



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**MİMARİDE ‘BİÇİM ÜRETME’ SÜRECİNDE
‘BİYOMİMİKRİ’ YAKLAŞIMININ
İNCELENMESİ**

Taha Şenol YILMAZ

YÜKSEK LİSANS

Mimarlık Anabilim Dalı

Ocak-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Taha Şenol YILMAZ tarafından hazırlanan “Mimaride ‘Biçim Üretme’ Sürecinde ‘Biyomimikri’ Yaklaşımının İncelenmesi” adlı tez çalışması 25/12/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç.Dr. Fatih CANAN

.....

Danışman

Doç.Dr. Bilgehan YILMAZ ÇAKMAK

.....

Üye

Doç.Dr. H. Derya ARSLAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Taha Şenol YILMAZ

Tarih: 13.01.2021



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİMARİDE ‘BİÇİM ÜRETME’ SÜRECİNDE ‘BİYOMİMİKRI’ YAKLAŞIMININ İNCELENMESİ

Taha Şenol YILMAZ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı**

Danışman: Doç.Dr. Bilgehan YILMAZ ÇAKMAK

2021, 76 Sayfa

Jüri

**Doç.Dr. Bilgehan YILMAZ ÇAKMAK
Doç.Dr. Fatih CANAN
Doç.Dr. H. Derya ARSLAN**

Doğa, içerisinde bulunduğu bütün canlılarla ve etkileşimi bulunan bütün türlerle beraber kusursuz bir döngü içerisinde. Bu döngü canlıların ekosisteme faydalı olarak yaşamsal faaliyetlerini sürdürdüğü, geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik ilkelerine uygun, ihtiyaçlarını karşılayabildiği, bunu yaparken doğaya ve çevresine zarar vermediği bir döngüdür. Her canlıda olduğu gibi insanda da hayatta kalma, yaşamsal faaliyetlerini idame ettirebilme yetisi vardır. Bunların başında, geçmişten bugüne insanların en temel ihtiyaçlarından olan beslenme, barınma, giyinme gibi fonksiyonlar gelir. Doğayı gözlemleyerek problemlere cevap vermek, doğanın yaptığı tasarımları incelemekle, gözlemlemekle başlamıştır. Henüz bebeklikten başlayan taklit ederek öğrenme ihtiyacımız doğada hemen her canlıda bulunan bir özelliktir. Canlılar yaşamlarını devam ettirebilmek için doğayı gözlemlemeli, ihtiyaçlarını tespit etmeli, sorunlarına çözüm aramalıdır. Biyomimikri insanların bilinçli veya bilinçsiz olarak kullandıkları bir yöntemdir. İzleyerek öğrenme, problemlere doğa temelli cevap verme yaşamın doğal bir sonucudur. Gündelik hayatta olduğu gibi mimaride ve tasarımda da tasarımcılar bazı problemlerle karşılaşmaktadırlar. Araştırmada karşılaşılan problemlere doğa temelli çözümler bulunması noktasında tasarımcılara ilham olması hedeflenmiştir. Gerek biçimsel, gerek işlevsel, gerekse farklı alanlarda biyomimikriden faydalanılmış, çözülemeyen birçok probleme cevap bulunmuştur. İyi bir doğa gözlemcisi olan mimarlar ve tasarımcılar, tasarım ve inşa sürecinde doğanın kullandıkları yöntemleri keşfedip, elde ettikleri bulguları tasarımlarında uygulamışlardır. Öyle ki günümüzde tasarımcılara danışmanlık yapmak, ilham vermek ve tasarım süreci ile doğayı buluşturmak amacıyla kurulmuş biyomimikri ofisleri mevcuttur. Teknoloji faktörü biyomimikrinin kullanım kapasitesini de doğru orantılı olarak etkilemiştir. 21.yy’da gerek gözlem imkanları gerekse de gözlemlenen sonuçları uygulanması çeşitlenmiştir. Çalışmada yöntem olarak doğanın refleksleri ve karşılaştığı problemlere verdiği cevaplar araştırılmış, ayrıca tasarımcıların ilham alarak uyguladığı yapı ve tasarımlar incelenmiştir. Bu durum problemlerin çözümlerine yeni kapı aralamıştır. Ayrıca çalışma içerisinde biyomimikrinin ilk dönemlerden günümüze kadar gelen süreçteki kullanım alanları araştırılmış, mimari tasarıma olan etkisi örneklerle desteklenerek incelenmiş, biçim konusu başta olmak üzere işlev ve renk adı altında uygulanmış veya uygulanmamış örnekleri araştırılmıştır. Elde edilen veriler, bir tablo ile sunulacak gelecek çalışmalar için tasarım ve biyomimikri türü ilişkisine dayanan bir altlık oluşturmuştur.

Anahtar Kelimeler: Doğa, Çözüm, Uyum, Tasarım, Mimari, Biyomimikri

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE 'BIOMIMICRY' APPROACH IN THE 'SHAPE GENERATION' PROCESS IN ARCHITECTURE

Taha Şenol YILMAZ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Architecture**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Bilgehan YILMAZ ÇAKMAK

2021, 76 Pages

Jury

Assoc.Prof.Dr. Bilgehan YILMAZ ÇAKMAK

Assoc.Prof.Dr. Fatih CANAN

Assoc.Prof.Dr. H. Derya ARSLAN

Nature is in a flawless cycle with all living things and all the species that interact. This cycle is a cycle in which living things continue their vital activities beneficial to the ecosystem, meet their needs in accordance with the principles of recycling and sustainability, and while doing this, do not harm the nature and its environment. As in every living thing, human beings have the ability to survive and maintain their vital activities. The most important of these are functions such as nutrition, shelter and clothing, which are among the most basic needs of people from past to present. Responding to the problems by observing nature started with examining and observing the designs made by nature. Our need to learn by imitation, which started from infancy, is a feature found in almost every living thing in nature. Living things must observe nature, identify their needs and seek solutions to their problems in order to survive. Biomimicry is a method that people use consciously or unconsciously. Watching learning, nature-based responses to problems are a natural consequence of life. As in everyday life, designers encounter some problems in architecture and design. It is aimed to inspire designers to find nature-based solutions to the problems encountered in the research. Biomimicry has been utilized in both formal, functional and different fields, and answers have been found for many unsolved problems. Architects and designers who are good observers of nature have discovered the methods used by nature in the design and construction process and applied the findings they obtained in their designs. So much so that today there are biomimicry offices established to provide consultancy and inspiration to designers and to bring the design process and nature together. The technology factor also directly affected the utilization capacity of biomimicry. In the 21st century, both the observation facilities and the implementation of the observed results have diversified. In the study, the reflexes of nature and its responses to the problems faced were investigated as a method, and the structures and designs that the designers applied with inspiration were examined. This situation has opened a new door to the solutions of the problems. In addition, the usage areas of biomimicry from the earliest periods to the present were investigated, the effect of biomimicry on architectural design was examined by supporting examples, and examples of applied or not applied under the name of function and color, especially the subject of form, were investigated. The data obtained were presented in a table and formed a base for future studies based on the relationship between design and biomimicry type.

Keywords: Nature, Solution, Harmony, Design, Architectural, Biomimicry

ÖNSÖZ

Çalışmanın konu belirleme aşamasından tamamlanmasına kadar gelen süreçte, benden desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren, tezimin gelişime katkı sağlayan kıymetli danışmanım Doç.Dr. Bilgehan YILMAK ÇAKMAK'a teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca büyük emek sarf eden, tecrübe ve enerjileri ile bana katkı sağlayan ve yazmakla ifade edilemez büyüklükte yardımları olan aileme, tez araştırma sürecimde bilgisi ile bana katkı sağlayan Arş. Gör. Elif Merve ERTURAN'a ve çalışmam boyunca bana destek olan Aynur YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Taha Şenol YILMAZ
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Önemi	1
1.2. Tezin Kapsamı	2
1.3. Materyal ve Yöntem	2
2. BİYOMİMİKİRİ KAVRAMI	4
2.1. Biyomimikri Kavramı Öncesi Uygulamalar.....	4
2.1. Biyomimikri Kavramının Tanımı ve Etimolojisi.....	9
2.1.1. Biyomimikri Kavramının Prensipleri	10
2.2. Biyomimikri Kavramının Olgunlaşma Süreci	10
2.2.1. Biyomimikri Kavramının Ortaya Çıkışı	11
2.2.2. Biyomimikri Kavramına Tarihsel Bakış	12
2.4. Biyomimikrinin Önemi.....	17
2.4.1. Biyomimikrinin Hedefleri.....	19
2.5. Biyomimikriye Etki Eden Bilim Dalları	25
2.5.1. Biyomekanik.....	25
2.5.2. Biyomimetik	27
2.5.3. Biyonik.....	28
2.5.4. Robotik.....	29
2.5.6. Tıp.....	30
2.6. Biyomimikri ve Doğa İlişkisi	31
3. BİYOMİMİKİRİ VE TASARIM.....	33
3.1. Biyomimikride Kullanılan Örüntü Çeşitleri	36
3.1.1. Geometrik Örüntüler	36
3.1.2. Fonksiyonel Örüntüler	38
3.2. Biyomimikride Kullanılan Tasarım Yöntemleri.....	39
3.2.1. Biçimsel Biyomimikri.....	40
3.2.2. Fonksiyonel Biyomimikri	41
3.2.3. Dokusal Biyomimikri	42
3.2.4. Renk Biyomimikrisi.....	43
3.2.5. Malzeme ve Strüktür Biyomimikrisi	45
4. BİYOMİMİKİRİ MİMARLIK İLİŞKİSİ VE ÖRNEKLERİ	48

4.1. Mimari Tasarımlarda Biyomimikri Örnekleri	48
4.2. 21.yy’da Biyomimikri Örnekleri	59
5. MİMARİDE BİYOMİMİKİRİ ÇALIŞMALARINDAN BİÇİMSEL ÇIKARIMLAR	62
6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	76



SİMGELER VE KISALTMALAR

TED: Technology Entertainment Design

DNA: Deoksiribo Nükleik Asit

ETFE: Etilen Tetrafluroetilen



1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Doğa milyonlarca yıldır kendi karşılaştığı problemlerine cevap verebilmekte ve bunu yaparken ekosisteme zarar vermemektedir. Canlılar kendi içlerinde ihtiyaçları nispetince bir döngü kurmuşlardır. Ve bu döngü, tarihin en başından bu yana kusursuz bir şekilde işlemektedir. Bu döngüde hiçbir şey gerektiğinden fazla ve eksik değildir. Çevreye duyarlı ve sürdürülebilirdir. Canlılar gündelik hayatlarında karşılaştığı problemlere birçok farklı yöntemle çözümler geliştirmişlerdir. Zaman içerisinde bulunan çözümlerde başkalaşımalar olsa da, çözme mantığı hep aynı kalmıştır.

Doğa insanlar için daima bir öğretmen olmuştur. İnsanlar ilk çağlardan bu yana temel ihtiyaçları olan barınma, giyinme, beslenme gibi birçok alanda doğaya başvurarak çözüm geliştirmiştir. Barınaklarını hayvanların nasıl yaptığına bakarak yapmış, avlarını hayvanlardan ve doğadan kazandıklarıyla avlamışlardır.

Biyomimikri doğayı incelemeyi ve doğadan öğrenmeyi, öğrendiklerimizi nasıl uygulayabileceğimizi bize gösterir. Teknoloji faktörü ile zaman içerisinde biyomimikri kavramının uygulama alanı ve metodu da gelişim göstermiştir.

Tarih öncesinde henüz kavramlaşmamışken, biyomimikri yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Bilinçli veya bilinçsiz olarak birçok örneği mevcuttur.

Araştırma içerisinde biyomimikri kavramı anlatılmış ve örneklerle desteklenmiştir. Doğanın bize verdiği sınırsız imkan ve bu imkanların tasarım sürecine nasıl aktarılabilceği incelenmiştir. Bu sayede doğa referanslı tasarımların sürdürülebilirliğine, ekosistemle arkadaş yapısına dikkat çekilmek istenmiştir. Tasarımcıların, sadece mimarların değil, problemlere doğa referanslı çözümler üretmesiyle neleri başarabilecekleri örnekler üzerinden desteklenerek açıklanmıştır.

Tezde bu süreç biyomimikrinin birçok farklı alanı ve mimari sınıf üzerinden araştırılmış, böylece bu yöntemin kullanımı açısından farklı alanlarda tasarımcıların başardığı sonuçlar aktarılmıştır.

Biyomimikrinin farklı yöntemlerle olan ilişkisi üzerinden mimari tasarım ve biçim üretme süreci ile kesişen noktaları tespit edilmiş ve bir sınıflandırma yapılarak araştırma ve kullanma aşamasının kolaylaştırılması amaçlanmıştır.

1.2. Tezin Kapsamı

Biyomimikrinin kapsamı bütün doğa ve doğa üzerinde yaşayan bütün canlılardır. Tezde ise, biyomimikri kavramı, tasarım yaklaşımları ve biçimsel analizler araştırılmıştır ve örneklerle desteklenmiştir.

Biyomimikri, tasarım ve biçim üretme yaklaşımı anlatılırken;

Biyomimikri Kavramı başlığı adı altında; Biyomimikrinin kavramlaşmadan önceki uygulamaları, tanım ve etimolojisi, kavramın prensipleri, oluşum ve tarihsel süreci, kavramın ortaya çıkışı, biyomimikrinin önemi, hedefleri, etki ettiği bilim dalları ve doğa ile olan kusursuz ilişkisi incelenmiştir.

Biyomimikri ve Tasarım başlığı adı altında; Biyomimikrinin tasarım sürecine katkıları incelenmiştir. Bu kapsamda biyomimikri yönteminde kullanılan doğa temelli örüntü çeşitlerine yer verilmiştir. Biyomimikrinin kendi içerisinde sınıflandığı ve tasarlama sürecinde kullanıldığı birimleri araştırılmıştır ve örnekler üzerinden aktarılmıştır.

Biyomimikri Mimarlık İlişkisi ve Örnekleri başlığı adı altında; Mimari tasarımda Biyomimikrinin yönteminin kullanıldığı örnekler araştırılmıştır. Biyomimikrinin farklı yöntemlerle uygulandığı örnekler incelenmiştir. Mimari tasarımlarda biçim üretmek için kullanılan biyomimikri yöntemleri ve tasarımcılar araştırılmıştır.

Mimaride Biyomimikri Çalışmalarından Biçimsel Çıkarımlar başlığı adı altında; Tez içerisinde araştırılmış olan bütün sınıfların değerlendirildiği bir çizelge oluşturulmuştur. Bu çizelge biçim, işlev ve renk başlıkları adı altında toplanmıştır. Mimari sınıf ve biyomimikri yöntemi eşleştirilmiş, uygulama üzerine geçirilmiş veya tasarım aşamasında bırakılmış olan yapıların sınıflandırılması yapılmıştır. Literatür araştırmalarında elde edilen fakat uygulamaya geçirilemeyen örneklerde incelenerek tabloya eklenmiştir.

1.3. Materyal ve Yöntem

Tez çalışmasında tercih edilen yöntem kapsamlı olarak yapılan literatür taramasıdır. Biyomimikri yöntemi literatüre yakın tarihte kaydedilmiştir. Literatüre girmesinden sonra araştırmacıların ilgisini daha fazla çekmiş ve danışmanlık hizmeti

almaya başlamışlardır. Bir yöntem olarak isimlendirilmeden önce de bilinçsiz olarak kullanılan pek çok örneği mevcuttur.

Çalışmada yurt içi ve yurt dışında biyomimikri üzerine yazılmış olan kitap, makaleler ve tezler incelenmiştir. Konu üzerinde yapılan sempozyum ve konferanslar araştırılmıştır. Ayrıca web temelli birçok kaynaktan örnekler alınmıştır. Dünyada biyomimikri ile özdeşleşen bilim insanlarının konuşmaları incelenmiş, tasarımcıların yapıları araştırılmıştır.

Ülkemizde konu ile ilgili yayımlanan bütün yüksek lisans ve doktora tezleri incelenmiştir.

Elde edilen bütün veriler neticesinde kapsamlı bir tarama yapılmış ve literatür çalışması belli başlıkların altında sınıflandırılmıştır. Bu başlıklar biçim, işlev ve renk başlıklarıdır. Bu üç ana başlık adı altında kullanılan biyomimikri örnekleri literatür çalışmaları sırasında ayrıştırılmıştır. Sınıflandırma yapılırken tüm literatür çalışmasından örnekler alınmış, günümüzde yaşayan ve geçmişte yaşamış tasarımcıların yapmış olduğu yöntemler incelenmiştir.

2. BİYOMİMİKRI KAVRAMI

Tarihsel süreçte yapılan taklit emsalleri incelendiğinde, insanoğlunun doğadan ve canlılardan görmüş olduklarını kendisi için nasıl yararlı hale getirdiği anlaşılmaktadır. Roma döneminde kullanılmış olan bazı savaş ve savunma araç-gereçlerinin doğadan esinlenerek yapıldığı düşünülmektedir. Romalılar Armadillo isminde ki bir hayvanın dış kabuğundan esinlenerek, bu tasarımı kendi savunma mekanizmalarına uyarlamışlardır. Bu durum biyomimikri kavramının ortaya çıkışından önce de insanların doğadan esinlendiğini, ihtiyaçlarına cevap vermek kaydı ile doğadan esinlenmeler yaptığını göstermektedir. Marcus Vitruvius Pollio'nun Scorpio adındaki mancınığının geliştirilmesinde, bir akrebin kuyruğundan esinlenildiği belirtilmektedir (Kuday, 2009).

Doğa, tasarıma yön verebilecek çapta sonsuz bir bilgi deposudur ve dünyanın en iyi tasarımcısıdır. Biyomimikri ise tasarımcıların doğadaki gözlemlerini ve doğanın prensiplerini öğrendiği bir metottur. Biyomimikri esasen doğanın kendine özgü dilini tasarımcıya tercüme eden bir araçtır. Doğa var olduğundan bu yana insanların yaşamlarına katkı sağlamak istediğinden dolayı, insanların esinlendiği ve ilham aldıkları bir kaynak olmuştur (Bar-Cohen, 2006).

2.1. Biyomimikri Kavramı Öncesi Uygulamalar

İnsanın yaşamını idame ettirebilmesi için karşılaması gereken ihtiyaçlarının başında barınma, kendini dış etkenlere karşı koruma ve doğa şartlarına karşı savunma vardır. İlk çağlardan bu yana insanlar giyinme ihtiyaçlarını karşılamak için farklı çözüm yolları aramış ve geliştirmiştir. Bunların başında hayvanların derilerinden yapılan kürkler, ağaç yaprakları veya kabukları, hayvan kemikleri gelmektedir. İnsan bedeni doğanın şartlarına gerekli uyumu gösteremediğinde, yine doğadan aldıkları malzemelerle bedenlerini doğa şartlarına karşı savunmuşlardır. Günümüze kadar gelen süreçte, geçmişten bu yana bulunan ilk dikiş iğnesinin yaklaşık olarak 30.000 yıl öncesine ait olduğu düşünülmektedir ve hayvan kemiğinden yapıldığı tespit edilmiştir (Şekil 2.1.). Canlıların yaşamlarını sürdürdüğü bölge şartlarına göre uzuvları gelişmiştir ancak insanda bu durum söz konusu olmamıştır. Bu yüzden insanlar çevrelerindeki malzemeleri ihtiyaçlarına uygun olarak kullanmayı ve geliştirmeyi öğrenmişlerdir (Kuday, 2009).



Şekil 2.1. Günümüze kadar bulunmuş olan ilk dikiş iğnesi (Eğilmez, 2015)

Giyinme ihtiyacı bölgesel ve yöresel olarak farklılık göstermiştir. Soğuk bölgelerde yaşayan insanların giyinme ihtiyacı hayatta kalabilmeleri için zaruri haldedir. İnsanlar fiziksel bir sebep olan soğuktan korunmak amacını gidermek, her türlü hava şartına karşı hayatta kalabilmek için de giyinmişlerdir. Gezegenimizde yaşayan diğer canlı türleri düşünüldüğünde, insan vücudunu korumak için kendi başına diğer canlılara göre daha az yeter durumdadır. İnsan vücudu yaratılışı gereği belli bir ısı ortalamasında yaşamak zorundadır. Bu ortalamanın altına düşmesi veya üstüne çıkması insanın hayatta kalmasını olanaksız hale getirmektedir. İnsan, vücudunun ortalama ısı aralığına uygun olması için, doğadan yardım almıştır. Eski zamanlarda insanların giyinme ihtiyacını gidermek için avladıkları hayvanların derilerini (Şekil 2.2.) giydikleri bilinmektedir (Kuday, 2009).



Şekil 2.2. Temsili olarak eski zamanlarda insan kıyafeti (Navarro, 2013)

Biyomimikrinin ismini alarak kavramlaşma sürecinden önce de bilinçli veya bilinçsiz olarak uygulamaları olduğu örneklerle anlatılmıştır. İnsan ilk çağlardan bu yana doğadan öğrenme eğiliminden hiç vazgeçmemiştir. Savunmadan saldırıya, barınmadan giyinmeye, yaşamını idame ettirebilecek her türlü fonksiyonda doğayı izleyip öğrenmeyi bir yöntem olarak uygulamıştır. Uçma eylemi gibi çağ ötesi eylemleri keşfetmeye çalışırken yine doğadan esinlenmiş ve taklit etmiştir.

İnsanların yaşadıkları ortamın gerektirdiklerinden biride yırtıcı hayvanlara karşı korunmak ve savunmaktır. Yaratılış gereği yırtıcı hayvanlarda var olan keskin diş, sivri pençe gibi uzuvlar, insanlarda bulunmamaktadır. İnsanlar bu ihtiyaçlarını giderebilmek için taşları oyarak veya hayvanların kemiklerini kullanarak, kendilerine yırtıcı hayvanların sahip olduğu gibi diş ve pençe benzeri delici ve kesici niteliği fazla olan aletler yaparak (Şekil 2.3.), avlanma ve korunma gibi ihtiyaçlarını gidermiş, ihtiyaç duyduğu farklı eksiklerini kapatabilmek için de bazı el aletleri (Şekil 2.4.) yapmışlardır (Kuday, 2009).



Şekil 2.3. Estonya Pulli’de ki ilk tarihi yerleşim yerinde M.Ö. 8000’de bulunan av aletleri (Kuday, 2009)



Şekil 2.4. M.Ö. 2000-8000 yıllarında kullanılan el aletleri (Kuday, 2009)

Eski çağlarda yaşamış olan insanlardan günümüz insanlarına gelince, durumun çok değişmediği görülmektedir. İnsanlar hayatta kalmak için geçmişte olduğu gibi doğaya başvurmaya devam etmektedir. Eskiye göre çözülen problem türleri farklı olsa da yöntem aynıdır. Av hayvanlarından giyinme ihtiyacını gidermek ve yırtıcı hayvanların diş ve pençelerini kullanmak gibi işlemler çağımız problemlerine cevap vermemektedir. İnsanlık her zaman bulunduğu noktadan daha ileriye gitmek için çabalamaktadır. Çünkü insan devamlı düşünen ve üreten bir canlıdır. Karşılaşılan problemlere çözüm üretmek yolunda doğadan ilham almak, günümüzde keşfedilmiş yeni bir yöntem değildir. Örneğin Velcro¹ (Şekil 2.5.) örneğinin biyomimikride ileri sürülmesinin temel sebebi, insanlar arasında en ünlü ve yaygın örnek olmasındandır. Bu durum Velcro'nun kavramlaşmayıp bu isimle anılmaya başlamadan önce, bilinçli veya bilinçsiz olarak kullanılmadığını göstermez (Kuday, 2009).



Şekil 2.5. Velcro (Çakır, 2018)

Doğadan esinlenilerek üretilen araçların birçoğu, insanların doğa şartlarında hayatta kalma mücadelesi verirken kendilerini ve çevrelerini korumayı, yaşamlarını daha kolay hale getirebilmeyi amaçlayarak ürettikleri bilinmektedir. İnsanların kendilerine doğadan görerek ve öğrenerek oluşturdukları yapay çevrede, yaşamlarını devam ettirebilmek ve doğanın her türlü şartlarına cevap verebilmek için hayvanlardan,

¹ Velcro: Cırtırt, biri kancalı diğeri halkalı birbirine tutunan kumaş şerit şeklinde ve birçok malzemeyi birbirine bitişik tutmaya yarayan malzemedir.

hava şartlarından korunmak amacıyla farklı savunma ve en temel ihtiyaç olan barınma mekanizmaları geliştirdikleri bilinmektedir (Bayazıt, 2008).

