



**BİNALAR ARACILIĞIYLA YAĞMUR SUYU TOPLAMA
STRATEJİLERİNE BİYOMİMETİK BİR YAKLAŞIM**

Duygunur ASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Duygunur ASLAN tarafından hazırlanan “BİNALAR ARACILIĞIYLA YAĞMUR SUYU TOPLAMA STRATEJİLERİNE BİYOMİMETİK BİR YAKLAŞIM” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Başkan: Prof. Dr. Cüneyt KURTAY

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Üye: Doç. Dr. Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 25/06/2019

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Duygunur ASLAN

25/06/2019

BİNALAR ARACILIĞIYLA YAĞMUR SUYU TOPLAMA STRATEJİLERİNE BİYOMİMETİK BİR YAKLAŞIM

(Yüksek Lisans Tezi)

Duygunur ASLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Su, alternatifi bulunmayan, sınırlı, stratejik bir yaşam kaynağıdır ve güvenli suya erişim canlılar için yaşamsal gerekliliktir. Bulduğumuz yüzyılda küresel ısınma, kirlilik, iklim değişikliği ve nüfusun eksponansiyel olarak artması gibi sebeplerle su kaynakları geri dönüşümü mümkün olmayan şekilde tükenmeye başlamıştır. İnsanoğlunun suyun sınırsız olmadığı gerçeğiyle yüzleşmesiyle birlikte birçok farklı disiplinde suyun sürdürülebilir şekilde kazanımı önemli bir konu haline gelmiştir. Bu bağlamda, su tüketimi konusunda önemli miktarda payı olduğu bilinen “yapılar” suyun kazanımı ve etkin kullanımı için çözüm arayışları sürecinde “su hasadı” yöntemiyle alternatif bir çözüm olarak gündeme gelmeye başlamıştır. Diğer taraftan “doğa” kısıtlı olan su kaynaklarını sürdürülebilir yöntemlerle kullanmayı başaran birçok bitki ve hayvan türleri ile potansiyel su kaynakları hakkında ipuçları sunarak “su hasadı” konusunda yenilikçi çözümler barındırmaktadır. Bu bağlamda araştırma “Doğada suyu çeşitli yöntemlerle sürdürülebilir şekilde elde ederek kullanmayı başaran canlılar tarafından geliştirilen su hasadı stratejileri biyomimetik yaklaşımlarla bina tasarımlarına aktarılabilir mi ve kendi suyunu kazanabilen binalar tasarlamak mümkün müdür?” sorusunu cevaplamak üzere planlanmıştır. Bu doğrultuda çalışma yapıları çevrelerde suyun sürdürülebilir şekilde kullanımına bir katkı sağlamak amacıyla binalar aracılığı ile su hasadı konusuna odaklanmış ve geleneksel yöntemlerle yapılan su hasadı araştırılmıştır. Biyomimetik yaklaşımların mimarideki potansiyelleri göz önünde bulundurulduğunda su hasadı konusunda da olası potansiyelleri anlamak amacıyla doğada su elde etmeyi başaran canlılar araştırılmıştır. Son olarak su hasadı konusunda gerçekleştirilen biyomimetik yapı tasarımları incelenmiş ve 6 bina ile birlikte çeşitli yüzey tasarımları detaylı olarak irdelenmiştir. Verilerin düzenlenmesi ile elde edilen değerlendirme çizelgeleri aracılığıyla araştırmanın sonucunda biyomimetik tasarım yöntemleri ve doğadan elde edilen öğretiler doğrultusunda binalar aracılığı ile etkin su hasadı yöntemlerinin geliştirilebileceği görülmüştür.

Bilim Kodu : 80117
Anahtar Kelimeler : Su hasadı, yağmur suyu hasadı, biyomimesis, biyomimetik mimarlık
Sayfa Adedi : 103
Danışman : Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

BIOMIMETIC APPROACH TO RAINWATER HARVESTING STRATEGIES
THROUGH THE USE OF BUILDING

(M. Sc. Thesis)

Duygunur ASLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

Water is a limited, strategic source of life with no alternative, and access to safe water is a common vital necessity for all living things. In today's world, global warming, environmental pollution, climate change and exponential increase of world population have necessitated more water use; the water resources have started to decrease, and the sustainability of water resources has become a critical issue. As humans are faced with the fact that the water resources are limited, the sustainable acquisition and conservation of water has become an important issue in many disciplines. In this context, "buildings" known to have a significant share in water consumption have begun to come up as an alternative solution with the "water harvesting" method in the process of seeking solutions for the recovery and efficient use of water. On the other hand, "nature" offers innovative solutions for "water harvesting" with many plant and animal species that are able to use limited water resources in sustainable ways. In this context, the research focuses on these questions "Can water harvesting strategies developed by living beings that manage to obtain the water they need in a sustainable way by various methods be transferred to building designs with biomimetic approaches? And "Is it possible to design buildings that can harvest their own water?" In this respect, the study focused primarily on water harvesting through buildings in order to make a contribution to the sustainable use of water in built environments and water harvesting by traditional methods have been investigated. Considering the potentials of biomimetic approaches in architecture, living organisms that have been able to obtain water with various techniques in nature have been searched in order to realize the potentials of water harvesting in nature. Finally, biomimetic building designs on water harvesting are analyzed with 6 buildings and various surface designs are examined in detail. As a result of the research, through the assessment of tables obtained by the analysis of data, it has been seen that effective water harvesting methods through buildings can be developed in line with the biomimetic design methods and teachings obtained from nature.

