önleyici, organik malzemelere ve insan sağlığına zarar vermeyen, uzun ömürlü, üretimi ucuz, kimyasal kararlılıkları yüksek, yangın geciktirici özellikleri bulunan, antibakteriyel etkiye sahip, kötü kokuları ayrıştıran mekanik dayanımı yüksek, aşınmaya dayanıklı, bakım ve yenileme masraflarını azaltan, PV panel, cam, seramik gibi yüzeylerde kullanılabilen, enerji kaybını azaltan bir malzemedir.		

İncelenen örneklerden de anlaşıldığı gibi süperhidrofilik malzemelerin biyomimetik tasarımlarının araştırılması iyi bir gelişme momentumuna sahiptir ancak yapay süperhidrofilik malzemelerin performansı, doğal süperhidrofilik malzemelere ulaşamamaktadır. Ayrıca yapay süperhidrofilik malzemeleri canlı yüzeyindeki ince yapıya benzetmek zordur (Yang, Song ve diğerleri, 2018). Süperhidrofilik malzemelerdeki zorluklar süperhidrofobik malzemelere göre daha belirgindir. Yapay süperhidrofilik malzemelerin doğayı taklit etme kabiliyeti sınırlıdır ve süperhidrofilik malzemelerin yetersiz uygulama gelişimi ise başka bir tikanıklıktır (Si, Dong ve Jiang, 2018).

4.4.2. Sis ve buğu önleyici biyomimetik malzemeler

Sislenme ve buğulanma şeffaf bir yüzeyin berraklığını önemli ölçüde azaltabilir, bu da sadece rahatsızlık vermekle kalmaz, aynı zamanda günlük yaşamda potansiyel tehlike oluşturur. Zararsız bir durum olmaktan ziyade, yüzeydeki su birikintileri, optik özelliklere (örneğin, ışık geçirme kabiliyeti) zarar verir ve çoğu durumda, estetik, hijyenik ve güvenlik endişeleriyle sonuçlanır (Durán ve Laroche, 2018). Sislenme, hem günlük hayatta hem de birçok teknolojik uygulamada güvenlik tehlikesi olan ve aynalarda, camlarda ve diğer yüzeylerde sıkça meydana gelir. Bu nedenle, çeşitli uygulamalarda yüksek nemli ortamlarda görünürlüğü ve şeffaflığı korumak için etkili buğu önleyici, dayanıklı yüzeylere büyük talep olmuştur. Cam ve polimer esaslı malzemeler, gözlük camları, otomobil ön camları, banyo aynaları, seralar ve tipik çalışma koşullarında buğulanan gıda paketleri de dahil olmak üzere çok sayıda elementin üretiminde buğulanma önleme önemli hale gelmiştir. Ayrıca güneş pilleri üzerindeki buğu, fotovoltaik hücrelerin dönüşüm verimini önemli ölçüde azaltır. Buğulanma sorunu substratlar ve sıvılar arasındaki etkileşimi kontrol ederek etkili bir şekilde çözülebilir.

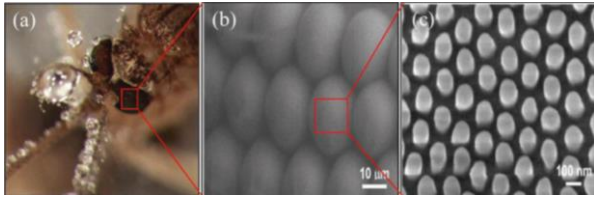
Yüzey ıslanabilirliği, bir yüzeyin buğu oluşumunu önleme ve yüksek netliği sağlama yeteneğine sahip olup olmadığına ilişkin birincil faktör olarak kabul edilmiştir. Sislenmeyi hafifletmek amacıyla özellikle süperhidrofiliklikten süperhidrofobikliğe kadar değişen yüzey ıslanabilirliğini manipüle etmek için birçok yaklaşım geliştirilmiştir (Wang, Liu ve diğerleri, 2015). Ayrıca anti buğulanma malzemelerinin geliştirilmesi, farklı pürüzlülüğe sahip en mükemmel malzeme yapılarının makul şekilde tasarlanması ve aşınma gibi diğer işlevlerle, dayanıklı ve yüksek şeffaflık gibi birçok sorunla karşı karşıya kalır. Milyonlarca yıllık evrimden sonra, doğa birçok performansa ulaşmak için mükemmele yakın yapılar ve

malzemeler yaratmıştır. Biyomimetik yaklaşım ile bilim insanları, doğal yapıları veya malzemeleri kullanarak mükemmel yapay bir anti-buğu malzemesi elde etmek için kopyalayabilirler. Bu nedenle, mükemmel aşınma direnci, esneklik, şeffaflık ve dayanıklılık özelliklerine sahip olan biomimetik anti-sis/buğu malzemeleri özellikle son yıllarda gittikçe daha da gelişmektedir (Han, Feng ve diğerleri, 2018).

Genel olarak doğadan ilham alan anti buğu stratejileri, üç yaklaşımla kısaca sınıflandırılabilir, bunlar: süperhidrofilik yaklaşım, süperhidrofobik yaklaşım ve hidrofilik/oleofobik yaklaşım. Süperhidrofilik kaplamalar, yoğunlaştırılmış su damlacıkları oluşturmak yerine substrat üzerinde ince bir su filmi oluşturmak üzere anında yayılarak, sisi büyük ölçüde sınırlandırabilir. Etkili bir strateji olarak, sissiz yüzeyler oluşturmak için su teması açıları 5'ten küçük olan süper hidrofilik yüzeyler geliştirilmiştir. Bununla birlikte, yüzey süperhidrofilikliğini elde etmek için gereken yüzey dokusunu üretmek genellikle karmaşık prosedürler gerekir. Hidrofilik yaklaşımın başka bir olumsuzluğu ise yüksek yüzey enerjileri nedeniyle, hidrofilik yüzeylerin, çıkarılması zor kirliliklere karşı hassas olmasıdır. Bu olumsuzluklardan dolayı antisis için gelişmiş çözümler, sırasıyla antisis ve kontaminasyon direnci için gereken hidrofilikliği ve oleofobikliği birleştiren çözümlerdir. Son zamanlarda, eşzamanlı hidrofiliklik ve oleofobikliğe sahip fonksiyonel polimerler, benzersiz özellikleri nedeniyle anti-sislenme uygulamaları için de geliştirilmektedir (Wang, Liu ve diğerleri, 2015). Süperhidrofilik yüzeyler ile buğulanmayı engellemek için en etkili yaklaşımlardan biri TiO_2 bazlı fonksiyonel malzemelerin kullanılmasını içerir. Bu uygulama UV aydınlatması altında buğu önleyici özelliğe sahip TiO_2 kaplı camları içerir ve bu camlar kendi kendilerini temizlerken buğulanmayı da engellemektedir.

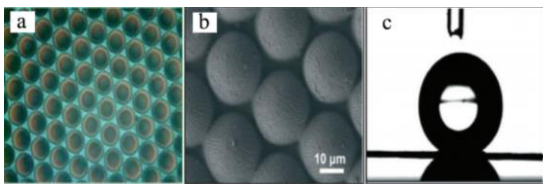
Diğer bir buğulanma önleme yaklaşımı olan süperhidrofobiklik de bazı olumsuz özelliklerinden dolayı buğulanmaya etkin çözüm üretemeyebilmektedir. Örneğin lotus etkili yüzeyler uygun yoğunlaşma koşullarında kolayca ıslanır, çünkü mikro ölçekli sis damlacıkları mikropapillalar arasındaki boşluklarda kolayca sıkışabilir Bu nedenle, lotus benzeri süperhidrofobik yüzeyler, buğu önleyici uygulama için uygun değildir. Bu amaçla sivrisinek gözü benzeri yüzey yapısı özelliğine sahip süperhidrofobik yüzeyler, nano ölçekli yüzey pürüzlülüğü ve düşük yüzey enerjisinin kombinasyonundan kaynaklanan mükemmel su itici ve kendi kendini temizleme özellikleri nedeniyle potansiyel buğu önleyici adaylar olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, bu yüzeyler için karmaşık biyomimetik yüzey morfolojisini imal etmek teknik olarak çok zordur (Zhao, Song ve Ming, 2017).

Bu sınırlamalara çözüm olarak özellikle sivrisinek bileşik gözleri, sinek gözleri, güve gözleri gibi biyomimetik anti-buğu materyallerinin önünü açmıştır (Han, Feng ve diğerleri, 2018). Sivrisinekler, loş ve sulu ortamlarında bile mükemmel görüşe sahiptirler ve bilimsel çalışmalarla, sivrisinek bileşik gözlerinin, buğulanmayı önleme özelliğinin olduğu ortaya konulmuştur. Sivrisinek bileşik gözü, altıgen şeklindeki çıkıntılardan oluşur (Resim 4.20). Bu eşsiz çok ölçekli yapı, bileşik gözleri mükemmel süperhidrofobikliğe sahip hale getirmiştir. Bir sivrisinek neme maruz bırakıldığında, küçük sis damlacıklarının bileşik göz yüzeyine yerleşemediği bulunmuştur. Bu bulgu, kuru tip buğu önleyici malzemelerin tasarımı ve geliştirilmesi için yeni bir olasılık sağlayamaktadır (Wang, Liu ve diğerleri, 2015).



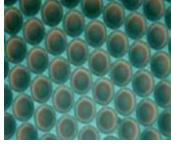
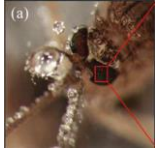
Resim 4.20. a) Sivrisinek bileşik gözlerin resmi. b) gözün SEM görüntüsü. c) tek bir gözün yüzeyi altıgen çıkıntılar ile kaplanmıştır (Gao, Yan ve diğerleri, 2007)

Bununla birlikte, yapay malzeme (Resim 4.21) anti-buğu işleminde sivrisinek gözünden çok daha az etkilidir, çünkü mükemmel şekilde organize edilmiş bileşik göz benzeri yapıyı hazırlamak zordur ve aynı zamanda bu strateji büyük ölçekte kolayca gerçekleştirilemez, çünkü nano yapıları mikro yapıların yüzeyinde imal etmek ve büyük ölçekli işlemek zordur (Han, Feng ve diğerleri, 2018). Ayrıca, bir süperhidrofobik yüzey genellikle opağa yakın olup, saydamlık gerektiğinde anti buğu kaplama olarak kullanımı sınırlar (Zhao, Song ve Ming, 2017). Bu nedenlerden dolayı malzemenin üretim, uygulama ve optik özellikleri açısından kısıtlamaları bulunmaktadır. Malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.10'da tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.10).



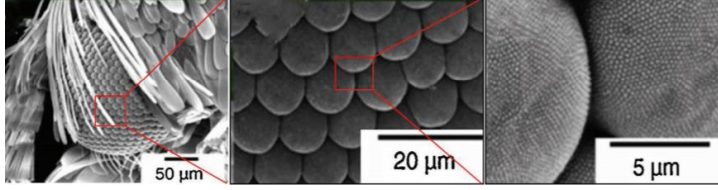
Resim 4.21. a) Bileşik göz ilhamlı yapay malzemenin optik mikroskop fotoğrafı, b) SEM görüntüsü ve c) yüzeyinde bulunan su damlası (Gao, Yan ve diğerleri, 2007)

Çizelge 4.10. Sivrisinek gözü ilhamlı kaplama - biyomimetik malzeme örneği

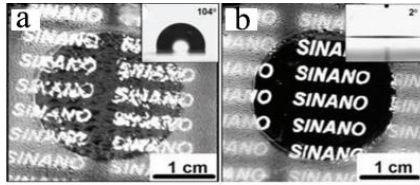
SİVRİSİNEK İLHAMLI KAPLAMA	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
					
	✓		✓		
(a) 	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Sivrisinek gözü	Sivrisinekler, loş ve sulu ortamlarında bile mükemmel görüşe sahiptir. Bileşik gözleri buğulanmayı önler.		Kuru tip buğu önleyici malzemelerin önü açılmıştır. Ancak üretimi zor ve pahalıdır, büyük ölçekte uygulaması sınırlıdır, opağa yakındır, optik özellikler açısından yeterli değildir.	

Sivrisinek gözü dışında, güve gözlerinin nano yapılarından (Resim 4.22) esinlenip araştırmacılar, hidrofilik nanoparçacıklar, nanoyapılar ile yüzey yapısı ve yüzey kimyasını hassas bir şekilde düzenleyerek biyolojik olarak işlenmiş yüksek performanslı anti-buğu polimer filmleri geliştirmişlerdir. Bileşik gözün temel yapıları hazırlanmış olmasına rağmen, yapay yüzeyin antibuğulanma özelliğinin gerçek böcek gözlerinden daha düşük olduğu belirtilmelidir (Han, Feng ve diğerleri, 2018). Yine de bu biyomimetik polimer filmlerin cam yüzeyler üzerine uygulanması ile elde edilen antibuğu performansı, film uygulanmamış cam yüzeyden çok daha iyidir (Resim 4.23). Yüzey hidrofilik olduğu için camda gereken saydamlığı sağlarlar ve sivrisinek gözü ilhamlı malzemelere göre üretim ve uygulama konusunda potansiyel taşırlar. Ayrıca güvelerin çoğu geceleri ortaya çıkmaktadır geceleri uçarken ışığın gözlerinden yansımaları önlemek için gözleri, yansıma anti-yansıtıcı nanoyapılarla kaplıdır. Buğu önleme dışında araştırmacılar, bir dizi özellik sağlayan, yüzey nanotekslerine dayanan yeni camın kendi kendini temizlediğini ve parlamayı önlediğini de belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucu camdaki yansımanın 10 kata kadar azaldığı belirlenmiştir. Bu camlar PV panellerde enerji verimliliğini arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Sonuç olarak optik cihazlara, akıllı telefonların ve televizyonların ekranlarına, güneş panellerine, araba camlarına ve hatta binalardaki pencerelere uygulanabilecek ucuz bir üretim süreci ile malzemenin kullanımı yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır (URL 33-34).

Güve gözü ilhamlı kaplamaya ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.11’de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.11).



Resim 4.22. Güvenin bileşik gözünün SEM görüntüleri (Li, Zhu ve Gao, 2014).



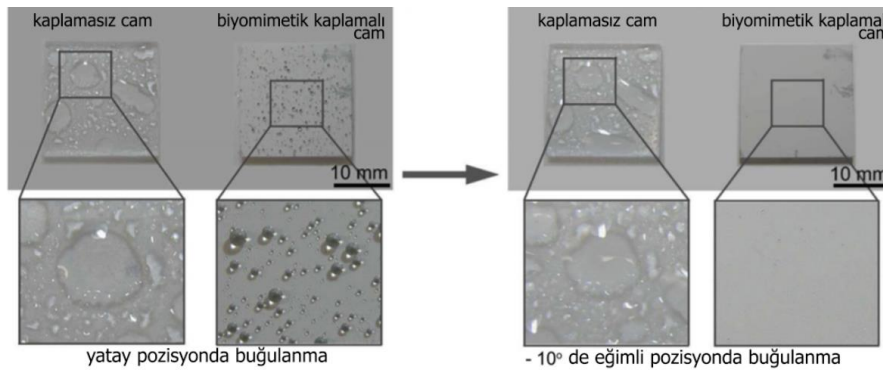
Resim 4.23. a) Buğulanma önleyici film uygulanmamış cam ve b) uygulanmış cam (Li, Zhu ve Gao, 2014).

Çizelge 4.11. Güve gözü ilhamlı cam filmi - biyomimetik malzeme örneği

GÜVE GÖZÜ İLHAMLI CAM FİLMİ 	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
	✓		✓		
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Güve gözü	Güve bileşik gözleri buğulanmayı ve yansımayı önler net görüş sağlar.		Hidrofilik özellikleri sayesinde kendi kendilerini temizler, buğulanma ve yansıma önleyici özellikleri ile kullanıcı güvenliği sağlarlar, PV panellerde enerji verimliliğini artırırlar.	

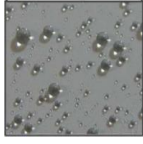
Bu canlılar içinde en etkin buğu önleyici biyomimetik malzeme ilhamını veren yeşil şişe sineğidir. Sineğin gözleri mikroskoplarla incelendiğinde gözün, binlerce tekrar eden altıgen birimden oluştuğunu bulunmuştur. Bu birimler de altıgene yakın kabarcık benzeri çıkıntılarla kaplıdır. Sineğin gözlerinin daha önce buğu önleyici malzemelere ilham veren

sivrisineklerinin yapısından oldukça farklı olduğunu belirlenmiştir. Sineğin gözlerinin aşırı nemli ve tozlu ortamlarda dahi işlevsel ve kirlenmemiş kalması önemlidir. Bu durum sineğin bileşik gözünün süperhidrofobikliğinden kaynaklanmaktadır. Süperhidrofobikliğe sahip bileşik gözlerin kuru stil buğu önleyici özellikleri, sinekler için oldukça nemli ortamlarda bile net bir görüş sağlamaktadır. Bileşik gözlerin bu özel ıslanabilirliği, çoklu ölçeklerde yüzey kimyasının ve pürüzlülüğün kombinasyonuna bağlanır (Sun, Liao ve diğerleri, 2014). Sinek gözlerinin benzersiz yüzey yapıları, çevre koşullarına dayanıklı buğu önleyici performanslar sağlamak amacıyla, ucuz, fonksiyonel nanoyapılar ve kaplamalar üretmek için inorganik nanoyapıları nasıl tasarlanacağı konusunda ilham vermektedir. Araştırmacılar, sinek gözünü taklit ederken küçük altıgen yapıları birleştirmek için çinko nanoparçacıkları kullanmışlardır. Yeşil şişe sineğinin bileşik gözlerinin yüzey yapısını inceleyerek, iki aşamalı bir moleküler montaj yöntemi ile inorganik nanoyapıları taklit eden hiyerarşik bir kaplama malzemesi sentezlenmiştir. Malzemenin yüzeyinin suyla ıslanmayacağı belirlenmiş ve bu da sislenme önleyici, donma önleyici, korozyon önleyici ve kendi kendini temizleyen yüzeylerde kullanılmasının önünü açmıştır. Su buharı çok fazla soğuduğunda ve yoğun bir buz tabakası oluşturduğunda dondurucu sis meydana gelmekte ve bu, elektrik ve telekomünikasyon ağlarında tahribata neden olabilir ve uçakları havada tutan kaldırma kuvvetini azaltabilir, bina cephelerine zarar verebilmektedir. Normal cam ile bu biyomimetik kaplama ile kaplanmış camın buğulanma durumları karşılaştırılmış, donma derecesinin altında dahi biyomimetik kaplama işlevini yerine getirmiştir (Resim 4.24). Donmaya dayanıklı bu hiyerarşik yapıli materyal arabaların, uçakların ve binaların camlarında şeffaf bir kaplama olarak kullanılabilecek optik şeffaflığa da sahiptir (Salleh, 2014). Malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.12’de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.12).



Resim 4.24. Geleneksel cam ile sinek gözünden ilham alan biyomimetik kaplamalı camın buğu durumlarının kıyaslanması (Sun, Liao ve diğerleri, 2014).

Çizelge 4.12. Sinek gözü ilhamlı kaplama - biyomimetik malzeme örneği

SİNEK GÖZÜ İLHAMLI MALZEME	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓	✓		
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Yeşil şişe sineği gözü	Sineğin gözlerinin aşırı nemli ve tozlu ortamlarda dahi işlevsel ve kirlenmemiş kalması ve süperhidrofobikliğine bağlıdır.		Süperhidrofobik, kuru stil buğu önleyici, çevre koşullarına dayanıklı, ucuz, donma önleyici, korozyon önleyici, şeffaf ve kendi kendini temizleyen bir malzemedir.	

4.4.3. Buzlanma önleyici biyomimetik malzemeler

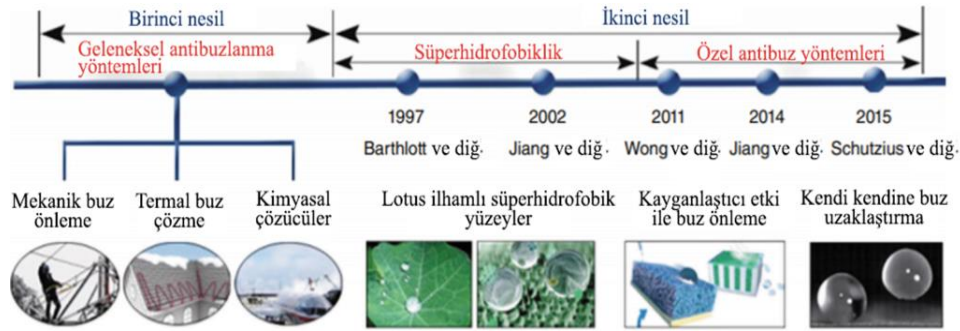
İstenmeyen buz birikimi ciddi ekonomik sorunlara ve bazı durumlarda can kaybına neden olur. Buzlanma önleme teknolojilerini geliştirerek çevreye zarar vermeyen, ekonomik ve etkin stratejiler uzun yıllardır geliştirilmeye ve araştırılmaya devam etmektedir. Üstün ıslanabilirlik özelliklerinin (süperhidrofobiklik, süperhidroflilik vb.) buz önleyici malzeme yüzeylerinde de etkin çözümler sunabileceği anlaşılmıştır. Bu alandaki çalışmaların sayısı grafikte de (Çizelge 4.13) görüldüğü gibi gittikçe artmıştır.

Çizelge 4.13. Özel ıslanabilirlik ve anti-buz teknolojisi ile ilgili yayınlanan makalelerin yıllık yüzdesi (2006-2015 arası) (Guo ve Yang, 2018).



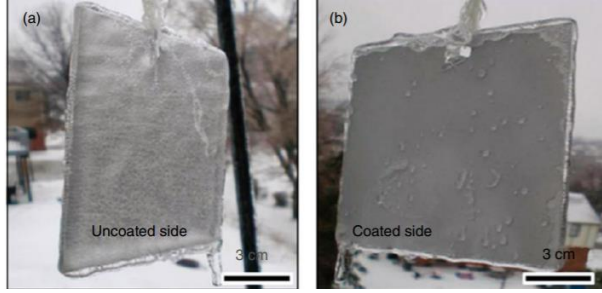
Buzlanmayı önleyici / donma önleyici stratejilerin uygulama alanı oldukça geniştir, bunlar ev aletlerinden, aynı zamanda yol ve uçak sistemlerine, elektrik hatlarına ve

telekomünikasyon ekipmanlarına kadar, açık ve genel kamu ve endüstriyel tesisleri içerir. Bunların yanında bu teknoloji rüzgar türbini jeneratörleri ve güneş fotovoltaik panel sistemleri açık deniz petrol platformları ve denizcilik projeleri vb. alanlarda da enerji verimliliği için oldukça önemlidir. Abartılı kalınlıklarda olmayan, ince bir buz tabakası bile performansı ciddi şekilde düşürebilir veya tüm ekipmanın bütünlüğünü bozabilir ve hatta durumlarda felaketlere neden olabilir. Buzlanma önleyici kaplamaların geliştirilmesindeki sayısız ilerlemeye rağmen, buz birikimi sorunu önemli düzeyde çözölememiştir. İletim hatları ve binalar gibi çeşitli kritik yapılar, biriken buzun aşırı ağırlığı ve donma-çözölme döngülerinin neden olduğu gerilme nedeniyle zarar görebilir ve ciddi kişisel yaralanmalara neden olabilir, bu tür tehlikeler aşırı koşullar tarafından daha da şiddetlenebilir (Ryerson, 2008). Son araştırmalar, buzlanma olayına yeni bir bakış açısı sağlamış ve gelecek vaat eden biyomimetik buzlanma önleme stratejilerine ışık tutmuştur. Bu stratejiler birinci nesil (gekeneksel), ikinci nesil (biyomimetik) olarak ayrılmıştır (Şekil 4.9.)



Şekil 4.9. Geleneksel buzlanma önleme yöntemlerinden süperhidrofobik anti buzlanma ve daha gelişmiş malzemelere kadar evrim süreci (Guo ve Yang, 2018).

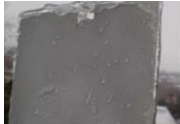
Malzeme ve yöntem gelişiminde buz yapışmasının azaltılması, buz çekirdeklenme sıcaklığının düşmesi ve donma süresinin gecikmesi ile ilgili son biyomimetik buzlanma önleme stratejileri önem kazanmıştır (Kreder, Alvarenga ve diğerleri, 2016). Bu stratejiler arasından süperhidrofobik yüzeyler, su ile etkileşimi zayıflatır, bu da donma meydana gelmeden önce yoğun su damlacıklarının zamanında uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Buzlanma önleyici yüzey tasarımı alanında süperhidrofobik, su ile ıslanabilirliği düşük yüzeylerin (Resim 4.25.) buz fobik yüzeyler olarak büyük umut vaat ettikleri bilinmektedir (Kreder, Alvarenga ve diğerleri, 2016).



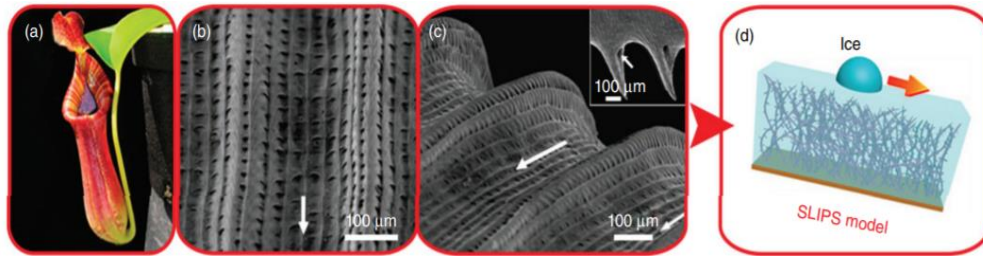
Resim 4.25. a) Alüminyum plakanın süperhidrofobik yüzey ile kaplanmamış tarafı ve b) kaplanmış tarafının buzlanma durumu (Cao, Jones ve diğerleri, 2009).

Mükemmel su geçirmezlikleri ile süperhidrofobik yüzeylerin (SHS'lerin) ümit verici buzlanma önleme teknolojisi olduğu düşünülmesine rağmen bu yüzeylerin kısıtlamaları vardır. İlk olarak, bu gibi ince yüzey yapıları genellikle zayıf mekanik mukavemete sahiptir ve hasar sonrası onarılması zordur. İkincisi, yapılar içinde sıkışan hava kararsızdır, bu da yüksek hızlı etkili damlacıkların basıncına dayanamaz. Üçüncüsü, hava alt tabakası genellikle yoğunlaştırılmış su damlacıkları ve doğrudan donma ile karşılaştığında etkisizdir. Bu nedenle, yüzeyleri dokuya sahip SHS'lerin buzlanmayı önleyici malzemelere uygulanabilirliği bazı durumlarda ciddi şekilde kısıtlanmaktadır. Buzlanma önleyen SHS'ye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.14'de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.14).

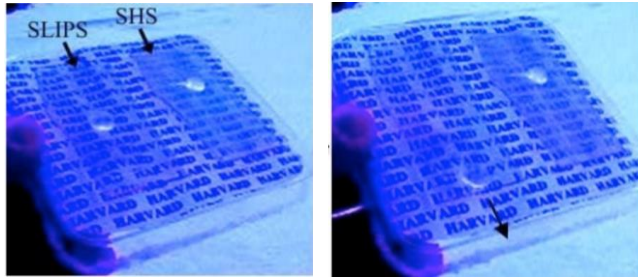
Çizelge 4.14. Buzlanma önleyen SHS - biyomimetik malzeme örneği

BUZLANMAYI ÖNLEYEN SHS	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓	✓		
	İlham alınan doğal mekanizma	Doğal mekanizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Lotus yaprakları	Yaprığın su ile etkileşimi zayıftır, damlacıkları uzaklaştırır.		Buzlanmayı önler, güvenliği artırır, kendi kendini temizler, su geçirmez, çeşitli malzemelerle uyumlu çalışır ancak zayıf mekanik dayanıma sahiptir.	

Bu amaçla, son zamanlarda uygun bir kaydırma sıvısı ile doldurulmuş gözenekli yapıya sahip, biyomimetik ultra kaygan malzemeler ailesi gelişmiştir. Buz oluştuğunda, yüzey dokularındaki kayganlaştırıcı katman buz yapışmasını önemli ölçüde azaltmaktadır (Lv, Song ve diğerleri, 2014). Bu malzeme teknolojisinde kaygan sürahi bitkisinden esinlenilmiştir ve üretilen kaygan yüzeyler SLIPS olarak adlandırılmaktadır (Resim 4.26). SLIPS'ler yalnızca su, hidrokarbonlar, yağ ve kan dahil olmak üzere çeşitli sıvıları itmez, aynı zamanda katı buzı da iter (Guo ve Yang, 2018). SLIPS'ler üstün kayganlık özellikleri sayesinde süperhidrofobik buz önleyici yüzeylere göre malzemelere buz yapışmasını en aza indirir (Resim 4.27).



Resim 4.26. a) Sürahi bitkisi, b, c) bitki yüzeyinin SEM görüntüleri ve d) bitkiden ilham alan SLIPS modeli (Ramachandran ve Nosonovsky, 2014).

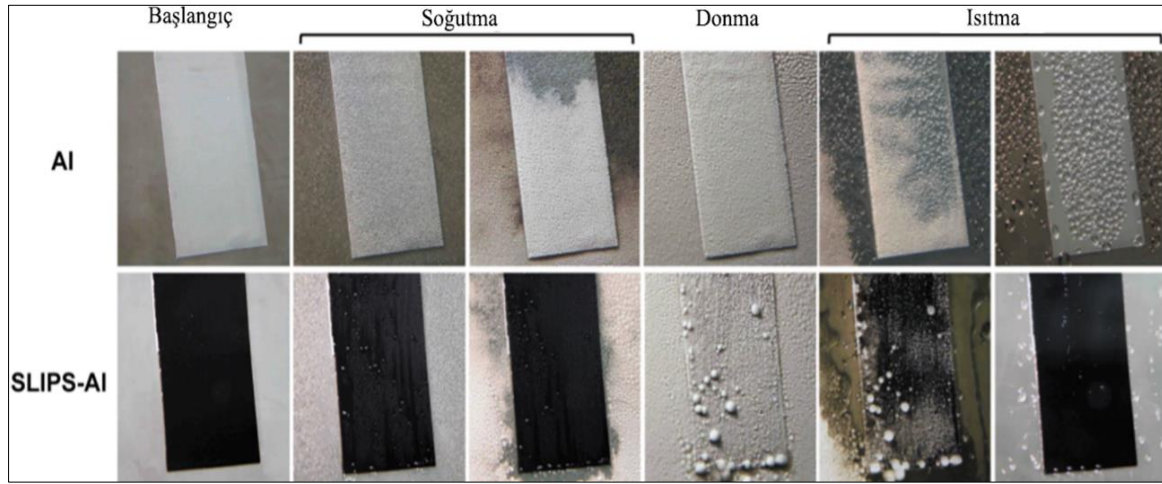


Resim 4.27. SLIPS ve SHS' nin yüzeye buz yapışmasını önleme performansları (URL 35).

Sürahi bitkisinden ilham alan SLIPS, yüksek nemli ortamlarda bile buz yapışmasını azaltan kaygan sıvı infüzyonlu gözenekli yüzeye sahiptir. Yoğunlaştırılmış damlacıkların SLIPS'ler üzerindeki kayda değer hareketi, yoğunlaşma artırma, buğulanma önleme ve donma önleme performansları için önemli olan sürekli bir kaydırma etkisi yaratır. Her ne kadar SLIPS üzerindeki damlacık hareketi tipik olarak SHS'lerden daha yavaş olsa da kayganlaştırıcı filmin yüksek damlacık çarpma basınçları altında kararlılığı ve yüksek nem toleransı SLIPS'i uygulanabilir bir alternatif haline getirmektedir (Kreder, Alvarenga ve diğerleri, 2016). SLIPS yeni oluşan yoğunlaşma damlacıklarının donmadan önce kaymalarını sağlar, buz

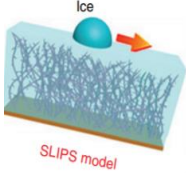
çekirdeği oluşumunu ve buz yapışmasını en aza indirir, donmuş damlacıkların küçük bir çekim kuvveti altında kaymasına izin verir. Buz birikimini etkili bir şekilde geciktirebilir ve yüksek nemli koşullar altında bile buzu uzaklaştırmayı kolaylaştırır.

Malzeme metal yüzeylerde yüksek nem (% 60) derin donma (-10°C) koşullarında dahi işlevini yerine getirmektedir (Resim 4.28). Bu sayede SLIPS teknolojisi, soğutma sistemlerinde, rüzgâr türbinlerinde, uçaklarda, deniz taşıtlarında ve inşaat endüstrisinde kullanılan çok çeşitli metal yüzeyler için bir kaplama olarak kullanılabilir hale gelmektedir. Malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.15’de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.15).