Bir başka örnekte ise 1940'lı yılların başında Velcro'nun icadından önce, M.Ö. 50'li yıllarda Roma'lı Marcus Vitruvius Pollio tarafından geliştirilen ve savunma amacıyla kullanılan silahlar ele alındığında, 'Scorpio' (Şekil 2.6.) adındaki mancınık adı verilen silah türünün biyomimikri ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Scorpio kullanımı için bir kişiye ihtiyaç duyulmaktadır, ilkel ve büyük bir yaydır. Akrepte esinlenilerek tasarlanan bu silah bükülme prensibi ile çalışır ve temel amacı daha hızlı ve güçlü ok fırlatabilmektir. Akrebin kendisini savunurken ve saldırırken aldığı pozisyon kuyruğunu bükerek rakibine iğnesini vurmasıdır. Scorpio'nun çalışma prensibi de aynı şekildedir ve fırlatacağı okları gövdesinde gererek fırlatmaktadır (Kuday, 2009).



Şekil 2.6. Scorpio adındaki ilkel yay (Aleks)

İnsanlığın ihtiyaçları her geçen gün değişse de yöntem olarak doğadan öğrenme yöntemi hiç değişmemektedir. İnsan kendi kendine yetmekte güçlük çeken ve karşılaştığı problemlere doğası gereği çözüm bulmak isteyen bir canlıdır. Geçmişte karşılaşılan problemlerle günümüz problemleri tabi ki aynı değildir. Değişen ve gelişen dünyamızda da aynı olması beklenemez. Doğa çağlar ötesi bir eğitim merkezidir ve insanlığın halen doğadan alacağı çok fazla model vardır.

Lorica squamata bir Roma ordusu zırhıdır (Şekil 2.7.). Lorica, koruyucu özelliklere sahip olan kabuk ve squama, omurgalı hayvan türlerinin ve sürüngenlerin cildindeki pul anlamındadır. Kısaca koruyucu pul olarak adlandırılabilir. Zırhların bu şekilde tasarlanması bire bir Armadillo veya sürüngenlerden etkilenecek yapıldığı

anlamına gelmemektedir. Ancak dönemin yapısıyla örtüşen ve ihtiyaçlara cevap veren tasarımlar olduğu kesindir. İnsanlar sadece bir ürün ortaya koyarken doğayı izlememiş, birçok konuda doğadan faydalanmışlardır. Alfabelerinde doğada var olan görselleri kullanmış, dolayısıyla iletişim dilinde yine doğadan faydalanmıştır. Ev ve sokak süslemelerinde doğadan modeller alarak kullanmışlardır (Kuday, 2009).



Şekil 2.7. Canlı türlerindeki örnek pul yapısı ve lorica squamata (Kuday, 2009)

2.1. Biyomimikri Kavramının Tanımı ve Etimolojisi

Biyomimikri terimi 1962 yılında bilimsel literatürlerde yerini almaya başlamış olsa da 1980’lerde yaygınlaşmıştır (Aziz ve Sherif, 2015).

Biyolog ve aynı zamanda Biyomimikrinin kurucusu Janine Benyus: *Innovation Inspired by Nature* (Doğadan İlham Alan İnovasyon) adlı kitabında biyomimikriyi tanımlarken ‘Yaşamın dehasının bilinçli öyküsü’ olarak ifade etmiştir (URL-1, 2018).

Biyomimikri terimi, bios: yaşam, mimesis: taklit etmek kelimelerinden türemiştir. Biyomimikri, doğa modellerini, sistemlerini, prensiplerini, ortaya çıkış süreçlerini ve elementlerini inceleyip elde ettiği kaynaklardan ilham alarak veya taklit ederek yararlanan, temelinde problem çözmek amacı olan yeni bir bilimdir (Benyus, 1997).

Biyomimikri esasen hayatı, doğayı taklit etmek minvalinde doğadan ilham alan tasarımlardır (Kennedy, 2004).

Biyomimikri insanların doğadaki var olan, süregelen sistemleri taklit ederek ortaya koyduğu alet, mekanizma ve sistemlerin tamamını kapsayan bir bilim dalıdır (Altun, 2011).

Banger (2016) çalışmalarında biyomimikrinin, insan problemlerini çözmek amacıyla doğanın işleyişini, sistemini, sürecini, modelini, ve bileşenlerini esin almak üzere incelemiştir. İncelemeleriyle yeni çözümler bulmak için ipuçları bulmaya çalışmıştır. Edebi bir ifade ile biyomimikri, doğanın aklını aramanın bilimidir (Banger, 2016).

Biyomimikri doğadan çıkarılan derslerin insanlara fayda vereceği noktalarla, daha sağlıklı ve sürdürülebilir teknolojilerin buluşuna uygulanmasıdır (URL-1, 2018).

2.1.1. Biyomimikri Kavramının Prensipleri

Benyus (1997), biyomimikrinin üç ana başlık etrafında sınıflamıştır. Biyomimikri doğayı model, danışman ve bir ölçüt olarak görmenin gerekliliğini vurgular ve savunur.

Model Olarak Doğa;

Biyomimikri, insanların problemlerine cevap bulmak için doğayı referans alan, inceleyen, doğadaki modeller üzerinde çalışan ve elde ettiği bulgular ile bu modellerden ilham alan veya doğayı taklit eden yeni bir bilim dalıdır.

Danışman Olarak Doğa;

Biyomimikri, doğanın görülmeyenlerini görme, keşfedilmeyenlerini keşfetmede yeni bir yoldur. Bugüne kadar başarmış olduklarımızı değerlendiren ve bugünden sonra neleri başarabileceğimizi, öğrenebileceğimizi anlatan bir çağdır.

Ölçüt Olarak Doğa;

Biyomimikrinin yenilikleri değerlendirmedeki ölçütü ekolojik standartlardır. Var olduğundan bu güne sürekli bir değişen halinde olan doğa, neyin çalışır vaziyette olduğunu ve neyin uzun süreli çalışıyor olabileceğini öğrenmiştir.

2.2. Biyomimikri Kavramının Olgunlaşma Süreci

Doğa insanlık tarihinin en başından bu yana vardır. İnsanoğlu, tarih boyunca kendisinde içgüdüsel olarak var olan merak duygusu ile doğayı inceleyip gözlemlemiştir ve doğadan aldığı dersleri yaşantısındaki ihtiyaçları doğrultusunda kullanmıştır. İnsanlar doğanın kendisinin karşılaştığı problemlere yine kendisinin vermiş olduğu cevapları incelemiş ve keşfetmiştir. Bunun sonucunda doğadaki biçimsel ve işlevsel çözümleri kendi problemlerini çözmede referans almıştır. En basit ve en

temel esinlenme örneği ile insanlar doğadan edindiği izlenimler ışığında balıklar gibi yüzmek ve kuşlar gibi uçmak istemişlerdir. Bununla da yetinmeyip doğadaki farklı sınıf ve nitelikteki canlılardan fizyolojik ve biyolojik özellikler edinip taklit ederek ilham almışlardır. İnsanoğlunun yaklaşımının bu minvalde olması karanlık çağa dayanmaktadır. Öyle ki bilinen en eski örneklerden birisi, o dönemlerde yaşayan insanların beslenme ve gıda ihtiyaçlarına cevap vermek amacıyla avlanırken kullandıkları aletlerin keskin uçlarını yırtıcı hayvanların diş yapılarına benzetmeye çalışmışlardır (URL-2, 2019).

Eksik olan ise bu davranışın 21.yy'a kadar isimlendirilmeyişi ve bilimin bir dalı olarak algılanamayışıdır. Hatta Janine Benyus kitabında bu kadar geç kalınmasını sorgulamıştır (1997).

Biyomimikri kavramının oluşum süreci başlığı adı altında, kavramın ortaya çıkışından isimlendirilmesine kadar geçen süre zarfı konu alınacaktır.

2.2.1. Biyomimikri Kavramının Ortaya Çıkışı

Biyomimikri kavramı, kendisini biyomimikriye ve biyomimikri kavramının yayılmasına adanmış olan Janine M. Benyus tarafından 1997 yılında tanımlanıp literatüre kazandırılmıştır. New Jersey Rutgers Üniversitesi, Doğal Kaynak Yönetimi ve İngiliz Literatürü/Yazarlığı bölümlerinde eğitim almış olan Benyus, 1998 yılında biyomimikri ile insanları tanıştırp, yenilikçi fikirlerini insanlara anlatıp, insanların faydalanmasını sağlamak amacıyla başkanlığını halen yürüttüğü 'Biyomimikri Derneği'ni ve Biyomimikri Enstitüsü'nü kurmuştur. Faaliyetleri ve hizmetleri kapsamında dernek, doğadan öğrenilen bilgileri yenilikçi tasarımcılara aktarıp, tasarımcıların ilham alıp tasarlama süreçlerinde kullanmasına yardımcı olmak istemektedir. Benyus kurmuş olduğu dernek sayesinde çeşitli sınıflardaki yapı ve gruplara edinmiş olduğu bilgileriyle destek vermektedir. Dernek kar amacı gütmemekte olup, doğadan ilham alınarak yapılan yenilikçi tasarım stratejilerine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Bu minvaldeki tasarım ve fikirler dernek kapsamında desteklenip başka kültürlere de aktarmak ve benimsetmek istenilmektedir (Kuday, 2009).

Biyomimikri Derneği diğer birçok bilim dalı ve bilim adamlarıyla bağlantılı olduğu gibi biyologlarla da işbirliği içerisinde doğa temelli tasarımlara danışmanlık yapmaktadır. Janine Benyus kurmuş olduğu derneğin amacı ve kapsamı ile ilgili şu açıklamaları (2008) yapmıştır:

‘Müşterilerimiz bize karşılaştıkları bir sorun getirirler. Bizde engin biyolojik literatürümüzde filtreleme yaparız. Daha sonra malzemeyi soruna cevap bulmak amacıyla tasarım sürecine sokarız. Öncelikli amacımız sorunu fonksiyon düzeyine indirmektir. Mevcuttaki soruna en iyi doğal modeli bulup, ondan ilham almaya ve taklit etmeye çalışırız.

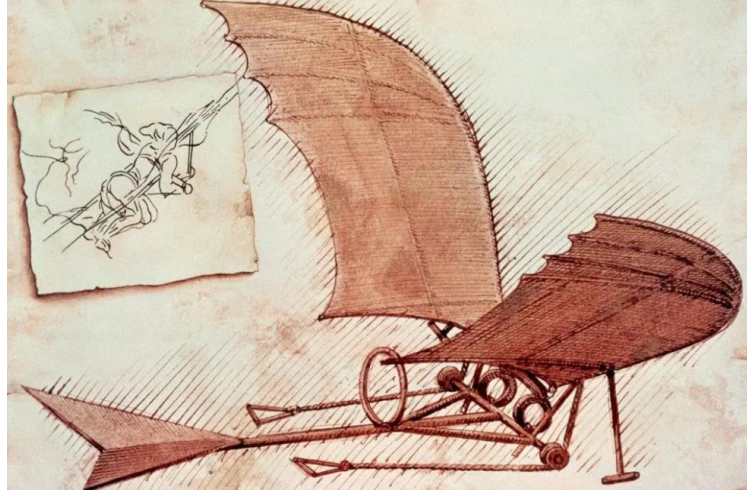
Benyus karşılaşılan problemlerin cevabının sorunun içerisinde olduğunu vurgulamış ve çözümün her gün gördüğümüz canlılarda olduğunu, bizim onları fark etmediğimizi, canlıları inceleyerek önemli ölçüde çözümler bulunabileceğini söylemiştir (Kuday, 2009).

2.2.2. Biyomimikri Kavramına Tarihsel Bakış

Biyomimikri kavramı M. Benyus tarafından bilimsel literatürler de isminin anılmasıyla, ekip arkadaşları ve konuyu öğrenmek isteyen birçok kişi ile beraber daha yaygın bir hale getirilmiştir. Başta tasarımcılar ve bilim adamlarının ilgi odağı haline gelmeye başlayan kavram, kasıtlı olarak hayatın içerisine alınmaya başlanmıştır. Bu durumun bir sonucu olarak ise biyomimikri günümüzde birçok alanda uygulanmaktadır ve karşılaşılan birçok probleme biyomimikri esasları ile çözümler bulunmuştur (Kuday, 2009).

Leonardo da Vinci konuya olan ilgisini (Şekil 2.8.) şu şekilde aktarmıştır (Edwards, 2005):

‘İnsan eliyle yapılan bir ustalık, hiç bir zaman doğanın yaptığından daha güzel, sade ve basit olmayacaktır. Çünkü doğanın kendisinin yaptığı icatlarda hiçbir eksiklik veya fazlalık yoktur.’



Şekil 2.8. Leonardo da Vinci'nin kuşlardan esinlenerek yaptığı tasarım (Yılmaz, 2020)

Leonardo Da Vinci'nin eserlerinde ortaya koymuş olduğu başarısının temel sebebi doğayı gözlemleme çabalarının bir sonucudur. Da Vinci anatomi üzerine çalışmalar yapan ve tasarlayacağı herhangi bir eserde öncelikle doğaya bakan bir tasarımcıydı. Leonardo Da Vinci tarihteki en önemli ve bilinçli doğa gözlemcilerindendi. Da Vinci tasarladığı eserlerinin büyük bir bölümünde doğadan esinlenmiştir. Anatomi alanındaki çalışmaları ve ilgisi öyle ileri boyutlara gitmiştir ki, kadavralar üzerinde çalışmalar yapmıştır. Biyografisi konusunda günümüze net bilgileri ulaşamamış olsa da o eserleriyle çalışmalarını belgelendirmiş ve gelecek nesillere aktarmayı başarmıştır. Günümüze ulaşan bütün bu bilgileri Leonardo Da Vinci'nin doğayı gözlemleyen ve doğadan ilham alan bir sanatçı olduğunun en büyük göstergesidir (Kuday, 2009).

En büyük amaçlarından birisi olan uçma amacına erişememiş olsa da, Leonardo Da Vinci'nin uçuş teknikleri ve uçuş makineleri üzerine yaptığı çalışmalar yasadığı dönemin ilerisini düşünmüş olduğunu göstermektedir. Çalışmalarının özellikle uçuş üzerine olanlarında, doğadaki birçok canlıyı bir uçuş makinesi icat edebilmek için incelediği ve karşılaştırmalar yaptığı görülmektedir. 4 kanatlı uçucu bir böcek olarak ejderha sineği, iki kanatlı bir uçucu cins olarak sinek ve böcek türlerini, yarasaları, suyun yüzeyinde uçabilen balık cinslerini gözlemlemiş, incelemiş ve analiz etmiştir (Şekil 2.9). Sadece böcek cinslerini, yarasa ve kuşları incelemeyip uçan balıkları da incelemesinin temel sebebi ise suda oluşan sürtünme kuvvetinin havada oluşan sürtünme kuvvetinden daha fazla oluşunu hesaba katmasıdır. Da Vinci, incelemiş olduğu canlıların mekanizma yapılarından yola çıkarak kanat tasarımları yapmıştır. Ayrıca edinmiş olduğu bilgiler doğrultusunda bu sistemin insan bedeni için de uygun olup

olmadığını, insan üzerindeki kullanım potansiyellerini de hesaplamıştır (Laurenza, 2005).



Şekil 2.9. Leonardo da Vinci'nin uçan canlıları incelediği çizim (Kuday, 2009)

Şekil 2.9.'de, 1 numaralı görselde sinek, 2 numaralı görselde uçan balık, 3 numaralı görselde ejderha sineği ve 4 numaralı görselde Da Vinci'nin yarasa eskizleri görülmektedir.

Özellikle 21.yy'da tasarımcılar biyomimikriyi tasarlama süreçlerine dahil etmeye ve tasarım süreçlerinin bir parçası haline getirmeye başlamışlardır. Tasarımcılar tasarım süreçlerine doğayı gözlemlemeyi ve doğadan bilinçli şekilde faydalanmayı dahil ettikçe yeni bakış açıları edinmiş, tasarım süreçlerini verimli ve etkin olarak yürütebilmişlerdir (Kuday, 2009).

Ross Lovegrove katıldığı bir TED (Technology Entertainment Design) konferansında² kendisi için söylenen ‘Kaptan Organik’ lakabını göz önüne alarak şunları söylemiştir (URL-3, 2005):

‘Sizlerin de bildiği gibi ben ‘Kaptan Organik’ olarak biliniyorum. Konuşmamda bahsetmek istediğim ilk konu, insanların doğadaki formlara duyduğu saygı ve bu formların insanların ruhuna ve duygularına dokunuşu olacak. İnsanoğlu yıllar öncesinde mağaralarda yaşıyordu ve bu kodlama sisteminden çok uzaklaştığımızı sanmıyorum. Benim kendi dünyam Benyus ve James Watson³ gibi insanların dünyasından. Tasarım yaparken içgüdüsel olarak yaklaşıyorum. Ben bilim adamı değilim fakat içgüdülerime güvenerek tasarlıyorum. İnsanların gündelik hayatta kullanmaları amacıyla tasarladığım ürünleri, doğayı gözlemleyip inceleyerek hazırlıyorum, yani doğadan çıkarıyorum ve insanların kullanımına sunuyorum. DNA yani Design, Nature, Art ismini verdiğim konseptimin içerisinde, kendi dünyamda yer alan üç ana element bulunuyor (Şekil 2.10.). Tasarım, Doğa ve Sanat... Gözlemlerimiz, doğadaki süregelen doğal süreci tasarım sürecimize katmamızı sağlıyor. Doğaya baktığımda keşfedilmemiş şeyler görebiliyorum.



Şekil 2.10. Ross Lovegrove’un DNA’nın yapısından esinlenerek tasarladığı merdiven (Adams, 2009)

² TED ‘Yayılmaya Değer Fikirler’ konferanslarının Monterey – California 2005 yılı konuşmasıdır.

³ Yapmış olduğu çalışmalar ile 1954 yılında Nobel Ödülü almıştır. Francis Crick ile birlikte DNA’nın sarmal yapısını keşfetmişlerdir.

Luigi Colani, 50 yıldan bu yana tasarımlarına fütüristik bir yaklaşımla devam etmektedir. Kendisini ‘Doğa Yorumcusu’ olarak tanımlar ve bundan sık sık bahseder. Biyomorfizm, streamline ve organik tasarımlar ile çok yakın bir bağı olan ve kendisinin biodesign şeklinde tanımladığı tarzı ile Colani, doğayı ve doğadaki biçimleri gözlemleyerek elde ettiği çıkarımlardan esinlendiğini söylemektedir (URL-4, 2007).

Colani, Berlin Sanat Akademisi’nde heykelticilik üzerine, Sorbonne’de aerodinami üzerine eğitimler almış, doğayı gözlemleyerek elde ettiği bulgu ve deneyimlerle kendi düşüncelerini harmanlayarak tasarladığı projelerle ötesinde performans göstermeyi başarmış bir tasarımcıdır (Kuday, 2009).

Colani doğadan edindiği izlenimler neticesinde, doğanın tasarımının kusursuz olduğunu, düz çizgilerinden çok organik formlarının olduğunu keşfetmiştir ve ilham alıp tasarladığı eserlerinde organik formları (Şekil 2.11.) tercih etmiştir (Bangert, 2004).



Şekil 2.11. Luigi Colani’nin manyetik sistemle çalışan tren tasarımı-1978 (Dragoun, 2008)

Biyodizayn düşünüldüğünde, örümcek ağının inanılmaz derecede ağırlık kaldıracak bir yapı ve malzeme olduğunu, bunu düşününce doğanın ne kadar üstün olduğunu ve doğanın incelenmesi gerektiğini savunan Colani, çözülmek istenen bir problem için çalışılan ortamdan çıkarak milyonlarca yıldır doğanın kendi problemlerine verdiği cevaplara bakılması gerektiğini önermektedir (URL-5, 2010).

2.4. Biyomimikrinin Önemi

Biyomimikri, temelinde insanların problemlerine cevap vermeye çalışan ve doğadan aldığı tasarım eğitimi teknoloji ile birleştirerek çözümler sunan bir yaklaşımdır. Doğa sürekli bir döngü içerisinde ve kendini yeniler. İnsan dışındaki hiçbir varlık, yaşamını sürdürürken doğaya zarar vermez. Tarihsel süreç içerisinde gelişen sorunlara cevap verme yöntemleri, problemi çözmenin yanı sıra, canlıların yaşamlarını sürdürdüğü ekosistemi de yaşama elverişli halde tutmuştur. Örneğin; karbondioksit gazını biz zehirli olarak tanımlarken, doğadaki bazı canlılar bu gazı kendilerinin temel yapı malzemesi olarak görmüşlerdir. Bilinen örneği ile bitkiler, karbondioksit gazını besinlerinin temel yapıtaşı olarak kullanırlar. New York Üniversitesi Tisch Sanat Okulu profesörü Geoffrey W. Coates, bitkileri inceleyerek karbondioksitten molekülleri sentez etme yollarından aldığı örnekle karbondioksitten polikarbonatlar üretmenin bir yolunu keşfetmiştir. Polikarbonat geri dönüşümü mümkün olan plastiklerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Plastiklerin doğada tamamen yok olması için geçen sürenin 1000 yıl olduğu düşünüldüğünde, doğayı korumak için doğadan ilham almanın ne kadar önemli olduğu görülmektedir (Erden, 2011).

Biyomimikri hayatta kalabilmek ve yaşamımızı doğru bir şekilde devam ettirebilmek için bize fırsatlar sunar. Dünya üzerinde yaşayan, doğal şartlara karşı yaşamı devam ettirmek ve gelişmek hakkında insanlara öğreteceği çok fazla şeyi olan sayısız canlı yer almaktadır. Yaşanılan zorluklara karşı çevrelerine zarar vermeden ve doğanın öz sermayesi olan kaynakları muhafaza ederek çözüm üretmiş milyonlarca canlı vardır (URL-1, 2018).

Benyus doğaya üstünlük kurmak veya doğayı iyileştirmeye çalışmak amacıyla faydalanılan bir toplum için, ondan saygı duyarak ilham almayı, kesin bir çözüm ve hakiki bir milat olarak görmektedir. Endüstri Devrimi'nden farklı olarak, 'Biyomimik Devrim' kendisinden faydalanmanın üst düzeyde olacağı bir döneme işaret etmektedir. Doğanın var oluşundan bu yana kendi problemlerine nasıl çözümler ürettiğini gözlemleyerek, bu çözümlerin insan hayatına değen noktalarında, doğanın yaptığı gibi çözümler sunmak, yiyeceklerimizi üretme, malzeme imal etme, doğal enerji kaynaklarını keşfedip üretme, hastalıklarımıza doğal yollarla şifa bulma, edinilen bilgileri depolama ve işlerimizi yapmakta izlediğimiz yolları değiştirmemize olanak sağlamaktadır. Milyarlarca yıldır edinilen bilgi düzeyi ile başarısızlıklar yok olmuş ve

insanların yararına kalan tek şey hayatta kalabilmenin devamlılığındaki sırlar olmuştur (Benyus, 1998).

Doğa dikkatli bir şekilde gözlemlenerek doğru çıkarımlar yapıldığında, insanların yapmış oldukları bütün icatların, daha sade haliyle de olsa, mevcutta zaten var olduğu anlaşılmaktadır. Yapıların strüktürlerinde kullanıyor olduğumuz kolon ve kiriş sistemi, bambu ağaçlarının saplarında ve zambakların kendi içyapılarında yer almaktadır. Bugüne dek insan eliyle yapılmış en iyi sonarı, frekansları çok fazla olan yarasaların yapmış olduğu iletimlerle karşılaştırdığımızda, duymanın ne kadar zor olduğu görülmektedir. İnsan yapımının en muhteşem buluşlarından sayılan çarkları dahi, dünya üzerinde keşfedilmiş en eski bakteri türlerinin kamçılarını harekete geçirmek için kullandıkları küçük ve hareketli motor yapılarında bulmak mümkündür (Benyus, 1998).