Science Code : 80117
Key Words : Water harvesting, rainwater harvesting, biomimesis, biomimetic architecture
Page Number : 103
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca bilgi, deneyim ve yönlendirmeleri ile araőtırmama yn verip, yol gösteren, katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen, anlayıőlı yaklaşımıyla çalıőmalarım konusunda beni her zaman cesaretlendiren çok kıymetli danıőmanım Sn. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a teőekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca varlığı ile bana g veren, maddi manevi emek ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen canım annem Neőe Gl KOÇ'a, her daim çalıőkanlıėıyla bana rol model olan canım babam Dr. Ayhan KOÇ'a ve pozitif enerjisiyle her zaman bana destek olan yol arkadaőım Ali Burak ASLAN'a en içten duygularımla teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE	5
2.1.Mimarlık Alanında Doğa Esinli Tasarımlar ve Biyomimesis	5
2.1.1. Biyomimesis nedir ve nasıl çalışır?	5
2.1.2. Biyomimetik yaklaşımlar	7
2.1.3. Mimarlıkta biyomimesis kullanımı ve yenilikçi çözümler.....	15
2.2.Yapılı Çevrelerde Su Hasadı Yöntemleri	26
2.2.1. Atmosferik su hasadı	27
2.2.2. Deniz suyu hasadı.....	28
2.2.3. Yeraltı suyu hasadı	28
2.2.4. Yağmur suyu hasadı	29
3. MATERYAL VE METHOD	59
4. DOĞA ESİNLİ SU TOPLAMA STRATEJİLERİ.....	61
4.1. Doğadaki Canlıların Su Yönetimi Stratejileri	61
4.1.1. Namib çöl böceği (<i>Stenocara</i>)	62
4.1.2. Molok kertenkelesi (<i>Moloch Horridus</i>)	63

	Sayfa
4.1.3. Örümcek ağı	64
4.1.4. Diken inciri kaktüsü (<i>Opuntia Microdasys</i>).....	65
4.1.5. Buz çiçeği (<i>Mesembryanthemum Crystallinum</i>).....	66
4.1.6. Çalı (<i>Cotula fallax</i>).....	67
4.1.7. Stoma.....	67
4.2. Biyomimesis ve Yapılar Aracılığı ile Yenilikçi Su Toplama Yaklaşımları.....	71
4.2.1. Las Palmas Water Theatre	71
4.2.2. Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi.....	72
4.2.3. AquaWeb.....	73
4.2.4. Warka Tower.....	74
4.2.5. Rain Bellows	75
4.2.6. Habitat 2020 China	76
4.2.7. Çeşitli yüzey tasarımları.....	77
5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	79
6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	91
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Mimarlık ve biyomimesis ilişkisinin tarihsel gelişimini gösteren özet tablo	25
Çizelge 2.2. Yağmur suyu hasadı yöntemleri.....	56
Çizelge 4.1. Doğadaki canlıların su yönetimi stratejileri özet tablosu.....	69
Çizelge 4.2. Su yönetimi yapan canlıların özet analiz tablosu.....	70
Çizelge 5.1. Namibya böceğinden esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım	83
Çizelge 5.2. Namibya böceğinden esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım	84
Çizelge 5.3. Örümcek ağı ve buz çiçeği bitkisinden esinlenerek geliştirilmiş olan biyomimetik tasarım.....	85
Çizelge 5.4. Örümcek ağı ve Namibya böceğinden esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım.....	86
Çizelge 5.5. Buz çiçeği bitkisinden esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım	87
Çizelge 5.6. Bitki yaprağından esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım	88
Çizelge 5.7. Namibya böceği ve molok kertenkelesinden esinlenerek geliştirilmiş olan tasarım	89
Çizelge 5.8. Kaktüsten esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım	90
Çizelge 6.1. Değerlendirme tablosu	92

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Biyolojiye bakan (problem odaklı) tasarım yaklaşım	7
Şekil 2.2. Biyoloji esinli (çözüme dayalı) tasarım yaklaşımı	8
Şekil 2.3. Kutu balığından esinlenerek tasarlanan biyonik otomobil.....	9
Şekil 2.4. Gül kelebeğinin kanadından esinlenerek geliştirilen güneş pili	10
Şekil 2.5. Venüs çiçeğinden esinlenerek tasarlanan Gherkin Tower binası	11
Şekil 2.6. Termit karınca höyüğünün iklimlendirme prensiplerinden esinlenerek tasarlanan Portcullis House Binası ve havalandırma sisteminin şematik gösterimi	13
Şekil 2.7. Zira Adası görünümü.....	14
Şekil 2.8. Acanthus bitkisini taklit ederek yapılan bezemeler.....	15
Şekil 2.9. Casa Batllo binasının kemik biçimli pencere elemanları ve sürüngenlerin derisini taklit eden çatısı.....	17
Şekil 2.10. Amazon nilüferinden esinlenerek tasarlanan Crystal Palace binası.....	18
Şekil 2.11. Gözün biçimi ve işlevinden esinlenerek tasarlanan Planetaryum yapısı.....	20
Şekil 2.12. (a) Sabun köpüğü deneyi, (b,c) Dalga pavyonu görünümü.....	21
Şekil 2.13. (a) Radiolarian'ın mikroskopik görüntüsü, (b,c) B.Fuller tarafından Radiolarian organizmasının iskelet yapısından esinlenerek tasarladığı jeodezik kubbe.....	22
Şekil 2.14. Kaktüs bitkisinde ilham alınarak tasarlanan Doha Tarım Bakanlığı Binası.	23
Şekil 2.15. (a) Etiyopya'da uygulanan çatı suyu toplama uygulaması örneği, (b,c) Gana'da uygulanan çatı suyu toplama.....	38
Şekil 2.16. (a, b) Kund ve Tanka görünümü, yağmur suyu toplama şematik gösterimi	39
Şekil 2.17. (a) Rajasthan, Hindistan'da bulunan basamaklı su kuyusu örneğinin görünümü, (b, c) basamaklı su kuyusunun planı ve kesiti	40
Şekil 2.18. Talab görünümü, Racastan/Hindistan	41
Şekil 2.19. Berkad görünümü	42
Şekil 2.20. (a) Khadin görünümü, (b) Yağmur suyu toplama şematik gösterimi.....	42