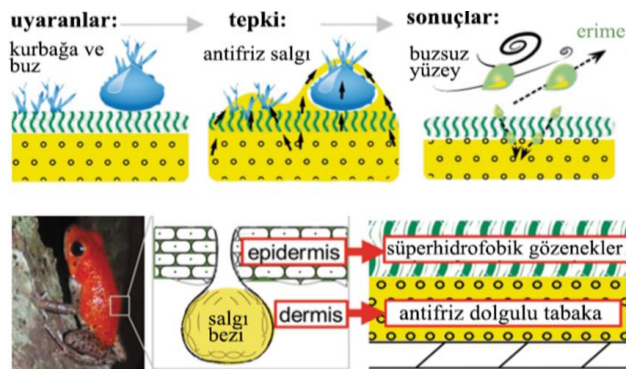


Resim 4.28. Kaplamasız alüminyum plakada ve SLIPS uygulanmış alüminyum plakada buz oluşumunun görüntüleri ve ardından ısı ile donmanın giderilmesi (Kim, Wong ve diğerleri, 2012).

Çizelge 4.15. Buzlanma önleyen SLIPS - biyomimetik malzeme örneği

BUZLANMA ÖNLEYEN SLIPS  	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓	✓		
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Sürahi bitkisi	Bitki üzerine gelen böcek gibi küçük canlıları kaygan yüzeyi sayesinde avlar.		Buz yapışmasını etkin bir şekilde önler, buz iticiliğine, basınç stabilitesine sahip, kendi kendini temizleyen, buz iticiliğine, mekanik dayanımı yüksek, yüksek nem ve derin donmaya dayanaklı bir malzemedir.	

Buzlanmayı önlemek için üretilen bir diğer biyomimetik sistemde zehirli ok kurbağasından yola çıkılmıştır. Zehirli ok kurbağası, derisinde mukus ve toksinler üretmek için iki tip özel bez içerir. Örneğin kurbağanın derisi buzla temas ettiğinde antifriz salgılar böylece buzu eriterek süperhidrofobik deri katmanıyla oluşan suyu uzaklaştırır. Bu biyolojik örnekten ilham alarak, donma önleyici sıvının salgılanmasıyla her türlü buz birikimini önleyen buzlanmayı önleyici bir kaplama geliştirilmiştir. Aşağıdaki şema (Şekil 4.10), kaplamanın uyarıcılara duyarlı çok işlevliliğinin, bir kurbağanın iki tabakalı cilt yapısını, antifriz ile beslenen süperhidrofilik "dermisi" çevreden ayıran bir süperhidrofobik "epidermis" ile taklit ederek elde edildiğini göstermektedir.

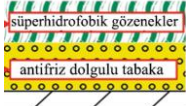


Şekil 4.10. Kurbağa derisinin iki tabakalı işlevselliği ve antifriz dolgulı süperhidrofobik gözenekleri olan biyomimetik kaplama (Sun, Damle ve diğerleri, 2015).

Kaplama iki katmandan oluşur: bir süperhidrofobik gözenekli dış katman ve antifriz ile doldurulmuş bir iç katman. Dış katman, geleneksel buzlanma önleyici yüzeylerin sonradan modellendiği sürahi bitkisi ve lotus yapraklarının yapışmayan özelliklerine dayanmaktadır. Temas halinde antifrizin iç tabakadan salınması, zehirli ok kurbağasının derisine dayanır.

Dış katman, büyük su damlacıklarının yüzeyden etkili bir şekilde uzaklaştırıldığı ve buz oluşumunu önlediği geleneksel buzlanma önleyici yüzeylere benzer şekilde çalışır. Bununla birlikte, donma durumunda, buz dış tabakanın gözeneklerini doldurur ve sonunda iç tabakadaki antifriz ile temas eder. Bu temas, buzun yüzeyden erimesine ve uzaklaştırılmasına yol açan fonksiyonel sıvı salınımını tetikler. Aşırı buzlanma koşullarında, antifriz salımı ayrıca ince bir kayganlaştırıcı tabakası oluşturarak birikmiş buz çıkmasını da kolaylaştırabilir. Bu, buz eritmeye başlar ve kılcal basınç yavaşça gözeneklerin duvarlarını antifrizle uyarır. Sonuç olarak, buz birikmesini önleyen dış katman üzerine antifriz salınır. Bu yaklaşım, donma önleyici antifriz dağıtımı ve su damlacıklarını uzaklaştırarak buzlanma önleme arasında hibrit bir yöntem olarak görülebilen ayrıca bu şekilde paslanmaya karşı da oluşturulmuş biyomimetik bir çözümdür. Malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.16’da tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Buzlanma önleyen antifrizli kaplama - biyomimetik malzeme örneği

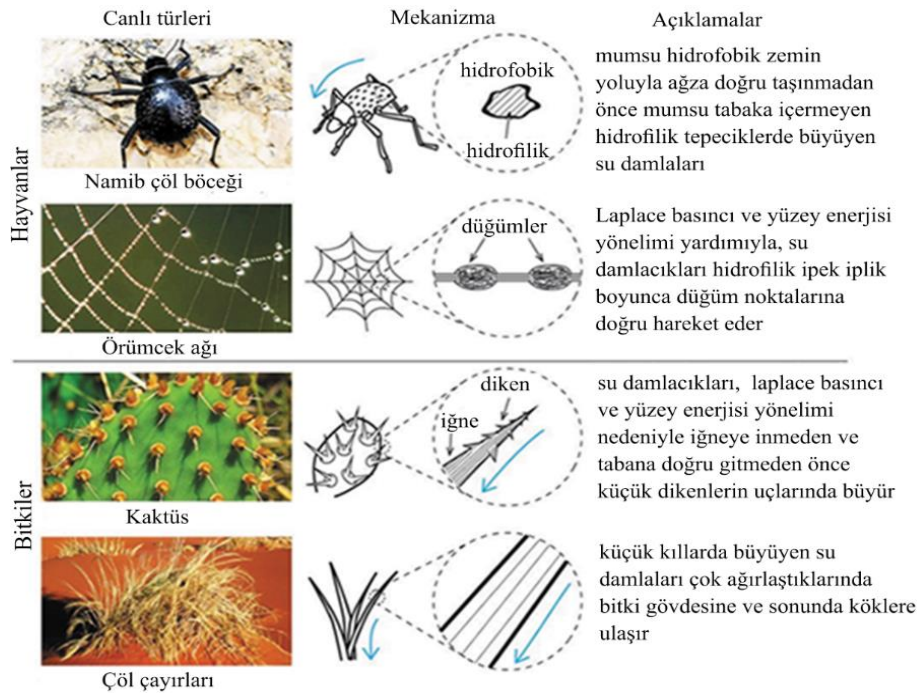
BUZLANMA ÖNLEYEN ANTİFRİZLİ KAPLAMA	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
					
		✓		✓	
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Zehirli ok kurbağası	Kurbağanın derisinde uyarana cevap olarak sıvı salgılayan özel bezler bulunur.		Buz yapışmasını etkin bir şekilde önler, buz eriterek uzaklaştırır enerji korunumu sağlar konfor ve güvenlik koşullarının yerine getirir, korozyonu önler, ekonomiktir, üretimi verimlidir.	

Şu anda kullanılan buz giderme yöntemleri, kimyasal, mekanik veya termal teknikleri ya da bu yöntemlerin kombinasyonunu kullanmaktadır. Ancak, bu yöntemler genellikle zaman alıcıdır, maliyetlidir ve çevreyi etkileyebilir. Bu buzlanma önleyici kaplamanın 2-8 kat daha az antifriz kullandığı ve ticari yöntemlerle karşılaştırıldığında buzlanmayı on katına kadar geciktirdiği belirtilmiştir. Buradaki hipotez yeni kaplama mimarisinin, sadece gerektiğinde antifrizi dağıtarak antifriz sıvısına olan ihtiyacı azaltacağını, bunun da ekonomik ve çevresel faydaları önemli ölçüde etkileyeceğidir (Sun, Damle ve diğerleri, 2015).

4.4.4. Su ve sis toplayan biyomimetik malzemeler

Dünyadaki yaşamın su ile yakın bir ilişkisi vardır. İnsanlardan bakterilere kadar bütün organizmalar öncelikle sudan oluşur. Temiz bir su kaynağına erişim insan sağlığı için çok önemlidir. Bu nedenle, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu, suyu açıkça temel bir insan hakkı olarak tanımlar. Su kıtlığı, günümüzde dünya nüfusunun% 40'ından fazlasını etkilemektedir ve bu sayının artacağı tahmin edilmektedir. Dünya üzerinde yaklaşık 800 milyon insanın temiz suya erişimi olmadığı tahmin edilmektedir. Temiz suya erişimin yetersizliği göz önüne alındığında, mevcut tatlı su tedariklerinin gelecekteki ihtiyaçları karşılamak için desteklenmesi gerektiği açıktır (Brown ve Bhushan, 2016). Ayrıca nüfusun artması, su gibi insanlar için gerekli temel kaynakları bulmanın zor olduğu gezegen bölgelerinde, yeni yerleşim yerlerinin kurulmasına neden olmuştur (Mazzoleni, 2013). Bu gibi nedenlerden dolayı da günümüzde su kıtlığı, özellikle bazı kurak ve gelişmemiş bölgelerde ve tüm dünyada ciddi bir sorun haline gelmiştir. Mimarlık geçmişten bu yana nem kontrolü ve nem nüfuzu ile ilgili konularla ilgilenmiştir. Günümüzde de yapılarda su tasarrufu ve verimliliği konusu, çevresel etkilerimizi azaltmak için dünya genelinde tasarımda yeniliklerin temel itici güçlerinden biri durumuna gelmiştir. Bu nedenlerden dolayı farklı ve etkili su tedarik yolları aranmaktadır ve su tedarik stratejileri konusunda doğa çok sayıda çözüm yöntemi geliştirmiştir. Doğadaki farklı ortamlar su kullanımına büyük talepler getirmekte ve bu nedenle, canlılar suyun toplanması ve korunması yanında çok fazla suya maruz kalınmaması için birçok farklı adaptasyon sergilemektedir. Çeşitli canlılar bulundukları ortamdan suyu ve sisi toplayabilmekte ve bu da yeni ve fonksiyonel su toplama malzemeleri geliştirmek için ilham kaynağı olabilmektedir (Zhu, Guo ve Liu, 2016). Son zamanlarda, gittikçe daha önem kazanan bir araştırma konusu olarak, su toplama teknolojisine sahip biyomimetik malzemeler, hem pratik uygulamalarda hem de temel araştırmalarda büyük bilimsel dikkat çekmiştir. Bu çalışmada, çeşitli doğal canlılardaki su toplama mekanizmalarını özetleyerek

ve son yıllarda bu konuda geliştirilen biyomimetik malzemelerin imalatlarına, işlevlerine, uygulamalarına ve yeni gelişmelere değinilmektedir. Bu alandaki biyomimetik malzemeler, kaktüs, örümcek ağı, çöl çayırı ve çöl böceğine karşılık gelecek şekilde detaylandırılmıştır (Resim 4.29.)



Resim 4.29. Su toplayan bazı hayvanların ve bitkilerin mekanizmalarının özeti (Brown ve Bhushan, 2016).

Bu canlılar arasında Namib çöl böceği, yüksek rüzgarlar, gün boyunca aşırı sıcaklıklar ve şafak vakti yoğun sis gören zorlu ortamlardan birinde yaşamaktadır. Canlının bu iklimde hayatta kalma yeteneğinin sisten su toplanması sonucu olduğu tahmin edilmektedir. Namib Çölü'nde sis toplanması gözlemi ilk olarak, gece sisleri sırasında ortaya çıkan ve rüzgâra yönelirken başlarını düşüren böceklerle 1976 yılında gerçekleşmiştir (Hamilton ve & Seely, 1976) ve Namib Çölü böceğinin sisin suyunu toplayabildiği görülmüştür. Sis toplama davranışı, başın elytra (kanat kesesi) ile rüzgarla karşı karşıya olduğu fiziksel duruşudur. Bu duruşla, su yoğunlaşma yoluyla elytra üzerinde toplanır ve böceğin ağzına yönlendirilir (Hamilton ve & Seely, 1976). Kabuğundaki hidrofilik ve hidrofobik bölgeleri, yükselen tümsekler vasıtasıyla birleştiren böcek, sisin su damlacıklarını çekebilir ve bu damlacıkları ağza kanalize edebilir (Resim 4.30). Su damlacıkları hidrofilik tümseklerin üzerine yapışırlar ve belirli bir boyuta ulaşıncaya kadar büyürler ve kabuktaki hidrofobik oluklarından ağza doğru yuvarlanırlar. Sis hasatından önce ve sonra böcek tartılarak, hasattan sonra toplam

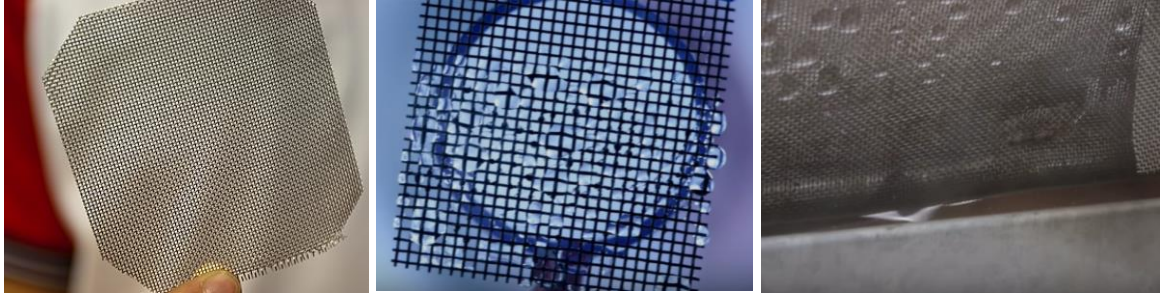
vücut ağırlığında% 30'dan fazla bir kazanımın mümkün olduğu bulunmuştur (Parker ve Lawrence, 2001). Bu da böceğin suyu toplama davranışının verimliliğinin boyutunu göstermektedir.



Resim 4.30. a) Namib çöl böceğinin optik fotoğrafı. b) mum kaplı yüzey üzerinde mumsu tabakası olmayan bir tümseğin SEM görüntüsü. c) tümsekler ve çöküntülerin SEM görüntüsü (Parker ve Lawrence, 2001).

Sis kollektörleri oluşturmak için böceğin kabuk desenini taklit eden girişimlerde bulunulmuştur. Büyük miktarda hidrofilik-hidrofobik desenli yüzeyler yapılmıştır. Genellikle, böyle desenli ıslanabilir yüzeyde, farklı ıslanabilirlik; süperhidrofiliklik ve süperhidrofobiklik olan en az iki bölüm vardır. Bu yeni strateji göz önüne alındığında, su toplama malzemesinin aşağıdaki iki hayati gereksinimi karşılaması gerekir: bir malzemenin esnek olması ve damlacıkların bir araya gelmesi için uygun bir gözenek boyutuna sahip olması ve kompozit bir yüzey oluşturmak için iki malzemenin farklı ıslanabilme yeteneklerine sahip olması gerekmektedir (Wang, Zhang ve diğerleri, 2015).

Namib çöl böceğinden esinlenerek geliştirilen biyomimetik malzemelerden biri sis toplayan mesh kaplamadır. Bu malzeme içine su damlayan haznelere bağlı damlacıkları çeken çit benzeri bir örgü panelden oluşur (Resim 4.31). Araştırmacılar genellikle bir böceğin kabuğu gibi geçirimsiz, boşluksuz bir yüzey yerine kafes kullanmaktadırlar çünkü tamamen geçirimsiz bir malzeme su damlacıklarını uzağa sürükleyecek rüzgar akımları oluşturmaktadır. Bu anlamda, böceğin fizyolojisi bir şablon değil sis toplamak için bir ilham kaynağıdır. Bazı açık alan testlerinde, bu boşluklu kaplamanın günde bir metrekare ağ başına bir litre su yakalayabildiği görülmüştür (Dizikes, 2011).



Resim 4.31. Namib çöl böceğinden esinlenerek geliştirilen sis toplayan mesh malzeme (URL 36).

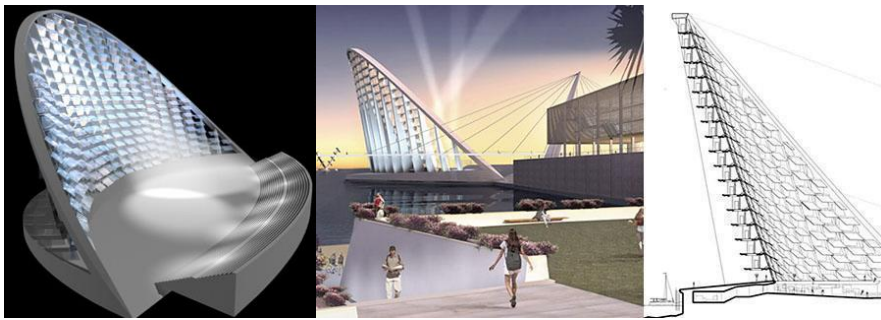
Ağın yapıldığı malzemeler geliştirilerek, su damlacıklarını çeken hidrofilik malzemeler ile daha sonra toplama kabına doğru yollayan hidrofobik malzemeler arasında bir denge kurulmaya çalışılmaktadır. Ayrıca malzeme açık alanda geniş ölçekte kullanıldığı için dış çevre koşullarına, UV ışınlarına, korozyona dayanıklıdır, insan sağlığına uygun, esnek ve geri dönüştürülebilir yapıdadır. Şili ve Guatemala gibi yeterince temiz suya erişimi olmayan yerlerde malzeme oldukça önem kazanmıştır. Sis toplama, temiz su ile sonuçlanmaktadır ve toplanan su tuzdan arınmıştır, bu da bazı bölgelerde suyu tuzdan arındırma tesislerine duyulan ihtiyacı azaltmaktadır (Dizikes, 2011). Malzeme öncelikler basit askı sistemi kullanılarak su kıtlığı yaşanan bölgelerde sis ve hakim batı rüzgarları dikkate alınarak tepelere yerleştirilmiştir daha sonra binalara entegre edilmeye başlanmıştır (URL 36).

Sis toplama teknolojisi halen başlangıç aşamasındadır. Ancak laboratuvar deneyleri, mesh aralığındaki değişikliklerin yanı sıra, mesh liflerinin boyut ve ıslanabilirliğinin hepsinin, her gün toplanabilecek su hacmini etkilediğini göstermiştir. Ağ geometrisinin optimizasyonu ve yüzey kimyası sayesinde, mevcut tasarımların sis toplama verimliliğini %500 artırabileceğini öngörülmüştür (URL 36). Şu an dünyanın dört bir yanındaki yaklaşık 22 ülke havadan su toplamak amacıyla bu tip ağları kullanmaktadır, bu nedenle verimlilikteki bu artış büyük bir etkiye sahip olabilir. Binalarda özellikle yarı açık mekanlarda bahçelerde çatı ve cephelerde, ayrıca bu malzeme ile sudaki tuz da ayrıldığı için denize yakın kurak bölgelerde seralarda (Resim 4.32) tarım için bu malzemenin kullanılabileceği belirtilmiştir.



Resim 4.32. Seawater green house; Sis toplayan mesh malzeme ile kaplanmış Umman'da yapılan deniz sisinden su elde ederek üretim sağlanan sera (Davies, Turner ve Paton, 2004).

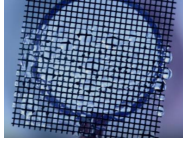
Deniz suyunu tuzdan arındırmak ve kurak kentsel alanlar için daha sürdürülebilir bir tatlı su kaynağı sağlamak için çok çeşitli binalar tasarlanabilir. Kanarya Adaları'nda mimar Nick Grimshaw tarafından tasarlanan Las Palmas Su Tiyatrosu bu alandaki örneklerden biridir (Resim 4.33). Henüz inşa edilmemiş olmasına rağmen, tasarım çok su toplama özelliği nedeniyle dikkat çekmektedir. Bina sadece göz alıcı bir tasarım değil, aynı zamanda Las Palmas şehrinin büyük bir bölümünü tatlı su ile besleyebilecek kaynak olarak görülmektedir. Las Palmas Su Tiyatrosu'nun yüzey tasarımı ve konumlandırmasında, Namibya çöl böceğinin stratejisi taklit edilmiştir. Su toplayan biyomimetik kaplama ile kaplı cam yüzey, deniz meltemine göre konumlandırılmıştır, rüzgarla yüzeye gelen nemli hava bu panjurlarda yoğunlaştırılıp toplanır ve sistem sonucunda elde edilen su depolanacak kanallara yönlendirilmiştir (Singh ve Nayyar, 2015).



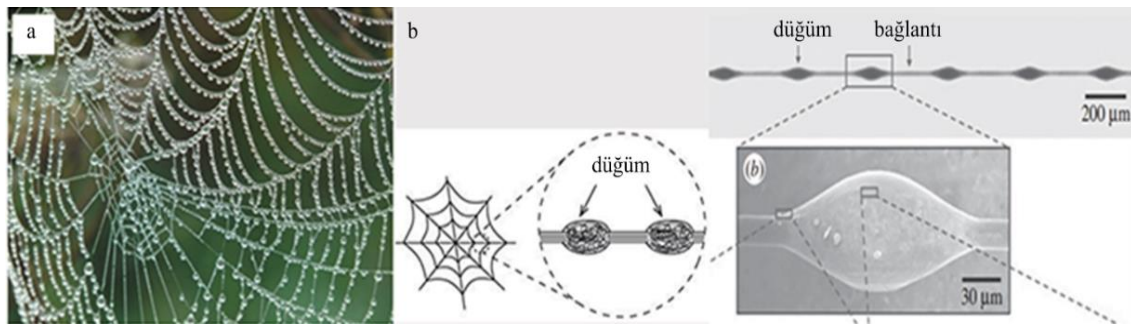
Resim 4.33. Las Palmas Su Tiyatrosu'nda cam önüne koyulan biyomimetik malzeme ile cephe, yoğunlaşan deniz suyunu tuzdan arındırıp toplar (URL 36).

Namib çöl böceğinden esinlenerek geliştirilen sis toplayan mesh malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.17'de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Çöl böceği ilhamlı su toplayan mesh - biyomimetik malzeme örneği

BÖCEK İLHAMLI SU TOPLAYAN MESH MALZEME	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓	✓		
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Namib çöl böceği	Böcek; kabuğundaki hidrofilik ve hidrofobik bölgeler yardımıyla sis suyunu toplar ve sisi hızlı bir şekilde sıvıya dönüştürüp akıtır.		Hidrofilik-hidrofobik yüzey özelliklerine sahip sisten su toplayan, insan sağlığına uygun, korozyona, mekanik darbelere dayanımlı, UV dirençli, üretimi ucuz, uygulaması kolay, kaynak ve enerji verimliliği sağlayan bir malzemedir.	

Su toplayan malzemeler için ilham kaynağı olan doğal unsurlardan biri de örümcek ağlarıdır. Örümcek ipeği protein içerir ve dayanıklılık ve elastikiyet açısından birçok sentetik materyalden daha iyi performans gösterir (Becker, Oroudjev ve diğerleri, 2003). Örümcek ağlarının, çiy ile lekelenmiş birçok fotoğrafta gösterildiği gibi su topladığı da bilinmektedir.

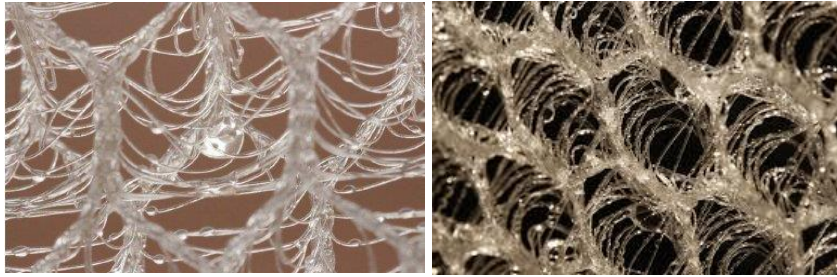


Resim 4.34. a) Örümcek ağı üzerinde damlacık birikimi ve b) ağın iplik yapısından kaynaklanan düğüm ve bağlantı alanları (Edmonds ve Vollrath, 1992).

Araştırmalara göre örümcek ağının liflerinin yapısı su buharıyla temas ettiğinde değişir. Lifler hidrofilik düğümler oluşturur, bu düğümler arasında, liflerin düzgün bir şekilde hizalandığı düz pürüzsüz bağlantı alanlar vardır, bu nedenle yoğunlaşan su damlacıkları pürüzsüz yüzeyler boyunca kayar ve düğümlerde daha büyük damlalar halinde birleşir.

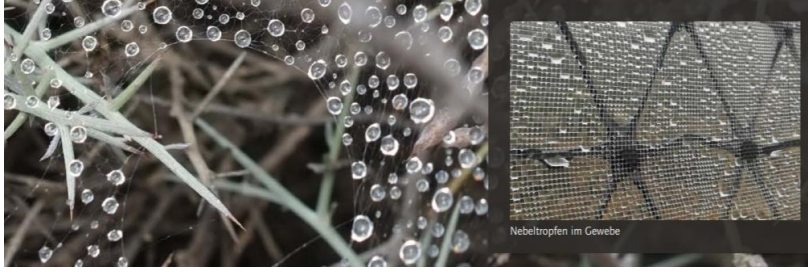
(Edmonds ve Vollrath, 1992). Kısaca düğüm noktaları hidrofilik su toplama yerleri aradaki düz eklemler yoğunlaşma yeri olarak işlev görür (Resim 4.34) ve bu nedenle de sürekli su toplama olayı devam eder.

Araştırmacılar su molekülleriyle iyi bağlandıkları için seçilen bir sentetik polimer olan polimetil metakrilat kullanarak örümcek liflerini kopyalamışlardır. Böylece su damlacıklarını örümcek ipliğiyle aynı şekilde tutabilecek ve taşıyabilecek özel elyaflar oluşturmayı başarmışlardır. Sıcaklık ve nem seviyelerinin sıklıkla değiştiği gerçekçi endüstriyel koşullarda çalışacak şekilde, örümcek ağından ilham alınarak tasarlanan bu elyafların optimizasyonu ve ayarlamasını yapmak malzemedeki en büyük teknik zorluktur. (Dacey, 2010) Elyaflardaki nanofiber iplikçiklerin farklı yönlenmeleriyle; su damlaları örümcek ağında olduğu gibi iplikçiklerin hizalandığı ve birleştiği eklem bölgeleri boyunca kolayca hareket eder ve düğüm noktalarına yapışır (Resim 4.35) (Helmer, 2010) .



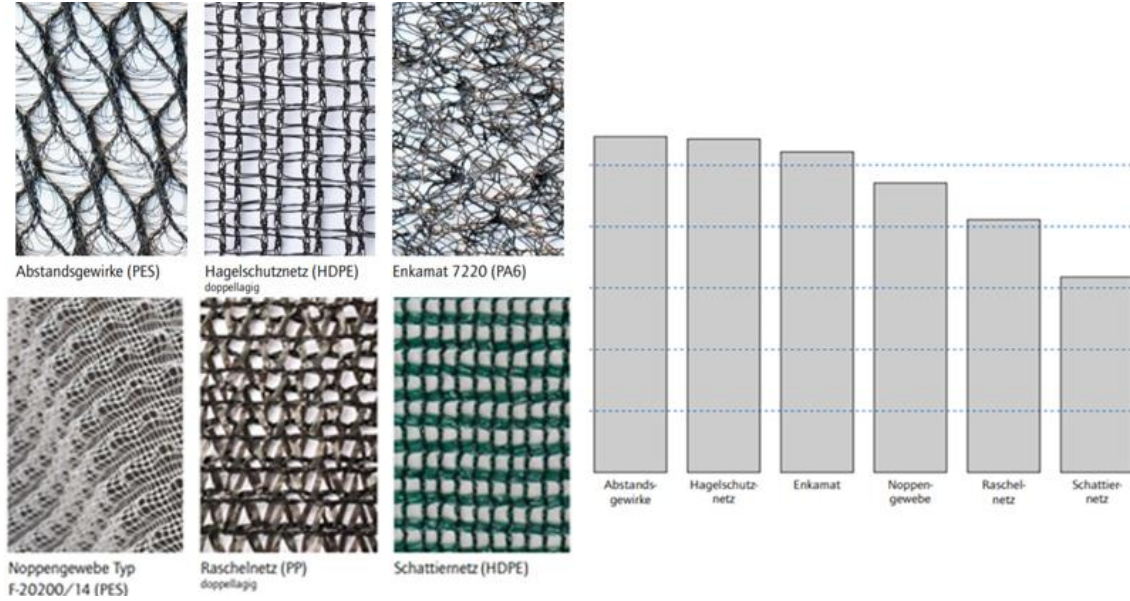
Resim 4.35. Su damlasına sahip fiber bazlı elyaf sis toplayıcı (Sarsour, Stegmaier ve diğerleri, 2010).

Örümcek ağının yapısından ilham alan düğüm ve eklem noktalarından oluşan elyaflı sis toplama ağı sayesinde en küçük damlacıklar dokuya yapışır ve büyük damlacıklar oluşturmak için birleşir (Resim 4.36). Bunlar yerçekimi tarafından oyuktan aşağıya doğru akar ve oradan, sis suyu borular aracılığıyla bir rezervuar içinde toplanır. Bu sistemle bölgeye ve mevsime bağlı olarak, günlük su verimi metrekare başına 4 ile 14 litre arasında değişir. Bu malzemenin açık alanlarda ve binalarda küresel uygulama alanları, yüksek sis seviyesine sahip ülkelerdir. Bu malzeme ile temiz su yetersizliği olan Fas'ın uygulama bölgesindeki her 1000 kişiden her birine günde yaklaşık 18 litre içme suyu sağlanabilir, bu miktar günlük 8 litre su ihtiyacının iki katından fazladır, toplanan suyun geri kalanı hayvancılık ve tarım için kullanılmaktadır (URL 36).



Resim 4.36. Örümcek ağının yapısından ilham alan düğüm ve eklem noktalarından oluşan elyaflı sis toplama ağı (URL 37).

Bu elyaf sis toplayıcıların uygulamalar için, uygun yırtılma mukavemeti ve hava geçirgenliği göstermesi gerekir, böylece fırtına gibi kötü havalarda bile işlevlerini güvenilir bir şekilde yerine getirebilirler. Malzeme kire, toza ve kendi blokaajlarına karşı korunacak kendi kendini temizleme özelliklerine sahiptir. Ek olarak, aşırı güneşlenme nedeniyle maksimum yıpranma ya karşı ve ultraviyole direnci de bulunur. Polyester elyaftan oluştuğu için yanıcı değildir, tutuşmaz ve geri dönüştürülebilir niteliktedir. Malzemenin ekonomik verimliliğine baktığımızda, malzemenin elyaf kısmı ve genel sistemin üretim ve bakım maliyetleri mümkün olduğunca düşüktür. Basit tasarım ve kolay kullanım, su toplayan malzemenin çorak arazilerde kullanılması için temel şartlardır. Su ile temas eden tüm malzeme yüzeyleri, ayrılmış su içme suyu olarak kullanıldığından yiyeceklerle uyumludur. Bulgulara dayanarak yeni tekstil yapıları geliştirilmeye devam edilmektedir. En çok tercih edilen sis toplayıcılar, 3D tasarımlı polyesterden oluşmaktadır. 3D-tekstil ürünleri sise maruz kaldığında % 65 ile 85 arasında ayırım oranlarına ulaşmaktadır. Bu araştırmaların ana odağı, su toplamamanın etkinliği, mekanik stabilite, kendi kendini temizleme davranışı ve içme suyunun toplanması, depolanması ve nihai arıtmasıdır. Plana göre, gelecekte çok sayıda konut, okul ve köy gibi daha büyük yerleşim birimleri bağımsız bir şekilde kendi su ihtiyaçlarını karşılayabilecek ve farklı boyutlardaki sis toplayıcı sistemleri aracılığıyla filtreleme görevini üstlenebilecektir. Bu planın uygulanması amacıyla, ilk önce, elyaf polimerleri ve geometrilerinin belirlenmesi ve su toplamada etkili davranış sergileyen geometrideki elyafların analiz edilmesi gerekmektedir (Resim 4.37). Böylece, malzemelerin yüzey enerjileri ve spektral özellikleri optimize edilerek verim arttırılacaktır (Sarsour, Stegmaier ve diğerleri, 2010).



Resim 4.37. Elyaf polimerleri ve çeşitli geometrileri ile sırasıyla verimleri (URL 37).

Biyomimetik elyaf malzemenin su toplama amacıyla kullanılması ile gelişmekte olan ülkelerin önemli sağlık sorunlarının temel nedeni olan, temiz su ve arıtma sistemlerinin bulunmamasından kaynaklanan hastalıkların yayılması ve bunlara bağlı can kayıpları engellenebilir. Bu amaçla su toplama kulesi olan Warka Su Kulesi'nde bu biyomimetik tasarımlı elyaf kullanılmıştır (Resim 4.38.). Kulenin su toplama tasarımında Namib çöl böceklerinin hirofilik-hidrofobik özelliklerinden ve örümcek ağlarından ilham alınmıştır. Bu ucuz ve kurulumu kolay kule, karmaşık mühendislik ve inşaat gereksinimlerine ihtiyaç duymaz ve ayrıca biyolojik olarak parçalanabilen ve % 100 geri dönüştürülebilir malzemelerle üretilmiştir. Warka Kulesi herhangi bir elektrik enerjisi veya başka bir enerji gerektirmez, sadece yerçekimi, yoğunlaşma ve buharlaşma gibi doğal ortama bağlı olarak su üretir (URL 38).



