



**BİNALARDA SU KAZANCI SAĞLAMAK AMACIYLA BİYO-BİLGİLİ
STRATEJİLERİN YAPI KABUĞU TASARIMINDA UYGULANMASINA
YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ**

Maide Merve TAŞKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2022

ETİK BEYAN

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

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

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

Maide Merve TAŞKAN

11/05/2022

BİNALARDA SU KAZANCI SAĞLAMAK AMACIYLA BİYO-BİLGİLİ
STRATEJİLERİN YAPI KABUĞU TASARIMINDA UYGULANMASINA YÖNELİK
BİR MODEL ÖNERİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Maide Merve TAŞKAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2022

ÖZET

Su, temel insan faaliyetleri için kritik bir kaynaktır ve insan sağlığı için hayati bir önem taşımaktadır. Son yıllarda artan nüfus, kontrolsüz kentleşme, çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi nedenlerden küresel bir su kıtlığı krizi yaşanmakta ve temiz su kaynaklarına erişim giderek güçleşmektedir. Su kaynaklarının sınırlı olduğu gerçeğiyle birlikte temiz su kaynaklarının korunması ve suyun sürdürülebilir şekilde kazanımı sağlamak pek çok disiplinde önem kazanmaya başlamıştır. Dünya genelinde kentsel alanlar ve inşaat faaliyetleri su kaynakları tüketimini büyük oranda etkilemektedir. Bu nedenle yapı çevreler tasarlanırken su kazancı sağlamaya yönelik stratejiler geliştirmek mimarlık disiplininde de önemli bir konu haline gelmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar doğa esinli/biyo-bilgili yöntemlerin yenilikçi, etkili ve sürdürülebilir çözümler sunduğunu göstermektedir. Bu amaçla bu çalışma, doğa esinli yöntemlerin, dış çevre ile en çok etkileşimin gerçekleştiği bina elemanı olan yapı kabukları tasarımında uygulanmasına odaklanmıştır. Bu bağlamda tez, “Doğadaki canlıların deri/kabuk fonksiyonları ve yaşadıkları ortamlardaki kısıtlı su kaynaklarını dengeli şekilde kullanma stratejileri model alınarak mimari yapı kabuğunda su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kazanımını sağlayan bir model geliştirilebilir mi?” sorunu cevaplamak üzere kurgulanmıştır. Önerilen yöntem, doğal deri ya da kabukların su dengesi sağlama prensiplerinin mimari yapı kabuğu tasarımlarına nasıl aktarılabilirliğini araştırmak için üç aşamalı olarak kurgulanmıştır. Birinci aşamada doğal dil işleme yöntemi kullanılarak biyolojik kaynaklarda tasarım problemine uygun canlılar araştırılmıştır. Ulaşılan biyolojik fenomenlerin deri/ kabukları su kazanımı özellikleri bakımından sınıflandırılarak analiz edilmiştir. Üçüncü aşamada biyolojik fenomenlerden mimari potansiyeli bulunan prensipler çıkarılarak tasarım önerisi geliştirilmiştir. İncelenen biyolojik fenomenlerin yapı kabuğu tasarımında, soyutlanan su kazanım prensipleri ve modellenen doğa esinli bina kabuğu örneği ışığında elde edilen sonuçlar biyo-bilgili stratejilerin mimari yapı kabuklarında su kazancı sağlamak amacıyla estetik, işlevsel ve sürdürülebilir çözüm potansiyelleri barındırdığını göstermiştir.

Bilim Kodu : 80111

Anahtar Kelimeler : Biyo-bilgili tasarım, su kazancı, yapı kabuğu, sürdürülebilir mimarlık

Sayfa Adedi : 102

Danışman : Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

A MODEL PROPOSAL TO USE BIO-INFORMED STRATEGIES IN BUILDING
SHELL DESIGN TO PROVIDE WATER GAINING IN BUILDINGS

(M. Sc. Thesis)

Maide Merve TAŞKAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2022

ABSTRACT

Water is a critical resource for basic human activities and is vital to human health. In recent years, a global water scarcity crisis has been experienced due to reasons such as increasing population, uncontrolled urbanization, environmental pollution and climate change, and access to clean water resources is becoming increasingly difficult. With the fact that water resources are limited, the protection of clean water resources and the sustainable recovery of water have started to gain importance in many disciplines. Throughout the world, urban areas and construction activities greatly affect the consumption of water resources. For this reason, it has become an important issue in the discipline of architecture to develop strategies for water saving while designing built environments. Recent studies show that nature-inspired/bio-informed methods offer innovative, effective and sustainable solutions. For this purpose, this study focuses on the application of nature-inspired methods in the design of building envelopes, which are the building elements where the most interaction with the external environment occurs. In this context, the thesis seeks the answer of, “Can a model be developed that ensures the sustainable acquisition of water resources in the shell of architectural structures by modeling the skin/shell functions of living things in nature and the strategies of using the limited water resources in a balanced way?”. The proposed methodology is designed in three stages to investigate how the principles of providing water balance of natural skin/shells can be transferred to architectural building envelope designs. In the first stage, data suitable for the design problem in biological resources were searched using the natural language processing method. The skin/shells of the reached biological phenomena were classified in terms of their water recovery properties and analyzed. In the third stage, a design proposal was developed by extracting the principles with architectural potential from biological phenomena. The results obtained in the light of the water recovery principles abstracted into the building envelope design of the examined biological phenomena and the modeled nature-inspired building envelope example show that bio-informed strategies contain aesthetic, functional and sustainable solution potentials in order to provide water savings in architectural building envelopes.

Science Code : 80111

Key Words : Bio-informed design, water gain, building envelope, sustainable architecture

Page Number : 102

Supervisor : Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında büyük emeği olan, bilgi ve deneyimleriyle çalışmama yön vererek yolumu aydınlatan, katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen, sabırlı ve anlayışlı yaklaşımıyla beni her zaman destekleyip yüreklendiren çok kıymetli danışmanım Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Anlayış ve hoşgörüsüyle her zaman yanımda olan, süreç boyunca deneyimlerini ve kaynaklarını benimle paylaşan değerli hocam Arş. Gör. Dr. Güneş MUTLU AVINÇ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez savunma jürimde bulunan ve tez çalışmama katkı sağlayan değerli hocalarım Doç Dr. Esra ÖZKAN YAZGAN' a ve Dr. Öğr. Üyesi İlkay DİNÇ UYAROĞLU' na desteklerinden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca yanımda olan, emek ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Nurcan TAŞKAN ve babam Murat TAŞKAN' a, pozitif enerjisiyle beni her zaman destekleyen ve cesaretlendiren sevgili kardeşim Zeynep TAŞKAN' a teşekkür ederim.

Bu yolculukta desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan, yolumu güzelleştiren çok değerli arkadaşlarım Deniz Beste ETEM, Ansou KAMANO ve Ceyda ELDEMİR KARA'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI VE KURAMSAL ALTYAPI.....	7
2.1. Doğa Esinli Mimari Tasarımlar ve Biyomimesis.....	7
2.1.1. Biyomimesis kavramı	8
2.1.2. Biyomimetik yaklaşımlar	12
2.1.3. Mimarlıkta biyo-bilginin kullanımı üzerine tasarım örnekleri	21
2.2. Mimari Kabuk ve Biyomimesis.....	36
2.2.1. Mimari kabuk	37
2.2.2. Doğadaki canlıların deri/kabuk fonksiyonları.....	38
2.2.3. Mimari kabuğun problemleri ve işlevleri.....	41
2.2.4. Biyomimetik mimari kabuk tasarımı örnekleri	42
3. MATERYAL VE METOT.....	53
3.1. Doğal Dil İşleme Yöntemi	53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	59
4.1.1. Problemin doğal dil işleme yöntemiyle araştırılması.....	59

	Sayfa
4.1.2. Biyolojik eşleşmelerin tespit edilmesi	60
4.1.3. Biyolojik modelin seçimi ve analizi.....	71
4.1.4. Örnek çalışma: biyo-bilgili ilkelerin soyutlanması ve kavramsal tasarım konsepti model önerisi.....	82
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	102

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Biyolojiye bakan tasarım yaklaşımının işleyiş süreci	13
Çizelge 2.2. Tasarımı etkileyen biyoloji yaklaşımının işleyiş süreci.....	15
Çizelge 2.3. Farklı araştırmacıların kaynaklarındaki biyomimetik tasarım yaklaşımları için kullanılan ifadeler.....	17
Çizelge 2.4. Biyomimikri düzeyleri ve boyutlarını termit örneği üzerinden açıklayan tablo	18
Çizelge 2.5. Organizmaların derilerinin işlevleri ve mimarlıktaki benzetimleri	40
Çizelge 2.6. Binalarda ve doğadaki farklı çevresel zorluklar için işlevsel yakınsamaların	42
Çizelge 4.1. Biyolojik kaynakta taranan anahtar kelimelerden eşleşme olanların belirlenmesi.....	61
Çizelge 4.2. “Yaşam, Biyoloji Bilimi” kaynağında anahtar kelimelerle yapılan aramalar sonucu ulaşılan eşleşmeler	62
Çizelge 4.3. “Yaşam, Biyoloji Bilimi” kaynağında anahtar kelimelerle yapılan aramalar sonucu işlevsel anahtar kelimelerin eşleştiği biyolojik terimler	67
Çizelge 4.4. Kazanmak anahtar kelimesiyle yapılan aramaların özeti.....	70
Çizelge 4.5. Anahtar kelimelerle yapılan araştırma sonucunda bulunan doğal çözümler	72
Çizelge 4.6. Ulaşılan fenomenlerin detaylı özellik matrisi.....	80
Çizelge 4.7. Su toplama, suyu koruma, su taşıma ve su depolama işlevleri için ulaşılan baskın özellikler	81
Çizelge 4.8. Canlıların su kazanmalarını sağlayan ana özellikleri ve mimari yapı kabuklarında uygulanabilecek ilkeler.....	83

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Tez akış şeması	6
Şekil 2.1. Werner Nachtigall' in biyonik, teknik biyoloji, doğa ve teknoloji arasındaki ilişkiyi açıklayan diyagramı	12
Şekil 3.1. Temizlemek ve savunma filleri arasındaki sözcüksel ilişki	56
Şekil 3.2. Anahtar kelimenin WordNet'te hypernim ve troponimlerinin arama sonuçları	57
Şekil 3.3. Köprüleme sürecini gösteren bir akış şeması	58
Şekil 4.1. Kazanmak fiilinin eş anlamlıları.....	60
Şekil 4.2. Gain (Kazanmak) fiilinin eş anlamlıları	60

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Biyolojiye bakan tasarım yaklaşımında mühendis veya tasarımcıyla başlayan süreci gösteren örnek diyagram	14
Resim 2.2. (A) Esin kaynağı kutu balığı, (B) Ağaçların büyüme modeli, (C) Balığın iskelet yapısının araç tasarımına uyarlanmış hali, (D) Daimler Chrysler'in biyonik araba prototipi	14
Resim 2.3. Tasarımı etkileyen biyoloji yaklaşımında biyologlarla başlayan süreci Gösteren örnek diyagram	16
Resim 2.4. Lotus çiçeği ve Lotusan boyası; Lotus yaprağının 10 µm ve 1µm ölçekteki görünüşleri	16
Resim 2.5. Namibya çöl böceği ve Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi Binası	19
Resim 2.6. Portcullis House Binası ve şematik gösterimi	20
Resim 2.7. Eastgate Binası, Termit kulesi, Termit kulesinin kesiti ve üstte görünüşünün şematik gösterimi	20
Resim 2.8. Doha Belediye ve Tarım Bakanlığı binası ve binanın ilham kaynağı kaktüs bitkisi	21
Resim 2.9. Sainte Chapelle Kilisesi ve King's College Şapeli'nin ağaç dallarına benzeyen tonozları	22
Resim 2.10. Leonardo Da Vinci'nin tasarım eskizleri.....	23
Resim 2.11. Sagrada Familia Katedrali, ağaç formunu taklit eden düşey strüktürleri ve cephesindeki ağaç yaprakları biçimindeki oymalar	24
Resim 2.12. Park Guell'in kıvrımlı çatısı ve Casa Mila'nın bacaları	25
Resim 2.13. Crystal Palace ve Eiffel Kulesi	25
Resim 2.14. Fuller'ın jeodezik kubbeleri için ilham kaynağı Radiolarian aulastrum tricerus kabuğu.....	26
Resim 2.15. Otto'nun pnömatic strüktürler üzerine eskizleri	27
Resim 2.16. Mannheim Multihalle ve Frei Otto tarafından kurgulanan, kendi kendini taşıyan, ahşap kafes çatı konstrüksiyonu (gridshell structure).....	27
Resim 2.17. Quadracci Pavyonu	28
Resim 2.18. Ağaç gövdelerinden ilham alınarak tasarlanan Coexistence Tower.....	29

Resim	Sayfa
Resim 2.19. Bir deniz keşanesi iskeletinin yapısını gösteren diyagram ve iskeletin gözenekli ve hafif yapısını gösteren yakın çekim fotoğrafı.....	29
Resim 2.20. Stuttgart Üniversitesi'ndeki Landesgartenschau Sergi Salonu	30
Resim 2.21. Cabo Llanos Kulesi.....	30
Resim 2.22. Durian meyvesi ve Esplanade Tiyatrosunun cephesi	31
Resim 2.23. Singapur Sanat Merkezi.....	31
Resim 2.24. Pekin Olimpiyat Stadyumu ve kuş yuvası	32
Resim 2.25. Cennet kuşu bitkisi ve ondan ilham alan Flektofin mekanizması	32
Resim 2.26. One Ocean Expo Pavyonu	33
Resim 2.27. BIQ (Bio-Intelligent Quotient) evi ve SolarLeaf tasarım eskizi.....	33
Resim 2.28. Biyo-enerji cephesi prototipi ve sistemi oluşturan üç cephe elemanının modeli.....	34
Resim 2.29. Biyo-enerji cephesi işletme modeli	35
Resim 2.30. Almanya Freiburg Botanik Bahçesi için tasarlanan livMats Pavyonu	36
Resim 2.31. Biyomimikri Müzesi'nin modeli ve kaktüslerin diken yapısının şematik gösterimi	43
Resim 2.32. Biyomimikri Müzesi büyük kanopinin iç mekan modeli ve deve burun yapısının şematik gösterimi	43
Resim 2.33. Bina zarfında yer alan ağ diskleri ve binanın şematik kesiti	44
Resim 2.34. Çöl araştırmacıları için tasarlanan konut projesi prototipi	44
Resim 2.35. Habitat 2020 Projesi	45
Resim 2.36. Seawater Greenhouse Avustralya	46
Resim 2.37. Las Palmas Su Tiyatrosu	46
Resim 2.38. Biyomimetik Ofis Binası	47
Resim 2.39. Biyomimetik Ofis Binası'nda ilham alınan canlılar	47
Resim 2.40. Sahra Ormanı Projesi ve Namib çöl böceği su hasadı şematik gösterimi	48

Resim	Sayfa
Resim 2.41. AquaWeb şematik gösterimi, AquaWeb!in modüler bileşenleri ve konteynerin üzerine monte edilmiş hali	48
Resim 2.42. Warka Kulesi'nin versiyonlarının yıllara göre şematik gösterimi, V.01 kulesinin prototipi, mekanizmanın işleyişinin şematik gösterimi ve 2015'te inşa edilen V.3.2 kulesi.....	49
Resim 2.43. Rain Bellow cephe elemanının prototipi ve çalışma mekanizmasının şematik gösterimleri.....	50
Resim 2.44. Seranın zarfındaki tamponların yağmur suyu toplama mekanizmasının şematik gösterimleri ve sera zarfının 3B modelleri	51
Resim 4.1. Grasshopper programıyla modellenen cephe yüzeyindeki su hasadı yapan koni strüktürler	85
Resim 4.2. Grasshopper programıyla modellenen su hasadı yapan biyomimetik cephe	86
Resim 4.3. Biyolojik fenomenlerden su hasadı yapan mimari kabuk tasarımına giden yol.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

°	Derece
%	Yüzde
CO ₂	Karbondiyoksit
m ³	Metreküp
m ²	Metrekare

Açıklamalar

Kısaltmalar

CAM	Crassulacean asid metabolism
IBA	Uluslararası yapı fuarı
ICD	Institute for computational design
ITKE	Institute of building structures and structural design
M.Ö.	Milattan önce
M.S.	Milattan sonra
SSC	Strategic science consult of Germany
UNESCO	Birleşmiş milletler eğitim, bilim ve kültür örgütü
yy	Yüzyıl

Açıklamalar

1. GİRİŞ

Günümüzde çevre kirliliği, hızlı nüfus artışı, küresel ısınma gibi sebeplerden ötürü kullanılabilir “su kaynakları” hızla tükenmektedir. Bu nedenle suyun sürdürülebilir şekilde kazanımını sağlamak önemli hale gelmiştir. Birçok disiplinde olduğu gibi mimarlık disiplinde de bu alanda yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır. Su kaynaklarının korunması adına binalarda yağmur suyunu ve havadaki nemi toplamak için çeşitli stratejiler geliştirilmektedir. Bu stratejilerden “doğa esinli/biyo-bilgili yöntemler” kullanan yenilikçi ve çevre dostu yaklaşımlar üzerine yapılan araştırmaların sayısı ve niteliği de gün geçtikçe artmaktadır.

Doğa, milyarlarca yıldır biriktirdiği tecrübeler sonucunda, mikro seviyeden makro seviyelere kadar her türlü ekosistemde sürdürülebilir ve optimum çözüm sağlayabilecek yaklaşımlar barındırmaktadır. Örneğin, mikro ölçekte, yaşamın temel birimi ve tüm hayati fonksiyonların yapı taşı olan hücre, içerisindeki bileşenlerin parçalanması ve yeniden yapılandırılması şeklindeki bir döngü ile ihtiyaç duyduğu enerjiyi kendisi üretmektedir. Eşeyli veya eşeysiz olarak çoğalabilmekte, zaman içerisinde çevresine uyum sağlayarak ve özelliklerini nesilden nesile aktararak geliştirebilmekte, çevresel uyarılara homeostaziye sürdürerek tepki verebilmektedir. Bir başka ifade ile canlıları karakterize eden tüm bu özellikler dinamik süreçleri kapsamaktadır (Mazzoleni, 2013: 6-16).

Doğada canlılar için temel olarak “hayatta kalmak ve üremek” şeklinde iki fonksiyon olduğu söylenebilir. Bu fonksiyonlar, yiyecek bulmak, avlanmak, yakalamak ve tuzak kurmak; çevresel faktörlere uyum sağlamak, felaketlerden ve ölümden kaçınmak; arkadaş bulmak ve cezbetmek; bazı türler için ise gençleri korumak ve onlara bakmak; kendi barınağını inşa etmek gibi birçok kabiliyeti içerir. Dolayısıyla doğada bulunan canlılar genetik aktarımlarla bu kabiliyetlere doğuştan sahiptir. Ayrıca insanların yüzyıllar içerisinde geliştirdikleri mızrak, bıçak, ağ, sepet, pişirme kapları gibi hayatta kalma araçları da hayvanlarda ve onların davranış biçimlerinde doğal olarak mevcuttur (Gould ve Gould, 2012: 2-4).

Canlıların doğadaki hayatta kalma fonksiyonlarına çeşitli örnekler verilebilir. Örneğin örümcekler hem barınak işlevi gören hem de yiyeceklerini elde etmek için tuzak fonksiyonuna sahip ağlar örерler. Bu ağların yapısı mikro ölçekte incelendiğinde hem elastik

hem de dayanıklıdır. Örümcek ağları, örülüş şekli sayesinde yük taşıma kapasitesi yüksek ve sağlam bir strüktüre sahiptir. Benzer şekilde kuşlar yuvalarını, yavrularını zararlı çevresel faktörlerden ve yırtıcılardan koruyacak bir tasarımla inşa ederler. Yuva yaparken yaşadıkları bölgede kolaylıkla bulabilecekleri ince uzun ağaç yaprakları ya da ağaç dallarını kullanırlar. Bazı güvelerin kozaları, kış aylarında larvaların donmasını engellemek amacıyla çift katlı ipekle örülüdür ve bu yapı dış ortamla iç ortam arasında ısı yalıtımı sağlar (Hansell, 2005: 931-934). Su aygırlarının kısa bacakları ve perdeli ayak parmakları güneş yanıklarından korunmak için günün büyük kısmını suyun altında geçirmelerini kolaylaştıran fiziksel özellikleridir (Mazzoleni, 2013: 183).

Sonuç olarak temelde, tüm bitki ve hayvan yapıları güneş enerjisini kullanırlar. Doğal yapılar, kapalı bir malzeme döngüsünün parçası olan az sayıda temel bileşenden oluşurlar. Bu süreçte, canlıların kullandığı maddelerin ve enerji kaynaklarının çoğu yakın çevrelerinde mevcuttur. Kısıtlı kaynakları verimli bir şekilde kullanırlar. Yaşamlarının sonunda, tüm canlılar temel bileşenlerine ayrılır, bu bileşenler de diğer canlılar tarafından kullanılır ve böylece yaşam döngüsü doğada sürekli olarak devam eder (Knippers, Schmid ve Speck, 2019: 12-13).

Kısacası işlev, ölçek ve yapım süreçleri insan yapımı “her şey” den farklı olsa da mimarların ve mühendislerin bu sürdürülebilir ilham kaynağına yani doğaya yakından bakmaları hiç de şaşırtıcı değildir (Arslan Selçuk, 2007). Biyo-bilgili tasarımlar olarak literatüre giren pek çok tasarım yaklaşımı mimarlar ve mühendisler için doğanın en iyi tecrübelerinden ya da barındırdığı en iyi fikirlerden faydalanmanın yöntemlerini aramakta ve bu fikirleri teknolojinin yardımı ile hayata geçirerek sonuç ürünler elde etmektedirler.

Mimarların yaptığı biyo-bilgili araştırmalar arasında sıklıkla yer alan konular; en az malzeme ile en etkin strüktürlerin tasarlanması, bu strüktürlerin hafifliğine rağmen sahip olduğu rijitliğin optimizasyonu ve sürdürülebilirliktir. Burada kastedilen sürdürülebilirlik çalışmaları, doğanın çalışma prensiplerinden öğrenerek enerji üretim ve kullanımında, malzeme, teknik ve yapı çevre üretiminde, doğa ile uyumlu, kullandığı kaynaklar ve yarattığı atıklar ile çevreye zarar vermeyen sistemlerin geliştirilmesine odaklanmaktadır.

Bu amaçla en çok çözüm bekleyen mimari elemanlardan biri yapının kabuğudur (*building shell/facade/envelope*). Yapı kabuğu bir binanın dış çevre ile ilk etkileşime geçen elemanıdır

ve aynı zamanda bina ile dış çevre arasındaki sınırdır. Dolayısıyla en çok madde (oksijen, karbondioksit, su gibi) ve enerji (rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi gibi) geçişi burada gerçekleşir. Yapı kabuğunun etkileşimde bulunduğu çevresel faktörler ışık (güneş radyasyonu), sıcaklık, bağıl nem, yağmur suyu, rüzgâr (hava hareketi) ve karbondioksit (hava kalitesi) şeklinde sıralanabilir.

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yapılan bu tez çalışması kapsamında bu çevresel faktörlerden sis ve yağmur suyu gibi havadaki nemi ihtiva eden unsurların yapı kabuğuyla etkileşiminin kullanılmasıyla “binalarda su kazancı” sağlayabilecek bir strateji geliştirilebileceği düşünülmektedir. Bu strateji geliştirilirken sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla biyo-bilgili/biyomimetik yöntemlerin kullanılması hedeflenmektedir.

Bu amaçla, tez çalışması kapsamında doğadaki canlıların deri/kabuk fonksiyonları araştırılmış ve mimari kabuğun problem ve işlevleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu sebeple, literatürdeki biyomimetik mimari tasarım örnekleri incelenerek; doğadaki canlıların su kazancı sağlamaya yönelik stratejileri araştırılmış ve “mimari kabuk” bağlamında değerlendirilmiştir. Doğal dil işleme yöntemi kullanılarak biyolojik kaynaklarda doğal stratejiler araştırılmıştır. Araştırılan doğal stratejilerden uygun biyolojik model seçimi ve analizi yapılarak mimari tasarım problemlerini çözmede biyolojiden mimariye aktarımlarda bir çerçeve çizilmiştir. Seçilen biyolojik model soyutlanarak binalarda su kazancı sağlama işlevine sahip bir tasarım konsepti geliştirilmiştir.

Araştırma Sorusu ve Hipotezi

Bu tez çalışmasının temel motivasyonu “Doğadaki canlıların deri/kabuk fonksiyonları ve yaşadıkları ortamlardaki kısıtlı su kaynaklarını dengeli şekilde kullanma stratejileri model alınarak mimari yapı kabuğunda su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kazanımını sağlayan bir model geliştirilebilir mi?” sorunun yanıtını bulmaktır.

Çalışmanın hipotezi ise, “Doğada canlıların ve ekosistemlerin suyu koruma, su toplama ve su kazanma stratejileri incelenerek bina kabuğu tasarımına uyarlanabilecek çözüm sağlayan biyolojik yöntem belirlenerek sürdürülebilir su kazancı sağlayan bir yapı kabuğu model önerisi geliştirilebilir.” şeklinde kurgulanmıştır.

Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışmada, belirtilen amaca ulaşmak için öncelikle bir literatür araştırması yapılmış ve aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- Biyomimetik kavramı tanımlanmış ve biyomimetik yaklaşımlar açıklanmıştır.
- Biyomimetik kavramının mimarlıkla ilişkisi incelenmiştir
- Mimari kabuk ve biyomimesis ilişkisi mimari kabuğun problemleri ve işlevleri, canlıların deri kabuk fonksiyonları bağlamında değerlendirilmiştir.
- Doğadaki canlıların stratejilerini kullanan biyomimetik mimari kabuk tasarım örnekleri araştırılmıştır.

Tez çalışması kapsamında geliştirilmesi amaçlanan model önerisi için “doğal dil işleme” ve “analojik akıl yürütme” yöntemleri kullanılarak “biyolojik olarak anlamlı” anahtar kelimeler aracılığı ile doğadaki rol model canlılar belirlenmiştir.

“Doğal dil işleme ve analojik akıl yürütme”, biyoloji bilimiyle farklı disiplinler arasında köprü kuran sistematik bir yöntemdir. Bu yöntemde öncelikle, mühendislik/mimarlık alanındaki bir problem tanımlanır ve bu problemi ifade eden anahtar kelimeler belirlenir (Chiu ve Shu, 2007). Anahtar kelimelerin isim yerine fiil olarak tercih edilmesi istenilen işleve yönelik daha zengin çözüm potansiyellerine ulaşılması açısından önemlidir. Örneğin, “koruma” fiiliyle bir arama yapıldığında koruma işlevine yönelik tüm biyolojik verilere ulaşılabilirken; “kabuk” ismiyle arama yapıldığı zaman yalnızca kabuklarla ilgili bilgilere ulaşabilmekte ve koruma işlevini içeren çözüm potansiyelleri kabuklarla sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle ilk aşamada belirlenen anahtar kelimeler fiil olarak seçilmelidir (Shu ve Cheong, 2014). Her alanın kendi “alt dili” bulunduğundan, bir mühendis ya da mimar tarafından kullanılan anahtar kelimeler, biyolojide yararlı olmayabilir ve biyolojik kaynaklarda çok az eşleşmeyle sonuçlanabilir ya da hiçbir eşleşme elde edemez. Örneğin daha önce “temizlemek (*clean*)” anahtar kelimesi ile biyolojik bir kaynakta arama yapılmış ve yalnızca dört adet eşleşme elde edilebilmiştir. Eşleşme sayısını arttırmak amacıyla bir biyokimyacıya danışılmıştır. Temizlemek biyolojide genellikle savunma mekanizmalarıyla ilgili olduğundan biyokimyacı “savunmak (*defend*)” kelimesini önermiştir ve bu kelime daha çok eşleşme ile sonuçlanmıştır (Chiu ve Shu, 2007). Dolayısıyla bir mühendis ya da

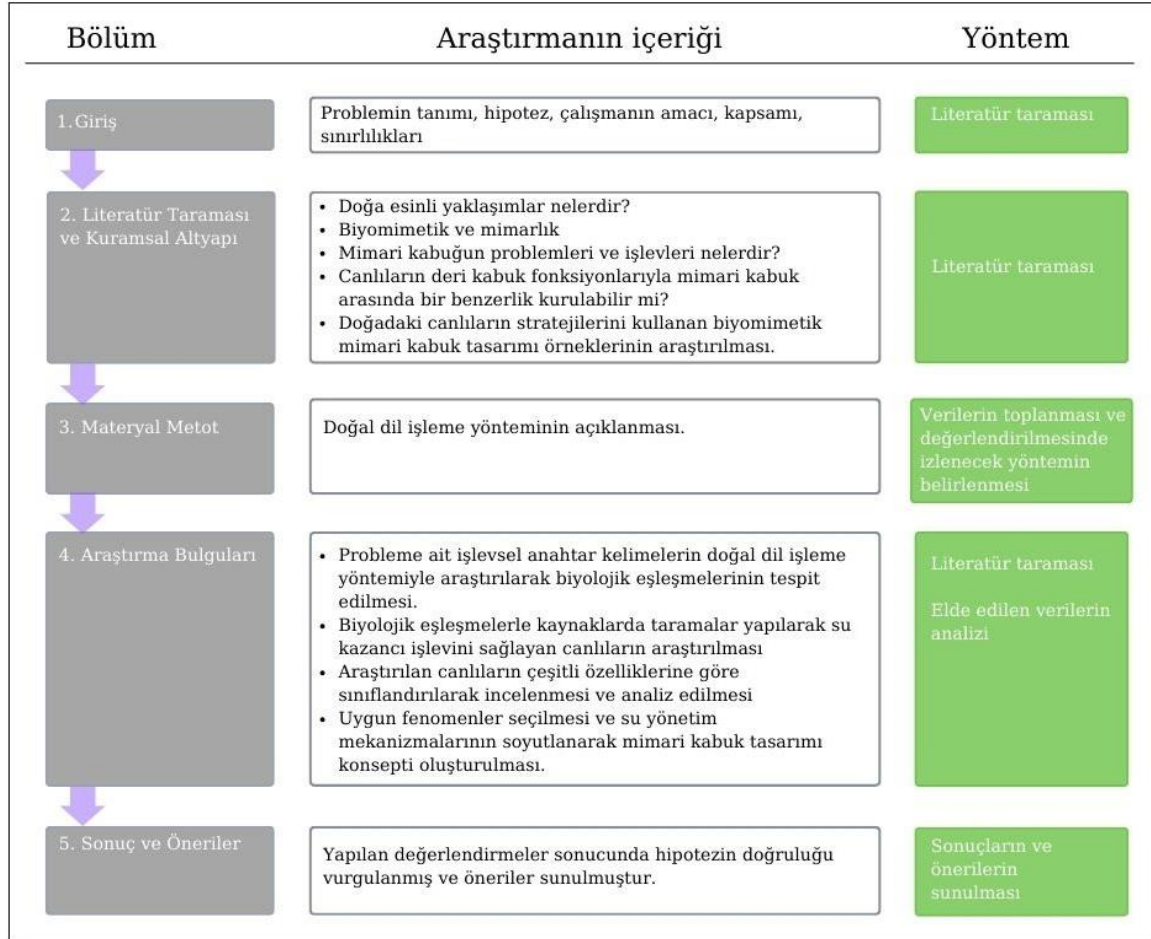
mimarın sınırlı biyolojik bilgisiyle seçtiği kelimeleri kullanarak yaptığı aramalar ulaşabileceği biyolojik çözüm potansiyellerini azaltabilir. Bu nedenle probleme ait anahtar kelimeden daha çok eşleşme sağlayabilmek için bu kelimenin alt anlamlı, genel anlamlı, eş anlamlı ve zıt anlamlı gibi versiyonları bulunarak anahtar kelimeler genişletilmelidir (Miller, Beckwith, Fellbaum, Gross, ve Miller, 1993). Anahtar kelimeler genişletilirken “WordNet”, “VerbNet” ya da “TDK” gibi veri tabanları kullanılabilir. Genişletilen anahtar kelimelerden uygun olanları biyolojik bilgi kaynaklarında aratılmalıdır (Chiu ve Shu, 2007). Kaynaklarda yapılan aramalar sonucu anahtar kelimelerin geçtiği cümlelerde sıklıkla rastlanan biyolojik kelimeler belirlenir. Yeni biyolojik anahtar kelimelerle biyolojik kaynaklarda tekrar bir arama yapılır ve başta belirlenen mimarlık problemine uygun çözümler bu şekilde belirlenmiş olur. Analogik akıl yürütme ise biyolojik kaynaklardan ilgili fenomenler seçildiğinde, bilginin kaynak alandan (biyolojiden) hedef disipline (mühendislik/mimarlık) doğru bir şekilde uygulanmasını sağlamak amaçlı kullanılmaktadır. Bu aşamada;

- Mimari kabuk tasarımında sürdürülebilir su dengesi için anahtar kelimeler belirlenerek bu kelimeler genişletilmiş, biyolojik kaynaklardaki karşılıkları ifade edilmiştir.
- Biyolojik kaynaklarda karşılığı bulunan anahtar kelimelerle ortaya çıkan doğadaki nem/su dengesi stratejileri araştırılmıştır. Araştırılan doğal stratejiler tablolar üzerinde sınıflandırmalar yapılarak incelenmiştir.
- Tablolar üzerinden yapılan incelemeler sonucu ulaşılan bilgiler mimari tasarıma aktarmak için analiz edilerek soyutlanmıştır. Böylece bu çalışmada izlenecek yol haritası çizilmiştir.
- Doğal çözümlerden uygun fenomenler seçilerek mimari yapı kabuğu tasarımı için soyutlanmış ve Rhinoceros Grasshopper programları kullanılarak kavramsal bir model önerisi sunulmuştur. Bu çalışmada izlenen yöntemin gelecekte biyolojiden mimariye bilgi aktarımı ile ilgili çalışmalara ışık tutabilmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışması, Şekil 1.1’de görüldüğü gibi temel olarak beş bölümden oluşmaktadır.

- Birinci bölümde; problemin tanımı, hipotez, çalışmanın amacı, kapsamı, sınırlılıkları açıklanmış,
- İkinci bölümde doğa esinli mimarlık, biyomimetik ve yapı kabuğu kavramları literatür kaynaklarından araştırılarak kavramsal bir çerçeve çizilmiş,

- Üçüncü bölümde; materyal metot detaylandırılmış,
- Dördüncü bölümde; doğal dil işleme yöntemiyle araştırılan bulgular değerlendirilmiş ve tartışılmış,
- Beşinci bölümde ise sonuç ve öneriler yapılarak çalışma tamamlanmıştır.



Şekil 1.1. Tez akış şeması.

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KURAMSAL ALTYAPI

Bu bölüm çalışmanın kuramsal çerçevesini oluşturan temel kavramları açıklamak amacıyla yazılmıştır. İlk olarak biyomimesis kavramı açıklanmış ve mimarlık disiplindeki gelişimi örnekler üzerinden incelenmiştir. Mimari kabuk kavramı ve deri/kabuk kavramının doğadaki canlılarda karşılık geldiği fonksiyonlar açıklanmıştır. Daha sonra binalarda tarih boyunca kullanılan su hasadı yöntemleri araştırılmıştır. Son olarak doğadaki canlıların su dengesini sağlama ve su hasadı stratejileri ile bu stratejileri kullanan mimari tasarım örneklerine yer verilerek çalışmanın literatür araştırması kısmı tamamlanmıştır.

2.1. Doğa Esinli Mimari Tasarımlar ve Biyomimesis

Teknolojik gelişmeler, genellikle doğanın insan ihtiyaçlarına uygun olarak kullanılabileceği zihniyetinden doğmuştur. İnsanlar ilkel çağlardan beri yaşamlarını tehdit eden çevresel faktörlere karşı doğaya bakarak araçlar geliştirmişlerdir. Yapılan buluşlar, avlanmaya, daha uzak mesafelere seyahat etmeye, elverişsiz yerlerde bile barınaklar inşa etmeye olanak vermiştir (Mazzoleni, 2013: 4). Dolayısıyla doğadan esinlenme, bir yöntem olarak insanlığın başlangıcından beri kullanılmaktadır. Fakat kuramsal bir kavram olarak literatüre girmesi teknoloji ve bilimin gelişmesiyle birlikte 20. yüzyılın başlarına denk gelmektedir. Tarihsel sürece bakıldığında bu kavramın, farklı disiplinlerde “biyomorfizm”, “biyonik”, “biyomimikri”, “biyofili” ve “biyomimetik” gibi farklı terimlerle ifade edildiği görülmektedir. Bu terimler temelde, doğadaki olası çözüm potansiyellerini öğrenerek bunları yeni teknolojiler ve tasarımların geliştirilmesi için modelleme, uyarlama ya da uygulamayı ifade ederler (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007). Bu nedenle öncelikle literatürde doğadan esinlenmeyi ifade eden terimler “Biyomimesis Kavramı” başlığında açıklanmıştır.