Şekil	Sayfa
Şekil 2.21. (a) Winrock International Building genel görünümü, (b) Yağmur suyu toplama sistemi.....	44
Şekil 2.22. (a) Philip Merrill genel görünümü, (b) Philip Merrill'in yağmur suyu depolama tankları, (c) Yağmur suyu toplama sistemi.....	45
Şekil 2.23. (a) Heifer International genel görünümü, (b) Yağmur suyu kulesi.....	46
Şekil 2.24. (a) Prisma Nurenberg Genel Görünümü, (b) Prisma Nurenberg İç Mekân Görünümü, (c) Yağmur suyu toplama sistemi.....	47
Şekil 2.25. (a) The Solaire binasının genel görünümü, (b) The Solaire binasının yeşil çatısı, (c) Yağmur suyu toplama sistemi.....	48
Şekil 2.26. Wendell Wyatt Federal Building genel görünümü ve yağmur suyu toplama sisteminin şematik gösterimi.....	49
Şekil 2.27. (a, b) Shanghai Tower genel görünümü, (c) Yağmur suyu toplama şematik gösterimi.....	50
Şekil 2.28. (a) Velodrome genel görünümü, (b) Yağmur suyu toplama oluşu.....	51
Şekil 2.29. (a) Potsdamer Platz'ın genel görünümü, (b) Yağmur suyu toplama sistemi şematik gösterimi.....	52
Şekil 2.30. (a) Rain Skycraper genel görünümü, (b) Cepheye bulunan yağmur suyu toplama olukları, (c) Yağmur suyu toplama sistemi şematik gösterimi.....	53
Şekil 2.31. (a) Concave roof genel görünümü, (b) iç bükey çatıların görünümü, (c) Yağmur suyu toplama sistemi şematik gösterimi.....	54
Şekil 4.1. (a) Namibya çöl böceği, (b) Sırt kabuğu detayı, (c) su hasadı gösterimi.....	63
Şekil 4.2. (a) Molok kertenkelesi, (b) Cilt yapısı detayı, (c) Su hasadı gösterimi.....	63
Şekil 4.3. (a) Örümcek ağı, (b) Örümcek ağı detayı, (c) Lif yapısının gösterimi.....	65
Şekil 4.4. (a) Diken inciri kaktüsü, (b) bitki gövdesinin detayı, (c) diken yapısının şematik gösterimi.....	65
Şekil 4.5. (a) Buz çiçeği, (b) Gövde ve kese hücrelerinin detayı, (c) Gövde ve kese hücrelerinin şematik gösterimi.....	66
Şekil 4.6. (a) Çalı, (ortada) yaprak detayı, (b) su hasadının şematik gösterimi.....	67
Şekil 4.7. (a) Yaprak yüzeyi, (b) stomaların mikroskopik görüntüsü, (c) stomalardaki gaz alışverişi ve terlemenin şematik gösterimi.....	68
Şekil 4.8. Las Palmas Water Theatre genel görünümü ve detayı.....	72

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. (a, b) Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi Binasının genel Görünümü, (c) Binanın Su Toplama Sisteminin Şematik Gösterimi.....	73
Şekil 4.10. AquaWeb görünümü ve su hasadı sisteminin şematik gösterimi.....	73
Şekil 4.11. Warka Tower görünümü ve detayları.....	75
Şekil 4.12. Rain Bellows görünümü ve cephe elemanı prototipi	76
Şekil 4.13. Habitat 2020 China binasının görünümü ve detayı	76
Şekil 4.14. Su toplayıcı yüzey tasarımı	77
Şekil 4.15. Su toplayıcı yüzey tasarımı	78



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler **Açıklamalar**

°C	derece santigrat
m ²	metrekare
m ³	metreküp

Kısaltmalar **Açıklamalar**

DSİ	Devlet Su İşleri
EISA	Enerji Bağımsızlığı ve Güvenlik Yasası
HVAC	Isıtma Soğutma Havalandırma
LEED	Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik
MÖ	Milattan Önce
NCSL	Ulusal Devlet Yasama Meclisleri Konferansı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurum
WOCAT	Dünya Koruma Yaklaşımları ve Teknolojilerine Küresel Bakış Ağı
WWF	Dünya Doğayı Koruma Vakfı

1. GİRİŞ

Çalışmanın kapsamı ve önemi

Su, yeryüzündeki bütün canlılar için yaşamsal önem taşıyan bir kaynaktır. Vazgeçilemez ve ikame edilemez olan bu kaynak, korunması ve gelecek nesillere bırakılması gereken bir değerdir. İnsanoğlu var olduğu günden bu yana su ile etkileşim halinde olmuştur. Su, toplumların yerleşim biçimleri, sosyal yapıları, kültürleri ve ekonomileri gibi önemli yapı taşları üzerinde belirleyici rol oynamıştır. Günümüzde de ülkelerin, ekonomi, sanayi, gıda, toplumsal refah ve sosyal dinamikleri bakımından kalkınabilmesi için oldukça önemlidir. Diğer bir deyişle, yeryüzündeki hayatın devamlılığı yeterli miktarda ve iyi kalitede suyun varlığına bağlıdır ve hiç kuşkusuz ki su yoksunluğu önlem alınması ve mücadele edilmesi gereken en kritik çevre sorunlarından birisidir.