Resim 4.38. Warka Su Kulesi ve biyomimetik elyaf (URL 38)

Sisten su toplayan örümcek ağı esinli biyomimetik elyaf malzemesine ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.18’de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Örümcek ağı ilhamlı su toplayan malzeme - biyomimetik malzeme örneği

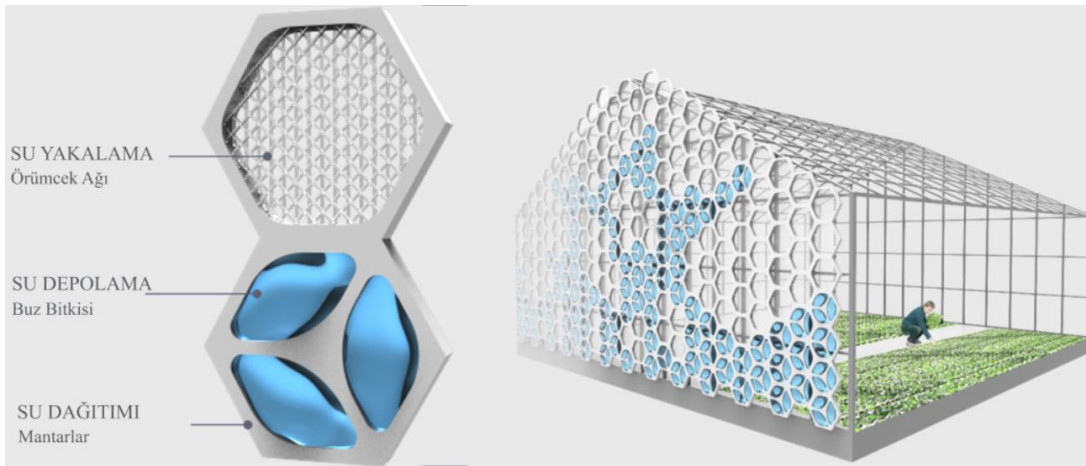
ÖRÜMCEK AĞI İLHAMLI SU TOPLAYAN MALZEME	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓		✓	
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Örümcek ağı	Örümcek ağının higroskopik yapısından, liflerinin hidrofilikliği ve sisten su damlalarını toplama özelliğinden ilham alınmıştır.		Sisten su damlacıklarını çok etkili biçimde toplayan, kendi kendini temizleyen, su, enerji ve kaynak verimliliği olan, üretimi kolay ve ucuz, uygulama ölçeği esnek, mekanik dayanımı yüksek, UV direnci olan, yangına karşı dayanımlı, uzun ömürlü, geri dönüştürülebilir, insan sağlığına zararsız, bakım maliyeti düşük bir malzemedir.	

Su toplama amacıyla geliştirilen bir diğer malzeme sistemi ise “AquaWeb” tir. Malzeme sistemini geliştiren ekip pasif olarak atmosferden su toplayabilme için örümceklerin havadaki sisten suyu çekme özelliklerini inceleyerek, bunu tasarımları olan AquaWeb’ e dahil etmiştir. Biyomimetik olarak tasarlanmış AquaWeb, büyüyen karmaşık gıda sorununa doğal ilham çözüm oluşturmak için mantarlar, arılar ve bitkilerden fikirleri içermektedir. AquaWeb’in tasarımının her yönü ile canlı sistemlerden esinlenmiştir. Bunlar arasında, örümcek ağlarının havadan nasıl sis topladığı, kristalimsi buz bitkisi gibi kuraklığa dayanıklı bitkilerin nasıl su depoladığı ve mantarların suyu nasıl dağıttığı bulunmaktadır (Resim 4.39). Ekip ayrıca AquaWeb’ in sağlam bir yapıya sahip olması, verimli ve modüler tasarımı için de ekip bal arısı yuvalarının altıgen şeklini almıştır.



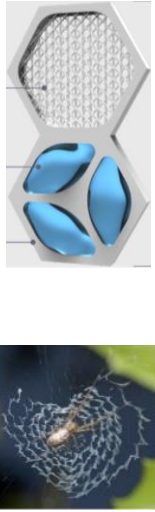
Resim 4.39. AquaWeb'in tasarımında esinlenilen canlı sistemler (URL 39).

AquaWeb'in uygulaması ve kullanımı kolaydır, yağmur ve siste çalışır. Toğladığı suyu dağıtmak için pasif stratejiler kullanır, böylece seralar, bina dış mekanları ve cephelerde kullanımı dahil olmak üzere enerji tasarrufu yapabilir ve çözüm odaklı olarak esnek hale gelebilen modüller ve geri dönüştürülebilir sisteme sahiptir (URL 39). Malzeme sistemi iki çeşit modülden oluşmaktadır. Modüllerinden birinde suyu yakalamak için örümcek ağı benzeri bir yapı bulunur diğer modülde ise buz bitkisinden esinlenilerek oluşturulan su depolama kısımları vardır bun polimer esaslı bir malzemelerden oluşur ve son olarak da modüllerin çerçevesini çizen ve modülleri birbirine bağlayan mantarın suyu dağıtma stratejisinden ilham alan kısımlar ile sistem verimli bir şekilde çalışır bu kısım ise metal esaslı bir malzemedir (Şekil 4.11). Malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.19'da tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.19).



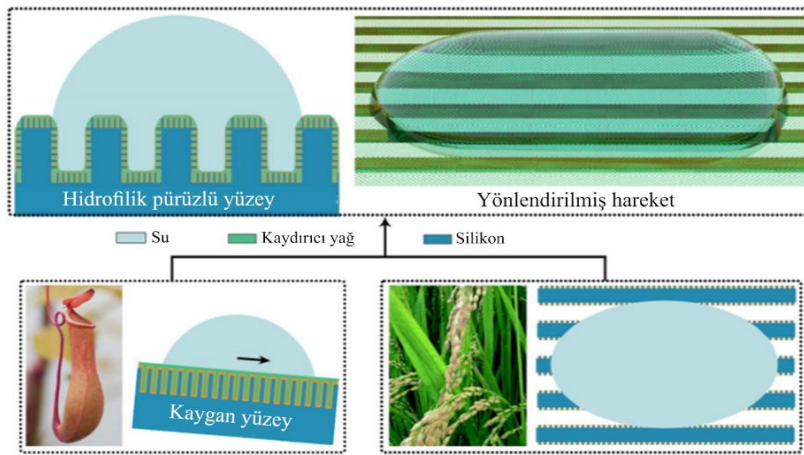
Şekil 4.11. AquaWeb'in çalışma stratejisi (URL 39).

Çizelge 4.19. Aquaweb - biyomimetik malzeme örneği

AQUWEB 	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
	✓		✓	✓	
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Örümcek ağı Kristalimsi buz bitkileri Mantarlar Balarısı yuvaları	Örümcek ağlarının havadan suyu toplaması, kristalimsi buz bitkilerinin suyu depolaması, mantarların suyu dağıtma mekanizmaları ve bal arılarının yuvalarının altıgen şekliyle dayanıklı oluşları ilham vermiştir.		Sisten su damlacıklarını çok etkili biçimde toplayan, kendi kendini temizleyen, modüler, sağlam ve dayanıklı yapıda, kullanımı ve uygulaması kolay, uzun ömürlü, geri dönüştürülebilir, insan sağlığına zararsız, bakım maliyeti düşük bir malzemedir.	

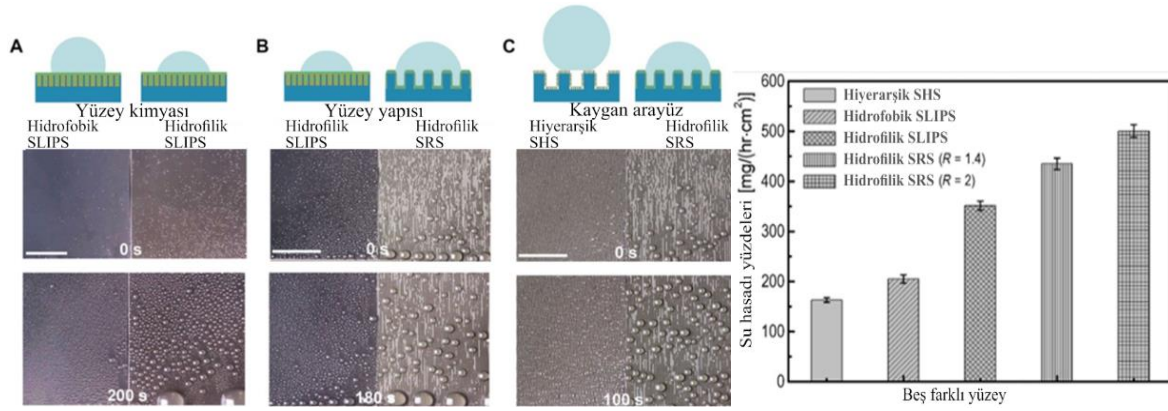
Namib çöl böceği ve örümcek ağı gibi tek organizmanın özelliklerinden yola çıkarak geliştirilen biyomimetik malzemeler olduğu gibi Aquaweb gibi birden fazla canlının özelliklerini kullanarak oluşturulmuş biyomimetik malzemeler de bulunmaktadır. Kaygan ve pürüzlü bir malzeme olan SRS (slippery rough surfaces) bunlardan biridir. Süperhidrofobik yüzeyler (SHS) yoğunlaşma için geniş çapta çalışılsa da, bu tür yüzey birkaç zayıflığı vardır; hidrofobik yüzey kimyası çekirdeklenmeyi desteklememektedir (Sirohia ve Dai, 2019). Ayrıca sıkışan hava basınç veya yüksek nemli koşullar altında kolayca zarar görebilir. Sıkışmış hava hasar gördüğünde, sıvılar yüzey dokuları ile tam temas halinde olacak ve çok fazla sabitleşecek, bu da damlacıkların akıp toplanmasını önleyecektir (Lafuma ve Quéré, 2003). Mevcut ve yaygın olarak kullanılan hidrofilik ve hidrofobik su toplama teknolojilerinin birçoğu verimli değildir. Bunlar arasında en yaygın kullanılanları hidrofilik yüzeylerdir. Su hidrofilik bir yüzeye çekildiğinde, bir tabaka oluşturur ve yüzeye yapışır ve bu durum suyun tutarlı bir şekilde akmasını önler ve işlemi verimsiz hale getirir (Dai ve Sun, 2018). Bütün bu sorunları ortadan kaldırmak ve verimli bir su toplama yüzeyi elde edebilmek için sürahi bitkileri ve pirinç yapraklarının benzersiz işlevlerinden ilham alan su damlacıklarını hızla çekebilecek ve akıtabilecek hidrofilik yönlü kaygan pürüzlü bir yüzey (SRS) geliştirilmiştir. Bu kaygan pürüzlü yüzey (SRS), biyomimikri yaklaşımı ile elde edilmiştir ve ucuz biyolojik stratejilerle su toplama işleminin

etkinliğini arttırmayı hedeflemektedir (Sirohia ve Dai, 2019). SRS bir sürahi bitkisinin kaygan kenarlarını, yön oluklarına sahip bir pirinç yaprağının yüzey mimarisiyle birleştirilerek geliştirilmiştir (Şekil 4.12). Hidrofilik kimyaya sahip, bitki esintili bu kaygan yüzeye, yön olukları eklenmiş ve yüzey alanını arttıran bir mikro ölçekli pürüzlülük verilmiştir. Pirinç yapraklarından ilham alan oluklar, su damlacıklarını kılcal hareket veya yerçekimi ile uzaklaştırır. Kısaca SRS, hidrofilik yüzey kimyasına, kaygan bir ara yüze, yön yapılarına ve damlacık toplanmasını ve hareketliliğini en üst düzeye çıkarmak için geniş yüzey alanlarına sahiptir.



Şekil 4.12. Hidrofilik yönlü SRS nin yüzey yapısı görünümü ve ilham alınan yüzeyler (Dai ve Sun, 2018).

Namib çöl böceği hayatta kalmak için havada küçük su damlacıklarını çekirdeğe almak ve yakalamak için desenli hidrofilik yüzeyler kullanır. Damlacık çekirdeklenmesinin sadece desenli hidrofilik bölgelerde (Hou, Yu ve diğerleri, 2014) meydana geldiği böcek esintili yüzeylerin aksine, SRS tam olarak maksimum damlacık çekirdeklenmesi için toplam yüzey alanını kullanır. Böyle bir yüzey, hareketsiz duran damlacıkların hızlı bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar; bu, geleneksel pürüzlü yüzeylerle elde edilemez. Deneylerle hidrofilik yönlü SRS'nin, büyük damlacık çekirdeklenme yoğunluğu ve hızlı damlacık birleşmesi ve ayrılması nedeniyle damla damla yoğunlaşma ve sis toplamada SHS ve SLIPS gibi son teknolojiye sahip hidrofobik sıvı itici yüzeylerin çoğundan daha iyi performans gösterdiği saptanmıştır (Resim 4.40) (Dai ve Sun, 2018).



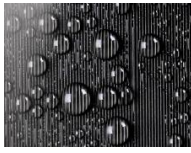
Resim 4.40. Hidrofobik SLIPS, hidrofilik SLIPS, hidrofilik SRS ve hiyerarşik SHS'de su hasadı (Dai ve Sun, 2018).

Diğer modern sıvı itici yüzeylere karşı SRS'nin su toplama performansının başka bir karşılaştırması Resim 4.41' de görülmektedir. Deneyler, SRS'nin havadaki su damlacıklarını diğer modern yüzeylere kıyasla daha hızlı bir şekilde toplayabildiğini göstermektedir. Gerçek su hasadı uygulamalarında SRS malzemesinin simülasyonları, günlük yüzeyin metrekare başına tahmini 120 litre su toplayabileceğini göstermektedir (Sirohia ve Dai, 2019). Bu aynı zamanda su ve enerji ile ilgili geniş bir uygulama yelpazesine katkıda bulunabilecek mükemmel damlacık çekirdeklenme ve su itici işlevlerle hidrofilik bir kaplama oluşturma olasılığını da göstermektedir. Bina cephelerinde ve kurak bölgelerde su toplama, tuzdan arındırma için kullanılabileceği öngörülmektedir (Dai ve Sun, 2018). SRS' ye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.20'de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.20).

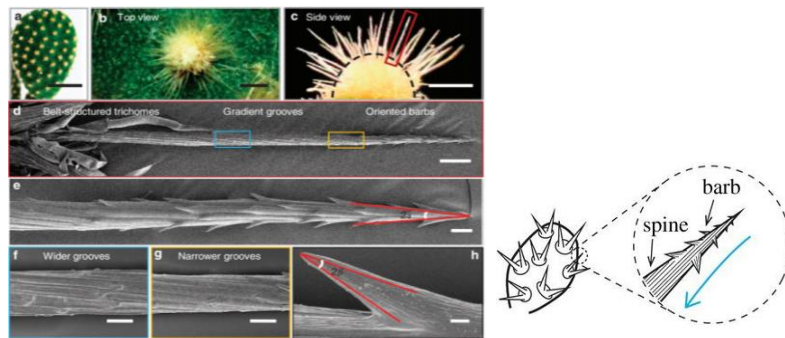


Resim 4.41. Sol panel SRS, orta panel SLIPS ve sağ panel süperhidrofobik bir yüzey, son resim SRS'nin yakından görünümü (Dai ve Sun, 2018).

Çizelge 4.20. SRS - biyomimetik malzeme örneği

SRS	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
  	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
	✓		✓		
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Sürahi bitkisi Pirinç yaprakları	Sürahi bitkisinin kaygan kenarlı hidrofilik yüzeyli oluşundan ve pirinç yapraklarının oluklu yapısında suyun kılcal hareket etmesinden ilham alınmıştır.		Damlacık yoğunlaşmasını üst düzeye çıkararak sisten su damlacıklarını çok etkili biçimde toplayan, kendi kendini temizleyen, enerji, kaynak ve su verimliliği sağlayan, insan sağlığına zararsız bir yüzeydir.	

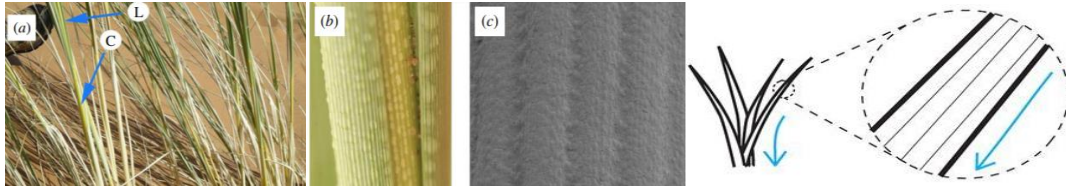
Bir diğer malzeme sistemi ise kaktüs, namib çöl böceği ve namib çöl çayırının özelliklerinin birleştirilmesi ile geliştirilmiştir. Kaktüsler genellikle kurak alanlarda bulunur. Bu nedenle, çoğunlukla su toplamak, depolamak ve su kaybını en aza indirmek için uyarlanmışlardır. Genel olarak kaktüsler konik dikenlerinde bulunan mikro iğneler yardımıyla su toplamaktadır (Resim 4.42) (Vesilind, 2003). Su, bu küçük iğnelerde toplanır ve damlacıklar büyüdükçe bitki omurgasının üzerine hareket eder.



Resim 4.42. Kaktüsün yüzey yapıları ve dikenler üzerindeki mikro iğneler (Ju, Bai ve diğerleri, 2012).

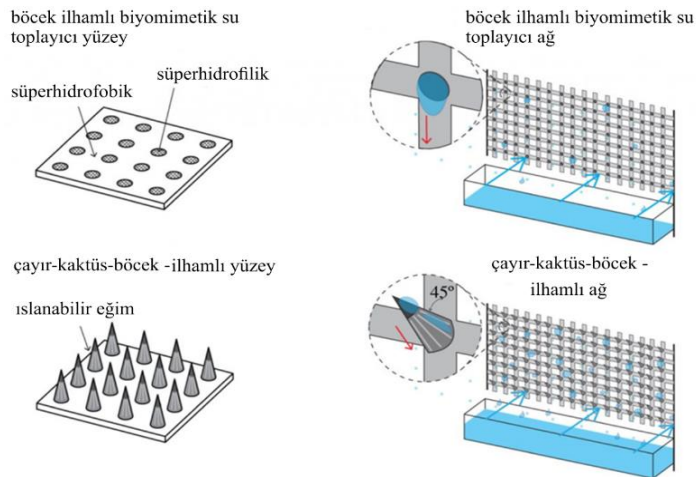
Malzemenin diğer ilham kaynağı Namib Çölü'ne özgü bir ot olan Namib çöl çayırıdır. Bitki yapraklarında havada yayılan su damlacıklarını toplamaktadır ve damlacıkların saçılmasını engelleyerek kaybı minimuma indirdiği belirlenmiştir (Louw ve Seely, 1980). Bitki bu

durumu iki çeşit yüzey pürüzlülüğü kombinasyonu ile sağlanmaktadır. Bunlardan ilki, dikenli tüylerden ve mumsu yapılarından kaynaklanan yüzey düzensizlikleridir, bu durum damlacıklar aşağı inmek için çok küçük olduğunda erken dökülmelerini önler. Bir diğeri, daha büyük damlacıkların kılavuzlu bir şekilde aşağı kaymasını sağlayan uzun ve yaprak eksenine paralel olukların varlığıdır (Resim 4.43) (Zhu, Guo ve Liu, 2016).



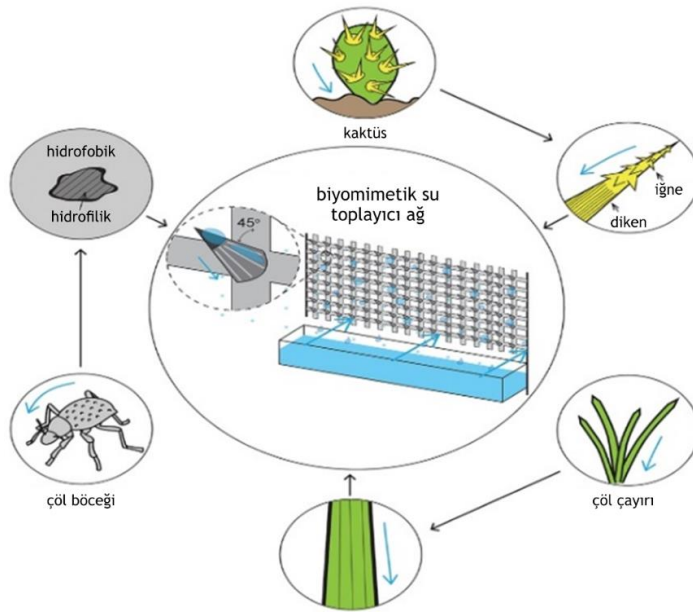
Resim 4.43. (a) Namib çöl çayı b) üzerinde oluşan su damlacıkları c) uzun olukların mikroskop görüntüsü ve şeması (Roth-Nebelsick, Ebner ve diğerleri, 2012).

Böceklerden esinlenen, çimenler ve kaktüslerden esinlenen su toplayıcılarının tasarımları Şekil 4.13’ de gösterilmiştir. Bu malzeme sistemi geri dönüştürülebilir metal esaslı bir malzemedir ve su toplama işlevi nedeniyle de insan sağlığına zararsızdır. Böcekten ilham alan yüzeyler, düz bir süperhidrofobik yüzey üzerindeki süperhidrofilik lekelerden oluşur. Böcek, çimen ve kaktüslerden ilham alan yüzeyler, heterojen ve yivli bir dizi koni içerir. Böceklerden esinlenilmiş tasarımlar için, ağların bağlantı noktalarında süper hidrofilik noktalar bulunmalıdır. Böcek, çimen ve kaktüs esinlenilmiş tasarımlar için, ağların birleşme yerleri, yivli heterojen ıslanabilir konilere sahiptir ve koniler 45° eğimlidir (Bhushan, 2019).

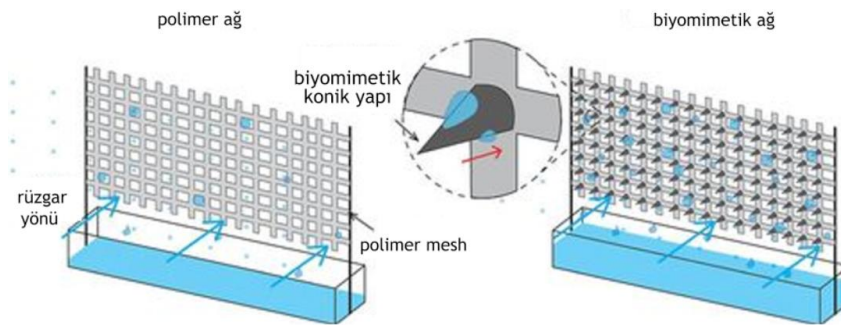


Şekil 4.13. Böcek-çayır-kaktüsten esinlenen biyomimetik yüzeyler ve biyomimetik ağ tasarımı (Gurera ve Bhushan, 2019).

Önerilen malzeme sistemi verimli bir su toplama mekanizması için hem kaktüslerden ilham alan konik dikenler hem de çayırardan ilham alan mikro oluklar içeren ağlardan oluşur (Şekil 4.14). Malzemelerin su toplama verimleri aşağıdaki şekilde şematik olarak verilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.14. Kaktüslerden ve çöl çayırlarından ilham alan mikro oluklar içeren ağların fikir şeması (Bhushan, 2019).



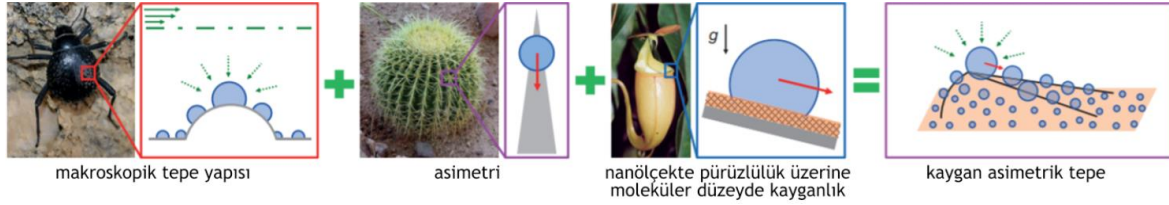
Şekil 4.15. Su toplama ağlarının karşılaştırılması (Brown ve Bhushan, 2016).

Bu malzemeler için dayanım açısından zorluklar bulunmaktadır, birçok durumda, konik yapıların çok hassas olmaları muhtemeldir ve bu nedenle de malzeme sis toplamanın en çok gerekli olduğu zorlu şartlar için uygun olmayabilmektedir. Bu biyomimetik tasarımlı ağlara ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.21’de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21. Biyomimetik su toplama ağları - biyomimetik malzeme örneği

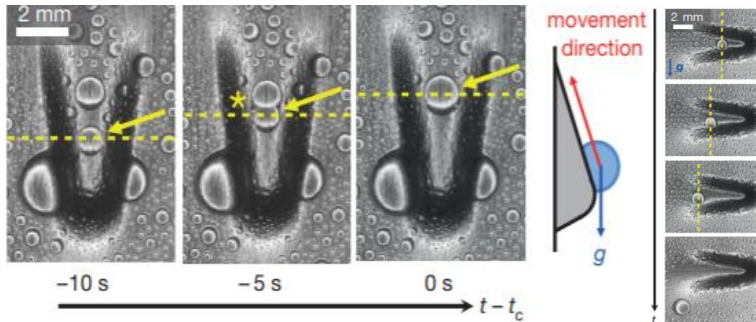
BİYOMİMETİK SU TOPLAMA AĞLARI 	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
	✓		✓		
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri	Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri		
	Çöl böceği, çöl çayırı, kaktüs	Namib çöl böceklerinin hidrofilik-hidrofobik yüzey yapısının su toplama özelliği, kaktüslerin dikenleri ile yüzey alanlarının su toplamak için arttırmaları, çöl çayırının uzun oluklar ile suyu köklerine yönlendirmesi örnek alınmıştır.	Sistem su damlacıklarını toplayan, kendi kendini temizleyen, enerji, kaynak ve su verimliliği sağlayan, insan sağlığına zararsız, modüler, üretimi uygulaması ucuz ancak konik yüzeylerinden dolayı mekanik dayanımları az malzeme sistemleridir.		

Damla damla yoğunluğunun kontrolü su toplama sistemleri, tuzdan arındırma, ısı enerjisi üretimi, iklimlendirme, damıtma kuleleri ve diğer birçok uygulamada esastır. Bunlardan herhangi biri için, damlacıkların hızlı bir şekilde büyümesini ve mümkün olduğunca çabuk dökülmesini sağlayan yüzeyler tasarlamak esastır. Burada, yoğunluğun bu yönlerini birleştiren ve diğer sentetik yüzeyleri büyük ölçüde geride bırakan Namib çöl böcekleri, kaktüsler ve sürahi bitkilerinden türetilen prensiplere dayanan malzeme; çöl böceklerinin kabuğunun damlacık büyümesini optimize etmesinden, damlacıkların kılcal yönlendirilmesi için kaktüs dikenlerinden ve kayganlık için sürahi bitkisinden ilham alınarak tasarlanmıştır (Şekil 4.16). Böceğin engebeli yüzey geometrisinin yoğunluğu teşvik etmedeki rolünün geleneksel olmayan bir yorumu ile ve teorik modelleme kullanılarak, dışbükey çıkıntılar elde edilmiştir. Bu geometriyi kaktüs dikenlerine benzer bir genişleme eğimine entegre ederek damlayı eğimden aşağı çeken bir sistem oluşturulmuş ve hızlı, yönlü taşıma ile damlacık büyümesi doğrudan birleştirilmiştir. Bu birleşime ek olarak kaygan sürahi bitkisi esintili bir nano kaplama ile materyal daha da geliştirilmiştir.



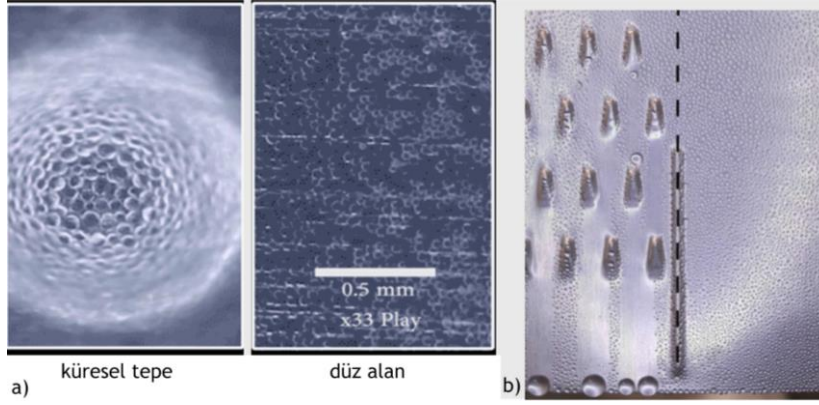
Şekil 4.16. Malzemenin tasarımında ilham alınan canlılar ve özellikleri (Park, Kim ve diğerleri, 2016)

Bu mekanizmaları bütünleştirmek için rasyonel olarak tasarlanan tümsekler, yerçekimine karşı bile büyük damlacıklar oluşturabilir (Resim 4. 44), taşıyabilir ve uygun olmayan bir sıcaklık derecesinin etkisinin üstesinden gelebilir. Damlacık, eğimdeki daha geniş düz alana doğru hareket eder, böylece artık kavisli bölgelerle çakışmaz ve yolda daha küçük damlacıklar ile birleşerek daha da büyür ortadaki görselde yoğunlaşmış su damlacıklarının, eğimin yerçekimine göre 90 derece olduğu koşulda bile eğimin daha geniş düz alanına doğru hareket eder (Park, Kim ve diğerleri, 2016).



Resim 4.44. Su damlacıklarının yerçekimine karşı hareketi (Park, Kim ve diğerleri, 2016).

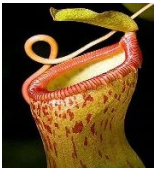
Malzemede daha önce benzeri görülmemiş altı kat daha yüksek büyüme hızı, daha hızlı başlangıç, daha yüksek kararlı hal, devir hızı ve diğer yüzeylere kıyasla daha fazla su hacmi toplandığı (Resim 4.45) gözlemlenmektedir. Bu temel anlayışın ve rasyonel tasarım stratejisinin çok çeşitli su toplama ve faz değişimli ısı transferi uygulamalarına uygulanabileceğini düşünülmektedir. Ayrıca malzeme kendi kendini temizleme, ısıya dayanım, aşınma, çizilme ve korozyona karşı direnç özelliklerine sahiptir. Genelde metal içerikli herhangi katı bir yüzeye uygulanabildikleri için üretimleri verimlidir ve geri dönüştürülebilir niteliktedir (Park, Kim ve diğerleri, 2016).



Resim 4.45. a) Tümseklerin tepesi ile düz bir bölgede büyüyen damlacıkların ve b) düz bir kaygan yüzey ile asimetrik tümsekli yüzeyin su toplama işlevinin karşılaştırılması (Park, Kim ve diğerleri, 2016).

Bu malzeme özellikle termik santrallerde buharı hızlı bir şekilde suya dönüştürmek için kullanılabilir. Bu tasarım, bu süreci hızlandırmaya yardımcı olabilir ve hatta daha yüksek bir sıcaklıkta çalışmaya izin vererek genel enerji verimliliğini önemli ölçüde iyileştirebilir (Park, Kim ve diğerleri, 2016). Malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.22’de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Biyomimetik su toplama ağları - biyomimetik malzeme örneği

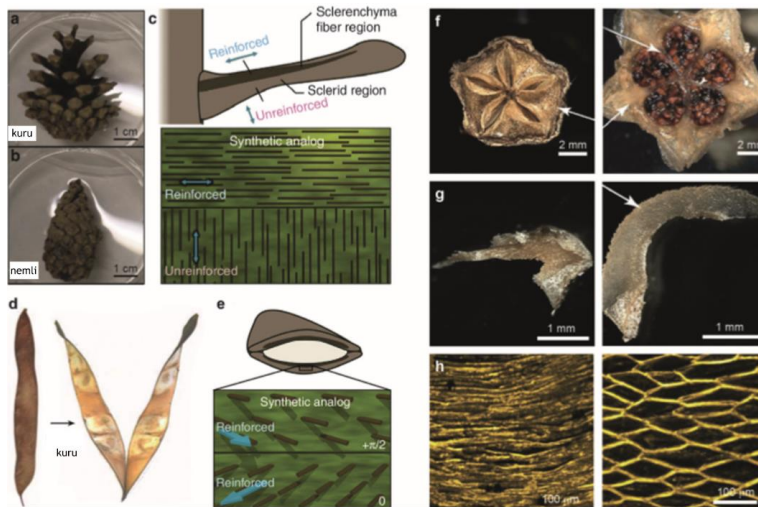
ASİMETRİK TÜMSEKLİ SU TOPLAMA YÜZEYİ	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
			✓		
	  	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Namib çöl böceği Sürahi bitkisi Kaktüs dikenleri	Böceğin engebeli yüzey yapısı yoğunlaşmayı artırır, kaktüsün yoğunlaşma yüzeyini arttıran eğimli dikenleri bulunur ve sürahi bitkisinin damlacıkları hızla uzaklaştıran kaygan yüzeyi vardır.		Sistem su damlacıklarını verimli şekilde toplayan, kendi kendini temizleyen, enerji, kaynak ve su verimliliği sağlayan, insan sağlığına zararsız, yüksek sıcaklıklara ve korozyona dayanıklı, üretimi kolay geri dönüştürülebilir nitelikte bir malzemedir.	