Biyomimikri yalnızca içinden çıkılamayacak kadar karmaşık gözüken tasarım süreçlerinde veya belli başlı tasarım gruplarında değil, gündelik yaşantımızın her alanında hayatı daha yaşanılabilir yapmak için gereklidir. Mesela günümüzün önemli sorunlarından olan trafik kazalarını engelleyecek bir devrede, geri bildirim sistemi hayatidir. Araçlardaki bu devrenin nasıl yapılabileceği konusu araştırılırken, bir çekirge türü olan göçmen çekirgeler arasındaki geri bildirim sistemi, yani idrak etme ve duruma karşılık verme süreci incelenmiştir. Göçmen çekirgeler gruplar halinde gezen bir türdür ve bir kilometrekarede yaklaşık 80 milyon adet çekirge vardır. Çekirge sürüsü hareket ederken çekirgeler birbirleri ile temas etmeden gidebilmeyi başarırlar. İnsansız kara araçlarının trafiklerde önümüzdeki yıllarda yer etmeye başlayacağı düşünüldüğünde, çekirgelerde var olan bu sistemin geliştirilmesinin ne kadar elzem olduğu görülmektedir (Erden, 2011).

İnsan eliyle yapılmış olan sistemler zamanla yıpranabilmekte, arızalanabilmektedir. Hatta mevcut sistemlerin külliyen iflas ettiği dönemlerde olmaktadır. Bunların belli başlı sebepleri vardır. Temel sebebi teknik problemler olsa da, ekonomik etkenlerde etkili olmaktadır. Gezegenimiz var olduğundan bu güne kadar kendi sistemlerini ve yöntemlerini, içerisinde bulundurduğu canlı yaşamını sürekli olarak iyileştirmekte ve daha ileri bir noktaya götürmektedir. Doğanın kendisi geri dönüşebilir bir sistemdir. Kaynaklarını hiçbir zaman tüketmez ve her zaman sürdürülebilir kaynaklar üretir. Dünyadaki doğal model ve sistemler derinlemesine incelendiğinde, kendisinden öğrenecek ve ilham alınarak günümüz problemlerine çözümler aranacak çok fazla yöntemin olduğu anlaşılmaktadır. problemlerine cevap

arayan tasarımcıların, aradığı cevapların birçoğunun doğadaki mevcut olduğu görülmektedir (Banger, 2016).

Bu bağlamda biyomimikrinin hedeflerini anlamak, daha disipline bir şekilde yararlanmaya olanak sağlayacaktır.

2.4.1. Biyomimikrinin Hedefleri

Biyomimikrinin özü ve temeldeki amacı, dünyada var olan doğal dengeleri doğru gözlemleyerek, insan yaşamını doğru bir şekilde sürdürmek amacıyla adaptasyon sürecini yönetebilmek ve hayat standartlarına katkı sağlayacak yeni ürün ve fikirler üretmektir. Bu sebeple de şu ana başlıklar altında katkı sağlamayı amaçlamaktadır (Akgöze, 2015):

- Sürdürülebilirlik
- Performans İyileştirme
- Enerji Korunumu
- Maliyetleri Azaltma
- ‘Çöp’ Kavramını Yok Etmek ve Yeniden Tanımlamak

• Sürdürülebilirlik

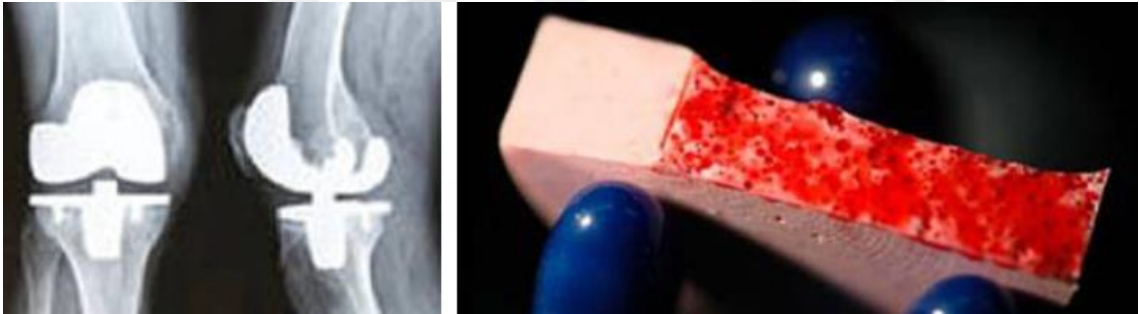
Sürdürülebilirlik kavramının tanımı ‘ürünün kaynağının tamamen tüketilmeden veya kaynağa herhangi bir zarar vermeden, kaynağın doğru bir şekilde değerlendirilip yararlanılması’ dır (Kımillı, 2006).

Genel olarak kabul edilen tanımı ise Brundtland Komisyonu’nun 1987 yılında yapmış olduğu, ‘Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ihtiyaçlarına cevap verebilmesine olanak sağlayan, yani günümüz kaynaklarını etkin ve verimli bir biçimde zarar vermeden kullanarak, günlük yaşantımızdaki ihtiyaçlarımıza cevap aramak ve karşılayabilmektir’ tanımıdır. Komisyonun yapmış olduğu tanımlama sürdürülebilirliğin, geçmiş dönemden itibaren yapılan en geniş çaptaki tanımı olarak görülmektedir (Aydın, 2017).

Biyomimikri, hayatımızı idame ettirmemize sağlayan temel olayları konu alır. Özelden genele doğru iyileşme, gelişme, enerji kullanımı, ortak yaşam ilişkileri, doğaya zarar vermeyen malzemelerin günlük hayatta kullanımı gibi konularla oluşturduğu ilerleme ile yapar. Biyomimikrinin bu prensiplerini izleyerek ortaya çıkarılan ürünler ve

ihtiyacı karşılama, tasarım yapma süreçleri insanların doğa ile daha uyumlu yaşamasına olanak sağlar (Keskin, 2019).

Örneğin, vücudumuzdaki yaralanma veya darbe ile zarar gören bir organizmanın hasar alması, organizmanın kendisinde doğal bir iyileştirme süreci başlatır. Kemik yapısının almış olduğu hasarın boyutunu tespit edip, hiç zarar almamış ilk yapı düzeyine kadar iyileşebileceği anlaşılmıştır. Kemik yapımızda yapılan bu araştırma sonucunda elde edilen bulgular, sentetik bazlı malzemelerin gelişim ve tasarım süreçlerine dahil edilmiş ve ilave bir maddeye ihtiyaç duymadan kendini iyileştirme özelliğine sahip bir polimer yapı malzemesi elemanı keşfedilmesine ciddi katkı sunmuştur (Şekil 2.12.). Polimerlerin içerisine kendini onarma yeteneği olan madde küçük kapsüller halinde yerleştirilir. Materyalin olası bir hasar tespitinde, daha önceden yerleştirilmiş olan kapsül kaplar çatlakları onaracak olan iyileştirici özelliğe sahip ajanları yırtar ve açar. Kendini onarabilen bir malzeme üretilmesi, malzemelerin onarılması veya değiştirilmesi maliyetinin düşürülmesinin haricinde mukavemetin artmasına da fayda sağlar. Sürdürülebilirlik anlamında kendini onarabilen malzeme çeşitlerinin olması önemli bir örnek teşkil eder (Vierra, 2016).

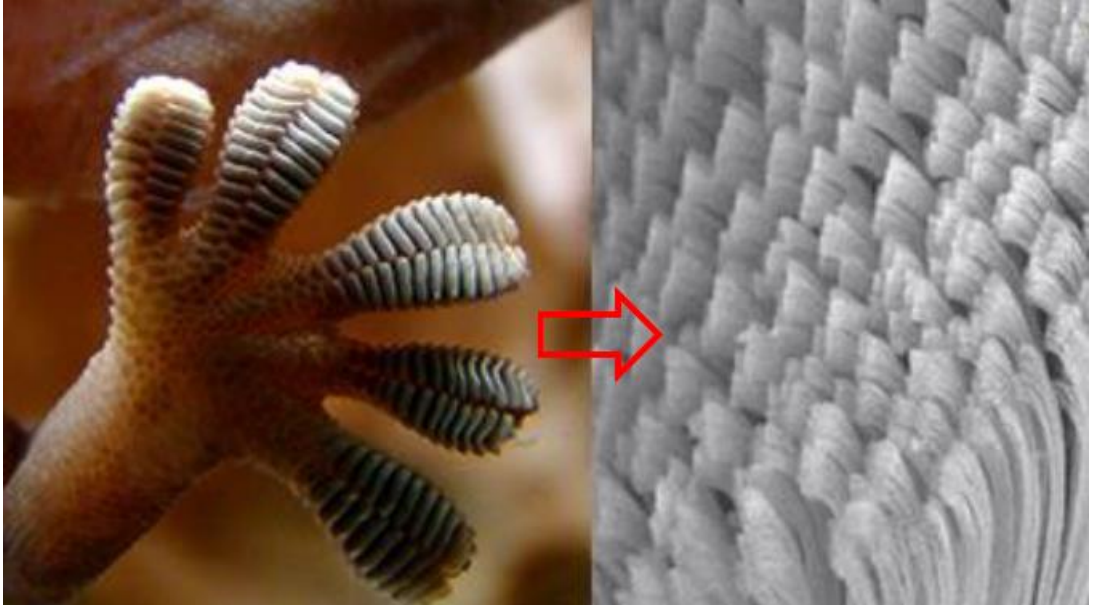


Şekil 2.12. Kemik yapısından ilhamla üretilen ve kendini onarabilen polimer malzeme (Vierra, 2016)

- **Performans İyileştirme**

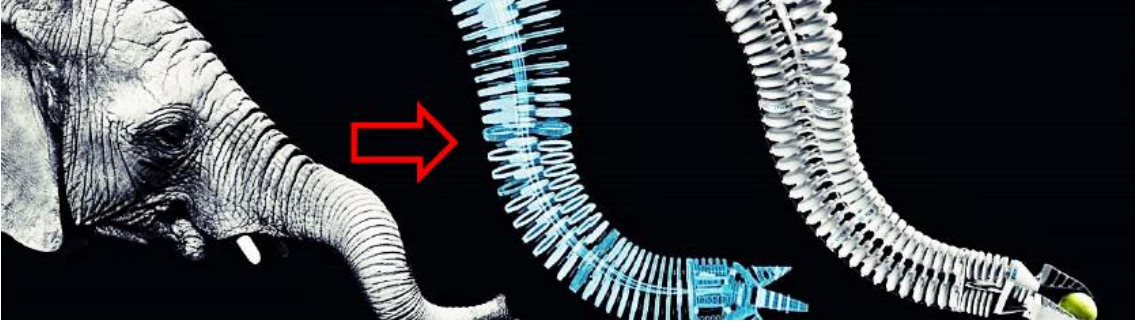
Doğada var olan bir strateji yaşama elverişli ve kullanışlı değilse yok olur. Doğa bu kazanımlarını milyarlarca yıldır her hal ve şartta test edip, kendisi için faydasız ve kullanışsız olanları yok ederek kazanmıştır. Biyomimikri ise doğayı gözlemleyerek, doğanın milyarlarca yıldır elde ettiği kazanımları doğrultusunda başarı elde etmiş olduğu hayatta kalabilme yöntemlerini öğretir ve bu kazanımlarla insanların kendi ürünlerini üretmesindeki gelişim sürecine katkı sağlar (Akgöze, 2015).

Örneğin; bir kertenkele cinsi olan Geko Kertenkelelerinin ayak yapıları, bir ayakkabı üreticisi olan Nike firmasının dağ ve tırmanış ayakkabılarını üretmekteki sürecinde ilham olmuştur (Altun, 2011). Yine aynı kertenkele cinsi olan Geko Kertenkeleleri kumaş tasarımlarına da ilham olmuştur (Şekil 2.13.). Gekolar yaratılışları itibariyle yaşamış oldukları çevredeki yüzeylere ayak tabanlarındaki kıllar sayesinde tutunabilmektedirler. Gekoların ayaklarındaki bu kılların temel özelliği, ayaklarını yere bastırınca yüzeye yapışması ve ayaklarını yerden kaldırıncaya yüzeyden hafifçe kopmasıdır. Gekolardan esinlenilerek istek doğrultusunda sabitlenebilecek yüzeyleri olan kumaş tasarımları yapılmaktadır. Gekonun mevcut yapısından dolayı birçok alanda çalışmalar devam etmektedir. Bir diğer sektör ise robot teknolojileridir. Robotların yüzeylere daha rahat tutunabilmelerinin ve tırmanabilmelerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır (Akgöze, 2015)



Şekil 2.13. Geko cinsi kertenkelelerden esinlenilerek yapılan kumaş (Akgöze, 2015)

Performans geliştirme sistemlerinin bir diğer örneği ise yine biyomekatronik teknolojilerinin dağıtım aşamasındadır. Bu dağıtım aşaması fil hortumundan ilham alınarak yapılmıştır (Şekil 2.14.). Bir Alman firma tarafınca tasarlanan ve dağıtma işlemini asiste etmeye yarayan biyonik hortum, ağır yükleri dahi hafifçe iletebilmektedir. Omurların her birinde bulunan hava keseleri sayesinde alınıp verilen havalarla her bir birim genişleyip büzüşme işlemini gerçekleştirir (Divarcı, 2016).



Şekil 2.14. Fil hortumunda esinlenilerek yapılan biyonik kol (Divarcı, 2016)

- **Enerji Korunumu**

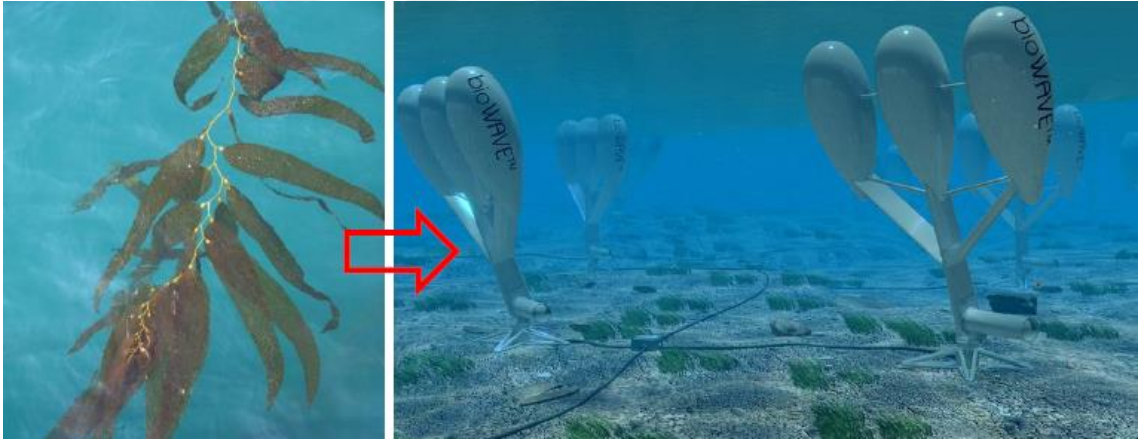
Enerji, doğada var olduğu haliyle insan yapımına nazaran daha maliyetlidir. Bitkiler enerji ihtiyaçlarını güneş ışınlarından elde ederler. Hayvanlar bitkilerden veya avladıkları canlılarla enerji ihtiyaçlarını karşılarlar. Enerjinin bu denli zor bulunduğu bu şartlarda, doğa enerji korunumu ve mümkün olan en üst düzeyde enerji verimliliği için harikulade çözümler üretmiştir. Bu çözümlerden ilhamla insanlar enerjiyi verimli kullanma ve tüketimi en alt limitte tutabilmek amacıyla farklı çözümler geliştirebilirler (Akgöze, 2015).

Doğadaki enerji korunumuna örneklerden bir tanesi de Termit kuleleridir. Termit kulelerinde var olan iklimlendirme sistemi ve havalandırma sistemi, günümüzde insan eliyle yapılmış binaların sistemlerine kıyasla çok daha işlevsel durumdadır. Termit kuleleri hava akımına hassasiyet düzeyi çok yüksek yapılardır. Bundan dolayı yapmış oldukları havalandırma sistemi mükemmel düzeydedir. Eastgate binaları 1996 yılında tamamlanmış olup, termit kulelerinden taklit edilerek havalandırma sistemini doğal yollarla çözmüştür (Şekil 2.15.). Binanın özelliği ise termit kulelerinin yaptıkları tümseklerin taklit edilmesiyle tasarlanan ve dünyadaki ilk doğal soğutma sistemine sahip olan bina olmasıdır. Bu tümseklerin yanlarında bacalar vardır ve bu bacaların bünyesinde hava basıncı oluşmaktadır. Bu sayede esen rüzgarları içerisine almaktadırlar. Termitler yoluyla açılan uzun tünellerden sıcak hava çıkışı olur ve bu sayede yuva soğutulmuş olur. Bu sistem termit kulelerinden esinlenilerek yapılan apartman sakinlerine, yapıldığından ilk 5 yıl sonrasında toplamda 3.5 milyon dolarlık tasarruf ettirmiştir (Kaya, 2015).



Şekil 2.15. Termit kuleleri ve Eastgate binası (Kaya, 2015)

Okyanusun derinliklerindeki dalga hareketliliğini elektrik enerjisi haline dönüştüren sistemde verimlilik açısından büyük öneme sahiptir. Denizin derinliklerinde yaşayan deniz bitkilerinin yapmış olduğu salınım hareketlerinden esinlenilerek yapılan dalgaların derin sulardaki hareketi, elektrik üretmek amacıyla hidrolik basınca aktararak türbinleri döndürür. Bu işleme biowave adı verilir (Şekil 2.16.) (URL-6, 2016).



Şekil 2.16. Deniz bitkileri ve biowave (URL-6, 2016)

- **Maliyetleri Azaltma**

Doğanın malzeme kullanma mantığı var olan malzemeyi biçimlendirmektir. Bunun sebebi hammaddelerin kullanımının pahalı olmasıdır. Bu anlamda doğayı izlemek ve biçimlenme işlemini nasıl yaptığını öğrenip taklit etmek, ihtiyaç duyduğumuz hammadde oranını azaltacaktır (Akgöze, 2015).

Güneş enerjisinden elektrik üretmede kullanılan sistemler, yaprakların enerjilerini nasıl harcadığı yönteminden esinlenmenin ilk aşamasıdır (Şekil 2.17.). Güneşten enerji elde etme de kullanılan güneş pilleri tasarlamak için çalışmalar sürmektedir. Hücreler, su jeli bazlı, klorofilleri karbon materyalleri yardımı ile ekleyen ve sonuç olarak daha kullanışlı, verim düzeyi yüksek, maliyeti düşük bir güneş hücresiyle neticelenmektedir (Vierra, 2016).



Şekil 2.17. Yaprak yapısı ve güneş ışığından enerji elde etmede kullanılan sistem (Vierra, 2016)

- **‘Çöp’ Kavramını Yok Etmek ve Yeniden Tanımlamak**

Doğada var olan yaşam izleyip habitatların kendi madde ve besinlerini nasıl geri dönüştürdüğünü araştırarak, tasarım süreçlerine geri dönüşüm yöntemlerini dahil edebilir, kaynaklardan verimli şekilde yararlanabilir ve ihtiyaç dışı atıkların oluşumunu engelleyebiliriz (Akgöze, 2015).

Örümceklerin yapmış oldukları ağlar, inanılmaz farklı özellikleri içerisinde barındırır. Örmüş oldukları ağların gerilme oranları diğer ağ çeşitlerine göre çok daha fazla olduğundan, bu ağı koparmak için ihtiyaç duyulan enerji, buna benzeyen başka biyolojik çeşitlilikteki ağları koparmaya gerekecek enerji miktarından on kat daha fazladır. Örümcek ağlarının biyolojik çeşitlilik içerisindeki ayrışan bir diğer özelliği ise, yapmış oldukları ağın tamamının geri dönüşebilir olmasıdır. Örümcekler ağları koptuğu zaman ağlarını yerler ve bir başka seferde üretmek için kullanırlar. Tekstil için kullanılan birçok makine çeşidinde, tıpkı örümcek yaptığı gibi metotlar kullanılmaktadır. Örümcekler doğru şekilde izlenerek faydalanılmak istenirse, tamamı geri dönüşebilen iplik çeşitlerinin üretilmesinde ilham alınabilir (Anonim, 2011).

2.5. Biyomimikriye Etki Eden Bilim Dalları

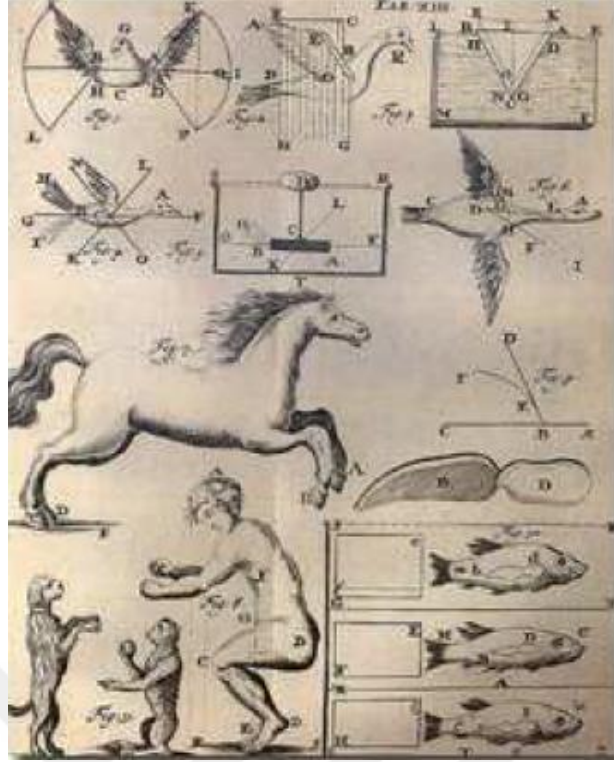
Biyomimikri kavramının temelinde doğa yer aldığı için, müstakil bir çalışma alanı değildir. Özellikle biyologlar, doğa gözlemcileri gibi doğa ile her an iç içe çalışan bilim dalları ve tasarımcılar biyomimikrinin gelişimine büyük katkı sağlamaktadır. Biyomimikri kavramı bir sürece tabi olduğu için de tarih, sosyoloji gibi kavramlar biyomimikri ile yakından ilişki içerisinde. Bu bölümde başlıca bilim dallarını ve hangi anlamda destek verdikleri incelenecektir.

Biyomimikri temelinde biyoloji kavramı ile ilişkilidir. Biyoloji alanında yapılan araştırmalar, gözlemler ve bulguların tamamı biyomimikrinin özünü oluşturur. Biyomimikriyi doğa ile birebir ilişkili olduğu için biyoloji kavramının, özellikle biyolojinin iki ana alt başlığı olan zooloji ve botanik kavramlarının biyomimikriye faydası çok fazladır, tasarım aşamalarında yer almaktadır. Biyomimikriye etki eden bir diğer disiplin kimyadır. Canlıların dokuları ve ürettiklerinin incelenbilmesine ve üretilebilmesine katkı sağlar. Tarihsel süreç içerisinde bilinçsiz olarak da olsa biyomimikri uygulanmış ve biyomimikri kavramının temelleri atılmıştır. Bu uygulamalar neticesinde insan doğadan faydalanma yöntemini kavramlaştırmıştır ve bir disiplin olarak araştırmaya başlamıştır (Kuday, 2009).

2.5.1. Biyomekanik

Biyomekanik, canlı hareketlerinin özellikle anatomilerini inceler ve elde ettiği bu bulguları insan eliyle yapılmış olan mekanizmalara aktarır. Bu analizler canlının en küçük birimlerinden büyük parçalarına kadar büyük çapta bir alanı barındırmaktadır (Kuday, 2009).

Modern biyomekaniğin öncüsü olarak kabul edilen Alfonso Borelli'nin yapmış olduğu 'Hayvanların Hareketi Üzerine' (Şekil 2.18.) adlı çalışması, tarihte biyomekanik dalında yazılmış olan ilk eser olarak kabul edilir. Aristoteles'in de benzer bir eseri mevcuttur. Borelli ile temelleri atılan biyomekanik çalışmaları, daha sonra geniş araştırmalarla devam etmiştir (Kuday, 2009).