Dünya Doğayı Koruma Vakfı'nın (*World Wide Fund for Nature (WWF)*) 2014 yılı raporuna göre Dünya yüzeyinin %70'i sularla kaplı olmasına rağmen su kaynaklarının yaklaşık %1'i içilebilir ve erişilebilir su kaynaklarından oluşmaktadır. Bu kaynaklar üzerinde baskı yaratan; nüfus artışı, küresel iklim değişikliği, kentleşme gibi çeşitli etkenler ise suya erişim ve su kalitesiyle ilgili bazı sıkıntıların yaşanmasına yol açmaktadır. Önümüzdeki 40 yıl içerisinde, dünya nüfusuna 2,5 milyar insanın daha eklenmesi ve dolayısıyla suya olan talebin artması da beklenmektedir (Godfrey ve diğerleri, 2010). Öte yandan suya yönelik talep artış oranı nüfus artış oranının iki katından fazla olmaktadır (Bhattacharya, 2015). Örneğin, geçtiğimiz yüzyılda dünya nüfusu üç kat artarken, su kaynaklarına olan talep yedi kat artmıştır (Şahin, 2016). Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Birimi'nin (*United Nations Department of Economic and Social Affairs*) 2009 yılı raporuna göre ise nüfus artışı ile birlikte kentleşmenin de artacağı ve nüfusun yaklaşık %60'ının kentlerde yaşayacağı öngörülmektedir. Kentleşmenin ve nüfus artışının doğal bir sonucu olarak ise su tüketiminde binaların payının artmasıyla su kaynakları ile ilgili sorunların büyümesi kaçınılmazdır. Bu anlamda suyla ilgili sorunların ortaya çıkmasında binaların rolü azımsanamayacak ölçülerde olup bu etkinin giderek artacağı öngörülmektedir.

Diğer taraftan yapılan birçok araştırmaya göre, hali hazırda dünya genelinde su kıtlığı yaşayan birçok ülke bulunmaktadır ve yakın gelecekte sayılarının artacağı tahmin

edilmektedir. Bu çerçevede, yılda kişi başına 1,700 m³ su düşen ülkeler yeterli suya sahip, kişi başına 1,000-1,700 m³ su düşen ülkeler su stresi yaşayan, 500-1,000 m³ su düşen ülkeler su kıtlığı çeken, 500 m³ altında su düşen ülkeler ise mutlak su kıtlığı içinde ülkeler olarak tanımlanmaktadır (Bilen, 2008: 57). Birleşmiş Milletler'in hazırladığı rapora göre (2012) günümüzde 1 milyar insan su stresi altındaki bölgelerde yaşamaktadır. 2025 yılı tahminlere göre ise 3 milyardan fazla insanın su stresine maruz kalacağı ve yaklaşık 15 ülkenin su stresi yaşayan ülkeler kategorisinden su kıtlığı çeken ülkeler kategorisine geçeceği öngörülmektedir.

Bu veriler çerçevesinde bakıldığında Türkiye'nin de sanılanın aksine, su zengini bir ülke olmadığı anlaşılmaktadır. DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) verilerine göre, ülkemizde kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.519 m³ civarındadır. Bu veri doğrultusunda bakıldığında Türkiye "su stresi yaşayan" ülkeler arasında yerini almaktadır. Ayrıca TÜİK'in (Türkiye İstatistik Kurumu) 2018 yılında açıkladığı verilere göre 2040 yılı için Türkiye nüfusunun 100 milyonu geçeceği öngörülmektedir. Dolayısıyla, artan nüfusu ve büyüyen kentleriyle Türkiye, gerekli önlemler alınmadığı takdirde "su kıtlığı çeken" ülkeler arasında olma yolunda ilerlemektedir.

Özetle, bulunduğumuz yüzyıl diliminde kentleşme ve nüfus artışıyla beraber küresel ısınma, kirlilik, iklim değişikliği gibi sebeplerin suya olan talebi sürekli olarak artırması mevcut su kaynaklarının geri dönüştürülemez şekilde tükenmeye başlamasını tetiklemiştir. Su kaynaklarının azalmaya başlamasıyla birlikte insanoğlu suyun sınırsız olmadığı gerçeğiyle yüzleşmiş ve suyun sürdürülebilirliği kritik bir konu haline gelmiştir. Bu sebeple su tüketiminde azımsanamayacak bir payı olan "yapılı çevreler" için suyun verimli bir şekilde elde edilmesi, kullanılması ve korunması için alternatif çözüm arayışları başlamıştır.

Bu çalışma kapsamında mevcut su kaynaklarını korumak ve gelecek nesiller için devamlılığını sağlamak adına binalar aracılığı ile sürdürülebilir su elde edebilme yöntemleri araştırılmıştır. Bu doğrultuda doğanın en iyi fikirlerinden öğrenmek olarak ifade edilebilecek "biomimikri" kavramı aracılığı ile doğadaki canlıların su elde etme stratejileri incelenerek mimari ve biyomimikrinin bu bağlamda bir ara kesiti olup olamayacağı sorgulanmıştır.

Araştırma sorusu ve hipotez

“Doğada ihtiyaçları olan suyu çeşitli yöntemlerle sürdürülebilir şekilde elde ederek kullanmayı başaran canlılar tarafından geliştirilen su hasadı stratejileri biyomimetik yaklaşımlarla bina tasarımlarına aktarılabilir mi ve bu doğrultuda kendi suyunu kazanabilen binalar tasarlamak mümkün müdür?” sorusu çalışmanın motivasyonunu oluşturmaktadır. Bu çerçevede çalışmanın hipotezi, “Biyomimetik tasarım yöntemleri ile doğadan elde edilen öğretiler doğrultusunda binalar aracılığı ile etkin su hasadı yöntemleri geliştirilebilir.” olarak belirlenmiştir.