Burada incelenen tüm biyomimetik sis toplama malzemeleri arasında, böceğin sırtına dayanan desenli heterojen yüzeylerin kullanılması belki de en yaygın yöntemdir. Su toplayan malzemelerin gelişimi hızla devam etse de burada hala malzeme özelliklerine dayanan birçok zorluk devam etmektedir. Her ne kadar birçok makale hidrofobik veya hatta süperhidrofobik arka planların üzerinde toplanan hidrofilik lekelerin sisten su toplayabildiğini göstermiş olsa da, bu malzemelerin uzun vadeli dayanıklılığı tam olarak araştırılmamıştır. Örneğin, bu tür malzemelerde düşük mekanik dayanıklılık sorunu olabilir. Dayanıklılık sorunu, sis toplama malzemelerinde düzenli bakımın mümkün olmadığı uzak bölgelerde, eğilimli alanlarda veya yüksek günlük sıcaklık değişimi ve kumdan aşınma gibi zorlu koşullarda özellikle önemlidir.

4.4.5. Pasif iklimlendirme sağlayan biyomimetik malzemeler

Günümüzde küresel enerji tüketiminin büyük kısmını binalar oluşturmaktadır. Bu da enerji kaynaklarının tükenmesine, karbon ayak izinin artmasına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca binalarda kullanılan enerjinin çoğu HVAC sistemleri gibi sistemlerde iç ortam iklimlendirmesi amacıyla kullanılmaktadır. Binalarda bu amaçla yapılan enerji tüketiminin azaltılması için birçok pasif çözüm stratejisi geliştirilmiştir. Bir inşaat yapısının biyoklimatik tasarımı; güneşe en uygun yönelme, aktif termal kütle, doğal havalandırma stratejileri ve dışarıdan enerji girişine gerek kalmadan uzun süre rahat koşullarda tutmaya tasarlanmış yalıtımlı bir yüzey kullanımı gibi basit pasif tasarım önlemleriyle elde edilebilir. Bununla birlikte, iyi tasarlanmış pasif mimari yapılar bile, dış ortamın değişken etkilerini iyileştirmek için zaman zaman enerji tüketen yapı sistemlerine gereksinim duymaktadır (Sartori, Hestnes, 2007). Genel olarak çağdaş adaptif yüzeyler mekanik ve elektronik sensörler ve kontrol sistemleri arasındaki bağlantıya dayanan özel teknolojik uygulamalara eğilim göstermektedir ve bu iklime duyarlı mekanizma, akıllı elemanların geleneksel bir dış inşaat yapısının üzerine yerleştirildiği, akıllı inşaat yapı kaplamalarının ortak bir özelliği haline gelmiştir (Menges ve Reichert, 2012). Duyarlı teknolojik dış yüzeylerin etkin halde kullanılması inşaat yapısının iç ortamını ve performans özelliklerini iyileştirirken enerji kaynağına olan bağımlılık, yüksek maliyet, yapısal karmaşıklık ve güvenilirlik problemlerinden dolayı bakım sorunlarına maruz kalma potansiyelindedir (Guy ve Farmer, 2001).

Bu noktada doğanın çözümlerine bakılarak iç ortam konfor koşullarının sağlanması amacıyla biyomimetik yaklaşımlar pasif çözüm stratejileri geliştirilmiştir. İç ortam konfor koşullarını etkileyen en önemli faktörler sıcaklık ve nemdir. Fazla ısı bina kullanıcıları için rahatsız edici olabilmektedir ve fazla nem, ısı etkisini arttırarak boğucu etki oluştururken, nemin azlığı da rahatsız edici şekilde kuruluğa sebep olabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı incelenen biyomimetik malzeme örneklerinde iç ortam konfor koşullarının sağlanması amacıyla daha çok pasif havalandırma ve soğutma stratejilerine yoğunlaşıldığı görülmektedir. Bu amaçla birçok bitkinin kendi kendine özerk olarak açılıp kapanmasından (Resim 4.46) yola çıkılarak biyomimetik malzemeler ve cephe sistemleri geliştirilebilir. Açılma kapanma higroskopisite denilen özel bir durumdan kaynaklanmaktadır. Bu bazı malzemelerin, malzeme kurduğunda atmosferden nemi emmesi ve malzeme ıslakken nemi tekrar atmosfere salmasıdır. Bu işlem, malzemedeki nem içeriğinin yakın çevresinin bağıl nemi ile dengesini etkili bir şekilde korur (Krieg, 2014). Bu işlevden biyomimetik yaklaşımla yararlanılan doğal unsurlardan biri çam kozalaklarıdır (Resim 4.47). Çağdaş akıllı bina sistemleri, iklime duyarlı teknoloji sayesinde binalarda enerji kullanımını azaltmayı amaçlamaktadır; bununla birlikte, bu teknolojiler, kozalakların doğasında olan neme bağlı olarak açılıp kapanma mekanizmasının verim ve narinliğinden yoksundur. Ahşabın aşırı genişleme kapasitesi mikro ve makro yapısındaki biyolojik aktivitesine bağlıdır. Bu nedenle mekanik değişiklikleri tetiklemek için ek enerjiye gerek yoktur. Ahşabın neme bağlı çekme ve şişme durumlarındaki mekanizması kullanılarak düşük teknolojili ve düşük maliyetli higromorfik (neme duyarlı) malzemeler üretilebilmektedir.



Resim 4.46. Özerk kendi kendine şekillendirme davranışını sergileyen bitki sistemleri (Harrington ve diğerleri, 2011).



Resim 4.47. Neme göre açılıp kapanabilen çam kozalakları (Holstova, 2015).

İç ve dış ortamların değişken doğal ritimlerine pasif bir şekilde bağlı olan higromorfik malzemelerin adaptif bina sistemlerine sunduğu fırsatlarla birlikte sürdürülebilir mimariye de katkısı bulunmaktadır. Menges ve Reichert (2012) doğanın, mimari yapılarda “biyolojik çevre şartlarına duyarlılığı” kolaylaştıracak ve “teknoloji içermeyen strateji” olarak adlandırdıkları bir model öne sürmüşlerdir (Çizelge 4.23). Bu bağlamda bu fikirlerin, adaptif tabanlı yapılar ile neme duyarlı (yani higromorfik) malzemeye gömülen “hibrit” sürdürülebilir tasarımların gerçekleştirilmesi savunulmaktadır.

Çizelge 4.23. Adaptif mimari sistemlere dahil edilen higromorfik malzemeler: sürdürülebilirlik hedefine yönelik yaraları (Menges ve Reichert, 2012)

sürdürülebilir uyarlabilir mimariye hibrit yaklaşımla sağlanan higromorfik bina sistemlerinin özellikleri			
pasif	+	dinamik	pasif tepki ile elde edilen dinamik davranış
fonksiyonel	+	eşetetik	fonksiyonel ve eşetetik değerlerin kombini
basit, düşük maliyetli ve dayanıklı	+	akıllı ve duyarlı	düşük teknoloji, düşük maliyetli malzemeler ile akıllı ve sağlam performans
yapay ve çağdaş	+	doğal ve yerel	ahşabın gömülü doğal duyarlılığını kullanan akıllı modern malzemeler

Ahşabın neme karşı olan hassaslığı ile, hava değişimlerine uyum sağlamak için açılıp kapanabilen duyarlı bir kabuk (Resim 4.48) kurmak için otonom bir malzeme sistemi oluşturulmuştur (Resim 4.49). Bu şekilde geliştirilen biyomimetik yapı malzemelerinin tasarımı enerji verimliliği açısından sürdürülebilir adaptif mimari kabuğu geliştirilmesinde

herhangi bir sensör sistemine ya da aktif enerjiye ihtiyaç duyulmadığını göstermiştir. (Lopez ve diğerleri, 2017).

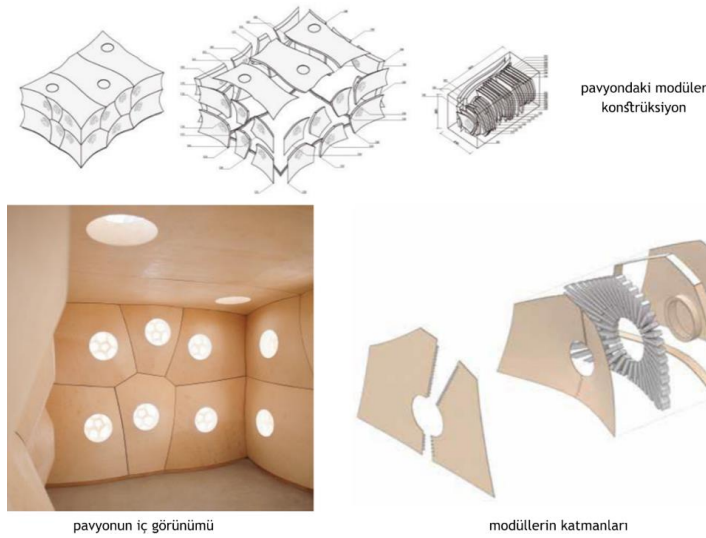


Resim 4.48. a) Doğrudan güneş ışığı ve ortamdaki bağıl nemle tetiklenen malzeme (Nasr, 2017).



Resim 4.49. Açık (sağ) ve kapalı durumda (solda) gösterilen higromorfik malzemeye sahip bir kabuk prototipi (Menges ve Reichert, 2012).

Higromorfik biyomimetik yaklaşımın kullanıldığı başka bir örnek ise, 2013 yılında Achim Mengesin tarafından biyomimetik bir yaklaşımla tasarlanan 'The Meteorosensitive Pavillion' dur. Bu pavyonun yapı kabuğu malzemesi, kozalakların nem değişimine verdiği pasif tepkiye dayanmaktadır (Resim 4.50) (Barozzi, 2016). Higromorfik biyomimetik malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.24'de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.24).



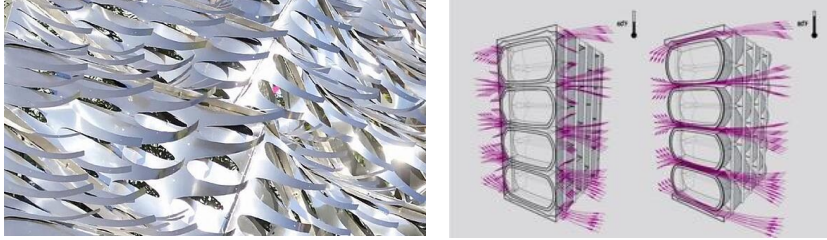
Resim 4.50. The Meteorosensitive Pavillion' un tasarımı (Barozzi, 2016).

Çizelge 4.24. Higromorfik biyomimetik malzemeler - biyomimetik malzeme örneği

HİGROMORFİK BİYOMİMETİK MALZEMELER	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
				✓	
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
 nemli kozalaklar  kuru kozalaklar	Ladin Kozalağı	Kozalaklar havadaki bağıl neme göre açılıp kapanmaktadır.		Hiçbir enerji harcamadan özerk olarak pasif havalandırma ve soğutma sağlayan, tasarımı basit, maliyeti az, estetik, enerji verimliliği sağlayan, geri dönüştürülebilir doğal malzeme kullanılan, hafif bir malzeme sistemidir.	

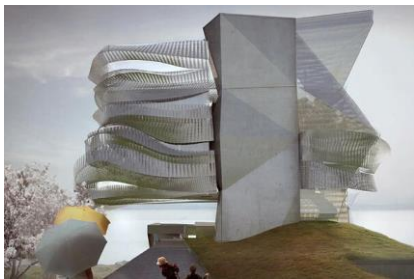
İkime duyarlı biyomimetik yapı malzemelerine verilebilecek başka bir örnek ise “termo-bimetal” malzemelerdir. Malzeme daha önceden biyolog olan mimar Doris Sung tarafından tasarlanmıştır. Bu malzemenin tasarımında insan derisinin terleyerek soğutma sağlaması ve güneşe karşı dirençli olmasından ilham alınmıştır. Termo bimetaller birbirine lamine edilmiş UV dayanımı olan iki farklı metalden oluşur ve bu metallerin farklı ısınma ve genleşme katsayıları sayesinde sisteme hareket kazandırılmıştır. Isıtıldığında, bir metal diğerinden daha hızlı genişler, daha yavaş genişleyen metal tarafından daraltıldığı için de kıvrılır. Farklı

metaller kullanılarak hareket edebilen sistem ile yapının çevresine dinamik olarak tepki vermesi sağlanmıştır (Resim 4.51) (Casini, 2016).



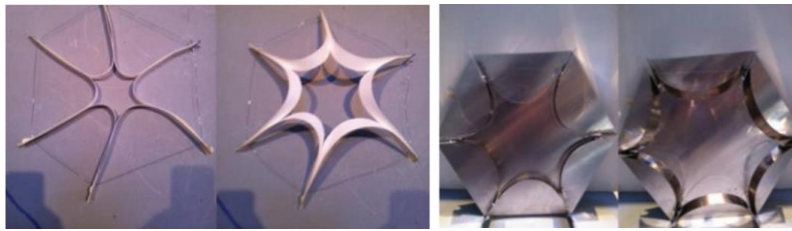
Resim 4.51. Paneller halinde tasarlanmış termo bimetel örneği ve malzemenin çalışma prensibi (URL 40).

Bu malzeme, bileşenlerin düzenlemesine bağlı olarak gölgeleme sağlayan veya güneşin radyan ısısına ve hava sıcaklığına bağlı olarak daha fazla hava hareketine izin veren birçok küçük ölçekli gölgeleme gerektiren alanda başarıyla kullanılmıştır. Örneğin, metalik bir yapının gölgelendiği örnekte (Resim 4.51) küçük çıkıntılar statiktir ve içeriye doğru hava hareketini önleyerek ısıdan tasarruf sağlamaktadır. Yapı doğrudan güneş ışığı aldığı anda, çıkıntılar yukarı doğru kıvrılır ve yapının içinde daha fazla hava hareketi oluşmasını sağlar. Şu anda mimariye doğrudan uygulaması yaygınlaşmamış ve araştırılma aşamasındadır, ancak yazılım programlarıyla yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar enerji ve konfor şartları açısından başarılıdır (Nasr, 2017). Bu teknoloji, nefes alabilen binalar oluşturan dinamik bir duvar sisteminde ve ayrıca, sıcaklığa tepki verecek ve gölge sağlayacak bir termo bimetel bileşen çekirdeği olan çift camlı pencere sistemleri için de geliştirilmektedir (Resim 4.52). Özellikle klima sistemlerine bağımlı olan yüksek binalarda kullanıldığında bu malzeme elektrik kesintisi durumunda binanın ısı konforunun korunmasını sağlarken, binanın enerji ihtiyacını da azaltabilecektir.



Resim 4.52. Termo bimetel binalarda dinamik duvar sistemi olarak kullanılmasına dair bir ön çalışma (URL 40).

Ayrıca bu malzeme esnek tasarım özellikleri sayesinde farklı form gerekliliklerine de uyum sağlayacak şekilde uygulanabilmektedir. Örneğin sıcaklık değiştikçe küre şeklinde açılan ve kapanan genişleyebilir bir yüzey (Resim 3.53) tasarlamak ve inşa etmek kolay değildir. Bu nedenle ürün sanat, teknoloji, bilim, mühendislik ve mimaride estetiği bir araya getiren çözümler sunmaktadır. Malzeme sisteminin kolayca açılıp kapanarak dinamik özelliklere sahip olması açısından ince ve hafiftir bu nedenle de basınç dayanımı düşüktür.(Nasr, 2017). Termo bimetel malzemeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.25’de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.25).



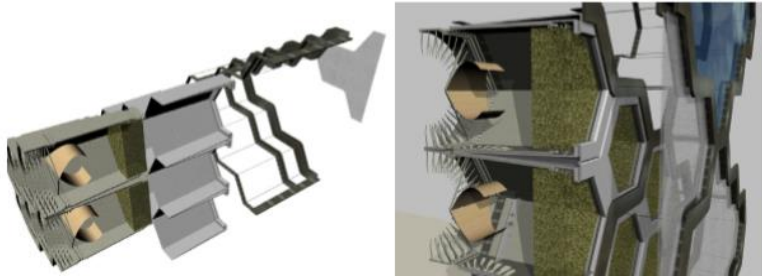
Resim 4.53. Sıcaklık değiştikçe küre şeklinde açılan ve kapanan genişleyebilir termo bimetel yüzey (Nasr, 2017).

Çizelge 4.25. Termo bimetel malzemeler - biyomimetik malzeme örneği

TERMO BİMETAL MALZEMELER	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓		✓	
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	İnsan derisi	Sıcaklık reseptörleri aracılığıyla insan derisi meydana gelen sıcaklık değişikliklerini tespit eder ve kas ve ter bezleri aracılığıyla, yapısını değiştirerek vücut sıcaklığını düzenler.		Hiçbir enerji harcamadan özerk olarak pasif havalandırma ve soğutma sağlayan, tasarımı basit, hafif, maliyeti az, estetik, esnek tasarım özellikleri farklı modüller kurguları bulunan, enerji verimliliği sağlayan, geri dönüştürülebilir UV ışınlarla ve ısıya dayanıklı bir malzeme sistemidir.	

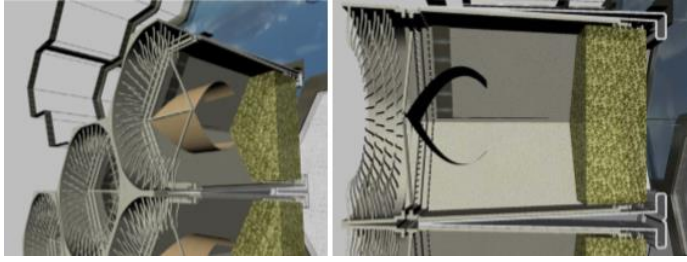
Doğal havalandırma ve soğutma amacıyla tasarlanan başka bir biyomimetik malzeme sistemi ise “stoma tuğlası”dır. Kurak ve kuru iklimlerdeki binalar için tasarlanan bu malzeme sistemi birkaç doğal unsurun ilkelerine dayanarak bina cepheleri için buharlaşmalı bir soğutma sistemi sağlamaktadır. Bu ilkeler; bitki stoması, çam kozalakları, çöl canlılarında gözleri koruyan kirpikler ve insan derisidir.

Stoma tuğlası sistemi, bitkilerde buharlaşma için açıklıkları kontrol eden stoma yapılarından, kozalakların bağıl neme bağlı olarak açılıp kapanması ve malzeme deformasyonundan, kirpiklerin partiküllere karşı koruma işlevinden ve insan derisinin buharlaşma yoluyla evaporatif soğutma özelliklerinin kombinasyonuna dayanmaktadır. Tuğlanın 9’lu ve 3’lü olmak üzere iki çeşidi vardır ve tuğla termoregülasyon için birbirine entegre fonksiyonel dört parçadan oluşmaktadır (Resim 4.54). Tuğla termoregülasyon için fonksiyonel kısım olan gözenekli materyalden, Kabuğun içinden geçen havayı süzmek için kıllı yapılı dış tabakadan, nem değişimine göre açma / kapamayı kontrol etmek için panjur ve en iç katman olan buharlaşma için nemi tutan süngerimsi yapıdan meydana gelmektedir (Badarnah, Farchi Nachman ve Knaack, 2010).



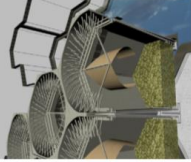
Resim 4.54. Stoma tuğlasının fonksiyonel parçaları (Badarnah, Farchi Nachman ve Knaack, 2010).

Sıcak ve nemli havalarda tuğlada bulunan panjur üzerine gelen nem ile beraber malzeme deforme olur ve açılır böylece temiz ve nemli hava süngerimsi tuğla tabakasından içeri girer (Resim 4.55.). Ayrıca soğuk hava koşullarında bu süngerimsi tabaka ısı yalıtım tabakası olarak görev yapmaktadır (Badarnah, Farchi Nachman ve Knaack, 2010). Stoma tuğlasının biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.26’da tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.26).



Resim 4.55. Çevresel neme göre içeriye hava girmesini sağlayan sistem (Badarnah, Farchi Nachman ve Knaack, 2010).

Çizelge 4.26. Stoma tuğlası - biyomimetik malzeme örneği

STOMA TUĞLASI	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓		✓	
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Bitki stoması Çam kozalağı Kırpikler İnsan cildi	Stoma bitkilerde buharlaşma için açıklıkları kontrol eder, kozalaklar bağıl neme bağlı olarak açılıp kapanır, kırpikler partiküllere karşı koruma sağlar ve insan derisi evaporatif olarak kendini soğutur.		Hiçbir enerji harcamadan özerk olarak pasif havalandırma ve soğutma sağlayan, estetik, esnek tasarım özellikleri, farklı modüler kurguları bulunan, enerji verimliliği sağlayan, bir malzeme sistemidir.	

İncelenen bu malzemelerin, genel olarak enerji verimlilikleri ve çevre duyarlılıkları yanında manuel işletim konusundaki dar sınırları, önemli bir dezavantaj olmaktadır. Bu sistemlerin katılığı nedeniyle, manuel müdahale pratik olarak mümkün değildir. Biyomimetik iklime duyarlı çoğu malzemenin sadece prototip olarak geliştirilmesinin başlıca nedenlerinden biri budur. Çoğu altyapı akıllı malzemelerin, özellikle özel kullanımdaki binaların uygulanması için uygun değildir. Müzeler ve havaalanları gibi kamu binalarında, kullanıcının doğrudan müdahalesi genellikle gerekli olmadığı için buralarda biyomimetik iklime duyarlı malzemelerin kullanımı daha uygundur (Barozzi, 2016).

4.4.6. Kendi kendini onaran biyomimetik malzemeler

Kendi kendini onarabilme ve iyileştirebilme yeteneği, yaşamı sürdürmek ve doğal ortamlarda hayatta kalmak için temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir. Kendi kendine onarım doğada çok yaygındır ve bakteri, siyanobakteriler, protistler, bitkiler, mantarlar ve hayvanlar dahil tüm canlı gruplarında meydana gelmektedir. 3.8 milyar yıllık biyolojik evrim boyunca, canlılar, makromoleküllerden (örn. DNA onarım mekanizmaları) hücre organellerinden, hücrelere, dokulara kadar çeşitli hiyerarşik seviyelerde lezyonları iyileştirme yeteneğini geliştirmiştir. Örneğin canlıların deride yara oluşumu, kemik kırığının onarımı gibi organlardaki dokulardan ve son olarak tüm organların yenilenmesine (örn. yenilenen uzuvlar) kadar çeşitli seviyelerde iyileşme yetenekleri bulunmaktadır.

Teknik malzemelerde kendi kendini iyileştirme reaksiyonları tipik olarak çatlak yüzeylerinde meydana gelen polimerizasyon ve / veya iyonik veya hidrojen bağı oluşumu, çatlağı iyileştirir ve yapısal bütünlüğü yeniden oluşturur. Biyomimetik kendi kendini onaran malzemeler ve sistemler, doğadan ilham alarak oldukça zorlu ortamlarda uyarılara tepki vermeyi sağlar. Biyomimetik yaklaşımlar ile mühendisler, pasif mühendislik malzemelerini yapısal sağlık izlemesi, uyarılara cevap, uyarlanabilir kendi kendini güçlendirme ve kendini iyileştirme gibi aktif özelliklere sahip olacak şekilde geliştirmeye çalışmaktadırlar. Özellikle kendi kendini onarma, ürünün kullanım ömrünü önemli ölçüde uzatacak ve sınırlı erişilebilirliklerinden dolayı değiştirilmesi zor olan parçaların onarımında hem maliyetleri hem de servis sürelerini önemli ölçüde azaltmaya yardımcı olacaktır. Bu özerk kendi kendini onarabilme özelliği, felakete neden olan mekanik arızayı önleyebilir ve güvenliği arttırarak, insan sağlığını ve yaşamını koruyabilir. Bununla birlikte, doğanın kendi kendini iyileştirme mekanizmalarının çoğunun mühendislik uygulamalarında doğrudan taklit edilmesi zordur. Bu yaklaşımların çoğunun gerçekten biyomimetik olmadığı ve biyomimetik gelişmeler için tipik olan bilgi aktarım zincirini sağlamadığı unutulmamalıdır (Barthelat, Chun-Ming ve diğerleri, 2006).

Kendi kendini onaran malzemeler için bilim adamları doğadaki kendi kendini onarma ve savunma mekanizmalarını anlamaya çalışmaktadırlar. Doğada en iyi evrimsel iyileşme ve savunma yöntemlerini gösteren, milyonlarca yıl boyunca optimize edilmiş, bu konuda uzman olmayan kişilerin bu olayları daha derinlemesine anlamalarını sağlamak için sınıflandırılmış bir rehber oluşturmaktır. Yaygın mekanizmalar fauna veya floraya ait

olmalarına göre sınıflandırılarak, daha sonra her bir gruptaki temel işleyiş ilkeleri belirlenmektedir. Bu ilkeler göz önünde bulundurularak, hayvanlar alemindeki dış tehditlere karşı; tersine çevrilebilir kas kontrolü, pıhtılaşma, hücresel tepki, katmanlaşma ve koruyucu yüzeyler üretme gibi yöntemler ile ve florada vasküler ağlar veya kapsüller fonksiyonel kaplamala gibi yöntemler gösterilmektedir.

Hayvanlar yaralanma sonrası sıvıları içeride tutmak için savaşıırken, bazı bitkiler zararlı mikropların girmesini önlemek, avcılarını tahriş etmek veya yaraları daha çabuk iyileşmek için dışı doğru bir malzeme akışı kullanmaktadır. Özel salgı hücrelerine veya vasküler ağlara sahip bitkiler, kesildiğinde kan akışına benzer şekilde içeriklerini serbest bırakırlar. Kısaca bazı bitkiler dokularına yayılmış özel hücreler veya hücre duvarı delindikten sonra içeriklerini serbest bırakmak için dokuları boyunca çalışan ağlar kullanırlar, bu yöntem kendi kendini onarma stratejileri içinde en önemli olandır ve biyomimetik malzemelerde en çok kullanılandır (Cremaldi ve Bhushan, 2018).

Günümüzde biyolojik kendi kendini onarma mekanizmalarının daha iyi anlaşılması, malzemelerin gelişimini ve kendi kendini onarma mekanizmalarının endüstriyel mühendislik malzemelerine entegrasyonunu giderek daha fazla teşvik etmektedir. Plastiklerinin, lastiklerin, kaplamaların, kompozitlerin ve polimer kompozit malzemelerin kendiliğinden sızdırmaz olması ve kendiliğinden iyileşmesi için çeşitli biyomimetik stratejiler kullanılmıştır. Bu stratejiler arasında akıllı cilt teknolojisi, yara iyileştirme mekanizmaları ve moleküler ve supramoleküler yapıların uyarıcı duyarlı düzenlenmesi ile kendi kendine onarım yer almaktadır (Speck, Bauer ve Diğerleri, 2013).

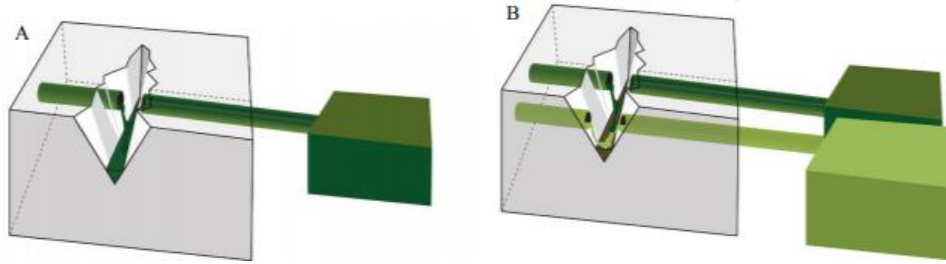
Belirli malzemelerin kullanım ömrü boyunca (özellikle beton gibi yapısal fonksiyonları olanların) onarımı çok pahalı ve yoğun enerji gerektirecek şekilde olabilir. Bu nedenle, kendi kendini onarma özelliklerine sahip, yani iç hasarı onarmak için dış müdahaleye gerek duymayan bu malzemelerin vaadi, hem bilim adamları hem de üreticiler için sürdürülmesi gereken bir amaçtır (URL 41). Kendi kendini onaran materyaller oluşturmadaki amaç, insan etmenini onarım sürecinden çıkarmaktır. Bununla birlikte kendi kendini onarma kapasitesi, malzemeyi onarmak için gerekli olan unsurların, onarımın gerekli olduğu yere verilebilmesi kabiliyeti ile sınırlıdır.

Kendi kendini onaran malzemeler üç farklı şekilde ayrılabilir: kapsül bazlı, vasküler ve içsel. Bazı yönlerden benzer olsa da bu üç yol gerçek hasara yanıt ya da engellenme şekilleri bakımından farklılık göstermektedir. Kapsül bazlı polimerler, sadece yırtıldıklarında iyileştirici ajanları serbest bırakan küçük kapsüller halinde ayrılır. Genellikle materyal hasar görürse, kapsüller de hasar görür ve kapsüller de hasarlı alanı dolduracak şekilde yırtılır. Kapsülün içeriği genelde bir tutkal ve katalizör içerir. Kapsül kırıldığında, tutkal katalizör etkisiyle sertleşir ve sonuçta malzemenin gücü, orijinal malzemenin gücüyle aynı kalır (URL 42). Vasküler kendi kendine iyileşen materyaller, iyileşme ajanını bir, iki veya üç boyutlu olarak birbirine bağlanabilen kılcal tip içi boş kanallar aracılığıyla iletir. Bu kılcal damarlardan biri hasar gördükten sonra, ağ bir dış kaynak veya hasar görmemiş başka bir kanal tarafından doldurulabilir. İçsel olarak kendini iyileştiren malzemeler, tek başına bir iyileştirici maddeye sahip değildir, bunun yerine hasar veya dış kaynaklı bir uyarıcı tarafından tetiklenen gömülü, entegre bir kendi kendine iyileşme işlevine sahiptir (URL 41). Kendi kendini iyileştirme süreci her şeyden önce, malzemenin zarar görmesi ile başlar. Ardından, malzemenin hasarın nerede olduğunu tespit etmesi gerekir ve son adımda onarım gerçekleştirilir: kimyasal reaksiyon malzemeyi oluşturur veya orijinal bağlar iyileşir, böylece malzeme eski orijinal haline döner.

Kendi kendini onaran beton

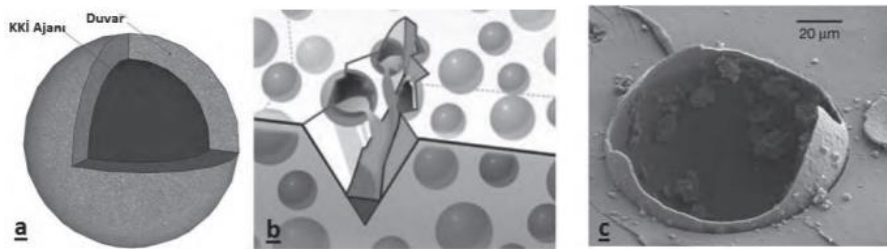
Beton; kendini onarma özelliklerinin güvenlik ve ekonomik faydaları açısından çok fazla getirisi olduğu için ve yapı sektöründe yaygın olarak kullanıldığından dolayı bu konuda geliştirilmesi gereken önemli bir yapı malzemesidir. Yapıda en çok kullanılan yapı malzemesi olan beton gerilme mukavemetinin kısıtlı olmasından dolayı çatlak oluşumuna karşı çok hassastır (Van Tittelboom ve De Belie, 2013). Ayrışma, hatalar, arazi çökmesi, depremler ve insan faaliyetleri gibi doğal süreçler beton yapılarda çatlaklar yaratmaktadır. Beton nem ve sıcaklıktaki değişikliklerle genişler ve daralır ve bu da büzülme ve genleşme eğilimi ile betonda çatlaklara neden olmaktadır. Betondaki çatlaklar donatıya açık bir yol oluşturarak çelik çubukların aşınması gibi dayanıklılık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu çatlaklar, yapının hizmet ömrünü kısaltacağı için onarılmalıdır. Mevcut çatlakların düzeltilmesi uzun yıllardır araştırma konusu olmuştur. Yapısal epoksi, reçineler, epoksi harcı ve diğer sentetik karışımlar gibi çeşitli ürünler dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır, ancak bu yöntemler insan sağlığı için güvenli ve çevre dostu değildir (URL 43). Betonun kendi kendini onarma özelliklerini geliştirmek için malzeme bilimciler,

betona gömülü, iyileştirici ajanlarla dolu vasküler ağlardan ve kapsüllerden oluşan biyomimetik bir yaklaşım benimsemiştir (Şekil 4.17). Bu sistem bazı bitkilerdeki kendi kendini iyileştirme özelliklerini yansıtır. Aynı zamanda kanın pıhtılaşmasına da benzer bir mekanizmadır. Salınan sıvılar hem yapıyı korumak için dolgu maddesi hem de zarar verici, diğer agresif maddelere karşı savunma görevi görür (Van Tittelboom ve De Belie, 2013).