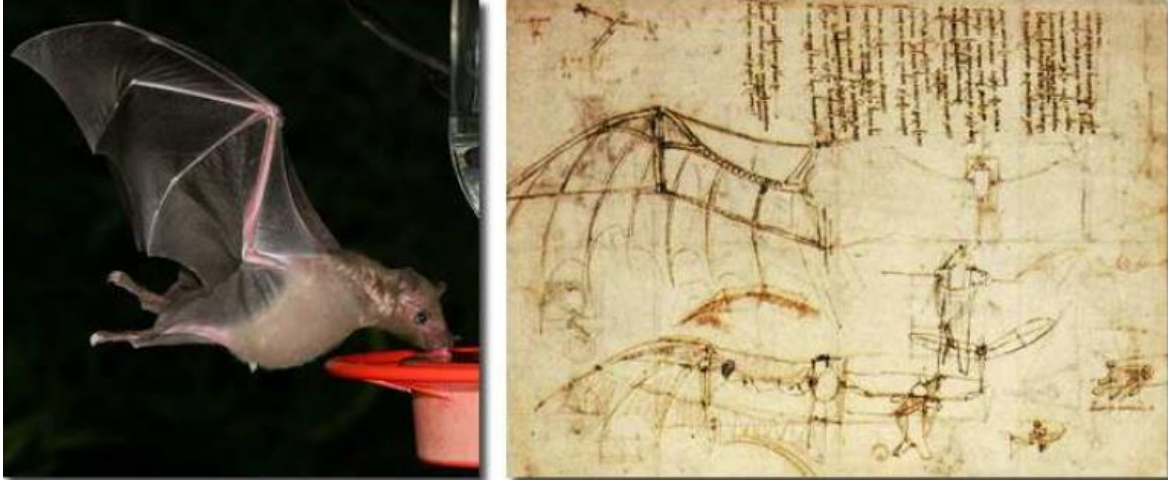
Şekil 2.18. Hayvanların hareketi üzerine adlı eserde yer alan bir çizim (Kuday, 2009)

Borelli çalışmalarında sadece hayvanların hareketleri üzerine incelememiş, aynı zamanda hareketlerin henüz yapılmadan psikolojik olarak düşünme evresini de incelemiştir. Bu çalışmalar kapsamında doğa üzerindeki tüm canlıların yaşamları, en küçük birimlerinden en büyüğüne kadar incelenmektedir (Kuday, 2009).

Biyomekaniğin alt başlıklarından olan bitki biyomekaniği konusunda Karl J. Niklas konu üzerinde yazılmış tarihteki ilk kitap olan ‘Plant Biomechanics’⁴ yazarken, bitkilerin yaşadıkları doğal çevre ile olan alakalarını, bitki formlarının doğal gelişim süreçlerini, fosiller temel alınarak süreç içerisinde göstermiş oldukları ilerlemeyi ve sahip oldukları biçimlerin doğal şartlara göre nasıl şekillendiğini incelemiştir (URL-7).

Leonardo da Vinci, uçmak hayalini gerçekleştirmek amacıyla çalışmalarını yaptığı uçuş makinesini yarasaları inceleyerek yapışmıştır (Şekil 2.19.). Fakat o günün teknolojisi tasarlamış olduğu makineyi yapmaya elverişli olmadığı için hayalini gerçekleştirememiştir (Laurenza, 2005).

⁴ Bitki Biyomekaniği



Şekil 2.19. Yarasa görseli ve Leonardo da Vinci'nin yarasanın kanadını incelediği eskizi (Kuday, 2009)

2.5.2. Biyomimetik

Biyomimikri kavramı da, Biyomimetik kavramı da bio: yaşam ve mimesis: taklit kelimelerinden türetilmiştir. Alanları birbirine çok yakın olan bu iki kavram arasındaki temel fark ise biyomimikrinin tasarım sürecinde bir anlayış olarak, biyomimetğin ise tasarım sürecinde uygulama olarak karşımıza çıkmasıdır (Kuday, 2009).

Biyomimetik kavramı literatüre tarihte ilk olarak Otto Schmitt tarafınca (Bar-Cohen, 2006) 1950'li yıllarda geçmiştir. Biyomimetik terimi, doğada yaşayan bir türün fonksiyon, biçim veya mekanizma anlamında bir kısmının veya bütünsel olarak taklit edilmesidir.

(Kuday, 2009)'dan alınan bilgiye göre, biyomimetğe bir örnek olarak 'Bionic Dolphin'⁵ (Şekil 2.20.) verilebilir. Yunusların hareketleri incelenerek yapılan bu tasarım biyomekanikten ve biçimden taklitle yapılmış ayrıca teknolojinin imkanları kullanılmıştır. Yunuslar fizyolojik özellikleri ve yapısı gereğince kuyruklarının üzerinde bir süre dik bir şekilde durabilmektedirler. Bionic Dolphin'de tıpkı yunuslar gibi bir süre kuyruklarının üzerinde durabilmekte ve 360 derece tam bir tur dönebilmektedirler. İki kişilik olarak tasarlanan Bionic Dolphin'ler tasarımları sayesinde okyanus şartlarına uygundur. Bu yüzden eğlenceden kurtarmaya birçok alanda kullanılabilmektedirler. Ayrıca askeri amaçlar için de kullanımı hedefleri arasındadır.

⁵ Biyonik Yunus



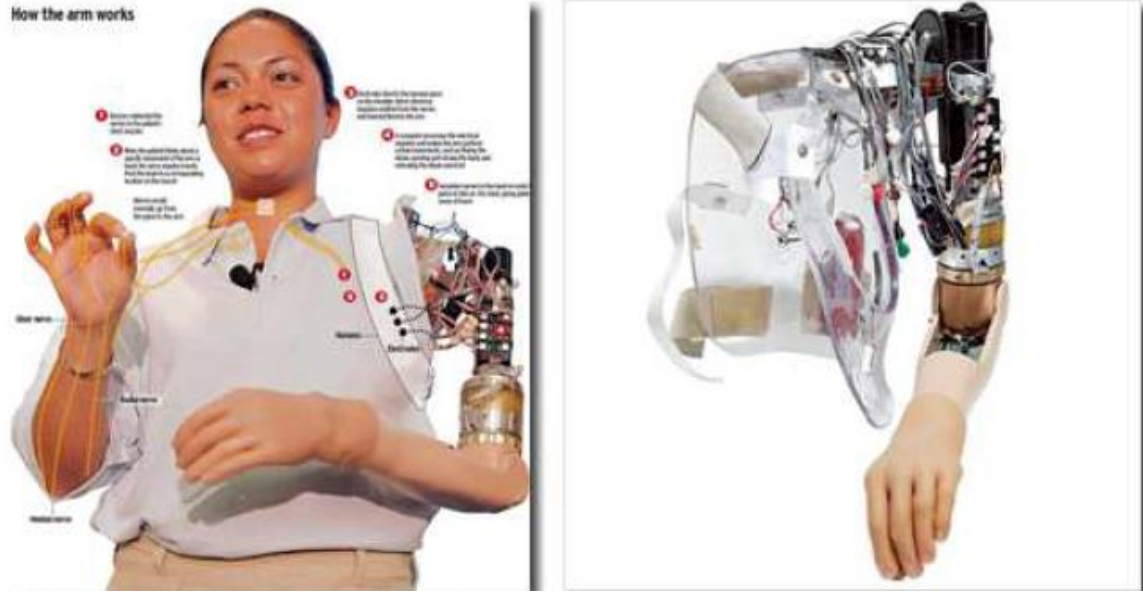
Şekil 2.20. Yunus balığı ve bionic dolphin

2.5.3. Biyonik

Biyonik, yıllarca süregelen doğa gözlemleri ve edinilen bulguları, teknolojiyle buluşturup modern anlamda mühendislik dallarında uygulamaktır. Bionic kelimesinin karşılığı, bion: yaşam ünitesi ve kelimenin eki ic: benzer, bir bütün olarak kullanıldığında ise yaşam benzeri manasındadır. Kimi kaynaklar ise, biyoloji kelimesi ve elektronik kelimesinin bir araya gelmesiyle ortaya çıktığını söylemektedir. Terim ilk kez 1950’li yılların sonunda Jack E. Steele tarafından kullanılmıştır (Bar-Cohen, 2006).

Claudia Mitchell, 2000’li yıllarında başında geçirmiş olduğu bir trafik kazasında, sol kolunu tamamen kaybetmiştir. Biyonik insanların dördüncüsü olarak tarihe kaydedilmiş ve biyonik kola sahip ilk insan olmuştur. Kaza sonrası kontrolünü düşünme yetisi ile gerçekleştirebilen biyonik kolu sayesinde ihtiyaçlarını giderebilir bir duruma erişmiştir (Kuday, 2009).

Chicago Rehabilitasyon Enstitüsü’nde görevli personeller tarafınca tasarımı yapılan biyonik kol (Şekil 2.21.), Mitchell’ın kaza nedeniyle kaybettiği kolunun sinirlerine yeniden takılmıştır ve göğüs kasından gelen sinirleri algılamaktadır. Kaybettiği kolunun üzerine takılan bir ünite sayesinde beyinden alınan sinyaller yapay kola aktarılmıştır (Brown, 2006).

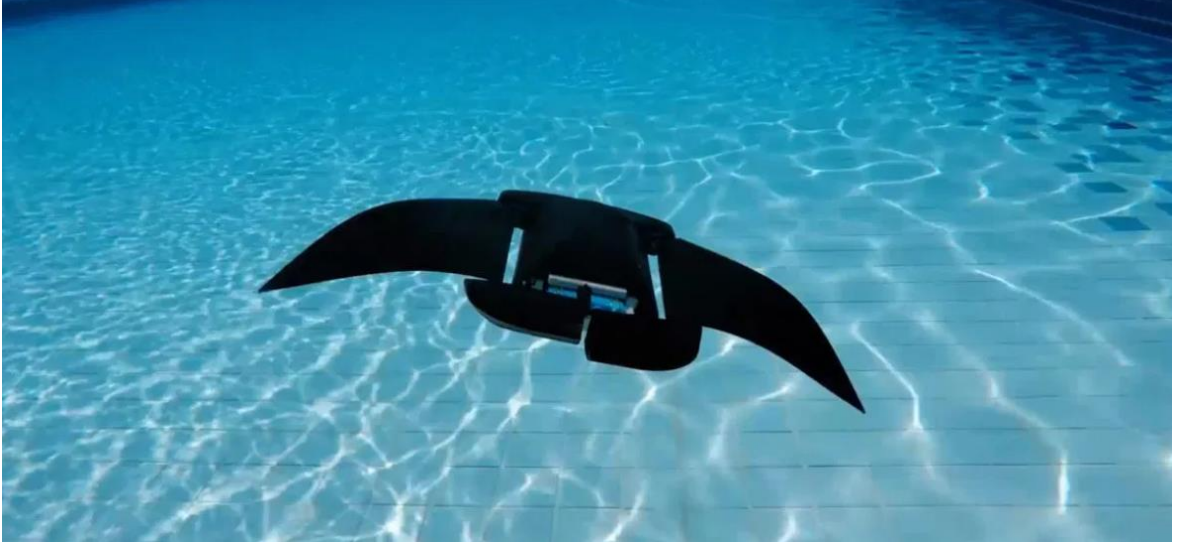


Şekil 2.21. Chicago Rehabilitasyon Enstitüsü'nde tasarlanan biyonik kol (Kuday, 2009)

2.5.4. Robotik

Doğa üzerindeki canlıların kullanmış oldukları organlarını ve kullanma şekillerini araştırarak, elde edilen bilgiler robotik sistemlerde kullanılmaktadır. Özellikle yapay olarak tasarlanan uzuvlarda kullanılmaktadır. Bu şekilde tasarlanan robotlar süre, maliyet, ve hayat şartları dikkate alındığında geleneksel olarak tasarlanan robotlardan ayrıcalıklı bir konumdadır. Doğada topluluklar halinde yaşayan arı, karınca gibi hayvanların iletişim yöntemleri de robotik anlamda esin kaynağıdır. Piller aracılığıyla enerjisi sağlanıp çalıştırılan küçük robotlar, kendi çevrelerini ve diğer robotları algılayarak kablosuz ağlar sayesinde iletişim kurabiliyorlar. 'Sürü robotlar' ismi ile anılan bu robotların askeri alanlarda da kullanılması öngörülmüyor. Ayrıca doğal ve yapay şartlarla meydana gelen afetler sebebiyle zor duruma düşen insanlara daha kolay ve hızlı ulaşmak amacıyla da kullanılması hedeflenmektedir (URL-8, 2007).

Singapur Ulusal Üniversitesi tarafınca tasarımı yapılan ve hayalet vatozun yüzme prensibinden esinlenen MantaDroid (Şekil 2.22.) suda oldukça atik hareket edebilen bir robottur. Suyun sıvı dinamik yapısı ile eşsiz bir uyumda yüzebilmektedir (Sönmez, 2018).



Şekil 2.22. Su altı robotu Mantadroid (Sönmez, 2018)

2.5.6. Tıp

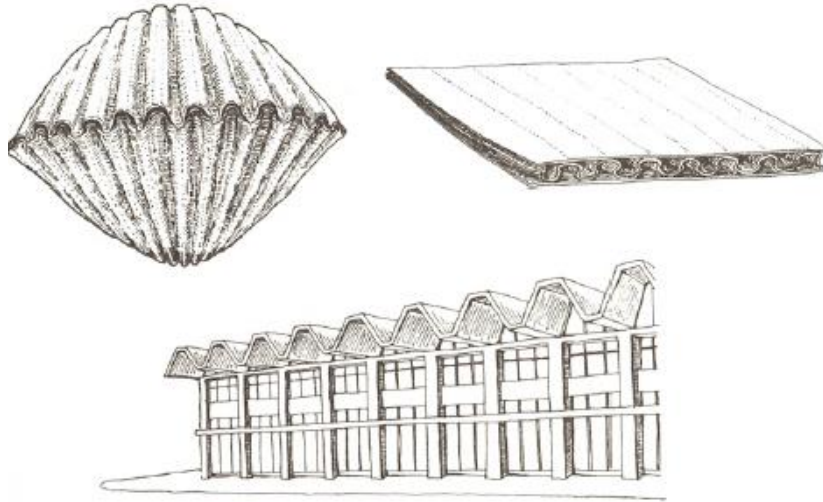
Tıp dalında da diğer birçok dalda olduğu gibi doğa referanslı tasarımlar hızla geliştirilmektedir. İlaç yapımı, protez yapımı ve organ nakillerinde uygulanmaktadır. Örneğin midyelerin (Şekil 2.23.) birbirlerine yapışma şekli incelenerek, yapışmasına neden olan bakterilerin DNA'sı alınmıştır. Elde edilen bu DNA'ların organ nakli işlemlerinde kullanılacağı ön görülmektedir (İleritürk, 2016).



Şekil 2.23. Midye (Demircan, 2015)

2.6. Biyomimikri ve Doğa İlişkisi

Yıllardır süregelen insan yaşamında insanların henüz düşünememişken doğanın bir yöntemi tasarlamış ve ortaya koymuş olması, doğanın bir öğretmen (Benyus, 1998) olduğunun en kestirme yolu ve delilidir. Doğada bunun birçok örneği mevcuttur. Uçan cisimleri insanoğlu geliştirmeden önce doğada uçan canlılar zaten vardı. Yarasaların yaratılışları gereği görmeden hareket edebilmelerini sağlayan ve sonar sistem olarak adlandırılan sistem, insanlık tarihinde keşfi yıllar sürmüş bir sistemdir. Yaşamı organizma düzeyinde olan canlılar neredeyse her istediklerini inşa edebilmektedirler. Organizma ilerleme metotları endüstriyel ilerlemelerden çokta farklı değildir. Fakat doğa problemlere daha hızlı refleksler üretir ve problem çözmedeki olanak daha muhtemel bir hal alır. Örnek olarak örümceklerin bacaklarını nasıl uzattığı verilebilir. Örümcekler bacaklarını uzatırken, içinde bulunan sıvı maddenin basıncını yükseltir. Günümüz dünyasında bu sisteme örnek olarak mekanik sepeti bulunan vinçlerin çalışma prensibi verilebilir (Vogel, 2000). İnsan teknolojisi de doğa teknolojisi de kemikli, kavisli ya da kabuklu yapılar yardımıyla tasarımlarını oluşturmuşlardır. İki teknolojiye sağlamlığı kazanabilmek için olukları bulunan cisimleri (Şekil 2.24.) tercih etmişlerdir (Karabetça, 2016).



Şekil 2.24. Olukları bulunan canlı, cisimler ve oluklu yapısal eleman (Vogel, 2000)

Doğayı tasarlama sürecinde bir fikir olarak kullanan insanoğlu, süreci daha kontrollü şekilde yönetebilmek için biyomimikriyi uygulamaktadır. İnsanlar doğanın içerisinde bulundurduğu çözümsel odaklı yaklaşımları; giderek azalan doğal

kaynakların korunması, ekolojik dengenin geri kazanılabilmesi ve sürdürülebilirlik gibi maddelerin uygulanabilmesi için referans almaya devam etmekte, her seferinde daha güncel çözümler üretmeye çalışmaktadır. Konu üzerinde çalışan insanların hedefledikleri temel amaç ise, doğada var olan ve doğa tarihinin başlangıcından bu güne kadar yaşamlarını, soylarını bir şekilde devam ettirmeyi başarmış olan canlıların bunu nasıl yaptıklarını öğrenmek, bu sayede kendi dünyalarına uyarlayabilmektir (Karabetça, 2016).

Doğa kendisine yeterken aynı zamanda ihtiyacı olanı ihtiyacı kadar kullanmayı başarmış ve problemlerine çözüm ararken çevresel faktörlere verebileceği en az zararlı çözmüştür. Kendi içerisinde sayısız derecede ekosistemi mevcut olan doğa problemlerini basitçe aşmıştır. Doğayı gözlemleyerek tasarımlarına dahil eden tasarımcılar, tüm bu durumları dikkate alarak hareket etmiş ve tasarladıkları ürünleri doğa üzerinde var olan ekosistemlerden taklitle yapmıştır. İspanyollar Colorado'nun San Louis Vadisinde 1800'lü yıllarda yaşamaya başlamıştır. Daha önce dağ ikliminde yaşamamış olmaları sebebiyle evlerini inşa sürecinde hayli zorluklar yaşamışlardır. En temel problemlerinden birisi duvar kalınlıkları olmuştur. Kışa ve yaza karşı aynı anda önlem alabilecekleri bir çözüm üretmeleri gerekiyordu. Bölgede yaşayan bir sincap türü olan Colorado sincabının tarlalara nasıl ev yaptığını, yalıtımı nasıl sağladığını gözlemleyerek keşfettiler. O tarihten bu güne kadar Colorado bölgesinde yaşayan İspanyolların evlerinin duvar kalınlıkları, Colorado sincaplarından öğrendikleri ölçüler kadardır. Bu sayede yalıtım problemini yıllar öncesinden aşmış ve o tarihten itibaren problem yaşamamışlardır (Kellert ve ark., 2008). Günlük hayatta herkesin karşılaştığı ama fark etmediği yapraklar, yaptıkları fotosentez sayesinde enerji üretmektedir. Bu sistemden taklitle güneş pili imal edilmiştir (Gratzel, 2001).

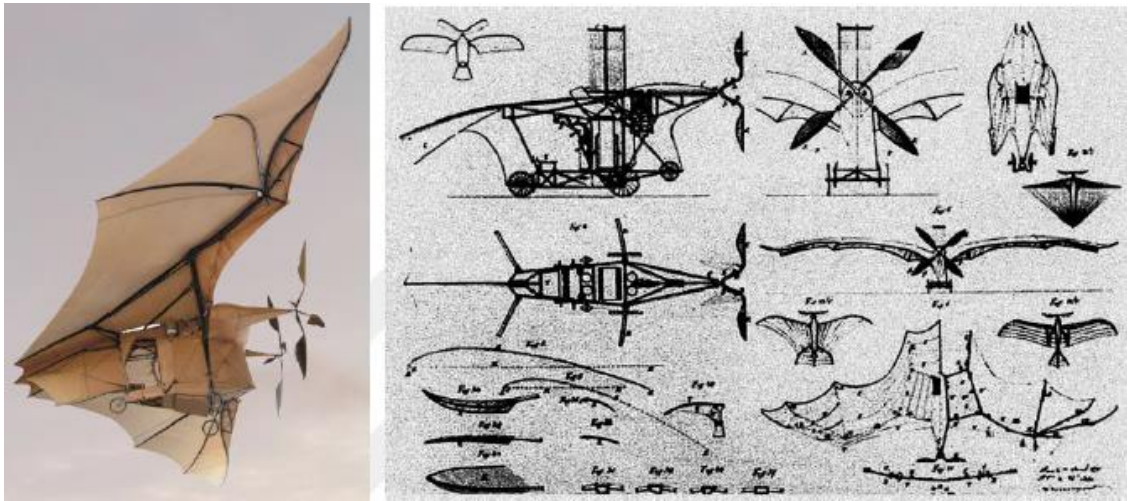
Kahire müzesinde günümüz teknolojisinden birçok iz bulunmaktadır. Mısırlıların Güneş Gemisi adını verdikleri gemide sayısız derecede buluş bulunmaktadır. Bu icatlardan birçoğu doğadan ve doğadaki canlılardan işlev ve biçimsel olarak taklitle yapılmıştır. Yunanistan'da matematik ve geometri gibi konularda yoğun çalışmalar yapmış olan Aristo gibi isimler doğada birer öğrenci olmuş ve maddelerin özlerini açıklamaya çalışmışlardır. Pisagor'un geometrik oranları keşfi doğa ile olmuştur. Keşfettiği oranlar canlıların gelişim oranları ile örtüşmektedir (Harman, 2013).

3. BİYOMİMİKRİ VE TASARIM

İnsanların doğa ile olan ilişkileri birçok sosyal ve toplumsal fikirler üzerine inşa edilmiştir. Doğadan ilham alma süreci 20.yy'ın ortalarına kadar genel anlamda biçimsel olarak ilerlerken, bu tarihten sonra teknoloji faktörü ile beraber yalnızca bir çeşit öykünme ve süs aracı olmaktan çıkıp, ortaya çıkış ve dönüşümde de kullanılmaya başlanmıştır. Teknoloji faktörü ile beraber daha endüstriyel bir hal alan coğrafyalar, ciddi ekoloji sorunları yaşamaya başlamış ve bu durum insanları doğanın muhteşem çözümlerini keşfetmeye yöneltmiştir. İlham sadece sonuç odaklı değil, aynı zamanda sonuca götüren süreçte de tasarım sürecine katkı sağlamıştır (Özen, 2016).

Biyomimikri her ne kadar yıllar sonra kavramlaşmış olsa da, ilk insanlardan itibaren doğa tasarımı referans olmuş, insanlar doğadan ilham alarak tasarım süreçlerine doğayı dahil etmiştir. Bunlara örnek olarak;

Clement Ader buharın basınç etkisiyle oluşturduğu kuvvetten faydalanarak ve yarasa kanadından ilham alarak uçmak için araçlar tasarlamıştır (Şekil 3.1.). Öyle ki yaklaşık 300 metre yüksekliğe kadar çıkabilmiş, ama sonucunda istediği başarıyı elde edememiştir (Vincent, 2009).



Şekil 3.1. Clement Ader'in tasarımı yaptığı hava aracı (Wings, 2012)

Sabit kanat adı verilen uçuş aracı, 1904'te Etrich tarafınca tasarlandı. Etrich'in çıkış noktası ise Pasifik adalarında yetişen bir sarmaşık türünün kanatlı tohumu (Şekil 3.2.) olan Alsomitra Macrocarpa'dır (Vincent, 2009).