Biyomimetik uygulamalarında doğanın çok geniş bir veri tabanına sahip olması, bu veri tabanından uygun biyolojik stratejileri seçme işlemini zorlaştırmaktadır. Üstelik seçilen stratejinin tasarıma nasıl uygulanacağı da önemli bir konudur. Bu bağlamda biyolojiyle disiplinler arası çalışmalar yapan araştırmacılar biyo-bilgili stratejilerin tasarımlara ya da teknolojilere uygulanmasında temelde iki tip yaklaşım olduğunu öne sürmüşlerdir. Örneğin Thomas Speck ve Olga Speck bu yaklaşımları “yukarıdan aşağıya (*top-down process*)” ve

“aşağıdan yukarıya (*bottom-up process*)” olarak tanımlarken; Michael Helms, Swaroop S. Vattam ve Ashok K. Goel “problem odaklı biyoloji esinli tasarım (*problem-driven biologically inspired design*)” ve “çözüm odaklı biyoloji esinli tasarım (*solution-driven biologically inspired design*)” olarak tanımlamıştır (Helms, Vattam, ve Goel, 2009; Speck, Speck, Beheshti, ve McIntosh, 2008). Maibritt Pedersen Zari, 2007 yılında yayınladığı “*Biomimetic Approaches To Architectural Design For Increased Sustainability*” isimli makalesinde ise “biyolojiye bakan tasarım (*design looking to biology*)” ve “tasarımı etkileyen biyoloji (*biology influencing design*)” olmak üzere iki tip biyomimetik yaklaşım olduğunu belirtmiştir. Bu yaklaşımların uygulanmasında “organizma”, “davranış” ve “ekosistem” olmak üzere üç düzeyde taklit bulunmaktadır. Bu üç düzeyin her biri için de “form”, “malzeme”, “konstrüksiyon”, “süreç” ve “fonksiyon” olmak üzere beş farklı boyut mevcuttur (Zari, 2007). Bu doğrultuda bu iki tip yaklaşım, yaklaşımların üç düzeyi ve bu düzeylerin beş boyutu “Biyomimetik Yaklaşımlar” başlığında açıklanmış, örnekler ve tablolar üzerinden incelenmiştir.

Son olarak “Mimarlıkta Biyo-bilginin Kullanımı Üzerine Tasarım Örnekleri” başlığıyla, biyomimesis kavramı ve biyomimetik yaklaşımların daha iyi anlaşılması için doğa ve mimarlık etkileşiminin tarihsel süreç içerisindeki gelişimi mimari tasarım örnekleri üzerinden incelenmiştir.

2.1.1. Biyomimesis kavramı

“Doğa” kelimesinin kökeni Latince “doğum” ya da “yaratılış” anlamlarına gelen natura sözcüğünden gelmektedir. Doğa, aynı zamanda Yunanca bir kelime olup mevcut ve gelişen bir materyal sistemini ifade eden “fizik (physis)” kelimesine de kavramsal olarak yakınlık göstermektedir. Buna göre, doğa hiçbir şekilde sabit değildir, sürekli olarak kendini yeniler ve dönüştür (Mazzoleni, 2013: 3).

İnsanlığın başlangıcından günümüze kadar olan süreçte “insan ve doğa etkileşimi” farklı aşamalardan geçmiştir. İnsan başlangıçta doğaya karşı güçsüz ve savunmasızdır; dolayısıyla doğaya bağlıdır ve ona muhtaçtır (Özerkmen, 2017). Bu nedenle ilk insan topluluklarında “doğa merkezli (*bio-centric*)” düşünce yapısı görülmekte ve insanlar ekosistemin sıradan bir parçası olarak doğa ile uyum içerisinde yaşamaktadırlar (Minsolmaz Yeler, 2012). Fakat bu durum yerleşik hayata geçilmesiyle birlikte değişmeye başlamıştır. Bu dönemde ortaya çıkan

mülkiyet kavramıyla beraber tarım arazileri ve kaynaklara olan ihtiyaç artmıştır. Bu da insanlar ve topluluklar arasında rekabete ve sonuç olarak savaşların yaşanmasına neden olmuştur. Savaşların neden olduğu tahribat düşünüldüğünde “yerleşik hayata geçiş” insanların doğaya zarar verme eylemlerinin başlangıç noktası olarak kabul edilebilir (Gündüz, 2019).

16. ve 17. yüzyıllara gelindiğinde özellikle Bacon, Descartes ve Newton gibi bilim adamlarının dile getirdiği aklı ölçüt alan “bilimsel dünya görüşü”, mekanik bir doğa tasarımına yol açmıştır. Doğadan uzaklaşmış ve organik dünya görüşünün yerini mekanik dünya görüşü almıştır. Bu görüşün temelinde doğanın insanın emrine sunulduğu ve bir ürünmüş gibi tüketilebileceği zihniyeti vardır (Gül, 2013). 19. yüzyılda ise sanayi devrimiyle birlikte, teknoloji her türlü sorunun çözümü olarak görülmeye başlanmış ve “tekno-merkezli (*techno-centric*)” yaklaşım ortaya çıkmıştır (Minsolmaz Yeler, 2012). Daha sonra insanların doğayı kendi amaçları doğrultusunda kullanıp değiştirerek doğa üzerinde mutlak hakimiyet sağlama ve doğayı kontrol etme gücü sömürü boyutuna ulaşmıştır. Bu durum insanı her şeyden üstün tutan “insan-merkezci (*antropo-centric*)” yaklaşımı doğurmuştur. Bu yaklaşıma göre ekosistemler, bitkiler ve hayvanlar gibi doğada var olan her şey insan ve onun çıkarları için gerekli olan araçlardır (Arslan Selçuk ve Mutlu Avinç, 2018). Doğadan bütünüyle uzaklaşan bu zihniyetle insanların doğaya verdiği zarar, doğanın kendi kendini yenileyebilecek kaynak ve biyolojik kapasitesinin üzerine çıkmış ve bunun sonucunda da ekosistemin dengesi bozulmuştur (Gündüz, 2019).

İnsan faaliyetlerinin sonuçları olan; kaynakların hızla tükenmesi, iklim değişikliği, küresel ısınma, hava kirliliği ve atık oluşumu gibi sorunların artarak devam etmesi, insanların çözüm için tekrar doğaya yönelmesine sebep olmuştur. Doğaya egemen olma yerine doğa ile uyum içinde yaşamanın tekrar gündeme gelmesiyle birlikte, 20. yüzyılda “doğa-merkezli (*eco-centric*)” yaklaşım ortaya çıkmıştır (Minsolmaz Yeler, 2012). Bu doğrultuda insan yapımı mimarileri ve sistemleri doğal çevre ile uyumlu hale getirmenin bir yolu olan “sürdürülebilirlik” kavramı önem kazanmıştır.

Sürdürülebilirlik kısaca mevcut düzenin ve kaynakların, gelecek nesillerin yaşamını tehdit etmeden devam edebilmesine imkan sağlayacak şekilde korunması olarak tanımlanabilir (Gündüz, 2019). Sürdürülebilirliği sağlamak için “doğa esinli yöntemler”, işlevsel ve estetik bir çözüm kaynağı olarak görülmektedir (Mazzoleni, 2013: 48). Zejnilovic ve Husukic

(2015) modern bilimin, doğadaki oluşumları incelemeye başladığında insanlığın eşi görülmemiş ustalığı ile yarattığı her şeyin doğada zaten var olduğunu ve insanlığın ürettiklerinden çok daha zarif, daha akıllıca ve gezegene zarar vermeden yapıldığını açıkça gördüğünü belirtmektedir (Zejnılovic ve Husukic, 2015). Bugün en zekice tasarlanmış mimari kolonlar ve kirişlerin taşıyıcılık özelliği nilüfer yaprakları ve/veya bambu saplarında bulunmaktadır. Havalandırma ve merkezi ısıtma sistemleri termit kulelerinde en iyi şekilde yapılmaktadır. İnsanlığın ürettiği en gizli radarlar, yarasaların çok frekanslı iletiminin seviyesine henüz ulaşamamıştır (Benyus, 1997).

Son yüzyılda doğa merkezli yaklaşıma yönelen insanlar; mimarlık, mühendislik, malzeme bilimi, tıp ve kimya gibi birçok farklı disiplinde sürdürülebilir çözümler sağlamak için biyolojinin bilgisinden yararlanarak disiplinler arası bir çalışma yürütmeye başlamışlardır. Doğa merkezli yaklaşımlar ve doğanın ilham kaynağı olması milattan önceki devirlerden beri görülse de bilimsel gelişmelerin artması ve bilimin küreselleşmesi sonucunda biyo-bilgi kavramı kuramsallaştırılarak ancak 20. yüzyıldan sonra literatüre girebilmiştir.

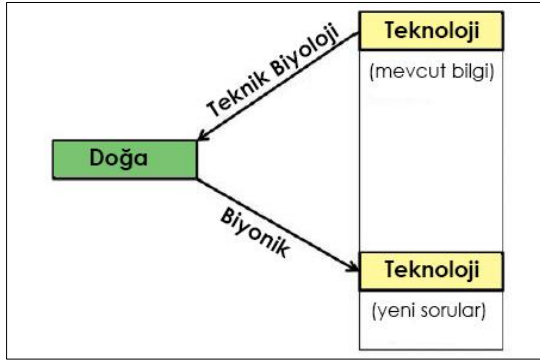
Biyo-bilgi, farklı disiplinlerde “biyomorfizm”, “biyomimetik”, “biyomimesis”, “biyognosis”, “biyofili” ve “biyonik” gibi farklı terimlerle ifade edilmiştir (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007). Bu terimlerin temelinde bir problemin çözümü için doğanın milyonlarca yıllık evrimsel deneylerinden öğrenilen süreçlerin tasarımlara dahil edilmesi yaklaşımı bulunmaktadır (Lehn ve Benyus, 2012: 2).

Doğanın biçimsel/ analojik olarak taklit edilmesi insanlığın varoluşundan başlayıp günümüze kadar süregelen bir yaklaşım olsa da “biyomorfizm” terimi ilk defa 1936 yılında bir sürrealist olarak bilinen Gregory Grigson tarafından ortaya atılmıştır (Yedekçi, 2015: 114). Biyomorfizm kavramı, Yunanca “yaşam” anlamına gelen “*bios*” ve “biçim” anlamına gelen “*morphe*” kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır (Minsolmaz Yeler, 2012; URL-1). Biyomorfoloji ise yaşayan formların organ, doku ve hücre bileşenlerinin organizasyonu ve yapısını inceleyen bilim dalıdır (Gruber, 2011). Dallanmış ağaç yapısı, örümcek ağıları, kabuk yapıları, çiçekler, kristaller gibi doğal metaforlardan yararlanılarak doğadaki formların biçimsel olarak taklit edilmesi ve bir analogiyle mimariye uyarlanması yaklaşımı “biyomorfik tasarım” olarak isimlendirilmektedir (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007; Yedekçi, 2015: 106). Mimari tasarım örneklerine bakıldığında bu doğal metaforların insan şekillenişleri (*antropomorfik*), hayvan şekillenişleri (*zoomorfik*), bitki şekillenişleri

(*fitomorfik*) ya da mikro ölçekteki şekillenişler olduğu görülmektedir. Bu durumda mimarlıkta biyomorfik tasarımı bu dört dala ayırarak değerlendirmek mümkündür.

“Biyomimetik” terimi ilk defa Amerikalı bir mühendis olan Otto Schmitt tarafından 1957’de doktora tezini yazarken sinirlere ait elektriksel eylemleri inceleyerek bir cihaz geliştirdiği sırada kullanılmıştır (Aslan, 2019; Mazzoleni, 2013: 1). Schmitt, 1969 yılında yayınladığı bir makalede biyolojiden teknolojiye fikir aktarımını ifade etmek için “biyomimetik” terimini “biyoloji+teknoloji” olarak tanımlayarak bir kez daha kullanmıştır. Fakat bu terim Webster Sözlüğüne ancak 1974’te eklenmiştir (Rankouhi, 2012). Biomimetik kavramı Webster Sözlüğü’nde: “Enzim ya da ipek gibi biyolojik olarak üretilmiş maddeler ve malzemelerin; protein sentezi ya da fotosentez gibi özellikle doğal formları taklit eden yapay mekanizmalar aracılığıyla benzer ürünler sentezleme amaçlı biyolojik süreçler ve mekanizmaların oluşumları, yapıları ya da fonksiyonları üzerine yapılan araştırma.” olarak tanımlanmaktadır (Lehn ve Benyus, 2012: 1). Kelime kökeni olarak ise biyomimesis, Yunanca yaşam anlamına gelen “*bios*” ve taklit etmek anlamına gelen “*mimesis*” sözcüklerinden türetilmiştir. Özetle biyomimesis teknolojiyi geliştirmek için doğadan öğrenmek anlamına gelen bir bilim dalıdır (Pohl ve Nachtigall, 2015: 1). Biyomimetik sıfat hali; biyomimesis isim hali olarak kullanılmaktadır ve ikisi de aynı anlama gelmektedir.

“Biyonik (*bionics*)”, biyoloji (*biology*) ve teknik (*technics*) kelimelerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş bir terimdir. 1950’li yıllarda, henüz geliştirilme aşamasında olan radar teknolojisi için yarasaların seslerinin yankılanması incelenirken formüle edilmiştir. (Pohl ve Nachtigall, 2015: 1). Literatürde ilk defa 1960 yılında, “Biyonik Sempozyumu: Canlı Prototipler - Yeni Teknolojinin Anahtarı” isimli konferansta ABD Hava Kuvvetleri’nde Binbaşı olan Jack E. Steele tarafından kullanılmıştır (Gruber, 2011: 13). Biyonik terimi, Webster Sözlüğü’nde “biyolojik sistemlerin işleyişine ilişkin verilerin mühendislik problemlerinin çözümünde uygulanmasıyla ilgilenen bilim dalı” olarak tanımlanmıştır (URL-2). Bu bağlamda biyonik uygulamalarıyla ilgili olan “teknik biyoloji” terimi, doğayı teknoloji yardımıyla anlamak anlamına gelmektedir (Gruber, 2011: 13). Werner Nachtigall’ in Şekil 2.1’deki diyagramı biyonik, teknik biyoloji, doğa ve teknoloji arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Diyagramda görüldüğü gibi teknolojideki mevcut bilgiler kullanılarak doğada araştırmalar yapılmaktadır. Teknik biyolojinin yardımıyla doğadan alınan veriler biyonik ile öğrenilip teknolojinin geliştirilmesi için kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Werner Nachtigall’ in biyonik, teknik biyoloji, doğa ve teknoloji arasındaki ilişkiyi açıklayan diyagramı. (Gruber, 2011: 14).

Biyofili; *bio*: yaşam veya canlı, bunlarla ilgili olan *philia*: eğilim, bir şeye karşı sevgi anlamına gelmektedir. Kavramın temeli Antik Yunan’da “yaşam sevgisi” anlamındadır. İlk kez 1970’li yıllarda Alman sosyo-psikolog Erich Fromm tarafından yaşama ve canlılara karşı olan psikolojik eğilimi ve etkilenmeyi tanımlamak için kullanılmıştır (Fromm ve Holocaust, 1973 akt. Şenozan, 2018, 25).

“Yaşamın taklidi” anlamına gelen “biyomimikri” terimi ilk olarak 1962’de bilimsel literatürde ortaya çıktı ve 1980’lerde özellikle malzeme bilimcileri arasında kullanımı yaygınlaştı (Nkandu ve Alibaba, 2018). Janine Benyus, 1997 yılında yayınlanan “Biyomimikri: Doğadan Esinlenen İnovasyon (Biomimicry: Innovation Inspired by Nature)” adlı kitabında biyomimikri kavramından ilk kez bir bilim dalı olarak söz etmiştir (Aslan, 2019; Rankouhi, 2012). Benyus, “biyomimikri” terimini “doğanın dehasının bilinçli olarak taklit edilmesi” ve “doğanın modellerini inceleyen ve bunları insan sorunlarını çözmek için taklit eden yeni bir bilim dalı” olarak tanımlamıştır. Literatürde geçen diğer biyo-bilgili kavramlarla biyomimikri arasındaki fark biyomimikrinin temel amacının sürdürülebilirliği sağlamak olmasıdır (Nkandu ve Alibaba, 2018).

Tüm bu doğa esinli kavramlar arasında “biyomimetik” daha kapsamlı bir terimdir ve daha profesyonel olarak kabul edilmektedir (Pohl ve Nachtigall, 2015: 2).

2.1.2. Biyomimetik yaklaşımlar

Biyomimetik, sadece doğanın taklidi değil, optimize edilmiş teknolojilerin uygulamaları ile çözülebilen benzer teknolojik soruların anlaşılmasına yardımcı olmak için doğal ilkelerin

kavranmasıdır. Werner Nachtigall'e göre biyomimetik yaklaşım: araştırma, soyutlama ve uygulama olmak üzere kısaca üç aşamalı bir süreçtir (Pohl ve Nachtigall, 2015: 1).

Maibritt Pedersen Zari'ye göre biyomimikri bilimi tasarım süreçlerine uygulanırken “biyolojiye bakan tasarım(design looking to biology)” ve” tasarımı etkileyen biyoloji (*biology influencing design*)” olmak üzere tipik iki yaklaşım söz konusudur (Zari, 2007).

Biyolojiye Bakan Tasarım (*Design Looking To Biology*): “Dolaysız yaklaşım”(Panchuk, 2006), “problem tabanlı yaklaşım”(problem based approach) (Badarnah Kadri, 2012), “yukardan aşağıya yaklaşım (*top-down approaches*)”, “problem odaklı biyoloji esinli tasarım (*problem driven biologically inspired design*)”, “teknolojik çekme (*technology pull*)”, “tasarımdan biyolojiye yönelik yaklaşım (*challenge to biology*)” gibi terimler de literatürde bu yaklaşımı ifade etmek için kullanılmaktadır (Mutlu Avinç ve Arslan Selçuk, 2019).

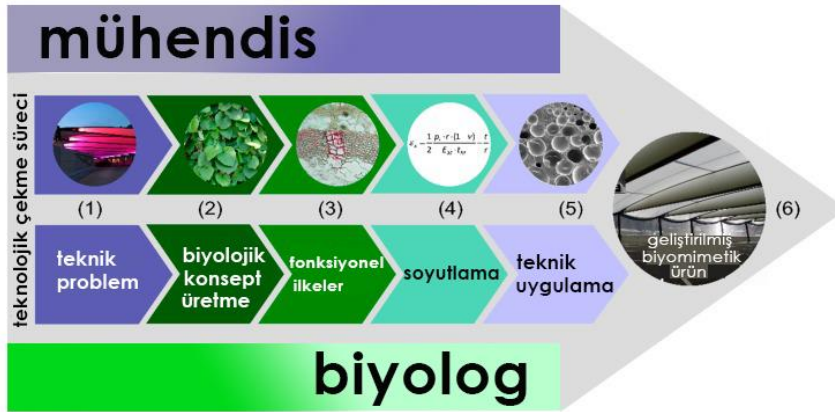
Biyolojiye bakan tasarım yaklaşımında önemli olan bir tasarım probleminin tanımlanmasıdır. Belirlenen problemin doğada nasıl çözüldüğü araştırılır ve bu doğal çözüm soyutlanarak tasarımda kullanılır. Bu yaklaşım biçiminde süreçler Çizelge 2.1'deki gibidir:

Çizelge 2.1. Biyolojiye bakan tasarım yaklaşımının işleyiş süreci (Helms, Vattam ve Goel, 2009).

Problem odaklı tasarım (*Problem-Based Approach/Top-down*)

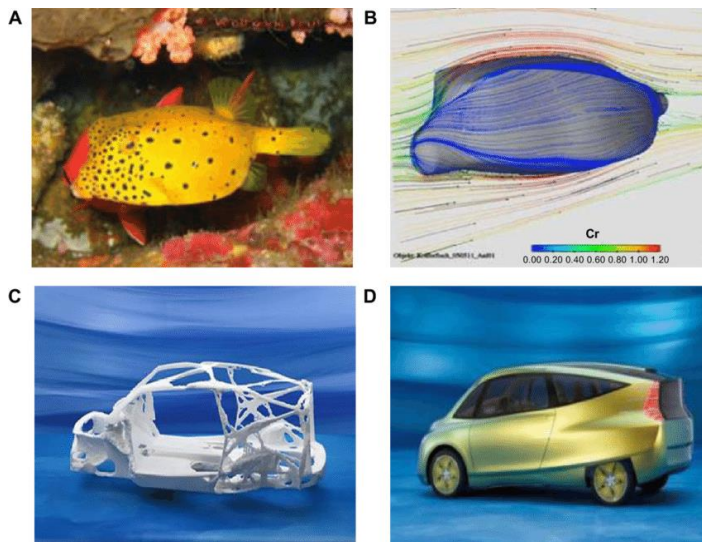
1. Adım: Problemin tanımlanması (*problem definition*)
2. Adım: Problemi yeni bir çerçeveye oturtmak (*reframe the problem*)
3. Adım:Biyojik çözümün araştırılması (*biological solution search*)
4. Adım:Biyojik çözümün tanımlanması(*define the biological solution*)
5. Adım:İlkelerin çıkarılması (*principle extraction*)
6. Adım:İlkelerin Uygulanması (*principle application*)

Jan Knippers'a göre “yukardan aşağı süreç (*top-down process*)” olan bu yaklaşımda sürecin başında mühendisler, mimarlar ve malzeme araştırmacıları yer almakta ve biyologlar sürece sonradan dahil olmaktadır (Resim 2.1) (Knippers ve diğerleri, 2019: 9-11).



Resim 2.1. Biyolojiye bakan tasarım yaklaşımında mühendis veya tasarımcıyla başlayan süreci gösteren örnek diyagram

Bu yaklaşıma, Daimler Chrysler'in tasarladığı biyonik araba örneği verilebilir. Otomobillerdeki aerodinamik problemlerini çözmek isteyen tasarımcılar kutu balığından (*Ostracion Meleagris*) esinlenmişlerdir. Balık, petek biçimine benzer kemik plakalarından oluşan yapısı sayesinde darbelere karşı dirençlidir ve suda hızlı hareket eder. Kutu balığının bu yapısı taklit edilerek sürtünme katsayısı düşük, yakıt tasarrufu ve darbe dayanımı yüksek bir otomobil geliştirilmiştir (Resim 2.2). Hesaplamalar aracın bu prensibe göre yapıldığı takdirde toplam ağırlığının yaklaşık üçte bir oranında azaltılabileceğini göstermiştir (Aslan, 2019).



Resim 2.2. (A) Esin kaynağı kutu balığı, (B) Ağaçların büyüme modeli, (C) Balığın iskelet yapısının araç tasarımına uyarlanmış hali, (D) Daimler Chrysler'in biyonik araba prototipi (Hwang ve diğerleri, 2015).

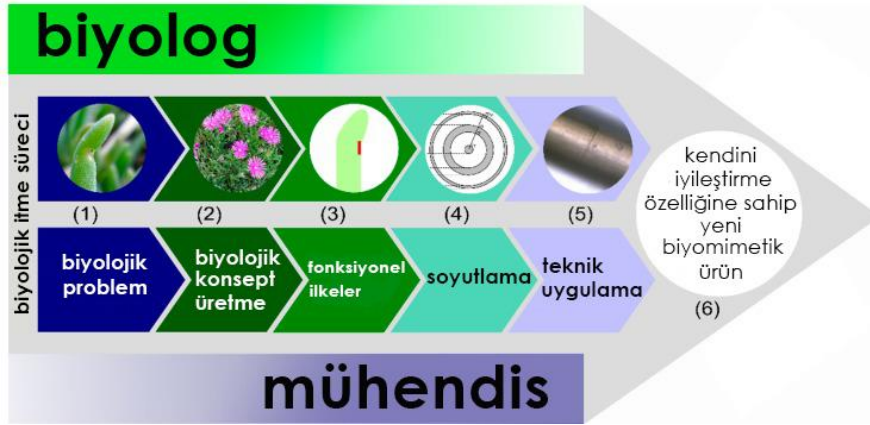
Tasarımı Etkileyen Biyoloji (*Biology Influencing Design*): “Dolaylı yaklaşım” (*indirect approach*) (Panchuk, 2006), “çözüm tabanlı yaklaşım” (*solution based approach*) (Badarnah Kadri, 2012), “aşağıdan yukarıya yaklaşım (bottom-up approach)”, “çözüm odaklı biyoloji esinli tasarım (*solution-driven biologically inspired design*)”, “biyolojik itme (*biological push*)” gibi aynı anlama gelen farklı terimlerle ifade edilmektedir.

Tasarımı etkileyen biyoloji yaklaşımı bir organizma veya ekosistemdeki belirli bir özelliğin, davranışın veya işlevin çözüm olarak alınıp bir tasarım problemine uyarlanmasıdır (Zari, 2007). Bu süreçte biyologlar, biyolojik özellikleri bir teknolojiye veya tasarım problemine uyarlayarak çözümler üretmeye çalışmaktadır (Mutlu Avinç ve Arslan Selçuk, 2019). Sürecin işleyişi Çizelge 2.2’deki gibidir:

Çizelge 2.2. Tasarımı etkileyen biyoloji yaklaşımının işleyiş süreci (Helms ve diğerleri 2009).

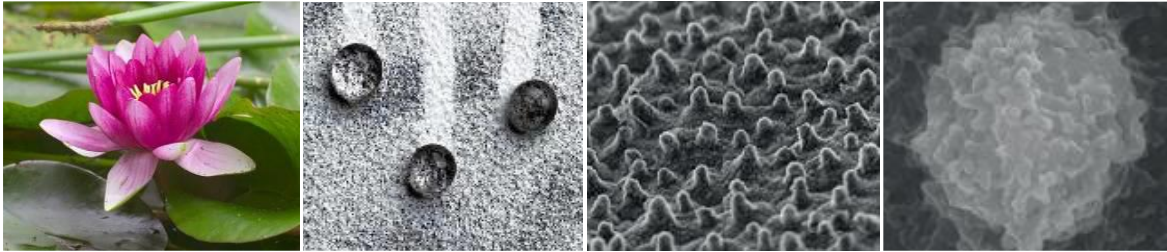
Çözüm Odaklı Yaklaşım (Solution-Based Approach)
1. Adım: Biyolojik çözümün belirlenmesi (<i>biological solution identification</i>)
2. Adım: Biyolojik çözümün tanımlanması (<i>define the biological solution</i>) (biyomekanik, fonksiyonel, biyofizik, morfolojik, vb.)
3. Adım: İlkenin çıkarılması (<i>principle extraction</i>)
4. Adım: Çözümün yeniden şekillendirilmesi (<i>reframe the solution</i>)
5. Adım: Problemin araştırılması (<i>problem search</i>)
6. Adım: Problemin tanımı (<i>problem definition</i>)
7. Adım: İlkelerin uygulanması (<i>principle application</i>)

Jan Knippers’a göre araştırılan biyolojik çözümlerin tasarım problemine uygunluğunu değerlendirmek amacıyla biyologlara ek olarak mühendisler, mimarlar ve malzeme araştırmacıları da sürece dahil olmalıdır (Resim 2.3) (Knippers ve diğerleri, 2019: 9-11).



Resim 2.3. Tasarımı etkileyen biyoloji yaklaşımında biyologlarla başlayan süreci gösteren örnek diyagram (Speck ve Speck, 2019).

Lotus yaprağının üzerinde bulunan mikro ölçekteki pürüzler sayesinde kendini temizleyebildiğinin tespit edilmesi üzerine bu özelliğin camlarda ve dış cephe boyalarında kullanılması tasarımı etkileyen biyoloji yaklaşımına örnek verilebilir. Bilim adamı Prof. Bharat Bhushan nilüfer yaprağının bu özelliğini kullanarak kendini temizleyebilen cam tasarımını geliştirilmiştir. Lotusan dış cephe boyası da nilüfer yaprağının bu özelliği taklit edilerek üretilmiştir (Resim 2.4) (Zari, 2007).



Resim 2.4. Lotus çiçeği ve Lotusan boyası(Zari, 2007); Lotus yaprağının 10 μm ve 1 μm ölçekteki görünüşleri (Liu, Wang ve Jiang, 2017).

Konuyla ilgili literatür kaynakları taranmış ve bunun sonucunda farklı araştırmacıların kendi kaynaklarında farklı şekillerde geçen bu iki yaklaşımın ifadeleri araştırmacıların kaynaklarına ve çalıştıkları yıllara göre sınıflandırılmıştır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Farklı araştırmacıların kaynaklarındaki biyomimetik tasarım yaklaşımları için kullanılan ifadeler.

YIL	Problemin Tespit Edilip Biyolojide Çözümün Arandığı Yaklaşım	Önce Biyolojik Bir İlhamın Bulunduğu Ve Tasarıma Aktarıldığı Yaklaşım	KAYNAK
2007	biyolojiye bakan tasarım (<i>design looking to biology</i>)	tasarımı etkileyen biyoloji (<i>biology influencing design</i>)	Biomimicry Guild
2008	yukarıdan aşağıya (<i>top down process</i>)	aşağıdan yukarıya (<i>bottom up process</i>)	Speck ve Speck
2009	problem odaklı biyo ilham tasarımı (<i>problem-driven biologically inspired design</i>)	çözüm odaklı biyo ilham tasarımı (<i>solution-driven biologically inspired design</i>)	Helms, Vattam ve Goel
2014	biyolojiye meydan okumak (<i>challenge to biology</i>)	biyolojiden tasarıma (<i>biology to design</i>)	Baumiester
2016	probleminden biyolojiye (<i>from a problem to biology</i>)	Biyolojiden uygulamaya (<i>from biology to an application</i>)	Cohen ve Reich

Zari (2007) bu yaklaşımların uygulanmasında mevcut biyomimetik teknolojiler incelendiğinde organizma, davranış ve ekosistem olmak üzere üç düzeyde taklit edilebileceğini iddia etmektedir. Organizma düzeyi doğal formların taklit edilmesini, davranış düzeyi daha bütünsel bir yaklaşımla doğal bir sürecin ya da davranışın taklit edilmesini, ekosistem düzeyi ise doğal ekosistemlerin tüm yönleriyle ele alınarak taklit edilmesini içermektedir. Biyomimetik yaklaşımların bu üç düzeyinin her biri için taklit etmenin beş boyutu daha vardır. Tasarım, neye benzediği (form), neyden yapıldığı (malzeme), nasıl yapıldığı (konstrüksiyon), nasıl çalıştığı (süreç) ve neler yapabileceği (fonksiyon) açısından biyomimetik olabilir (Zari, 2007). Zari (2007), termitler üzerinden örneklendirdiği bir tabloyla biyomimetik düzeyleri ve bunların boyutlarını açıklamıştır.

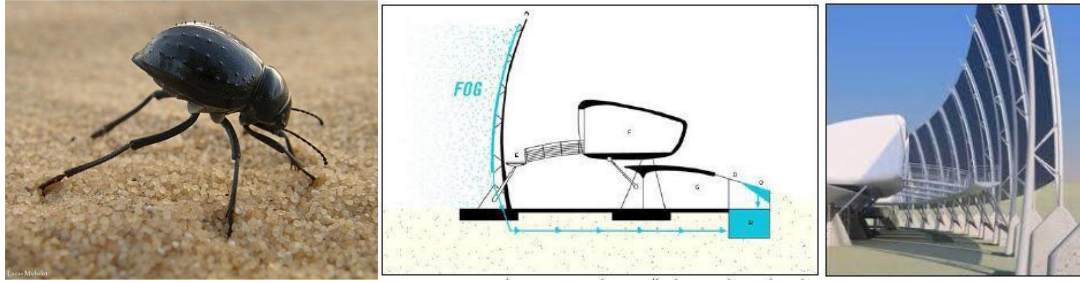
Çizelge 2.4. Biyomimikri düzeyleri ve boyutlarını termit örneği üzerinden açıklayan tablo (Zari, 2007).

Biyomimikri Düzeyi		Termitleri Taklit Eden Bir Bina
Organizma Düzeyi (Belirli bir organizmanın taklit edilmesi)	Form	Bina bir termite benziyor.
	Malzeme	Bina bir termit ile aynı malzemeden yapılmıştır; örneğin termitin dış iskeleti ya da kabuğunu taklit eden bir materyal.
	İnşaat	Bina bir termit ile aynı şekilde yapılır; örneğin çeşitli büyüme döngülerinden geçer.
	Süreç	Bina termit ile aynı şekilde çalışır; örneğin meta-genomikler yoluyla verimli bir şekilde hidrojen üretir.
	Fonksiyon	Bina bir termit gibi işlev görür; selüloz atıklarını geri dönüştürür ve örneğin gübre oluşturur.
Davranış Düzeyi (Bir organizmanın davranışı veya daha geniş bağlamıyla ilişkisinin takliti)	Form	Bina bir termit tarafından yapılmış gibi görünüyor; örneğin bir termit höyüğü gibi
	Malzeme	Bina, bir termitin kullandığı malzemelerden yapılmıştır; örneğin birincil malzeme olarak sindirilmiş ince toprağın kullanılması.
	İnşaat	Bina, bir termitin inşa edeceği şekilde yapılır; örneğin belirli yerlere belirli sayıda araziye konumlandırılması gibi
	Süreç	Bina bir termit höyüğü gibi çalışır; dikkatli bir şekilde, şekil, malzeme seçimi ve doğal havalandırma veya termitlerin birlikte nasıl çalıştığını taklit eder.
	Fonksiyon	Bina termitler tarafından yapılmış gibi işler; örneğin iç koşullar, optimum ve termal olarak sabit olacak şekilde düzenlenmiştir.
Ekosistem Düzeyi (Bir ekosistemin taklit edilmesi)	Form	Bina bir termitin içinde yaşadığı ekosisteme benziyor.
	Malzeme	Bina bir termit ekosistemiyle aynı malzemelerden yapılmış; örneğin doğal olarak oluşan bileşenlerin kullanılması.
	İnşaat	Bina bir termit ekosistemindeki gibi oluşturulur; örneğin zamanla artan karmaşıklık ve ardıllık ilkeleri kullanılır.
	Süreç	Bina bir termitin içinde yaşadığı ekosistemle aynı şekilde çalışır; örneğin enerjiyi tutup dönüştürür ve suyu depolar.
	Fonksiyon	Bina, ekosistemin yaptığı gibi çalışabilir ve süreçler arasındaki ilişkileri kullanarak karmaşık bir sistemin bir parçasını oluşturur; örneğin hidrolojik, karbon, azot döngülerine vb. katılabilir.

Organizma Düzeyinde Taklit

Organizma düzeyi, bitki veya hayvan gibi belirli bir organizmaya karşılık gelir ve organizmanın bir kısmını veya tamamını taklit etmeyi içerebilir. Bu düzeyde organizmanın ekosistemle daha geniş kapsamdaki ilişkileri taklit edilmediği için biyomimesisin geleneksel bir yorumu olduğu söylenebilir (Zari, 2007).

Atlas okyanusuna kıyısı olan Namib Çölü'nde yaşayan Namibya böceğinin sırt kabuğunda balmumu benzeri hidrofobik oluklar ve hidrofilik yapıya sahip tepecikler bulunmaktadır. Böcek, bu kabuk yapısı ve vücudunu 45°'lik bir açıya getirebilen morfolojisi sayesinde havadaki sisten ihtiyacı olan suyu toplayabilmektedir (Aslan, 2019). Matthew Parkes'in Namibya çöl böceğinin bu yapısından ilham alarak tasarladığı Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi Binası organizma düzeyinde taklide örnek verilebilir (Resim 2.5). Binanın önüne suyu toplamak için kemerli kabuk dizisi ile okyanusa bakan ve döndükçe sisi toplayan naylon ağdan yapılmış uzun bir perde tasarlanmıştır. Böylece kurak iklimde su toplayan bir sistem geliştirilerek binanın su kaynağı sorunu kısmen çözülmüştür (Türk, 2019).



Resim 2.5. Namibya çöl böceği ve Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi Binası (Türk, 2019).

Davranış Düzeyinde Taklit

Davranış düzeyinde taklit doğada bulunan oluşumların geliştirdikleri davranışların taklit edilmesini ifade etmektedir. Diğer bir deyişle bir organizmanın, bulunduğu ortamla nasıl etkileşime girdiğini ve bu ortama nasıl uyum sağladığını taklit etmeyi içerir (Zari, 2007).