Bu hipotez ışığında çalışmanın 2. Bölümü’nde bir literatür taraması yapılmış, konuyla ilgili tezlerden, makalelerden, dergilerden, kitaplardan, internet üzerinden, kişisel arşivlerden yararlanılmıştır. Tez çalışmasının kapsamında ilk olarak biyomimesis bilimi ve mimarlık alanına olan yansımaları hakkında literatür çalışmasına yer verilerek mimarlık-doğa etkileşimiyle ilgili bir arka plan sunulmuştur. Yine aynı bölümde yapıları çevrelerde su hasadı (*water harvesting*) yöntemleri araştırılmış, yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan yağmur suyu hasadı (*rainwater harvesting*) yöntemine odaklanılarak yağmur suyu hasadı konusu geçmişten günümüze doğru tarihsel bir arka plan çerçevesinde anlatılarak geleneksel ve modern uygulamalarıyla birlikte sunulmuştur.

3. Bölümde çalışmanın materyal ve metodu detaylı olarak anlatılmıştır.

4. Bölümde doğada çeşitli şekillerde su elde etmeyi başaran canlılar araştırılmış, bu canlılarının suyu elde etme yöntemleri incelenmiştir. Bu doğrultuda su kaynaklarının azalması ve artan talep karşısında su elde edebilmek için sürdürülebilir bir alternatif olan su hasadı konusunda biyomimesis ve yapılar aracılığıyla geleceğin mimarisine atıfta bulunan yenilikçi yaklaşımlar ele alınmıştır.

Çalışmanın sınırları ve varsayımları

Bu araştırmada, doğa esinli fikirlerin binalar aracılığıyla su elde etme stratejilerine olan etkisi konusuna odaklanılmıştır. Bu çalışma, biyomimikri yaklaşımının (doğa esinli fikirlerin) binalar tarafından gerçekleştirilen su tüketiminin azaltılmasında olumlu katkı sağladığı ve su hasadı açısından daha etkin bir mimari için biyomimetik su hasadı

yöntemlerinin etkili olacağı varsayımı ile yürütülmüştür. Bu bağlamda doğada suya erişimle ilgili problemlerini çözmüş canlılardan, kurak ve zorlu iklim şartları altında yaşayan canlılara özel ilgi gösterilmiş, bu canlıların üstün su hasadı stratejilerinden öğrenilen bilgiler ışığında ortaya konulan tasarımlar değerlendirilmiştir.

Bu bağlamda çalışmanın sonucunda binalarda suyun etkin kullanımı ile ilgili problemlerin çözümüne ve sürdürülebilirliğine bir katkı olarak, çeşitli su hasadı yöntemleri açısından, biyomimetik yaklaşımlarla tasarlanan binaların sahip olduğu potansiyelin fark edilmesi ve bu konuda olası tasarım üretim yöntemlerinin ortaya konulması açısından önemli verilere ulaşılmıştır. Bu veriler 5. Bölüm'de tablolar halinde sunularak çalışmanın araştırma sorusu yanıtlanmış ve araştırma hipotezi test edilmiştir. Binaların, su hasadı konusunda önemli ara yüzler olduğu bu süreçte tasarımcıların biomimetik çözümlerden faydalanabileceği sonucuna ulaşılmış ve bundan sonra bu konuda araştırma yapacaklar için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde biyomimesis bilimi ve mimarlık disiplinine olan yansımaları hakkında literatür çalışmasına yer verilerek mimarlık-doğa etkileşimiyle ilgili bir arka plan sunulmuştur. Yine bu bölümde tarih boyunca kullanılan geleneksel su hasadı (*water harvesting*) yöntemleri incelenmiş, yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan yağmur suyu hasadı yöntemine odaklanılarak, bu yöntemin hem geleneksel yapılar aracılığıyla hem de günümüz modern yapıları aracılığıyla kullanılma biçimleri çeşitli örnekler ışığında incelenmiş, yapıları çevrelerde yağmur suyu hasadı konusuna genel bir çerçeve çizilmiştir.

2.1. Mimarlık Alanında Doğa Esinli Tasarımlar ve Biyomimesis

Pek çok disiplinde yenilikçi ve çığır açan araştırmalara yol gösteren doğa, mimarlık alanı için de pek çok potansiyel barındırmaktadır. Onun en iyi fikirlerinden etkin çözümlerinden esin alınarak/öğrenilerek tasarlanan pek çok yapının doğayla uyum içinde ve günümüz mimarisinin ihtiyaçlarına cevap verebilecek potansiyeller barındırdığını söylemek mümkündür. İlerleyen bilim ve teknoloji sayesinde gelişen biyomimesis yaklaşımı ise doğanın salt görsel/biçimsel bir esin kaynağı olmanın çok ötesinde sistemler barındırdığı gerçeğini bir kez daha vurgulayarak tasarımcıları bu alana yönlendirmektedir.

2.1.1. Biyomimesis nedir ve nasıl çalışır?

Literatürde biyomimetik, biyomimikri, biyonic gibi farklı terminoloji ile anılan, Yunanca *bios*: yaşam, *mimesis*: taklit etmek kelimelerinden türetilen biyomimesis, doğada bulunan sistemleri inceleyen ve daha sonra ilişkili problemleri çözmek için bu sistemleri, modelleri, süreçleri ya da stratejileri taklit eden yeni bir bilim dalıdır. Benyus (1997) doğanın 3,8 milyardır yaşayan, deneme ve yanılma yoluyla kendini değiştiren ve geliştiren bir yapıya sahip olduğunu vurgulamaktadır. Hayvanlar, bitkiler ve birçok canlı organizma, evrimsel gelişim süreci boyunca nasıl hayatta kalacaklarını, nelerin işe yarayacağını, neyin önemli olduğunu öğrenmiştir. Bu bağlamda bizi çevreleyen doğa sürdürülebilir yaşamın bilgisiyle donanmış bir öğreticidir ve biyomimesis bu öğreticiden faydalanmak için yeni bir yoldur (Rao, 2014).