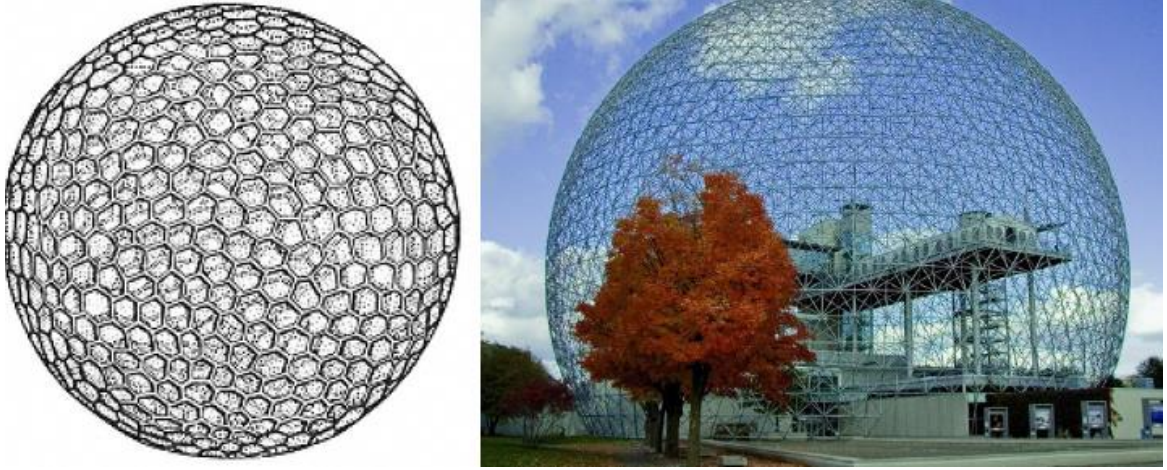


Şekil 3.2. Alsomitra macrocarpa sarmaşığının tohumu (Onszaden) ve sabit kanat (Alchetron, 2018)

Lotus bitkisi üzerine yapılan incelemeler, ‘Lotus Etkisi’ olarak da bilinen bir keşfe yol açmıştır. Lotus bitkileri yaşamlarını tozlu yerlerde sürdürmelerine rağmen, yapraklarında herhangi bir toz görülmemektedir. Üstelik bunu kimyasal olarak bir reaksiyon gerçekleştirmeden, kendi yapısı ile gerçekleştirmektedir. Yaprak laboratuvar ortamında incelendiğinde yaprak yüzeyinde sivri ve sık bir yüzey olduğu anlaşılmıştır. Yapraklara toz konduğunda yüzeyinde bulunan sivrilikler sayesinde tozlar bir yöne iletilmekte ve yağış olduğunda su damlaları da aynı yöne iletilerek temizlenme işlemi sağlanmaktadır. Bu yöntemden esinle kendisini temiz tutabilen Lotusan boyası yapılmıştır (Vincent ve ark., 2006).

Buckminster Fuller (Ball, 1999) tasarımcılara ışık tutmak için, “Doğayı taklit etmemize gerek yok, onun yerine kullandığı prensipleri bulmalıyız” demiştir. Doğanın önemini vurgulamış ve henüz keşfedilmemiş bir çok tasarım olduğunu vurgulamıştır. Elinde ki az malzeme ile fazla iş çıkarabilmeyi savunmuştur. Farklı geometrik şekillere basınçlar uygulamış ve dayanıklılık testi yapmıştır. Üçgenlerin basıncının dörtgenlerden çok daha fazla olduğunu keşfetmiştir. Bunun üzerine tamamen üçgenlerden oluşan bir küre yapmıştır ve test etmiştir.

Montreal kentinde kültürel ve sanatsal çalışmaları sergilemek amacıyla yapılan binanın kubbesini, mikroskobik bir canlı olan diyatomdan ilhamla yapmıştır. Diyatom canlısının yapısı farklı geometrik şekillerin bir araya gelmesi ile oluşmuştur ve çok dayanıklıdır. İçerisinde üçgen, beşgen ve altıgenleri barındıran, geometrik şekillerin tam olarak kenetlenmesi ile oluşan bu canlı (Şekil 3.3.) incelenerek, az malzeme kullanımı ile geçilemeyen büyük açıklıkların geçilmesi sağlanmıştır (Ball, 1999).



Şekil 3.3. Diyatom (Ball, 1999) canlısı ve Fuller'in bina üzeri kubbe uygulaması (Langdon, 2014)

Londra bulunan Kristal Saray bir 1851'de zambak çiçeğinin *Victoria Amazonica* isimli türü olan canlıdan esinlenilerek yapılmıştır ve dökme demir ile camın kullanılarak yapıldığı ilk yapıdır. Bu türün yaprakları diğer türlere göre daha büyük ve dayanıklıdır. Yaprığın altına bakılınca yaprağın iskelet sistemi gözlemlenebilmektedir (Şekil 3.4.). Çemberin merkezinden dışarıya doğru büyüyen bir yapısı vardır (Özen, 2016).

Kristal saray yapısının da ise yaprağın iskeleti dökme demire, arasında kalan doku kısmı da cama uyarlanmıştır. Yapılan bu bina dönemin en büyük cam yapısı olarak tarihe geçmiştir (Vincent, 2009).



Şekil 3.4. *Victoria amazonica* (Garden, 2015) ve Kristal Saray (Merin, 2013)

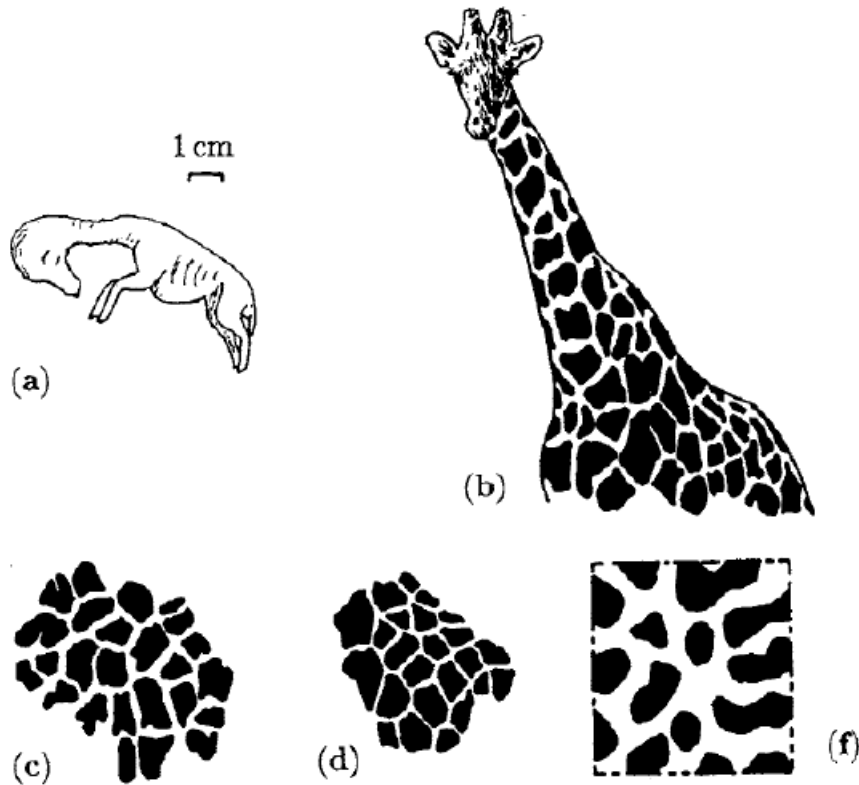
3.1. Biyomimikride Kullanılan Örüntü Çeşitleri

Biyomimikride örüntü çeşitleri iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar geometrik ve fonksiyonel örüntülerdir.

3.1.1. Geometrik Örüntüler

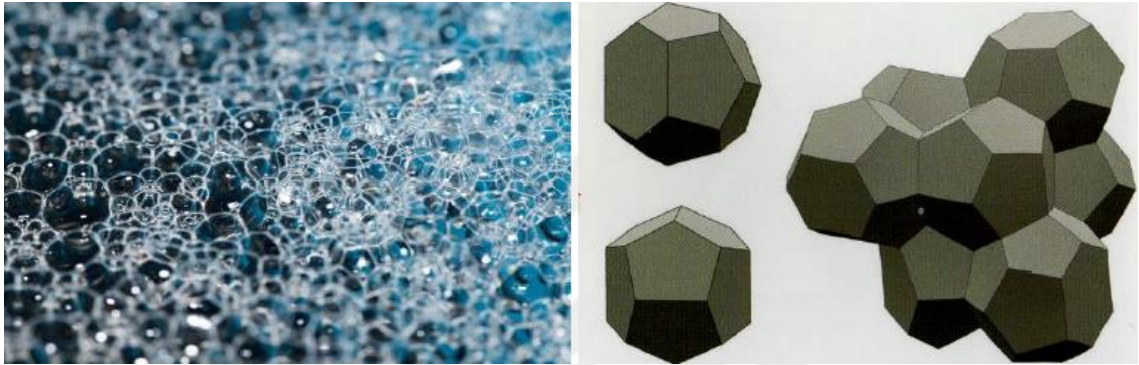
Geometrik örüntüler doğada var olan canlıların derilerinden, hücrelerinden aldığımız ve belirli bir oranda birbirlerinin tekrarı ile oluşan örüntülerdir. Bu örüntü çeşidinde, isminde anlaşıldığı üzere geometrik oluşumlar sınıflandırılmaktadır (Özen, 2016).

Doğadaki örüntü çeşitlerine canlılar üzerinden bir örnek verilecek olursa, zürafaların derisinde bulunan şekiller (Şekil 3.5.) doğumlarından sonra bazı kimyasal olaylar sonucunda şekillenir. Her bir zürafada farklı geometrik şekiller ortaya çıkar (Özen, 2016).



Şekil 3.5. Zürafaların derisinde oluşan örüntülere bir örnek (Murray, 2003)

Water Cube adı ile anılan ve Pekin’de inşa edilen 2008 Olimpik Ulusal Su Sporları Merkezi’nin tasarımı PTW Architects tarafınca yapılmıştır ve esin kaynakları su moleküllerinin kimyasal yapısı olmuştur. İnşa edilen merkezin insanlarda uyandırdığı izlenim su molekülü yapısıdır. Kullanılan suyun kimyasal yapısının esin kaynağı ise Weaire Phelan strüktürü olmuştur. Weaire Phelan doğada bir çok canlının moleküler yapısında görülen bir örüntü çeşididir (Şekil 3.6.) ve Denis Weaire ile Robert Phelan tarafından bulunmuştur (Özen, 2016).



Şekil 3.6. Su Molekülleri ve Weaire Phelan (Frank, 2016)

Strüktürel yapısı kendi içerisinde düzenli ve belirli bir oranda olmasına rağmen, karşıdan bakıldığında karmaşık gözükmektedir. Hücre yapısının müstakil olarak her bir ferdinin birbiri ile tutunma açısı 109.5 derecedir. Esinlenilerek kullanılan projede stürüktürde, oluşturulan içi boş çelik çerçevenin yüzeyine ETFE⁶ kaplaması kullanılarak içlerine hava basılmıştır. ETFE kaplamasının normal kaplamalara göre avantajı hafif ve geçirgen olmasıdır. Bu sayede daha fazla güneş ışığı içeri girmekte ve binanın ısınmasına büyük katkı sağlamaktadır. Yapılan bu yöntem sayesinde enerjiden edilen tasarruf oranı %30’a çıkmaktadır. Projenin (Şekil 3.7.) farklı bölgelerine toplamda 4000 adet ETFE hücresi uygulanmıştır. Düzenli olarak tekrar eden sistemsel yapılarına rağmen, bu hücrelere bakıldığında göz karmaşık bir yapı görmektedir (Carfrae, 2006).

⁶ Etilen Tetrafluroetilen



Şekil 3.7. Water Cube binası

3.1.2. Fonksiyonel Örüntüler

Organizmaların zorlu doğa şartlarına karşı hayatlarını devam ettirebilmeleri ve doğadan gelebilecek olan tehditlere karşı kendilerini savunabilmeleri için ihtiyaç duymadıkları malzemeleri elimine etmesi ve strüktürel ihtiyaçlarını giderebilmeleri gerekmektedir (Panchuk, 2006).

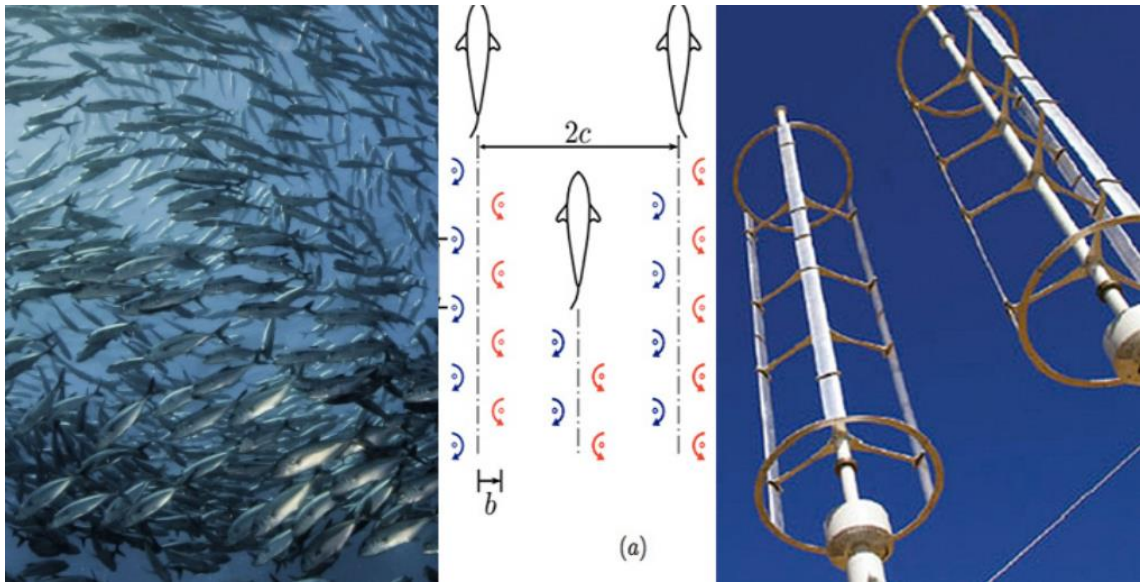
Fonksiyonel örüntüler problem çözmek odaklı tasarlanan ve etki tepki prensibi ile çalışan örüntülerdir. Örnek olarak bukalemunlar çevrede kamufle olmak için renk değiştirirler. Tesbih böcekleri bir tehlike ile karşılaştıkları zaman kendilerini toplarlar (Şekil 3.8.) ve top haline gelirler. (Özen, 2016)



Şekil 3.8. Tesbih böceklerinin tehdit durumunda aldıkları şekil (Gomez, 2012)

Günümüzde sıkça kullanılan ve yenilenebilir enerji kaynakları sınıfında bulunan rüzgar enerjilerinde karşılaşılan temel problem verimliliklerdir. Rüzgar gücünden enerji elde etmek amacıyla kullanılan türbinler arazilerde büyük heykel gibi dururlar. Türbinlerin kendi aralarında oluşan rüzgar debisini engellememesi için belirli aralıklarla yerleştirilirler. Arazi durumuna göre birbirlerine daha yakın konumlandırılması gereken türbinler birbirlerinin enerji verimliliklerini düşürmektedirler. Sınırlı arazide yatay aks üzerinde yerleşimi yapılan türbinlerde kaynaklanan enerji kaybına çözüm olarak türbinlerin dikey aks halinde yerleştirilebilmesi mümkün değildir (Özen, 2016).

(Özen, 2016)'den alınan bilgiye göre, John Dabiri, bu problemi çözmek için suyun altından bir yol bulmuştur. Türbinlerin verimlilik problemini çözebilmek için suyun altında sürü ile hareket eden balıklardan esinlenmiştir. Sürü olarak gezen balıkların gittiği yerlerde bıraktıkları vorteksler araştırılmış ve bazılarının saat yönünde bazılarının tam tersi yönde olduğu gözlemlenmiştir. Esinlendiği olaydan hareketle Dabiri bir tasarım yapmıştır. Türbinleri dikey aksta yerleştirmiştir (Şekil 3.9.). Bu sayede 10 kat daha fazla enerji elde edilmiştir.



Şekil 3.9. Sürü balıklar ve Dabiri'nin türbin tasarımı (Boyer, 2013)

3.2. Biyomimikride Kullanılan Tasarım Yöntemleri

Biyomimikri farklı büyüklüklerde, yaşamlarını sürdüren birçok canlıyı, yöntemi inceler ve esinlenir. Bunu neticesinde elde etmiş olduğu birikimi birleştirerek kullanır. Geçtiğimiz her gün daha farklı canlı türleri ve çözüm yöntemleri keşfedilmektedir. Dünya üzerinde yaşamlarını idame ettiren ve günümüze dek devam eden canlı ve yöntemlerin tamamı henüz bilinmemektedir. Günümüze kadar yaşamış tüm canlılar listelenemeyeceğinden, biyomimikride esinlenilen ve uygulanan yöntem çeşitleri listelenmekle yetinilecektir (Kuday, 2009).

Bu bölümde doğadan gözlemlerle keşfedilen, ilham alınan yöntemler araştırılmıştır.

3.2.1. Biçimsel Biyomimikri

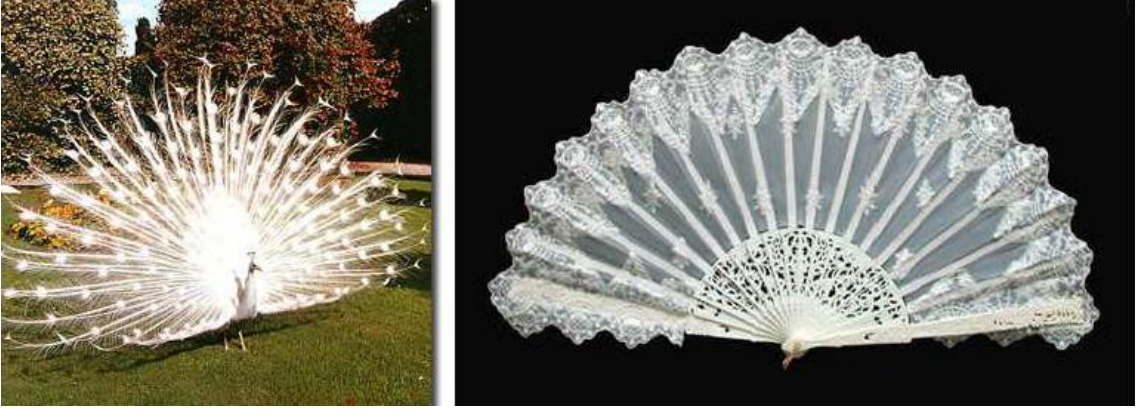
‘Form fonksiyonu izler’ cümlesi doğa referanslı tasarımlarda bire bir geçerlidir denemez. Canlılardan tıpa tıp taklit edilerek oluşturulmuş bir biçim, normal şartlarda yerine getirdiği işlevdeki gibi kullanılmak durumunda değildir. Biçim, tamamen estetik amaçlarla ya da başka bir işlevi destekler nitelikte de tasarlanabilir. Örneğin, uçaklar kuşa veya balıklara benzer şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.10.). Ama uçağın çalışma şekli kanat çırparak veya kas gücü ile yüzerek değil, içerisinde barındırmış olduğu motoru sayesinde. Kuşa veya balığa benzeterek tasarlanmasının amacı ise sürtünme kuvvetini azaltmak ve aerodinamiği sağlamaktır (Kuday, 2009).



Şekil 3.10. Kuş, balık ve uçak

Doğadan esinlenilerek birçok tasarım yapmış olan Gaudinin eserlerinde biyomimikrinin biçimsel anlamda kullanılmış şekli sıkça görülmektedir. Yapılarını yaparken cephelerde özellikle de iç mekan uygulamalarında iskelet sistemi görülmektedir. Sadece strüktür anlamında değil yapılarındaki farklı alanlarda da esinlenmiş ve kullanmıştır (Bilmen, 2019).

Günlük hayatta insanların serinlemek amacıyla kullandığı yelpazeler tavus kuşunun kuyruğunun çalışma sistemine benzemektedir (Şekil 3.11.). Bu örnekte yine kuyruğun işlevi değil biçimi değerlendirilmiştir (Kuday, 2009).



Şekil 3.11. Tavus kuşu ve yelpaze

3.2.2. Fonksiyonel Biyomimikri

Fonksiyon kelimesi Türk Dil Kurumu'na göre işlev anlamına gelmektedir. Tasarımda fonksiyon ise tasarlanan ürünün işlevsel anlamda ihtiyaca cevap verebilmesidir.

Tehditlere karşı kabuğuna çekilen kaplumbağanın kendisine savunma yöntemi, kabuk yapısındadır. İnsanlarda kendilerini tehlikeli bir bölge olan şantiyelerde baretle korumaktadır (Kuday, 2009).

Kargaların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri için kullandıkları gagalarından esinle insanlar bir alet tasarlamışlardır (Şekil 3.12.). Karga gagası yardımıyla malzemeleri eğip bükülebilmektedir. Oxford Üniversitesi'nde yapılan bir araştırma neticesinde karganın uzun bir bardak içerisindeki yiyeceği alabilmek için yanında bulunan teli bükerek kanca şekline getirdiği görülmüştür. Kargaburun ismi verilen alet ise karganın gagasıyla yaptığı gibi malzemeleri bükmede kullanılan bir alettir (URL-10).



Şekil 3.12. Karga ve kargaburun (Kuday, 2009)

3.2.3. Dokusal Biyomimikri

Biyomimikri tasarım anlayışı canlıların veya doğanın, belli bir özelliğini taklit etmekle yetinmez. En dış katman olarak görebileceğimiz görünüş dışında mikroorganizma, hücre ve doku düzeyinde de birçok özelliklerini taklit eder.

Canlılardan bir örnek olarak köpekbalıkları verilebilir. Yapılan araştırmalar neticesinde köpekbalıkların su içerisinde istedikleri hızda ve şekilde hareket edebilmeleri için kas sisteminin yetersiz kaldığı görülmüştür. Köpekbalıklarının suyun içerisindeki hızlı hareketlerinin cilt dokusundan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Birçok firma cilt dokusunu taklit ederek çok daha işlevsel sonuçlar bulmuştur. Bu doku yapısından (Şekil 3.13.) etkilenen mühendislerde havada ve denizde giden araçlarda bu doku yapısını taklit ederek kullanmışlardır (Kuday, 2009).

Köpekbalığının cilt yapısı Speedo'nun mayolarında da kullanılmıştır. Bu mayolar sayesinde daha önce kırılmamış rekorlar kırılmış ve yüzücüler çok daha hızlı yüzebilmişlerdir (URL-11).

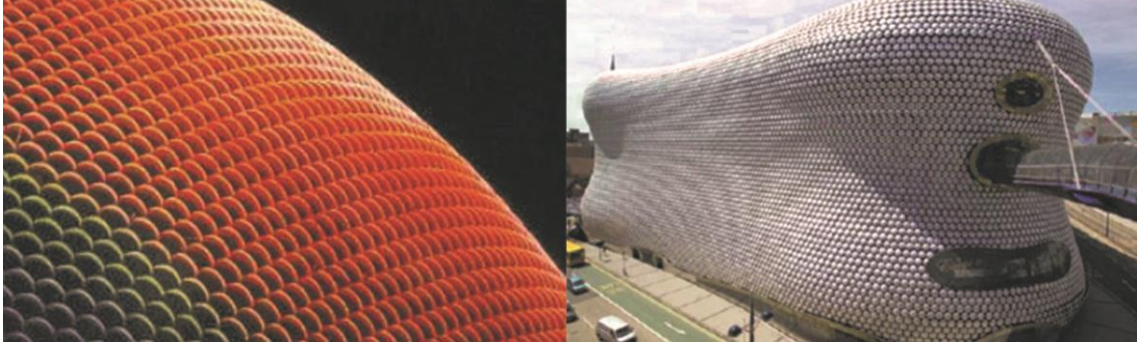


Şekil 3.13. Köpekbalığı derisi ve Speedo Fastskin dokusu

Mimaride doku kavramı, yalnızca gereçle ilgili görsel bir kavram olarak anlaşılmıştır. Halbuki gerecin dokusu yalnızca görsel olarak değil statik olarak da katılmıştır. Dokunun rolü sadece göze hitap etmesi değil, işlevsel olarak da dirençli olmasıdır. Doğada çok sık karşılaşılmıştır ki, düz bir doku üzerinde dahi çok yüksek güçte direnç olmuştur (Özülkü, 2010).

Mimar Jan Kaplicky Selfridges mağaza projesini yaparken sinek gözünden ve su damlalarının yapısından esinlenmiş, yumuşak ve oval bir formda (Şekil 3.14.) tasarımını

yapmıştır. Hücre yapılarından yola çıkılarak yapılan bu tasarımın, oval yapısı gereği çatıyı oluşturmak için üst bölüme sarılmakta, köşelerde yumuşamaktadır (Özülkü, 2010).