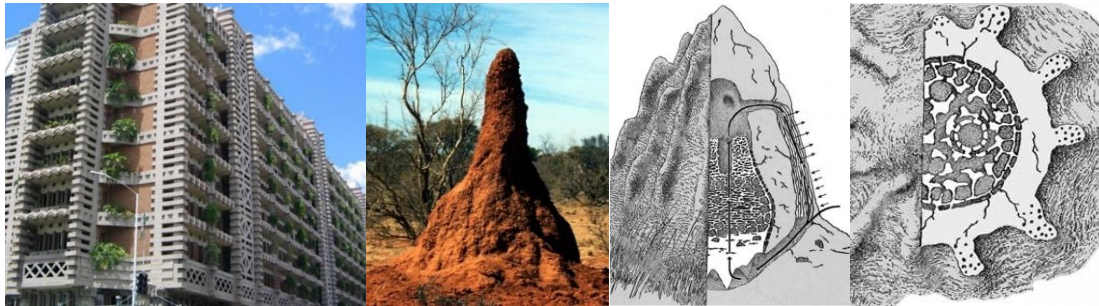
Termit höyüklerindeki iklimlendirme prensipleri ile inşaa edilen Londra'daki Yeni Parlamento Binası Portcullis House davranış düzeyinde taklide örnek verilebilir. Termitlerin inşaa ettikleri 5-6 metre yüksekliğindeki höyüklerde içerdeki hava sıcaklığının düzenlenmesi için havalandırma delikleri bulunmaktadır. Höyüğün altında bulunan havalandırma deliklerinden içeri taze hava girerken sıcak hava tepeden çıkmaktadır. Soğuk hava tepeciğe yeraltındaki bir odacıktan girer ve sonra içerideki tüneller aracılığıyla yayılır. Termitler sıcaklığa bağlı olarak bu havalandırma deliklerini kapatıp açarak hava sirkülasyonunu sağlarlar ve sıcaklığı sabitlerler (Maglic, 2012).

Portcullis House binasında (Resim 2.5) termit höyüklerindeki havalandırma deliklerine benzer şekilde yaklaşık 14 adet ısıl düzenleme yapan baca bulunmaktadır. Her bir baca dış duvarlardaki havalandırma şaftlarıyla birlikte çalışmaktadır. Bu bacalar ve şaftlar binaya temiz hava akışını sağlarken bina içerisindeki bayat havayı tahliye etmektedir (French, 2011:577-582).



Resim 2.6. Portcullis House Binası (URL-3) ve şematik gösterimi (URL-4).

Zimbabve, Harare'deki Eastgate binası da termit kulelerinin havalandırma davranışından esinlenilerek tasarlanmış bir yapıdır (Resim 2.6). Eastgate binasında bilinen bir havalandırma ve ısıtma sistemi olmamasına rağmen, bina düşük enerjiyle bütün yıl ideal yaşam koşullarında kalabilmektedir (Bozkurt, 2010).



Resim 2.7. Eastgate Binası (URL-5), Termit kulesi (URL-6), Termit kulesinin kesiti ve üstte görünüşünün şematik gösterimi (Gould ve Gould, 2012: 138).

Ekosistem Düzeyinde Taklit

Ekosistem düzeyinde taklit; bir organizmanın çevre ile nasıl etkileşime girdiğini ve birlikte nasıl çalıştığını inceleyerek bunları taklit etmeyi içerir. Bu düzey taklidin sonucunda ortaya çıkan ürünler tek bir yapıdan ziyade birden çok yapı içeren kompleks projeler ya da kentsel

ölçekteki projelerdir. Temel amacı sürdürülebilirlik olan bu düzey literatürde ekomimikri olarak da geçmektedir (Aslan, 2019; Zari, 2007).

Katar, Doha Belediye ve Tarım Bakanlığı binası (Resim 2.7), kaktüs bitkisinin çok sıcak ve kuru ortam şartlarında başarılı bir şekilde hayatta kalma ve çevresiyle ilişki biçimini taklit etmesiyle ekosistem düzeyine örnektir. Bina, Aesthetics Architects Go Group tarafından tasarlanmıştır. Kaktüs bitkisinin yüzeyinde bulunan diken veya diken benzeri yapıları onu serin tutar ve güneşten korumak için gölgeler. Aynı şekilde bu binanın cephesinde de kaktüs bitkisinin dikenlerinden ilham alan yapılar bulunur ve bina kabuğunu gölgeleme işlevi görürler. Bu gölgeleme cihazları güneşin yoğunluğuna göre açılıp kapanma özelliğine sahiptir. Bina zarfı kaktüsteki dikenlere benzer tonlardadır. Bu da binaya gelen güneş ışınlarının kontrol edilmesini ve iç mekanların doğal ışık almasını sağlar. Ayrıca bina kirli suyu temizlemek için salyangoz, istiridye, mantar, bakteri gibi canlılara dayanan farklı ekolojik sistemler kullanmaktadır (Mohamed, Bakr ve Hasan, 2019).



Resim 2.8. Doha Belediye ve Tarım Bakanlığı binası ve binanın ilham kaynağı kaktüs bitkisi (Mohamed ve diğerleri, 2019).

2.1.3. Mimarlıkta biyo-bilginin kullanımı üzerine tasarım örnekleri

İnşaat ve konut; temel insan ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olsa da enerji kaynaklarının tüketiminin ve kirlenici emisyonların artmasına sebep olmaktadır. Dünya genelinde enerji tüketiminin % 40'ı oluşan atıklar, % 40'ı ve karbondioksit emisyonları ve % 30'u küresel bina faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (Knippers ve diğerleri, 2019: 8). Bu durumda yenilenebilir enerji kaynakları kullanan, atık oluşturmeyen ve yapı kabuğunda enerji talebini en aza indiren bina tasarımlarına yönelik çözümler üretmek oldukça önemli hale gelmiştir.

Mimaride sürdürülebilirlik için gerekli olan bu özellikler doğadaki canlı organizmalarda ve ekosistemlerde kendiliğinden gerçekleşir. Doğal konstrüksiyonlar; beklenmeyen olumsuz faktörlere karşı hayatta kalabilecek sağlam bir strüktüre sahiptirler. Yapılarında herhangi bir hasar meydana geldiğinde kendi kendilerini onarabilirler. Tüm yaşamları boyunca ve hatta sonraki nesillerin devamında bile değişen mekanik kuvvetlere ve iklim koşullarına uyum sağlayabilirler. (Knippers ve diğerleri, 2019: 9) Bu nedenlerle sürdürülebilir bir çevre için “doğadan öğrenme yöntemi” diğer disiplinlerde olduğu gibi mimarlıkta da önemli bir konudur.

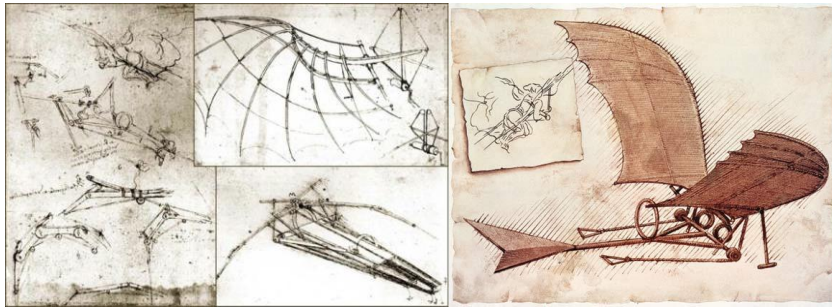
İnsanoğlu; barınma ihtiyacını hissetmesiyle beraber doğal fenomenleri inceleyerek, gözlemleyerek ve taklit ederek ilk barınaklarını ve ilkel araçlarını üretmeye başlamıştır. Fakat doğanın bu şekilde direkt taklit edilmesi, bugünkü biyomimetik anlayıştan oldukça uzaktır. İnsanoğlunun doğadan ilk esinlenme biçimi; biyolojik fonksiyonları göz ardı eden, bu fonksiyonlardan elde ettiği bilgiyi kullanmayan, doğal bir formun basit bir analogisi olarak kalmaktadır. Bu tip taklitte biyolojik bir bilginin kullanımı yoktur. Tarihte ilkel çağlardan beri gözlemlenen bu forma dayalı taklit; ArtNouveau gibi akımlarda ve Frank Gehry gibi 20. yy mimarlarının tasarımlarında da yer almaktadır (Yedekçi, 2015: 106).

Gotik mimarlık akımında, Ortaçağ döneminin simgesel yapıları olan kiliselerin tasarımlarında doğadan ilham alındığı gözlemlenmektedir. Kilise mimarisinin strüktür elemanlarından biri olan yelpaze tonozların ağaç dallarının formundan ve strüktürel yapısından ilham alınarak tasarlandığı bilinmektedir. 1248 yılında inşa edilen Sainte Chapelle kilisesinde ve 1446 yılında inşa edilen King's College Şapeli'nde bunun örneğini görmek mümkündür (Aslan, 2019; Aziz ve El Sherif, 2016).



Resim 2.9. Sainte Chapelle Kilisesi (sol) (URL-7) ve King's College Şapeli'nin (sağ) ağaç dallarına benzeyen tonozları (URL-8).

1550’li yıllarda Rönesans döneminin ünlü sanatçısı Leonardo Da Vinci, doğayı ve özellikle de kuşları gözlemlemiştir. Bu gözlemleri sonucunda kuş uçuşu sırasında kuş tüylerinin üst üste gelmesi prensibine göre çalışan bir kanat çırpma mekanizması geliştirmiştir. Kanat yapısının tamamı statik ve aerodinamik prensiplerine dayanacak şekilde tasarlanmamıştı. Bu durumda “doğanın emsali” ve “taklit eden teknoloji” söz konusudur. Yani bu kanat çırpma mekanizmasının tasarımında DaVinci’nin doğadan esinlenme biçimi “işlevsel bir analogi” şeklindedir (Resim 2.10). Daha sonra “fonksiyonel analogi” kavramı kaybolmuş ve yerini tekrar “biçimsel analogilere” bırakmıştır (Pohl ve Nachtigall, 2015: 2).



Resim 2.10. Leonardo Da Vinci’nin tasarım eskizleri (Türk, 2019).

Rönesans dönemi mimarlarından Fillipo Brunelleschi yumurta kabuğunun formundan ve dayanımından esinlenerek Floransa Katedralinin ünlü kubbesini tasarlayarak hayata geçirmiştir (Aslan, 2019; Nkandu ve Alibaba, 2018).

1759 yılında, John Smeaton ağaçların dallanarak çoğalması, büyüme şekli ve yüklerinin dağılımı bilgisini mimarideki yük dağılımı sorununa bir çözüm olarak ele almıştır. Bu bilgi doğrultusunda İngiliz meşe ağacından ilham alarak Plymouth’daki Eddystone fener kulesinin yapımında bu formu kullanmıştır (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007).

Doğayı gözlemleyen ve yorumlayabilen zamanının en önemli mimarlardan biri de Antoni Gaudi’dır (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007). Gaudi’nin mimari eserlerinde organik şekilli süslemeler ve biçimlenişlerindeki zenginlik göze çarpsa da, tasarımlarında işlevi de ön planda tutmuştur (Aslan, 2019; Bozkurt, 2010).

Sagrada Familia Katedrali’nde, ağaçların formunu ve taşıyıcılık özelliğini taklit eden düşey strüktürler kullanmıştır. Bu strüktürler tavanda bulunan kanopilerin yüklerini de taşımaktadır. Dolayısıyla bu ağaç benzeri sütunlar, katedraldeki yapı yüklerinin eşit

dağılmasını sağlayarak yapısal yük taşıma kapasitesini artırmıştır. Gaudi, kilisenin tavan süslemesi için de doğadaki çiçek ve palmiye yapraklarını kullanmıştır. Kulelerde ise akçağaç tohumlarının kabuğundan esinlenerek sarmal biçimli merdivenler tasarlamış ve memleketi Barselona’ya özgü lavanta çiçeği formunu kullanmıştır (Orman, 2013).



Resim 2.11. Sagrada Familia Katedrali (URL-9), ağaç formunu taklit eden düşey strüktürleri ve cephesindeki ağaç yaprakları biçimindeki oymalar (URL-10).

Sagrada Familia Kilisesi okulunun çatısında Tridacna kabuğunu model olarak almıştır. Doğal modeli doğrudan kopyalamamış, kabuk formunun geometrisini taklit etmiştir (Collins, 1998: 155-156; Mutlu Avinç ve Arslan Selçuk, 2020).

“Park Guell” in kıvrımlı çatısını insan vücudu şekline göre tasarlamıştır. Bu yapının duvarları ve kıvrımlı yüzeylerinin yılan formuna benzerliği dikkat çekmektedir. Gaudi “Casa Mila”nın sürrealist yaratıklar şeklindeki bacalarını tasarlamıştır ve projelerinde çok sayıda hayvan benzeri model kullanmıştır. “Guell Pavilyonu”ndaki ejderha kapısı; “Casa Calvet”teki böcek şekilli kapı tokmağı; “Sagrada Familia”nın duvarlarındaki tırmanan hayvanlar; “Casa Batllo”nun balık pulu şeklindeki cephesi, ejderha derisine benzeyen çatısı ve kafatası şeklindeki balkonları gibi birçok Antoni Gaudi tasarımı buna örnek gösterilebilir (Imani, 2017). Diğer pek çok yapısında da iskelet sistemleri ve kemiklerle yaptığı analogiler, yapılarının tasarımında önemli bir rol oynamıştır (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007).



Resim 2.12. Park Guell'in kıvrımlı çatısı (URL-11) ve Casa Mila'nın bacaları (URL-12).

1851'de mimar ve botanik bilimci Joseph Paxton, nilüfer yapraklarının dayanımından yola çıkarak Crystal Palace'ı tasarladı. Paxton; nilüfer yaprağındaki kaburga benzeri iskeleti demir taşıyıcılarla, yaprak dokusunu ise geniş camlarla ifade etmiştir (Aslan, 2019; Eggermont, 2007). 1880'lerin sonunda Gustave Eiffel, anatomi uzmanlarının uyluk kemiği üzerine yaptığı çalışmalardan yola çıkarak ünlü Eiffel Kulesi'ni tasarlamıştır (Bozkurt, 2010; Eggermont, 2007).

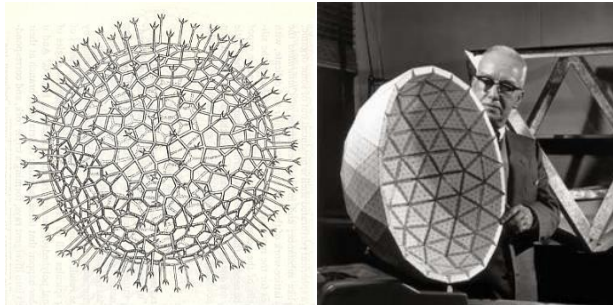


Resim 2.13. Crystal Palace (URL-13) ve Eiffel Kulesi (URL-14).

Parisli Peyzaj uzmanı Joseph Monier, dallanan sklerenkima yapısının yapraklara sertlik kazandırmasından yola çıkarak 1880'de çok bileşenli yapıya sahip saksı üretme fikrini geliştirdi. Bitkilerde sklerenkima ağına karşılık gelen bir tel sepet çekme mukavemeti sağlarken bitkilerin parankima dokusuna karşılık gelen çimento basınç dayanımı sağlıyordu. Bu şekilde betonarme yapı bir sanayi dalı olarak ortaya çıkmıştır. Böylece bir doğa prensibi soyutlanmıştır, olduğu gibi kopyalanmamıştır. Bu nedenle bu uygulamanın temel fikri biyomimetiktir (Pohl ve Nachtigall, 2015: 2).

Mimarlık tarihinin ilk örneklerinden 20.yy.ın ilk yarısına kadar doğadan esinlenme hareketi genellikle biçimsel kaygılarla, analogik ve morfolojik bir yaklaşımla devam etmiştir. Sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte doğa, hem biçim (form) hem de işlev (fonksiyon) olarak taklit edilmeye başlanmıştır (Aslan, 2019). Buckminster Fuller ve hemen ardından Frei Otto’nun “süreci” anlamaya yönelik sorgulamaları ve yeni form ve strüktür arayışları mimari tasarımda doğadan bilinçli öğrenme sürecinin başlangıcı olarak düşünülebilir (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007).

İnsanlık doğadan bilgi edinmede daha yetenekli hale geldikçe, materyaller araçlara dönüştü. Üretim yöntemleri hızla gelişti ve geometri daha basit ve kontrol edilebilir hale geldi(Pasic, 2014). Bu bağlamda 20. yüzyılın önemli tasarımcılarından biri olan Richard Buckminster Fuller; mühendis, mucit ve mimar rollerini birleştirerek birçok tasarım ortaya koymuştur (Wilkinson, 2010). Bunlardan en önemlisi “Radiolaria” isimli mikroskobik canlıları inceleyerek bu canlıların strüktürel yapısından esinlenmesi sonucunda tasarladığı jeodezik kubbelerdir (Resim 2.14). Bu olaydan sonra doğadaki organizmalar mikro düzeylerde de ilham kaynağı olmaya başlamıştır (Pasic, 2014).

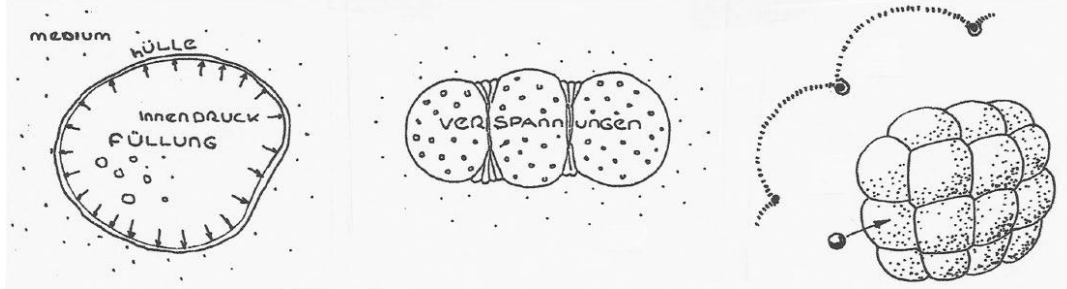


Resim 2.14. Fuller’ın jeodezik kubbeleri için ilham kaynağı Radiolarian aulastrum triceros kabuğu (Pasic, 2014)

20. yüzyılın hafif konstrüksiyon yapılarının öncüsü olarak kabul edilen Frei Otto, doğadaki canlı ve cansız yapılaşmaları inceleyerek birçok doğa esinli tasarım geliştirmiştir. Örümcek ağlarından esinlenerek geliştirdiği asma sistemler, kuş yumurtası kabuğu ve dallanmış ağaç gövdeleri Otto’nun doğa üzerine bilimsel araştırmalarının en bilinen örneklerdir.

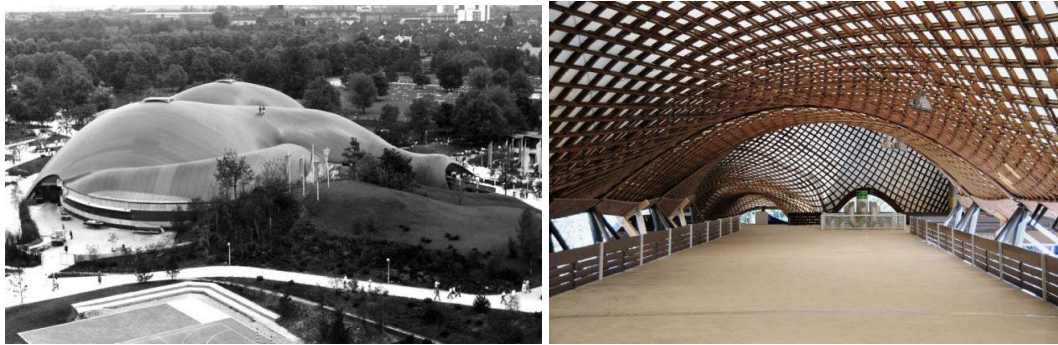
Sabun köpüğünün daima minimum yüzey şeklini alan ve maksimum hacmi kaplayan yapısından yola çıkan Otto; sabun, sabun köpüğü ve damlaların yapısı üzerinde çalışmıştır. Buradan hareketle pnömatik strüktürleri geliştirmiştir. Pnömatik strüktürler üzerine olan

çalışmalarını radiolaria gibi mikroskobik canlıların, bitki ve insan kemik hücrelerinin yapılarını, strüktürlerini ve hücre zarlarını inceleyerek devam ettirmiştir (Resim 2.15) (Burkhardt, 2016).



Resim 2.15. Otto'nun pnömatic strüktürler üzerine eskizleri (Burkhardt, 2016).

Otto ile özdeşleşmiş modern çadırlar ve şişme (pnömatic) yapılar doğadan esinlenmenin sadece form değil süreci de içeren bir esinlenme biçimi olması gerekliliğinin ilk çalışmaları olarak görülebilir (Resim 2.16) (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007).



Resim 2.16. Mannheim Multihalle ve Frei Otto tarafından kurgulanan, kendi kendini taşıyan, ahşap kafes çatı konstrüksiyonu (*gridshell structure*)(URL-15).

İspanyol mimar ve mühendis Santiago Calatrava, doğadaki formları sadece biçimsel olarak taklit etmemiş bu formların hareket fonksiyonu gibi yönlerini de tasarımlarında kullanmıştır.

Milwaukee Sanat Müzesi için ek olarak tasarlanan Quadracci Pavyonu üzerinde bulunan Burke Brise Soleil adı verilen güneş engelleyici strüktür, Calatrava'nın biyomorfik tasarım anlayışını anlamak için iyi bir örnektir. Müze üzerinde yer alan bu hareketli strüktür, kuşun kanat-iskelet yapısına benzer ve kuşu andıran bir forma sahiptir (Resim 2.17). 36 adet kanatçıktan oluşan ve 65 metrelik bir açıklık kaplayan çelik kanatlar rüzgara karşı kuşun hareketine benzer olarak gün içinde iki kez açılıp kapanmaktadır. Calatrava tasarımını

geliştirirken kuş formunu kullanmış, beraberinde ortaya çıkan mühendislik sorununu kuşun kanat-iskelet yapısının geometrisini taklit ederek çözmüştür (Yedekçi, 2015: 116).



Resim 2.17. Quadracci Pavyonu (URL-16).

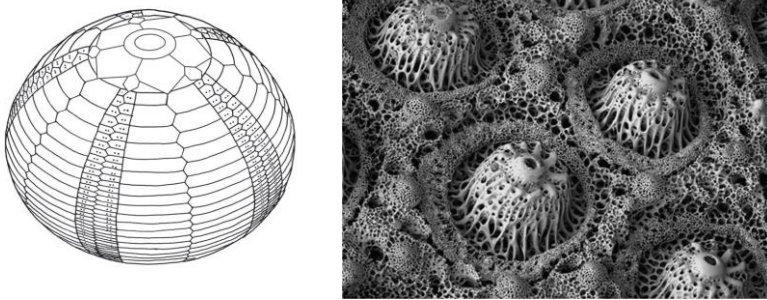
Ancak Calatrava'nın tasarımlarında benimsediği “doğadan bilinçli öğrenme” arayışının sonucu olan form ve strüktürlerinin “süreci” yeterince yansıtamadığı ileri sürülmüştür (Zardini, 1996). Calatrava ve şu ana kadar verilen örneklerde doğa ile etkileşim “form arayışı” düzeyinde kalmış ve tasarımlarda doğada görülen hafiflik, strüktürel sağlamlık, enerji kullanım verimliliği, malzeme gibi sürdürülebilir mimarlık için belirleyici özellikler olan pek çok kriter sağlanamamıştır (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007).

Dünün Geleceği (*Yesterday's Future*) sergisi için Future Systems tarafından tasarlanan ütopya da bulunan Coexistence Tower ağaç gövdelerinin yapısından esinlenilerek tasarlanmıştır. Ağaçların katı iç kısmı, gövdenin etrafında ve çevresinde sarmal desenlerle büyüyen dış ağaç kabuğu tarafından oluşturulan gerilime direnmek için bir dereceye kadar bir sıkıştırma çekirdeği işlevi görmektedir. Coexistence Tower binasındaki sıkıştırma çekirdeği ve etrafındaki çekme elemanlarının sarmal düzenlemesi de ağaç gövdelerinin bu yapısı ile işlevsel benzerliklere sahiptir (Pawlyn, 2016:11).



Resim 2.18. Ağaç gövdelerinden ilham alınarak tasarlanan Coexistence Tower (Pawlyn, 2016:11; URL-17).

Almanya Stuttgart Üniversitesi'ndeki Landesgartenschau Sergi Salonu bir deniz kestanesi iskeletinin yapısına dayalı olarak birbirine geçen kontrplak panellerden yapılmıştır. Proje, Hesaplamalı Tasarım Enstitüsü (ICD), Bina Yapıları ve Yapısal Tasarım Enstitüsü (ITKE) ve Mühendislik Jeodezi Enstitüsü (IIGS) arasındaki ortak çalışmalar sonucu geliştirilmiştir. Deniz kestanesinin iskeleti (test), her biri tek bir kalsit kristali yapısına sahip olan birbirine geçen plakalardan (kemikcikler) oluşmaktadır. Süngerimsi bir yapıya sahip olan kalsit kemikler gözenekli ve hafif olmakla birlikte artan kalınlığından ötürü serttir (Pawlyn, 2016: 22).



Resim 2.19. Bir deniz kestanesi iskeletinin yapısını gösteren diyagram ve iskeletin gözenekli ve hafif yapısını gösteren yakın çekim fotoğrafı (Pawlyn, 2016: 22).

Deniz kestanesinin kemikleri ve iç içe geçme biçimleri bina için bir ilham kaynağı olmuştur. Sergi Salonu hassas parmak eklemleriyle birleştirilmiş 50 mm kalınlığındaki kontrplak panellerden yapılmıştır. Doğal biyolojik yapılar önemli ölçüde geometrik karmaşıklık içerdiğinden optimum biçimi bulmak için hesaplamalı tasarım kullanılarak her panel robotik

olarak prefabrike edilmiştir. 250 m²'lik bir alanı kaplayan yapı, yumurta kabuğundan daha incedir (Pawlyn, 2016: 22).



Resim 2.20. Stuttgart Üniversitesi'ndeki Landesgartenschau Sergi Salonu (Pawlyn, 2016: 23).

Kurak bölgelerde yaşayan birçok organizma ısı almaktan kaçınmak için çeşitli adaptasyonlara sahiptir. Bazıları güneşten tamamen uzak durarak ya da radyasyon maruziyetini azaltarak bu adaptasyonları sağlamaktadır. Bu doğrultuda Dış Ofis Mimarları İspanya'nın Santa Cruz de Tenerife kentinde güneşin hareketini takip eden palmiye yaprağından ilham alan gölgeleme kanatçıklarına sahip Cabo Llanos Kulesi'ni tasarladı (Pawlyn, 2016: 96).



Resim 2.21. Cabo Llanos Kulesi (Pawlyn, 2016:96).

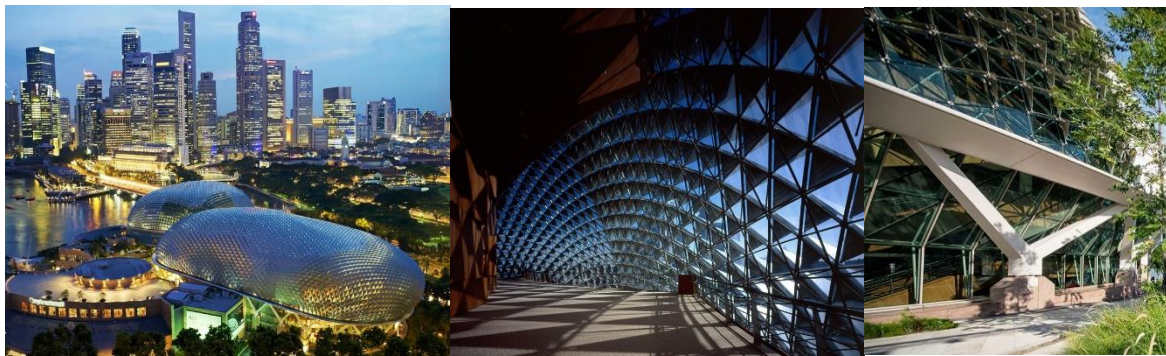
2002 yılında Michael Wildford ve partnerleri tarafından tasarlanan Singapur Esplanade Tiyatrosu'nun yapı kabuğunda Güneydoğu Asya'ya özgü durian meyvesinden esinlenilmiştir. Meyvenin yarı sert kabuğu içindeki meyveyi güneş ışığı ve çevresel unsurlardan korumaktadır. Kabuğundaki dikenlerin piramit şekli güneş ışınlarına

maruziyetin arttığı zamanlarda meyveye gölgeleme sağlayarak aşırı ısınmasını önleyerek gerekli ısıyı da kontrollü bir şekilde meyvenin almasını sağlamaktadır. Durian meyvesinin bu özellikleri bina kabuğuna tasarımına aktarılarak bir gölgeleme sistemi oluşturulmuştur (Radwan ve Osama, 2016).



Resim 2.22. Durian meyvesi (Radwan ve Osama, 2016) ve Esplanade Tiyatrosunun cephesi (URL-18).

Çelik iskeletli tiyatro binasının çift camlı kabuğunun üstü piramit şeklindeki alüminyum gölgeleme elemanlarıyla katmanlı bir şekilde kaplanmıştır. Oluşan katman iç mekânın aşırı ısınmasını engellerken, yeterli miktarda güneş ışığının içeri girmesine olanak sağlamaktadır. Gölgeleme elemanları güneşin ve sıcaklığın en fazla olduğu doğu ve batı cephelerinde daha uzun, kuzey ve güney cephelerinde ise daha küçük olacak şekilde tasarlanmıştır (Minsolmaz Yeler, 2012). Ayrıca dış cephede bulunan Y sütunlar yapı kabuğunu desteklerken aynı zamanda yağmur suyunu toplamaktadır. Burada toplanan su binanın cephesinin temizlenmesi ve bitkilerin sulanması için kullanılmaktadır (URL-19).



Resim 2.23. Singapur Sanat Merkezi (URL-20)

Pekin Ulusal Stadyumu, Pekin'de düzenlenen 2008 Yaz Olimpiyatları ve Paralimpik Oyunları için Jacques Herzog ve Piere de Meuron tarafından kuş yuvalarından ilham alınarak tasarlanmıştır (URL-21). Stadyumunun kabuğunda rastgele gibi görünen desen,

aslında kuş yuvalarındaki gelişmiş geometrinin tanımlandığı karmaşık kurallara uymaktadır. Stadyumun strüktürünü çok düzenli hizalanmış 24 taşıyıcı çelik ve bu çelikleri bölen rastgele düzenlenmiş gibi görünen prefabrik ince çelikler oluşturmaktadır. Düzenli ve rastgele taşıyıcı elemanların arasındaki boşluklar ise kuş yuvasında yapıştırıcı görevi gören çamurdan ilham alınarak yarı saydam ETFE panelleri ile doldurulmuştur (Günaydın, 2019).



Resim 2.24. Pekin Olimpiyat Stadyumu (URL-21) ve kuş yuvası (Pawlyn, 2016:28).

One Ocean Expo Pavyonu, SOMA Architecture tarafından “Yaşayan Okyanus ve Sahil” temasıyla Güney Kore’deki Expo 2012 için tasarlanmıştır. Tasarım sürecinde yer alan ITKE araştırma grubu cephe için Flektofin mekanizmasını uygun bulmuştur (Knippers ve diğerleri, 2019: 15). Mekanizma cennet kuşu bitkisinin kılıfının çok ince ve esnek laminalarla birbirine bağlanan kavisli ve sert omurgalardan oluşan yapısından ve dış etkilere bağlı açılıp kapanma hareketlerinden soyutlanmıştır. Flektofin bir veya iki yan lamina taşıyan bir omurgadan oluşur ve omurga büküldüğünde 90° eğilir. Gerekli bükülme, harici bir mekanik kuvvet uygulanarak veya omurga malzemelerinin termal genişlemesiyle başlatılabilir. Sonuç olarak Flektofin sürekli ve düzgün açılma ve kapanma döngüleri yapabilen biyomimetik, menteşesiz bir cephe gölgelendirme elemanıdır (Speck, Poppinga, Speck ve Tauber, 2021).



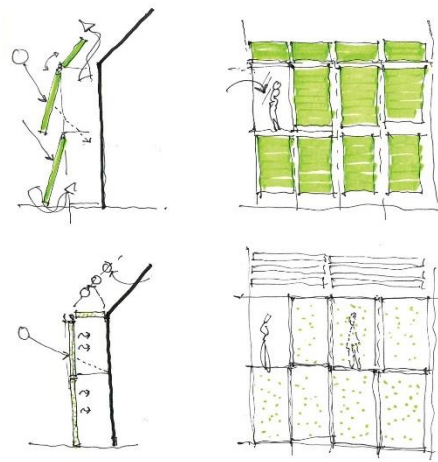
Resim 2.25. Cennet kuşu bitkisi ve ondan ilham alan Flektofin mekanizması (Speck ve diğerleri, 2021).

Bu doğrultuda iç mekanda aydınlık sağlamak ve gerekli sıcaklık koşullarını korumak için pavyonun cephesine Flektofin mekanizması uygulanmıştır. Pavyonun dinamik cephesi, 15 metre yüksekliğe kadar cam elyaf takviyeli polimerlerden yapılmış 105 dikey lamelden oluşmaktadır. Bu hareketli lameller, güneş ışığı değişikliklerine uyum sağlayan bir gölgeleme sistemi oluşturmaktadır (Lienhard ve diğerleri, 2011).



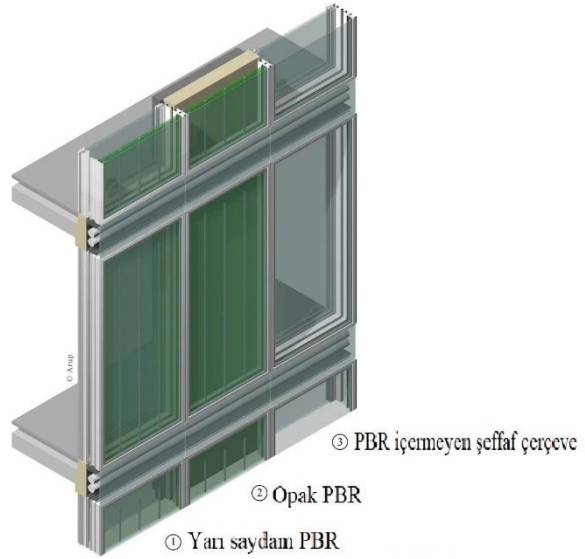
Resim 2.26. One Ocean Expo Pavyonu (URL-22).

2013 yılında Hamburg'daki Uluslararası Yapı Fuarı'nda (IBA) tanıtılan dünyanın ilk biyo-reaktif cephesi olan SolarLeaf, alglerden yapı bileşenine analog aktarımın bir temsilidir. Almanya Stratejik Bilim Danışmanlığı (SSC), Colt International ve Arup ortak girişimi tarafından geliştirilen sistem, alg biyokütlesi ve güneş ısısından yenilenebilir enerji üretmektedir. Sistemdeki fotobiyoreaktörlerden (PBR) gelen fazla ısı, sıcak su sağlanması veya binayı ısıtmak için kullanılabilir (URL-23).



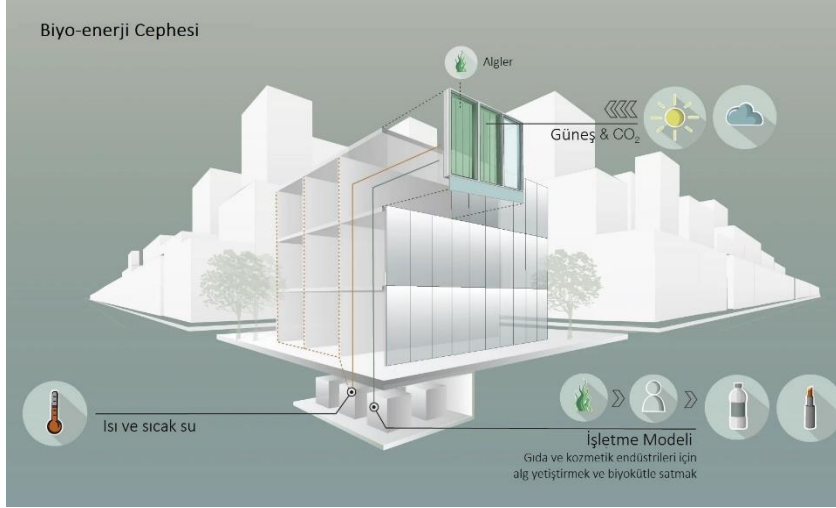
Resim 2.27. BIQ (Bio-Intelligent Quotient) evi ve SolarLeaf tasarım eskizi (URL-23).