Şekil 4.17. Vasküler tabanlı kendi kendini iyileştirme yaklaşımları; a) Tek kanallı, b) çok kanallı damar sistemi (Van Tittelboom ve De Belie, 2013).

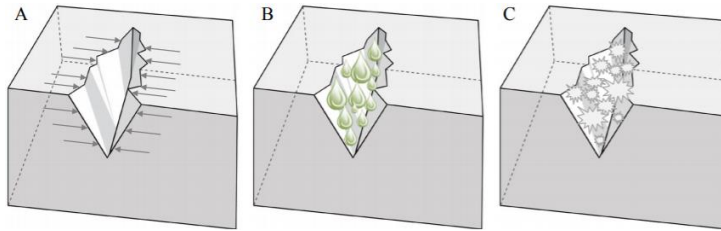
Kapsüllenmiş kimyasalların beton çatlaklara salınması için kapsülleme, algılama ve çalıştırma yöntemleri üzerine bir takım deneyler yapılmıştır. Bir başka çalışma çatlığa salınan hava ile sertleşen polimerlerin, kompozit elastik modülün geri kazanılmasını sağlayabileceğini göstermiştir. Burada kimyasal salınım, betondaki çatlak oluşumunun etkisi ile harekete geçmekte ve polimeri içeren gömülü, kırılğan, içi boş, cam elyaflarının kırılmasına yol açmaktadır. Böylece, onarma eylemi ihtiyaç duyulan yerde gerçekleşmektedir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. a) Mikrokapsülün ve b) kimyasal ajanın çatlığa yayılma mekanizmasının şeması c) Polimer esaslı bir kompozitte kırılmış bir mikrokapsül (Brown, Kessler ve diğerleri, 2003).

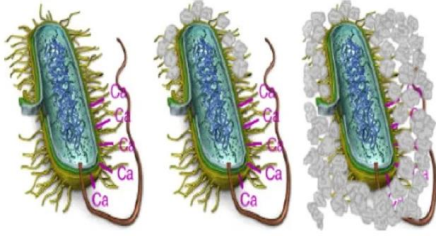
Betonun kendi kendine onarımıyla ilgili en bilindik çalışma ise beton çatlakta kalsit çökmesini sağlamak için betona enjekte edilmiş mikroorganizmaların kullanılmasıdır. Betonda çatlak oluşumundan hemen sonra hasarın olduğu bölgede bir süreç başlamaktadır.

Bu süreçte meydana gelen kimyasal, fiziksel ve mekanik reaksiyonlar belli ölçülerdeki çatlakların kapanmasını sağlayabilmektedir. Bu şekilde gerçekleşen çatlak kapanmalarına betonun otojen onarımı denilmektedir. Pratik bir uygulama için otojen kendi kendine onarım betonun kendi kendini onarımı için en uygulanabilir yöntemdir. Otojen kendi kendine iyileşme, kimyasal kapsülleme veya önerilen diğer yaklaşımlarla karşılaştırıldığında ekonomiktir ve betonun mekanik özellikleri bu yöntemle kolayca kazanılmaktadır. Diğer yapı malzemelerine kıyasla beton, kendine özgü olarak, yaygın şekilde dağılmış ve kendi kendini onarmak amacıyla kullandığı mevcut olan susuz çimento parçacıklarının mikro rezervlerini içerdiği için benzersizdir. Bu susuz çimento parçacıklarının zaman içinde uzun süre dayandığı bilinmektedir (Jonkers, 2007). Esas olarak, malzemede, içeri giren suyla reaksiyona giren gecikmiş veya ikincil hidrasyon geçiren, susuz fazla çimento taneciklerinin varlığı sayesinde beton yapılar genellikle bir miktar kendi kendini onarma kapasitesine sahiptir yani yeni oluşmuş mikro çatlakları iyileştirme veya kapatma yeteneği göstermektedirler (Şekil 4.19). Mikroorganizmaların kullanımının yanısıra bu durum da betonun otojen onarımı olarak değerlendirilir.



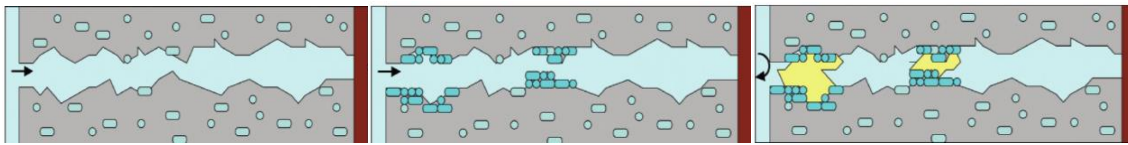
Şekil 4.19. Betonda su temini ile geliştirilmiş hidrasyon ve kristalizasyon: otojen kendi kendine onarım (Van Tittelboom ve De Belie, 2013).

Daha büyük çatlaklar için geliştirilen yöntemlerden biri bakteri yardımıyla iyileşmedir. Vücudun mineralizasyon yoluyla kemiği nasıl iyileştirdiği düşünülerek benzer bir yöntemin betonda kullanıp kullanılamayacağı araştırılmıştır ve betonda bu şekilde bir onarım sağlamak için bakterilerin kullanılmasına karar verilmiştir. Doğal topraklar çok çeşitli patojenik olmayan bakteri habitatıdır ve bunlardan birçoğunun güçlü biyomineral üreticileri olduğu bilinmektedir. Ayrıca alkalik göller ve hatta bazı doğal taşlar ve mineraller, kalsit üreten bakterileri içeren sırasıyla alkalifilik ve endolitik bakteri gruplarını barındırmaktadır (Şekil 4.20) (Clegg 2001). Özellikle son iki grubun bakterileri, betonda kendiliğinden iyileşme ajanı olarak, uygulama için umut verici görünmektedir, çünkü ortaya çıktıkları ortamlar, beton matrisi ile benzerlik göstermektedir (Jonkers ve Schlangen, 2008).



Şekil 4.20. Kendi kendini tamir eden betonda kullanılan bakteriler (URL 42).

Bu bakteriler betonda 200 yıldan fazla bir süre susuz olarak kalabilmektedirler (Jonkers, 2007). Bununla birlikte, beton elemanın zarar görmesi veya çatlaması ve su ile temas etmesiyle, bakteri sporları su ve besin maddeleri ile aktif hale gelmektedirler (Şekil 4.21). Bu aktif bakteriler, betonda bulunan kalsiyum laktatla beslenmeye başlar. Bakteriler oksijen tükettikçe ve çözünür kalsiyum laktat çözünmeyen kireçtaşlarına dönüşür. Kireçtaşı atmosferle temas ettiğinde katılaşır, böylece beton çatlağı kapatılır (Resim 4.56) Bu süreç insan vücudundaki kırılmanın, kemiği yeniden şekillendirmek için mineralize olan osteoblast hücreleri tarafından doğal olarak iyileştirildiği işleminden ilham almıştır. Bu beton aynı zamanda insan vücudu gibi çatlaklarını iyileştirdiği için “canlı beton” olarak da bilinir. Kalsiyum laktatın kireçtaşına bakteriyel dönüşümü sırasında, çeliğin korozyon sürecinde önemli bir element olan oksijeni tüketmesi gibi ek faydaları vardır. Bu bakteri aktivitesi tüm oksijeni tükettiğinden ve de betonun geçirgenliğini azalttığından çelikli betonarme yapıların dayanıklılığını artırır (Snoeck, Tittelboom ve diğerleri, 2012).



Şekil 4.21. Betondaki bakterinin suyla teması ve kireçtaşı oluşturarak çatlak onarma senaryosu (Jonkers, 2007).



Resim 4.56. Kendinden onarımlı beton ve çatlak onarımı (URL 43).

Küçük boyutlu binalarda (konutlar vb.) ve çoğu binada olduğu gibi, beton, özellikle taşıyıcı sistem için (döşeme, kiriş, kolonlar vb.) kullanılan ana yapı malzemelerinden biridir, küçük konut binaları nadiren işlev değiştirdiğinden, ömrünü artırmak pratiktir ve dolayısıyla kendi kendini onaran beton iyi bir seçenek olmaktadır. Orta büyüklükteki yapılar, küçük boyutlu binalar ve daha çok çelik kullanılan gökdelenlerin aksine, genellikle daha fazla beton kullanır. Hem konut hem de kamu binaları gibi orta büyüklükteki binaların da kendi kendini onaran beton kullanımı için uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca özellikle köprüler ve tüm yol inşaatları için kullanımı da uygundur, çünkü bu tür yapılarda ağır yükler nedeniyle sık sık küçük boyutlu çatlaklar oluşur ve sürekli bakım gerektirir. Bu tür betonun kullanılması bakım maliyetini önemli ölçüde azaltacak ve yapının güvenliğini artıracaktır. Bu da inşaatlardan kaçınarak CO₂ emisyonunu azaltmada olumlu bir etkiye sahiptir.

Bakteri bazlı kendi kendini onaran betonun avantajları:

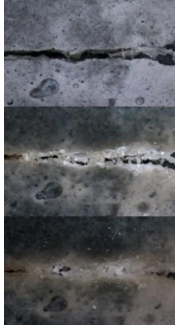
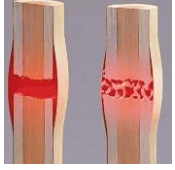
- Herhangi bir dış müdahale olmadan kendi kendini onarabilir.
- Normal beton ile karşılaştırıldığında daha iyi basınç ve eğilme dayanımı vardır.
- Donma - çözünme gerilimlerine karşı iyi bir dirence sahiptir.
- Bakım onarım gerekliliklerini ortadan kaldırır ve yapı güvenliğini artırır.
- Beton geçirgenliği azalır.
- Çeliğin korozyonunu azaltır.
- Betonda kullanılan bakteriler insan yaşamına zararsızdır ve bu nedenle etkili bir şekilde kullanılabilir.
- İnşaat faaliyetlerini azaltabileceği için CO₂ emisyonunu da azaltarak çevre üzerindeki olumsuz etkiyi azaltır.

Dezavantajları:

- Kendiliğinden iyileşen beton maliyeti normal betonun göre neredeyse iki katıdır.
- Bakteriler farklı çevresel koşullardan etkilenebilir.
- Betona karışan kil paletleri beton hacminin neredeyse % 20' sini kaplar ve bu, betonda bir kesme bölgesi veya fay bölgesi oluşturabilir (URL 41).

Kendi kendini onaran betona ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.27’de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. Kendi kendini onaran beton - biyomimetik malzeme örneği

KENDİNİ ONARAN BETON	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓		✓	
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	İnsan kemikleri	Vücut mineralizasyon yoluyla kemiği nasıl iyileştirir.		Kendi kendini onaran, basınç ve eğilme dayanımı yüksek, donma çözünmeye karşı dirençli, bakım onarım maliyetini ortadan kaldıran, korozyonu önleyen, yapı güvenliğini arttıran, geçirgenliği azaltarak yalıtım sağlayan, insan sağlığına zararsız, CO ₂ emisyonunu da azaltarak çevre üzerindeki olumsuz etkiyi azaltan ancak maliyeti yüksek bir malzemedir.	

Kendi kendine tamamlanan tuğla

Doğanın, deniz kabukları ve mercan gibi dayanıklı yapılarına bakıldığında, mevcut insan yapımı malzemelere sürdürülebilir bir alternatif sunan dayanıklı malzemelerin geliştirilmesinde potansiyeli olduğu anlaşılmıştır. Tam olarak kendi kendini onarma sayılmasa da “biomason tuğla”, olarak adlandırılan tuğla, mercan resiflerinin oluşma şekline benzer şekilde, biyolojik oluşumları “büyütmek” için doğal mikroorganizmaları kullanır ve kendi kendine tamamlanır. Biomason tuğlanın tasarımcısı olan mimar, mercanların, suya, basınca ve aşınmaya dayanabilecek yapısal oluşumları nasıl yapabildiğine bakmış ve nasıl büyüebildiklerini araştırmaya başlayarak biyomimetik yaklaşımla çalışmalarını geliştirmiştir. Yıllarca süren denemelerden sonra, mercan resiflerinin biyomineralizasyonundan ilham alarak, 2012’de kullanışlı bir tuğla olan biomasonu geliştirilmiştir.

Biomason tuğlanın üretimi kum, bakteri eklenen karışımın kalıplara konulmasıyla başlar (Resim 4.57). Bakteriler daha sonra kalsiyum ve diğer gerekli besinlerle beslenir; her bir bakteri kaplı kum tanesi bir çekirdek gibi davranır ve etraflarında kalsiyum karbonat kristalleri oluşmaya başlar ve böylece kum tanelerinin tamamını bir araya getirilir. Bir sulama sistemi tuğlaları besleyici açıdan zengin suyla birkaç gün boyunca besler ve kendi kendine tamamlanma işlemini hızlandırır. Kristaller, kum taneleri arasındaki boşlukları doldurarak büyür ve üç ile beş gün sonra, tuğlalar kullanıma hazır hale gelir. Üretim işleminin ürün kadar “yeşil” olmasını sağlamak için, su bir sonraki parti için tekrar kullanılır (URL 44).

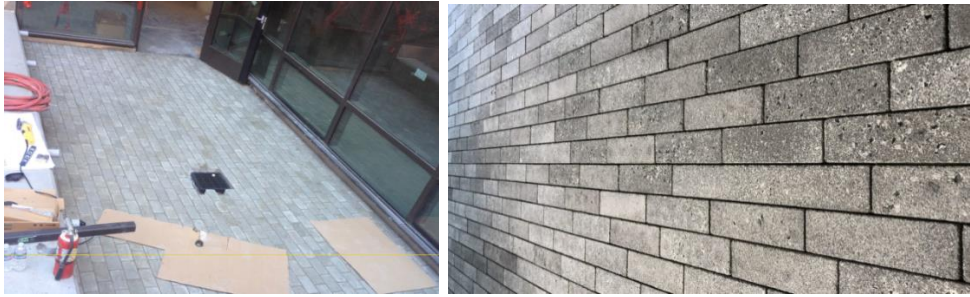


Resim 4.57. Kum, bakteri ve besin maddeleri ile biomason tuğla kendi kendine tamamlanması (URL 44).

Her yıl dünya çapında yaklaşık 1.5 trilyon tuğla üretilmektedir. Geleneksel kil tuğla üretimi, fosil yakıtları tüketen bir ateşleme prosesini kullanır ve her yıl yaklaşık 800 milyon ton küresel CO₂ emisyonundan sorumludur. Biomason tuğlaların kullanılması, ateşleme işlemine duyulan ihtiyacı ortadan kaldırır ve böylece tuğla üretiminin karbon ayakizini büyük ölçüde azaltır (URL 45). Bu tuğlalar, geleneksel tuğlanın karbon ayakizine sahip değildir, çünkü oda sıcaklığında üretilirler. Bu nedenle, yakıt olmadan üretim maliyetlerini düşürülür. Biomason tuğlalar, yerel olarak mevcut malzemeler kullanılarak yerinde üretilebilir, ayrıca geri dönüştürülebilir niteliktedirler, bu da kaynak ve enerji verimliliğini olumlu yönde etkiler. Bu tuğlalar en az geleneksel tuğlalar kadar güçlü, dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Bu tuğlalar çeşitli boyut renk ve formda üretilerek (Resim 4.58) kullanımda esneklik sağlarken estetik görünüme de katkı sağlar. Ayrıca geçirgenlikleri az olduğu için yalıtıma katkıda bulunurlar. Biomason tuğlalar zemin döşemesi ve duvarlar gibi çeşitli bina bileşeninde kullanılabilir (Resim 4.59) Kendi kendine tamamlanan tuğlaya ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 2.28’de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.28).



Resim 4.58. BioMason'un tuğlaları çeşitli şekil ve tarzlarda oluşturulabilir (URL 45).



Resim 4.59. San Francisco’da bir avluda biomason tuğla montajı ve tuğlalardan oluşan bir duvar örneği (URL 42).

Çizelge 4.28. Biomason tuğla - biyomimetik malzeme örneği

BİOMASON TUĞLA	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓		✓	
	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
 	Mercan resifleri	Mercan resifleri biyomineralizasyon yetenekleri sayesinde oldukça dayanıklı yapılar oluşturur.		Kendi kendine tamamlanan, üretim verimliliği yüksek, kaynak ve enerji verimliliğine sahip, çevre dostu, CO ₂ emisyonu düşük, ayrıca geri dönüştürülebilir, mekanik dayanımı yüksek, uzun ömürlü, esnek tasarıma olanak veren estetik görünümlü, geçirgenliği az bir malzemedir.	

Kendi kendine tamamlanan beton

Biomason tuğla gibi mercan resiflerinden yola çıkarak geliştirilmiş bir diğer malzeme de atmosferdeki CO₂'i yakalayan betondur. Beton, yapıları çevrenin temelini oluşturur. Çok yönlülüğü, dayanıklılığı ve satın alınabilirliği, onu dünyadaki en yaygın kullanılan yapı malzemesi haline getirmiştir. Beton sayısız bina, köprü, gökdelen ve milyonlarca karayolunun temeli ve gezegendeki en yaygın kullanılan insan yapımı maddedir.

Beton için kullanılan çimento, taş ocağında kireçtaşı ile üretilir ve daha sonra yüksek sıcaklıklara ısıtılır, bu da CO₂ emisyonunu aşırı derecede artırır. Yapılan bazı hesaplara göre, yalnızca beton, dünyadaki CO₂ emisyonlarının % 4-8' inden sorumludur ve bu durum daha da kötüye gitmektedir (URL 45). Son yıllarda, sera gazı emisyonlarına aşırı derecede katkıda bulunan karbondioksiti (CO₂) tutmanın bir aracı olarak beton üretimini kullanma konusu gündeme gelmiş ve bu konuda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda odak noktasında mercanlar bulunmaktadır. Mercanlar deniz suyunda çözünmüş karbonu çıkarır ve kalsiyum karbonat iskeletlerine dönüştürür. Bu iskeletler zaman içinde büyük ölçüde birikerek yaşam alanları oluşturur (URL 46).

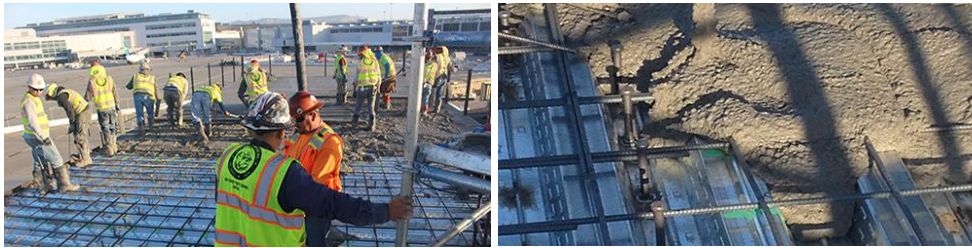
Kendi kendine tamamlanan betonun tasarımında mercanların biyolojik yapılarını oluşturmak için bu kadar üretken bir şekilde nasıl mineralleştirilebilecekleri taklit edilmiştir. Betonun üretimi için CO₂ ile su arasında doğal etkileşime ihtiyaç vardır. Bu etkileşimde CO₂ suda çözünür ve suyunu soğukluğu arttıkça çözünen CO₂ miktarı da artar. Bu, karbonat dediğimiz başka bir molekül CO₃ 'ü oluşturur. CO₂ konsantrasyonu arttıkça, daha fazla karbonat oluşur. Su, bir santralden çıkan baca gazı gibi, çok yüksek konsantrasyonlu bir gazla etkileşime sokulduğunda, yoğun miktarda CO₂ çözülerek karbonat üretimi artırılır. Böylece CO₂ yakalama işlemi ile endüstriyel baca emisyonlarındaki karbonu beton bileşenlerine dönüştüren bir işlem gerçekleşir. Proses karbonat mineralizasyonu olarak adlandırılır ve baca gazlarının pH ayarlı deniz suyu veya alkali tuzlu su ile çalıştırılmasını içerir. Suyun kimyasal nitelikleri, CO₂ 'yi kalsiyum ve/veya magnezyum karbonata dönüştürür, bu daha sonra sudan çökeltir ve bacadan salınan ısı kullanılarak kurutulur. Böylece kurutma için gerekli ısının eldesi için ekstra bir enerji harcanmaz, bacadan çıkan zararlı gazların karbon emisyonu azaltılır. Elde edilen katılaşmış mineraller, betondaki üç bileşenden ikisi (üçüncüsü su) çimento veya agrega olarak kullanılabilir. Agrega, kum ebatından çakıl ebatlarına kadar farklı ebatlarda üretilebilir (Resim 4.60). Karşılaştırma

yapıldığında güç, performans ve maliyet açısından, bu agregaya standart taş ocağı agregalarına eşdeğerdir (URL 47).



Resim 4.60. CO₂'den yapılmış çeşitli boyutlardaki agregaya, çakıl ve kum formları (URL 47).

Sürecin gazlardan CO₂'i % 70-90 oranında yakalayıp çıkardığı belirlenmiştir. Süreç sonunda oluşan her bir ton sentetik kireçtaşı, 440 kilogram karbondioksit hapseder ve atmosfere tekrar ulaşmasını önler. Bina yıkılsa bile, karbon hala kireçtaşında kalır. Tekniğin diğer büyük yararı, kireçtaşı madenciliğini denklemin dışına çıkarmasıdır. Betonda kullanılan kayaların yaklaşık yüzde 70'i kireçtaşıdır. Her yıl yaklaşık 50 milyar ton kaya madenciliği yapılmakta ve beton, asfalt ve yol tabanında kullanılmak üzere taşınmakta ve bu miktar yılda yaklaşık % 8 oranında büyümektedir. Bu biyomimetik yöntem sayesinde nakliye masraflarından ve karbon ayakizinden tasarruf sağlanmaktadır. Bu, araştırmacılara göre tüm beton üretim sürecini karbon negatif yapmaktadır. Karbondioksiti yakalayan bu biyomimetik beton San Francisco Uluslararası Havaalanının geçici biniş alanında kullanılmıştır (Resim 4.61.). Beton testleri, bu betonunun gerekli tüm özellikleri karşıladığını göstermiştir.



Resim 4.61. San Francisco Uluslararası Havaalanının geçici biniş alanına biyomimetik beton uygulaması (URL 47).

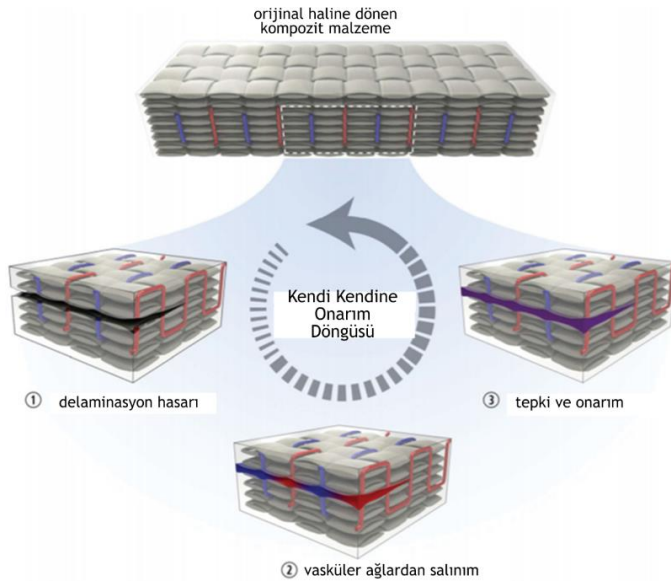
Kendi kendine tamamlanan tuğlaya ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.29'da tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29. Kendi kendine tamamlanan beton - biyomimetik malzeme örneği

KENDİ KENDİNE TAMAMLANAN BETON	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
		✓		✓	
		İlham alınan organizma		Organizmanın İlham Alınan Özellikleri	
	Mercan resifleri	Mercan resifleri biyomineralizasyon yetenekleri sayesinde oldukça dayanıklı yapılar oluşturur.		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
				Kendi kendine tamamlanan, üretim verimliliği yüksek, kaynak ve enerji verimliliğine sahip, çevre dostu, CO ₂ emisyonu düşük, uzun ömürlü, çok amaçlı kullanıma uygun, mekanik dayanımı yüksek, geçirgenliği az, karbon negatif bir malzemedir.	

Kendi kendini onaran kompozit malzemeler

Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerde en yaygın görülen hasar tipi delaminasyondur (kompoziti oluşturan tabakaların birbirinden ayrılması). Kompozitlerde iç delaminasyon hasarının tespiti sadece zor değildir aynı zamanda geleneksel yöntemlerle tamir edilmesi neredeyse imkansızdır. Küçük bir iç çatlak hızla geri dönüşümsüz hasara yol açabileceğinden, bu zayıflık; malzemelerin yaygın kullanımını sınırlayan önemli faktördür. Araştırmacılar yeni bir kendi kendini onarma sistemi geliştirerek, fiber takviyeli bir kompozitin içinden geçen, kimyasal maddelerle dolu mikro kanalların 3D vasküler ağlarını yaratmışlardır (Şekil 4.22). Hasar meydana geldiğinde, malzemenin içindeki ağlar parçalanır ve onarıcı kimyasalların, materyali özerk bir şekilde iyileştiren çoklu döngülerde karışmasını ve polimerleşmesini sağlar. Onarım ajanının bu salımı, biyolojik organizmalardaki (örneğin insan trombozu) kanama mekanizmasını taklit etmektedir. Malzemenin üretim maliyetine karşın, vasküler yapıların sadece iyileştirici ajanların etkili ve tekrarlı bir şekilde salınmasına değil, aynı zamanda delaminasyon başlangıcına ve yayılımına karşı da daha fazla direnç sağladıkları böylece malzemenin kullanım ömrünü uzattıkları tespit edilmiştir (Patrick, Hart ve diğerleri, 2014). Kendi kendini onaran kompozite ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.30’da tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.30).



Şekil 4.22. Kendi kendini onaran kompozitinin hasar karşısındaki davranış döngüsü (Patrick, Hart ve diğerleri, 2014).

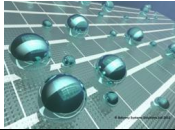
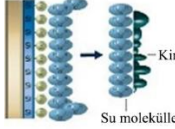
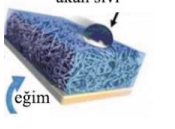
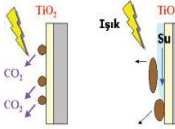
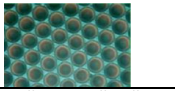
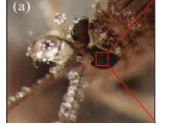
Çizelge 4.30. Kendi kendini onaran kompozitler - biyomimetik malzeme örneği

KENDİ KENDİNİ ONARAN KOMPOZİT	BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI				
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		
	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
	✓			✓	
 	İlham alınan doğal mekanizma	Doğal mekanizmanın İlham Alınan Özellikleri		Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri	
	Canlılardaki damarlar ve kanama mekanizması	Yaralanma iç dokulara zarar verdiğinde iyileştirici sıvılar salgılanır, kan pıhtılaşır.		Kendi kendini onaran, mekanik dayanımı yüksek, uzun ömürlü, üretim maliyeti yüksek ancak bakım maliyeti düşük, enerji tüketimini azaltan çevreye olumlu etkisi olan bir malzemedir.	

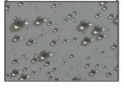
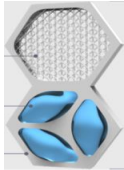
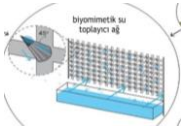
Biyomimetik tasarım yaklaşımı ile yapı malzemesi geliştirilmesi malzemelere; kendi kendini temizleme, sis önleme, buzlanma önleme, kendi kendini onarma, pasif iklimlendirme sağlama, sisten su toplama gibi üstün çok işlevli özellikler sağladığı görülmektedir. Bunların yanında uzun ömürlülük, mimari estetik, tasarımda esneklik, hafiflik, iyileştirilmiş kullanıcı koşulları, su verimliliği, düşük emisyon, enerji verimliliği,

olumlu çevresel etki, dayanıklılık, ekonomiklik gibi yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin hepsinde göremediğimiz malzeme özelliklerini de neden olmuştur. Biyomimetik yapı malzemesi örneklerinde üstün malzeme özellikleri farklı unsurlarla sağlanmıştır. Bu biyomimetik çeşitlilik, malzeme performansını arttırarak malzemeye farklı organizmalar ve doğal reaksiyonlar yoluyla farklı çözümler getirmektedir, bu doğal unsurlar ve çözümler çizelge halinde özetlenmiştir (Çizelge 4.31).

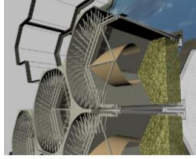
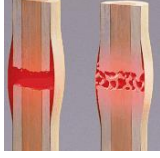
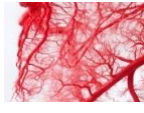
Çizelge 4.31. Biyomimetik malzemeler ve kazanılan yapı malzemesi özellikleri

Biyomimetik malzeme	İlham alınan organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri	Kazanılan Yapı Malzemesi Özellikleri
LOTUS ETKİLİ BOYALAR 	Lotus yaprakları 	Yaprığın yüzeyinde bulunan süperhidrofobik yapılar yaprak yüzeyi ve su damlacıkları arasında düşük temas sağlar ve yaprak kir tutmaz.	Malzeme kendi kendini temizler, uzun ömürlü ve estetik görünümündedir, biyokirleticilere, yangına karşı dayanıklıdır. Bakım onarım maliyeti düşüktür, çevre kirliliğini azaltır. Kimyasal temizleyici kullanımını ve enerji kaybını azaltır.
LOTUS ETKİLİ KAPLAMALAR 	Lotus yaprakları 	Yaprığın yüzeyinde bulunan süperhidrofobik yapılar sayesinde yaprak yüzeyi her zaman temiz kalır.	Malzeme kendi kendini temizler, serttir, aşınmalara, çizilmelere dayanıklıdır. Saydamlığını korur, 3-10 yıl ömürlüdür, kimyasal temizleyici kullanımını azaltır, PV panel üzerine kaplanarak enerji verimliliğini artırır.
X-TERİÖR KAPLAMA 	Salyangoz kabuğu 	Salyangoz kabuğunun yüksek düzenliliğe sahip pürüzlü bir yüzey yapısı vardır. Bu yapı süperhidrofobik ve süperolefobik özellik gösterir böylece kabuk her zaman temiz kalır.	Kendi kendini temizler, hafiftir, işçiliği, uygulaması kolay ve ucuzdur, gün ışığı ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmez, su yalıtımı sağlar, buz tutmaz, yanmaz. Estetik görünüm sağlar. Üretiminde düşük karbon salınımı bulunur, enerji ve ekonomik anlamda tasarruf sağlar ve geri dönüştürülebilir.
STOCOLOR DRYONİC 	Namib çöl böceği 	Böcek; kabuğundaki hidrofilik ve hidrofobik bölgeler yardımıyla sis suyunu toplar ve sisi hızlı bir şekilde sıvıya dönüştürüp akıtır.	Boya kendi kendini temizler, mikroorganizma oluşumunu engeller, çeşitli malzemelere uygulanabilir, renk çeşitliliği bulunur, solmaz, su yalıtımı sağlar, güneşten ısınmayı azaltır, aşınma ve kimyasal dayanım ile mekanik stabilitesi yüksektir, yangında alevlenmesi azdır, estetikdir, uzun ömürlüdür, bakım masrafı azdır.
SLIPS yüzeye karışmadan akan sıvı 	Sürahi bitkisi 	Bitki üzerine gelen böcek gibi küçük canlıları kaygan yüzeyi sayesinde avlar.	Kendi kendini temizleyen, buz iticiliğine, basınç stabilitesine sahip, gelişmiş optik saydamlığı olan, kendini iyileştiren, basınç kararlılığı ve optik şeffaflığı olan, üretimi basit ve ucuz, uygulaması kolay bir malzemedir. Sıcaklık stabilitesi, UV dayanımı, aşınma ve kimyasal direnci vardır, enerji kullanımını azaltır.
FOTOKATALİTİK KAPLAMA 	Fotosentez reaksiyonu 	Fotosentez sayesinde güneş ışığı ile suyun hidrojen ve oksijene ayrışması sağlanır.	Kendi kendini temizleyen, buğu önleyici, sağlığa zararsız, uzun ömürlü, üretimi ucuz, kimyasal kararlılığı yüksek, yangın geciktirici özellikte, antibakteriyel, kötü kokuları ayrıştıran, dayanıklı, bakım ve yenileme masraflarını azaltan, PV panel, cam, seramik gibi yüzeylerde kullanılabilen, enerji kaybını azaltan bir malzemedir.
SİVRİSİNEK İLHAMLI KAPLAMA 	Sivrisinek gözü 	Sivrisinekler, loş ve sulu ortamlarında bile mükemmel görüşe sahiptir. Bileşik gözleri buğulanmayı önler.	Kuru tip buğu önleyici malzemelerin önü açılmıştır. Ancak üretimi zor ve pahalıdır, büyük ölçekte uygulaması sınırlıdır, opağa yakındır, optik özellikler açısından yeterli değildir.
GÜVE GÖZÜ İLHAMLI CAM FİLMİ 	Güve gözü 	Güve bileşik gözleri buğulanmayı ve yansımaları önler net görüş sağlar.	Kendi kendilerini temizler, buğulanma ve yansıma önleyici özellikleri ile kullanıcı güvenliği sağlarlar, PV panellerde enerji verimliliğini artırırlar.