İnsanoğlu, ilkel çağlardan beri aslında doğadan esinlenmiş olsa da literatürde ilk defa Jack E. Steele (1924-2009) tarafından 1958 yılında ortaya atılan “bionik” terimiyle ifade edilmiştir (Rankouhi, 2012). Bionik (biyoloji ve teknoloji) terimi, doğada yer alan fonksiyonların kopyalanması, sistemlerin özelliklerini taşıması ya da benzetilmesi (analog) ve teknoloji için biyolojiden öğrenmek (Gruber, 2011: 14) anlamında tanımlanmıştır. Bionik yerine biyomimetik kavramını kullanmayı tercih eden Otto Schmitt (1913-1998) ise 1950’li yıllarda sinirlere ait elektriksel eylemleri inceleyerek fiziksel bir cihaz ortaya koymuştur. Schmitt "biyoloji + teknoloji" olarak tanımladığı biyomimetik kavramını mühendislik alanına uygulamıştır (Mazzoleni, 2013).

Ancak biyomimesis kavramı bir bilim dalı olarak ilk kez 1997 yılında Janine Benyus tarafından “Biyomimikri: Doğadan Esinlenen İnovasyon (*Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*)” adlı kitabında somutlaştırılmıştır (Rankouhi, 2012). Benyus’a göre biyomimikri doğayı model (*model*), ölçüt (*measure*) ve akıl hocası (*mentor*) olarak kullanmayı amaçlayan, bu doğrultuda doğanın modellerini, sistemlerini ve işleyişlerini inceleyip elde ettiği bilgilerden yaratıcı ilham alarak ya da taklit ederek yararlanan, problem çözmeye yönelik bir bilim dalıdır.

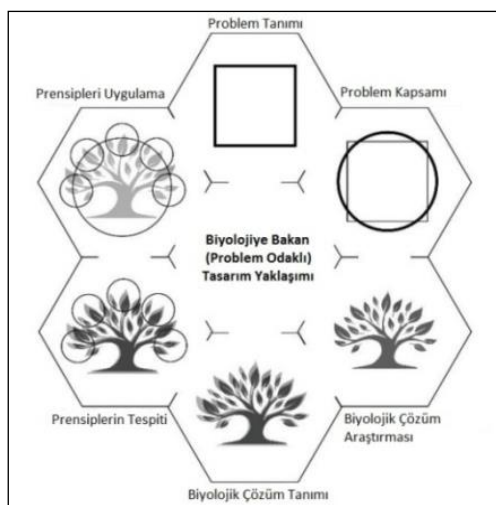
Biyolojiden kopyalama/uyarlama veya türetme anlamlarında kullanılan biyomimetik kavramı, biyomimikri, bionik, biognosis, biyomimesis, biyoloji esinli tasarım gibi kelimelerle nüanslar barındırmakla birlikte benzer anlamlar taşımaktadır. Yeni bir bilim dalı olarak algılanmasına rağmen aslında 3000 yılı aşkın bir süredir insanlar doğaya esin kaynağı olarak bakmışlardır. Leonardo da Vinci, uçan makinalar tasarlamak için kuşları incelemiş ve eskizleri diğer tasarımcılara ilham vermiştir Aristo sanatı “doğayı taklit” etmek olarak açıklamış ve mimarlığın pratik ve yararlı bir sanat olduğunu, onun doğayı taklit etmesi ve doğadan ilham alması gerektiğini belirtmiştir. Aristo, doğanın amaçlarını tanımlama, yöntemlerini taklit etme (*imitating*) aşamalarını ifade etmek için “imitasyon” terimini kullanmıştır (Vincent ve diğerleri, 2006).

Bütün bu söylemlerden hareketle insanoğlunun var olduğu günden beri doğayı ilham kaynağı olarak aldığı söylenebilir. Fakat biyomimetik, bilim olarak, endüstri devriminin geç bir tarihte ortaya çıkması ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte yaygınlaşmaya başlamıştır. 1990’lardan itibaren ise biyomimetik kavramı giderek (biyomimikrinin popülerleşerek tüm disiplinlerde yaygınlaşması ile) “yeşil (*green*)” hareketle

ilişkilendirilmeye başlanmıştır. Bu doğrultuda biyomimikri birçok çevre sorununun önüne geçebilmek adına kaynak tüketimini en aza indirecek, daha temiz enerji üretimi sağlayacak, üretim ve kullanım süreçleri boyunca daha az olumsuz çevresel etki yaratacak bir tasarım yöntemi olarak ön plana çıkmaya başlamıştır (Jacobs, 2014). Farklı terimlerle anlamlandırılmaya çalışılan doğadan esinlenme/öğrenme/uygulama kavramları her alanda farklı karşılık bulmaktadır. Günümüzde bilgisayar ve robotik üretim gibi teknolojilerin gelişmesiyle birlikte biyomimetik bilimi sürdürülebilir yapılar ve çevreler için araştırılmaya devam etmektedir. Bu çalışmalar devam ettikçe yeni kavramların ve beraberinde yeni tanımlamaların eklenmesi mümkün görünmektedir.