Bu kapsamda SolarLeaf ilk kez BIQ (*Bio-Intelligent Quotient*) evine cephe sistemi olarak uygulanmıştır. Dört katlı konut binasının güneybatı ve güneydoğu cephelerinde her biri 2.5x0.7 metre boyutlarında olan toplamda 129 biyoreaktörün kullanıldığı sistem yaklaşık 200 metrekarelik bir alanı kaplamaktadır. SolarLeaf'in biyoreaktörleri dört cam katmandan oluşmaktadır. İki iç bölme, yetiştirme ortamı için 24 litre kapasiteli bir boşluğa sahiptir. Şeffaf yüzey, binaya giren ışığı kontrol edebilen ve gerektiğinde güneş filtreleme etkisi sağlayan algleri içerir. Gün ışığı fazla olduğunda, alg yosunları büyümekte ve bina için gölgeleme sağlamaktadır, daha az ışık olduğunda ise algler büyümmez ve ışığın içeri girmesine izin verir (URL-24).



Resim 2.28. Biyo-enerji cephesi prototipi ve sistemi oluşturan üç cephe elemanının modeli (URL-25).

SolarLeaf cephesi geliştirilerek yeni versiyonunun ilk prototipi 2019 yılında ARUP tarafından sunulmuştur. Yeni versiyon biyo-enerji cephesi; yeşil renkli alglerin yaşadığı yarı saydam versiyon, alglerin dış cephede tasarım öğeleri olarak hizmet ettiği opak bir solüsyon, ve biyoreaktör içermeyip kesintisiz görüntüleme sağlayan şeffaf bir çerçeve olmak üzere üç farklı cephe elemanından oluşmaktadır (URL-25).



Resim 2.29. Biyo-enerji cephesi işletme modeli (URL-25).

2021 yılında Stuttgart ICD/ITKE Üniversitesi'ndeki disiplinler arası araştırmacılar ve öğrencilerden oluşan bir ekip tarafından tasarlanan Canlı MatS Pavyonu (*livMatS Pavilion*) için saguaro kaktüsünden (*Carnegie gigantea*) ve dikenli armut kaktüsünden (*Opuntia*) esinlenilmiştir. Saguaro kaktüsünün içi oyuk ve hafif silindirik bir çekirdeğe sahiptir. İskelete ek olarak stabilite sağlayan ağ benzeri bir odunsu yapıdan oluşmaktadır. Dikenli armut kaktüsünün yan sürgünlerinin dokusu da, katmanlar halinde düzenlenmiş ve birbirine bağlanmış ağ benzeri ağaç lifi demetleriyle iç içedir. Sonuç olarak, dikenli armut kaktüsünün dokusu, yüksek bir yük taşıma kapasitesine sahiptir. Tasarım ekibi bu ağ yapılarını soyutlayarak, çapraz bağlı fiber yapıların mekanik özelliklerini pavyonun hafif yapısal elemanlarına aktarmıştır. Bu doğrultuda pavyonunun yük taşıyama özelliğine sahip strüktürü, eğrilmiş doğal liflerden, robotik teknolojiyle önceden hazırlanmış 15 keten lif bileşeninden ve yapının üzerindeki kapak elemanından oluşmaktadır. Freiburg'daki Botanik Bahçesi ortamıyla uyumlu olan *livMats Pavyonu*, Freiburg Üniversitesi tarafından sunulan etkinlikler için açık hava konferans odası olarak hizmet vermektedir (URL-26).



Resim 2.30. Almanyada Freiburg Botanik Bahçesi için tasarlanan livMats Pavyonu (URL-26).

2.2. Mimari Kabuk ve Biyomimesis

Biyolojik stratejilerin, günümüzde hızla artış gösteren enerji kaynaklarının tükenmesi sorununa birçok disiplinde olduğu gibi mimarlıkta da alternatif bir çözüm kaynağı olduğu düşünülmektedir. Fakat biyolojinin çok geniş bir bilgi kaynağına sahip olması ve mimarların biyolojik bilgilerinin sınırlı olması bu disiplinden mimarlık için uygun stratejilerin seçilmesini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple biyolojiden mimarlığa bilgi aktarımları yapabilmek için biyomimetik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı biyolojik stratejilerin, mimari kabuk tasarımlarında uygulanması olduğu için doğru terminolojiyi kurmak adına “mimari kabuk” kavramının açıklanması ve biyomimesis bilimiyle ilişkisinin ifade edilmesi gerekmektedir. Mimari kabuk, bir binanın iç ortamı ve binanın dışında kalan çevreyi birbirinden ayıran fiziksel bir elemandır. Pencerelelerin, duvarların, çatıların ve zeminlerin temel elemanlarından oluşan bina kabukları, dış çevre koşulları ve arzu edilen iç ortam konforu arasında bir filtre görevi görmektedir. Bu bağlamda mimari kabuk, belirli iklim faktörlerine yanıt veren uygun çözümler kullanılarak tasarlandığında önemli bir enerji tasarrufu sağlayacaktır (Badarnah, 2017). Bu doğrultuda bu bölümde ilk olarak mimari kabuk kavramı açıklanmıştır.

Mimari kabukların iç ve dış ortam arasındaki bir sınırı ifade etmesi gibi canlıların derileri de onları dış ortamdaki ayıran bir sınırdır. Mimari kabuklar ve biyomimesis arasındaki ilişkiyi kurulabilmek için biyolojide canlıların deri/kabuk fonksiyonlarının incelenmesi gerekmektedir. Bu sebeple “Doğadaki Canlıların Deri/kabuk Fonksiyonları” başlığında organizmaların deri/kabuk fonksiyonları incelenmiş ve mimari kabuklarla benzetimleri açıklanmıştır.

Mimari kabuk tanımını özümseyebilmek için bina kabuğunun işlevleri irdelenmelidir. Mevcut bina kabuklarından farklı olarak biyo-bilgili stratejilerin yapı kabuğu tasarımı nasıl bir alternatif sağlayacağını anlaşılmaması için de mimari kabukların problemlerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda sıcaklık, hava, su ve ışık gibi çevresel faktörlere karşı iç mekandaki kullanıcı istekleri doğrultusunda yapı kabuğunun hangi görevleri yerine getirdiği “Mimari Kabuğun Problemleri ve İşlevleri” başlığında açıklanmaktadır.

2.2.1. Mimari kabuk

Kabuk kelimesi TDK sözlüğünde, “bir şeyin üstünü kaplayan ve onu dış etkilere karşı koruyan, kendiliğinden oluşmuş sertçe bölüm, kışır.” ve “bir hayvanı dıştan örten kitinli, kalkerli, silisli, kemiksi veya boynuzsu örtü, kavkı.” olarak tanımlanmaktadır (URL-27). Mimari sözlükteki tanımı “yumurta kabuğu ilkesindeki gibi kendi kendini taşıyan ince örtü” olarak geçmektedir. Günümüz mimarlığında ise kabuk terimi mekânı kaplayan ve kendisini oluşturan birçok katmanın özelliklerini içeren bir sınırı temsil etmektedir (Düzgün, 2016).

Farklı araştırmacılar, kendi çalışmalarında “mimari kabuk” elemanını ifade ederken benzer tanımlar kullanmışlardır. Yowell’e göre bina kabuğu mekanlara bağlanmak için yapıları çevreye daha uyumlu hale getiren bir arayüzdür (Yowell, 2011). Rankouhi’ye göre ise yapıların çevre ile olan etkileşiminin gerçekleştiği bir **sınırdır**. Hoeven, bina zarfını (*building envelope*) bina kabuğu (*building skin*,) olarak tanımlarken “en belirgin özelliği taşıdığı işlevlere cevap verebilecek optimum iç koşulları sürdürme kabiliyetidir” ifadesini kullanmıştır. Kieran, bina kabuğunu “en çok enerji ve malzeme alışverişinin gerçekleştiği yer” olarak tanımlamıştır (Radwan ve Osama, 2016). Çağdaş mimaride ise bina kabuğu “eyleme ortam oluşturan mekânsal bir sınır” olarak tanımlanmaktadır (Düzgün, 2016).

Tüm bu tanımlara bakıldığında zaman yapı kabuğunun, bir binayı dıştan saran ve onu koruyan ilk bariyer olup; ışık, hava, nem, ses ve ısı gibi çevresel faktörlere tepki vererek bunları filtreleyen katmanlardan oluşan; iç ortam ve dış ortam arasındaki bir arayüz ve sınır olduğu söylenebilir.

Bir binaya dışardan bakıldığında görülen binanın cephesi ve çatısı, dış ortamla bina arasındaki sınırı oluşturmaktadır. Bu durumda cephe kompleksi ve çatı, mimari kabuğu meydana getirmektedir (Radwan ve Osama, 2016). Mimari kabuk ise; çatı, dış duvarlar,

döşemeler, tavanlar, pencereler, kapılar, panjurlar/güneşlikler ve cephede çıkma yapan her elemanı içermektedir. Bunula birlikte bazı durumlarda sütunlar/kolonlar, dış merdivenler ve geçitler gibi açık alanda kalan mimari elemanlar da mimari kabuğa dahil olabilmektedir (Liang, Liang ve Li, 2014). Mimari kabuğu oluşturan alt katmanlar ise;

- İskeleti/strüktürü koruyan “kılıf/zarf”,
- Bu kılıfın/zarfin kavramsal açılımları olan “deri” ve
- Derinin ilk yüzü olan “yüzey” oluşumlarıdır (Düzgün, 2016).

Bunlardan yüzey/deri (*skin*) kavramı hem biyolojide hem de mimarlık disiplinde geçerlidir ve her iki disiplinde de benzer işlevleri içermektedir. Biyolojik açıdan yüzey/deri (*skin*), çevresel etkenleri vücudun ihtiyaçlarına göre ya kabul eder ya da reddeder yani; seçici geçirgen tepkiler verir ve bir filtre görevi görür. Aynı şekilde yapı kabuğu (*building skin*) da; binanın strüktürünü örten ve iç mekandaki mekanik, sıhhi tesisat ve elektrik gibi organları düzenleyen bir katmandır ve hayati bir öneme sahiptir. Eski insanlar da ilk barınakları olan çadırların yapımında hayvan derilerini kullanmışlardır (Yowell, 2011). Böylece inşa edilen ilk mekanların yapı kabuklarının, tamamen doğal oldukları için doğal bir derinin fonksiyonlarını yerine getirdiği söylenebilir. Canlıların derileri/kabukları fonksiyonel olarak çevrenin zararlı etkilerine karşı koruyucu bir bariyer görevi görürler; sıcaklığı ve vücuttaki su dengesini düzenlerler; oksijen ve azot gibi temel elementlerin alınmasını sağlarlar, kendilerini onarabilirler ve güzeldirler (Mazzoleni, 2013: 29). Ayrıca tüm bunları yerel düzeyde, çevre dostu bir üretimle yaparlar ve ömürlerinin sonunda ekosisteme zarar vermezler. (Yowell, 2011). Bu doğrultuda canlıların derileri/kabukları, geçmişte olduğu gibi günümüzde de yapı kabuklarının nasıl davranması ve tasarlanması gerektiğine dair sürdürülebilir bir tasarım modeli oluşturabilirler.

2.2.2. Doğadaki canlıların deri/kabuk fonksiyonları

Canlıların derilerinin çeşitliliği biyo-ilham alan tasarımlar için verimli bir zemin oluşturmaktadır. Doğadaki canlılar, içinde bulundukları iklim ile başa çıkmak için benzersiz stratejilere sahiptirler. Aşırı sıcak ya da aşırı yağışlı bölgeler de dahil olmak üzere çok çeşitli ortamlara uyum sağlayabilmektedirler (Mazzoleni, 2013: 30).

Canlıların derileri birçok kritik işlevi yerine getirmektedir. Patojenlere, yırtıcılara ve çevreye karşı koruyucu bir bariyer görevi görüp; sıcaklığı ve vücuttaki su dengesini düzenleyerek; oksijen ve azot gibi temel elementlerin alınmasını sağlamaktadırlar. Derilerde bulunan sıcaklık ve basınca cevap veren sinir uçları cildin algı/duyu mekanizmasını oluşturmaktadır. Cildin deseni ve rengi de dış ortamdaki unsurlarla canlı arasında önemli bir iletişim aracıdır. Canlıların derileri/kabukları bu çok yönlü işlevleri nedeniyle mimariye ilham kaynağı olmak için idealdir. (Mazzoleni, 2013: 53-58).

Deriler, kabuklar, kütiküller, zarlar ve diğer organizma katmanları canlıyı korur ve çevreye karşı bir sınır oluşturur. Bunu yaparken de canlının ihtiyacı olan maddeleri seçerek geçirir. Mimari kabuklar da aynı şekilde, insan faaliyetleri için uygun iç ortam koşullarını sağlar ve iç ve dış arasında bir sınır oluşturur. Bu doğrultuda canlıların derileri/kabukları ile bina zarfları arasındaki temel benzerlik, iç ortamın kurulması için bir sınır/arayüz yaratma ve filtreleme görevleridir (Badarnah Kadri, 2012).

Organizmaların derileri ve mimari kabuklar arasındaki işlevsel benzerlikler Gruber ve Gosztanyi (2010) tarafından hazırlanan çizelgede karşılaştırmalı olarak aktarılmıştır (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5. Organizmaların derilerinin işlevleri ve mimarlıktaki benzetimleri (Gruber ve Gosztönyi, 2010)

Organizmaların Deri Özellikleri	Organizmaların Deri Fonksiyonu	Ne ile	Mimari Benzetim
İnşa etme	Strüktür sağlamak	Kabuk / Yumuşak Gövde ve İç Yapı	Bina konstrüksiyonu
Koruma	İç organları koruma ve örtme Mekanik koruma Kendinden iyileşme Radyasyondan koruma Kirden koruma Mikroorganizmalardan koruma Enerji korunumu/yalıtım sağlama	Yumuşak veya gergili tabaka Yüzey özellikleri/ karakteristiği, kimyasal eylem Dış tabaka (saç, tüy)	Membran Sistemleri Sert dış tabaka Kendini iyileştirici malzemeler UV koruması Kendi kendini temizleme Yüzey oksidasyonu Isı yalıtım
Geçiş/Değişim	Algılama Enerji toplama Hava geçiş kontrolü Termoregülasyon Dolaşımın düzenlenmesi Maddelerin geçişi Kayıpları Önlemek Su ve nem-terleme	Çeşitli bilgi Termal ve solar enerji Oksijen, karbondioksit Besinler Su	Sensörler Solar Sistemler Difüzyon Sistemleri Isı Dengesi Filtre Sistemleri Soğutma
Sinyal	Çevredeki görünüş İşaret verme	Renkler, desenler Renk değişimi vb.	İletişim İletişim
Depolama	Enerji depolama Kimyasal enerji depolama Nem depolama	Termal enerji Yağ, şeker	Isı depolama Enerji depolama Su depolama

Biyomimetik bina kabuğu tasarımında binalar ve doğa için ortak işlevler tanımlanması binalarda uyum sorunları yaşanmaması açısından önemlidir. Tanımlanan ortak işlevler doğal dil yaklaşımı için anahtar kelimeleri oluşturmaktadır. Bu anahtar kelimeler, yani işlevler de canlıların bulundukları ortama göre gelişen adaptasyon stratejilerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Mazzoleni, 2013: 40).

Canlıların kendi iç koşullarını dengede tutmak için çevrenin zararlı etkilerinden korunurken aynı zamanda bu çevreye uyum sağlama yeteneklerine adaptasyon adı verilir. Ayçiçeklerin gün boyunca güneşi izlemesi, balinaların vücutlarındaki yağ dağılımı ve fok balığının deri kalınlığının mevsimlere göre değişmesi organizmalarda görülen adaptasyonlara örnek olarak gösterilebilir. Bu adaptasyon stratejileri sıcaklık, hava ve su gibi unsurlara bağlı olarak değişen çevre koşullarına göre oluşmaktadır. Canlılardaki adaptasyonlara benzer şekilde

bina kabuklarının da sürdürülebilir özellikte olması için, dış ortamdan gelen olumsuz etkilere karşı bir bariyer görevi görerek iç mekanlardaki kullanıcı konforunu sağlayıp aynı zamanda doğa ile uyum içerisinde olması ve doğaya zarar vermemesi gerekmektedir (Badarnah Kadri, 2012).

Mazzoleni (2013), canlıların derileri ve bina zarfları arasındaki ilişkiyi tam olarak keşfetmek için mimari tasarımlarla da ilgili olan dört temel deri/kabuk fonksiyonu belirlemiştir. Bunlar canlı derilerinin “iletişim”, “termoregülasyon”, “koruma” ve “su dengesi” fonksiyonlarıdır (Mazzoleni, 2013:56).

2.2.3. Mimari kabuğun problemleri ve işlevleri

Dış çevresel faktörler ile bina sakinlerinin iç talepleri arasındaki arayüzü temsil eden mimari kabuk, iç mekan koşullarını yönetirken dış çevrede meydana gelen çevresel etkilere cevap verebilmelidir (Badarnah Kadri, 2012). Bunun için de bulunduğu bölgeye göre adaptasyon stratejilerine sahip olmalıdır. Fakat doğa ile etkileşimi olmayan mevcut bina kabukları; üretimleri, kurulumları ve bakımları nedeniyle de çevreye zarar vermektedirler. Enerjiyi verimsiz kullanmalarının yanı sıra yapımlarında çok fazla bileşenin kullanılması malzemelerin sık sık arızalanmasını kaçınılmaz hale getirmekte; bu da yoğunlaşma, termal köprüleme ve atık malzeme oluşumuna sebep olmaktadır (Yowell, 2011). Bu bağlamda biyomimetik bina zarfları, yerel iklim koşulları için daha uygun, enerji tüketimini azaltan ve kullanıcı konforunu sağlamaya yönelik verimli bir alternatif oluşturmaktadır (Badarnah Kadri, 2012).

Bina kabuğunun verimliliğini arttırmak ve yapısını iyileştirmek için sürdürülebilir bina kabuğunun hangi işlevlere sahip olması gerektiğini araştıran Yowell (2011), bunun sonucunda yedi tane fonksiyon belirlemiştir. Buna göre sürdürülebilir mimari kabuğun;

- Doğal unsurlardan korunması,
- Çevre dostu üretim olması,
- Kullanımının sonunda doğal çevreye zararlı olmaması,
- İnce bir katman içinde çoklu sistemlerin entegre edebilmesi,
- Isı, hava ve su transferini etkin bir şekilde düzenlemesi,
- Yerel çevresine uyarlabilir olması ve buna göre cevap vermesi ve

- Güzel olması gerekmektedir (Yowell, 2011).

Badarnah (2017) binaların ve doğal sistemlerin (yani organizmalar ve yapıların), genellikle ısı, hava, su ve ışığın yönetimini gerektiren çevresel koşullara maruz kaldığını belirtmiştir. Bu dört çevresel koşulu temel alarak dış ortam ve binanın içinde gerçekleşen ortak işlevlerin fonksiyonel karşılıklarını gösteren bir tablo oluşturmuştur (Çizelge 2.6). Bu tabloda fonksiyonel yakınsamaların karşılığında ortaya çıkan anahtar kelimeler; belirtilen çevresel etmenlerin (sıcaklık, hava, su ve ışık) her biri için bina kabuğunun sağlaması gereken işlevlerdir (Badarnah, 2017).

Çizelge 2.6. Binalarda ve doğadaki farklı çevresel zorluklar için işlevsel yakınsamaların (temel işlevler) belirlenmesi (Badarnah, 2017; Türk, 2019).

Ortam	Sıcaklık	Hava	Su	Işık
Binalar (İç Ortam)	Isı Konforu Enerji	Yaşamsal Oksijen sağlama Karbondiyoksit sağlama Soğutma Havalandırma	Nemlendirme Soğutma Sağlama Tüketim Dağıtım	Gün ışığı Görsel konfor Medya Enerji
Doğa (Dış Çevre)	Yaşamsal Isı Düzenleme Çoğalma	Yaşamsal Oksijen sağlama Karbondiyoksit sağlama Soğutma Havalandırma	Yaşamsal Isı Düzenleme Kimyasal Reaksiyon	Yaşamsal Fotosentez Görme İletişim Algılama
Fonksiyonel Yakınsamalar	Kazanma Koruma Dağıtım Önleme	Değiştirme Alışverişi Hareket etme	Kazanma Koruma Taşıma Kaybetme	Filtreleme Aydınlatma Yayma

2.2.4. Biyometrik mimari kabuk tasarımı örnekleri

Doğadaki canlıların deri/kabuk fonksiyonlarıyla bina kabukları arasında işlevsel benzerlikler bulunmaktadır. Bu benzerlikler doğal deri/ kabukların çevresel faktörlere uyum sağlama stratejilerinin mimari kabuk tasarımlarına aktarıldığında aynı verimlilikte sonuçlar sağlayıp sağlamayacağı sorularını gündeme getirmektedir. Bu bölümde, biyomimesis ve mimari ilişkisini yapı kabukları özelinde analiz etmek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda literatürde, doğadaki organizmaların stratejilerinden ilham alınarak tasarlanan mimari kabuk tasarımları

araştırılmış ve incelenmiştir. Ulaşılan biyomimetik mimari kabuk örneklerinden bazıları kavramsal düzeyde olmakla birlikte bazıları prototip geliştirme aşamasında, bazıları ise uygulanmıştır.

Biyomimikri müzesi

Exploration Architecture tarafından Orta Doğu bölgesi için tasarlanan Biyomimikri Müzesi'nde çok sayıda bitkinin bulunduğu bir vaha yer almakta ve buradaki bitkilerin su ihtiyacının sürdürülebilir çözümlerle sağlanması gerekmektedir.



Resim 2.31. Biyomimikri Müzesi'nin modeli (URL-28) ve kaktüslerin diken yapısının şematik gösterimi (Pawlyn, 2016:84).

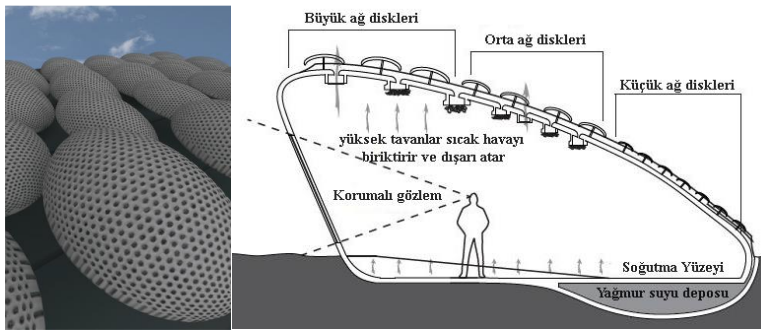
Müzedeki vahanın üst örtüsü olan büyük giriş kanopisi develerin burunlarındaki buharlaşmayı azaltan süngerimsi kemik yapısından ve kaktüs dikenlerinin havadaki suyu hasat etme özelliklerinden esinlenilerek tasarlanmıştır. Bu sayede biyomimetik özellikteki kanopinin dış çevreden sis hasadı yapabilmesi ve aynı zamanda develerin burun yapısındaki gibi iç mekanda yüzey alanı artırıldığı için binanın içinde bulunan nemin buharlaşarak kaybedilmesini önlemesi amaçlanmaktadır (URL-28).



Resim 2.32. Biyomimikri Müzesi büyük kanopinin iç mekan modeli (URL-28) ve deve burun yapısının şematik gösterimi (Pawlyn, 2016: 82).

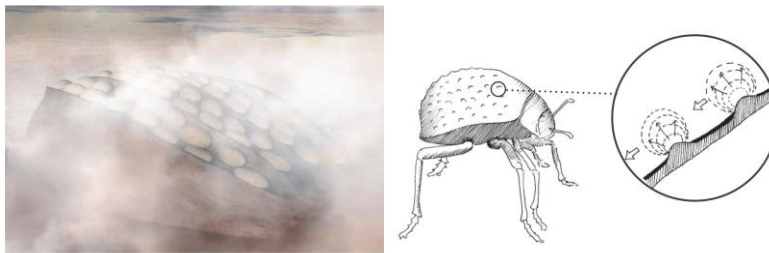
Çöl araştırmacıları için konut prototipi

Namib Çölü'nde konut prototipi olarak tasarlanan projede Namib çöl böceğinden ilham alınmıştır. Konutun cephe tasarımında Namib böceğinin heterojen engebeli kabuk yapısı su hasat eden diskler şeklinde soyutlanırken; toplanan suyu depoya iletmek için böceğin sırtındaki oluklar taklit edilmiştir. Böceğin açılı eğik duruşu yorumlanarak bina cephesinin eğimli yüzeyi okyanustan gelen sisinin yönüne bakacak şekilde konumlandırılmıştır (Mazzoleni, 2013: 176-178).



Resim 2.33. Bina zarfında yer alan ağ diskleri ve binanın şematik kesiti (Mazzoleni, 2013: 176-178).

Havadaki nemi hasat etmek amacıyla bina zarfına yerleştirilen ve 3 farklı boyutta olan ağ diskleri birer eksen üzerinde bulunmaktadır. Üzerlerinde yeterli su biriktiğinde diskler, eksenler sayesinde eğilmekte ve suyu bina zarfına iletmektedir. Su bina zarfından aşağı kayarak depoya ulaşmaktadır. (Mazzoleni, 2013: 176-178).



Resim 2.34. Çöl araştırmacıları için tasarlanan konut projesi prototipi ve esin kaynağı Namib böceğinin şematik gösterimi (Mazzoleni, 2013: 176-178; Pawlyn, 2016:83).

Habitat 2020

Charlie Paton, Seawater Greenhouse sera projesini tasarlarken Namib çöl böceklerinin havadaki nemi yoğunlaşma yöntemiyle hasat etme mekanizmasından ilham almıştır. Böylece

suyun kısıtlı olduğu bölgelerde deniz suyunu tuzdan arındırıp sera bitkilerinin sulamasında kullanan bir sistem geliştirilmiştir. Namib çöl böcekleri, geceleri vücut ısını dışarı yayarak çevredeki ortamdan daha soğuk hale gelmektedir. Bu sırada denizden esen rüzgarın içindeki nem, böceğin havadan daha soğuk olan kabuğuna temas etmekte ve yoğunlaşmaktadır. Seawater Greenhouse projesinde de bu prensip taklit edilerek seranın tavanına ısını kaybederek ortamdan daha soğuk hale gelen bir dizi borular yerleştirilmiştir. Seranın altındaki sıcak borular tarafından çekilen deniz suyu seranın içinde sıcak havanın etkisiyle buharlaşmakta ve yükseldiği zaman tavandaki soğuk borulara tema ederek bu yüzeyler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Böylece sera bitkilerinin ihtiyaç duyduğu tatlı su elde edilmektedir (Pawlyn, 2016: 83-86).



Resim 2.35. Habitat 2020 Projesi (Prakash ve Sharma, 2017).

Seawater Greenhouse

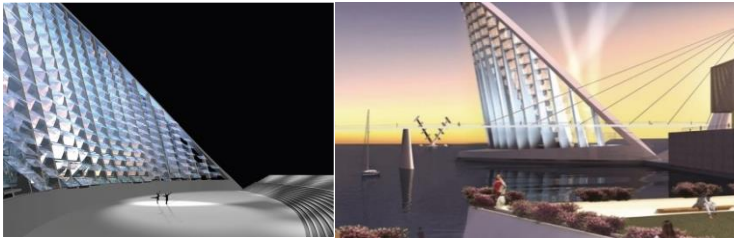
Charlie Paton tarafından Namib çöl böceklerinden ilham alınarak tasarlanan projede, suyun kısıtlı olduğu bölgelerde deniz suyunu tuzdan arındırıp sera bitkilerinin sulamasında kullanan bir sistem geliştirilmiştir. Namib çöl böcekleri, geceleri vücut ısını dışarı yayarak ortamdan daha soğuk hale gelip deniz rüzgarındaki sis, havadan daha soğuk olan kabuğuna çarptıkça havadaki nemi yoğunlaştırarak hasat etmektedir. Seawater Greenhouse projesinde de bu prensip taklit edilerek seranın tavanına ısını kaybederek ortamdan daha soğuk hale gelen bir dizi borular yerleştirilmiştir. Seranın altındaki sıcak borular tarafından çekilen deniz suyu seranın içinde sıcak havanın etkisiyle buharlaşmakta ve yükseldiği zaman tavandaki soğuk borulara tema ederek bu yüzeyler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Böylece sera bitkilerinin ihtiyaç duyduğu tatlı su elde edilmektedir (Pawlyn, 2016: 83-86).



Resim 2.36. Seawater Greenhouse Avustralya (URL-29).

Las Palmas Su Tiyatrosu

Tasarladığı biyo-ilhamlı projelerle bilinen önemli mimarlardan biri olan Micheal Pawlyn, İspanya Kanarya Adaları için su kıtlığının getirdiği zorluklara bir çözüm olması amacıyla Las Palmas Su Tiyatrosu projesini önermiştir. Namibya çöl böceğinin sis rüzgarlarına karşı açılı duruşu taklit edilerek, açık amfi tiyatronun zeminini oluşturan binanın kütlesi, denizden esen nemli rüzgarların geldiği yöne doğru açılı bir şekilde tasarlanmıştır (Rankouhi, 2012: 24). Bu açılı yapının cephesinde ise böceğin suyu tutan kabuk morfolojisinden ilham alınarak tasarlanan üst üste istiflenmiş bir dizi buharlaştırıcı ve kondansatör sistemi bulunmaktadır. Yapı, cephenin şekli ve üzerindeki sistem sayesinde havadaki suyu hasat edebilecektir (Pawlyn, 2016: 88). Proje hayata geçirilmemiş olsa da bazı ticari seralar bu strateji ile tatlı su üretmektedir (Rankouhi, 2012: 24).



Resim 2.37. Las Palmas Su Tiyatrosu (*Las Palmas Water Theatre*) (Pawlyn, 2016: 87) (URL-30).

Biyomimetik ofis binası

Michael Pawlyn ve Julian Vincent Exploration Achitecture ile birlikte kaynakları verimli kullanan ve düşük enerji tüketen karma kullanımlı bir yapı olan Biyomimetik Ofis Binası'nı

tasarlamıştır. Birçok canlının mevcut kaynakları verimli kullanan mekanizmaları analiz edilerek bina tasarımı için soyutlanmıştır.



Resim 2.38. Biyomimetik Ofis Binası (*Biomimetic Office Building*) (URL-31).

Binanın taşıyıcı sisteminin hafif ve dayanıklı olması istenmiş ve bu amaçla kuş ve mürekkep balıklarının iskelet yapısından ilham alınmıştır. Gün ışığı kontrolünü sağlamak için spookfish balığı, taş bitkileri ve yılan yıldızlarından; çevre kontrolü için termitler, penguen tüyleri ve kutup ayısı kürkünden; su yönetimi için ise çöl böcekleri, mimoza ve gürgen yapraklarından esinlenilmiştir (URL-31). Henüz uygulanmamış bu projede su hasadı için çöl böceklerinin davranışlarından ilham alınmıştır (URL-32).



Resim 2.39. Biyomimetik Ofis Binası'nda ilham alınan canlılar (URL-31).

Sahra Ormanı Projesi : Katar, Tunus ve Ürdün

Exploration Architecture ekibi tarafından geliştirilen bu proje, kurak çöl ortamında tarım yapabilmek için tasarlanmıştır. bitki örtüsü oluşturabilmek, bunu yaparken de enerji tüketimi ve maliyeti düşük olan verimli bir tesis kurabilmek amacıyla tasarlanmıştır. Tesisin içerisinde bulunan seraların tasarımında, bu kurak bölgede iklim değişikliğiyle mücadele etmek için kendi tatlı suyunu geliştirmenin ve vücut ısını düzenlemenin yolunu bulan Namibya sis baskın böceğinden ilham alınmıştır. Charlie Paton'un Seawater Greenhouse seraları için tasarladığı buharlaşma-soğutma-yoğuşma prensipli sistemden kullanan sera

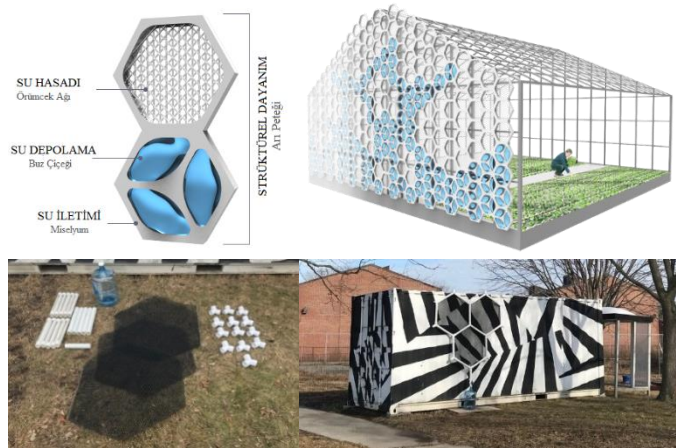
bitkilerinin ihtiyaç duyduğu tatlı su üretilmektedir (Nkandu ve Alibaba, 2018: 8). Bu projenin ilk pilot tesisi 2012 yılında Katar’da 1 hektarlık bir alana inşa edilmiştir (URL-33).



Resim 2.40. Sahra Ormanı Projesi (Pawlyn, 2016: 126-127) ve Namib çöl böceği su hasadı şematik gösterimi (URL-34).

AquaWeb

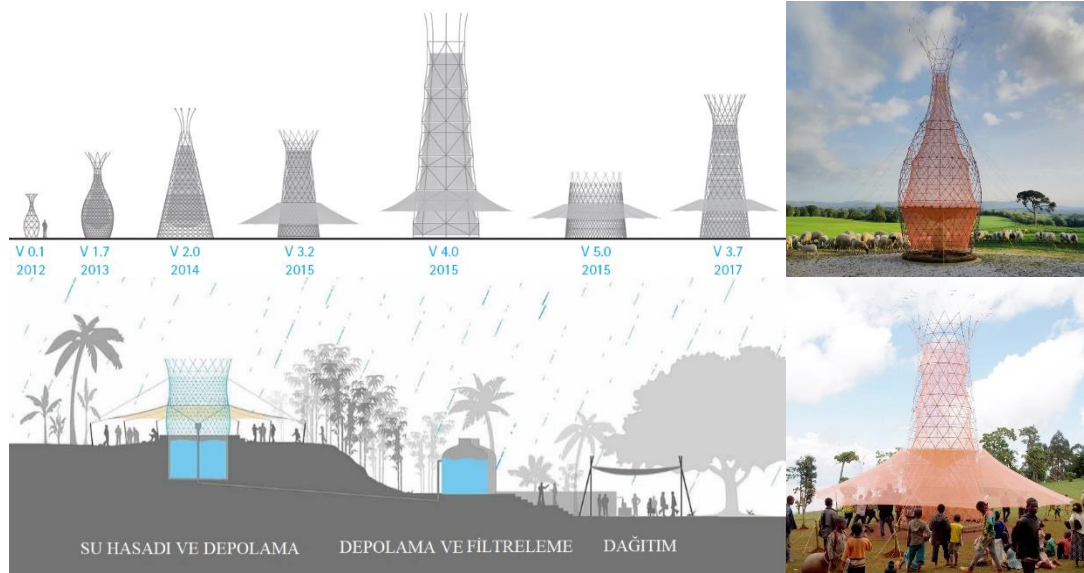
Nexloop Şirketi tarafından tasarlanan AquaWeb yerel kaynaklardan yararlanabilen, mimari kabuklara entegre olabilen, esnek ve modüler bir üründür. Arı peteklerinden esinlenen yapı strüktürünün her bir parçası altıgen biçimindedir. Bu parçaların içinde yağmur, sis ve nem gibi atmosferik suyu hasat edebilmek amacıyla örümcek ağının liflerini taklit eden bir ağ bulunmaktadır. Bu ağ havadaki suyu çekmektedir. Çekilen su, buz çiçeklerinin keselerinden esinlenerek tasarlanan esnek bölmelerde biriktirilmektedir. Biriken su, miselyum bitkilerinin suyu taşıma özelliğini taklit eden borular aracılığıyla yapının gerekli bölümlerine iletilmektedir. Sonuç olarak AquaWeb doğadan esinlenerek tasarlanan yapısı sayesinde atmosferik suyu hasat eden, depolayan ve iletebilen bir sistemdir. 2019 yılında Döngüsel Ekonomi pilot projesinin bir parçası olarak hidroponik bir konteyner çiftliğine kurumuştur (URL-35).



Resim 2.41. AquaWeb şematik gösterimi, AquaWeb'in modüler bileşenleri ve konteynerin üzerine monte edilmiş hali (URL-35).