Şekil 3.14. Sinek gözü ve Selfridges dış mekan görünümü (Özülkü, 2010)

3.2.4. Renk Biyomimikrisi

Doğada var olan irili ufaklı organizmaların renklerinden esinlenilmesinin gayesi görsel bir estetik sağlamak ve doğada kullanılan renk çeşitlerinin taklit edilmesidir. İşlevselliği dışında kullanılan renk taklitlerinin uygulamalarda kullanılmasının sebebi doğa renklerini tasarımlara kazandırabilmektir. Biyomimikriyi kullandığımız tasarım yaklaşımlarında renklerden ilham almak çeşitli disiplinlerde görülmektedir. Doğadaki bir canlıdan örnekle tavus kuşunun kuyruğunun renklerinden ilham alınarak levha imal edilmiştir. Tavus kuşları çiftleşme dönemlerinde bir tehdit unsuru fark ettikleri zaman, kuyruklarını açarak görsel bir hale girerler. Adeta bir renk skalası gibi görünen kuyruklarında sadece kahverengi renk pigmenti yer almaktadır. Sadece bir rengin bulunmasına rağmen karşıdan görüldüğünde çok renkli bir yapısı vardır. Bunu tüylerinde bulunan keratin isimli proteinin güneş ışığını farklı hallerde kırarak yansıtması ile yapmaktadır. Tavus kuşunun bu özelliğini taklit eden bir bilim adamı, trafik ve okullarda uyarı levhası olarak kullanıyor ve tamamen ışık yansımından oluşan levhalar tasarlıyor. Bir başka bilim adamı ise aynı özelliği bilgisayarların ekranlarında kullanıyor (Yuran ve Taşgetiren, 2010).

(Tarhan, 2019)'dan alınan bilgiye göre, biyomimikrinin tasarımda kullanılan yaklaşımlarından bir tanesi olan renk biyomimikrisine mimari ve iç mimari birimlerde çokça örnek mevcuttur. İç mimari birimlere bir örnek verilecek olunursa, 'Entropi Halı' doğanın renklerinden ilhamla tasarlanmıştır. Dünyada halı üreticisi alanında birinci

sırada yer alan Interface çalışanları ve Biyomimikri danışmanları beraber bir doğa yürüyüşü yaparken doğadaki düzensizliği fark etmişlerdir ve düzensizlik anlamına gelen halıyı (Şekil 3.15.) tasarlamışlardır. Her biri farklı parçalardan oluşan bu halı çeşidi modüler olması, boşa giden parçaların az olması, kolay montaj imkanı olması gibi özellikleri ile fayda sağlamaktadır. Sökülüp takılabilir yapısı sayesinde halının batan bölümünün sadece batan kısmı değiştirilebilmektedir.



Şekil 3.15. Entropi halı ve düzensiz yapraklar (URL-12)

Linda Hidebrand tarafından tasarlanan ve deneysel nitelikte olan bir bina, tasarım sürecinde devede bulunan bir sistemle tasarlanmıştır. Devenin yüzeyinde bulunan kılların sıcak geçirmediği ve sıvı kaybını önlediği sistemleri ile bina cephesini tasarlamıştır (Şekil 3.16.). Devenin derisinde bulunan parlak tüyleri sıcaklığı yansıtma görevinin yanı sıra, gündüz çöldeki sıcaklığa ve gece soğuğa karşı yalıtım sağlamaktadır (Özdemir ve Cengizoğlu, 2016).

Kılların bu sistemde anlatıldığı gibi cephede uygulanması, doğada mevcut olan açık tonlu renklerin güneş ışıklarına karşı yansıtıcı özellikte olması Biyomimikri ile örtüştürülebilir. Farklı nitelikteki kamufle olma ve renk değiştirebilme becerisine sahip olan canlıların özellikleri binalarda da kullanılabilir (İleritürk, 2016).



Şekil 3.16. Deve tüyleri ve tüylerden esinle tasarlanan bina cephesi (Özdemir ve Cengizoğlu, 2016)

Renk biyomimikrisine canlılardan verilebilecek bir diğer örnek ise Morfo kelebekleridir (Şekil 3.17.). Bu kelebeğin kanatlarında renk pigmenti olmamasına rağmen güneş ışıkları sayesinde kanatlarında parlak bir görünüm oluşur. İnsan eliyle yapılan ve doğal olmayan tasarımlarda renge ihtiyaç duyulduğunda kimyasal temelli boya çeşitleri uygulanır. Yapay bir boya üretmek yerine morfo kelebeklerinin kanat yapıları incelenmiştir (Bilmen, 2019).

Bilim insanları nanoteknoloji yardımıyla Morphotex'in hareket etmesiyle farklı renklere dönüşen etkisini oluşturmuşlardır. Bu etki 'Strüktürel renk' olarak anılır. Bir tekstil firması morfo kelebeklerinin kanat yapılarını taklit ederek Morphotex fiberini üretmiştir (Yıldız, 2012).



Şekil 3.17. Morfo kelebeği (Akgün, 2014)

3.2.5. Malzeme ve Strüktür Biyomimikrisi

Tasarımcılar doğadan yalnızca sürdürülebilir fonksiyonlar için değil aynı zamanda malzeme yapıları içinde esinlenirler. Doğa ile anlaşabilen tasarımlar üretmek için doğadan olabilecek en üst düzeyde faydalanmak gerekmektedir. Malzeme kullanımı tasarlanacak olan üründe temel bileşenlerdendir. Örnek olarak bir tasarımda kullanılan yerel ve ekolojik temelli malzemeler kullanım sonunda tekrar üreticiye götürülerek kullanılabilir (Karabetça, 2016).

Strüktür bir yapının taşıyıcı sistemidir. İnsanlığın başlangıcından bu güne dek sürekli bir gelişim göstermektedir. İnsanoğlu en temel ihtiyaç ve gereksinimlerinden birisi olan barınma gereksinimini giderebilmek için kapalı birimler yapmıştır. Yaptıkları

binaların taşıyıcı sistemleri doğadan esinle yapılmıştır. Strüktür o günden bu güne dek gelişen teknoloji ile devamlı bir ilerleyiş göstermiştir (Özülkü, 2010).

Kuş yuvaları kuşların barınma, yumurtlama ve yavrularını uçacak düzeye getirinceye kadar kullandıkları yaşama alanlarıdır. Bazı kuşlar barınma ihtiyacını ağaçların kovuklarında da giderebilmektedirler. Genel anlamda kuşlar doğadan topladıkları malzemelerle kendi barınaklarını kendileri inşa ederler (Kuday, 2009).

Bejing Olimpiyat Stadı (Şekil 3.18.) projesi 2008 yılında yapılmıştır. 80.000 kişi kapasitesine sahip stat, dünyanın en büyük çelik strüktüre sahip stattır (URL-13).

(Kuday, 2009)’dan alınan bilgiye göre, stadın görünüş olarak kuş yuvasını andırmasının yanı sıra, kuşların yuvasını yaparken çalıları birbirine kenetlemesi gibi çeliklerde destekleyecek şekilde kullanılmıştır. Stadın her tarafı birbirine çeliklerle bağlanmıştır ve daha sonra inşa edilen bir bölümü bulunmamaktadır.



Şekil 3.18. Kuş yuvası ve Bejing Olimpiyat Stadı (Kuday, 2009)

BCE Place (Şekil 3.19.) adındaki kompleks Calatrava eseridir ve doğa strüktürlerine verilebilecek örneklerden bir tanesidir. Calatrava bu yapıyı ağaçların strüktürel yapısından esinle tasarlamıştır. Galerisi münhasır bir strüktür sistemi ile yapılmış ve mekana doğru tasarlanmış 8 adet çelik destek, iç mekandaki 14 metrelik açıklığı geçmek üzere yapılan tonozlarla buluşmak için çatallanarak yukarıya çıkmaktadır. Tonozları taşımak amacıyla inşa edilen ve ağaç strüktür sistemini kullanılan bu yapı bir orman havası vermektedir (Gertik, 2012).



Şekil 3.19. BCE Place

Bal petekleri verilebilecek bir diğer örnektir. Arıların inşa ettikleri bu yapı doğanın geometrisine en güzel örneklerden bir tanesidir. Arının kendi vücudundan ürettiği ve bal peteklerini yapmak için kullandığı balmumu, insanlarında sentetik anlamda esinlendikleri malzemelerden biridir. Arıların petek yapmaktaki amaçları yumurtlamak ve balları, polenleri depo etmektir. Bal peteği, önemli uygulamalarda malzeme olarak insanlar tarafında çokça taklit edilmiştir. İki farklı yüzeyin arasına strüktüründe bal peteği uygulanmış malzemeler kullanılmış (Şekil 3.20.) ve hafif ama mukavemetli sonuçlar elde edilmiştir (Kuday, 2009).



Şekil 3.20. Doğal ve yapay bal peteği (Kuday, 2009)

4. BİYOMİMİKRI MİMARLIK İLİŞKİSİ VE ÖRNEKLERİ

Biyomimikri'nin önemini Janine Benyus “Biomimicry: Inspired by nature” isimli kitabında kendisini kitabı yazmaya iten ve ilham aldığı noktayı oluşturan yaklaşımı şöyle anlatmıştır (1997):

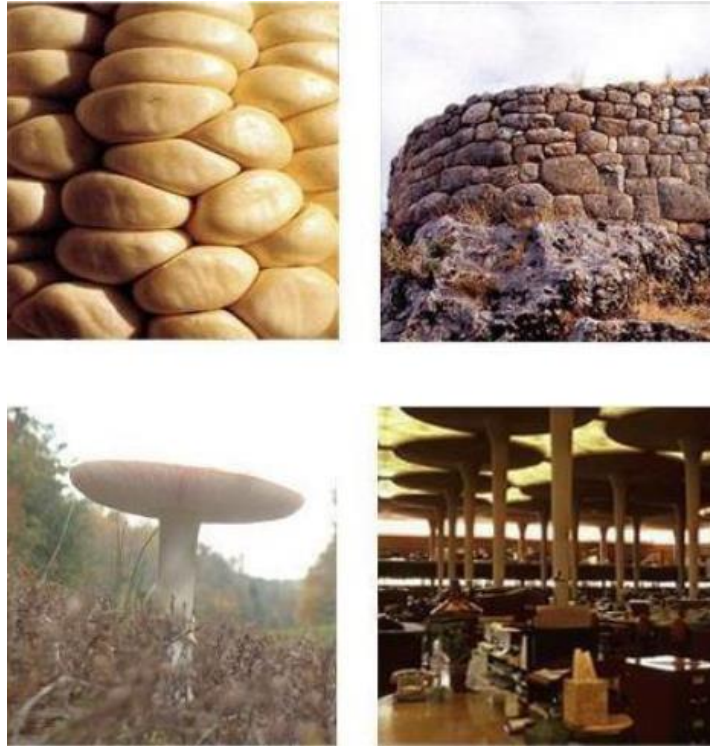
“ Gezegendeki arkadaşlarımız (bitkiler-hayvanlar-mikroplar) 3.8 milyar yılı aşkın süredir sabırla donanımlarını kusursuzlaştırıyor, karayı ve denizi yaşama uygun hale getirebiliyorlar. Bundan daha iyi modelimiz olabilir mi?”

Aristo'ya göre ise sanat doğadan ilham alır, mimarlıkta bir sanat olduğundan dolayı doğadan esinlenmeli (Dezurko, 1951).

Bu bölümde mimarlık ve Biyomimikri ilişkisini örnekler üzerinden inceleyeceğiz.

4.1. Mimari Tasarımlarda Biyomimikri Örnekleri

Biyomimikri bilim dalı, mimari ve iç mimari projelerde de kullanılan, sadece şekil odaklı değil, strateji ve sürdürülebilir tasarımlar oluşturmaya yarayan (Şekil 4.1.) bir tasarım yöntemidir (Bilmen, 2019).



Şekil 4.1. Biyomimikride mimarlık ve doğa örnekleri (Bilmen, 2019)

Sauvestre, insanın analogik yapısını incelediğinde uyluk kemiğinin vücudun denge merkezi olduğunu ve basıncını taşıyan unsur olduğunu keşfetmiştir. Mikroskopik ortamda kemiği incelemiş ve kemik yüzeyinin girintili ve çıkıntılı şekilde olduğunu fark etmiştir. 1887-1889 yıllarında uyluk kemiğinin stürüktürel yapısından esinle eyfel kulesini (Şekil 4.2.) yapmıştır (Krishnakumar, 2011-2012).



Şekil 4.2. Uyluk kemiği ve eyfel kulesi (Krishnakumar, 2011-2012)

(İleritürk, 2016)'den alınan bilgiye göre, Sullivan ve Adler çiçek tohumları ve ağaçların görsel etkileri konusunda çalışmalar yapmıştır. 1896 yılında, tasarladıkları yapının (Şekil 4.3.) çatı ile cephenin birleştiği kısmı ağaç dallarından esinle, cephedeki süsleri ise çiçeklerin tohumlarından esinle yapmışlardır.



Şekil 4.3. Ağaç çiçek tohumları ve the puridential building (İleritürk, 2016)

(İleritürk, 2016)'dan alınan bilgiye göre, Durian meyvesi kabuk yapısı sayesinde içinde bulunan meyveyi dış etmenlerden koruyabilmektedir. Meyvenin bu özelliğinden esinle Johnson, cephenin istenilen o anda güneş ışığı almasını sağlayacak bir tasarım (Şekil 4.4.) yapmıştır. Bu sayede binada enerji korunumu sağlanmıştır.



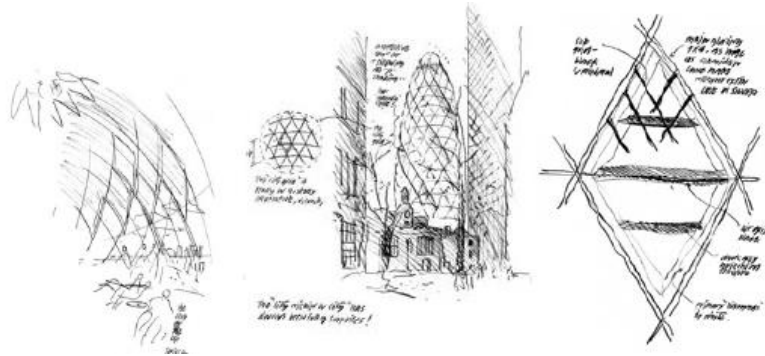
Şekil 4.4. Durian meyvesi ve esplanade tiyatrosu (İleritürk, 2016)

Dragonfly (Şekil 4.5.) tasarlanırken yusufçuk böceği incelenmiştir. New York'ta tasarlanan bu yapı ile kentteki gıda problemlerinin çözümü hedeflenmiştir. Kentsel tarım bugün kentte yaşayan sakinler arasında yatay olarak büyümeye devam eden bir olgu olsa da, çok kalabalık insan nüfusunun olduğu bu bölgede kentsel tarım dikey aks üzerinde olmalıdır. 28 çeşit tarım birimi bulunduran bu yapı, 132 katlı ve 600 m yüksekliktedir. Rüzgar ve güneş enerjilerinden de faydalanan Vincent Callebaut tasarladığı bu yapı ile tamamen kendine yeter bir yapı hazırlamıştır (URL-14).



Şekil 4.5. Yusufçuk böceği ve dragonfly (URL-14)

Londra'nın ilk ekolojik binası olan Gherkin Tower, Foster+Partners tarafından tasarlanmıştır. Bina tasarlanırken (Şekil 4.6.) mekanlardaki ışığı yeterli düzeyde tutmak, istenildiğinde gölge oluşturabilmek, doğal yollarla havalandırma sağlamak ve enerji tasarrufu elde etmek amaçlanmıştır (İleritürk, 2016).



Şekil 4.6. Gherkin tower eskizleri (URL-15)

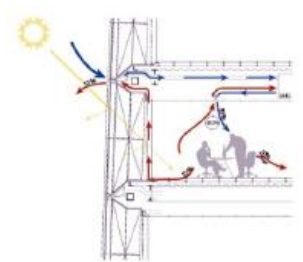
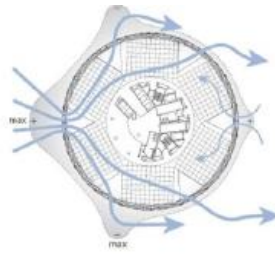
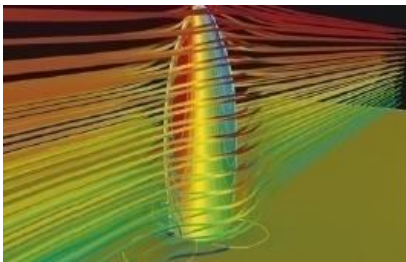
Venüs bitkisi süngerinde (Şekil4.7.) hexagonal bir kabuk bulunmaktadır. Bu sünger yapısı gereği kat kat bir iskelet sistemine sahiptir ve suyun altında camsı ve parlak olarak görülmektedir (İleritürk, 2016).



Şekil 4.7. Venüs bitkisi süngeri (URL-15)

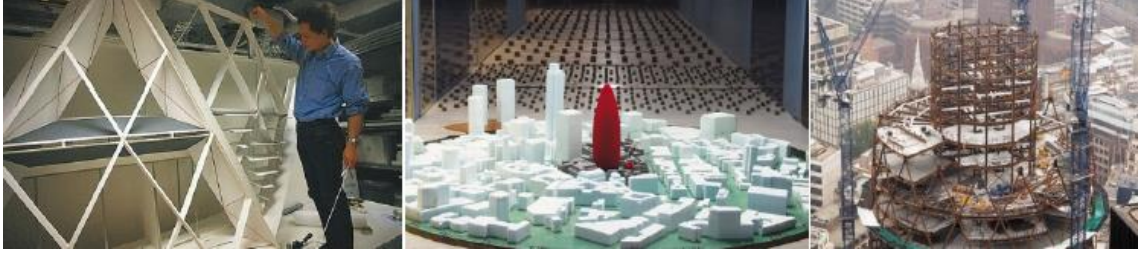
Gökdelen tasarlanırken güneş ışığından mümkün olan en üst düzeyde faydalanılmak istenmektedir. Güneşten faydalanırken istenildiğinde cepheye koyulacak paneller sayesinde gölge de oluşturulmak hedeflenmektedir. Bunu sağlayabilmek için güneş ışığının binanın yapılacağı bölgeye gelme açısı ve saati, çevre mevcut binalar gibi bilgiler toplanarak sayısal bir ortama iletilmiştir (İleritürk, 2016).

Başka gökdelenlerde kullanıldığı gibi yatay düzlemde bir havalandırma yapmak yerine, tasarlanan gökdelende doğal bir havalandırma sistemi hedeflenmiştir. Doğal havalandırmanın sağlanabilmesi içinde gerekli parametreler araştırılmış, çevre durumuna göre hava akımının yönleri araştırılmıştır. Sayısal verilerden alınan bilgilere göre, paneller tasarlanmış ve doğal havanın binaya alınması sağlanmıştır (İleritürk, 2016).



Şekil 4.8. Gherkin tower binasının sayısal ortama aktarılan havalandırma şekli (URL-15)

Gökdelen tasarımı tamamlandıktan sonra maket (Şekil 4.9.) yaparak çalışma sistemi görülmüştür (İleritürk, 2016).



Şekil 4.9. Gherkin tower maketi (URL-15)

Gherkin Tower binası (Şekil 4.10.) yeni nesil yapılmış bir binadır. Foster 2003'te tasarımını yaparken binanın dış cephesini Venüs bitkisi süngerinden esinle oluşturmuştur. Cephe görsel olmasının yanı sıra işlevsel nitelikte taşımaktadır.

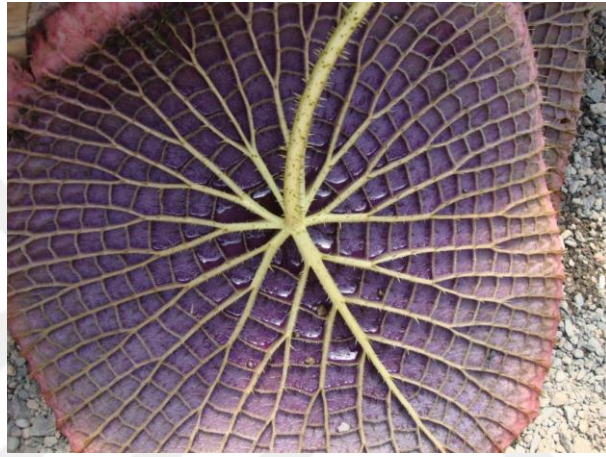


Şekil 4.10. Gherkin tower (Mutuli, 2020)

Güneş açıları, yönü gibi parametler hesaplanarak akıllı bir cephe sistemi yapılmıştır. Cepheye yapılan camlar güneş ve hava durumuna göre hareket etmektedir. Gölge güneş binaya değdiği zaman oluşmaktadır. Işığı içeriye sadece gerektiği ölçüde almaktadır. Ayrıca dairesel formda oluşturulan yapının cephesinde belli başlı yerlere

girintiler yapılmış, bina belirlenen açıda döndürülmüştür. Bu şekilde tasarlanmasının temel nedeni ise içeride hava akımı oluşturmak ve temiz hava döngüsü sağlamaktır. Temiz hava gerektiğinde cephede uygulanan paneller açılarak doğal bir havalandırma oluşturulmaktadır. Bu binanın enerji kazanımını sağlamaktadır (İleritürk, 2016).

İnce bir yüzeyi olmasında rağmen nilüfer yaprakları (Şekil 4.11.) mukavemetli bir iskelete sahiptir. Yapısında hava kesecikleri bulunur ve suya batmazlar. Suyun altında dikenli dalları varken, su yüzeyinde iskeleti ve yaprağı kaplayan damarlı yapısı vardır. Damarlı yapısı sayesinde yaprak eğilmez (İleritürk, 2016).



Şekil 4.11. Nilüfer yaprağı (Parr, 2012)

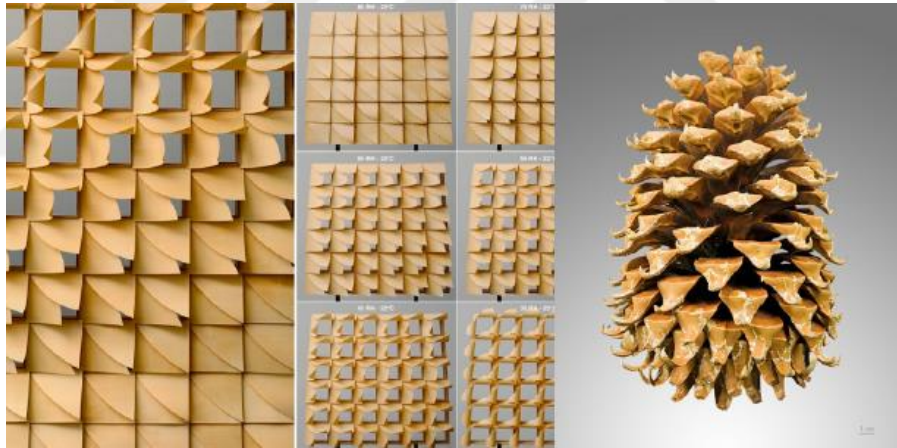
Palazetto Dello Sport (Şekil 4.12.) yapıldığı dönemde dönemin teknolojik yapısına göre inşa edilmiştir. Sonraki yıllarda grasshopperda kubbe tasarımı yapılmıştır (İleritürk, 2016).



Şekil 4.12. Palazetto dello sport ve uygulanan çatı örtüsü (URL-16)

Pier'in birçok tasarımı nilüfer yaprağı izleri görülmektedir. Roma'da 1957'de yaptığı bu tasarımda aynı şekilde yapılmıştır. Salonun çatı örtüsü kubbe şeklinde yapılmıştır. Kubbede kullanılan nervür sistemi nilüferlerin yapraklarında bulunan damar sistemine göre tasarlanmıştır. Kubbe tarih boyunca birçok kez yapılmış olsa da, Pier bunu doğadan esinlenerek ilk defa uygulamıştır. Az sayıda malzeme ile yapılan kubbe, hasır çelik ile beton kullanılarak yapılmıştır (Parr, 2012).