Çizelge 4.31. (devam) Biyomimetik malzemeler ve kazanılan yapı malzemesi özellikleri

SİNEK GÖZÜ İLHAMLI MALZEME 	Yeşil şişe sineği gözü 	Sineğin gözlerinin aşırı nemli, tozlu ortamlarda dahi işlevsel ve kirlenmemiş kalması ve süperhidrofobikliği	Süperhidrofobik, kuru stil buğu önleyici, çevre koşullarına dayanıklı, ucuz, donma önleyici, korozyon önleyici, şeffaf ve kendi kendini temizleyen bir malzemedir.
BUZLANMAYI ÖNLEYEN SHS 	Lotus yaprakları 	Yaprığın su ile etkileşimi zayıftır, damlacıkları uzaklaştırır.	Buzlanmayı önler, güvenliği artırır, kendi kendini temizler, su geçirmez, çeşitli malzemelerle uyumlu çalışır ancak zayıf mekanik dayanıma sahiptir.
BUZLANMA ÖNLEYEN KAPLAMA 	Zehirli ok kurbağası 	Kurbağanın derisinde uyarana cevap olarak sıvı salgılayan özel bezler bulunur.	Buz yapışmasını etkin bir şekilde önler, buzı eriterek uzaklaştırır enerji korunumu sağlar konfor ve güvenlik koşullarının yerine getirir, korozyonu önler, ekonomiktir, üretimi verimlidir.
SU TOPLAYAN MESH MALZEME 	Namib çöl böceği 	Böcek; kabuğundaki hidrofilik ve hidrofobik bölgeler yardımıyla sis suyunu toplar ve sisi hızlı bir şekilde sıvıya dönüştürüp akıtır.	Hidrofilik-hidrofobik yüzey özelliklerine sahip sisten su toplayan, insan sağlığına uygun, korozyona, mekanik darbelere dayanıklı, UV dirençli, üretimi ucuz, uygulaması kolay, kaynak ve enerji verimliliği sağlayan bir malzemedir.
ÖRÜMCEK AĞI İLHAMLI SU TOPLAYAN MALZEME 	Örümcek ağı 	Örümcek ağının higroskopik yapısından, liflerinin hidrofilikliği ve sisten su damlalarını toplama özelliğinden ilham alınmıştır.	Sisten su damlacıklarını toplayan, kendi kendini temizleyen, su, enerji ve kaynak verimliliği olan, üretimi kolay ve ucuz, uygulama ölçeği esnek, mekanik dayanımı yüksek, UV direnci olan, yangına karşı dayanıklı, uzun ömürlü, geri dönüştürülebilir, insan sağlığına zararsız, bakım maliyeti düşük bir malzemedir.
AQUWEB 	Örümcek ağı 	Örümcek ağlarının havadan suyu toplaması, buz bitkilerinin suyu depolaması, mantarların suyu dağıtma mekanizması ve arıların yuvalarının dayanıklılığı	Sisten su damlacıklarını toplayan, kendi kendini temizleyen, modüler, sağlam, dayanıklı, kullanımı ve uygulaması kolay, uzun ömürlü, geri dönüştürülebilir, sağlığa zararsız, bakım maliyeti düşük bir malzemedir.
SRS 	Sürahi bitkisi 	Sürahi bitkisinin kaygan kenarlı hidrofilik yüzeyli oluşu ve pirinç yapraklarının oluklu yapısında suyun kılcal hareket etmesi	Damlacık yoğunlaşmasını üst düzeye çıkararak sisten su damlacıklarını etkili biçimde toplayan, kendi kendini temizleyen, enerji, kaynak ve su verimliliği sağlayan, insan sağlığına zararsız bir yüzeydir.
BİYOMİMETİK SU TOPLAMA AĞLARI 	Namib çöl böceği 	Böceklerinin yüzey yapısının su toplama özelliği, kaktüslerin dikenleri ile yüzey alanlarının su toplamak için arttırmaları, çöl çayırının uzun oluklar ile suyu yönlendirmesi	Sisten su damlacıklarını toplayan, kendi kendini temizleyen, enerji, kaynak ve su verimliliği sağlayan, insan sağlığına zararsız, modüler, üretimi uygulaması ucuz ancak konik yüzeylerinden dolayı mekanik dayanımları az malzeme sistemleridir.

Çizelge 4.31. (devam) Biyomimetik malzemeler ve kazanılan yapı malzemesi özellikleri

ASİMETRİK TÜMSEKLİ SU TOPLAMA YÜZEYİ 	Sûrahi bitkisi 	Böceğin engebeli yüzey yapısı yoğunlaşmayı artırır, kaktüsün yoğunlaşma yüzeyini arttıran eğimli dikenleri bulunur ve sûrahi bitkisinin damlacıkları hızla uzaklaştıran kaygan yüzeyi vardır.	Sisten su damlacıklarını verimli şekilde toplayan, kendi kendini temizleyen, enerji, kaynak ve su verimliliği sağlayan, insan sağlığına zararsız, yüksek sıcaklara ve korozyona dayanıklı, üretimi kolay geri dönüştürülebilir nitelikte bir malzemedir.
HİGROMORFİK MALZEMELER 	Ladin Kozalağı 	Kozalaklar havadaki bağıl neme göre açılıp kapanmaktadır.	Enerji harcamadan özerk olarak havalandırma ve soğutma sağlayan, tasarımı basit, maliyeti az, estetik, enerji verimliliği sağlayan, geri dönüştürülebilir doğal malzeme kullanılan, hafif bir malzeme sistemidir.
TERMO BİMETALLER 	İnsan derisi 	İnsan derisi kas ve ter bezleri aracılığıyla, yapısını değiştirerek vücut sıcaklığını düzenler.	Enerji harcamadan özerk olarak havalandırma ve soğutma sağlayan, tasarımı basit, hafif, maliyeti az, estetik, esnek tasarım özelliği, enerji verimliliği olan geri dönüştürülebilir UV ışınlarına ve ısıya dayanıklı bir malzeme sistemidir.
STOMA TUĞLASI 	Bitki stoması 	Stoma buharlaşma için açıklıkları kontrol eder, kozalaklar bağıl neme bağlı olarak açılıp kapanır, kirpikler koruma sağlar ve insan derisi evaporatif olarak kendini soğutur.	Hiçbir enerji harcamadan özerk olarak pasif havalandırma ve soğutma sağlayan, estetik, esnek tasarım özellikleri, farklı modüler kurguları bulunan, enerji verimliliği sağlayan, bir malzeme sistemidir.
KENDİNİ ONARAN BETON 	İnsan kemiği 	Vücut mineralizasyon yoluyla kemiği nasıl iyileştirir.	Kendi kendini onaran, basınç dayanımı yüksek, donma çözünmeye karşı dirençli, bakım onarım maliyetini ortadan kaldıran, korozyonu önleyen, yapı güvenliğini arttıran, yalıtım sağlayan, sağlığa zararsız, CO ₂ emisyonunu da azaltan ancak maliyeti yüksek bir malzemedir.
BİOMASON TUĞLA 	Mercan resifi 	Mercan resifleri biyomineralizasyon yetenekleri sayesinde oldukça dayanıklı yapılar oluşturur.	Kendiliğinden tamamlanan, üretim, kaynak ve enerji verimliliğine sahip, çevre dostu, CO ₂ emisyonu düşük, geri dönüştürülebilir, mekanik dayanımı yüksek, uzun ömürlü, esnek tasarıma olanak veren estetik görünümlü, geçirgenliği az bir malzemedir.
KENDİ KENDİNE TAMAMLANAN BETON 	Mercan resifi 	Mercan resifleri biyomineralizasyon yetenekleri sayesinde oldukça dayanıklı yapılar oluşturur.	Kendi kendine tamamlanan, üretim, kaynak ve enerji verimliliğine sahip, çevre dostu, CO ₂ emisyonu düşük, uzun ömürlü, mekanik dayanımı yüksek, geçirgenliği az, karbon negatif bir malzemedir.
KENDİ KENDİNİ ONARAN KOMPOZİT 	Canlılardaki kanama mekanizması 	Yaralanma iç dokulara zarar verdiğinde iyileştirici sıvılar salgılanır, kan pıhtılaşır.	Kendi kendini onaran, mekanik dayanımı yüksek, uzun ömürlü, üretim maliyeti yüksek ancak bakım maliyeti düşük, enerji tüketimini azaltan çevreye olumlu etkisi olan bir malzemedir.

Oluşturulan çizelge (Çizelge 4.3) kapsamında çalışmanın ikinci bölümünde incelenmiş olan geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan modern ve geleneksel yapı malzemelerinden ahşap, seramik, cam, metal, doğal taşlar, beton, tuğla, boyalar ve polimerlerde görülen olumsuz ve zayıf yönlerin biyomimetik yaklaşımla geliştirilen yapı malzemeleri tarafından giderildiği, azaltıldığı, iyileştirildiği de görülmüştür. Bunun yanında ahşapta görülen su ve neme bağlı şekil ve boyut değiştirme gibi malzemenin olumsuz sayılabilecek kendine özgü özelliklerinin biyomimetik yaklaşımla ele alınıp işlevsel hale dönüştürüldüğü, metal ve polimer esaslı malzemelere su toplama özelliği, betona ve yapısal bütünlük sorunlarıyla karşı karşıya kalan tabakalı kompozit malzemelere kendi kendini onarma gibi yenilikçi özelliklerin de eklendiği böylece yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerine biyomimetik yaklaşımlarla çözümler getirilerek olumsuz özelliklerinin azaltıldığı anlaşılmıştır.

4.5. Biyomimetik Yapı Malzemelerinin Kullanım Ölçütlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, doğa öykünmesi için uygulanan bazı mevcut biyomimetik tasarım stratejileri, biyomimetik malzemelerin tasarım kültürüne katkısını anlamak amacıyla sunulmuştur. Vaka çalışmaları, gelecek tahminlerinin oluşturulmasını kolaylaştırabilecek, yeni olası teknik çözümler için farklı perspektifler açabilecek ve doğanın çevresel koşullara adaptasyon potansiyelini gösterebilecek, kullanıcı dostu yöntemler sağlayabilmek amacıyla, mimaride biyomimetik yaklaşımın yapı malzemelerindeki uygulamalarının çeşitliliğini göstermektedir. Bu bağlamda incelenen vaka çalışmalarının, günümüzde yapı malzemelerinden beklenen performans özellikleri ile değerlendirilmesi bahsedilen hedeflere yakınlığı gösterecektir, bunun için de çalışmanın ikinci bölümünden gelen günümüz yapı malzemelerin kullanım kriterleri kapsamında biyomimetik yapı malzemeleri için kullanım ölçütleri belirlenerek tablo (Çizelge 4.32) haline getirilmiştir.

Çizelge 4.32. Yapı malzemesi kullanımındaki ana parametreler ve biyomimetik yapı malzemelerinin kullanım ölçütleri

Yapı malzemesi kullanımında ana parametreler	Biyomimetik Yapı malzemelerinin kullanım ölçütleri
Ekonomik özellikler	- Maliyet (başlangıç maliyeti, bakım onarım maliyeti, amorti edilebilirlik) - Marketteki ulaşılabilirlik - Üretim verimliliği
Teknik özellikler	- Mekanik direnç - Hafiflik - Dayanıklılık (yangın, su ve nem, ısı, don, korozyon, darbe, kimyasal ürünlere vb.) - Kendi kendini temizleme - Kendi kendini onarma - Su ve sis toplama - Sis ve buğu önleme - Buzlanma önleme - Pasif iklimlendirme sağlama - Uygun boyutlandırma ve esnek tasarım sağlama - Uzun ömürlülük - Olumlu optik özellik - Olumlu termal özellik özel performans özellikleri
Sosyal özellikler	- Mimari estetik - Kullanıcı sağlığına ve güvenliğini sağlama - Konfor şartlarını sağlama
Arz talep durumu	- Bilinirlik ve geçerlilik
Çevresel etki özellikleri	- Düşük emisyon - Enerji ve kaynak verimliliği - Geri dönüşebilirlik

Çizelgede görüldüğü üzere biyomimetik yapı malzemelerinin özel performans özellikleri ile beraber, günümüz yapı malzemelerinin kullanım ölçütleri güncellenmiştir. Ayrıca bu ölçütler incelenen biyomimetik yapı malzemesi örneklerinin değerlendirme parametreleri olarak da kullanılacaktır.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Tez kapsamında incelenen çalışmalarda doğadaki canlıların, dışarıdan yardım olmadan yaşamlarını sürdürebildikleri ve problem çözüm yeteneklerinin insanları doğayı araştırıp ondan yararlanmaya yönelttiği görülmektedir. Bu doğrultuda mimarlıkta; form, strüktür, cephe sistemleri, işlev ve malzeme alanlarında kullanıldığı, doğanın düzenini bozmadan uyum içerisinde ve ona zarar vermeden bina tasarlamak için mimaride biyomimetik tasarım yaklaşımının etkili bir yol olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmada mimarlıkta yapı malzemesi disiplinine odaklanılmaktadır. Biyolojiden öğrenmek ve doğanın kavramlarına hakim olmak, modern malzeme bilimi ve teknolojisinde bir paradigma değişimine yol açacağı konusunda umut vermektedir ve bu gelişmekte olan alandaki ilerlemenin, disiplinlerarası çapraz besleme olmadan imkansız olduğu fark edilmektedir. Yapılan kapsamlı tarama ve çalışmalar ile uluslararası boyutta pek çok araştırmacının, doğanın malzemelerinde yapı-özellik ilişkilerinin anlaşılmasına ve nano ölçekliden yapısal düzeye kadar ilerlemeye odaklandıkları görülmektedir. Farklı organizmaların malzemelerini geliştirmek için kullandıkları süreçler yöntemler; yapı malzemesi alanında kullanılmak üzere analitik ve deneysel araçlar kullanılarak araştırılmaktadır.

Bu araştırmaların daha etkin yürütülebilmesi adına tez çalışması kapsamında yenilikçi çözümler bulmak amacıyla araştırmacıların tasarım süreçleriyle ilgili ve uyumlu olan doğal organizmaları ve sistemler bulabilmeleri, keşfedebilmelerini sağlayan genel bir çerçeveye ihtiyaçları olduğu belirlenmiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin şu anki sorunlarına dikkat çeken ve bu malzemelerde göremediğimiz işlev ve özellikleri sağlayan biyolojik prensiplerin malzeme tasarım prensiplerine transferini kolaylaştıran teorik bir biyomimetik çerçeve gerekmektedir. Bu çerçeveyi kullanarak organizmaların kendi kendini iyileştirmesi, su toplayarak hayatını sürdürmesi, renk değiştirmesi, çoğalması, içsel ve dışsal, uyarıcılara karşılık vermesi, solunum yapması, hareket etmesi, atıkları ayrıştırması ve enerji verimliliği sağlamaları gibi biyolojik süreçlerden ilham alan yenilikçi malzemeleri daha sistematik bir şekilde oluşturabileceklerdir. Ayrıca bu kapsamda biyolojik organizma ve süreçler aracılığıyla biyomimetik yapı malzemelerinin geliştirilmesindeki yaklaşımlar ve biyomimetik tasarım unsurları anlaşılmalıdır. Bu amaçla da biyomimetik yapı malzemesi örnekleri ve biyomimetik tasarım unsurlarının karşılaştırılmalı tablosu oluşturulmuştur (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Biyomimetik yapı malzemesi örnekleri ve biyomimetik tasarım unsurları karşılaştırma tablosu

KENDİ KENDİNİ ONARAN KOMPOZİT	✓			✓	
KENDİ KENDİNE TAMAMLANAN BETON		✓		✓	
BİOMASON TUĞLA		✓		✓	
KENDİ KENDİNİ ONARAN BETON		✓		✓	
STOMA TUĞLASI		✓		✓	
TERMO BİMETALLER		✓		✓	
HİGROMORFİK BİYOMİMETİK MALZEMELER	✓			✓	
ASİMETRİK TÜMSEKLİ SU TOPLAMA YÜZEYİ	✓		✓		
BİYOMİMETİK SU TOPLAMA AĞLARI	✓		✓		
SRS	✓		✓		
AQUWEB	✓		✓	✓	
NAMİB BÖCEĞİ İLHAMLI SU TOPLAYAN MESH MALZEME		✓	✓		
ANTİFRİZLİ KAPLAMA		✓		✓	
BUZLANMAYI ÖNLEYEN SHS	✓		✓		
SİNEK GÖZÜ İLHAMLI MALZEME	✓		✓		
GÜVE GÖZÜ İLHAMLI CAM FİLMİ	✓		✓		
SİVRİSİNEK İLHAMLI KAPLAMA	✓		✓		
FOTOKATALİTİK KAPLAMALAR	✓		✓		
SLIPS		✓	✓		
STOCOLOR DRYONİC		✓	✓		
X-TERİÖR KAPLAMA		✓	✓		
LOTUS ETKİLİ KAPLAMALAR	✓		✓		
LOTUS ETKİLİ BOYALAR		✓	✓		
BİYOMİMETİK YAPI MALZEMELERİ ÖRNEKLERİ BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI	Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı		Biyomimetik Düzey		

Çizelge 5.1’de incelenen 24 adet biyomimetik malzeme örneğinin geliştirilmesinde biyomimetik yaklaşımlardan sorun odaklı yaklaşım ve çözüm odaklı yaklaşım olmak üzere her iki yaklaşımın da eşit sayıda kullanıldığı görülmektedir. Biyomimetik düzeylerden organizma düzeyinin 15 örnekte, davranış düzeyinin ise 9 örnekte kullanıldığı belirlenmiştir. Ancak tez çalışmasında biyomimetik malzeme örneklerinin dağılımın organizma ve davranış düzeyinde olmasından dolayı ekosistem düzeyine dair herhangi bir biyomimetik malzeme örneği değerlendirmeye alınmamıştır. Bu bağlamda biyomimetik malzeme tasarımı ekosistem düzeyine ilişkin çalışmalarına gelecek çalışmalarda yer verilebileceği belirlenmiştir.

Çizelge 5.1 ile “doğanın malzemelerinin özelliklerinin, performans ve işlevlerinin biyomimetik tasarım yaklaşımı aracılığıyla yapı malzemelerine aktarılması çok yönlü yenilikçi malzemeler geliştirilmesine yardımcı olarak geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri için yeni çözümler ve katkılar sunabilir mi?” sorusu bağlamında doğanın malzemelerinin özelliklerinin, performans ve işlevlerinin biyomimetik tasarım yaklaşımı aracılığıyla yapı malzemelerine aktarılabilirdiği ve yeni malzemeler geliştirilmesine yardımcı olduğu görülmüştür.

Ayrıca biyomimetik yapı malzemeleri, çalışmanın ikinci bölümünde incelenmiş olan geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan modern ve geleneksel yapı malzemelerine ve bu malzemelerde görülen olumsuz özelliklerin neden olduğu sorunlara karşılık gelecek biçimde Çizelge 5.2’de değerlendirilerek çalışmanın araştırma sorusunda yer alan “biyomimetik tasarım yaklaşımı günümüzde yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri için yeni çözümler sunabilir mi ve biyomimetik yaklaşımının günümüz yapı malzemesine katkıda bulunabilecek potansiyelleri nelerdir?” ifadelerine cevap bulunmaya çalışılmış ve bu sorular bağlamında öne sürülen hipotezde geçen “biyomimetik tasarım yaklaşımının geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerine çözümler sunarak olumsuz özellikleri azaltma ve katkıda bulunma” potansiyeli de değerlendirilmiştir,

Çizelge 5.2. Geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinde görülen olumsuz özelliklerin biyomimetik yapı malzemeleri ile çözülmesi, bu özelliklerden yararlanılması, yeni işlevler eklenmesi

Yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri	Yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin giderilen olumsuz özellikleri	Malzemeye çözüm getiren biyomimetik yapı malzemesi	Biyomimetik yapı malzemelerinin sorunu çözen, olumsuz özellikten yararlanılmasını sağlayan malzemeye yeni işlevler ekleyen özellikleri
Ahşap	-Yangına dayanıksız -Biyolojik zararlılara dayanıksız -Su ve neme dayanıksız -Aşınmaya, mekanik ve kimyasal etkilere dayanımı düşük -UV ışınlarına dayanıksız -Eldesi sırasında orman tahribatına yol açabilir -Bakım ihtiyacı yüksek ve maliyetli	Stocolor Dryonic	-Malzemede yangına dayanıklı bir yüzey oluşturur. -biyolojik zararlıların gelişimini engeller. -Yüzeyi kuru tutar ve malzemenin içine su, nem geçişini önler. -Mekanik kimyasal dayanımı yüksek bir yüzey oluşturur. -UV ışınlarına bağlı solmayı önler. -Bakım onarım maliyetini düşürdüğü için ekonomiktir ve malzeme ihtiyacını azaltarak orman tahribatına engeller.
	-Ahşap neme bağlı olarak şekil ve boyut değiştirir.	Higromorfik Malzemeler	-Hiçbir enerji harcamadan pasif havalandırma ve soğutma sağlayan -Enerji verimliliği sağlayan -Maliyeti az, estetik malzeme sistemi oluşturulması.
Tuğla	-Üretiminde gereken yüksek ısı nedeniyle yüksek enerji tüketimine neden olur. - Üretiminde fosil yakıt tüketilmesi ve buna bağlı olarak yüksek CO₂ emisyonuna neden olması -Atmosfere kirletici partikül salınması	Biomason Tuğla	-Ateşleme işlemine duyulan ihtiyacı ortadan kaldırır, oda sıcaklığı yeterlidir. -Fosil yakıt ihtiyacı yok eder. -Karbon ayak izini büyük ölçüde azaltır. -Kaynak ve enerji verimliliği sağlarlar. -Atmosferde bulunan CO₂'i kullandıkları için olumlu çevresel etkilere neden olurlar.
	-Tuğla mekanik aşınmalara karşı dayanıksızdır. -Bir miktar suyu emmektedir bu da malzemede çeşitli hasarlara yol açar. -Gözenekli ve pürüzlü yapısı nedeniyle kir ve toz çeker.	X-Terior Kaplama	-Malzemeyi mekanik aşınmalara karşı korur. -%11lik su emme oranıyla neredeyse su emici olmayan bir yüzey yaratır. -Özellikle cephede kaplama malzemesi olarak kullanılan tuğlaların temiz kalmasını sağlar.
Cam	-Cam yüzeylerin kolayca kirlenmesi özellikle yüksek binalarda görüntü ve bakım maliyeti açısından sorun oluşturur. -Cam yüzey mekanik etkilerle çizilebilir.	-Lotus Etkili Kaplamalar -X-Terior Kaplama -SLIPS Kaplama -Fotokatalitik Kaplama -Sivrisinek İlhamlı Kaplama -Sinek Gözü İlhamlı Malzeme -Güve Gözü İlhamlı Cam Filmi	-Cam kendi kendini temizler, -Bakım masrafı azalır -Cam yüzeyi sert ve aşınmalara, çizilmelere dayanıklı hale gelir.

Çizelge 5.2. (devam) Geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinde görülen olumsuz özelliklerin biyomimetik yapı malzemeleri ile çözülmesi, bu özelliklerden yararlanılması, yeni işlevler eklenmesi

Cam	-Cam yüzeyler buğulanma meydana gelerek malzemenin optik özelliklerini olumsuz etkiler.	-Sivrisinek İlhamlı Kaplama -Sinek Gözü İlhamlı Malzeme -Güve Gözü İlhamlı Cam Filmi -Fotokatalitik Kaplama	-Cam yüzeyindeki buğulanma giderilir.
	-Cam yüzeydeki yansımalar PV paneller için enerji kaybına yol açar.	-Güve Gözü İlhamlı Cam Filmi	-Cam yüzeyindeki yansıma en aza indirilir.
	-Cam yüzeylerin buzlanması optik özellikler ve güvenlik açısından sorun oluşturabilir.	-Lotus Etkili Kaplamalar -SLIPS Kaplama -Buzlanma Önleyen Antifrizli Kaplama -X-Terior Kaplama	-Cam yüzeyinde buz oluşumu önlenir veya oluşan buz damlacıkları hızlıca uzaklaştırılır.
Doğal taşlar	-Hava koşullarına bağlı taşta parça kopmaları ve ufalanmalar meydana gelebilmektedir. -Taşta aşınma ve darbeye bağlı bozulmalar olabilmektedir. -Havada taşınan kirletici partiküller zamanla taş yüzeyinde birikir ve oluşan siyah tabakalar sonucunda estetik görünüm bozulur, temizlenme ve bakım ihtiyacı doğar. -Bazı taş türleri biyolojik bozunmanın etkilerine açıktır. -Kimyasal etkilere karşı dirençsiz olabilmektedirler. -Su emme oranları çeşitli sorunlara yol açabilir.	-X-Terior Kaplama -Fotokatalitik Kaplama	-Özellikle X-Terior kaplama sayesinde taş malzeme hava koşullarına bağlı hasarlardan korunur. -Mekanik hasar ve mekanik ve kimyasal aşındırıcı temizlik karşısında dayanıklılık sağlanır. -Malzemeler kendi kendini temizler. -Bakım ihtiyacı azalır. -Fotokatalitik kaplama antibakteriyel etkiye sahiptir, her iki malzeme de biyolojik zararlı oluşumunu engeller. -Malzemenin su emme oranı azalır.
Seramik malzemeler	-Binanın içinde ve dışında kullanılan seramik yüzeyler kolayca kirlenirler temizlendiklerinde üzerlerinde su lekeleri görülür. -Kimyasal ve aşındırıcı temizlik karşısında zarar görebilirler.	-Fotokatalitik Kaplama -Lotus Etkili Kaplamalar -X-Terior Kaplama	-Malzeme yüzeyi kendi kendini temizler -Mekanik hasar ve mekanik ve kimyasal aşındırıcı temizlik karşısında dayanıklılık sağlanır -Su damlaları kuruyunca leke bırakmaz. -Özellikle cephelerin bakım ve yenileme masraflarını azalır.
	-Üzerlerinde kir ve kireç birikmesi iç ortam hava kalitesini olumsuz etkileyebilir.	-Fotokatalitik Kaplama	-Antibakteriyel etki ve kendi kendini temizleme özelliği sayesinde kötü kokuları ayrıştırır, hava kalitesini iyileştirir.
	-Seramik yüzeylerin buzlanması güvenlik açısından sorun oluşturabilir.	-Lotus Etkili Kaplamalar -SLIPS Kaplama -Buzlanma Önleyen Antifrizli Kaplama -X-Terior Kaplama	-Yüzeyde buz oluşumu önlenir veya oluşan buz damlacıkları hızlıca uzaklaştırılır.

Çizelge 5.2. (devam) Geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinde görülen olumsuz özelliklerin biyomimetik yapı malzemeleri ile çözülmesi, bu özelliklerden yararlanılması, yeni işlevler eklenmesi

Beton	-Çimentonun üretim sürecinde gerekli ısı için oldukça yüksek miktarda enerji tüketilmekte ve karbon salınımı gerçekleşmektedir. Beton sanayi yüksek oranda doğal kaynak tüketimine yol açmaktadır. -Agreganın doğadan elde edilmesi doğada kalıcı izler bırakmaktadır. -Normal geçirimli betonlar su emer ve su betonun iç bölgelerine ilerleyince beton hasar görür ve dayanımı düşer.	-Kendi kendine tamamlanan beton	-Yüksek ısıya ihtiyaç yoktur, nakliye masrafları ve bu süreç için tüketilen enerji de ortadan kalkmaktadır tüm süreç karbon negatiftir. -Atık sulardan ve bacalardan çıkan CO ₂ 'li gazlardan elde edildiği için kaynak tüketimi yok denecek kadar azdır. -Kendi kendine tamamlanma sayesinde çimento ve çeşitli boyutlarda agrega elde edilir doğaya zarar verilmez. -Geçirgenliği normal betona göre daha azdır, su emme oranı düşüktür.
	-Betonun basınç ve eğilme dayanımı çeşitli nedenlerden dolayı düşebilir. -Betonda çatlak oluşumu sık görülür, çatlaklar estetik açıdan olumsuz etki yarattığı gibi, buradan betona giren sular beton dayanımını düşürür, çelik donatılara zarar verir. -Bu durum bakım onarım gereklilikleri ve buna bağlı enerji ve kaynak tüketimine neden olur.	-Kendi kendini onaran beton	-Normal betonlardan daha iyi basınç ve eğilme dayanımı vardır. -Herhangi bir dış müdahale olmadan kendi kendini onarır. -Beton geçirgenliği azalır. -Bakım onarım gerekliliği ortadan kalkar ve enerji ve kaynak tasarrufu sağlanır.
Metaller	-Yüzeylerinde istenmeyen buğulanma ve buz birikimi görülür. -Metal malzemelerin korozyon dayanımları düşüktür ve korozyon etkisiyle kütle kaybına uğrarlar.	-Lotus Etkili Kaplamalar -SLIPS Kaplama -Buzlanma Önleyen Antifrizli Kaplama -X-Terior Kaplama	-Yüzeyde buz oluşumu önlenir veya oluşan buz damlacıkları hızlıca uzaklaştırılır. -Metal yüzeydeki su damlaları hızlıca uzaklaştırır, korozyonun etkisi azaltılmaya çalışılır.
		-Su Toplayan Mesh Malzeme -Aquaweb -SRS -Biyomimetik Su Toplama Ağları -Asimetrik Tümsekli Su Toplama Yüzeyi	-Sistem su damlacıklarını verimli şekilde toplar. -Enerji, kaynak ve su verimliliği sağlar -yüksek sıcaklara ve korozyona dayanıklıdır.
Polimerler	-Binalarda kullanılan dokulu plastik malzemeler kirlenerek estetik ve sağlık açısından sorun oluşturabilir.	-Lotus etkili termoplastik levha -SLIPS -Stocolor Dryonic	-Malzeme kendi kendini temizler.
	-Tabakalı kompozitlerde delaminasyon denilen kompoziti oluşturan tabakaların birbirinden ayrılması veya kompozitin üretimi sırasında oluşan sonradan düzeltilmesi zor olan çatlaklar gibi malzemenin işlevini ve performansını tamamen etkileyen olumsuzlar görülebilmektedir.	-Kendi kendini onaran kompozit	-Kendi kendini onarır, mekanik dayanımı yüksektir, uzun ömürlüdür, bakım maliyeti düşüktür ve enerji tüketimini azaltır.

Çizelge 5.2. (devam) Geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinde görülen olumsuz özelliklerin biyomimetik yapı malzemeleri ile çözülmesi, bu özelliklerden yararlanılması, yeni işlevler eklenmesi

Polimerler		-Örümcek ağı ilhamlı fiber bazlı elyaf sis toplayıcı -Aquaweb	-Sisten su damlacıklarını verimli şekilde toplar, depolar. -Enerji, kaynak ve su verimliliği sağlar.
Boyalar	-Boyada çatlama, dökülme, kabarma görülebilir. -Cephenin yağmur suyundan en az düzeyde etkilenmesi için su geçirmez bir boya kullanılır, içeriden gelen buhar dışarıya atılamayabilir. -Su nem ve kir etkisiyle boya yıpranır kötü görüntü oluşur. -Boyalarda kirlenici partiküllerin birikmesi ve nemin etkisiyle yüzeyde bazı bakteri, mantar, küf, yosun ve virüs türleri üremektedir. Bu durum estetik ve insan sağlığı açısından zararlıdır. Tüm bu maddeler bakım onarım masrafına ve enerji kaybına neden olur. -Özellikle sentetik boyaların yangın dayanımları düşüktür.	-Lotusan -Stocolor Dryonic -X-Terior Kaplama	-Malzeme kendi kendini temizler, uzun ömürlü ve estetik görünümüdür, -Mekanik dayanımı yüksektir. -Biyokirleticilerin oluşumunu engeller. -Yangına karşı dayanıklıdır. -Bakım onarım maliyeti düşüktür, çevre kirliliğini azaltır. -Kimyasal temizleyici kullanımını ve enerji kaybını azaltır.