Warka kulesi

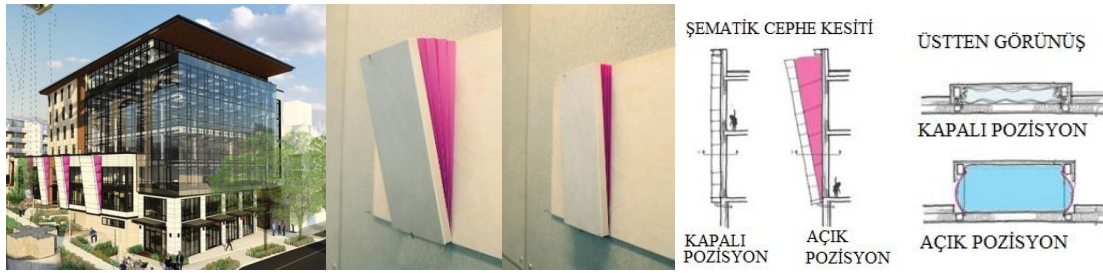
Warka Kulesi, temiz ve güvenli su kaynaklarına erişim sıkıntısı yaşanan bölgeler için atmosferik su hasadı yaparak yerli halka temiz su kaynağı sağlayacak bir sistem olarak Arturo Vittori tarafından tasarlanmıştır (URL-36). Kulenin formunda termit kuleleri ve kaktüs dikenlerinden esinlenilirken; su toplama sisteminde ise Namib çöl böceklerinin kabuk morfolojisi ve örümcek ağlarının liflerinden ilham alınmıştır. Namib çöl böceği ve örümcek ağının pürüzlü yüzeyler aracılığıyla suyu çekmesi taklit edilerek örgülü polyester özel bir kaplama malzemesi geliştirilmiş ve bambu çerçevelerle desteklenmiştir. Kulenin yüzeyini oluşturan bu özel malzeme atmosferik suyu kendi yüzeyine çekerek kulenin aşağı kısmında bulunan depoya iletmektedir (URL-37). Havanın, yerel ortam sıcaklıklarından ve nem koşullarından bağımsız olarak her zaman belirli miktarda su buharı içermesi sayesinde sistem yağmur yağmasa bile günde 40-80 litre su toplayıp depolayabilmektedir. Sonuç olarak Warka Kulesi herhangi bir enerjiye gerek duymadan yoğunlaşma, buharlaşma ve yerçekimi gibi olaylarla doğal bir şekilde çalışmaktadır. 2012'den beri 12 adet prototipi oluşturulan projenin 3.2 versiyonu 2015 yılında Etiyopya'nın Dorze Köyü'nde; 4. Versiyonu ise 2019 yılında Kamerun'da inşa edilmiştir (URL-38).



Resim 2.42. Warka Kulesi'nin versiyonlarının yıllara göre şematik gösterimi, V.01 kulesinin prototipi, mekanizmanın işleyişinin şematik gösterimi (URL-36) ve 2015'te inşa edilen V.3.2 kulesi (URL-38).

Rain Bellows

Rain Bellows, “Winners Innovation Inspired by Nature for Eleven’s International Biomimicry Competition” yarışması için Rachael Meyer, Alexandra Ramsden, Jennifer Barnes ve Michele Richmond’un tasarladıkları bir cephe elemanıdır. Projede yağmur suyunu depolayarak ihtiyaç halinde binaya iletebilen bir cephe sistemi geliştirmek amaçlanmıştır. Bu amaçla buz çiçeği bitkisinin suyu depolama özelliği taklit edilmiştir. Buz çiçeği bitkisi gövdesindeki epidermal kese hücreleri sayesinde su depolayabilmekte ve kurak zamanlarda depoladığı suyu kullanmaktadır. Bitkinin bu mekanizması soyutlanarak, yağmur suyu aldıkça körükleri sayesinde depolama kapasitesini arttırabilen Rain Bellows tasarımına aktarılmıştır (URL-39). Burada biriken su, bu cephe elemanlarının altında bulunan sıhhi tesisat sistemi tarafından alınıp filtrelenerek binada gerekli yerlere iletilmektedir (URL-40).

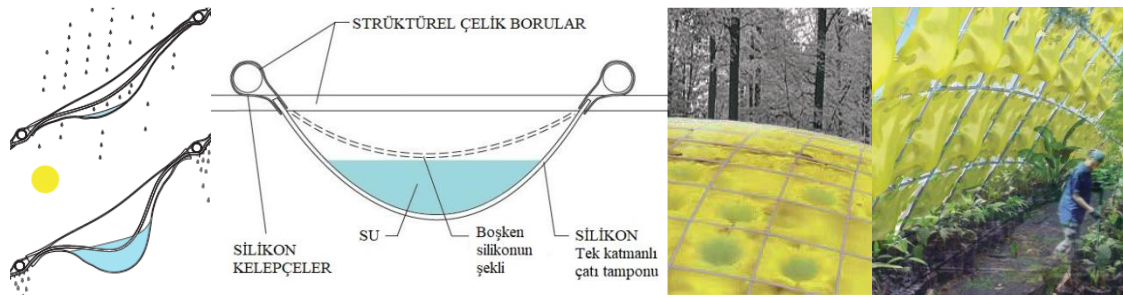


Resim 2.43. Rain Bellow cephe elemanının prototipi ve çalışma mekanizmasının şematik gösterimleri (URL-39).

Orman serası tasarım önerisi

Akdeniz iklimine sahip Santa Cruz bölgesi için Mazzoleni ve öğrencilerinden oluşan bir ekip, muz salyangozlarından ilham alarak yağmur suyunu toplayıp depolayabilen bir sera tasarımı önerisi geliştirmiştir. Muz salyangozlarının ciltleri, nefes almalarını sağlayacak şekilde gözenekli ve geçirgen yapıdadır. Su bulunmadığı zamanlarda kurumayı önlemek, yırtıcılardan korunmak ve hareket edebilmek için derilerine mukus salgılamaktadırlar. Ayrıca dışardaki nem ve sıcaklık değişikliklerine uyum sağlayıp homeostaz yoluyla çevreleri ile denge ve iletişimi kurabilmektedirler. Mazzoleni ve ekibi, muz salyangozunun bölgeyle uyumlu bu özellikleri doğrultusunda ilk olarak yağmur suyu toplama amacıyla seranın zarfında tampon keseler kullanmıştır. Zarfin ana malzemelerini oluşturan bu keselerin her birini birbirine bağlayan çelik gridler ile seranın strüktür sistemi tasarlanmıştır. Tamponların çoğu suyla dolu çift katmanlı silikonlardan oluşurken çatıdaki tamponlar

yağmur suyunu toplamak için tek katmandan meydana gelmektedir. Bu yapı, yağmur suyunun içeri doğru akmasını sağlayacaktır. Yağış sırasında tampon üniteleri dolup ağırlaşmakta ve onları yerinde tutan kelepçeleri aşağı doğru çekmektedir. Sarkıp seranın zarfını açan tamponlarda ağırlaşan yağmur suyu, seranın içine damlayarak bitkileri doğrudan sulama işlevini gerçekleştirmiş olur. Aynı zamanda keselerde biriken su kurak zamanlar için depolanıp saklanabilir. Çünkü keseler genişleyebilen bir yapıya sahiptir (Mazzoleni, 2013: 142-147).



Resim 2.44. Seranın zarfındaki tamponların yağmur suyu toplama mekanizmasının şematik gösterimleri ve sera zarfının 3B modelleri (Mazzoleni, 2013: 147-149)

3. MATERYAL VE METOT

Önceki bölümde biyo-bilgili bir tasarım yaklaşımı olan biyomimetikle ilgili bilgilere yer verilmiş, mimarlık disiplininde geçmişten günümüze biyomimetik tasarım uygulamalarının örnekleri literatür taraması yöntemiyle araştırılarak biyomimetik-mimarlık ilişkisi açıklanmıştır. Tez çalışması kapsamında binalardan kaynaklanan su tüketiminin yapı kabukları aracılığıyla azaltılması amaçlandığı için bu ilişki mimari kabuk bağlamında ifade edilmiştir. Biyomimetik-mimari kabuk ilişkisi açıklanırken de doğadaki canlıların deri/kabuk fonksiyonları özelinde bir değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda mimari kabukların yerine getirdikleri işlevlerle canlıların deri/kabuk işlevlerinin büyük ölçüde benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu fonksiyonel benzerlikler sayesinde canlıların deri/kabukları aracılığıyla su dengesi sağlayan adaptasyonlarının mimari kabuk tasarımlarına aktarıldığında canlıda gerçekleştirdiği işlevleri yapı kabuklarında da sağlayacağı, bunu yaparken de tasarıma aktarımlarda kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda öncelikle literatür araştırması yapılarak su dengesi stratejileriyle literatürde sıklıkla geçen canlıların özellikleri incelenmiştir. Daha sonra incelenen bu canlıların su dengesi stratejilerinden yapı kabuğu tasarımında ilham almış olan bina örneklerine yer verilmiştir. Böylece canlıların deri/kabuk fonksiyonları ve bina kabukları arasındaki işlevsel benzerlikler somut bir şekilde gözlemlenmiştir.

Alan çalışması kapsamında, su tüketimi sorununa optimum çözüm sağlayan biyolojik yöntem belirlenerek bina kabuğu tasarımına uyarlanabilecek, sürdürülebilir bir yapı kabuğu model önerisi geliştirmek amaçlanmaktadır. Bu amaçla, biyoloji disiplininin diğer disiplinlere veri aktarılmasında doğru ve gerekli bilgileri elde edebilmek için sistematik bir yöntem olan doğal dil yaklaşımı açıklanmıştır.

3.1. Doğal Dil İşleme Yöntemi

Dünya genelinde su tüketiminin önemli bir kısmı bina faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Mimarlar ve mühendisler binalardan kaynaklı bu çevre sorununu çözmek için ihtiyaç duyduğu suyu kazanabilen, koruyabilen ve yönetebilen bina tasarımları üretmek amacıyla çeşitli araştırmalar yapmaktadırlar. 2. Bölümde incelenen biyomimetik bina örneklerinden

de görüldüğü üzere yapılan araştırmalar bu konuda etkili, sürdürülebilir alternatif çözümlerin doğada bulunan stratejilerden elde edilebileceğini göstermektedir.

Bu stratejilerden biyomimetik, mimarlık/tasarım problemlerini çözmek için ilham kaynağı olarak biyolojik fenomenleri kullanmaktadır. Biyolojik fenomenlerin kullanılabilmesi için geniş biyolojik bilgilerin taranması ve uygun fenomenin seçilmesi gerekmektedir. Bu noktada, mimarların biyoloji bilgisi sınırlı olabilir ve bu durum biyolojiden ilham alınabilecek çözüm potansiyellerini azaltabilir. Belirli bir tasarım problemiyle ilgili biyolojik olayların sistematik bir şekilde araştırılması, daha çeşitli potansiyel analogilere ulaşılmasını sağlayacaktır. Kitaplar ve dergiler gibi halihazırda doğal dil formatında mevcut olan biyolojik kaynaklardan anahtar kelimeler aracılığıyla sistematik araştırmalar yapılabilir (Chiu ve Shu, 2007). Bununla birlikte mühendislerin biyolojiden bilgi aktarımı yapabilmek için biyoloji kaynaklarından derledikleri veri tabanları da bulunmaktadır. Örneğin, Chakrabarti ve diğerleri (2005) doğal ve yapay sistemlerin nedenselliğini temsil eden bir model; Bruck ve diğerleri (2007) doğa esinli ürünler ve kavramlardan oluşan bir tasarım arşivi; Wilson ve diğerleri (2009) tersine mühendislik ve ontolojinin kullanılmasını önermektedir; Goel ve diğerleri (2011) biyolojik ve teknolojik sistemlerin yapıları ve davranışları hakkında işlevsel olarak indekslenmiş bir bilgi tabanı oluşturmuştur. Nagel ve diğerleri (2010), biyolojik ve mühendislik çözümlerini birbirine bağlamak için işlevsel modelleme ve bir tasarım havuzu kullanmıştır (Shu ve Cheong, 2014: 33-34).

Fakat bu veri tabanlarının hızla gelişen ve değişen biyolojik bilgilerle birlikte sürekli olarak güncellenmesi gerekmektedir (Rebholz-Schuhmann, Kirsch ve Couto, 2005). Ayrıca derleyicilerin kendi bilgi ve önyargıları da veri tabanlarının içerdiği bilgiyi sınırlandırabilmektedir (Lindemann ve Gramann, 2004). Biyolojiyle disiplinler arası çalışmalar yürüten araştırmacılar bu tür veri tabanlarının zorluklarının farkındadır (Spasić, Nenadić ve Ananiadou, 2003). Bu sebeple biyolojik bilgi keşfi ve erişimi için alternatif olarak doğal dil işleme ve metin madenciliği gibi çözümler de araştırılmaktadır.

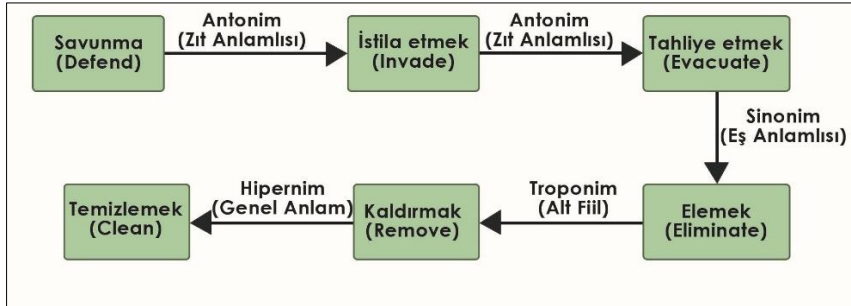
Doğal dil işleme yönteminde, biyoloji bilgi kaynaklarında işlevsel anahtar kelimelerin örnekleri aranmaktadır. Anahtar kelimeleri içeren eşleşmeler, mimarlık/tasarım problemine uygulanabilecek ilgili biyolojik fenomenler için incelenmektedir. Burada önemli olan, ilgili fenomene ulaşabilmek için ilk anahtar kelimenin doğru tanımlanmasıdır. İlk adım doğru bir şekilde yapılırsa ilgili fenomenin ayrıntılarına ulaşmak daha kolay olacaktır (Chiu ve Shu, 2007).

İlk anahtar kelimeler tasarım problemi üzerinde fonksiyonel bir ayrıştırma yapılarak elde edilmelidir (Stone ve Wood, 2000). İşlevler tipik olarak fiillerle temsil edilmektedir. Bunun yerine isimlerin kullanılması fiziksel bir çözümün zaten akılda olduğunu gösterebilir ve diğer olası çözümleri adil bir şekilde değerlendirmez. Bununla birlikte, sıfatlar çözümün istenen niteliklerini tanımlayabildiğinden, sıfatların kullanımı da potansiyele sahiptir. (Shu ve Cheong, 2014: 32). Sonuç olarak anahtar kelime seçiminde isimler yerine fiillerin tercih edilmesi, hem istenilen işleve yönelik daha zengin çözüm potansiyellerine ulaşılması hem de cümlelerin doğru yorumlanması açısından önemlidir (Joanis ve Stevenson, 2003). Örneğin, kandan toksinleri çıkardığı bilinen “böbrek (*kidney*)” ismiyle arama yapıldığında, yalnızca böbreklerle ilgili eşleşmelere ulaşılırken, “çıkarmak/kaldırmak (*remove*)” fiiliyle arama yapıldığında çıkarmak/kaldırmak işlevinin sağlayan tüm biyolojik fenomenlere ulaşılmaktadır (McAdams ve Wood, 2000).

İlgili biyolojik fenomenler bulunduktan sonra, tasarımcılar bilgiyi kaynak alandan hedef alana, yani biyolojiden mühendisliğe aktarmak için analogik akıl yürütme yöntemini kullanmaktadır. Alanlar arası analogilerin yararlı olabilmesi için, yalnızca özelliklerde değil, alan ilişkileri arasında da benzerlikler olması gerekmektedir. Örneğin, bir devredeki elektron akışı, insanlar elektronlara benzemese de bir metro tünelineki insanların akışına benzerdir (Gentner ve Holyoak, 1997).

Doğal dil işleme yöntemini uygularken diğer bir zorluk da her alanın kendi alt dili bulunması sonucu ortaya çıkmaktadır (Friedman, Kra ve Rzhetsky, 2002). Tasarım/Mimarlık problemiyle ilgili bir anahtar kelime biyolojik kaynaklarda çok az eşleşmeyle sonuçlanabilir ya da hiçbir eşleşme elde edilemez. Örneğin temizlik ile ilgili bir problem için “temizlemek (*clean*)” anahtar kelimesiyle biyolojik kaynaklarda arama yapıldığında yalnızca dört adet eşleşme elde edilebilmiştir. Daha çok sonuca ulaşabilmek amacıyla bir biyokimyacıdan temizlik problemi için kelime önermesi istenmiştir. Biyolojik olarak temizleme genelde savunma mekanizmasıyla ilgili olduğundan bu biyokimyacı temizlik problemi için “savunmak (*defend*)” kelimesini önermiştir ve bu kelime biyolojik kaynaklarda daha çok eşleşme ile sonuçlanmıştır (Chiu ve Shu, 2007). Çoğu tasarımcı/mimar için “savunmak”, sezgisel olarak temizlik ile ilgili değildir. Ayrıca eş anlamlılık(sinonim) veya zıt anlamlılık (*antonim*) gibi sözcüksel ilişkiler yönünden de “savunmak” ve “temizlemek” kelimeleri

doğrudan ilişkili değildir. Şekil 3.1’de temizlemek (*clean*) ve savunmak (*defend*) kelimeleri arasındaki anlamsal ilişkinin bir modeli gösterilmiştir.

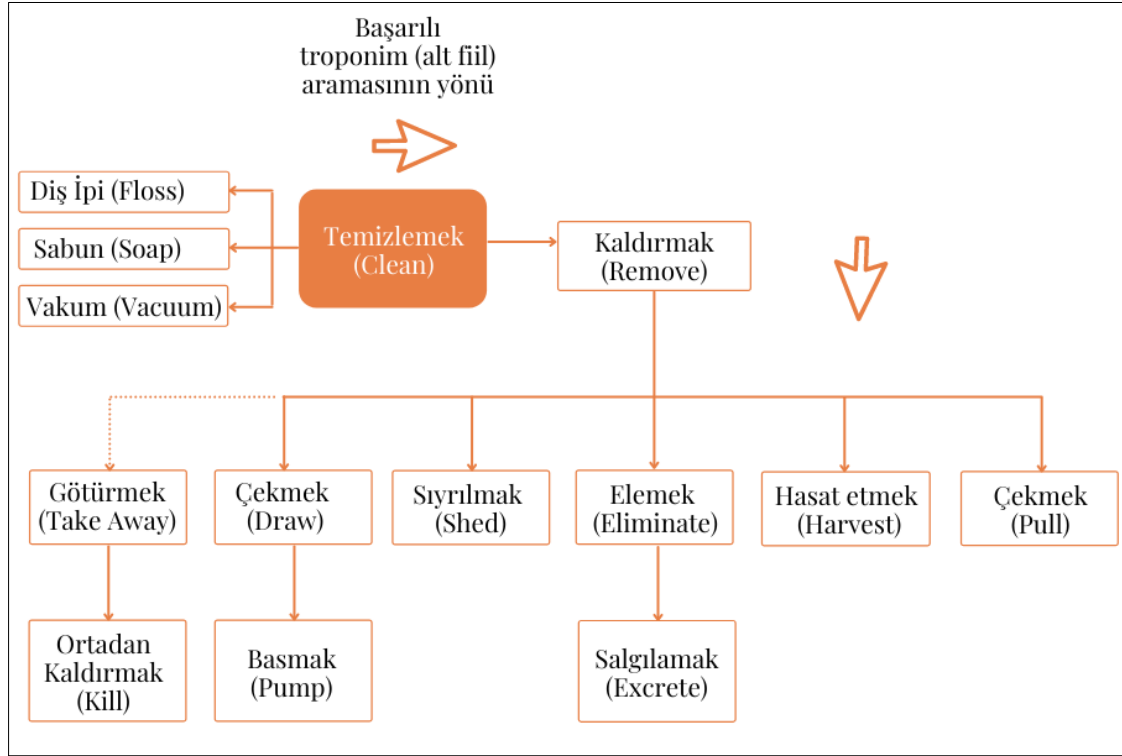


Şekil 3.1. Temizlemek ve savunma filleri arasındaki sözcüksel ilişki (Chiu ve Shu, 2007).

Özetle bir mühendis ya da mimarın kendi bakış açısı ve sınırlı biyolojik bilgisiyle belirlediği kelimeleri kullanarak yaptığı aramalar biyolojinin sunabileceği çözüm potansiyellerini azaltabilir.

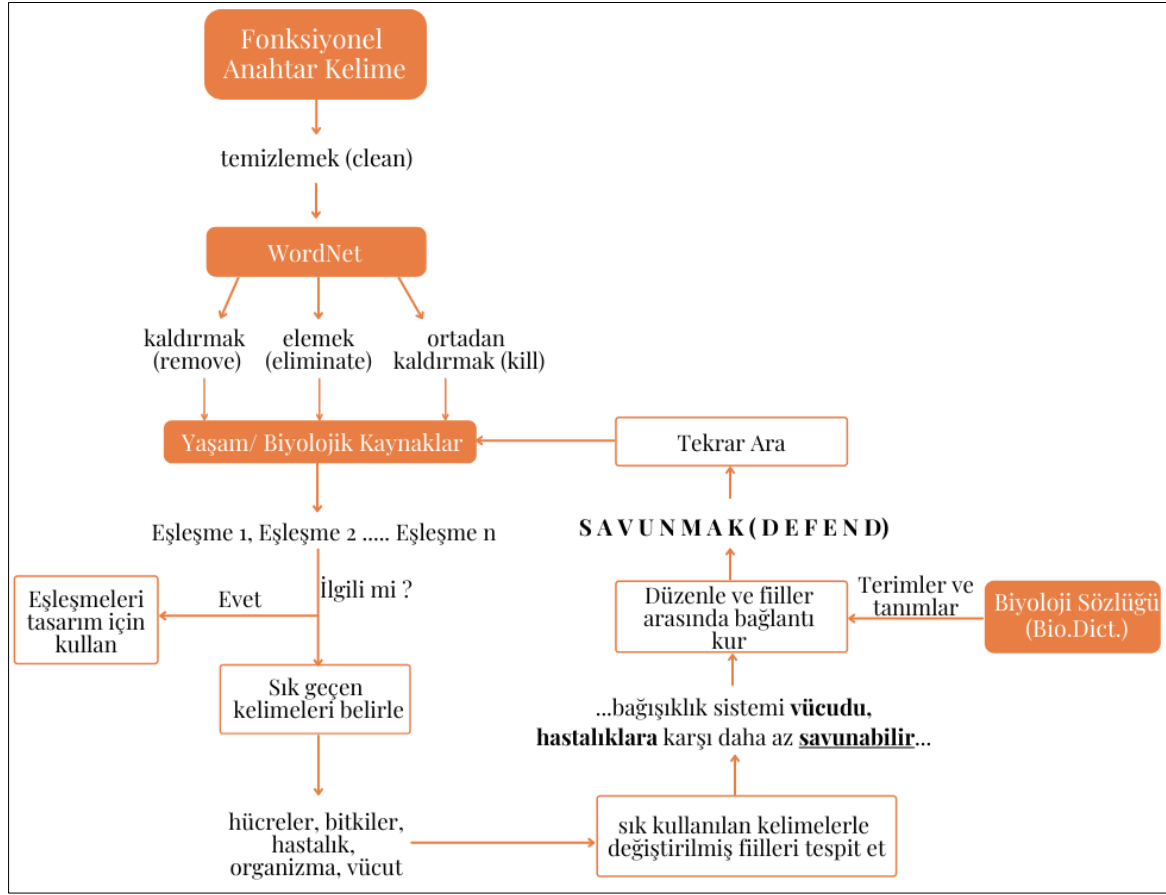
Bu nedenle probleme ait anahtar kelime tespit edildikten sonra, daha çok eşleşme sağlayabilmek için bu kelimenin hiponim (alt anlam), hipernim (genel anlam), troponim (yöntem/ konsept ilişkisi/ alt fiil), sinonim (eş anlamlı), antonimi (zıt anlamlı) versiyonları bulunarak anahtar kelimeler genişletilmelidir (Miller, Beckwith, Fellbaum, Gross, ve Miller, 1993). Anahtar kelimeler genişletilirken “WordNet”, “VerbNet” ya da “TDK” gibi veri tabanları yararlanılabilir. WordNet kendi sözlüğünü kategorize etmek için semantik bilgiyi kullanırken, VerbNet fiilleri kategorize etmek için hem semantik hem de sözdizimsel bilgiyi kullanmaktadır (Karin, Martha, ve Owen, 2002). Bu nedenle, VerbNet yalnızca belirli bir fiilin başka bir fiille benzer anlama sahip olup olmadığını değil, aynı zamanda her iki fiilin de İngilizce’de sözdizimsel bir hata olmadan birbirinin yerine kullanılıp kullanılamayacağını belirleyebilmektedir. Bu doğrultuda, VerbNet daha tutarlı anahtar kelime grupları oluşturmak için kullanılabilir (Shu ve Cheong, 2014).

Aşağıdaki örnek yani kir/leke temizleme sorunu üzerinedir. Önce temizle (*clean*) ve kaldır (*remove*) anahtar kelimelerinin troponimleri belirlendi. Kaldırmak için kullanılan 179 troponimden 38’i, derlemede bir veya daha fazla eşleşmeyle sonuçlandı. Şekil 3.2, biyoloji metninde 10’dan fazla eşleşme üreten troponimleri göstermektedir. Ayrıca, WordNet hiyerarşisini ve orijinal temiz anahtar sözcüğün başarılı anahtar sözcüklerle nasıl ilişkili olduğunu göstermektedir (Chiu ve Shu, 2007).



Şekil 3.2. Anahtar kelimenin WordNet’te hypernim ve troponimlerinin arama sonuçları.

Genişletilen anahtar kelimelerden; fiil hali ve isim halinin anlamları birbirinden önemli ölçüde farklı olanlar, soyut kavramları ifade edenler ve çok anlamlı olup asıl anahtar kelimedenden farklı bir anlamı olanlar elenmelidir. Sadece uygun anahtar kelimeler bırakılmalı ve biyolojik bilgi kaynağı olan web tabanlarında, kitaplarda, makalelerde ve benzerlerinde aratılmalıdır (Chiu ve Shu, 2007). Kaynaklarda yapılan aramalar sonucu anahtar kelimelerin geçtiği cümlelerde sıklıkla rastlanan biyolojik kelimeler belirlenir. Bu aşamada, biyolojik kaynakta “savunma (*defend*)” kelimesinin bulunduğu cümlelerde bu kelimeyle ilişkili olarak “vücut (*body*)” ve “hastalık (*disease*)” terimleri sıklıkla kullanılmıştır (Chiu ve Shu, 2007). Anahtar kelimeler olarak belirlenen fiillerle eşleşen “vücut (*body*)” ve “hastalık (*disease*)” gibi biyolojik kelimeler, biyoloji sözlüğünde (Oxford Biyoloji Sözlüğü ya da biologyonline.org gibi veri tabanlarında) aratılıp bunun sonucunda bulunan biyolojik eşleşmeler yeni anahtar kelimeleri oluşturur. Yeni biyolojik anahtar kelimelerle biyolojik kaynaklarda tekrar bir arama yapılır ve başta belirlenen mühendislik/mimarlık problemine uygun çözümler bu şekilde belirlenmiş olur.



Şekil 3.3. Köprüleme sürecini gösteren bir akış şeması.

Örnekten hareketle doğal dil işleme yönteminin adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1.Belirle: Fonksiyona/ İşleve yönelik anahtar kelimeleri belirleme
- 2.Genişlet: Anahtar kelimenin, WordNet TDK gibi veri tabanlarından yararlanılarak hiponim (alt anlam), hipernim (genel anlam), troponim (yöntem/ konsept ilişkisi/ alt fiil), sinonim (eş anlamlı), antonim (zıt anlamlı) versiyonlarının bulunarak genişletilmesi.
- 3.Araştır: Biyoloji metinlerinde ilgili eşleşmeleri belirleme, sık geçen kelimeleri belirleme, sık kullanılan kelimelerle değiştirilen fiilleri belirleme.
- 4.Organize et: Sonuçları düzenlemek ve fiiller arasında bağlantı kurmak.
- 5.Tekrarla: Biyoloji metinlerinde kurulan bağlantıları yineleme (Fu, Moreno, Yang ve Wood, 2014).

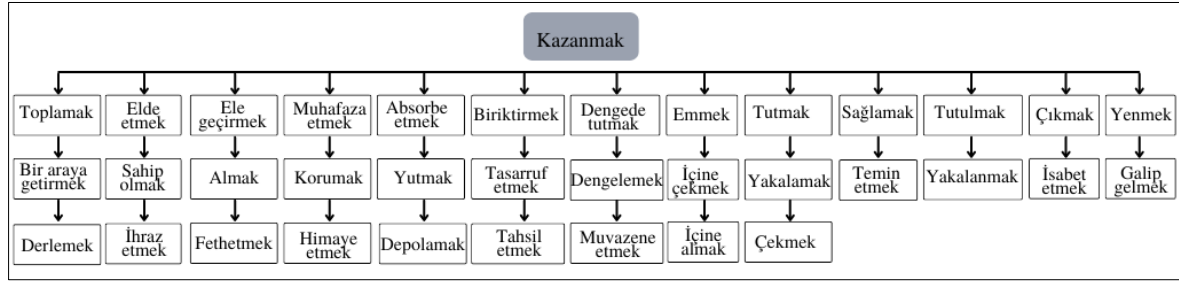
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde tez çalışması kapsamında belirlenen mimarlık problemiyle ilgili işlevsel anahtar kelime seçilerek doğal dil yaklaşımıyla genişletilecektir. Genişletilen anahtar kelimelerle biyolojik kaynaklarda su kazancı işlevine yönelik aramalar yapıp ilgili biyolojik fenomenler araştırılacaktır. Bulunan fenomenler incelenip su kazancını sağlayan özellikleri, prensipleri ve mekanizmaları bakımından analiz edilecek, bu mekanizmaların mimari yapı kabukları tasarımına aktarımları ile ilgili bir çerçeve çizilecektir. Bunun sonucunda bina kabuğu tasarımı için uygun fenomenlerin seçimi yapılacaktır. Seçilen fenomenlerin biyolojik stratejileri soyutlanarak kavramsal bir tasarım konsepti geliştirilecektir.

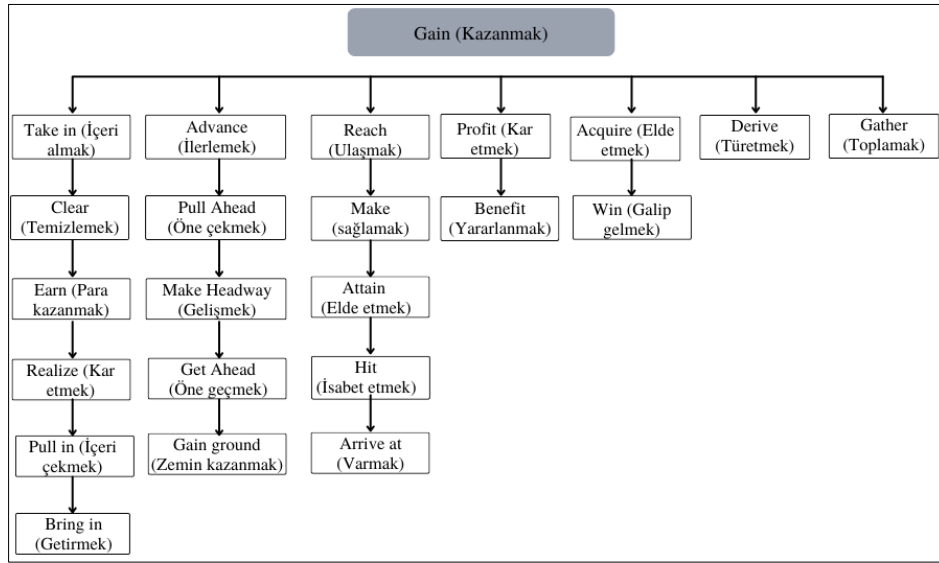
4.1. Problemin Doğal Dil İşleme Yöntemiyle Araştırılması

Bu çalışmanın konusu kapsamında doğal dil işleme yöntemi kullanılacaktır. Bu durumda öncelikle yönteme ait özetlenen adımlardan ilk adıma göre fonksiyon/ işleve yönelik anahtar kelime belirlenecektir. Günümüzde iklim verileri ve hava koşulları nasıl olursa olsun binalarda ihtiyaç duyulan su kaynağı sağlanırken belli stratejilerle suyun tasarruflu kullanılması önemlidir. Tez çalışması kapsamında binalardan kaynaklanan su tüketimine yapı kabukları aracılığıyla bir çözüm sağlanması amaçlanmaktadır. Binalardan kaynaklanan su tüketiminin azaltılması için bina kendi suyunu kazanabilir. Bu doğrultuda işleve yönelik ilk anahtar kelime “kazanmak” fiilidir.

Doğal dil işleme yönteminin 2. Aşamasında ise bu anahtar kelimelerin WordNet TDK gibi veri tabanlarından yararlanılarak hiponim (alt anlam), hipernim (genel anlam), troponim (yöntem/ konsept ilişkisi/ alt fiil), sinonim (eş anlamlı), antonim (zıt anlamlı) versiyonlarının bulunarak genişletilmesi gerekmektedir. Öncelikle “kazanmak fiilinin eş anlamlıları TDK (<http://www.tdk.gov.tr/>) sözlüğünde taranmıştır. Bu doğrultuda çıkan eşleşmeler aşağıda Şekil 4’te gösterilmiştir. Daha sonra *gain* (kazanmak) fiili WordNet veri tabanında araştırılarak genişletilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kazanmak fiilinin eş anlamlıları (TDK).



Şekil 4.2. Gain (Kazanmak) fiilinin eş anlamlıları (WordNet).

Tablolara göre “kazanmak” fiili TDK’da taranarak genişletilmiş ve bunun sonucunda 36 farklı fiile ulaşılmıştır. WordNet’te ise “kazanmak” fiilinin İngilizce eş anlamlısı “Gain” fiili genişletildiğinde 22 farklı fiile ulaşılmıştır. Ulaşılan yeni anahtar kelimelerden problemle ilgili olanların tespit edilmesi için biyolojik kaynaklarda eşleşmelerinin aranması gerekmektedir.

4.2. Biyolojik Eşleşmelerin Tespit Edilmesi

Bu çalışmada anahtar kelimelerle arama yapmak için seçilen biyolojik bilgi kaynağı benzer çalışmalarda da tercih edilmiş olan “Yaşam, Biyoloji Bilimi” dir (Sadava, Hillis, Heller ve Berenbaum, 2014). Bu kaynağın seçiminde çok az biyolojik bilgiye sahip olan kişiler tarafından da kolayca anlaşılabilir düzeyde olması ve DNA’dan ekosisteme kadar tüm biyolojik organizasyon seviyelerini kapsayan geniş içeriği etkili olmuştur. Bu geniş içerik

sayesinde potansiyel çözümlerin belli bir organizasyon seviyesinde sınırlı kalması sorunu ortadan kaldırılmıştır.

Kazanmak anahtar kelimesi genişletildiği zaman ortaya çıkan anahtar kelimeler öncelikle seçilen “Yaşam, Biyoloji Bilimi” (Sadava ve diğerleri, 2014) kaynağında araştırılmış ve konuyla ilgili eşleşmelere sahip olanlar Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi bazı anahtar kelimenin biyolojik kaynakta bir karşılığı bulunmazken bazı terimlerin de biyolojik olarak anlamlı karşılıkları olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Biyolojik kaynakta taranan anahtar kelimelerden eşleşme olanların belirlenmesi.