2.1.2. Biyomimetik yaklaşımlar

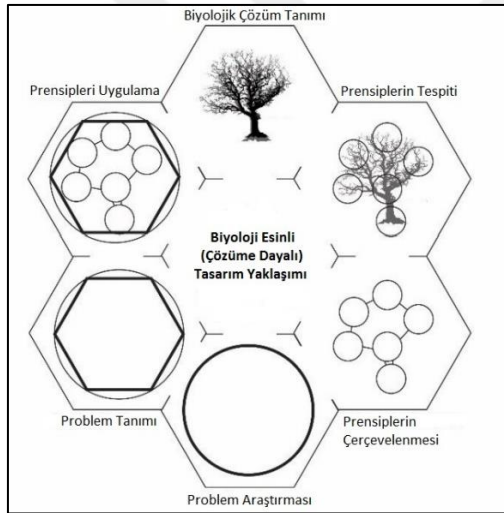
Biyomimetik tasarım üzerine “biyolojiye bakan tasarım ” (*design looking to biology*) ve “biyoloji esinli tasarım” (*biology influencing design*) olmak üzere iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Biyolojiye bakan tasarım yaklaşımı tanımlanmış bir problemi çözmeye odaklı iken biyoloji esinli tasarım yaklaşımı doğadaki mevcut çözümleri tasarıma dönüştürmeye odaklıdır. Bu bağlamda biyolojiye bakan tasarım yaklaşımı tanımlanan bir tasarım problemini çözmek ya da bir insan ihtiyacını karşılamak için benzer problemleri çözmüş organizmalardan ilham alarak tasarlamayı, biyoloji esinli yaklaşım ise bir organizmada veya ekosistemde görülen belirli bir özellik, davranış veya işlevden ilham alarak tasarlamayı ifade etmektedir (Zari, 2007). Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de bu tasarım yaklaşımlarının adımları özetlenmiştir.



Şekil 2.1. Biyolojiye bakan (problem odaklı) tasarım yaklaşımı (Harris, 2016’dan uyarlanmıştır)

Şekil 2.1’de biyolojiye bakan yaklaşımda, yani problem odaklı tasarım yaklaşımında birbirini takip eden altı adım gösterilmektedir. Bu yaklaşım biçiminde;

- Problem tanımlanır,
- Tanımlanan problemin kapsamı çerçeveslendirilir,
- Doğada aynı problemi ve ya benzer bir problemi çözmüş organizmalar araştırılır,
- Tespit edilen biyolojik çözüm, davranış, fonksiyon ya da süreç odaklı olarak incelenir,
- Ayrıntılı şekilde incelenen biyolojik çözüm ilkeleri analiz edilir,
- Bu ilkeler yeni bir tasarıma aktarılır veya mevcut bir tasarımı geliştirmek için kullanılır (Harris, 2016).



Şekil 2.2. Biyoloji esinli (çözüm odaklı) tasarım yaklaşımı (Harris, 2016’ dan uyarlanmıştır)

Şekil 2.2’de, biyoloji esinli yaklaşım, yani çözüm odaklı tasarım yaklaşımında birbirini takip eden yedi adım gösterilmektedir. Bu yaklaşım biçiminde;

- İlham kaynağı olarak bir organizmada veya ekosistemde görülen belirli bir özellik, davranış veya işlev tanımlanarak analiz edilir,
- Detaylı analizin ardından kaynağın ilkeleri belirlenir,
- Her bir ilke ele alınır,
- İlkeler ayrıntılı olarak tekrar analiz edilerek çerçeveslendirilir,
- Biyolojik çözüm kaynağıyla bağlantılı bir problem araştırılır,
- Problem tanımlanır,

- Tanımlanan problemi çözmek için biyolojik kaynağın ilkeleri tasarıma uygulanır (Harris, 2016).

Yukarıda özetlenen iki farklı biyomimetik tasarım yaklaşımı çerçevesinde gerçekleştirilmiş çeşitli tasarımlara örnek vermek mümkündür. Biyolojiye bakan tasarım yaklaşımına örnek olarak Şekil 2.3 de görülen Daimler Chrysler'ın biyonik otomobili gösterilebilir. Otomobilde aerodinamik problemleri çözmek isteyen tasarımcılar suda hızlı hareket edebilme özelliğiyle bilinen kutu balığından ilham almışlardır. Kutu balığı küp biçimli gövdesine rağmen sürtünme direncine mükemmel °Cde karşı koyabilmektedir. Balığın gövdesi, petek biçimine benzer şekilde üst üste gelen çok sayıda kemik plakasından oluşmaktadır. Bu yapı sayesinde kutu balığı hem darbelere karşı dayanım kazanmakta hem de hızlı hareket edebilmektedir. Daimler Chrysler'ın tasarımcıları kutu balığının bu yapısal prensiplerini taklit ederek sürtünme katsayısı düşük, benzerlerine göre yakıt tasarrufu yüksek ve strüktür dayanıklılığı artırılmış bir otomobil geliştirilmişlerdir. Otomobilin kapı panellerinde geleneksel kapılara göre %40'a kadar daha fazla dayanıklılık elde edilmiştir. Hesaplamalar ise aracın tüm gövdesinin bu prensibe göre yapıldığı takdirde, toplam ağırlığının, dayanıklılık ve çarpışma emniyeti azaltılmadan yaklaşık üçte bir oranında azaltılabileceğini göstermiştir. Ayrıca otomobilin yakıt tüketiminde yüzde 20 tasarruf sağlanmıştır (Volstad ve Boks, 2008).



Şekil 2.3. Kutu balığından esinlenerek tasarlanan biyonik otomobil (Volstad ve Boks, 2008)

Biyoloji esinli tasarım yaklaşımına örnek olarak Şekil 2.4'te görülen gül kelebeğinden ilham alınarak geliştirilen güneş pilleri gösterilebilir. Genellikle Hindistan'da rastlanan gül kelebeği soğuk havalarda siyah yumuşak kanatlarıyla kendini ısıtma yeteneğiyle bilinen bir kelebek türüdür. Kelebeğin bu özelliği üzerinde çalışan araştırmacılar yaptıkları incelemeler sonucunda gül kelebeğinin kanatlarının delikli yapıda pullarla kaplı olduğunu

ve bu delikli yapı sayesinde yüzeye çarpan güneş ışığının saçılarak daha fazla emildiğini tespit etmişlerdir. Kanatların güneş ışığı emici bu özelliği tasarımcılara esin kaynağı olmuş ve kanatların mimarisini taklit eden güneş pilleri geliştirilmiştir. Araştırmacılar doğa esinli güneş pillerinin geleneksel güneş pillerine oranla daha verimli olduğu belirtmişlerdir (URL-1).