Faz Pavyonu, Frankfurt'ta etrafı açık bir alana, çam kozalarının açılma ve kapanma (Şekil 4.13.) prensibinden yola çıkarak tasarlanmıştır. Kozalar açılıp kapanma hareketlerini hava durumuna göre yaparlar. Yağışlı havalarda kendilerini kapatarak, içerisinde bulunan tohumlarını düşürmezken, yağış olmayan kuru hava şartlarında kabuklarını açarak tohumlarını yayarlar. Faz pavyonu (Şekil 4.14.), kozaların bu prensibinden esinle, hava şartlarına dayanımlı bir ahşaptan yapılmıştır. Kuru havalarda malzemenin üzerinden bulunan kabuklar açılırken, yağışlı havalarda kendini kapatmaktadır (El-Zeiny, 2012).

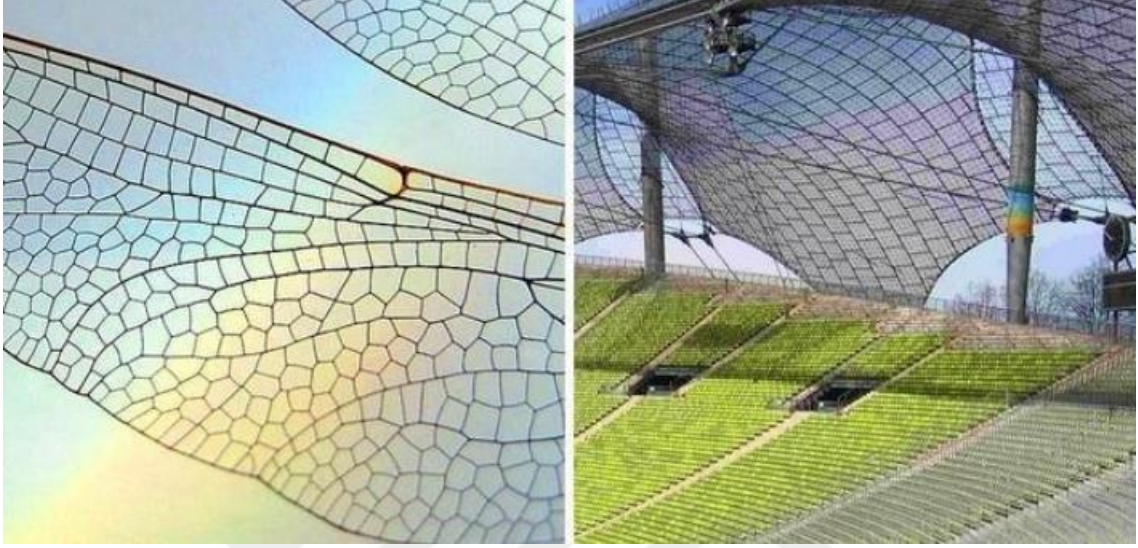


Şekil 4.13. Kozalak ve açılıp kapanabilen yüzey prensibi (URL-17)



Şekil 4.14. Frankfurt'ta tasarlanan faz pavyonunun açık ve kapalı görüntüsü (URL-17)

Münih olimpiyat stadı doğadan esinlenilerek yapılan tasarımların bir diğer örneğidir. Stadın çatı örtüsü yusufçuk isimli böceğin kanat yapısından esinlenilerek tasarlanmıştır (Şekil 4.15.). Yusufçuk böceklerinin kanat yapıları fazla bölünmüştür ve damarlı bir yapıya sahiptir. Bu özelliği kanatlarının yırtılmamasını sağlamaktadır ve mukavemetini artırmaktadır (Bilmen, 2019).



Şekil 4.15. Yusufçuk böceği kanat yapısı ve Münih olimpiyat stadı çatı örtüsü (URL-18)

İyi bir doğa gözlemcisi olan Gaudi, Sagrada Familia kilisesinden içeriye giren ziyaretçileri, bir ormana giriyor izlenimi vermiştir (Şekil 4.16.). İç mekan tasarımında çokça doğadan yararlanmış olan Gaudi, 4 adet doğal görünümlü kolonla da konseptini tamamlamıştır (Bilmen, 2019).



Şekil 4.16. La Sagrada Familia kilisesi iç mekan konsepti (Salur, 2018)

Yapının ta bölümüne doğadan bazı betimlemeler (Şekil 4.17.) eklemiştir. Bitki ve hayvan motiflerini iç mekan tasarımında sıkça kullanan Gaudi, ayrıca insan iskelet ve kemik yapısına da yaptığı bazı analogilerle kullanmıştır (Bilmen, 2019).



Şekil 4.17. Cephe ve iç mekan tasarımında doğa motifleri (Bilmen, 2019)

Michael Pawlyn, tasarımlarını yaparken alışlagelmiş tasarım parametrelerini yerine, verimli, doğaya, çevresine ve insanlara faydalı tasarımlar yapmayı hedeflemektedir (Bilmen, 2019).

Tasarlamış olduğu Eden projesin de insanlarla doğa arasında bir ilişki kurmayı amaçlamıştır. İnsanları bilinçlendirmek istediği projesinde, sürdürülebilirlik ilkelerine uyarak tasarımını yapmış ve insanların doğa ile uyumlu yaşadıklarında neleri kazanabileceğini anlatmak istemiştir. Yapı içerisinde ziyaretçilere eğitim verilmektedir ve doğa ile insan arasında olması gereken bağ anlatılmaktadır (URL-19, 2019).

Yapı formu birbiri ile girintili jeodezik kubbelerden (Şekil 4.18.) oluşur. Kubbeler bir araya gelerek bütün bir sera etkisi oluşturmaktadır. Doğada mevcut olan karbon molekülleri ve tek hücre yapısına sahip canlılar gibi canlı türleri araştırılmış ve geniş bir alanı bulunan bu yapı beşgen ve altıgen jeodezik kubbelerle örülmüştür. Tasarımında kullanılan eğrisel hatlar dayanıklı ve çevre şartlarına uygun şekilde inşa edilmiştir (Bilmen, 2019).



Şekil 4.18. Eden projesi (URL-20, 2019)

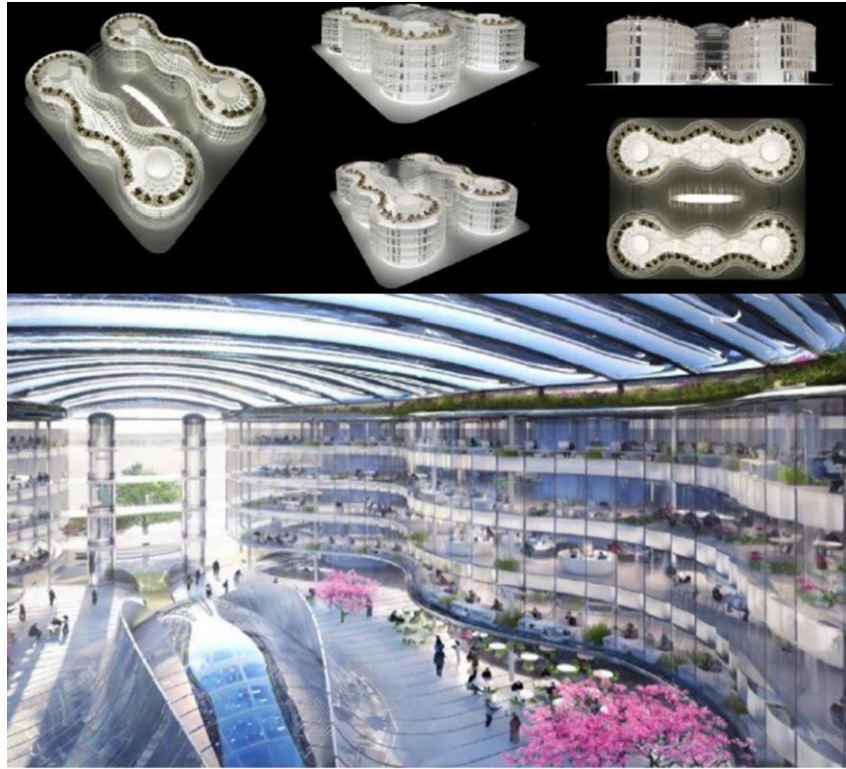
Eden projesi ziyarete gelen insanları sürdürülebilirlik başlığında bir eğitim merkezine almaktadır (Blewitt, 2015).

Yapı içerisinde yürüyüş alanları bulunan kubbeler (Şekil 4.19.), beşgen ve altıgen plastik birimlerden oluşmaktadır ve bu birimler çelik yardımıyla çevrelenmiştir (Bilmen, 2019).



Şekil 4.19. Eden projesi iç mekanı (URL-21)

(Bilmen, 2019)'den alınan bilgiye göre, bir Michael Pawlyn eseri olan biyomimikri ofis binası (Şekil 4.20.), Pawlyn'in doğayı gözleyerek keşfettiği muhteşem uyumu ve doğanın düzenli çalışma şeklini bir ofis binası çalışmasına aktarma projesidir. Amaç ise, kuşun kafatasının şeklinden esinle ve bina dış kabuklarını kavisli ve ince camlı bir şekilde, istenilen sertlik düzeyine getirerek kapatmaktır. Bina enerji maliyetlerini en aza indirgeyecek şekilde tasarlanmış olup iki aşamada uygulanmıştır. Strüktür kısmı canlıların kemik yapılarından tasarlanmış, sürdürülebilirlik kısmında ise bitkilerin hava kullanımdaki etkinlik ve verimlilikleri göz önüne alınmıştır. Binanın alt yapısı modellenirken, kuş ve mürekkep balıkları incelenmiş ve bu canlıların kemik yapıları referans alınarak tasarlanmıştır. Mürekkep balıklarının kemik yapıları ve kuşların kafatası yapılarında, Pawlyn 'tam olarak doğru yerde en az malzeme kullanan karmaşık formların' genel itibariyle doğada çalışma yöntemlerine işaret etmiş ve tasarladığı binanın ana bileşenleri arasında görmüştür. Diğer bileşenlere göre daha hafif çalışması planlanan sütunlar ve plakalar, boşluklu şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan bu boşluklu yapılarda ikinci bir amaç olarak, sıcaklık dengesinde kullanılmıştır. Sıcak kontrolünü daha iyi dengede tutabilmek amacıyla bina tasarlanırken, yağmur ormanlarında bulunan ve güneş ışığından üst düzeyde yararlanabilen, mimoza pudica ve epifitik antoryum adındaki ve benzeri bitki türlerinden de yararlanılmıştır.



Şekil 4.20. Biyomimikri ofis binası (URL-22)

4.2. 21.yy'da Biyomimikri Örnekleri

Modern mimarinin başarılı mimarlarından olan Santiago Calatrava'nın tasarımlarını diğer tasarımcılarınkilerden ayıran özelliklerin, projelerinin bilimsel temellere dayalı olmasıdır. Doğayı gözlemleyerek yöntemlerini öğrenmiş, teknoloji ile buluşturmuştur. Milwaukee sanat müzesini de 'Bir kuş çizmeyi bilmek çok güzel ancak kuşun, sineğin nasıl uçtuğunu bilmemek eksikliklerdir.' (Şekil 4.21.) düşüncesi ile tasarlamıştır (URL-22, 2013).



Şekil 4.21. Milwaukee Sanat Müzesi (URL-22, 2013)

Calatrava mühendislik alanında yaptığı uzun araştırmalar sonucunda açılıp kapanabilen kusursuz bir mekanizma ve heykelsi bir mimari proje tasarlamıştır. Tasarım sürecinde martı kanatlarının açılıp kapanmasından esinlenen Calatrava, her gün iki defa açılan kanat sistemi için katlanabilen 217 adet ayak bağlamıştır. Müze tasarımında kullanılan kanat sisteminin açılıp kapanma zamanı ise güneşe göre gerçekleştirilip, gölge ve ışık oranı istenilen düzeyde tutulmaktadır (Bilmen, 2019).

Katar’da tasarlanan ve kaktüsten esinlenilen Katar belediye işleri ve tarım bakanlığı projesi, kaktüsün çevresine olan ilişki düzeyini çölde inşa etmeyi amaçlamıştır. Ses çıkarmadan çalışabilen işlevsel nitelikler, kaktüslerin çok sıcak hava şartlarında kendilerini sündürmelerinden ilham almıştır. Pencereleerde yapılan güneş gölgeleri kaktüslerin suyu üzerinde tutmak amacıyla gündüz terlemek yerine gece terlemesine maruz kalması gibi ısıya cevaben açılmakta ve kapanmaktadır. Projede kullanılan atık suların kazanımı, suyu korumakla beraber en az düzeyde atık elde eden botanik kubbesinden ekosisteme uzanmaktadır (Bilmen, 2019).



Şekil 4.22. Katar’da yapılan kaktüs gökdelen projesi (Bilmen, 2019)

Kaktüs projesi adıyla anılan projede, enerji verimliliği ve kalitesi planlanmıştır. Değişen hava şartlarına karşı pencerelerinden önünde yerleştirilen güneşlikler, açılıp kapanabilmektedir. Proje tasarımında geri dönüştürülebilirlik ön planda tutulmuştur. Kulenin altına tasarlanan kubbede botanik bir bahçe uygulanacaktır ve atık su arıtılabilecektir (Sprey, 2009).

William McDonough’un tasarımını gerçekleştirdiği geleceğin gökdeleni, yada toplumda ağaç gökdelen (Şekil 4.23.) olarak anılan bu yapı ilk kez yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ile çalışan ve ekolojik parametrelere uygun olarak yapılan binadır. Doğadaki bir ağacın işlevsel anlamda uygulayabildiği birçok maddeyi, bina gerçekleştirebilmektedir. Oksijen ve enerji üretebilen bina doğa dostudur ve sürdürülebilir mimarinin örneklerindendir. Bina biyomimikrinin 21.yy’daki en önemli temsilcilerindendir. Teknoloji faktörü mimaride olduğu kadar biyomimikride de

değişikliklere yol açmış, ekolojik yapılar oluşturmaya imkan sağlamıştır. Temel çıkış noktası ise kendi kendine yetebilen, bunu yaparken de doğa ile dost olan binalar inşa etmektir. Binanın dış cephe formu rüzgarı kesmek amacıyla tasarlanmıştır. Batı cephesi ise yeşil alanların ve atriyumların bulunduğu bölümdür (Bilmen, 2019).



Şekil 4.23. Ağaç gökdelen projesi (URL-23)

Yapı içerisindeki ıslak hacimlerde kullanılmış olan atık sular binanın yeşil alanlarının sulaması için kullanılabildiği gibi, yeşil alan sulamalarında kullanılan atık sular ise yine bina ıslak hacimlerinde kullanılabilmektedir. Yapının güney cephesine yerleştirilen güneş panelleri sayesinde, yapı kendi enerji ihtiyacının %40'ını giderebilmektedir. Binanın içerisinde kullanılmakta olan mobilyalarda geri dönüşüm mümkün malzemelerden üretilmiştir (Inhabitat, 2008).

5. MİMARİDE BİYOMİMİKİRİ ÇALIŞMALARINDAN BİÇİMSEL ÇIKARIMLAR

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda biyomimikri kavramının mimaride ve farklı alanlarda kullanımı konusunda veri elde edilmiştir. Biyomimikri yönteminin kendi içerisinde ayrıldığı sınıfları ile mimaride kullanım alanları incelenmiştir. Elde edilen bilgiler neticesinde biyomimikri yöntemleri ve mimari sınıfları birleştiren, biyomimikri esin türünü ve kullanıldığı yapıyı görsellerle destekleyen bir çizelge elde edilmiştir.

Çizelgede mimari tasarımlarda uygulanan biyomimikri yöntemleri, esinlendiği canlı türü ile birleştirilerek aktarılmıştır. Bu aktarım yapılırken dünyanın herhangi bir yerinde mimari tasarıma esin kaynağı olmuş canlı çeşidi ve uygulandığı bina eşleştirilmiş. Aynı zamanda yapının hangi biriminde, hangi rolü üstlendiğine de yer verilmiştir.

Çizelge içerisinde ilave olarak, tez çalışmaları esnasında araştırılan ve herhangi bir mimari uygulama üzerinde uygulanmamış canlı ve mimari sınıf çeşitlerine de yer verilmiştir.

Yapılan literatür taramaları sonucunda kullanılan biyomimikri türü, kullanıldığı esin türü ve görseli, kullanım amacı ve kullanımdaki etkisi, mimari sınıfı, yapının adı ve yapının görseli bir çizelge içerisinde aktarılmıştır. Çizelge biyomimikri yöntemlerinden ‘Biçim’ başlığına ağırlık verilerek hazırlanmış olup, işlev ve renk yöntemlerine de yer verilmiştir. Mimari sınıflardan ise cephe, mekanik, kabuk (üst örtü) ve strüktüre yer verilmiştir.

Biçim başlığında sırasıyla şu bilgilere yer verilmiştir:

İnsan iskeleti, vücudun taşıyıcısı konumundadır. Yapıların strüktüründe referans alınabilir. La Sagrada Familia tasarlanırken insan iskeletinden esinlenmeler olmuştur.

Ağaç yapısı, bünyesinde bulundurduğu kök, gövde ve dallar vardır. Yapıların strüktüründe referans alınabilir. BCE Place ağaçların yapısından esinle tasarlanmıştır.

Kuş yuvası, inşa modeli mimari strüktür için uygundur. Yapıların strüktüründe referans alınabilir. Pekin Olimpiyat Stadı kuş yuvasından esinlenilerek yapılmıştır.

İstiridye, kabuk yapısı ve formu çatı örüntüleri için uygundur. Yapıların kabuk ve cephe tasarımlarında referans alınabilir. Los Manantiales Restaurant istiridyeden esinle tasarlanmıştır.

Victoria Amazonica, damarlı yapısı ile çatı örtüsü görevi görür. Yapıların kabuk ve cephe tasarımlarında referans alınabilir. Kristal Saray, Victoria Amazonica'dan esinle tasarlanmıştır.

Su yapısı, birbirlerine olan kimyasal bağların formülü çok güçlüdür. Yapıların kabuk ve cephe tasarımlarında referans alınabilir. Water Cube binasında su yapısından esinlenmeler olmuştur.

Sinek gözü, parçalı ve birbirleri ile uyumlu bir bütündür. Yapıların kabuk ve cephe tasarımlarında referans alınabilir. Selfriges sinek gözünden esinle tasarlanmıştır.

Lotus bitkisi, formu cephede kullanmak için uygundur. Yapıların kabuk ve cephe tasarımlarında referans alınabilir. Bahai Tapınağı, lotus bitkisinden esinle tasarlanmıştır.

Diyatom, parçalı geometrik şekiller ile bir bütün oluşturur. Yapıların kabuk tasarımında referans alınabilir. Füller'in jeodezik kubbeleri diyatomdan esinle tasarlanmıştır.

Yusufçuk, kanat yapısı damarlı ve zarlıdır. Yapıların kabuk tasarımında referans alınabilir. Münih Olimpiyat Stadı'nın tasarımında yusufçuk böceğinden esinlenmeler olmuştur.

Karbon molekülü, parçalı geometrik şekiller ile bir bütün oluşturur. Yapıların kabuk tasarımında referans alınabilir. Eden projesinin tasarımında karbon moleküllerinden esinlenmeler olmuştur.

İşlev başlığında sırasıyla şu bilgilere yer verilmiştir:

Termit kulesi, doğal iklimlendirme ve havalandırma sistemi vardır. Yapıların mekaniğinde referans alınabilir. Eastgate binaları, termit kulelerinden esinle tasarlanmıştır.

Örümcek ağı, çelikten 20 kat fazla dayanıma sahiptir. Yapıların strüktüründe referans alınabilir. Asma köprü tasarımlarında kullanılabilir.

Namib çölü böceği, yüzeyinde su biriktirme özelliğine sahiptir. Yapıların cephe tasarımlarında referans alınabilir. Sürdürülebilir cephe sistemlerinde kullanılabilir.

Köpekbalığı derisi, yüzeyinde su tutmaz. Yapıların cephe tasarımlarında referans alınabilir. Çatı örtülerinde kullanılabilir.

Lotus yaprağı, kendini temizleme özelliğine sahiptir. Yapıların cephe tasarımlarında referans alınabilir. Cephe giydirme sistemlerinde kullanılabilir.

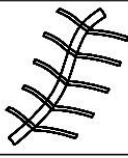
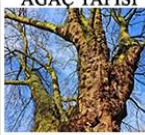
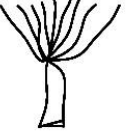
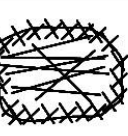
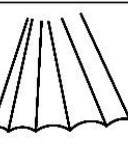
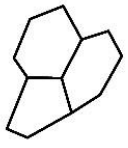
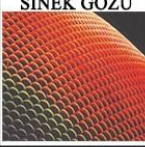
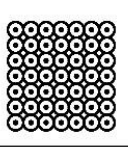
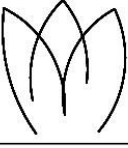
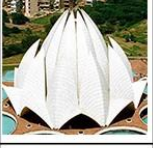
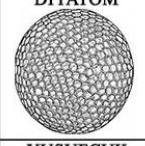
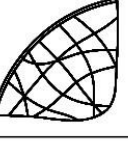
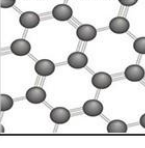
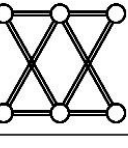
Renk başlığında sırasıyla şu bilgilere yer verilmiştir:

Deve tüyü, renkleri yansıtma özelliğine sahiptir. Yapıların cephe tasarımında referans alınabilir. Linde Hidebrand'ın binası deve tüyünden esinle tasarlanmıştır.

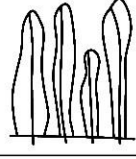
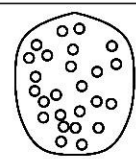
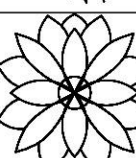
Tavus kuşu, tek bir renk pigmenti ile çok fazla renk oluşturur. Yapıların cephe aydınlatmalarında referans olarak kullanılabilir.

Morfo kelebeği, LED ve yansıtma özelliğine sahiptir. Yapıların cephe aydınlatmalarında referans olarak kullanılabilir.

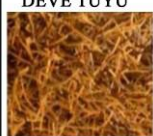
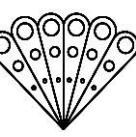
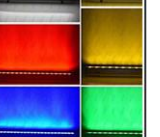
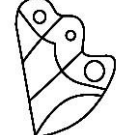
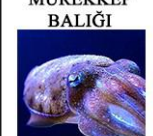
Mürekkep balığı, renk değiştirebilir. Yapıların cephe aydınlatmalarında referans olarak kullanılabilir.