Tabloya (Çizelge 5.2) bakıldığında geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden olan ahşap, tuğla, seramik, cam, metal, doğal taşlar, beton, polimerler ve boyalarda görülen olumsuz ve zayıf yönlerin biyomimetik yaklaşımla geliştirilen yapı malzemeleri tarafından giderildiği, azaltıldığı, iyileştirildiği görülmüştür. Bunun yanında ahşapta görülen su ve neme bağlı şekil ve boyut değiştirme gibi malzemenin olumsuz sayılabilecek kendine özgü özelliklerinin biyomimetik yaklaşımla ele alınıp işlevsel hale dönüştürüldüğü, metal malzemelere ve polimerlere su toplama özelliği gibi yenilikçi özelliklerin de eklendiği anlaşılmıştır. Bu değerlendirme tablosu sonucunda “biyomimetik tasarım yaklaşımının geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerine çözümler sunarak olumsuz özellikleri azalttığı, günümüz yapı malzemesine katkıda bulunabilecek potansiyelleri olduğu” bulguların ışığında test edilmiş ve doğrulanmıştır.

Çalışmanın araştırma sorusu kapsamında “biyomimetik yaklaşımların çok yönlü yenilikçi malzemeler geliştirilmesine yardımcı olup olmadığı” ve çalışmanın hipotezinde yer alan “biyomimetik yapı malzemeleri, yapı malzemelerinin günümüzdeki kullanım ölçütlerini karşılayabilecek özellikleri taşımaktadır” ifadesi bağlamında günümüz malzeme kullanım

kriterlerinden olan teknik kriterler parametresindeki özel performans özelliklerinin biyomimetik yapı malzemeleri tarafından sağlanıp sağlanmadığı Çizelge 5.3 aracılığıyla test edilmiştir. Çizelge 5.3'te biyomimetik yaklaşımların malzemeye kazandırdığı özel ve yenilikçi performanslar bakımından incelenen 24 adet örneğin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 5.3. Biyomimetik yaklaşımların malzemeye kazandırdığı özel performanslar bakımından incelenen 24 adet örneğin karşılaştırılması

KENDİ KENDİNİ ONARAN KOMPOZİT		✓				
KENDİ KENDİNE TAMAMLANAN BETON		✓				
BİOMASON TUĞLA		✓				
KENDİNİ ONARAN BETON		✓				
STOMA TUĞLASI					✓	
TERMO BİMETALLER					✓	
HİGROMORFİK BİYOMİMETİK MALZEMELER					✓	
ASİMETRİK TÜMSEKLİ SU TOPLAMA YÜZEYİ	✓		✓			
BİYOMİMETİK SU TOPLAMA AĞLARI	✓		✓			
SRS	✓		✓			
AQUWEB	✓		✓			
ÖRÜMCEK AĞI İLHAMLI SU TOPLAYAN MALZEME	✓		✓			
NAMİB BÖCEĞİ İLHAMLI SU TOPLAYAN MESH MALZEME	✓		✓			
ANTİFRİZLİ KAPLAMA	✓					✓
BUZLANMAYI ÖNLEYEN SHS	✓					✓
SİNEK GÖZÜ İLHAMLI MALZEME	✓					
GÜVE GÖZÜ İLHAMLI CAM FİLMİ	✓			✓		
SİVRİSİNEK İLHAMLI KAPLAMA	✓			✓		
FOTOKATALİTİK KAPLAMALAR	✓			✓		✓
SLIPS	✓	✓				✓
STOCOLOR DRYONİC	✓					
X-TERİOR KAPLAMA	✓					
LOTUS ETKİLİ KAPLAMALAR	✓					✓
LOTUS ETKİLİ BOYALAR	✓					
Biyomimetik yapı malzemeleri Malzemelerin teknik özellikleri	Kendi kendini temizleme					
	Kendi kendini onarma					
Özel performans özellikleri						
	Su ve sis toplama					
	Sis ve buğu önleme					
	Pasif iklimlendirme sağlama					
	Buzlanma önleme					

Çizelge 5.3’ te oluşturulan tabloya göre, biyomimetik yapı malzemeleri günümüz malzeme kullanım kriterlerinden olan teknik kriterler parametresindeki özel performans özelliklerinden

- Kendi kendini temizleme
- Kendi kendini onarma
- Su ve sis toplama
- Sis ve buğu önleme
- Pasif iklimlendirme sağlama
- Buzlanma önleme
- İşlevlerini yerine getirmektedir.

Çizelge 5.3’te görülen 24 adet biyomimetik yapı malzemesinden 17 tanesinin kendi kendini temizlediği, 5 tanesinin kendi kendini onardığı, 6 tanesinin su ve sis topladığı, 3 tanesinin buğulanma önlediği, 3 tanesinin pasif iklimlendirme sağladığı, 5 tanesinin buzlanmayı önlediği, özel performans özelliklerinden en fazla kendi kendine temizleme işlevinin ikinci olarak da sus ve sis toplamanın gerçekleştiği görülmektedir. Malzemeler tek başlarına ele alındığında özel performans özelliklerinden maximum 3 minumum 1 tanesinin biyomimetik yaklaşımla kazanıldığı anlaşılmaktadır. Bu kapsamda biyomimetik tasarım yaklaşımı ile biyolojik prensiplerin yapı malzemesine aktarılmasıyla biyomimetik yapı malzemelerine, geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan malzemelerde görülmeyen “yenilikçi özelliklerin” kazandırıldığı görülmüş ve böylece günümüz malzeme kullanım kriterlerinden olan teknik kriterler parametresindeki özel performans özelliklerinin yerine getirilmesinde biyomimetik yaklaşımın etkili olduğu anlaşılmıştır.

Çalışmanın araştırma soruları olan “Doğanın malzemelerinin özelliklerinin, performans ve işlevlerinin biyomimetik tasarım yaklaşımı aracılığıyla yapı malzemelerine aktarılması çok yönlü yenilikçi malzemeler geliştirilmesine yardımcı olarak geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri için yeni çözümler ve katkılar sunabilir mi? Biyomimetik yaklaşımın günümüz yapı malzemesine, çevreye etkileri ve daha iyi bir yaşam kalitesine katkıda bulunabilecek potansiyelleri nelerdir?” soruları bağlamında “Biyomimetik tasarım yaklaşımı geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerine çözümler sunarak yalnızca olumsuz özellikleri azaltmakla kalmayacak aynı zamanda çevresel etkileri

azaltacak, olumlu çevresel, sosyal ve ekonomik çözümler de yaratacak potansiyeller barındırmakta ve biyomimetik yapı malzemeleri yapı sektörünün günümüzdeki gereksinimlerini karşılayabilecek özellikleri taşımaktadır” hipotezinin test edilmesi amacıyla malzemenin teknik özelliklerinden gerçekleştirilen özel performans özelliklerinin yanında, biyomimetik tasarım yaklaşımı ile günümüz malzeme kullanım ölçütlerinden başka parametrelerin karşılanıp karşılanmadığı tablo (Çizelge 5.4) aracılığıyla değerlendirilmiştir.

Buradaki değerlendirme ölçütleri özel performans özellikleri dışında kalan teknik özellik parametreleri, ekonomik özellik, sosyal özellik, arz talep özellikleri ile çevresel etki özellikleri parametreleridir. Çizelge 5.4’te 24 adet biyomimetik yapı malzemesi örneğinin günümüzdeki yapı malzemesi kullanım ölçütleri bağlamında karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 5.4). Tabloda “✓” simgesi ile işaretlenen özellikler malzemede olumlu olarak bulunmaktadır, boş bırakılan kutucuklar malzemenin söz konusu kriter bakımından değerlendirilmediğini göstermektedir, “-” ile işaretlenen kriter konusunda malzemenin yetersiz ve olumsuz etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.

Çizelge 5.4. (devam) Biyomimetik yaklaşımların malzemelerinin, günümüz yapı malzemesi kullanım ölçütleri bakımından karşılaştırılması

KENDİ KENDİNİ ONARAN KOMPOZİT	-	-		✓		✓	✓							✓	-		✓	
KENDİ KENDİNE TAMAMLANAN BETON	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓			✓	✓		✓	✓	
BIOMASON TUĞLA	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
KENDİNİ ONARAN BETON	-		✓	✓		✓	✓		✓	✓			✓	✓		✓	✓	
STOMA TUĞLASI		-							✓	✓	✓	✓	✓	✓	-		✓	
TERMO BİMETALLER	✓	-	✓	-	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	-		✓	
HİGROMORFİK BİYOMİMETİK MALZEMELER	✓	✓	✓	-	✓	-			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
AŞİMETRİK TÜMSEKLİ SU TOPLAMA YÜZEYİ	✓	-	✓	✓		✓	✓			✓			✓	✓	-	✓	✓	
BIYOMİMETİK SU TOPLAMA AĞLARI	✓	-		-	✓					✓			✓	✓	-		✓	
SRS	✓	-	✓			✓	✓			✓			✓	✓	-		✓	
AQUWEB	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓	-		✓	
Biyomimetik Yapı malzemelerinin kullanım ölçütleri	Maliyet (amorti edilebilirlik)	Marketteki ulaşılabilirlik	Üretim verimliliği	Mekanik direnç	Hafiflik	Dayanıklılık (yangın, korozyon,vb.)	Uzun ömürlülük	Olumlu optik özellikler	Olumlu termal özellikler	Diğer malzemelerle uyum	Esnek tasarım sağlama	Mimari estetik	Konfor şartlarını sağlama	Kullanıcı sağlığına uyum	Bilinirlik ve geçerlilik	Düşük emisyon	Geri dönüştürülebilirlik	Enerji ve kaynak verimliliği
Yapı malzemesi kullanımında ana parametreler	Ekonomik özellikler	Teknik özellikler					Sosyal özellikler					Arz talep durumu	Çevresel etki özellikleri					

Tabloya (Çizelge 5.4) bakıldığında biyomimetik tasarım yaklaşımı yapı malzemelerine; uzun ömürlülük, mimari estetik, esnek tasarıma olanak tanıma, hafiflik, iyileştirilmiş kullanıcı koşulları, kaynak verimliliği, enerji verimliliği, olumlu çevresel etki, dayanıklılık, aşınma korozyon yangın ve nem dayanımı, termal özellikler, ekonomiklik, düşük emisyon gibi çoklu özellikler kazandırdığı, çalışmanın hipotezinde geçen “biyomimetik yapı

malzemeleri, yapı malzemelerinin günümüzdeki kullanım ölçütlerini karşılayabilecek özellikleri taşımaktadır” ifadesinin sağlandığı görülmektedir.

Tablodaki (Çizelge 5.4) ölçütler geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinde görülen olumlu olumsuz özellikler ışığında oluşturulduğu için “biyomimetik tasarım yaklaşımının geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerine çözümler sunarak olumsuz özellikleri azaltma” potansiyeli de değerlendirilmiştir, yukarıda bahsedilen çoklu özelliklerin yapı malzemelerine kazandırılması sayesinde geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinde görülen olumsuz özelliklere ve sorunlara da çözüm getirildiği ayrıca görülmüştür.

Çizelge 5.4’te görülen 24 adet malzeme belirlenen kriterler kapsamında değerlendirildiğinde, malzemelerin kullanımıyla beraber söz konusu kriter açısından değerlendirilen malzemelerin hepsinde konfor şartlarını sağlama, kullanıcı sağlığına ve güvenliğine uyum kaynak ve enerji verimliliği görüleceği ve bunların yanında ekonomik özellik parametresinde bulunan maliyet ölçütünün üretim-kullanım-onarım üçgeninde 17 malzeme tarafından sağlandığı, 17 malzemenin uzun ömürlülük ölçütünü karşıladığı anlaşılmıştır. Bu bağlamda hipotez kapsamında “biyomimetik tasarım yaklaşımının çevresel etkileri azaltacak, olumlu çevresel, sosyal ve ekonomik çözümler de yaratacak potansiyeller barındırmakta” ifadesinin doğrulandığı söylenilebilmektedir.

Biyomimetik yapı malzemeleri tarafında en az sağlanan kriterlerin ise bilinirlik ve geçerlilik olduğu marketteki ulaşılabilirliğin de bu kritere paralel seyrettiği görülmektedir. Tüm bunların yanında en az özelliği sağlayan malzeme grubunu buğu ve sis önleyen malzemeler olduğu, şu an için en fazla özelliği sağlayan bilinirliği en fazla olan malzemelerin kendi kendini temizleyen malzemeler grubunda olduğu farkedilmiştir. Bu bağlamda biyomimetik malzemelerin karar vericiler ve kullanıcılar tarafından bilinirliğinin arttırılmasında gereklilik görülmüştür.

Değerlendirme sonuçlarından elde edilen bulgulardan hareketle geçmişten günümüze kadar yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerine göre biyomimetik yapı malzemeleri daha fazla spesifikliğe izin vermektedir, özellikleri değişkendir ve aynı anda birden çok işlevi gerçekleştirebilmekte, bu nedenle geçici ihtiyaçlara da cevap verebilmektedirler. Binalar her

zaman değişen gereklilikler ve çevresel koşullarla karşı karşıya kalmaktadır bu nedenle de tek bir koşul için optimize edilmek yerine çoklu durumlara cevap verebilme yeteneği, biyomimetik malzemelere belirgin bir avantaj sağlamaktadır. Sonuç olarak, biyomimetik malzemelerin kullanımı ve yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin yerini nasıl alabilecekleri konusunda potansiyel görölmektedir.

Biyomimetik tasarım yaklaşımı bağlamında ele alınan yapı malzemeleri, bina tasarımında esneklik ve performans ve bina üzerindeki zararlı etkileri azaltma konusunda ipuçları için doğaya bakmanın yanı sıra, aynı zamanda doğada yaşayan canlılar gibi çevre üzerinde olumlu etkiye sahip olması gereken malzemelerin, dolayısıyla binaların nasıl yaratılacağı konusunda da kapı açmaktadır. Biyomimetik yapı malzemeleri bina tasarımlarında geniş ölçüde uygulama potansiyeli sunmaktadır. Birçoğunun binaların enerji performansını artırmada veya enerji kaynaklarının tasarrufunun yanı sıra binaların çevresel etkilerini azaltmada katkı sağlayabileceği anlaşılmıştır. Günümüz koşullarının gereksinimlerinin birçoğuna cevap veremeyen yaygın olarak kullanılan malzemeler yerine biyomimetik yaklaşımla tasarlanan ve üretilen yapı malzemelerinin teknolojik gelişiminin önünün açılması bu konuda fon sağlanması ve uygulama için teşvikte bulunulması gerektiği belirlenmiştir.

Tez çalışmasında doğal organizmaların yapısal, işlevsel ve davranışsal özelliklerinden yola çıkarak oluşturulan pek çok sayıdaki biyomimetik yapı malzemesi tanıtılmış, malzemelerin işlevsel ve davranışsal potansiyelleri belirlenerek, bu alanda sınırlı ve özel örnekler olduğu anlaşılmıştır. Tez çalışmasında sunulan söz konusu malzeme örneklerinin çoğu hala araştırma, değerlendirme ve keşif kapsamındadır. Ayrıca arz talep parametresi ve marketteki ulaşılabilirlik kriterleri bağlamında bu malzemelerin bir kısmının tek seferlik vaka çalışmaları olduğu veya deneysel aşamada kaldığı hala pek çok kriter için sınanmadığı bu nedenle de bilinmezlikleri (mekanik direnç, dayanıklılık, enerji verimliliği vb.) olduğu anlaşılmıştır. Gelecekteki araştırma ve çalışmalarda bu tür bir tasarım yaklaşımının, tüm karmaşık işlevsel gereklilikleriyle birlikte gerçek bina projeleri bağlamında tam olarak uygulanmasına yer verilmesi önem kazanacağı fark edilmiştir. Yani akıllı biyolojik işlevleri olan biyomimetik temelli malzemelerin geliştirilmesi gibi konular halen başlangıç aşamasında olduğu için, önümüzdeki yıllarda yapılan çalışmalarda kendilerine yer bulmaya ve gelişmeye devam edeceklerdir.

Aşağıda; bu tez çalışması ışığında ihtiyaç duyulan gelecekteki çalışmaların gereklilikleri özetlenmiştir:

- Binalar artık tekil veya sabit bir yapıya sahip değildir, ancak diğer aktif sistemlerin ortamının bir parçası olan karmaşık enerji ve malzeme sistemleri olarak anlaşılmalıdır. Bu nedenle, bilgi teknolojisi, ekonomi, iklimsel çalışma, malzeme bilimi, çevre mühendisliği ve biyomimetik mühendisliği alanlarında gelecekteki çalışmaların ve araştırmaların yapılması zorunludur.
- Çalışmalar gelecekteki ekonomik, iklimsel durum ve teknolojik gelişmelerdeki okumalar üzerine inşa edilmelidir. Böylece sonuç olarak, gelecekteki ortama hitap edecek malzeme ve bina kabuklarının gelişmesine yol açılabilir. Mevcut ortam göz önüne alındığında, iklim değişikliği kapsamında düşük karbon ayak izini sağlayan, enerji verimliliği konularına bakan binalar için yenilikçi malzemeler geliştirmek adına bu çalışmaları daha da ileriye götürmek gereklidir.
- Mimari, gelecek yalnızca kullanıcı konforunu sağlamak için değil, aynı zamanda gelecekte öngörülen iklim değişikliklerine cevap olarak malzeme performansında da etkinlik sağlamak için bu teknolojilerin adaptasyon ve nitel özelliklerine ilişkin çalışmalar yapılmalıdır.
- Bilim ve teknolojiye ilişkin anlayış, doğa ile insan arasındaki boşluğu doldurmalıdır ve insan ırkının diğer tüm türlerle paylaştığımız gezegenin gerçekliklerine yönelmesi gerekmektedir.
- Ayrıca gelecekteki çalışmalar, sınıflandırma, biyolojik modelin sınır koşullarını ve engellerini önlemek, ürün bağlamının sınır koşulları ve yaşam döngüsü sırasındaki avantajları ve istenmeyen etkileri tanımlamak için kapsamlı sürdürülebilirlik analizlerini ve geliştirme sürecinin ayrıntılı bir planlamasını dikkate almalıdır.

KAYNAKLAR

- Abdelrahman A. A. M., (2011). Innovations and sustainability in modern architecture – The impact of Building materials selection. *4th International Congress on Environmental Planning and Management, GreenCities: A Path to Sustainability*, Cairo.
- Adams, E.C., (1993). *Yapı Bilgisi III*. (II. Baskı), Ankara: Yüksek Öğretim Kurulu, 212-225.
- Aizenberg, J. ve Fratzl, P. (2009). Biological and biomimetic material. *Advanced Materials*. 21 (4), 387–8.
- Akman, Y., Ketenoğlu, O. Evren, H. Kurt, L. ve Düzenli, S. (2000). *Çevre Kirliliği (Çevre Biyolojisi)*. (I. Baskı), Ankara: Palme Yayınları, 299.
- Antony, F., Griebhammer, R., Speck, T., and Speck, O. (2016). The cleaner, the greener? Product sustainability assessment of the biomimetic façade paint Lotusan in comparison to the conventional façade paint Jumbosil. *Beilstein: Journal of Nanotechnology*, 7(1), 2100-2115.
- Armstrong, R., (2009). Living buildings: plectic systems architecture. *Technoetic Arts: A Journal of Speculative Research*, 7(2), 79-94.
- Ashby, M. F., Fernandez, J., Gray, A., (2008). The CES Edu Pack Database for architecture and the built environment (Multi-criteria selection of building materials). *Granta Design Ltd*, URL: <https://www.yumpu.com/en/document/view/49031696/the-ces-edupack-database-for-architecture-and-granta-design>, Son Erişim Tarihi: 02.05.2020.
- Autumn, K., Liang, Y. A., Hsieh, S. T., Zesch, W., Chan, W. P., Kenny, T.W., Fearing, R., & Full, R.J., (2000). Adhesive force of a single gecko foot-hair. *Nature*, 405(6787), 681–685.
- Aziz, M.S. (2016). Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 707-714.
- Aykanat A., (2014). Yapı Hasarları Açısından Doğru Malzeme Seçimini Sağlayan Kurumsal Tasarım ve Yapım Modeli. *Artium*, 2 (1), 29-42.
- Badarnah, L., Nachman F. Y., & Knaack, U., (2010). Solutions From Nature For Building Envelope Thermoregulation. *Design And Nature V: Comparing Design in Nature with Science and Engineering*, 5, 251-262.
- Balte G. (2009). Innovative building materials - reduction of pollutants with TioCem, *Nanotechnology in Construction*, 3, 55-61.
- Barozzi, M., (2016). The sustainability of adaptive envelopes: developments of kinetic. *Procedia Engineering*, 155, 275-284.

- Barthelat, F., Li, C.M., Comi, C. and Espinosa, H.D. (2006). Mechanical properties of nacre constituents and their impact on mechanical performance. *Journal of Materials Research*, 21 (8), 1977-1986.
- Bartholomew, A., (1840). *Specifications for Practical Architecture, Preceded by an Essay on the Decline of Excellence in the Structure and in the Science of Modern English Buildings: With the Proposal of Remedies for Those Defects*. (I), London: J. Williams, 474.
- Baumeister, D., (2007). *Biomimicry*. Presentation at the University of Washington College of Architecture, Seattle.
- Becker, N., Oroudjev E., Mutz, S., Cleveland, J.P., Hansma, P.K., Hayashi, C.Y., Makarov, D.E., and Hansma, H.G. (2003). Molecular nanosprings in spider capture-silk threads. *Natural Materials*, 2(4), 278-283.
- Bekem, A., Ercan, H., Doğu, M. ve Ünal, A. (2011). Uçak Sanayiinde Kullanılan Balpeteği Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. in 6. *International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 475-480.
- Bello, O.S., Adegoke, K.A. ve Oyewole, R.O. (2013). Biomimetic materials in our world: A review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 5, 22-35.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry Innovation Inspired by Nature*. New York: Harper Perennial,
- Benyus, J., (2002). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York, É. U.: HarperCollins.
- Berber, F. (2012). *Ekolojik Malzemenin Tasarımdaki Yeri ve Ekolojik Malzemeyle Mimari Konut Tasarımı*, Haliç Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bhushan, B. (2009). Biomimetics: lessons from nature – an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367 (1893), 1445-1486. doi:10.1098/rsta.2009.0011
- Bhushan, B. (2019). Bioinspired water collection methods to supplement water supply. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 377 (2150), 20190119.
- Bhushan, B., Jung, Y. C., (2011). Natural and biomimetic artificial surfaces for super hydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. *Progress in Materials Science*, 56, 1-108.
- Biçer, Z. Ö. P. ve Işık, G. (2012). Yapı Malzemesi Olarak Metallerin Çatı Kaplamalarında Kullanımının Değerlendirilmesine Örnek; Erciyes Üniversitesi Spor Tesisleri. 6. *Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, 12- 13 Nisan 2012, 145-151, Bursa.

- Bixler, G.D. and Bhushan B. (2014). Rice- and butterfly-wing effect inspired self-cleaning and low drag micro/nanopatterned surfaces in water, oil, and air flow. *Nanoscale*, 6(1), 76–96.
- Blaiszik, B.J., Kramer, S.L.B., Olugebefola, S.C., Moore, J.S., Sottos, N.R., White, S.R. (2010). Self-Healing Polymers and Composites. *Annual Review of Materials Research*, 40, 179-211.
- Boden, S. A., & Bagnall, D. M., (2006). Bio-mimetic subwave length surfaces for near zero reflection sunrise to sunset. In *2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conference*, (2), 1358-1361. Waikoloa, USA.
- Boduroğlu, Ş., Kariptaş, F. S. ve Sarıman, E. (2010). Geçmişten Günümüze Yapı Tasarımında Kullanılan Malzemelerin Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi, *Conference: 22.Uluslararası Yapı ve Yaşam Kongresi*, Bursa.
- Bohn H.F., and Federle W. (2004). Insect aquaplaning: Nepenthes pitcher plants capture prey with the peristome, a fully wettable water-lubricated anisotropic surface. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101 (39), 14138–14143.
- Borsch T., and Barthlott W. (1994). Classification and distribution of the genus *Nelumbo* Adans.(Nelumbonaceae). *Beitrage zur Biologie der Pflanzen*, 68, 421-450.
- Brown, EN., Kessler, MR., Sottos, NR., White, SR. (2003). In situ poly (urea-formaldehyde) microencapsulation of dicyclopentadiene. *Microencapsulation*, 20(6), 719–730.
- Brown, P.S., and Bhushan, B. (2016). Bioinspired materials for water supply and management: water collection, water purification and separation of water from oil. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374 (2073), 20160135.
- Cao, L., Jones, A.K., Sikka, V.K., Wu, J. and Gao, D. (2009). Anti-icing superhydrophobic coatings. *Langmuir*, 25, 12444–12448.
- Casini M., (2016). *Smart Buildings: Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance*. Duxford: Woodhead Publishing.
- Chen, C.L., and Rosi, N.L. (2010). Peptide-based methods for the preparation of nanostructured inorganic materials. *Angewandte Chemie - International Edition*, 49 (11), 1924-1942.
- Clegg, J.S. (2001). Cryptobiosis – a peculiar state of biological organization. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 128(8): 613–624.
- Cremaldi, J. C. and Bhushan, B. (2018). Bioinspired self-healing materials: lessons from nature. *Journal of Nanotechnology*, 9(1), 907–935, Beilstein.

- Çiçek, Y. E. (2002). *Pişmiş toprak tuğla, bimsbeton, gazbeton ve perlitli yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi İstanbul.
- Çorbacı, F. (2015). *Yapı malzemelerinin kullanımında mimari faktörler*, T.C. Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Dacey, J. (2010). Spider's web inspires fibres for industry. *Physics World*, 23(3), 5.
- Dai, X, Sun, N., Nielsen, S.O., Stogin, B.B., Wang, J., Yang, S. and Wong, T.S. (2018). Hydrophilic directional slippery rough surfaces for water harvesting. *Science Advances*, 4(3), 1-10.
- Davies, P.A., Turner, K., and Paton, C. (2004). Potential of the seawater greenhouse in Middle Eastern climates. In *International Engineering Conference*, 523-540, Jordan.
- Demirarslan, S. (2004). Plastik Malzemenin Özellikleri ve İnşaat Sektöründeki Kullanım Yerleri, 2. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, 173-184, İstanbul.
- Di Salvo, S. (2017). Tecnologia e misure verdi verso un'architettura resiliente / Technology and green measures to a resilient architecture. *Agathon 1*, 89-94.
- Dolar, A., Yılmaz , Ş. E. (2014). Kültürel yapılarda biyolojik bozunma mekanizmaları. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 12(1), 1-19.
- Duran, I. R. and Laroche, G. (2018). Water drop-surface interactions as the basis for the design of anti-fogging surfaces: Theory, practice, and applications trends. *Advances in Colloid and Interface Science*, 263, 68-94.
- Ebert, D. ve Bhushan, B. (2012a). Durable lotus-effect surfaces with hierarchical structure using micro- and nanosized hydrophobic silica particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 368 (1), 584–591.
- Ebert, D. ve Bhushan, B. (2012b). Transparent, superhydrophobic, and wear-resistant coatings on glass and polymer substrates using SiO₂, ZnO, and ITO nanoparticles. *Langmuir*, 28 (31), 11391-11399.
- Edmonds, D.T., and Vollrath, F. (1992). The contribution of atmospheric water vapour to the formation and efficiency of a spider's capture web. *Proceedings of the Royal Society of London: Series B: Biological sciences*, 248 (1322), 145–148.
- Eggermont, M. (2007). Biomimetics as problem-solving, creativity and innovation tool. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association, CDEN/C 2E2. Conference: University of Manitoba, Manitoba, Kanada.*
- El Ahmar, S.A.S. (2011). *Biomimicry as a tool for sustainable architectural design*. Unpublished Master of Science Thesis, Alexandria University. URL: https://www.academia.edu/1739669/biomimicry_as_a_tool_for_sustainable_architectural_design_towards_morphogenetic_architecture

- Eriç M. (1970). Yapı Malzemesinden Mimariye. *Mimarlık Dergisi*, 8(11): 32.
- Eriç, M. (1996). *Pişmiş Toprak Yapı Malzemesi. Yapı Fiziği ve Malzemesi*. (2. Baskı), Bursa: T. S. Yayınları, 250-267.
- Eriç, M. (2002). *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, (2. Baskı), İstanbul: Literatür Yayıncılık, 376.
- Erik, D. ve Stephen, M. (2002). Bio-inspired materials chemistry. *Advanced Materials*, 14(11), 1-14.
- Fantner, G. E., Oroudjev, E., Schitter, G., Golde, L. S., Thurner, P. and Finch, M. M. (2006). Sacrificial bonds and hidden length: unraveling molecular mesostructures in tough materials. *Biophysical journal*, 90(4), 1411–1418.
- Feng, L., Li, S., Li, Y., Li, H., Zhang, L., Zhai, J., Song, Y., Liu, B., Jiang, L., and Zhu, D. (2002). Super-hydrophobic surfaces: From natural to artificial. *Advanced Materials*, 14 (24), 1857-1860.
- Feuerstein, G., (2002). *Biomorphic Architecture: Menschen-und Tiergestalten in der Architektur: human and animal forms in architecture*. (2. Baskı), Stuttgart: Edition Axel Menges, 187.
- Franzoni E., (2011). Material selection for green buildings: which tools for engineers and architects?. *Procedia Engineering*, 21, 883-890.
- Fratzl, P. ve Weinkamer, R. (2007). Nature's hierarchical materials. *Progress in materials Science*, 52(8), 1263-1334.
- Gao, X., Yan, X., Yao, X., Xu, L., Zhang, K., Zhang, J., Yang, B. and Jiang, L. (2007). The dry-style antifogging properties of mosquito compound eyes and artificial analogues prepared by soft lithography. *Advanced Materials*, 19 (17), 2213-2217.
- Garrod R.P., Harris L.G., Schofield W.C.E., McGettrick J, Ward L.J., Teare D.O.H., Badyal J.P.S. (2007). Mimicking a Stenocara beetle's back for microcondensation using plasmachemical patterned superhydrophobic-superhydrophilic surfaces. *Langmuir*, 23(2), 689–693.
- Genzer, J., and Efimenko, K. (2006). Recent developments in superhydrophobic surfaces and their relevance to marine fouling: A review. *Biofouling*, 22 (5), 339-360.
- Goldstein, J., Newbury, D.E., Joy, D.C., Lyman, C.E., Echlin, P., Lifshin, E., Sawyer, L., and Michael, J.R. (2003). *Scanning electron microscopy and X-Ray microanalysis*. (Third Edition). New York: Springer-Verlag.
- Gruber, P. (2011). *Biomimetics in Architecture: Architecture of Life and Buildings*. New York: Springer-Verlag/Wien, 13-14.
- Guo, Z. and Yang, F. (2017). *Surfaces and Interfaces of Biomimetic Superhydrophobic Materials*, New Jersey, ABD: John Wiley & Sons, 273-371.

- Guo, Z., and Weimin, L. (2007). Biomimic from the superhydrophobic plant leaves in nature: Binary structure and unitary structure. *Plant Science*, 172 (6), 1103-1112.
- Gurera, D. and Bhushan, B. (2019). Designing bioinspired surfaces for water collection from fog. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 377 (2138), 20180269.
- Gür, N. V., (2004).Yapı kabuklarının geleceği değişkenlik ve adaptasyon ihtiyacı. CNR. 1. *Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, 36-40.
- Güzel, A. (2006). Nevşehir yöresi ponza taşlarının tuğla hammaddesi olarak değerlendirilmesi. 3. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*. 1. Baskı. İstanbul. 135-147.
- Hamilton, W.J., and Seely, M.K. (1976). Fog basking by the Namib Desert beetle, *Onymacris unguicularis*. *Nature*, 262 (5566), 284-285.
- Han, Z., Feng, X., Guo, Z., Niu, S. and Ren, L. (2018). Flourishing Bioinspired Antifogging Materials with Superwettability: Progresses and Challenges. *Advanced Materials*, 30 (13), 1704652.
- Hattap, S.E. (2002). *Doğal Taş Malzeme Koruyucuların Performans Ölçümünde Deneysel Metot Araştırması*, MSGSU, Yapı Fiziği ve Malzeme Bilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.
- Helmer, M. (2010). Biomaterials: Dew catchers. *Nature*, 463 (7281), 618.
- Hou, Y., Yu, M., Chen, X., Wang, Z. ve Yao, S. (2015). Recurrent filmwise and dropwise condensation on a beetle mimetic surface. *ACS Nano*, 9 (1), 71-81.
- Ishino, C., Reyssat, M., Reyssat, E., Okumura, K., ve Quere, D. (2007). Wicking within forests of micropillars. *EPL (Europhysics Letters)*, 79 (5), 56005.
- İnceköse, Ü., (2008). Çağdaş Mimarlık Söylemleri ve Doğabilimsel Bilgi: ‘Yeni’ Mimarlık için ‘Yeni’den’ Bilimsel Kavramlar. *Mimarlık Dergisi*, 341, 32-34.
- İnternet: Leonardo Da Vinci’ nin ornithopter tasarım eskizleri URL-1:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.thinglink.com%2Fscene%2F649387411842793474&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 18.12.2019.
- İnternet: Geko ayağı ve gekoskin kumaşlar URL-2:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fgeckskin.umass.edu%2F&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 01.08.2020.
- İnternet: Sarmaşık bitkisinin büyümesinden esinlenilerek geliştirilen Solar Ivy URL-3:
<https://asknature.org/idea/smit-solar-ivy/>, Son Erişim Tarihi: 01.08.2020.