Anahtar Kelime	Numara	Eş Anlamlı Kelimeler	Biyolojik Kaynaktaki Eşleşmeler
Kazanmak	1	Kazanmak	<i>Eşleşme var</i>
	2	Toplamak	<i>Eşleşme var</i>
	3	Elde etmek	<i>Eşleşme var</i>
	4	Ele geçirmek	<i>Eşleşme yok</i>
	5	Muhafaza etmek	<i>Eşleşme yok</i>
	6	Absorbe etmek	<i>Eşleşme var</i>
	7	Korumak	<i>Eşleşme var</i>
	8	Biriktirmek	<i>Eşleşme var</i>
	9	Dengede tutmak	<i>Eşleşme var</i>
	10	Emmek	<i>Eşleşme var</i>
	11	Tutmak	<i>Eşleşme var</i>
	12	Sağlamak	<i>Eşleşme var</i>
	13	Tutulmak	<i>Eşleşme yok</i>
	14	Çıkmak	<i>Eşleşme yok</i>
	15	Bir araya getirmek	<i>Eşleşme yok</i>
	16	Derlemek	<i>Eşleşme yok</i>
	17	Sahip olmak	<i>Eşleşme yok</i>
	18	İhraz etmek	<i>Eşleşme yok</i>
	19	Almak	<i>Eşleşme var</i>
	20	Fethetmek	<i>Eşleşme yok</i>
	21	Himaye etmek	<i>Eşleşme yok</i>
	22	Yutmak	<i>Eşleşme yok</i>
	23	Tasarruf etmek	<i>Eşleşme yok</i>
	24	Dengelemek	<i>Eşleşme yok</i>
	25	İçine çekmek	<i>Eşleşme yok</i>
	26	Yakalamak	<i>Eşleşme var</i>
	27	Temin etmek	<i>Eşleşme yok</i>
	28	Yakalanmak	<i>Eşleşme yok</i>
	29	İsabet etmek	<i>Eşleşme yok</i>
	30	Depolamak	<i>Eşleşme var</i>
	31	Tahsil etmek	<i>Eşleşme yok</i>
	32	Muvazene etmek	<i>Eşleşme yok</i>
	33	İçine almak	<i>Eşleşme yok</i>
	34	Çekmek	<i>Eşleşme var</i>
	35	Yenmek	<i>Eşleşme yok</i>
	36	Galip gelmek	<i>Eşleşme yok</i>
	37	Geçmek	<i>Eşleşme var</i>

Bu tabloda bir önceki adımda genişletilerek ulaşılan 36 kelimeye kazanmak fili de eklenerek toplam 37 anahtar kelime biyolojik kaynakta taranmış olup bunlardan yalnızca 15 tanesi konuyla ilgili eşleşmeler sağlamıştır. Bu adımda ulaşılan 15 kelimenin biyolojik kaynakta

taranması sonucu her birinin geçtiği cümleler bulunarak bu cümleler ve içeriğindeki biyolojik eşleşmeler aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. “Yaşam, Biyoloji Bilimi” kaynağında anahtar kelimelerle yapılan aramalar sonucu ulaşılan eşleşmeler.

Anahtar kelimeler	Eşleşmeler	Sözlük karşılığı olarak ortaya çıkan terimlerin tanımları
Kazanmak	- Geri emilim - Boşaltım sistemi	Hayvanlar, bazı maddeleri kazanmak(geri emerek) ve diğerlerini vücuttan atmak (salgılayarak) suretiyle uygun bir çözünen kompozisyonu korumalıdır. Çoğu hayvan bu ihtiyacı karşılamak için boşaltım sistemine sahiptir. (S-1092)
	Kıkırdaklı balıklar	Kıkırdaklı balıkların (köpekbalıkları ve vatozlar), vücut sıvıları, deniz suyununkine yakın ozmolariteye sahiptir; böylece onlar, osmozla çevreye vücutlarından su kaybetmezler ve aslında çevreden su kazanabilirler. (S-1098)
	- Amfibi - Akuaporin	Pekçok amfibi, sulu ortamda olmadığı zaman, nemli topraktan su kazanabilir; çünkü onlar karın kısmını kaplayan derilerinin epitel hücrelerinde akuaporinlere sahiptir. (S-1103)
Toplamak	- Yaprak bitleri - Floem özsuğu - Su toplamak	“Bitki fizyologları yaprak bitlerini floem özsuğunu toplamak için kullanmışlardır.” (S- 751)
	- Lenf sistemi - Ağ	İnsan lenf sistemi; Kanallar ve damarlardan oluşan bir ağ, lenfi dokulardan toplar ve kalbe doğru taşır.(S- 875)
	- Kılcal damar - Venül - Renal ven	“renal ven, peritübüler kılcal damarlardan kam alan birçok venülden kan toplar.” (S-1100)
Elde etmek	Bitki kökü	“Büyümenin farklılaşması. Bitkiler... su ve mineralleri elde etmek için daha fazla kökler.” (S- 772)
Absorbe etmek	Kortikal granül	“Kortikal granüllerden salınan maddeler su absorbler ve şişer.” (S-904)
	Sporofit	“Sonuçta gelişen sporofit arkegoniyumdan dışarı çıkmak için yeterince uzar. Ancak bir " ayak " ile gametofite bağlantısını sürdürür. Ayak, anaya ait dokunun içinde bulunur ve ondan su ve mineralleri absorbe eder. (S-594)
	Rizoid	“Rizomlar, rizoid olarak isimlendirilen ve su absorbe eden tek hücreli iplikçikler taşıyordu.” (S-596)
	- Bitki kökü - Rizom - Kök sistemi - Saçak kök - Kök - Kök kılı	“Köklerin evrimsel kökenlerinin, bir rizom ya da bir gövdenin toprak üstü kısmı olsun, bir dal olması mümkündür. O daha toprağa girdiği ve daha sonra giderek daha fazla dallandığı varsayılmaktadır. Toprak altı kısmı bitkinin toprağa sıkıca tutunmasını sağlamış ve bu ilkel koşulda bile su ve mineralleri absorblayabilmiştir.” (S-596) “Pekçok saçak kök sistemi, su ve mineralleri absorblamak için geniş bir yüzey alanına sahiptir.” (S-722) “Kök kılı; kök epidermis hücresinden dışarıya doğru uzanan ince uzun uzantılar, topraktaki çözeltiden suyu ve mineralleri absorblar.” (S-S-16)(S-1286)
	Fungus	“Çok sayıda fungus saprofitik (çürükçül) olup, ölü organik maddeden besin maddelerini absorblar.” (S-627)
	- Hif - Su küfleri - Heterotrof	“Fungusun yanından geçen organizmalar onlara sıkıca yapışırlar. Daha sonra hif hızla avını kuşatır, avın içinde büyür ve dallanır, bütün vücuduna yayılır, besin maddelerini absorblar ve sonuçta onu öldürür.” (S-633) “Su küfleri ve akrabaları; besinleri absorblamak suretiyle alan bu absorptiv heterotroflar ipliksi hiflere sahiptir.”
	Larva	“Ergin solucanların bazı türleri, sadece larva döneminde beslenebilir; ve larvalar konağın besinlerini kendi vücut duvarlarından absorblamak suretiyle alırlar.” (S-681)

Çizelge 4.2. (devamı) “Yaşam, Biyoloji Bilimi” kaynağında anahtar kelimelerle yapılan aramalar sonucu ulaşılan eşleşmeler.

Anahtar kelimeler	Eşleşmeler	Sözlük karşılığı olarak ortaya çıkan terimlerin tanımları
Korumak	- Amfibiler - Estivasyon	“Bazı amfibiler, suyun korunmasını gerektiren habitatlarda yaşamaya uyum sağlamışlardır.(S- 1174) “Bazı kurbağa türleri, estivasyona girerler; estivasyon, metabolik aktivitenin çok düşük olması durumudur ve böylece su kaybı çok düşüktür.” (S- 1174)
	- Kütikula - Stoma	“Yapraklar ve gövdelerdeki epidermis mumsu bir kütikula salgılayarak transpirasyonla su kaybını en aza indirir. Mumsu kütikula suya geçirimsizdir.” (S-748) “Karanlığın fotosentezi durdurduğu geceleri ise stomalar kapalıdır; bu sırada CO₂ gerekmez ve su korunur.” (S-748) “Sıcak bir günde, C₄ bitkileri suyu korumak için stomalarını kısmen kapatırlar, ancak bu bitkilerde fotosentez hızı düşmediği gibi fotorespirasyon da oluşmaz” (S-203)
	- Vampir Yarasa - Boşaltım sistemi - Hayvanlar - Geri emilim - Salgılama	“Vampir yarasa, proteinleri sindirir ve metabolize eder ve vücudundaki suyu korurken bol miktarda azotlu atık atmalıdır. (S-1092) “Hayvanlar, hücre dışı sıvılarının hacmini, konsantrasyonunu ve bileşimini korumak ve atıkları atmak için boşaltım sistemlerine güvenirlir” (S-1092) “Hayvanlar, bazı maddeleri kazanmak(geri emerek) ve diğerlerini vücuttan atmak (salgılayarak) suretiyle uygun bir çözünen kompozisyonu korumalıdır.” (S-1092)
	Stres cevap proteinleri	“Stres cevap proteinleri, bitkinin sadece su korumasına yardım etmez aynı zamanda topraktaki aşırı tuza ve donmaya karşı da bitkiyi korur.
	Yaprak döken bitkiler	“Afrika ve Güney Amerika'daki yaprak döken bitkiler, suyu korumak için bir kuraklık yanıtı olarak yapraklarını dökerler.” (S-824)
	CAM fotosentezi yapan bitkiler	“CAM fotosentezi yapan bitkilerde, suyu korumak için fotosentezin ışık gerektiren reaksiyonları ile ve karbondioksitin özümlemesi reaksiyonları birbirinden ayrı gerçekleştirilir.” (S-824)
	Çöl hayvanları	“Hayvanların hepsi, besinlerin metabolizmasından su elde ederler; fakat çöl hayvanları, bu miktarda suyla yaşam sürdürmek için, suyu olağanüstü derecede korumalıdır.” (S-1091)
	Kemikli balıklar	“Denizlerde yaşayan kemikli balıkların yegane su kaynağı içinde bulundukları denizdir; onun için suyu korumak ve fazla tuzu atmak zorundadırlar.” (S-1098)
	- Memeliler - Küçük çöl sıçanı	“Memeliler suyu korumak için çeşitli adaptasyonlara sahiptir.” “Küçük çöl sıçanı... suyu korumada öylesine verimlidirler ki sadece yiyeceklerinin metabolizmasından salınan suyu kullanarak yaşayabilirler.” (S-1104)
	- Nefronlar - Memeli böbreği	“Nefronların anatomik organizasyonu, memeli böbreğinin kandan daha yoğun olan idrar üretme yeteneği verir, dolayısıyla suyu korumak suretiyle hücre dışı sıvı hacminin korunmasını sağlar.” (S-1107)
	Çöl bitkileri	“Çöl bitkileri yapısal olarak ışığı yansıtma ve suyu koruma özelliğindedir. (S-1151)
	Çöl memelileri	“Çöl memelileri, suyu korumak için sayıca indirgenmiş ter bezi ve yüksek konsant rasyonlu idrar üreten böbrekleri içeren fizyolojik adaptasyon lara sahiptir.” (S-1151)

Çizelge 4.2. (devamı) “Yaşam, Biyoloji Bilimi” kaynağında anahtar kelimelerle yapılan aramalar sonucu ulaşılan eşleşmeler.

Anahtar kelimeler	Eşleşmeler	Sözlük karşılığı olarak ortaya çıkan terimlerin tanımları
Korumak	Sporopolenin	“Sporopolenin, poleni su kaybına ve kimyasal zararlara karşı korur.” (S-609)
	Absisik asit	“Absisik asit stomaların kapanmasını sağlayarak yapraklarda suyu korur.” (S-826)
	- Kemikli balıklar - Kıkırdaklı balıklar - Ozmolarite - Amfibiler - Sürüngenler - Memeliler - Böbrek - Nefron	“Denizlerde ve karalarda yaşayan hayvanlar, suyu çeşitli şekillerde korurlar. Deniz kemikli balıkları az idrar çıkarır. Kıkırdaklı balıklar, vücut sıvılarının ozmolaritesi deniz suyununkine yakın olsun diye vücutlarında üre biriktirirler. Amfibiler, sulara yakın kalmayı sürdürürler. Sürüngenler, suyu geçirimsiz olan deriye sahiptirler, kabuklu yumurta koyarlar ve azotlu atık olarak ürik asit atarlar. - Memeliler, hücre dışı sıvılarından daha konsantre olan idrar üretirler. - Omurgalı böbreğinin işlevsel birimi olan nefron, kanın süzülmesi glomerulusu, süzünü üreyle atılacak olan idrara dönüştüren böbrek tübülünü, tübülün etrafında yer alan ve hem salgılama hem de geri emilimde işlev gören peritübüler kılcal damarları içerir.” (S-1110)
	Spor çeperleri	“Sporları su kaybı ve parçalanmaya karşı koruyan bir polimer (sporopollenin) içeren kalın spor çeperleri” (S-591)
	Amniyot yumurta kabuğu	“Amniyot yumurtanın derimsi ya da kalsiyum karbonat içeren kırılabilir kabuğu, içerideki sıvının buharlaşmasını engeller; fakat oksijen ve karbondioksitin geçişine izin verir... Suyu koruyan kabuğa, dört tane embriyo dışı zara ve embriyoyu besleyen yumurta sarısına sahip olan amniyot yumurtanın ortaya çıkması, karasal ortamlara yerleşip kolonize olmada çok büyük bir adımdır.” (S-706)
	Ürikotelik hayvanlar	“Azotlu atık olarak büyük ölçüde ürik asit atmak suretiyle suyu koruyan hayvanlar, ürikoteliklerdir. Böcekler, sürüngenler, kuşlar ve bazı amfibiler, ürikoteliklerdir. Ürik asit, suda çok çözünür değildir; onun için ürik asit, idrar içerisinde koloidal süspansiyon oluşturur ve yarı katı halde dışarıya atılır. Bir ürikotelik hayvan, azotlu atıklarını dışarıya atarken çok az su kaybeder.” (S-1095)
Biriktirmek	- Fotosentez - Biriktirmek	“Kök sistemi bitkiyi yere bağlar, su ve mineralleri absorblar ve sürgün sisteminden gelen fotosentez ürünlerini biriktirir.” (S-720)
	İbrikotu bitkisi	“İbrikotu bitkisinin yaprakları su biriktiren kap biçimini alır.” (S-6)
	- Bitki hücresi - Koful	“Bir bitki hücresi başlıca su alımını sonucunda genişler. Su sitoplazmaya girer ve merkezi kofulda birikir.” (S-783)
	Lenf	“Lenf, kandan ve diğer dokulardan köken alan bir sıvıdır ve vücutta hücreler arası boşlukta birikir.” (S-875)
Çekmek	- Hidrofilik - Hidrofobik	“hidrofilik (Yunancada hydro: su + philia: sevmek) Su için bir ilgiye sahip olma. (Hidrofobik olmanın zıttı.” (S- S-11)
	- Lofofor - Siller	“Lofofor üzerindeki sillerin çırpılması suyu, hafif açılmış olan kabuk içerisine çeker.” (S-674)
Geçmek	Kütikula	“İnce kutikula, gaz alışverişine, minerallere ve vücut yüzeyinden su geçişine izin verir; fakat hayvanı, nemli habitatlara sınırlar.” (S-669)
	- Plazma zarı - Akuaporinler	“Plazma zarlarında akuaporinlerin bulunması, onların su geçirgenliğini belirler. Akuaporinler, toplama kanalında bir önemli ve özgün rol oynar.” (S-1109)
Sağlamak	Fungus	“Bu birliklerde, fungus, fotosentez yapan ortağından organik bileşikler elde ederken, ona mineral ve su sağlar.” (S-633)

Çizelge 4.2. (devamı) “Yaşam, Biyoloji Bilimi” kaynağında anahtar kelimelerle yapılan aramalar sonucu ulaşılan eşleşmeler.

Anahtar kelimeler	Eşleşmeler	Sözlük karşılığı olarak ortaya çıkan terimlerin tanımları
Dengede Tutmak	- Prolaktin - Ozmöregülasyon	“Prolaktin, tüm omurgalı gruplarında bulunur ve uzun bir evrimsel geçmişe sahiptir. Onun ilkin omurgalılarıdaki olası işlevi, vücudun tuz ve su dengesini (ozmöregülasyon) düzenlemektir.” (S-854)
	Aldosteron	“Aldosteron: tuz ve su dengesinde gereklidir.” (S-858)
	- Boşaltım sistemi - Ozmolarite	“Hayvanlar, hücre su dengesini sağlamayı başarmak için, hücre dışı sıvılarının ozmolaritesini uygun sınırlar içerisinde tutmak zorundadırlar... Çoğu hayvan, bu ihtiyaçları karşılamak için boşaltım sistemlerine sahiptir.” (S-1092)
	Homeostasi	“Hücre dışı sıvıların homeostasisi önemlidir; çünkü bu sıvıların içerisindeki çözünmüş maddelerin konsantrasyonu, bu hücrelerin gömülü olduğu sıvıların su dengesini belirler.” (S-1092)
	- Akuaporinler - Deri - Epitel Hücreler - Osmoz	“Bir ilginç evrimsel not olarak akuaporinler, aynı zamanda, amfibilerde su dengesinin korunmasında önemlidir. Pekçok amfibi, sulu ortamda olmadığı zaman, nemli topraktan su kazanabilir; çünkü onlar karın kısmını kaplayan derilerinin epitel hücrelerinde akuaporinlere sahiptir. Böylece, su, onların derisinden osmozla interstitial sıvı içerisine geçebilir.” (S-1103)
	Hipotalamus	“Talamusun aşağısına uzanan beyin kısmı; hipotalamus, su dengesini, üremeyi, sıcaklık düzenlemesini ve metabolizmayı koordine eder.” (S- S-12)
	- Stoma - Enzim	“...Enzim aktifleşmesi; su dengesi; iyon dengesi; stoma açılması...” (S-757)
	Renal tubül	“Tubuler reabsorpsiyon (geri emilim). Glomeruluslardan gelen süzüntü renal tubül içerisine akar. Renal tubüldeki hücreler, belirli iyonları, besin maddelerini ve suyu geriye emerek kana verir.” (S-1098)
Emmek	- Kazık kök - Kök sistemi	“Çöl bitkileri yapısal olarak ışığı yansıtma ve suyu koruma özelliğindedir. Bu özellikler, toprağın çok altına ulaşan kazık kökler, nadir yağmurlardan sonra suyu hızlı bir şekilde emen sığ fakat yayılmış bir kök sistemi ve stomalarını sadece gece açan küçük, mumla kaplanmış yapraklardan oluşur.” (S-1151)
	Kalın bağırsak	“Su ve iyonlar kalın bağırsakta emilir.” (S-1083)
	Glomerulus	“Glomerulus tarafından süzülen suyun ve çözünmüş maddelerin çoğu geri emilir ve idrarda ortaya çıkmaz.” (S-1101)
	- Rektum - Böcekler	“İyonlar ve su, rektumdan geri emilir, onun için böcekler, boşaltım ürünlerini yarı katı atık şeklinde atarlar.” (S-1110)
	Proksimal kıvrıntılı tubül	“Tuzlar ve su, proksimal kıvrıntılı tubülden geri emilir.” (S-1110)
	- Fungus - Hif - Ağ	“Fungusun hifinin oluşturduğu ağ, fotosentez yapan hücrelerin gereksinim duyduğu bazı besin maddelerini alır ve suyu tutarak bu hücreler için sulu bir ortam sağlar.” (S-634) “Köke tutunan hif, su ve mineraller için absorpsiyon için yüzey alanını artırır.” (S-634)
Tutmak	- Çöl bitkileri - Bitki gövdesi	“Çölde yaşayan pekçok bitki, genişlemiş su tutan gövdelere sahiptir.” (S-722)
	Kök sistemi	“Çalışmak için seçilen varyantlardan birini, kök sisteminin yoğun oluşu nedeniyle (su tutma kapasitesinin yüksek olduğunun bir göstergesi) topraktan çekip çıkarmak özellikle zor olmuştur.” (S-740)
	Humus	“Humus, aynı zamanda, köklerin absorbe etmesi için su ve oksijeni tutarak, bitkinin büyümesini kolaylaştırır.” (S-761)
	- Stoma mahzenleri - Tüyler	“Stoma mahzenleri: Bazı kurakçıkların yapraklarındaki stomalar, stoma mahzenleri (çukurlukları) adı verilen açıklıklarda bulunur. Bu mahzenleri örten tüyler nemli havayı tutarlar.” (S-824)

Çizelge 4.2. (devamı) “Yaşam, Biyoloji Bilimi” kaynağında anahtar kelimelerle yapılan aramalar sonucu ulaşılan eşleşmeler.

Anahtar kelimeler	Eşleşmeler	Sözlük karşılığı olarak ortaya çıkan terimlerin tanımları
Almak	- Hücre duvarı - Bitki - Mantar - Protist - Ozmotik	“Hücre duvarı olan bitkilerde, mantarlarda ve protistlerde ozmotik yolla su alınması suretiyle yaratılır.” (S-11)
	- Osmoz - Farklı geçirgen zar	“Osmozda, bir sistemin (bir hücre veya çözelti) farklı geçirgen zardan içeriye su alma eğilimi. Su, daha negatif su potansiyele sahip olan siteme doğru akar. (Çözünen potansiyeli ve basınç potansiyelinin zıttı.)” (S-27)
	- Fumarat - Malat	“Reaksiyonda moleküler yeniden düzenlenirler ve bunun sonucunda fumarat su alarak malatı oluşturur.” (S-177)
	Bdeloid rotiferleri	“bdeloid rotiferlerin, kuruma ve tekrar su alma döngüleri süresinde çevrelerinden gen parçacıklarını toplamak suretiyle bu problemten sakınabildiklerine işaret etmektedir.” (S.673)
	Koful	“Çözünmüş maddelerin bu şekilde aktif olarak biriktirilmesi kofula su alınması için ozmotik bir potansiyel sağlar.” (S.723)
	- Bekçi hücreleri - Stoma	“K ⁺ ve c1- konsantrasyonlarının artması bekçi hücrelerin su potansiyellerini daha negatif hale getirir. Böylece su alırlar. Suyun alımı basıncı artırır ve esnetir. Bunun sonucunda stoma açılır.” (S.748)
	- Ksilem - Kök	“Ksilem köklerden alınan su ve mineralleri gövde ve yapraklardakibütün hücrelere ulaştırır.” (S-728)
Yakalamak	İletim demetsiz kara bitkileri	“İletim demetsiz kara bitkilerinde, iletim demetli bitkilere özgü yapraklar, gövdeler ve kökler bulunmamaktadır. Onların büyüme tarzı, kılcallık sayesinde suyun bitkilerin oluşturduğu hasırların içinden taşınmasına izin verir. Bu bitkiler onlara sıçrayan herhangi bir suyu kolayca yakalayan ve tutan yapraklı yapılara sahiptirler.” (S-592)
Depolamak	- Crassulaceae bitkileri - Sukkulentler - Kaktüs - Ananas	“Crassulaceae üyelerinin su depolayan bazı bitkileri (sukkulentler olarak isimlendirilir), pekçok kaktüs, ananaslar ve diğer bazı çiçekli bitkiler bu bitkilerdendir.” (S-205)
	Fıçı kaktüsü	“Fıçı kaktüsünün gövdesi su depolamak için genişlemiştir.” (S-722)
	Floem	“Floem ise hücrel bir gelişmişliğin bir sonucu olarak taşıma, destek ve depolama dahil bir dizi işlev gerçekleştirebilir.” (S-728)
	- Çöl bitkileri - Yapraklar	“Çöl bitkileri yapısal olarak ışığı yansıtma ve suyu koruma özelliğindedir. Bu özellikler, toprağın çok altına ulaşan kazık kökler, nadir yağmurlardan sonra suyu hızlı bir şekilde emen sığ fakat yayılmış bir kök sistemi ve stomalarını sadece gece açan küçük, mumla kaplanmış yapraklardan oluşur.” (S- 1151)
	Aloe bitkisi	“Aloe bitkisi yapraklarında suyu depolar.” (S- 824)
	- Kserofit - Kütikula	“Kurak ortamlara uyum sağlamış bitkiler kserofit olarak adlandırılır. Yaprak epidermisinin üzerinde su kaybını azaltan kalın bir kütikula ve bol bulunan tüyler.” (S- 824)

Çizelge 4.2’de genişletilen ve konuyla ilgili olan fiil formatındaki işlevsel anahtar kelimelerin her biri için ulaşılan biyolojik eşleşmeler ayrı ayrı incelenmiş olup bu eşleşmelerin özeti aşağıda Çizelge 4.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. “Yaşam, Biyoloji Bilimi” kaynağında anahtar kelimelerle yapılan aramalar sonucu işlevsel anahtar kelimelerin eşleştiği biyolojik terimler.

Anahtar Kelime	Numara	Eş Anlamalı Kelimeler	Sözlük karşılığı olarak ortaya çıkan terimler
Kazanmak	1	Kazanmak	Geri emilim
			Boşaltım sistemi
			Kıkırdaklı balıklar
			Amfibi
			Akuaporin
	2	Toplamak	Yaprak bitleri
			Floem özsuğu
			Su toplamak
			Lenf sistemi
			Ağ
			Kılcal damar
			Venül
			Renal ven
	3	Elde etmek	Bitki kökü
	4	Absorbe etmek	Kortikal granül
			Sporofit
			Rizoid
			Bitki kökü
			Rizom
			Kök sistemi
			Saçak kök
			Kök
			Kök kılı
			Fungus
			Hif
			Su küfleri
			Heterotrof
			Larva
	5	Korumak	Amfibiler
			Estivasyon
			Kütikula
			Stoma
			Yarasa
			Boşaltım sistemi
			Böbrek
			Nefronlar
			Geri emilim
			Salgılama
			Stres cevap proteinleri
			Yaprak döken bitkiler
			CAM fotosentezi yapan bitkiler
			Çöl hayvanları
			Küçük çöl sıçanı
			Çöl bitkileri
			Sporopolenin
			Absisik asit
			Kemikli balıklar
			Kıkırdaklı balıklar
			Ozmolarite
			Sürüngeçler
			Memeliler
			Spor çeperleri
			Amniyot yumurta kabuğu
			Ürikotelik hayvanlar

Çizelge 4.3. (devamı) “Yaşam, Biyoloji Bilimi” kaynağında anahtar kelimelerle yapılan aramalar sonucu işlevsel anahtar kelimelerin eşleştiği biyolojik terimler.

Anahtar Kelime	Numara	Eş Anlamli Kelimeler	Sözlük karşılığı olarak ortaya çıkan terimler
Kazanmak	6	Biriktirmek	Fotosentez
			Biriktirmek
			İbrikotu bitkisi
			Bitki hücresi
			Koful
			Lenf
	7	Dengede tutmak	Prolaktin
			Ozmöregülasyon
			Aldosteron
			Boşaltım sistemi
			Ozmolarite
			Osmoz
			Homeostasi
			Akuaporinler
			Deri
			Epitel Hücreler
			Hipotalamus
			Stoma
	8	Emmek	Enzim
			Renal tubül
			Kazık kök
			Kök sistemi
			Kalın bağırsak
			Glomerulus
			Rektum
			Böcekler
	9	Tutmak	Proksimal kıvrıntılı tubül
			Fungus
			Hif
			Ağ
			Çöl bitkileri
			Bitki gövdesi
			Kök sistemi
			Humus
			Stoma mahzenleri
			Tüyler
	10	Sağlamak	Fungus
	11	Almak	Hücre duvarı
			Bitki
			Mantar
			Protist
			Ozmotik
			Osmoz
			Farklı geçirgen zar
			Fumarat
			Malat
			Bdelloid rotiferleri
			Koful
			Bekçi hücreleri
			Stoma
			Ksilem
			Kök

Çizelge 4.3. (devamı) “Yaşam, Biyoloji Bilimi” kaynağında anahtar kelimelerle yapılan aramalar sonucu işlevsel anahtar kelimelerin eşleştiği biyolojik terimler.

Anahtar Kelime	Numara	Eş Anlamli Kelimeler	Sözlük karşılığı olarak ortaya çıkan terimler
Kazanmak	12	Yakalamak	İletim demetsiz kara bitkileri
	13	Depolamak	Crassulaceae bitkileri
			Sukkulentler
			Kaktüs
			Ananas
			Fıçı kaktüsü
			Floem
			Çöl bitkileri
			Yapraklar
			Aloe bitkisi
			Kserofit
			Kütikula
	14	Çekmek	Hidrofilik,
			Hidrofobik
			Lofofor
			Siller
	15	Geçmek	Kütikula,
			Plazma zarı
			Akuaporiler

Çizelge 4.3. her bir işlevsel anahtar kelimenin eşleştiği biyolojik terimleri listelemektedir. Burada bazı fiiller için aynı terimlerin sözlük karşılığı olarak ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Örneğin “stoma” kelimesi korumak, dengede tutmak, tutmak ve almak fiillerinin; “kök” kelimesi ise elde etmek, absorbe etmek, emmek ve almak fiillerinin karşılığı olarak ortaya çıkmıştır. Doğal dil işleme yöntemiyle biyolojik anahtar kelimelerin araştırılması süreci tamamlanmış ve sürecin özeti Çizelge 4.4.’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Kazanmak anahtar kelimesiyle yapılan aramaların özeti

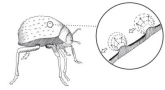
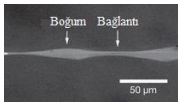
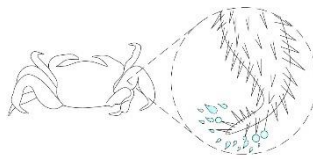
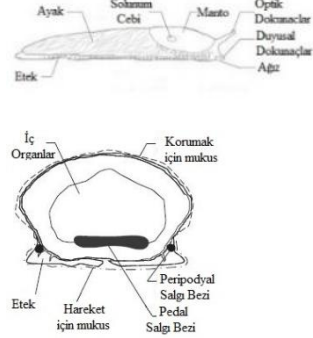
Anahtar Kelime	Sözlük karşılığı olarak ortaya çıkan terimler		
Kazanmak	Bitki	Memeliler	Salgılama
	Çöl bitkileri	Çöl hayvanları	Enzim
	Bitki hücresi	Küçük çöl sıçanı	Böcekler
	Stoma	Estivasyon	Mantar
	Bekçi hücreleri	Yarasa	Yaprak bitleri
	Ksilem	Kemikli balıklar	Stres cevap proteinleri
	Kserofit	Kıkırdaklı balıklar	Fungus
	Floem	Boşaltım sistemi	Hif
	Floem özsuğu	Böbrek	Ağ
	Bitki kökü	Nefronlar	Humus
	Saçak kök	Geri emilim	Tüyler
	Kazık kök	Kalın bağırsak	Hücre duvarı
	Kök kılı	Glomerulus	Protist
	Rizoid	Rektum	Fumarat
	Rizom	Proksimal kıvrıntılı tubül	Malat
	Yapraklar	Ürikotelik hayvanlar	Bdelloid rotiferleri
	Yaprak döken bitkiler	Absisik asit	Lofofor
	CAM fotosentezi yapan bitkiler	Sürüngeçler	Heterotrof
	İletim demetsiz kara bitkileri	Amfibi	Larva
	Crassulaceae bitkileri	Spor çeperleri	Farklı geçirgen zar
	Sukkulentler	Amniyot yumurta kabuğu	Akuaporin
	Kaktüs	Prolaktin	Lenf sistemi
	Ananas	Ozmöregülasyon	Kılcal damar
	Fıçı kaktüsü	Aldosteron	Venül
	Aloe bitkisi	Ozmolarite	Renal ven
	İbrikotu bitkisi	Siller	Renal tubül
	Koful	Plazma zarı	Kortikal granül
	Fotosentez	Homeostasi	Sporofit
	Kütikula	Deri	Su küfleri
	Hidrofilik,	Epitel Hücreler	
	Hidrofobik	Hipotalamus	

Sonuç olarak “kazanmak” fiilinin sözlük karşılığı olarak ortaya çıkan tüm biyolojik eşleşmeler bu çizelgede gösterilmiştir. Bu doğrultuda doğal dil işleme yöntemi, bir problem ve bu problemi tanımlayan ana işlevsel anahtar kelimedenden yola çıkarak biyolojik eşleşmelere gelene kadar sistemli bir araştırma yöntemi sağlamıştır. Bu yöntemle ulaşılan eşleşmeler bir sonraki bölümde incelenmiştir.

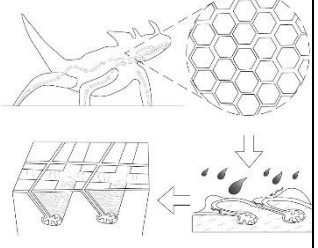
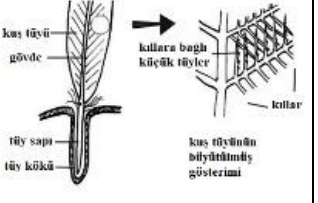
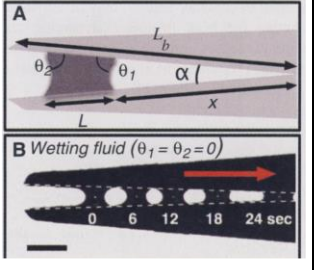
4.3. Biyolojik Modelin Seçimi ve Analizi

Bu bölümde doğal dil işleme yönteminin adımları uygulanarak ulaşılan biyolojik eşleşmeler morfoloji, su kazanma mekanizmaları, ana prensipleri kategorilerine ayrılarak incelenmiştir. Bu incelemeler yapılırken canlıların su kazanma ile ilgili mekanizmalarının çalışma prensibini özetleyen eskizlerine yer verilmiştir. Bu eskizlerden literatürde mevcut halde bulunanları doğrudan kullanılırken mevcut olmayanlar ise çalışma kapsamında serbest el çizimi ve autocad aracılığıyla çizelgelerde kullanılmıştır.

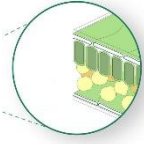
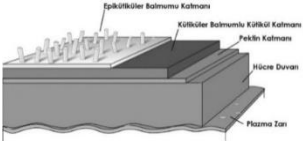
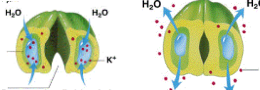
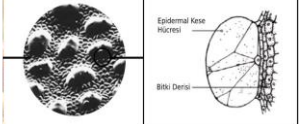
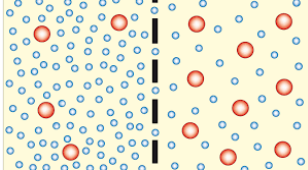
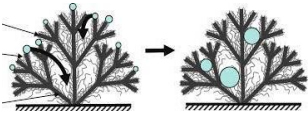
Çizelge 4.5. Anahtar kelimelerle yapılan araştırma sonucunda bulunan doğal çözümler (Barker, 1999: 29-31; Guadarrama Cetina ve diğerleri, 2014; Hogarth, 1999: 102; URL-41).

Anahtar Kelime	Organizma	Morfoloji	Mekanizma	Ana Prensipte	Çalışma Prensipli Eski	
Hidrofilik	Namibya Böceği	 	Böcek, sis rüzgarları geldiğinde vücudunu 45°'lik bir açıda sabitler. Kabuktaki hidrofilik tepecikler havadaki su taneciklerini çeker. Tepeciklerde biriken su tanecikleri hidrofobik oluklar üzerinde kayarak böceğin açılı duruşu ve yerçekiminin de etkisiyle oluklardan aşağı böceğin ağzına ulaşmaktadır	Yoğuşmayı artırarak su kazanma, hidrofobik kabuk sayesinde suyun taşınması	 	
	Uluborus Walckenaerius Örümceği	 	Boğumlar pürüzlü yüzeyden oluşurken boğumlar arasındaki bağlantılar düzenli şekilde bir araya gelmiş pürüzsüz yüzeylerdir. İki yüzeyin pürüzlülüğü arasındaki bu farklılık bir yüzey enerjisi ve Laplace basıncı oluşturmaktadır.	Nemli hava içerisindeki su zerrecikleri Laplace basıncı ve yüzey geriliminin etkisiyle özel bir lif yapısına sahip hidrofilik boğumlara doğru çekilir ve bu boğumlarda toplanır	Mikro yapıdaki örümcek ağı liflerinin boğum yerlerindeki yapısı dolayısıyla hidrofilik özellik göstererek suyu çeker	 
	Setea Bataklık Yengesi		Bacaklarındaki tutamlar, hidrofilik kıllar, sert kıl benzeri yapılar.	Bacakların tabanındaki hidrofilik kıl kümeleri çamurun nemli yüzeyi ile temasa geçer ve yengecin vücuduna su çekebilir	Bacaklarındaki tutamlar, hidrofilik kıllar, sert kıl benzeri yapılar kullanarak çamurdan su çeker.	
Homeostasi	Muz Salyangozu		Higroskopik özellikte mucus, pasif gaz alışverişine olanak veren gözenekli yumuşakça derisi	Salyangozun derisinin sürekli nemli olması gerektiğinden deri yapısı higroskopik ve hidrofiliktir. Bu özellikler sayesinde su moleküllerini çevredeki ortamdan hızla çekebilemektedir.	Su moleküllerini çekmek	

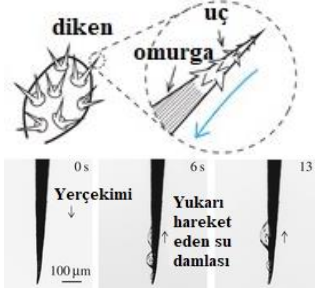
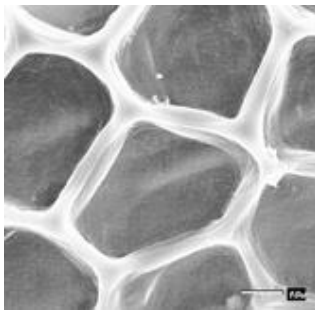
Çizelge 4.5. (devamı) Anahtar kelimelerle yapılan araştırma sonucunda bulunan doğal çözümler (Prakash, Quéré ve Bush, 2008: 931-934; Rijke, 1972: 195; Sherbrooke, 1993: 270-271).