BİYOMİMİKRI TÜRÜ	ESİN TÜRÜ GÖRSELİ	AMAÇ VE ETKİSİ	MİMARİ SINIF	MORFOLOJİK TANIMI	YAPI ADI	YAPI GÖRSELİ
BİÇİM	İNSAN İSKELETİ 	VÜCUDUN TAŞIYICISIDIR	STRÜKTÜR		LA SAGRADA FAMILIA	
	AĞAC YAPISI 	KÖK, GÖVDE VE DALLARI İLE TAŞIYICI GÖREVİ GÖRÜR	STRÜKTÜR		BCE PLACE	
	KUŞ YUVASI 	İNŞA MODELİ MİMARİ STRÜKTÜR İÇİN UYGUNDUR	STRÜKTÜR		PEKİN OLİMPİYAT STADI	
	İSTİRİDYE 	KABUK YAPISI VE FORMU ÇATI ÖRÜNTÜLERİ İÇİN UYGUNDUR	KABUK VE CEPHE		LOS MANANTIALES RESTAURANT	
	VİCTORIA AMAZONICA 	DAMARLI YAPISI ÇATI ÖRTÜSÜ GÖREVİ GÖRÜR	KABUK VE CEPHE		KRİSTAL SARAY	
	SU YAPISI 	BİRBİRLERİNE OLAN KİMYASAL BAĞLARININ FORMU GÜÇLÜDÜR	KABUK VE CEPHE		WATER CUBE BİNASI	
	SİNEK GÖZÜ 	PARÇALI VE BİRBİRLERİ İLE UYUMLU BİR BÜTÜNDÜR	KABUK VE CEPHE		SELFRİGES	
	LOTUS 	FORMU CEPHEDE KULLANMAK İÇİN UYGUNDUR	KABUK VE CEPHE		BAHAİ TAPINAĞI	
	DİYATOM 	PARÇALI GEOMETRİK ŞEKİLLER İLE BİR BÜTÜN OLUŞTURUR	KABUK		FÜLLER JEODEZİK KUBBE	
	YUSUFÇUK 	KANAT YAPISI DAMARLI VE ZARLIDIR. KABUK İÇİN UYGUNDUR	KABUK		MÜNİH OLİMPİYAT STADI	
	KARBON MÖL. 	PARÇALI GEOMETRİK ŞEKİLLER İLE BİR BÜTÜN OLUŞTURUR	KABUK		EDEN PROJESİ	

Çizelge 5.1. Biçim yöntemi ve kullanıldığı mimari sınıflar

BİYOMİMİKRI TÜRÜ	ESİN TÜRÜ GÖRSELİ	AMAÇ VE ETKİSİ	MİMARİ SINIF	MORFOLOJİK TANIMI	YAPI ADI	YAPI GÖRSELİ
İŞLEV	TERMİT KULESİ 	DOĞAL İKLİMLENDİRME HAVALANDIRMA SİSTEMİ VARDIR	MEKANİK		EASTGATE BİNALARI	
	ÖRÜMCEK AĞI 	ÇELİKTEN 20 KAT FAZLA DAYANIMA SAHİPTİR	STRÜKTÜR		ASMA KÖPRÜ	
	NAMİB ÇÖLÜ BÖCEĞİ 	YÜZEYİNDE SU BİRİKTİRME ÖZELLİĞİNE SAHİPTİR	CEPHE		SÜRDÜRÜLEBİLİR CEPHE SİSTEMLERİ	
	KÖPEKBALIKI DERİSİ 	YÜZEYİNDE SU TUTMAZ	CEPHE		ÇATI UYGULAMALARI	
	LOTUS YAPRAĞI 	KENDİNİ TEMİZLEME ÖZELLİĞİNE SAHİPTİR	CEPHE		CEPHE GİYDİRME SİSTEMLERİ	

Çizelge 5.2. İşlev yöntemi ve kullanıldığı mimari sınıflar

BİYOMİMİKRI TÜRÜ	ESİN TÜRÜ GÖRSELİ	AMAÇ VE ETKİSİ	MİMARİ SINIF	MORFOLOJİK TANIMI	YAPI ADI	YAPI GÖRSELİ
RENK	DEVE TÜYÜ 	RENKLERİ YANSITMA ÖZELLİĞİNE SAHİPTİR	CEPHE		LİNDE HİDEBRAND'IN BİNASI	
	TAVUS KUŞU 	TEK BİR RENK PİGMENTİ İLE ÇOK FAZLA RENK OLUŞTURUR	CEPHE		CEPHE AYDINLATMA	
	MORFO KELEBEK 	LED VE YANSITMA ÖZELLİĞİNE SAHİPTİR	CEPHE		CEPHE AYDINLATMA	
	MÜREKKEP BALIĞI 	RENK DEĞİŞTİREBİLİR	CEPHE		CEPHE AYDINLATMA	

Çizelge 5.3. Renk yöntemi ve kullanıldığı mimari sınıflar

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Tez çalışmasında biyomimikri kavramı ile ilgili yüksek lisans ve doktora tezleri, makaleler, sempozyumlar, kitaplar, web temelli kaynaklar başta olmak üzere geniş bir literatür taraması yapılmış ve örneklerle desteklenmiştir. Doğanın insanlar için bir model ve öğretmen olduğu, doğanın bize birçok imkan sunduğu araştırılmış, bu imkanların tasarım sürecine olan etkileri incelenmiştir. Bu sayede referansı doğa olan tasarımların daha sürdürülebilir ve ekosistem ile arkadaş yapısına dikkat çekilmek istenmiştir. Tasarımlarını doğa ile yapmak isteyen tasarımcıların karşılaştıkları problemlere doğa temelli çözümler üreterek neleri başarabilecekleri örneklerle de desteklenerek açıklanmıştır.

Biyomimikrinin farklı bilim dalları ile olan ilişkileri üzerinden, mimaride tasarlama süreci incelenmiş, kesiştikleri noktalar tespit edilerek bir sınıflandırma yapılmıştır. Bundaki amaç biyomimikrinin araştırma ve pratiğe dönüşündeki hızını artırmaktır. Biyomimikrinin kapsamı bütün ekosistem ve ekosistemde yaşamını sürdüren canlılardır. Çalışmada ise, biyomimikri kavramı, kavramın tasarıma yansımaları, biçimsel analizleri incelenmiş ve örnekler üzerinden aktarılmıştır.

Mimaride Biyomimikri Çalışmalarından Biçimsel Çıkarımlar bölümünde, tez içerisinde araştırılan bütün sınıfların ortak olarak değerlendirildiği bir çizelge oluşturulmuştur. Çizelge biçim, işlev ve renk başlıkları adı altında incelenmiştir. Mimari sınıf ve biyomimikri yöntemleri eşleştirilmiş, uygulanmış veya uygulanmamış örnekleri üzerinden sınıflandırılmıştır.

Biçim başlığına ağırlık verilerek, biyomimikrinin işlev ve renk başlıklarına da yer verilen çizelgede; tasarımcıların hangi canlılardan esinlendiğinin görseline ve adına, tasarımda kullanılma amacına, kullanım etkisine, hangi mimari sınıfta ve hangi binada kullanıldığına yer verilmiştir.

Tespit edilmiş olan canlı türlerinin amaç ve etkisini listelenmiş, kimi canlı türlerinin herhangi bir yapıda uygulamasının olmadığını ancak, hangi mimari sınıfta uygulanabilecek olduğu araştırılmıştır.

Bu sayede tasarımını doğa referanslı yapmak isteyen tasarımcılara ilham verilmesi amaçlanmıştır.

Tasarımcının tasarım sürecinde tespit edilmiş mimari sınıflarla ilgili bir problemi olduğunda, biyomimikrinin hangi türüne veya hangi canlı türüne başvurması gerekebileceği araştırılmıştır.

Çıkarımlar neticesinde elde edilen bilgiler ile ilgili olarak aktarılmak istenen, tasarımcıların tasarımlarını yaparken tek ve en doğru seçeneğin biyomimikri olduğunu ifade etmek değildir. Günümüze kadar gelen tasarım sürecinde insanoğlu her zaman doğaya danışmıştır demek yanlış olur. Kendi kendine elde ettiği çözümlerle de doğanın çözümlerine denk ve hatta daha ileri seviyede başarılar elde etmiştir. Yadsınamaz gerçektir ki, biyomimikri gerek tasarım sürecinde, gerek tasarım sonu yapının kullanım hayatında, bütün süreci daha verimli, faydalı, sürdürülebilir, enerji korunumunu ön planda tutan ve geri dönüştürülebilirlik ilkelerine sadık hale getirebilmektedir. Bir tasarımın fonksiyonel olmasının yanında, sürecinde fonksiyonel olarak ilerlemesi gerekmektedir. Biyomimikri ile tasarımcıların, çevresine her zaman olduğundan daha farklı bakabilmeleri de hedeflenmiştir.

Değişen dünya ile beraber ihtiyaçlarda değişmiştir. Karşılaşılan yeni problemlere, yeni çözümler getirilmektedir. 21.yy'da yaşanan pandemi süreci ile insanlar kent, mekan, ve doğa algılarını yeniden gözden geçirmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda geleceğe yönelik süreçte, çalışma ve elde edilen çıkarım çizelgesi bir tipolojik sınıflandırma haline gelebilir. Çizelgede ki ana hatların yanı sıra kullanılan biyomimikri türü ve örnekleri yapıların tipolojik olarak sınıflandırmasında kullanılabilir. Bu sayede hangi yapı türünün hangi canlı grubu ile çözümlenebileceğini ayrıştırılabilir. Web veya baskı halindeki kaynaklarla tasarımcıların doğa ile tasarlama süreçleri daha işlevsel hale gelebilir, problemleri daha hızlı ve verimli çözülebilir, doğa referanslı tasarımlarla daha sürdürülebilir ve enerji etkin tasarımlar oluşturulabilir ve tasarımcılara ilham kaynağı olabilir.

KAYNAKLAR

- Adams, S., 2009, Tom Dixon ve Ross Lovegrove, <http://birdunderfire.blogspot.com/2009/03/tom-dixon-and-ross-lovegrove.html>, [30.12.2020].
- Akgöze, F., 2015, Biyomimikri: Doğanın Tasarımı, <https://medium.com/sherpa-blog-bulten/biyomimikri-do%C4%9Fan%C4%B1n-tasar%C4%B1m%C4%B1-18e89673b445>, [07.08.2020].
- Akgün, S., 2014, Doğayı Gözlemleyip Mimariye Aktarıyor, <http://www.raillife.com.tr/dogayi-gozlemleyip-mimariye-aktariyor/>, [11.09.2020].
- Alchetron, 2018, Igo Etrich, <https://alchetron.com/Igo-Etrich>, [27.08.2020].
- Aleks, <https://robo-wiki.ru/robotics-blog/throwing-machines-of-antiquity/>, [30.12.2020].
- Altun, Ş., 2011, Doğanın İnovasyonu-İnovasyon İçin Doğadan İlham Al, *Ankara*, Elma Yayınevi, p.
- Anonim, 2011, Doğadaki En Başarılı Tasarımcılar: Örümcekler, <http://evrimteorisi-info-gercekler.blogspot.com/2011/12/dogadaki-en-basarl-tasarmclar.html>, [08.08.2020].
- Aydın, S., 2017, İletişim Yaklaşımıyla Sürdürülebilirlik Kavramı, Yeşil Kavramı ve Yerel Küresel Yansımaları ile ilgili bir İnceleme Örneği, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
- Aziz, M. S. ve Sherif, A. Y. E., 2015, Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation, *Alexandria Engineering Journal*, 55 (1), 707-714.
- Ball, P., 1999, The Self-Made Tapestry-Pattern Formation in Nature, *New York*, Oxford Universty Press, 1.Baskı, p.
- Banger, G., 2016, Biyomimikri ya da Biyomimetik, *Biyoteknoloji & Yaşam Bilimleri Gazetesi*, 12.
- Bangert, A., 2004, Colani 50 Years of Designing the Future, *Thames & Hudson*, p.
- Bar-Cohen, Y., 2006, Biomimetics - Biologically Inspired Technologies, *New York*, Taylor & Francis Group, p.
- Bayazıt, N., 2008, Tasarımı Anlamak, *İstanbul*, İdeal Kültür Yayıncılık, p.
- Benyus, J. M., 1997, Biomimicry Innovation Inspired by Nature, *New York*, Harper Perennial, p.

- Benyus, J. M., 1998, *Biomimicry, Innovation Inspired By Nature*, New York, William Morrow and Company Inc., p.
- Bilmen, M. M., 2019, Mimarlıkta Biyomimikri Kavramı Antoni Gaudi ve Micheal Pawlyn Eserlerinin İncelenmesi 21.yy'a Yansıması, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
- Blewitt, J., 2015, The Eden Project-making a connection, *ResearchGate*.
- Boyer, M., 2013, CalTech Researcher John Dabiri Uses Biomimicry to Design Cheaper, More Efficient Vertical Axis Wind Farms Inspired by Schools of Fish, <https://inhabitat.com/john-dabiri-uses-biomimicry-to-design-cheaper-and-more-efficient-wind-farms/>, [10.09.2020].
- Brown, D., 2006, For 1st Woman With Bionic Arm, a New Life Is Within Reach, <https://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2006/09/13/AR2006091302271.html>, [13.08.2020].
- Carfrae, T., 2006, Engineering the Water Cube, <https://architectureau.com/articles/practice-23/>, [10.09.2020].
- Çakır, T., 2018, Biyomimikri: Sürdürülebilir bir dünya zaten var, <https://medium.com/@tubacakir/biyomimikri-s%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir-bir-d%C3%BCnya-zaten-var-3724e855f0aa>, [22.11.2020].
- Demircan, K., 2015, <https://www.labmedya.com/midye-salgisi-super-yapistiricidan-cerrah-yapistiricisina-yemeyin-yapistirin>, [10.10.2020].
- Dezurko, E. R., 1951, Greenough's Theory of Beauty in Architecture, *The Rice Institute Pamphlet*, 39 (5).
- Divarçı, B., 2016, Endüstriyel Tasarımda Biyonik Dokunuş, <http://knowgeee.blogspot.com/2016/07/endustriyel-tasarmda-biyonik-dokunus.html>, [07.08.2020].
- Dragoun, A., 2008, Ünlü Tasarımcı Luigi Colani 80. Doğum Gününü Kutlayacak, <https://www.auto.cz/slavy-designer-luigi-colani-oslavi-osmdesate-narozneniny-7305>, [30.12.2020].
- Edwards, A. R., 2005, *The Sustainability Revolution Portrait of a Paradigm Shift, Gablora Island, Canada*, New Society Publishers, p.
- Eğilmez, A., 2015, 'Neandertaller İnsanın Maymunu Atasıdır' İddiası Bir Sahtekarlıktır, <https://yaratilis.com/index.php/neandertaller-insanin-maymunu-atasidir-iddiasi-bir-sahtekarlikdir/>, [30.12.2020].
- El-Zeiny, R. M. A., 2012, Biomimicry as a Problem Solving Methodology in Interior Architecture, *ASEAN Conference on Environment-Behavior Studies*, Procedia Social and Behavioral Sciences 50, 502-512.

- Erden, Z. D., 2011, Evrimi Destekleyen/Kullanan Bilimler - 9: Mühendislik, Biyomühendislik, Biyomimikri, <https://epsilon.evrimagaci.org/article/tr/evrimi-destekleyen-kullanan-bilimler-9-muhendislik-biyomuhendislik-biyomimikri>, [06.08.2020].
- Frank, P., 2016, Scientists Develop Thinnest Solar Cells, <https://www.jhunewsletter.com/article/2016/03/scientists-develop-thinnest-solar-cells/>, [10.09.2020].
- Garden, N. Y. B., 2015, A Glasshouse of Collected Stories, <https://www.nybg.org/blogs/plant-talk/2015/01/horticulture-2/a-glasshouse-of-collected-stories/>, [07.09.2020].
- Gertik, A., 2012, Biyomimesis Anlayışı ve Bu Bağlamda Günümüz Kuzey Kıbrıs Mimarisi'ne Eleştirel Bir Bakış, *Yakın Doğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Lefkoşa.
- Gomez, A., 2012, Woodlice Parade, <http://abugblog.blogspot.com/2012/12/woodlice-parade.html>, [10.09.2020].
- Gratzel, M., 2001, Molecular Photovoltaics that mimic photosynthesis, *Pure and Applied Chemistry*, 73 (3), 459-467.
- Harman, J., 2013, The Shark's Paintbrush: Biomimicry and How Nature is Inspiring Innovation, UK, Nicholas Brealey Publishing, p.
- İleritürk, İ., 2016, Mimarlık Eğitiminde Doğa İle İlişki Bakımından Biyomimikri, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
- Inhabitat, 2008, William McDonough's Treescraper Tower of Tomorrow, <https://inhabitat.com/the-building-of-tomorrow-that-works-like-a-tree/>, [03.11.2020].
- Karabetça, A. R., 2016, Biyomimikri Destekli Mekan Tasarımı Ölçütleri ve Bu Ölçütlerin Örnekler Üzerinde İncelenmesi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
- Kaya, U., 2015, Biyomimikri: Doğadan İlham Al, <http://usamekaya.com.tr/biyomimikri-dogadan-ilham-al/>, [08.08.2020].
- Kellert, S. R., Heerwagen, J. H. ve Mador, M. L., 2008, Biophilic Design. The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life, New Jersey, ABD, John Wiley & Sons, p.
- Kennedy, S., 2004, Biomimicry/Biomimetics: General Principles and Practical Examples, *The Science Creative Quarterly*.
- Keskin, R., 2019, Doğadan Esinlenilen Mekansal Tasarımlarda Analojinin Kullanımı: Biyomimikri, *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Burdur, Türkiye.

- Kıymılı, Z. M., 2006, Depreme Duyarlı Bölgelerde Sürdürülebilir Mimari Tasarım; Isparta/Mavikent Örneği, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, Isparta, Türkiye.
- Krishnakumar, V., 2011-2012, Biomimetic Architecture, <http://www.empiricalzeal.com/2015/03/09/eiffel-tower/#more-3579>, [30.09.2020].
- Kuday, I., 2009, Tasarım sürecini destekleyici faktör olarak biyomimikri kavramının incelenmesi, Yüksek Lisans, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
- Langdon, D., 2014, AD Classics: Montreal Biosphere/ Buckminster Fuller, <https://www.archdaily.com/572135/ad-classics-montreal-biosphere-buckminster-fuller>, [27.08.2020].
- Laurenza, D., 2005, Leonardo'nun Makineleri, *İstanbul*, Pegasus Yayıncılık, p.
- Merin, G., 2013, AD Classics: The Crystal Palace/ Joseph Paxton, <https://www.archdaily.com/397949/ad-classic-the-crystal-palace-joseph-paxton>, [07.09.2020].
- Murray, J. D., 2003, Mathematical Biology-II: Spatial Models and Biomedical Applications *New York*, Springer, 3.Baskı, p.
- Mutuli, I., 2020, The Gherkin: Foster's Monumental Building in the Heart of London, <https://www.archute.com/the-gherkin-a-monumental-building-in-the-middle-of-london-by-foster-partners/>, [30.09.2020].
- Navarro, X., 2013, Moda Prehistórica, <https://magaliteatro.wordpress.com/2013/09/07/moda-prehistorica/>, [30.12.2020].
- Onszaden, Alsomitra Macrocarpa, https://onszaden.com/alsomitra_macrocarpa, [27.08.2020].
- Özdemir, E. E. ve Cengizoglu, F. P., 2016, Mimari Yüzeylerde Biomimesis Etkisi, 8. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*.
- Özen, G., 2016, Doğa Referanslı Tasarım: Biyomimikri, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
- Özülkü, Ö., 2010, Modern Mimarlıkta Doğadan Etkilenen Form ve Geleceğe Yönelik Yaklaşımlar, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
- Panchuk, N., 2006, An Exploration into Biomimicry and its Application in Digital & Parametric (Architectural) Design, *University of Waterloo Master of Architecture*, Canada.

- Parr, D., 2012, The 5 Great Biomimicry Applications Series-Plants 4, <https://biomimicron.wordpress.com/2012/11/23/the-5-great-biomimicry-applications-series-plants-4/>, [30.09.2020].
- Salur, Ş., 2018, La Sagrada Familia, <https://www.arkitektuel.com/la-sagrada-familia/>, [10.10.2020].
- Sönmez, B. İ., 2018, Doğadan İlham Alan 9 Robot, <https://www.dunyahalleri.com/dogadan-ilham-alan-9-robot/>, [16.10.2020].
- Sprey, K., 2009, Qatar's giant cactus: a shining example of biomimicry, <https://newatlas.com/qatars-giant-cactus-biomimicry/10993/>, [21.10.2020].
- Tarhan, S., 2019, Doğanın İnovasyonu; Biyomimikri ve Bu Bağlamda Konya Tropikal Kelebek Bahçesi Örneği, *Selçuk Üniversitesi-Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya, Türkiye.
- URL-1, 2018, Biyomimikri Nedir?, <https://toolbox.biomimicry.org/introduction/>, [27.07.2020].
- URL-2, 2019, Biyomimetik Bilimi Tanım ve Tarihçesi, <https://www.linkedin.com/pulse/1-biyomimetik-bilimi-tanim-ve-tarih%C3%A7esi-a-ali-%C5%9Fen>, [27.02.2020].
- URL-3, 2005, The power and beauty organic design, https://www.ted.com/talks/ross_lovegrove_organic_design_inspired_by_nature?language=tr, [29.07.2020].
- URL-4, 2007, www.colani.ch, [05.08.2020].
- URL-5, 2010, <http://www.colani.ch/glasses.pdf>, [05.08.2020].
- URL-6, 2016, Biowave, <https://asknature.org/idea/biowave/>, [08.08.2020].
- URL-7, <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/P/bo3631132.html>, [11.08.2020].
- URL-8, 2007, Robot Çağı, <https://www.dw.com/tr/robot-%C3%A7a%C4%9F%C4%B1/a-2702187-0>, [13.08.2020].
- URL-10, <http://users.ox.ac.uk/~kgroup/tools/introduction.shtml>, [10.09.2020].
- URL-11, https://www.speedo.com/on/demandware.store/Sites-spdgbgbp-Site/en_JE?geoip=geoip, [11.09.2020].
- URL-12, İş Dünyası Gelecek Stratejilerine Biyomimikri İle Yön Veriyor, [11.09.2020].
- URL-13, https://en.wikipedia.org/wiki/Beijing_National_Stadium, [11.09.2020].

- URL-14, <http://vincent.callebaut.org/page1-img-dragonfly.html>, [30.09.2020].
- URL-15, <https://www.fosterandpartners.com/projects/30-st-mary-axe/>, [30.09.2020].
- URL-16, <https://www.pinterest.es/pin/719590846694473405/>, [09.10.2020].
- URL-17, <http://www.achimmenges.net/?p=4411>, [09.10.2020].
- URL-18, <https://www.inegolonline.com/foto-galeri/detay/dogadan-ilham-alinarak-olusan-teknoloji-1171/sayfa-12>,
- URL-19, 2019, <https://www.edenproject.com/eden-story>, [10.10.2020].
- URL-20, 2019, <https://home.bt.com/news/science-news/eden-project-secures-funding-for-geothermal-power-plant-11364402640865>, [10.10.2020].
- URL-21, <https://gaiadergi.com/dunyanin-en-buyuk-serasi-eden-projesi/project-eden-7/>, [10.10.2020].
- URL-22, <http://www.exploration-architecture.com/>, [10.10.2020].
- URL-22, 2013, Milwaukee Sanat Müzesi: Santiago Calatrava, <http://mimdap.org/2013/05/milwaukee-sanat-muzesi-santiago-calatrava/>, [21.10.2020].
- URL-23, <http://forgood.nu/why/?lang=en>, [03.11.2020].
- Vierra, S., 2016, Biomimicry: Designing To Model Nature, <https://www.wbdg.org/resources/biomimicry-designing-model-nature>, [07.08.2020].
- Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A. ve Pahl, A., 2006, Biomimetics: its practice and theory, *Journal of the Royal Society Interface*, 3, 471-482.
- Vincent, J. F. V., 2009, Biomimetic Patterns in Architectural Design, *Architectural Design*, 79, 75-81.
- Vogel, S., 2000, Cat's Paws and Catapults. Mechanical Worlds of Nature and People, *ABD*, Norton Publishing, p.
- Wings, H., 2012, Clement Ader and the Eole, <http://fly.historicwings.com/2012/10/clement-ader-and-the-eole/>, [27.08.2020].
- Yıldız, H., 2012, Endüstri Ürünleri Tasarımı Kapsamında Biyomimetik Tasarımın Yeri ve Metodolojisi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, İstanbul, Türkiye.

- Yılmaz, C. E., 2020, Leonardo Da Vinci'nin Buluşları: Çağ Ötesi Mühendis, <https://teknoloji.org/leonardo-da-vincinin-buluslari-cag-otesi-muhendis/>, [22.11.2020].
- Yuran, A. F. ve Taşgetiren, S., 2010, Doğadan Esinlenerek Tasarım, *Biyoteknoloji Elektronik Dergisi*, 1,2, 23-30.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Taha Şenol YILMAZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Seydişehir/ 14.07.1996
Telefon : -
Faks : -
E-Posta : tahasenolyilmaz@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Mahmut Esat Anadolu Lisesi/ Seydişehir/ Konya			2014
Üniversite	: KTO Karatay Üniversitesi/ Karatay/ Konya			2018
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi/ Selçuklu/ Konya			2021
Doktora	:			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018-2020	MMA Mustafa Mermer Mimarlık	Mimari & İç Mimari Uygulama Projesi/ Görselleştirme
2020	HM Proje	Mimari Uygulama Projesi

UZMANLIK ALANI

Mimari & İç Mimari Uygulama Projesi/ Konsept Tasarım Çalışmaları

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Yılmaz, T. Ş., Yılmaz Çakmak, B., 2020, ‘Doğaya Direncin Mekan Tasarımındaki Yansıma ve Sonuçları’, Resilience of/in Megacities’, 13 Kasım 2020, Çevrimiçi Sempozyum