- İnternet: What is biomimetic architecture and why it is important URL-4:
<https://architecturever.com/2019/09/07/what-is-biomimetic-architecture-and-why-it-is-important-part1/> Son Erişim Tarihi: 10.12.2019.
- İnternet: Sagrada Familia'nın ağaçlardan ilham alan taşıyıcıları URL-5:
<https://steemit.com/architecture/@snaves/biomimetic-architecture-sagrada-familia>,
 Son Erişim Tarihi: 18.12.2019.
- İnternet: Dives in Misericordia Kilisesi' nin beyaz renkli beton cephesi URL-6: <https://fr.i-nova.net/content?articleId=95311> Son Erişim Tarihi: 10.12.2019.
- İnternet: Namib çöl böceği ve Namibya Hidroloji Merkezi URL-7:
<https://asknature.org/strategy/water-vapor-harvesting/#.WqY56mrFKUk>, Son Erişim Tarihi: 10.12.2019.
- İnternet: Expo 2015 İtalyan Pavyonu ve biyodinamik beton cephesi URL-8:
<https://www.world-architects.com/en/nemesi-studio-roma/project/palazzo-italia-italy-pavilion-expo-2015>, Son Erişim Tarihi: 01.08.2020.
- İnternet: Hidroseramik Projesi URL-9: <http://www.morethangreen.es/en/hydroceramic-intelligent-walls-iaac-research-about-thermosensitivity-and-autonomous-thermal-conditioning-of-surfaces/>, Son Erişim Tarihi: 01.08.2020.
- İnternet: Hidroseramik katmanları ve hidroseramik kaplamalı bina projesi URL-10:
<https://www.designboom.com/architecture/iaac-dmic-hydroceramic-passive-cooling-system-09-18-2014/>, Son Erişim Tarihi: 01.08.2020.
- İnternet: Yapıda Ahşabın Kullanım Alanları URL-11:<https://www.ekoyapidergisi.org/5746-yapida-ahsabin-kullanim-alanlari.html>, Son Erişim Tarihi: 01.08.2020.
- İnternet: Ahşabın zararları Nelerdir? URL-12:
<http://ekerestecom.blogspot.com/2015/05/ahsabin-zararlar-nelerdir.html>, Son Erişim Tarihi: 01.08.2020.
- İnternet: Enerji Etkin Yapılarda Malzeme Kullanımı URL-13:
http://www.yesilbinadergisi.com/yayin/708/enerji-etkin-yapilarda-malzeme-kullanimi_21365.html#.XzhUvSgzY2x, Son Erişim Tarihi: 01.08.2020.
- İnternet: Ekolojik yapı sürdürülebilir yapılanma sürdürülebilir yapı malzemeleri URL-14:
https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/11670/mod_resource/content/1/Mimarlar%C4%B1k%20Bilgisi%201.1.%20Hafta%20Ekolojik%20Tasar%C4%B1m.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.08.2020.
- İnternet: Mikroskop altında görüntülenen geleneksel cam ve süperhidrofobik kaplamalı cam URL-15: <http://exposicio.cdm.es/tecnologialotus-effect.html>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: Lotusan boya URL-16: <https://www.sto.de/bionik/de/bionik/lotusan/>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: Balconano camlar URL-17: <http://www.balconano.com/HydrophobicGlass.aspx>,
Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: Balconano camlar URL-18: <https://kirhammond.wordpress.com/tag/balcony-systems/>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: Balconano camlar URL-19: <http://www.balconano.com/SelfCleaningGlass.aspx>,
Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: Lotus etkili süperhidrofobik kaplamalı ve kaplamasız camın davranışları URL-20: <https://www.hopsonglass.com/raw-materials/Self-cleaning-Glass-Easy-Cleaning-Glass.html>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: Balcanona uygulamaları URL-21: <http://www.balconano.com/Application.aspx>,
Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: Salyangoz kabuğunun mikroskobik boyuttaki görünümü URL-22: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322018000401283, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: Salyangoz kabuğunun yapısı URL-23: <https://www.japantimes.co.jp/life/2008/08/24/general/natural-by-design/#page>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: Microguard teknolojisi URL-24: <http://www.mymicroguard.com/about-us/>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: Microguard teknolojisi ile üretilen film tabakalarını çalışma prensibi URL-25: <https://inaxcaocap.vn/gach-inax-ppc.html>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: X-Terior kaplama uygulanmış bina cephesi örnekleri URL-26: <http://www.yesilyapikatalogu.com/urun/146/x-terior-dis-cephe-kaplamasi-kendini-temizleyen-binalar>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: Exchange Tower: Microguard kaplamanın cam bina cephesine uygulanması, Telecommunication Company Office: Microguard kaplamanın boya üzerine uygulanması URL-27: <https://www.lixil.co.jp/>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: StoColor Dryonic® boyanın mikroskobik yapısı URL-28: <https://www.sto.de/bionik/de/bionik/stocolor-dryonic/> Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: StoColor Dryonic özellikleri URL-29: https://www.stocorp.com/wp-content/content/Products_Marketing/Coatings/Brochures/BR_StoColor_Dryonic_EN_S934.pdf, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: SLIPS üretimi URL-30: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/pitcher-plant>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

- İnternet: Fotokatalitik aşama ve süperhidrofilik aşama URL-31:
<https://www.masterbuilder.co.in/self-cleaning-coating-solar-panel-applications/>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: Kaplamasız geleneksel seramik ve TiO₂'li süperhidrofilik seramiğin lekelenme durumları URL-32:
https://www.deutsche-steinzeug.de/en/ht/grafik/ht_broschuere_gb.pdf, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: Buğulanmayı önleyen, kendi kendini temizleyen ve parlamayan cam URL-33:
<http://news.mit.edu/2012/glare-dust-and-fog-free-glass-0426>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: Parlamaya dayanıklı kaplama URL-34: <https://www.wvpe.org/post/moth-eyes-inspire-glare-resistant-coating-cellphone-screens>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: SLIPS ve SHS' nin yüzeye buz yapışmasını önleme performansları URL-35:
<https://aizenberglab.seas.harvard.edu/slippery-icephobic-materials>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: Namib çöl böceğinden esinlenerek geliştirilen sis toplayan mesh malzeme URL-36: <https://phys.org/news/2014-05-video-harvesting-fresh-fog.html>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: Örümcek ağının yapısından ilham alan düğüm ve eklem noktalarından oluşan elyafli sis toplama ağı URL-37:
https://www.wasserstiftung.de/wpcontent/uploads/01_CloudFisher_Schwebende-Quellen.pdf, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: Warka Su Kulesi ve biyomimetik elyaf URL-38:
<http://www.warkawater.org/warka-tower-copy/>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: AquaWeb'in tasarımı URL-39:
<https://biomimicry.org/2017-ray-hope-prize-winners/>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: Termo bimetal örneği ve malzemenin çalışma prensibi URL-40:
<https://www.certifiedenergy.com.au/emerging-materials/emerging-materials-thermo-bimetals>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: Kendi kendini onaran beton URL-41:
<https://mappingignorance.org/2018/10/31/bio-inspired-self-healing-materials/#sdfootnote1sym>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: San Francisco'da bir avluda biomason tuğla montajı ve tuğlalardan oluşan bir duvar örneği URL-42: <https://www.self-healingmaterials.com/about/>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.
- İnternet: Kendinden onarımlı beton ve çatlak onarımı URL-43:
<https://civiconcepts.com/2019/11/self-healing-concrete-a-new-innovation-in-civil-engineering/>, Son Erişim Tarihi: 10.11.2019.

İnternet: Kum, bakteri ve besin maddeleri ile biomason tuğla kendi kendine tamamlanması
URL-44: <http://biomason.com/>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: BioMason'un tuğlaları çeşitli şekil ve tarzlarda oluşturulabilir URL-45:
<https://www.inc.com/kevin-j-ryan/best-industries-2016-sustainable-building-materials.html>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: Kendiliğinden tamamlanan beton URL-46:
<https://www.architerials.com/2011/12/not-quite-coral-a-new-type-of-cement-made-from-co2-and-water/trackback/index.html>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İnternet: CO₂' den yapılmış çeşitli boyutlardaki agrega, çakıl ve kum formları URL-47:
<http://www.blueplanet-ltd.com/>, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019.

İzgi, U., (1999). *Mimarlıkta Süreç, Kavramlar-İlişkiler*. (1.Baskı), İstanbul: Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları, 201, 199-200.

Jackson, A. P., Vincent, J. F. V. ve Turner, R. M., (1988). The mechanical design of nacre. *Proceedings of the Royal society of London. Series B. Biological sciences*, 234(1277), 415-440.

Jahan, R. S. ve Gupta, K. C., (1991). Parijataka-A Good Source of Dye for Woollens, *Colourage*, 38 (2), 55-56.

Jonkers, H.M. (2007). Self healing concrete: a biological approach. In *Selfhealing materials*. Dordrecht: Springer, 195-204.

Jonkers, H.M and Schlangen, E. (2008) Development of a bacteria-based self healing concrete. *Proceeding int. FIB symposium*, (Vol.1), 425-430.

Joseph, P. ve Tretsiakova-McNally, S. (2010). Sustainable non-metallic building materials. *Sustainability*, 2(2), 400-427.

Ju, J., Bai, H., Zheng, Y., Zhao, T., Fang, R. and Jiang, L. (2012). A multi-structural and multi-functional integrated fog collection system in cactus. *Nature Communications*, 3(1), 1247.

Kamalieva, R. N. ve Charkviani, R. V. (2017). Creation of ultra-light spacecraft constructions made of composite materials. *Procedia Engineering*, 185, 190-197.

Karabetça, A. R., (2015). Nature Inspired Architectural Designs: Using Biomimicry as a Design Strategy. *AIOC'15 International Conference on New Trends in Architecture and Interior Designing*, 143-151, Dubai.

Karagöz S. (2008). *Malzeme Bilgisi. Ders Notu*. Adnan Menderes Üniversitesi Aydın Meslek Yüksekokulu, 8.

- Karagüler, M. E. (2017). *Mimari Beton Uygulamaları*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Meslek içi Eğitim Seminerleri, İstanbul, URL: <http://imoistanbul.org/imoarsiv/seminer-notlari-nisan-2017/mustafa-erkan-karaguler/seminer-notlari.pdf>, Son Erişim Tarihi: 01.08.2020.
- Kartal, B. (2015). *Yapılarda ahşap kullanımı ve çağdaş yapı teknolojisinde ahşap kullanımı*, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kartal, M. (2018). *Yapıda sık kullanılan malzemelerin ekolojik olarak değerlendirilmesi*, Işık Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ke, P., Jiao, X. N., Ge X. H., Xiao, W. M., Yu, B., (2014). From macro to micro: structural biomimetic materials by electro spinning. *Royal Society of Chemistry Advances*, 4(75), 39704-39724.
- Kibert, C.J., Sendzimir, J. ve Guy, G.B., (2002). *Construction Ecology: Nature as a Basis for Green Buildings*. New York: Spon Press, 6-28.
- Kim, P., Wong, T.S., Alvarenga, J., Kreder, M.J., Adorno-Martinez, W.E. ve Aizenberg, J. (2012). Liquid-infused nanostructured surfaces with extreme anti-ice and anti-frost performance. *American Chemical Society Nano*, 6(8), 6569–6577.
- Kirman M. (Editörler). (2011). *Yapı malzemesi seçim kriterleri*. Alçider Yayınları, URL: http://www.alcider.org.tr/docs/alcidergi_Subat2011.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.21.2020.
- Koch, K., Bhushan, B., and Barthlott, W. (2009). Multifunctional surface structures of plants: An inspiration for biomimetics. *Progress in Materials Science*, 54(2), 137-178.
- Koçu, N., ve Dereli, A. G. M. (2008), Yapı cephelerini görsel yönden olumsuz olarak etkileyen sorunlar ve nedenlerin analizi. 4. *Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, İstanbul, URL: <http://catider.org.tr/pdf/sempozyum2008/b%204%20bildiri.pdf>
- Koelman, O. (2004). Biomimetic buildings understanding & applying the lessons of nature. *BioInspire*, 21.
- Kreder, M. J., Alvarenga, J., Kim, P. and Aizenberg, J. (2016). Design of anti-icing surfaces: smooth, textured or slippery?. *Nature Reviews Materials*, 1(1), 1-15.
- Krieg, O. D., (2014). *HygroSkin – Meteorosensitive Pavilion*, Institute for Computational Design, University of Stuttgart, Germany.
- Kurtoğlu, A. (1984), Kimyasal Odun Koruma Maddelerinin Çevre Sağlığına Etkileri, *Ağaç Malzemenin Korunması Semineri*, Ankara, 227– 253.
- Lafuma, A. and Quere, D. (2003). Superhydrophobic states. *Nature Materials*, 2(7), 457-460.

- Lennart Y. L., (2007). Materials selection and design for development of sustainable products. *Materials and Design*, 28(2), 466-479.
- Lewitzki, W., Schulze, H., (1999), 'Holzbau handbuch, Informationsdienst Holz, R/3T/5F/1 Holzschutz - Bauliche Empfehlungen', München, Almanya.
- Li, J., Zhu, J. and Gao, X. (2014). Bio-inspired high-performance antireflection and antifogging polymer films. *Small*, 10(13), 2578–2582.
- Liu, K. ve Jiang. L. (2011). Bio-inspired design of multiscale structures for function integration. *Nano Today*, 6(2), 155–175.
- Liu, M., Wang, S., Wei, Z., Song, Y., and Jiang, L. (2009). Bioinspired design of a superoleophobic and low adhesive water/solid interface. *Advanced Materials*, 21(6), 665-669.
- Liu, X. and Cheng, P. (2015). Dropwise condensation theory revisited Part II. Droplet nucleation density and condensation heat flux. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 83, 842-849.
- Louw, G.N. and Seely, M.K. (1980). Exploitation of fog water by a Perennial Namib dune grass, *Stipagrotis sabulicola*. *South African journal of science*, 76.
- Lökçe, S., (2001). *Kisho Kurokawa, Boyut Çağdaş Dünya Mimarları Dizisi 15*. (1.Baskı), İstanbul: Boyut Yayıncılık, 13-36.
- Lv, J., Song, Y., Jiang, L. and Wang, J. (2014). Bio-inspired strategies for anti-icing. *American Chemical Society Nano*, 8(4), 3152–3169.
- Maglic, M. J., (2012). *Biomimicry: using nature as a model for design*, Master Thesis, University of Massachusetts Amherst, Amherst. URL: <http://scholarworks.umass.edu/theses/871>, Son Erişim Tarihi: 20.07.2020.
- Mansour, H., (2010). Biomimicry A 21st Century Design Strategy Integrating With Nature In A Sustainable Way. *BUE – FISC 2010*, 12.
- Mathews, F., (2011). Towards a Deeper Philosophy of Biomimicry. *Organization & Environment*, 24(4), 364-387.
- Mazzoleni, I. (2013). *Architecture Follows Nature-Biomimetic Principles for Innovative Design*. (2. Baskı), Florida: Crc Press, 1-231.
- McDonough, W., & Braungart, M., (2002). *Cradleto Cradle – Remaking the Way We Make Things*. (1. Baskı), New York: North Point Press, 28.
- McKittrick, J., Chen, P. Y., Tombolato, L., Novitskaya, E. E., Trim, M. W., Hirata, G. A., ... & Meyers, M. A. (2010). Energy absorbent natural materials and bioinspired design strategies: a review. *Materials Science and Engineering: C*, 30(3), 331-342.
- Meadows, R. (1999). Designs from life, *Zooger*, 28, 4.

- MEB. (2012). Sanat ve tasarım-inorganik iç mekan malzemeleri, *TC. Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 34-67.
- MEB. (2013). İnşaat teknolojisi-taşın mimaride kullanımı, *TC. Millî Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 2-4.
- Meinhold, B., (2009). QatarSprouts a Towering Cactus Skyscraper. *Inhabitat*. URL: <http://inhabitat.com/qatar-cactus-office-building>, Son Erişim Tarihi: 20.07.2020.
- Melvin, J., (2005). *İzmler Mimarlığı Anlamak* (çev. M. Şahin). (1. Baskı), İstanbul: YEM Yayıncılık, 10-140.
- Mutluay, H. ve Demirak, A., (1996). *Malzeme Bilgisi*. (1. Baskı), İstanbul: Beta Basım-Yayım- Dağıtım AŞ.,
- Nasr, Y. T. A., (2017). *Using smart materials to mimic nature in architecture*. Faculty of Engineering, Alexandria University, Department of Architecture. Egypt.
- Nishimoto, S., Bhushan, B. (2013). Bioinspired self-cleaning surfaces with superhydrophobicity, superoleophobicity, and superhydrophilicity, *Royal Society of Chemistry Advances*, 3(3), 671-690.
- Nosonovsky, M., and Bhushan B. (2005). Roughness optimization for biomimetic superhydrophobic surfaces. *Microsystem Technologies*, 11 (7), 535-549.
- Okay, O., (2003). Polimerik Malzemelerin Bugünü ve Yarını, *Yapı Malzemesi Kurultayı*, İstanbul, 9.
- Onat, M., (2004), *Yapı malzemelerinin ekolojik bir yaklaşımla değerlendirilmesine yönelik bir çalışma*. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Orman, B., (2013). Art Nouveau & Gaudí: The Way of Nature. *Johnson County Community Collage Honors Journal*, 4(1), 2.
- Otitoju, T.A., Ahmad A.L., and Ooi, B.S. (2017). Superhydrophilic (superwetting) surfaces: A review on fabrication and application. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 47, 19-40.
- Özdil, S., (2007). Çelikle Sürdürülebilir Yapılaşma, *Yapı Dergisi Yapıda Ekoloji: Ekolojik Tasarım ve Sürdürülebilirlik Eki*, 312, 36-37.
- Özgür H., Gemici Z. ve Bayındır M. (2007). Akıllı Nanoyüzeyler. *Bilim ve Teknik*, 473, 52-56.
- Park, K.C., Kim, P., Grinthal, A., He, N., Fox, D., Weaver, J.C. and Aizenberg, J. (2016). Condensation on slippery asymmetric bumps. *Nature*, 531(7592), 78-82.
- Parker, A.R., and Lawrence, C.R. (2001). Water capture by a desert beetle. *Nature*, 414, 33-34.

- Patrick, J. F., Hart, K. R., Krull, B. P., Diesendruck, C. E., Moore, J. S., White, S. R., and Sottos, N. R. (2014). Continuous self-healing life cycle in vascularized structural composites. *Advanced Materials*, 26(25), 4302–4308.
- Pawlyn, M. (2011). *Biomimicry in Architecture*. (1. Baskı), Marylebone: RIBA Publishing, 9-35.
- Pawlyn, M., (2015). *Using nature's genius in architecture*. URL: https://www.ted.com/playlists/28/sustainability_by_design, Son Erişim Tarihi: 20.07.2020.
- Pekdemir, A. D. (2019). *Teknik seramikler*, URL: https://www.researchgate.net/publication/331993533_teknik_seramikler, Son Erişim Tarihi: 20.08.2020.
- Peker, H. (1998). *Mobilya üst yüzeylerinde kullanılan verniklere emprenye maddelerinin etkileri*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Trabzon.
- Pele, M. ve Cimpeanu, C. (2012). *Biotechnology: an introduction*. (1. Baskı), Southampton: WIT Press. 21-33.
- Pereira, V. M. (2013). *Arquitetura Biônica, narrativas de analogias biológicas na Arquitetura*. Repositório Aberto da Universidade do Porto, Faculdade de Arquitetura FAUP, Dissertação (Yüksek Lisans Tezi), Porto.
- Pereira, P. M. M., Monteiro, G., A., Prazeres D., M., F., (2015). *General aspects of biomimetic materials- Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering*. (1. Baskı), Cham: Springer, 57-79.
- Pohl, G., (2006). Konstruktive Architektur: Leicht und Weit. In: B. Baier (ed.). Reichweiten – Leichte Konstruktionen. 5. *Interdisziplinäres Symposium Essen für konstruktive Gestaltung*. Verlag der Universität Duisburg-Essen, 69–93.
- Pohl, G., ve Nachtigall, W., (2015). *Biomimetics for Architecture & Design: Nature-Analogies - Technologies*. (1. Baskı), Cham: Springer, 28.
- Pohl, G., Speck, T., Speck, O. ve Pohl, J. (2010). The role of textiles in providing biomimetic solutions for construction. In *Textiles, Polymers and Composites for Buildings*, Cambridge: Woodhead Publishing, 310–329.
- Portoghesi, P., (2000). *Nature and Architecture*. Milano: Skira Editore., 4-500.
- Radwan, G.A.N. ve Osama, N. (2016). Biomimicry, an approach, for energy efficient building skin design. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 69-82.
- Ramachandran, R. and Nosonovsky, M. (2014). Surface micro/nanotopography, wetting properties and the potential for biomimetic icephobicity of skunk cabbage *Symplocarpus foetidus*. *Soft Matter*, 10(39), 7797–7803.

- Rankouhi, A. (2012). Naturally inspired design investigation into the application of biomimicry in architectural design, Graduate School Department of Architecture, The Pennsylvania State University, Master Thesis.
- Reap, J., Baumeister, D., ve Bras, B., (2005). Holism, biomimicry and sustainable engineering. *ASME International Mechanical Engineering Conference and Exposition*, (Vol. 42185), Orlando, USA, 423-431.
- Rian, I. M. ve Sassone, M. (2014). Tree-inspired dendriforms and fractal-like branching structures in architecture: A brief historical overview. *Frontiers of Architectural Research*, 3(3), 298-323.
- Roth-Nebelsick, A., Ebner, M., Miranda, T., Gottschalk, V., Voigt, D., Gorb, S., Stegmaier, T., Sarsour, J., Linke, M. and Konrad W. (2012). Leaf surface structures enable the endemic Namib desert grass *Stipagrostis sabulicola* to irrigate itself with fog water. *Journal of the Royal Society Interface*, 9 (73), 1965-1974.
- Russell, J. A. (2004). *Evaluating the sustainability of an ecomimetic energy system: An energy flow assessment of South Carolina*. University of South Carolina, Doctoral dissertation, Carolina.
- Ryerson, C. C. (2008). Assessment of superstructure ice protection as applied to offshore oil operations safety: problems, hazards, needs, and potential transfer Technologies. *Report No. ERDC/CRREL TR-08-14, US Army Corps of Engineers*.
- Sarsour, J., Stegmaier, T., Linke, M., Max, H. and Planck, F. (2010). Bionic development of textile materials for harvesting water from fog. *5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*.
- Selçuk, S., A., (2009). *Proposal for a Non- Dimensional Parametric Interface Design in Architecture: A Biomimetic Approach*. The Degree of Doctor of Philosophy, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Selçuk, S. A. ve Sorguç, A.G. (2007). Mimarlık tasarımı paradigmasında biomimesis'in etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No 2*, 451-459.
- Seramik (1997), Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi, İstanbul: *Yem Yayınları*, III.Cilt, 1634-1635.
- Sethi, S. K., and Manik, G. (2018). Recent progress in super hydrophobic/hydrophilic self-cleaning surfaces for various industrial applications: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 57(18), 1932-1952.
- Sev, A., Gür, V. ve Özgen, A., (2003). Cephnenin vazgeçilmez saydam malzemesi cam, *2.Ulusal Yapı Malzemeleri Kongresi*, İstanbul, 75-86.
- Sezer F. Ş., (2005). Farklı Cam Türlerinin Performans Kriterlerinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 10, Sayı 1, 15-21.

- Shimomura, M. (2010). The New Trends In Next Generation Biomimetics Material Technology: Learning From Biodiversity, *Quarterly Review*, 37, 53-75.
- Si, Y., Dong, Z., and Jiang, L.(2018). Bioinspired designs of superhydrophobic and superhydrophilic materials. *American Chemical Society central science*, 4 (9), 1102-1112.
- Sirohia, G. K. and Dai, X. (2019). Designing air-independent slippery rough surfaces for condensation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 140, 777–785.
- Singh, A. ve Nayyar, N., (2015). Biomimicry-an alternative solution to sustainable buildings, *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, 2 (14), 96-101.
- Slessor, C., (1998). *Glass Evolution (Use of Glass in Architecture, Architectural Review)*. May 1998, URL: www.findarticles.com/, Son Erişim Tarihi: 22.02.2020.
- Snoeck, D., van Tittelboom, K., Steuperaert, S., Dubruel, P., de Belie, N. (2012). Self-healing cementitious materials by the combination of microfibres and superabsorbent polymers. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 25(1), 13-24.
- Speck, T., Bauer, G., Flues, F., Oelker, K., Rampf, M., Schuessele, A., Mülhaupt, R. and Spect, O. (2013). *Bio-inspired self-healing materials, Materials Design Inspired by Nature: Function through Inner Architecture*. (1. Baskı), Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 359-388.
- Speck T., ve Speck O., (2008). Process sequences In Biomimetic Research. *Design and Nature IV*, 114, 3-11.
- Spiegelhalter, T., & Arch R., (2010). Biomimicry and circular metabolism for the cities of the future. *The Sustainable City VI: Urban regeneration and sustainability*, 129, 215-226.
- Steadman, P., (2008). *The Evolution of Designs: Biological Analogy in Architecture And the Applied Arts*. (A Revised Edition), Oxon: Routledge, 31-54.
- Sun, X., Damle, V. G., Liu, S. and Rykaczewski, K. (2015). Bioinspired stimuli-responsive and antifreeze-secreting anti-icing coatings. *Advanced Materials Interfaces*, 2 (5), 1400479.
- Sun, Z., Liao, T., Liu, K., Jiang, L., Kim, J. H. and Dou, S. X. (2014). Fly-eye inspired superhydrophobic anti-fogging inorganic nanostructures. *Small*, 10(15), 3001–3006.
- Sutha, S., Suresh S., Raj B., and Ravi K.R. (2017). Transparent and water repellent aluminium oxide thin films for solar panel cover glass applications. *Solar cells and Solar energy materials*, 165, 128-137.

- Syafiq, A., Rahim, N.A., Vengadaesvaran, B., and Pandey, A.K. (2018). Superior self-cleaning glass through hydrophobic and superhydrophilic coating for outdoor applications. *International Conference on Clean Energy and Sustainable Technology 2018*, 144672.
- Syafiq, A., Vengadaesvaran, B., Pandey, A.K., and Abd Rahim, N. (2018). Superhydrophilic smart coating for self-cleaning application on glass substrate. *Journal of Nanomaterials 2018*, 6412601.
- Şahmaran, M. (2017). *Üzerinde meydana gelecek hasarları kendiliğinden iyileştirme kabiliyetine sahip yeni nesil esnek beton*, İleri İnşaat Mühendisliği Malzeme Araştırma Laboratuvarı, İnşaat Mühendisliği Bölümü Gazi Üniversitesi, URL: http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/061cbc0f96f2068_ek.pdf?tipi=79&turu=X&sube=3, Son Erişim Tarihi: 20.08.2020.
- Tay, J. ve Show, K. (1999). Reclamation of wastewater sludge as innovative building and construction materials, *R'99 Congress*.
- Tiarks F., Frechen, T., Kirsch, S., Leuninger, J., Melan, M., Pfau, A., Richter, F., Schuler, B., Zhao, C. (2003), Formulation effects on the distribution of pigment particles in paints. *Progress in Organic Coatings*, 48(2-4), 140–152.
- Timellini, G. Ve Palmonari, C. (1989). *Ceramic floor and wall tile: performance and controversies*. (2. Baskı), Sassuolo: EdiCer, 164.
- Toplan Ö. (2008). Geleneksel Seramikler, *Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Lisans Ders Notları*.
- Tuncel, S. 1998. *Cephe kaplama malzemesi olarak tuğlanın betonarme karkas yapı dış duvarlarına uygulanması ve yağmur suyu etkilerinin araştırılması*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Yayınları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ullah, M.W., Shi, Z., Manan, S. ve Yang, G. (2018). Introduction to Science and Engineering Principles for the Development of Bioinspired Materials. *Bioinspired Materials Science and Engineering*, 1-16.
- Van Tittelboom, K. and De Belie, N. (2013). Self-healing in cementitious materials-a review. *Materials*, 6 (6), 2182-2217.
- Vincent, J. F. V. (2008). Biomimetic materials. *Journal Materials Research*, 23 (12), 3140–3147.
- Vincent, J. F. V., Bogatyrev, O., Pahl, A.-K., Bogatyrev, N. R. & Bowyer, A., (2005). Putting biology into TRIZ: a database of biological effects. *Creativity and Innovation Management*, 14(1), 66-72.
- Vincent, J., Bogatreva O., Bogotrev N., Bowyerand A., & Pahl A., (2006). Biomimetics – its practice and theory. *Journal of the Royal Society Interface*, 3(9), 471-482.

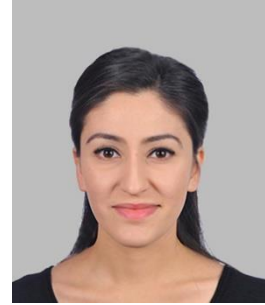
- Wahl, D.C. (2006). Bionics vs. biomimicry: from control of nature to sustainable participation in nature. *Design and nature III: comparing design in nature with science and engineering*, 87, 289–298.
- Wang, S., Liu, K., Yao, X., and Jiang, L. (2015). Bioinspired surfaces with superwettability: New insight on theory, design, and applications. *Chemical Reviews*, 115 (16), 8230-8293.
- Wang, Y., Zhang, L., Wu, J., Hedhili, M.N., and Wang, P. (2015). A facile strategy for the fabrication of a bioinspired hydrophilic–superhydrophobic patterned surface for highly efficient fog-harvesting. *Journal of Materials Chemistry A*, 3 (37), 18963-18969.
- Wegst, U. G. K., & Ashby, M. F., (2004). The mechanical efficiency of natural materials. *Philosophical Magazine*, 84(21), 2167-2186.
- Wen, G., Guo, Z., and Liu, W. (2017). Biomimetic polymeric superhydrophobic surfaces and nanostructures: From fabrication to applications. *Nanoscale*, 9 (10), 3338-3366.
- Wenzel, R.N. (1936). Resistance of solid surfaces to wetting by water. *Industrial & Engineering Chemistry*, 28 (8), 988-994.
- Vollrath, F., Madsen, B., & Shao, Z., (2001). The effect of spinning conditions on the mechanics of a spider's dragline silk. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 268(1483), 2339-2346.
- Wong, T.S., Kang, S.H., Tang, S.K.Y., Smythe, E.J., Hatton, B.D., Grinthal, A., and Aizenberg, J. (2011) Bioinspired self-repairing slippery surfaces with pressure-stable omniphobicity. *Nature*, 477 (7365), 443–447.
- Xia, Z., (2016). *Biomimetic Principles and Design of Advanced Engineering Materials*, (1. Baskı), New Jersey: John Wiley&Sons, Ltd., 1-12.
- Yaman, M. ve Sarıcıoğlu, P. (2017). Yapı Malzemesi Olarak Camın Performans Kriterlerinin İrdelenmesi. *II. International Academic Research Congress*, 889-896.
- Yang, Y., Song, X., Li, X., Chen, Z., Zhou, C., Zhou, Q., and Chen, Y. (2018). Recent progress in biomimetic additive manufacturing technology: from materials to functional structures. *Advanced Materials*, 30 (36), 1706539.
- Yedekçi, G. (2015). *Doğayla Tasarlamak Biyomimikri ve Geleceğin Mimarlığı*.(1. Baskı), İstanbul: Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, 1-200.
- Zari, M. P. (2007). Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability. In *The Sustainable Building 07 New Zealand Sustainable Building Conference*, 1-10.
- Zari, M., ve Storey, J. B., (2007). An ecosystem based biomimetic theory for a regenerative built environment. *Lisbon Sustainable Building Conference 07*. URL: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB11734.pdf>, Son Erişim Tarihi: 02.06.2020.

- Zhao, J., Song, L. and Ming, W. (2017). Antifogging and frost-resisting polymeric surfaces. In *Contamination Mitigating Polymeric Coatings for Extreme Environments*, Springer, 185-214.
- Zheng, Y., Bai, H., Huang, Z., Tian, X., Nie, F.Q., Zhao, Y., Zhai, J. and Jiang, L. (2010). Directional water collection on wetted spider silk. *Nature*, 463 (7281), 640-643.
- Zhou, C. C., Yin, G. F., & Hu, X. B., (2009). Multi-objective optimization of material selection for sustainable products: artificial neural networks and genetic algorithm approach. *Materials and Design*, 30 (4), 1209-15.
- Zhu, H., Guo, Z., and Liu, W. (2016). Biomimetic water-collecting materials inspired by nature. *Chemical Communications*, 52 (20), 3863-3879.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILDIRIM, Sıla
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 08.06.1992, Trabzon
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0 (545) 264 60 69
e-mail : sla.yldrm92@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık	Devam Ediyor
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi/ Mimarlık	2016
Lise	Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	TCDD Genel Müdürlüğü	Devam Ediyor

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- 1.Yıldırım, S. (2019). Building Material Usage Criteria in The Context of Biomimetric Approaches *4th Eurasian Conference on Civil and Environmental Engineering (ECOCEE) Konferansı*, İstanbul.

Hobiler

Yüzme, Resim



GAZİ GELECEKTİR..