Anahtar Kelime	Organizma	Morfoloji/ Davranış	Mekanizma	Ana Prensipte	Çalışma Prensibi Eski
Kılcal damarlar	Molok Kertenkelesi	Deride bulunan diken benzeri yapılar, Mikro ölçekte üst üste binmiş bir dizi kılcal kanalın bir araya gelmesiyle oluşan bal peteği şeklinde deri yapısı	Kertenkele nemli bir zemin üzerine geldiğinde kapiler etkiye sebep olarak yerçekimine karşı büyük bir kuvvetle suyu zeminden kendine doğru çekmektedir. Canlının derisindeki kanallar vücut üzerinde bir ağ sistemi oluşturarak zeminden çekilen suyu canlının ağzına kadar taşımaktadır	Kapiler etkiyle suyu çekme, diken benzeri strüktürle su hasat etme, kanallardan oluşan ağ sistemiyle suyu taşıma	
	Bağırtlak Kuşu (sandgrouse)	Saç benzeri tüy yapısı	Karın bölgesinde iç içe geçerek sarmal bir ağ oluşturan saç benzeri tüyler kılcal etkiye sebep olarak havadaki nemi çekmekte ve burada depolamaktadır.	Kılcal etkiyle su hasadı ve depolama	
	Kırmızı Boyunlu Phalarop	Üçgen formunda uzun ve sivri gagasında açma kapama hareketleriyle açı değiştirerek yüzey geriliminden basınç oluşturup kılcallıkla suyun ağzına doğru iletimini sağlar.	Kuş, gagasını hafifçe açıp kapatarak ve bu hareketi tekrarlamaktadır. Bu şekilde sıvının gaga ile temas halindeki eğrilik açısını değiştirerek sıvıyı çeken yüzey geriliminden basınç oluşturur. Gaga kapanırken suyun ön tarafı ağza doğru hareket eder; gaga açıldığında, suyun arka kenarı ağza doğru çekilir. Basınç farkından dolayı sıvının net hareketi ağza doğrudur. Bu mekanizma "kılcal makara" olarak bilinir.	Yüzey geriliminden oluşturulan basınçla kılcal makara hareketi yapmakta, bu sayede suyun taşınmasını sağlamaktadır.	

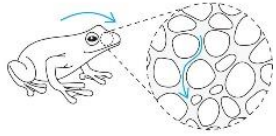
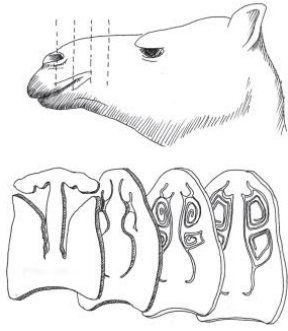
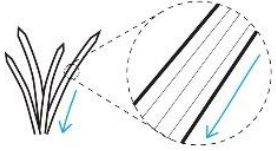
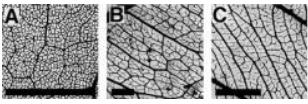
Çizelge 4.5. (devamı) Anahtar kelimelerle yapılan araştırma sonucunda bulunan doğal çözümler (Attenborough, 1995: 278; Koch ve Barthlott, 2009: 1488; Sadava ve diğerleri, 2014: 733).

Anahtar Kelime	Organizma	Morfoloji/ Davranış	Mekanizma	Ana Prensipte	Çalışma Prensipte
Kütikül	Kütikül 	Balmumu benzeri katman	Yapraklar, meyveler ve otsu saplar gibi tüm bitki yüzeylerinin en dıştaki hücre katmanını epidermal hücreler oluşturmaktadır. Epidermisin en dış tabakası olan ve mumsu bileşenlerden meydana gelen hidrofobik özellikteki kütikül, yüzeyde gerçekleşen buharlaşma oranını azaltmaktadır.	Balmumu benzeri katman yüzeyden buharlaşarak su kaybını önler.	
Stoma	Stoma 	Geçirgenliği kontrol etmek	Koruma hücreleri osmotik basınca tepki olarak gaz değişimi sağlamak için açılıp kapanır. Bitkiler, terleme oranını azaltmak için her bir stomanın açılmasını kontrol edebilmektedir.	Terleme oranını azaltma	
Epitel hücre	Buz Çiçeği Bitkisi 	Epidermal Keseler	Su, gövde üzerinde bulunan ve suyun miktarına göre genişleyip büzüşebilen epidermal kese hücreleri içinde biriktirilir, susuz dönemlerde kullanılır	Su depolama	
Ozmolarite	Bitkiler 	Çözünen maddeleri konsantre etmek için içeride yarı geçirgen bir zar ve bu çözünenlerin hidrasyonu sırasında su alındığında bölmenin patlamasını önlemek için dışarıda elastik ve genişletilebilir bir duvar	Bitkiler, çözünen maddeleri tutan ancak suyun serbestçe nüfuz etmesine izin veren seçici bir zarla çevrelenmesi gereken kapalı bir alana çözünen maddeler enjekte ederek hidrostatik basınç üretir.	Yarı geçirgen zar ile dış ortamda kendi organizmasında n fazla olan suyu çekmek	
Su Toplama	Çalı (Cotula fallax) 	Yapraklar ve mikro ölçekte küçük tüycükler	Sis içerisindeki su zerrecikleri yaprak yüzeylerindeki ince tüylerde toplanır, köke doğru yönlendirilir.	Küçük tüycüklerle su hasadı	

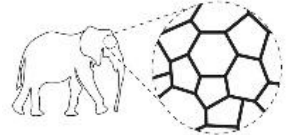
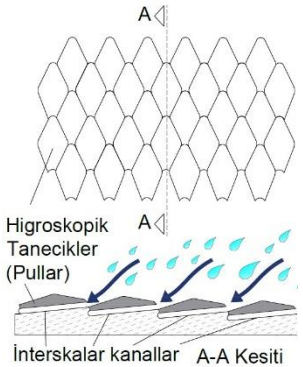
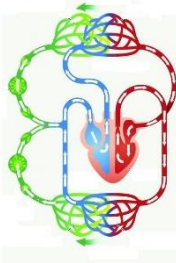
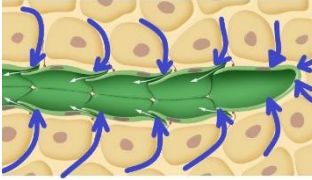
Çizelge 4.5. (devamı) Anahtar kelimelerle yapılan araştırma sonucunda bulunan doğal çözümler (Ju ve diğerleri, 2012: 2-4; Pierce, Maxwell, Griffiths ve Winter, 2001: 1371-1372).

Anahtar Kelime	Organizma	Morfoloji/ Davranış	Mekanizma	Ana Prensipte	Çalışma Prensibi Eski
Kaktüs	Pencere bitkileri 	Çubuk şeklindeki sütunların üzerine yerleştirilmiş bir dizi düğme boyutlu disk gibi görünen ve çoğunlukla kum ve çakıl altında olan yapraklara sahiptir.	Sütun benzeri kalın yaprakları güneş ışığını yarı saydam oksalik asit kristaline filtreleyerek fotosentezi artırır ve ortamdaki nemi emerek depolar	Kalın yapraklarla havadaki nemi tutma oranını artırma, sütun şeklindeki yapraklarda depolama	
	Kaktüsler 	Konik dikenler ve diken uçlarındaki kancalar	Dikenlerin uçları, havadaki su damlacıklarını çekmektedir. Dikenlerin ucunda toplanan su damlacıkları birleşir, büyür ve konik formun sebep olduğu laplace basıncının etkisiyle diken tabanına doğru ilerler. Daha sonra biriktirilen su molekülleri köklerde depolanır	Yaprakların sivri ucuyla su hasadı, konik formu sayesinde oluşan laplace basıncıyla su iletimi	
	Sukulent 	Büzülme	Çıkıntılı morfolojisi kendini gölgeleyen bölgeler oluşturarak şişmeye ve büzülme izin verir, böylece ışığa maruz kalma durumu azaltılmış olur.	Terlemeyi azaltma	
Ananas	Geçirgenliği kontrol etmek 	Crassulaceae asit metabolizması bitkileri	Su kaybını önlemek amacıyla dokular ile çevredeki su buharı konsantrasyon farkının ve ortam sıcaklıklarının düşük olduğu gece vakitlerinde stomaların açılması	Buharlaştırma oranını azaltma	
	Bromeliaceae Bitkileri 	Trikomlar, balmumu içeren yapı	Yapraklarda bulunan trikom adı verilen epidermal dokulardan oluşan tümsek benzeri yapılar havadaki suyu hasat etmektedir. Trikomların balmumu içeren yapısı toplanan suyun yapraklar tarafından emilmesini engelleyerek yaprağın kavisli yapısının da yardımıyla suyu bitkinin depolama alanına iletmektedir	Havadaki suyu hasat etme, balmumu benzeri tabaka sayesinde suyun taşınması	

Çizelge 4.5. (devamı) Anahtar kelimelerle yapılan araştırma sonucunda bulunan doğal çözümler (Katifori, 2018:245-246; Pawlyn, 2016: 86; Tracy, Laurence ve Christian, 2011: 553).

Anahtar Kelime	Organizma	Morfoloji	Mekanizma	Ana Prensi	Çalışma Prensi Eski
Amfibiler	Yeşil Ağaç Kurbağaları 	Gözenekli deri, kılcal damar ağları	Yeşil ağaç kurbağaları açık ortamlarda durduğu zaman soğur, daha sonra nemli ve ılık ağaç oyuklarına geldiğinde, kurbağanın derisi ve ortam arasındaki sıcaklık farkından dolayı nem kurbağanın soğuk derisi üzerinde kalıp yoğunlaşmaktadır. Deride oluşan çığ damlaları buradaki gözeneklere dolmakta ve deride bulunan kılcal damar ağları sayesinde emilmektedir.	Cilt yüzeyindeki küçük gözenekler, yoğunlaştırılmış suyun doğrudan difüzyonunla almaktadır. Burada alınan su kılcal damar ağları ile emilmektedir.	
Geri Emilim	Deve Burnu 	Karmaşık yapı ile geniş yüzey alanına sahip süngerimsi burun kemikleri	Develer, nefes alırken, burunlarında bulunan karmaşık doku, suyun kuru havaya buharlaşmasıyla soğur. Nefes verirken ise, akciğerlerden gelen nemli hava bu geniş soğuk yüzey alanından geçer ve nemin çoğu karmaşık burun dokusuna doğru yoğunlaşarak yeniden emilir.	Burunda artırılan yüzey alanı akciğerlerle nefes verirken suyun büyük kısmını yoğunlaştırarak buharlaşmayla su kaybını önler.	
Yapraklar	Yapraklar 	Kıvrılma/ Katlanma	Su stresi sırasında, gelen ışınların etkisini azaltmak ve stomaları daha yüksek neme sahip mikro koşullarda tutmak için yapraklar yuvarlanır ve katlanır, böylece dehidrasyonu önler.	Su kaybını önleme	
	Sabır Otu (Agave) 	İçbükey yapraklar oluklar kalın ve	Yaprak ayasındaki olukların varlığı, bitkinin köklerine doğru uzun bir eksen yönünde ilerler, yönlendirilmiş su toplama ve taşıma sağlar ve damlacıkların	Suyun taşınması	
	Yapraklar 	Damar düzeni	Yapraklarda (doğrusal yerine) iç içe geçmiş döngülerden oluşan karmaşık bir hiyerarşik ağ, hasar olaylarında bile en uygun taşımayı sağlamaktadır.	Suyun taşınması	

Çizelge 4.5. (devamı) Anahtar kelimelerle yapılan araştırma sonucunda bulunan doğal çözümler (Gorb ve Gorb, 2018: 94; Lillywhite ve Sanmartino, 1993; Martins ve diğerleri, 2018: 2; Schulte-Merker, Sabine ve Petrova, 2011).

Anahtar Kelime	Organizma	Morfoloji/ Davranış	Mekanizma	Ana Prensip	Çalışma Prensibi Eskizi
Deri	Fil Derisi	 Mikro ölçekteki kanallardan oluşan karmaşık çatlak ağlara ve kırışıklıklara sahip deri	Mikro ölçekteki kanallardan oluşan fil derisi yüzeyi, düz bir yüzeye göre 5-10 kat daha fazla su tutmakta, dehidrasyonu engellemekte ve daha uzun süre termal düzenleme yapılmasını sağlamaktadır.	Mikro ölçekteki kanallardan oluşan karmaşık çatlak ağlar ve kırışıklıklar geniş yüzey alanı sağlayarak havadaki nemi tutma kapasitesini artırır.	
	Sürtingenler	 Pullu, su geçirmez cilt	Su geçirmeyen deri yapısı sayesinde sürtingenlerin çoğu terlememekte ve buharlaşma yoluyla su kaybını en aza indirmektedir.	Su kaybını önlemek	
	Chersydrus Granulatus Yılanı	 Higroskopik yapıda interskalar kanalların bulunduğu tanecikli deri	Chersydrus granulatus yılanları hem suda hem karada yaşarlar. Kara ortamında dehidrasyona uğramadan uzun süre kalabilmek için su tutması gerekmektedir. Bu amaçla tanecikli derisi higroskopiktir ve interskalar kanallar aracılığıyla vücut yüzeyinde suyu emer. Böylece cilt yüzeyinin her cm ² 'si için 5,4 mg su tutabilmektedir.	Higroskopik cilt yapısı ortamdaki suyu çeker ve kanallarda depolar.	
Lenf Sistemi	Lenf Sistemi	 Üst üste binmiş kılcal hücreler ve hücreler arası açılan boşluklar	Lenfatik kılcal hücreler birbirinin sütüne binmiş haldedir. Sıvı, dış dokuda biriktikçe, basınç artar ve üst üste binen hücreleri hafifçe açarak içeri doğru iter. Böylece sıvı, dış basıncı hafifleten boşluklardan lenf damarlarına girer. Lenfatik kılcal damarların dışındaki basınç azaldıkça, kanatlar tekrar kapanarak sıvıyı içeride hapseder. Sıvı iletimi doğal olarak yüksek basınçtan alçak basınca doğru sağlanır.	Üst üste binmiş kılcal hücreler sıvı basıncına maruz kalınca hücreler arası boşluklara sıvı dolar ve bu basınç farkı devam ederek sıvı iletimi sağlanır.	

Çizelgeler incelendiğinde canlıların su kazanma amacıyla dört temel prensip uyguladığı görülmektedir. Bunlar su toplama, suyu muhafaza etme, suyun taşınması ve suyun depolanması olarak tespit edilmiştir. Canlılar, bu temel prensipleri yoğunlaşmayı artırma, difüzyon, terlemeyi azaltma, taşımayı kolaylaştırma gibi yöntemler kullanarak gerçekleştirmektedirler. Bu prensipler ve yöntemler yapı kabuğunda su kazanımı sağlama amacına yönelik mimari ilkelerle örtüşmektedir. Mimari yapı kabuklarında su kazanımı su toplama, suyun iletilmesi, suyun taşınması ve depolanması olmak üzere dört temel stratejiyle özetlenebilir (Badarnah, 2016).

Doğal dil işleme yöntemiyle bu noktaya kadar gelinen çalışmada incelenen fenomen örneklerinin sayısı arttırılabilir. Bunun sonucunda da, çeşitli stratejiler, mekanizmalar, ilkeler ve özellikler ortaya çıkacaktır. Fenomenlerin sayısı ve özellikleri artıkça elde edilen bilgilerin karmaşıklığı da artacaktır. Bu durumda bu bilgilerin tasarıma nasıl aktarılacağı bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu karmaşıklığı azaltmak amacıyla fenomenlerin özellikleri üzerinde sistematik bir analiz yapılması faydalı olacaktır. Bu bağlamda önceki çizelgelerde incelenen canlılar morfoloji, adaptasyon ve ölçek gibi daha detaylı kategorilere ayrılarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca canlıların ana prensipleri temel alınarak su yönetimiyle ilgili işlevleri belirlenmiş ve kategoriler bu işlevler bağlamında değerlendirilmiştir. Bu analizleri yapabilmek için araştırılan fenomenlerle ilgili detaylı bir özellik matrisi düzenlenmiştir Her bir işlev satırında yer alan canlının, belirlenen kategorilerdeki özellikleri toplanmış ve bunun sonucunda o işleve ait baskın özellikler matriste işaretlenmiştir. Matriste belirli bir işlevi temsil eden baskın özelliklerin toplamı her işlev satırının sonunda hayali fenomen olarak gösterilmiştir. Hayali fenomenler gerçek fenomenlerin bir soyutlamasıdır. Bu bağlamda, hayali fenomenlerin her kategorisi, aynı kategoride seçilen gerçek fenomenlerin özellikleri arasında baskın olan bir özellikten oluşmaktadır (Badarnah ve Kadri, 2015).

Çizelgede organizmalar/fenomenler için bina zarflarına benzerlikleri bulunan yedi sınıflandırma kategorisi tanımlanmıştır (Çizelge 4.6). İlk sütun su dengesi için bina kabuğu ile olası etkileşimleri temsil eden temel işlevleri göstermektedir. İkinci sütunda organizmalar yer almakta ve üçüncü sütun işlevlerin gerçekleştirilme şeklini temsil etmektedir. Dördüncü sütun, sürecin fizyolojik, morfolojik ve/veya davranışsal adaptasyonlardan hangisiyle gerçekleştirildiğini sorgulamaktadır. Beşinci sütunda işlevi sağlayan ve süreci gerçekleştiren morfolojik elemanların ölçeği gösterilmektedir. Altıncı, yedinci ve sekizinci sütunlar

morfoloji, yapısal özellikler ve malzeme özellikleri olarak fenomenlere ait daha spesifik özellikleri tanımlamaktadır. Dokuzuncu sütunda ise biyofiziksel özellikler gibi fenomenlere ait diğer özellikleri göstermektedir.

Çizelge 4.6. Ulaşılan fenomenlerin detaylı özellik matrisi.

İşlev	Organizma	Süreç							Adaptasyon	Ölçek	Morfolojik Özellikler										Yapısal (Strüktürel) Özellikler	Malzeme	Diğer Özellikler											
		Yoğuşma	Kılcal Hareket	Diffüzyon	Buharlaşmayı Azaltma	Kontrollü Geçirgenlik	Yerçekimi	Yüzey Gerilimi/Basınç Farkı			Fizyolojik	Morfolojik	Davranış	Nano	Mikro	Mezo	Makro	Dikenler	Tümsek (Pürüzler)	Saç, Tüy, Kıl			Pullar	Kıvrımlar, Kıvrıklıklar	Hegzagonal	Fraktal	Tüpler	Oluklar	Kanallar	Hidrofobik	Hidrofilik	Elastik	Mumsu	Gözenekler
Su Toplama	Namibya Böceği	•							•	•		•				•									•		•		•					
	Örümcek Ağı	•								•		•				•										•	•					•		
	Bromeliaceae Bitkileri	•							•	•		•				•											•							
	Kaktüsler	•							•	•		•				•										•								
	Pencere Bitkileri	•							•	•						•	•									•						•		
	Molok Kertenkelesi	•	•						•	•		•				•	•								•		•					•		
	Çalı (Cotula fallax)	•							•	•		•						•								•								
	Bağırtlak kuşu	•	•						•	•		•						•									•					•		
	Bataklık Yengeci	•							•	•		•				•		•									•							
	Fil Derisi	•							•	•		•								•					•									
	Deve Burnu	•							•	•		•							•															
	Yeşil Ağaç Kurbağası			•					•	•		•																			•			
	Muz Salyangozu			•					•	•		•															•	•			•			
	Chersydrus Granulatus Yılanı			•					•	•		•				•		•							•		•							
Bitkiler		•						•	•		•															•								
Hayali Fenomen	X							X			X			X	X									X		X					X			
Korumak	Sürüngeçler					•			•			•						•							•								X	
	Kütikül					•			•			•																						
	Deve Burnu			•					•	•		•						•								•								
	Fil Derisi			•					•	•		•						•									•							
	Sukulent			•					•			•			•																			
	Yapraklar			•					•		•	•				•															•			
	CAM Bitkileri			•	•				•	•		•												•			•	•						
	Stoma		•	•					•	•		•															•	•		•				
	Hayali Fenomen			X				X			X							X						X				X	X	X				
Su Taşıma	Sabır Otu (Agave)					•			•			•												•		•		•						
	Namibya Böceği					•			•			•												•		•		•						
	Molok Kertenkelesi		•						•	•		•								•				•	•		•					•		
	Bağırtlak Kuşu		•						•	•		•				•										•						•		
	Yapraklar		•						•	•		•									•	•												
	Lenf Sistemi		•				•	•		•		•									•	•										•		
	Kaktüsler						•		•	•		•			•											•								
	Kırmızı Boyunlu Phalarop		•				•		•	•		•																						
	Chersydrus Granulatus Yılanı								•	•		•								•														
	Örümcek Ağı						•		•	•		•				•										•	•							
	Bromeliaceae Bitkileri					•			•	•		•				•								•	•		•							
	Hayali Fenomen	X						X		X		X							X				X		X							X		
	Depolama	Buz Çiçeği Bitkisi								•	•		•			•												•						
Pencere Bitkileri									•	•		•																						
Chersydrus Granulatus Yılanı									•	•		•												•										
Hayali Fenomen									X		X													X			X							

Detaylı özellik matrisi, biyolojiden tasarıma geçiş sürecinin bir parçası olarak her işlev için baskın özellikleri ayırt etmek amacıyla oluşturulmuştur. Belirlenen yedi kategoride çoğunluk sağlayan (baskın) özellikler, su toplama, suyu koruma, su taşıma ve su depolama işlevlerinin her biri için, hayali fenomen olarak satır sonunda işaretlendi. Örneğin, su kazanma mücadelesi için seçilen on altı adet fenomenden dokuz tanesi hidrofilik özellikte malzemeye sahiptir. Bu durumda su kazanma mücadelesi için baskın özellik malzeme kategorisinde hidrofilik materyallerdir.

Belirli bir kategorinin birden çok bir baskın özelliği olması durumunda tüm baskın özellikler ilgili kategori için kabul edilmiştir. Örneğin suyu kazanma mücadelesinde morfolojik özelliklerden dikenler ve tümsekler eşit sayıdadır. Bu durumda iki özellik de kazanma işlevi için morfolojik özellikler kategorisinde baskın özellik olarak işaretlenmiştir. Diğer yandan bir kategori için hiçbir özellik tanımlanmadıysa ilgili kategori bulunduğu işlev için ilgisiz kabul edilmiştir. Örneğin su depolama işlevinde süreç ve morfolojik özelliklerde ayırt edici bir özellik işaretlenmediği için bu kategoriler su depolama için ilgisiz olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak detaylı özellik matrisi su dengesiyle ilgili işlevlerde baskın olan özelliklerin hayali fenomenler üzerinden tespit edilmesini sağlamıştır. Her bir işlev için tespit edilen baskın özellikler Çizelge 4.7’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.7. Su toplama, suyu koruma, su taşıma ve su depolama işlevleri için ulaşılan baskın özellikler.

Kategoriler	Su toplama	Suyu Korumak	Su taşımak	Su depolamak
Süreç	Yoğuşma	Buharlaşmayı azaltma	Kılcal hareket	
Adaptasyon	Morfolojik	Fizyolojik	Morfolojik	Morfolojik
Ölçek	Mikro	Mikro	Mikro	Mikro
Morfolojik Özellikler	Dikenler Pürüzler	Kıvrımlar/ Kırıksıklılar	Hegzagonal	
Yapısal (Strüktürel) Özellikler	Kanallar	Oluklar	Oluklar	Kanallar
Malzeme	Hidrofilik	Mumsu	Hidrofobik	Elastik
Diğer Özellikler	Üst üste binme	Gözenekler Kıvrılma/ katlanma	Üst üste binme	

Çizelge 4.7'ye göre su dengesi sağlayan işlevler değerlendirildiği zaman;

- Su toplamak için yoğunlaşma, suyu taşımak için kılcal hareket ve korumak için buharlaşmanın en etkili süreçler olduğu tespit edildi.
- Su toplamak, suyu taşımak ve depolamak için başvurulan adaptasyon morfolojik olup suyu korumak için fizyolojik olarak gerçekleşmektedir.
- Mikro ölçek, tüm işlevler için ilgili ölçektir.
- Su toplama işlevine yönelik hem dikenli morfolojiler hem de pürüzlü morfolojiler etkilidir.
- Su depolama işlemi morfolojik özelliklerle gerçekleşmektedir fakat özellikleri spesifik olduğu için kategorize edilmemiş ve bağımsız olarak değerlendirilmiştir.
- Baskın yapısal özellikler, suyun taşınması ve korunması için oluklar; su toplama ve depolamada ise kanallardır.
- Su toplamak için hidrofilik, suyu korumak için mumsu, su taşımak için hidrofobik ve su depolamak için elastik malzemeler baskın özelliktedir.
- Süreçler için dahil edilen diğer özellikler, gözenekli yapı, kıvrılma/ katlanma hareketi ve üst üste binen yapıdır.

sonuçlarına ulaşılmaktadır.

4.4. Örnek Çalışma: Bio-Bilgili İlkelerin Soyutlanması ve Kavramsal Tasarım Konsepti

Bu alan çalışması kapsamında incelenen biyolojik stratejiler ana prensipleri, bu prensipleri sağlayan yöntemler ve bu yöntemleri sağlayan ana özellikleri kategorilerine ayrılarak su kazanımıyla ilgili sistematik veri çizelgeleri hazırlanmıştır. Fakat ulaşılan canlıların sayısının fazla olması, tasarım konseptlerine uyarlanabilir özelliklerin anlaşılmasını ve seçilmesini zorlaştırmaktadır. Bu amaçla araştırılan canlılarla ilgili binalar için de geçerli olabilecek birtakım kategoriler belirlendi. Belirlenen kategorilerin işleve yönelik baskın özellikleri Çizelge 4.6 yardımıyla tespit edildi. Böylece detaylı özellik matrisi sayesinde veri karmaşıklığını gidermek için birinci adım uygulandı. Burada dikkat edilmesi gereken durum fenomen sayısı arttıkça matristeki hayali fenomenlerin sayısının da artabileceğidir. Bu nedenle baskın özelliklerin sistematik bir şekilde özetlenmesi gerekmektedir. İkinci adımda bu özellikler Çizelge 4.7'de özetlenerek yorumlanmıştır. Böylece türetilen baskın özelliklerin yanı sıra, tasarım konseptinin potansiyel fiziksel ilişkileri gösterilmiştir. Bu

noktaya kadar yapılan analizler ışığında mimari kabuk tasarımı konseptine uyarlanabilecek potansiyel ilkeler üçüncü adım olarak bu bölümde detaylandırılmıştır. Canlıların ana özelliklerinden ortak bir ilke çıkarılarak hazırlanan Çizelge 4.8’de biyolojik modellerden mimari tasarımlara aktarılabilecek soyutlamalar gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Canlıların su kazanmalarını sağlayan ana özellikleri ve mimari yapı kabuklarında uygulanabilecek ilkeler.

İşlev	Yöntem	Organizma	Ana Özellik	Doğal Stratejiden Tasarıma Soyutlama
Su toplama	Yoğuşma	Namibya Böceği	Hidrofilik tepecikler, heterojen dağılım	-Yüzeyden çıkıntı yapan yapılar havadaki suyu toplayabilmektedir.
		Örümcek Ağı	Pürüzler/ Boğumlar	-Heterojen yüzeyler homojen yüzeylerden daha iyi su toplamaktadır.
		Bromeliaceae Bitkileri	Trikomlar	-Mikro, ölçek ve daha büyük ölçeklerde de diken şeklinde ya da konik formlar yoğunlaşmayı artırmaktadır.
		Kaktüsler	Konik formda dikenler	
		Molok Kertenkelesi	Dikenler	
		Çalı (Cotula fallax)	Mikro ölçekte küçük tüycükler	- Nano, mikro, mezo veya makro gibi çeşitli ölçeklerde de tüy, saç ve kıl gibi ince yapılar suyu çekmektedir. Bu yapılar hidrofobik malzemeden olsalar bile suyu çekmektedirler. Hidrofobik malzeme suyun bu form tarafından
		Bağırtlak kuşu (sandgrouse)	Saç benzeri tüy yapısı	
		Setea Bataklık Yengeci	Hidrofilik kıllar, sert kıl benzeri yapılar	
	Difüzyon	Yeşil Ağaç Kurbağası	Gözenekler (porlar)	-Gözenekli yüzeyler suyun direkt alınmasına imkan vermektedir.
		Muz Salyangozu	Gözenekli higroskopik ve hidrofilik cilt yapısı	-Higroskopik malzeme seçimi suyun kolayca çekilmesinin sağlar.
		Chersydrus Granulatus Yılanı	Higroskopik granüllü deri, İnterskalar kanallar	
		Bitkiler	Yarı geçirgen zar	-Yarı geçirgen zar benzeri malzeme ile difüzyon prensibi sağlanabilir.
Suyu Korumak/ Muhafaza etmek	Terlemeyi azaltma	Sürüngenler	Pullu, su geçirmez cilt	Kalın malzemeler su kaybını önleyerek suyu muhafaza edebilmektedir.
		Kütikül	Balmumu benzeri katman	Mumsu malzemeler su kaybını önlemektedir.
		Deve Burnu	Süngerimsi ve kıvrımlı burun kemikleri	Yüzey alanını artıran kırıklılık, engembeli yüzeyler gibi yapılar düz bir yüzeye göre daha çok su tutarak su kaybını önleyerek suyu daha iyi muhafaza edebilmektedir.
		Fil Derisi	Kırıklılıklar	
		Sukulent	Çıkıntılı yapraklar	-Kendi yüzeyine gölge yapan yapı kabuğu formu ışığa maruziyeti azaltır.
		Yapraklar	Kıvrılma hareketi	-Su stresi altında büzülen, kıvrılan ve katlanan, kısacası yüzey alanını küçülterek su kaybını engelleyen sistemler
		Stoma	Kapanma hareketi	-Gözenekleri veya açıklıkları kapatarak su kaybını engelleyen sistemler

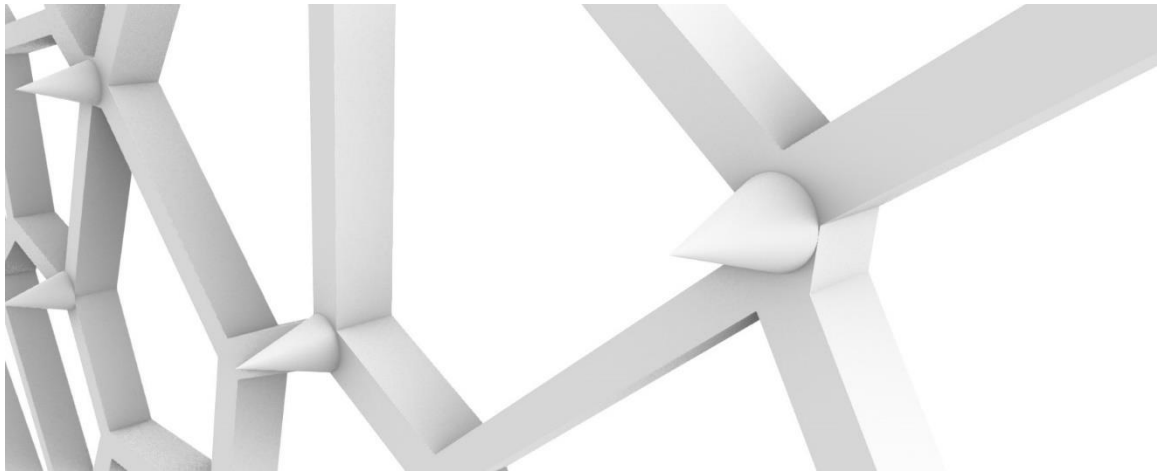
Çizelge 4.8. (devamı) Canlıların su kazanmalarını sağlayan ana özellikleri ve mimari yapı kabuklarında uygulanabilecek ilkeler.

İşlev	Yöntem	Organizma	Ana Özellik	Doğal Stratejiden Tasarıma Soyutlama
Suyu taşıma	Yerçekimi	Sabır Otu (Agave)	İçbükey kalın yapraklar ve oluklar	-Eğimli bir form ve hidrofobik oluklar
		Namibya Böceği	Hidrofobik mikro oluklar	
	Kılcalık	Molok Kertenkelesi	Mikro ölçekte kılcal kanallar	-Karmaşık yapılar kılcal etkiye sebep olarak su taşınmasına yardımcı olabilir.
		Bağırtlak kuşu (sandgrouse)	Tüylerden oluşan saç benzeri ağ	
	Geometrik düzen	Yapraklar	Damar düzeni	-Belirli geometrik düzene sahip tasarımlar suyun taşınmasını kolaylaştırabilir.
		Molok Kertenkelesi	Hegzagonal petek benzeri yapı	
		Lenf Sistemi	Üst üste binmiş lenfatik hücreler	
	Yüzey gerilimi basınç farkı	Kaktüsler	Konik dikenler	-Konik yüzeyler dar ve geniş yüzey arasındaki basınç farkı sayesinde suyun taşınmasını sağlayabilirler.
		Kırmızı Boyunlu Phalarop	Üçgen formunda uzun ve sivri gaga	
		Örümcek Ağı	Pürüzsüz lifler ve boğumlar arasındaki yüzey enerjisi farkı	-Lif benzeri yapıda bir malzeme düzenli ya da doğrusal tasarlanırsa hidrofilik özellik gösterir. Aynı malzeme düzensiz karmaşık bir şekilde tasarlanırsa hidrofilik özellik gösterir. Bu da suyun hidrofobik yüzeyden hidrofilik yüzeye hareket etmesini sağlar.
	Hidrofobik Yapı	Bromeliaceae Bitkileri	Balmumu içeren yapı	-Hidrofobik veya mumsu malzemeler suyun kayarak iletilmesi için kullanılabilir.
		Namib Böceği	Balmumu yapıda hidrofobik oluklar	
Suyun depolama		Buz Çiçeği Bitkisi	Epidermal Keseler	Esnek malzemeler su depolama aracı olarak kullanılabilir.
		Pencere Bitkileri	Çubuk şeklindeki sütunlar	Büyük hazneler su depolama aracı olarak kullanılabilir.

Biyolojik sistemlere ait deri/kabuklar ile mimari yapı kabukları arasında işlevsel bir denklik olduğu önceki bölümlerde tespit edilmişti. İşlevlerden biyolojik prensiplere ulaşıldığında burada farklı ölçeklerde yapısal bir denklik de sağlanabileceği öngörülmüştür. Çizelge 4.8. ile gelinen bu noktada tasarıma aktarılan soyutlama önerileri belli bir çerçeve çizmektedir.

Bu çerçeve doğrultusunda su hasat eden bir mimari kabuk tasarımı geliştirilmiş ve örnek bir modelleme çalışması yapılarak potansiyel bir sonuç sunulmuştur. Bu modelde yapı

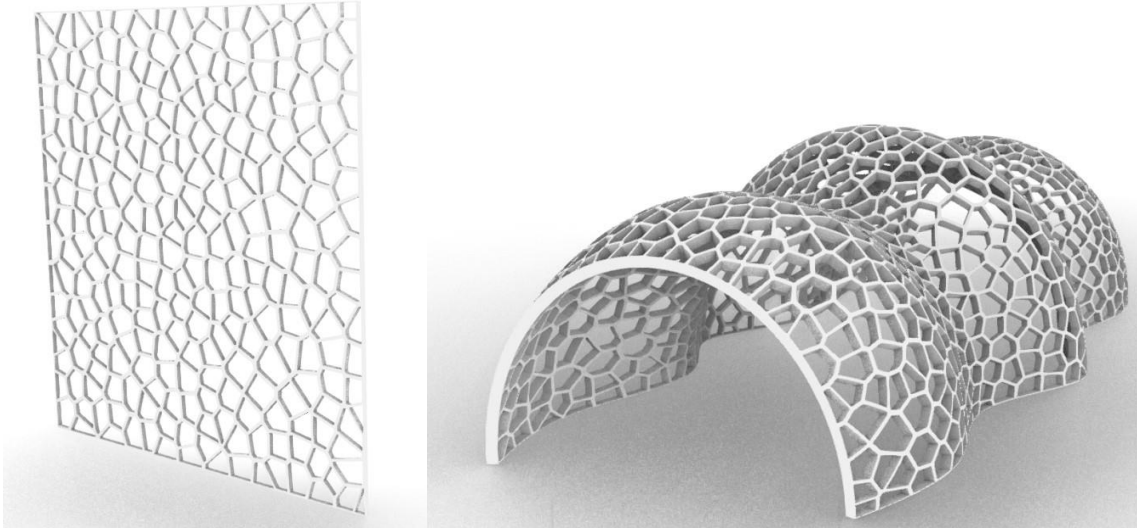
kabuğunun havadaki suyu toplaması ve topladığı suyu depolama alanına iletmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda kabukta sağlanması hedeflenen işlevler su toplama, suyun taşınması/ iletilmesi ve suyu depolamaktır. Bu amaçla ilk işlev için çizelgelerden canlıların su toplama mekanizmaları incelenmiştir. Çizelge 4.8’de su toplama işleviyle ilgili tasarıma soyutlama yorumunda tüm canlıların yüzeyden çıkıntı yapan bir forma sahip olduğu tespit edilmiştir. Detaylı özellik matrisinde de su toplama ile ilgili baskın morfoloji dikenli ve pürüzlü yapılardır. Bu nedenle cephede su toplama işlevini sağlamak için seçilen ilk fenomen kaktüs bitkileridir. Kaktüs bitkilerinin dikenleri havadaki nemden suyu hasat edebilmekte ve dikenlerinin koni benzeri formu sayesinde sivri ucunda toplanan suyu laplace basıncı ile diken tabanına iletilmektedir. Kaktüs dikenlerinin bu özellikleri bu çalışma kapsamında cephe tasarımına mikro ölçekte yani 10 cm’den küçük boyutlarda koniler şeklinde yorumlanmıştır. Toplanan suyun dikenler veya cephe yüzeyi tarafından emilmesi istenmemektedir. Bu sebeple dikenler hidrofobik malzemeden tercih edilmiştir.



Resim 4.1. Grasshopper programıyla modellenen cephe yüzeyindeki su hasadı yapan koni strüktürler.

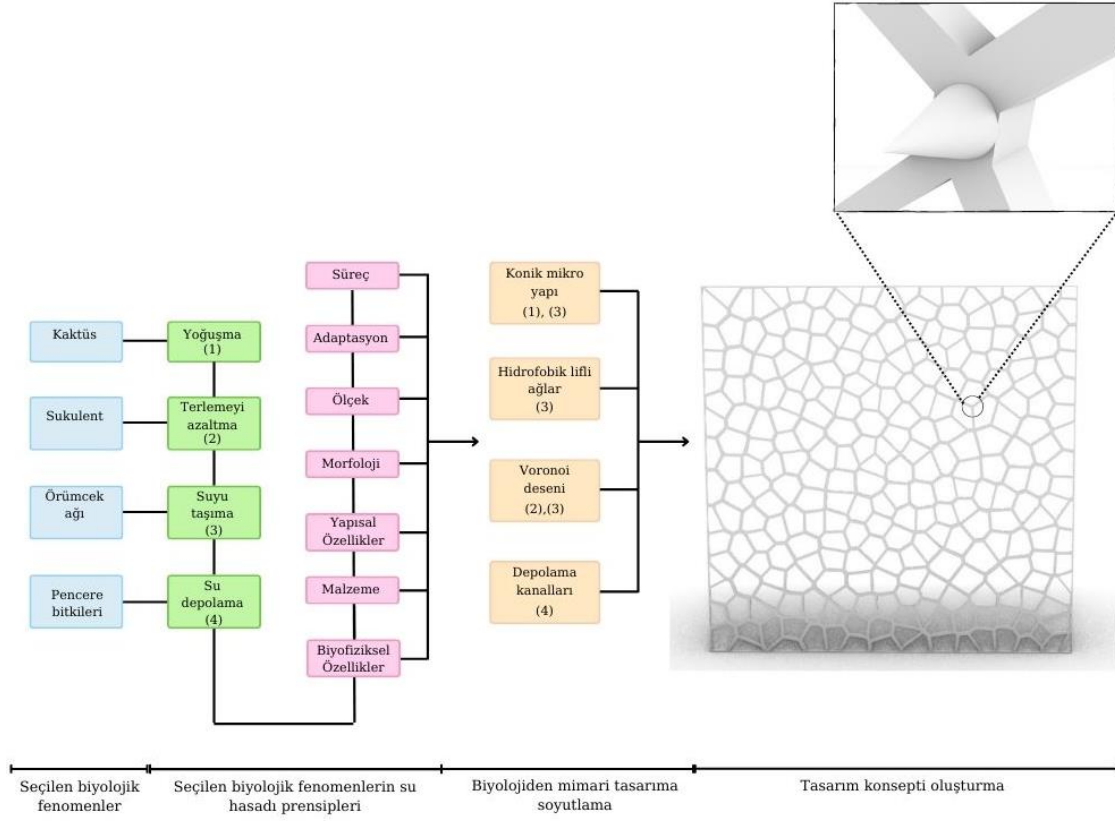
Su, koniler aracılığıyla hasat edildikten sonra kullanıldığı binada depolama alanına iletiminin sağlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda Çizelge 4.8’e göre belirli geometrik düzene sahip yapıların suyun taşınmasını kolaylaştırması ilkesi, cephe tasarımına Voronoi deseni olarak soyutlanmıştır. Örümcek ağlarındaki liflerin düzenli olduğu yerde hidrofobik düzensizleştiği yerde hidrofilik özellik göstererek suyun iletimini sağlamasından esinlenilerek Voronoi deseninde lifli bir malzeme kullanılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda karbon fiber malzeme kullanım için uygun olabilir. Böylece havadaki su dikenlerde toplanarak koninin yüzey geometrisinin sebep olduğu laplace basıncı etkisiyle

koni tabanına doğru hareket edecektir. Tabana iletilen su hidrofobik ağ benzeri Voronoi desenli cephe üzerinde yerçekiminin etkisiyle cephe bitişinde tasarlanan depolama alanlarına yönlenecektir. Depolanan su binada bitkilerin sulanması gibi çeşitli amaçlara yönelik kullanılabilir. Yapı kabuğunun deseni, aynı zamanda sukulent gibi bitkilerin çıkıntılı yüzey morfolojisiyle kendi yüzeylerine gölge sağlamasına benzer şekilde gölgeleme elemanı görevi de görmektedir. Böylece cephede radyasyon maruziyeti azaltılarak aynı zamanda ihtiyaç duyulan yeterli ışık ve sıcaklığın da yapıya alınmasını amaçlanmıştır. Son olarak pencere bitkilerinin çubuk şeklindeki depo haznesinden ilham alınarak cephenin bittiği kısma bir depolama haznesi tasarlanmıştır.



Resim 4.2. Grasshopper programıyla modellenen su hasadı yapan biyomimetik cephe.

Su hasadı yapan cephe mevcut veya yeni binalara, düz duvar yüzeylerine ya da eğri formlara uyarlanabilir olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu amaçla Grasshopper programında önce duvar gibi düz bir yüzeye tasarlanan cephe daha sonra parametreler yardımıyla eğri yüzeyli amorf bir kütle üzerine uygulanmıştır.



Resim 4.3. Biyolojik fenomenlerden su hasadı yapan mimari kabuk tasarımına giden yol.

Özetle bu model tasarlanırken doğal stratejilerden yapı tasarımlarına soyutlama ilkelerinden istenilen işleve yönelik olan prensipler seçilerek bir kombinasyon oluşturulmuştur. Bu şekilde Çizelge 4.6, 4.7 ve 4.8’de sunulan çerçeve izlenerek tasarlanan yapı kabuğu modellerinin örnekleri arttırılabilir. Resim 4.3’te biyolojik fenomenlerden mimari tasarım konsepti geliştirme aşamaları özetlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda giderek artan küresel bir su kıtlığı krizi yaşanmaktadır ve birçok ülkede temiz su kaynaklarına erişim sıkıntılı bir hale gelmiştir. Bu durumda su kaynaklarının sınırlı olduğu ve korunması gerektiği bir gerçektir. Dünya genelindeki su tüketiminin önemli bir kısmı yapıları çevrelerde gerçekleştiği için su kazancı sağlayan stratejiler üretmek mimarlık disiplini için önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Yapılan araştırmalar bu konuda etkili, sürdürülebilir alternatif çözümlerin doğada bulunan stratejilerden elde edilebileceğini göstermektedir. Bu bağlamda dış çevre ile en çok etkileşimin gerçekleştiği bina elemanı olan yapı kabuğuyla “binalarda su kazancı” sağlayan bir strateji geliştirilmesine yönelik bir araştırma yürütülmüştür. Bu strateji geliştirilirken sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla biyo-bilgili/biyomimetik yöntemlere başvurulmuştur.

Tez çalışması boyunca “Doğadaki canlıların deri/kabuk fonksiyonları ve yaşadıkları ortamlardaki kısıtlı su kaynaklarını dengeli şekilde kullanma stratejileri model alınarak mimari yapı kabuğunda su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kazanımını sağlayan bir model geliştirilebilir mi?” sorusu araştırılmış ve tez sonucunda elde edilen bulgular ve örnek tasarımlar doğrultusunda bunun mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışma sonucunda “Doğada canlıların ve ekosistemlerin suyu koruma, su toplama ve su kazanma stratejileri incelenerek bina kabuğu tasarımına uyarlanabilecek çözüm sağlayan biyolojik yöntem belirlenerek sürdürülebilir su kazancı sağlayan bir yapı kabuğu model önerisi geliştirilebilir.” hipotezi ile bir araştırma planı hazırlanmıştır.

Bu plan çerçevesinde yapılan literatür çalışması ile biyomimesis kavramı ve biyo-bilgili yöntemlerin mimarlıkta kullanımı incelenmiştir. Daha sonra mimari kabuk kavramı ve doğadaki canlıların deri/ kabuk fonksiyonları açıklanarak aralarındaki işlevsel yakınsamalar tartışılmış ve literatürdeki biyomimetik mimari kabuk tasarımı örnekleri araştırılarak çalışmanın temellerini oluşturan kavramsal altyapı oluşturulmuştur.

Biyoloji disiplininin mimarlık disipline veri aktarımını doğru ve etkili bir şekilde gerçekleştirmek için çalışmanın devamında doğal dil işleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle su kazancı sağlanmasına yönelik problemi çözmek için işlevsel anahtar kelimeler

belirlenerek biyolojik kaynaklarda doğal stratejiler araştırılmıştır. Çalışma kapsamında belirlenen problemle ilgili olası tüm çözüm potansiyellerine ulaşmak hedeflenmiştir. Bu bağlamda doğal dil işleme yöntemi bu tez çalışmasında, konuyla ilgili literatürde mevcut olan çalışmalardan farklı olarak çok sayıda biyolojik çözüme ulaşılmasını sağlamıştır. Ulaşılan biyolojik fenomenler su dengesiyle ilgili mekanizmaları, bu mekanizmanın gerçekleşmesini sağlayan ana prensipleri ve morfolojileri/ davranışlarına göre incelenerek çizelge sütunun sonunda mekanizmalara ait eskizlerle görsel olarak desteklenmiştir. Canlılara ait salt gerçek resimlerdenise çalışma mekanizmalarını ifade eden şematik gösterimler ve kesitler bu biyolojik verilerin tasarımlara aktarımlarında izlenecek yol için bir fikir vermektedir. Fakat uygun çözüm potansiyellerinin seçilmesi için yeterli değildir. Burada ulaşılan çözüm potansiyellerinin çokluğu çalışmanın amacına yönelik olmasına karşın verilerin fazla olması sebebiyle tasarıma aktarılabilecek stratejileri seçme konusunda bir zorluğu da beraberinde getirmiştir. Bu bağlamda verileri sistematik bir şekilde düzenlemek amacıyla, ulaşılan biyolojik fenomenler 7 farklı kategori üzerinden sınıflandırılarak incelenmiş ve bir matris çizelgesi ile analiz edilmiştir. Belirlenen 7 kategorinin her biri, su dengesini sağlamaya yönelik 4 farklı işlev üzerinden değerlendirilmiştir. Bu işlevler çalışmada yapı kabuğunda su dengesiyle ilgili sağlanmak istenilen işlevlerle aynı olarak seçilmiştir. Böylece işlevsel benzerlik kullanılarak mimariye veri aktarımı kolaylaştırılmıştır. Daha sonra tüm kategorilerde çoğunluk sağlayan özellikler belirlenerek her bir işlev için hangi özelliklerin en etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda en başta karmaşık olan veriler, işleve yönelik ana özelliklere indirgenerek tasarıma soyutlanabilecek stratejiler netlik kazanmıştır. Bu doğrultuda doğal dil işleme yöntemiyle yapılacak gelecek araştırmalarda bu çalışmada uygulanan matrisin kullanılması, verilerin tasarımda soyutlanabilir duruma getirilmesinde faydalı olacaktır.

Çalışmada biyolojik veriler sistematik bir düzene getirildikten sonra buradan elde edilen ana prensiplerin mimari tasarımlara olası soyutlamaları tespit edilmiştir. Tasarım soyutlamaları ve işlevlere yönelik baskın özelliklerin incelenerek yapı kabuğunda su kazancı sağlama amacına yönelik biyolojik fenomen canlılar seçilmiştir. Bu doğrultuda seçilen canlıların su kazanımı, suyun iletimi, suyun korunması ve depolanmasıyla ilgili stratejileri soyutlanarak örnek bir biyomimetik mimari kabuk tasarımı geliştirilmiştir. Örnek tasarım modeli kavramsaldir. Gelecekteki çalışmalarda bu şekilde oluşturulan kavramsal tasarım konseptlerinin uygulanabilirliği test edilerek geliştirilebilir.

Sonuç olarak bu tez çalışması kapsamında gelecekteki çalışmalara ışık tutması amacıyla tasarım soyutlamaları ve işlevlere yönelik baskın özellikler doğrultusunda yapı kabuğunda su kazancı sağlamaya yönelik örnek bir model önerisi sunulmuştur. Araştırma bulguları bölümündeki bu metodoloji kullanılarak çok sayıda su kazancı sağlayan biyomimetik yapı kabuğu konsepti geliştirmek mümkündür.

Özetle doğa, belirlenen problemin çözümü için çok geniş çözüm olanakları sunmaktadır. Bu bağlamda doğa esinli/ biyo-bilgili yenilikçi yöntemlerin daha sürdürülebilir çevreler tasarlamak için gelecekteki mimari çalışmalarda kullanılması faydalı olacaktır. Bu doğrultuda biyoloji disiplininde araştırmalar yaparken doğru verileri elde edebilmek için doğal dil işleme yöntemini uygulanmanın pratik bir yol olduğu ve çözüm potansiyeli barındıran uygun tüm biyolojik bilgilere ulaşılmasını sağladığı gözlemlenmiştir. Verilere ulaşıldıktan sonraki adımda doğal dil işleme yönteminin sağladığı çok sayıda biyolojik strateji olduğu görülecektir. Bu stratejilerden mimari tasarımlara aktarım yapılabilecek özelliklerin netlik kazanması için çalışmada uygulanan metodoloji önerilmektedir. Tez çalışması kapsamında uygulanan metodoloji ısıl düzenleme, hava filtresi ve doğal ışığın kontrol edilmesi gibi farklı tasarım problemleri için de uygulanabilir ve bu şekilde farklı tasarım problemlerine ait biyomimetik tasarımlar geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Arslan Selçuk, S., ve Gönenç Sorguç, A. (2007). Mimarlık tasarımı paradigmasında biomimesis'in etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 451-459.
- Arslan Selçuk, S., ve Mutlu Avinç, G. (2018). *Antroposentrikten ekosentriğe mimarinin değişimi dönüşümü ve ekomimetik kentler*. ISUEP2018 Uluslararası Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu: Değişim/Dönüşüm/Özgünlük, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Aslan, D. (2019). *Binalar aracılığıyla yağmur suyu toplama stratejilerine biyomimetik bir yaklaşım*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Attenborough, D. (1995). *The private life of plants: a natural history of plant behaviour*. (First edition). London: BBC Books, 278.
- Aziz, M. S., ve El Sherif, A. Y. (2016). Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 707-714.
- Badarnah Kadri, L. (2012). *Towards the living envelope: biomimetics for building envelope adaptation*, Doctoral Dissertation, Delft University of Technology, Delft, Holland.
- Badarnah, L. (2016). Water management lessons from nature for applications to buildings. *Procedia Engineering*, 145, 1432-1439.
- Badarnah, L. (2017). Form follows environment: biomimetic approaches to building envelope design for environmental adaptation. *Buildings*, 7(2), 40.
- Badarnah, L., ve Kadri, U. (2015). A methodology for the generation of biomimetic design concepts. *Architectural Science Review*, 58(2), 120-133.
- Barker, G. M. (1999). *Naturalised terrestrial stylommatophora (mollusca: gastropoda)*. Lincoln: Manaaki Whenua Press, 29-31.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. New York: Harper Collins Publishers, 23-47.
- Bozkurt, C. (2010). *Kinetik sistemlerle çalışan biyomimetik bir kentsel donatı tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Burkhardt, B. (2016). Natural structures-the research of Frei Otto in natural sciences. *International Journal of Space Structures*, 31(1), 9-15.
- Chiu, I., ve Shu, L. (2007). Biomimetic design through natural language analysis to facilitate cross-domain information retrieval. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AI EDAM*, 21(1), 45.

- Collins, P. (1998). *Changing ideals in modern architecture, 1750-1950*. (Second edition). London: McGill-Queen's University Press, 155-156.
- Düzgün, H. (2016). *Güncel mimarlık ortamında kabuk - bağlam ilişkisinin sorgulanması*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eggermont, M. (2007). *Biomimetics as problem-solving, creativity and innovation tool*. Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEAA), Manitoba.
- French, J., Shiday, B. A. (2011). Biomimicry of termite social cohesion and design to inspire and create sustainable systems. In L. D. Pramatarova (Eds.), *On Biomimetics*. London, 577-582.
- Friedman, C., Kra, P., ve Rzhetsky, A. (2002). Two biomedical sublanguages: a description based on the theories of Zellig Harris. *Journal of Biomedical Informatics*, 35(4), 222-235.
- Gentner, D., ve Holyoak, K. J. (1997). Reasoning and learning by analogy: introduction. *American psychologist*, 52(1), 32.
- Gorb, S. N., ve Gorb, E. V. (2018). *Functional surfaces in biology iii: diversity of the physical phenomena*. Kiel: Springer Cham, 94-103.
- Gould, J. L., ve Gould, C. G. (2012). *Animal architects: building and the evolution of intelligence*. New York: Basic Books, 2-138.
- Gruber, P. (2011). *Biomimetics in architecture*. New York: Springer, 13-14.
- Gruber, P., ve Gosztonyi, S. (2010). Skin in architecture: towards bioinspired facades. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 138, 503-513.
- Guadarrama Cetina, J., Mongruel, A., Medici, M. G., Baquero, E., Parker, A. R., Milimouk-Melnitchuk, I., González Viñas, W., ve Beysens, D. (2014). Dew condensation on desert beetle skin. *The European Physical Journal E*, 37(11), 109.
- Gül, F. (2013). İnsan-doğa ilişkisi bağlamında çevre sorunları ve felsefe. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (14), 17-21.
- Günaydın, C. (2019). *A model to interpret bio-inspired design and its impact on design curricula*, Doctoral Dissertation, Izmir Institute of Technology, Izmir.
- Gündüz, E. (2019). *Mimaride doğayı temel alan tasarım yaklaşımları izleği*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hansell, M. (2005). *Animal architecture*. New York: Oxford University Press, 931-934.
- Helms, M., Vattam, S. S., ve Goel, A. K. (2009). Biologically inspired design: process and products. *Design Studies*, 30(5), 606-622.
- Hogarth, P. J. (1999). *The biology of mangroves*. New York: Oxford University Press, 102.

- Hwang, J., Jeong, Y., Park, J. M., Lee, K. H., Hong, J. W., ve Choi, J. (2015). Biomimetics: forecasting the future of science, engineering, and medicine. *International Journal of Nanomedicine*, 10, 5701.
- Imani, M. (2017). Bio-inspired design approach analysis: a case study of Antoni Gaudi and Santiago Calatrava. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Architectural and Environmental Engineering*, 11(8), 1152-1162.
- İnternet: Art Term Biomorphic. URL-1: <https://www.tate.org.uk/art/art-terms/b/biomorphic>. Erişim Tarihi: 03.05.2020.
- İnternet: Definition of bionics. URL-2: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/bionics#h1>. Erişim Tarihi: 04.05.2020.
- İnternet: Portcullis House. URL-3: <https://www.hopkins.co.uk/projects/5/100/>. Erişim Tarihi: 11.06.2020.
- İnternet: Portcullis House. URL-4: <https://www.archiweb.cz/en/b/portcullis-house>. Erişim Tarihi: 11.06.2020.
- İnternet: Pearce, M. (1996). Passively Cooled Building Inspired by Termite Mounds. URL-5: <https://asknature.org/idea/eastgate-centre/>. Erişim Tarihi: 12.06.2020.
- İnternet: Mound Facilitates Gas Exchange: Mound-building Termites. URL-6: <https://asknature.org/strategy/mound-facilitates-gas-exchange/>. Erişim Tarihi: 12.06.2020.
- İnternet: Sainte-Chapelle. URL-7: https://en.wikipedia.org/wiki/Sainte-Chapelle#/media/File:Sainte_Chapelle_-_Upper_level_1.jpg. Erişim Tarihi: 14.06.2020.
- İnternet: King's College Chapel, Cambridge. URL-8: https://en.wikipedia.org/wiki/King%27s_College_Chapel,_Cambridge#/media/File:Cambridge_King's_College_Chapel_Vault.jpg. Erişim Tarihi: 14.06.2020.
- İnternet: Sagrada Familia. URL-9: <https://tr.pinterest.com/pin/479914904013114267/>. Erişim Tarihi: 16.06.2020.
- İnternet: La Sagrada Familia. URL-10: <https://erasmusu.com/tr/erasmus-barcelona/gidilecek-yerler/la-sagrada-familia-9646>. Erişim Tarihi: 16.06.2020.
- İnternet: Park Güell. URL-11: <https://www.casabatllo.es/antoni-gaudi/park-guell/>. Erişim Tarihi: 17.06.2020.
- İnternet: Casa Milà URL-12: https://en.wikipedia.org/wiki/Casa_Mil%C3%A0#/media/File:Casa_Mila_Rooftop.jpg. Erişim Tarihi: 17.06.2020.

İnternet: AD Classics: The Crystal Palace. URL-13: <https://www.archdaily.com/397949/ad-classic-the-crystal-palace-joseph-paxton/51d4964db3fc4b9e0f0001cf-ad-classic-the-crystal-palace-joseph-paxton-image>. Erişim Tarihi: 18.06.2020.

İnternet: Eyfel Kulesi. URL-14: https://tr.wikipedia.org/wiki/Eyfel_Kulesi#/media/Dosya:Paris_06_Eiffelturm_4828.jpg. Erişim Tarihi: 18.06.2020.

İnternet: Mannheim Multihalle. URL-15: <https://www.arkitektuel.com/mannheim-multihalle/>. Erişim Tarihi: 20.06.2020.

İnternet: Milwaukee Art Museum. URL-16: <https://www.arch2o.com/milwaukee-art-museum-calatrava/>. Erişim Tarihi: 20.06.2020.

İnternet: Yesterday's Future: Visionary Designs by Future Systems and Archigram. URL-17: https://www.archdaily.com/786504/yesterdays-future-visionary-designs-by-future-systems-and-archigram?ad_medium=gallery. Erişim Tarihi: 22.06.2020.

İnternet: Biomimicry Architecture. URL-18: <https://parametrichouse.com/biomimicry-architecture-3/>. Erişim Tarihi: 25.06.2020.

İnternet: Esplanade Architecture. URL-19: <https://www.esplanade.com/architecture>. Erişim Tarihi: 25.06.2020.

İnternet: Singapore Art Centre. URL-20: <https://www.atelierone.com/singapore-arts-centre/>. Erişim Tarihi: 25.06.2020.

İnternet: Beijing National Stadium. URL-21: <https://beijingbirdsnest.wordpress.com/architecture/architechural-influence/>. Erişim Tarihi: 26.06.2020.

İnternet: One Ocean, Thematic Pavilion EXPO 2012. URL-22: <https://www.archdaily.com/236979/one-ocean-thematic-pavilion-expo-2012-soma>. Erişim Tarihi: 27.06.2020.

İnternet: SolarLeaf. URL-23: <https://www.arup.com/projects/solar-leaf>. Erişim Tarihi: 28.04.2022.

İnternet: SolarLeaf: Algae bio-reactive façade. URL-24: <https://www.morethangreen.es/en/solarleaf-solar-leaf-algae-bio-reactive-facade/>. Erişim Tarihi: 28.04.2022.

İnternet: The Bioenergy Facade. URL-25: <https://www.arup.com/projects/bioenergy-facade>. Erişim Tarihi: 28.04.2022.

İnternet: livMatS Pavilion 2020-21. URL-26: <https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/icd-itke-research-pavilions/livMatS-pavilion-2020-21/>. Erişim Tarihi: 03.05.2022.

İnternet: TDK. URL-27: <https://sozluk.gov.tr/>. Erişim Tarihi: 29.06.2020.

- İnternet: Biomimicry Museum. URL-28: <http://www.exploration-architecture.com/projects/biomimicry-museum>. Erişim Tarihi: 25.11.2020.
- İnternet: Seawater Greenhouse. URL-29: <https://seawatergreenhouse.com/australia-1>. Erişim Tarihi: 01.12.2020.
- İnternet: Las Palmas Water Theatre. URL-30: <http://www.exploration-architecture.com/research/las-palmas-water-theatre>. Erişim Tarihi: 01.12.2020.
- İnternet: The Biomimetic Office Building. URL-31: <http://www.exploration-architecture.com/projects/biomimetic-office-building>. Erişim Tarihi: 01.12.2020.
- İnternet: Lindsay, C. (2020). Biomimicry enables architects to make positive impact on the environment says Michael Pawlyn. URL-32: <https://www.dezeen.com/2020/10/22/michael-pawlyn-exploration-architecture-dassault-systemes-video/>. Erişim Tarihi: 01.12.2020.
- İnternet: Sahara Forest Project ve Pilot Facility. URL-33: <http://www.exploration-architecture.com/projects/sahara-forest-project>. Erişim Tarihi: 03.12.2020.
- İnternet: The Beetles That Drink Water From Air. URL-34: <https://asknature.org/strategy/water-vapor-harvesting/#jp-carousel-8302>. Erişim Tarihi: 21.11.2020.
- İnternet: Renewable Water for Sustainable Food. URL-35: <https://nexloop.us/>. Erişim Tarihi: 03.12.2020.
- İnternet: Warka Tower. URL-36: <https://www.warkawater.org/warkatower/>. Erişim Tarihi: 06.12.2020.
- İnternet: Hobson, B. (2016). Arturo Vittori's Warka Water Towers Harvest Clean Drinking Water from the Air. URL-37: <https://www.dezeen.com/2016/11/10/video-interview-arturo-vittori-warka-water-tower-ethiopia-sustainable-clean-drinking-water-movie/>. Erişim Tarihi: 06.12.2020.
- İnternet: Warka Tower. URL-38: <https://www.warkawater.org/ethiopia/>. Erişim Tarihi: 06.12.2020.
- İnternet: Rain Bellow. URL-39: <https://aasarchitecture.com/2017/05/winners-innovation-inspired-nature-elevens-international-biomimicry-competition.html/>. Erişim Tarihi: 08.12.2020.
- İnternet: Rain Bellow. URL-40: <https://forterra.org/editorial/what-would-nature-do/attachment/rain-bellows>. Erişim Tarihi: 08.12.2020.
- İnternet: Ultra-absorbent Feather Structure Carries Water: Sandgrouse. URL-41: <https://asknature.org/strategy/ultra-absorbent-feather-structure-carries-water-2/#jp-carousel-90307>. Erişim Tarihi: 03.01.2021.

- Joanis, E., ve Stevenson, S. (2003). *A general feature space for automatic verb classification* Proceedings of the tenth conference on European chapter of the Association for Computational Linguistics, Budapest, Hungary.
- Ju, J., Bai, H., Zheng, Y., Zhao, T., Fang, R., ve Jiang, L. (2012). A multi-structural and multi-functional integrated fog collection system in cactus. *Nature Communications*, 3(1), 1247.
- Karin, K., Martha, P., ve Owen, R. (2002). *Extending PropBank with VerbNet semantic predicates*. AMTA-2002 Workshop, Tiburon, CA.
- Katifori, E. (2018). The transport network of a leaf. *Comptes Rendus Physique*, 19(4), 244-252.
- Knippers, J., Schmid, U., ve Speck, T. (2019). *Biomimetics for architecture learning from nature*. Basel: Birkhauser Architecture, 8-15.
- Koch, K., ve Barthlott, W. (2009). Superhydrophobic and superhydrophilic plant surfaces: an inspiration for biomimetic materials. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1893), 1487-1509.
- Lehn, J. M., ve Benyus, J. (2012). *Bioinspiration and biomimicry in chemistry: reverse-engineering nature*. New Jersey: John Wiley and Sons, 1-2.
- Liang, F., Liang, Y., ve Li, J. (2014). Information-based development trend of building skin design. *Leonardo*, 47(2), 173.
- Lienhard, J., Schleicher, S., Poppinga, S., Masselter, T., Milwich, M., Speck, T., ve Knippers, J. (2011). Flectofin: a hingeless flapping mechanism inspired by nature. *Bioinspiration and Biomimetics*, 6(4), 1-7.
- Lillywhite, H. B., ve Sanmartino, V. (1993). Permeability and water relations of hygroscopic skin of the file snake, *acrochordus granulatus*. *Copeia*, 1993(1), 99-103.
- Lindemann, U., ve Gramann, J. (2004). *Engineering design using biological principles*. Design Society 32: Proceedings of Design 2004, the 8th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia.
- Liu, M., Wang, S., ve Jiang, L. (2017). Nature-inspired superwettability systems. *Nature Reviews Materials*, 2(7), 1-17.
- Maglic, M. J. (2012). *Biomimicry: Using nature as a model for design*, Master Thesis, University of Massachusetts Amherst, Massachusetts.
- Martins, A. F., Bennett, N. C., Clavel, S., Groenewald, H., Hensman, S., Hoby, S., Joris, A., Manger, P. R., ve Milinkovitch, M. C. (2018). Locally-curved geometry generates bending cracks in the African elephant skin. *Nature Communications*, 9(1), 3865.
- Mazzoleni, I. (2013). *Architecture follows nature-biomimetic principles for innovative design*. Florida: CRC Press Taylor and Francis Group, 1-178.

- McAdams, D. A., ve Wood, K. L. (2000). *Quantitative measures for design by analogy*. International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Maryland, USA.
- Miller, G. A., Beckwith, R., Fellbaum, C., Gross, D., ve Miller, K. (1993). Introduction to WordNet: an on-line lexical database. *International Journal of Lexicography*, 3(4), 235-244.
- Minsolmaz Yeler, G. (2012). *Mimarlıkta biyomorfizm*, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Mohamed, N. A., Bakr, A. F., ve Hasan, A. E. (2019). Energy efficient buildings in smart cities: biomimicry approach. Real Corp 2019–Is This The Real World? Perfect Smart Cities vs. Real Emotional Cities. Proceedings of 24th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society, Karlsruhe.
- Mutlu Avinç, G., ve Arslan Selçuk, S. (2019). Mimari tasarımda biyomimetik yaklaşımlar: pavyonlar üzerine bir araştırma. *Online Journal of Art and Design*, 7(2), 92-107.
- Mutlu Avinç, G., ve Arslan Selçuk, S. (2020). Geçmişten günümüze yapı tasarımında doğa temelli paradigmatik değişimler., Yılmaz Polat, B. (Editör). *Gelenekselden moderne yapı tasarımı ve malzemesi*. Ankara. İksad Yayınları, 3-38.
- Nachtigall, W. (2010). *Bionik als Wissenschaft: Erkennen-Abstrahieren-Umsetzen*. Berlin: Springer-Verlag, 135-139.
- Nkandu, M. I., ve Alibaba, H. Z. (2018). Biomimicry as an alternative approach to sustainability. *Architecture Research*, 8(1), 1-11.
- Orman, B. (2013). Art Nouveau and Gaudí: the way of nature. *JCCC Honors Journal*, 4(1), 2.
- Özerkmen, N. (2017). İnsan merkezli çevre anlayışından doğa merkezli çevre anlayışına. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 42(1-2), 167-185.
- Panchuk, N. (2006). *An exploration into biomimicry and its application in digital ve parametric architectural design*, Master's Thesis, University of Waterloo, Waterloo.
- Pasic, A. (2014). *Rethinking technical biology in architecture*, Master's Thesis, Technical University Graduate School of Science Engineering and Technology, Istanbul.
- Pawlyn, M. (2016). *Biomimicry in architecture*. Newcastle upon Tyne: RIBA Publishing, 11-127.
- Pierce, S., Maxwell, K., Griffiths, H., ve Winter, K. (2001). Hydrophobic trichome layers and epicuticular wax powders in Bromeliaceae. *American Journal of Botany*, 88(8), 1371-1389.
- Pohl, G., ve Nachtigall, W. (2015). *Biomimetics for architecture ve design: nature-analogies-technology*. Heidelberg: Springer, 1-2.

- Prakash, M., Quéré, D., ve Bush, J. W. (2008). Surface tension transport of prey by feeding shorebirds: the capillary ratchet. *Science*, 320(5878), 931-934.
- Prakash, N., ve Sharma, P. (2017). Biomimicry: a pathway to sustainable built environment. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, 4(3), 233-238.
- Radwan, G. A., ve Osama, N. (2016). Biomimicry, an approach, for energy efficient building skin design. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 178-189.
- Rankouhi, A. (2012). *Naturally inspired design investigation into the application of biomimicry in architectural design*, Master Thesis, Graduate School Department of Architecture, The Pennsylvania State University.
- Rebholz-Schuhmann, D., Kirsch, H., ve Couto, F. (2005). Facts from text is text mining ready to deliver? *Plos Biology*, 3(2), 65.
- Rijke, A. (1972). The water-holding mechanism of sandgrouse feathers. *Journal of Experimental Biology*, 56(1), 195-200.
- Sadava, D., Hillis, D. M., Heller, H. C., ve Berenbaum, M. R. (2014). *Yaşam biyoloji bilimi* (çev. E. Gündüz ve İ. Türkan). Palme Yayınevi - Akademik Kitaplar (Eserin orijinali 2009'da yayımlandı), 11-1286.
- Schulte-Merker, S., Sabine, A., ve Petrova, T. V. (2011). Lymphatic vascular morphogenesis in development, physiology, and disease. *Journal of Cell Biology*, 193(4), 607-618.
- Sherbrooke, W. C. (1993). Rain-drinking behaviors of the australian thorny devil (sauria: agamidae). *Journal of Herpetology*, 27(3), 270-275.
- Shu, L., ve Cheong, H. (2014). A Natural language approach to biomimetic design. In *Biologically inspired design*. London: Springer, 29-61.
- Spasić, I., Nenadić, G., ve Ananiadou, S. (2003). *Using domain-specific verbs for term classification*. Association for Computational Linguistics 2003 Workshop on Natural Language Processing in Biomedicine, Sapporo, Japan.
- Speck, O., ve Speck, T. (2019). An Overview of bioinspired and biomimetic self-repairing materials. *Biomimetics*, 4(1), 1-34.
- Speck, T., Poppinga, S., Speck, O., ve Tauber, F. (2021). Bio-inspired life-like motile materials systems: Changing the boundaries between living and technical systems in the Anthropocene. *The Anthropocene Review*, 9(2), 237-256.
- Speck, T., Speck, O., Beheshti, N., ve McIntosh, A. (2008). Process sequences in biomimetic research. *Design and Nature IV*, 114, 3-11.
- Stone, R. B., ve Wood, K. L. (2000). Development of a functional basis for design. *Journal of Mechanical Design*, 122(4), 359-370.

- Tracy, C. R., Laurence, N., ve Christian, K. A. (2011). Condensation onto the skin as a means for water gain by tree frogs in Tropical Australia. *The American Naturalist*, 178(4), 553-558.
- Türk, Z. B. (2019). *Sürdürülebilir mimarlık için doğadan öğrenilen yaklaşımlar: doğa esinli fikirlerin bina kabuğuna etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Wilkinson, P. (2010). *50 architecture ideas you really need to know*. London: Quercus Books, 122-130.
- Yedekçi, G. (2015). *Doğayla tasarlamak: biyomimikri ve geleceğin mimarlığı*. İstanbul: Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, 105-116.
- Yowell, J. (2011). *Biomimetic building skin: a phenomenological approach using tree bark as model* citseser, Master's Thesis, University of Oklahoma Graduate College, Oklahoma.
- Zardini, M. (1996). *Santiago Calatrava: Secret Sketchbook*. New York: Monacelli Press.
- Zari, M. P. (2007). *Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability*. The Sustainable Building Conference (SB07 NZ), New Zealand.
- Zejniliovic, E., ve Husukic, E. (2015). Biomimicry in Architecture. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(7), 78.



GAZİ GELECEKTİR..