Şekil 2.4. Gül kelebeğinin kanadından esinlenerek geliştirilen güneş pili (URL-1)

Biyolojinin tasarımı yönlendirdiği ya da tasarımın biyolojiden ilham aldığı iki farklı yaklaşım biçiminde biyomimesisin uygulanması organizma düzeyinde taklit, davranış düzeyinde taklit ve ekosistem düzeyinde taklit olmak üzere üç seviyede gerçekleşmektedir (Zari, 2007). Benyus (1997) bu uygulamaları genel olarak indirgeyici (sığ) (*reductive or shallow*) biyomimikriden bütünsel (derin) (*deep or holistic*) biyomimikriye doğru üç temel seviyeye ayırmıştır.

Birinci seviye doğal formun taklit edilmesini, ikinci seviye daha bütünsel yaklaşıma doğru bir adım olan doğal bir sürecin/davranışın taklit edilmesini, üçüncü seviye ise doğal ekosistemlerin tüm yönleriyle ele alınarak taklit edilmesini kapsamaktadır. Bütüncül biyomimesis daha çok eko-tasarım odaklı bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bütün bu taklit seviyelerinde ise doğa biçim, malzeme, yapı, süreç ve işlev olarak beş ayrı kategoride taklit edilmektedir (Zari, 2007).

Organizma düzeyinde taklit

Organizma düzeyinde taklit sistemin ya da doğal oluşumun bütününden ziyade belirli bir özelliğini taklit etmeye yöneliktir. Organizmanın ekosistemle daha geniş bir bağlamda nasıl etkileşim sağladığı ve ya nasıl katkıda bulunduğunu taklit etmediği için geniş

kapsamlı bir taklit yöntemi değildir. Diğer bir deyişle organizma düzeyindeki taklit biyomimesisin geleneksel bir yorumu olarak ifade edilebilir. Bu durum tasarımın çevresel etkiler açısından ortalamanın altında bir performans göstermesine neden olabilmektedir. Her ne kadar organizma düzeyinde taklit yenilikçi teknolojiler ya da malzemeler ortaya çıkarabilecek olsa da sürdürülebilirlik bağlamında aynı etkiyi yeteri kadar gösterememektedir (Zari, 2007).

Organizma düzeyinde biyomimesis uygulamalarına örnek olarak Venüs çiçeği süngerinden ilham alınarak tasarlanan Gherkin Tower gösterilebilir (Şekil 2.5). Norman Foster ve ortakları tarafından tasarlanan Gherkin Tower binasında Venüs çiçeği süngerinin altıgen yüzeyi ve strüktüründen esinlenilmiştir. Venüs çiçeği süngeri güçlü su akıntılarının olduğu bir su altı ortamında yaşamaktadır. Bitki silindirik formu ve kafes benzeri dış iskeleti sayesinde su altı akıntı gerilimlerini dağıtarak bulunduğu yere tutunabilmektedir. Venüs çiçeğinin süngerinin bu özellikleri Gherkin Tower binasının strüktür tasarımına esin kaynağı olmuştur ve çelik diagrid çerçeveli bir strüktür sistemi tasarlanmıştır. Mühendislik firması WSP Cantor Seinuk' un başkan yardımcısı Yoram Eilon, bu diagrid yapısını “yerçekimi ile yanal desteğin bir araya getirerek binanın geleneksel bir yüksek binaya göre daha dayanımlı, verimli ve daha hafif olmasını sağlayan bir dizi üçgen” olarak nitelendirmiştir. Tasarımcılar tarafından kullanılan biyomimik tasarım yöntemi sayesinde binanın benzer büyüklükteki çoğu binadan daha verimli olduğu kaydedilmiştir (Nkandu ve Alibaba, 2018).



Şekil 2.5. Venüs çiçeğinden esinlenerek tasarlanan Gherkin Tower binası (Nkandu ve Alibaba, 2018)

Davranış düzeyinde taklit

Davranış düzeyinde taklit doğada bulunan oluşumların geliştirdikleri davranışların taklit edilmesini ifade etmektedir. Diğer bir deyişle bir organizmanın, bulunduğu ortama direnç göstermeden nasıl etkileşime girdiğini ve nasıl uyum sağladığını taklit etmeyi içerir. Çok sayıda organizma, insanların da karşılaştığı ve çözmeye çalıştığı benzer problemlerle karşılaşmaktadır. Bu organizmalar ekosistemin kısıtlı yeterliliği içerisinde, kısıtlı enerji ve malzemeyle yaşamlarını idare etme ve karşılaştıkları problemleri çözmeye eğilimdedirler. Bu kısıtlı limitler, organizmaları evrimsel düzeyde biyolojik adaptasyonlara zorlamanın yanı sıra davranışsal düzeyde de gelişim göstermeye zorlamaktadır. Dolayısıyla yaşayan organizmaların geliştirdikleri davranışların incelenmesi ve problem çözümünde bir rehber olarak kullanılması etkili biyomimikri yöntemlerinden birisidir (Reap, Baumeister ve Bras, 2005).

Termit höyüklerindeki iklimlendirme prensipleri ile inşaat edilen Londra'daki yeni parlamento binası Portcullis House biyomimesisin davranış düzeyinde taklit örneklerinden birisidir (Şekil 2.6). Genellikle sıcak iklimlerde yaşayan termitler barınma ve beslenme ihtiyaçlarını karşılamak için höyük adı verilen yuvalar inşa etmektedirler. Termitler bu höyükler sayesinde ana besin kaynakları olan ve ancak 29 - 30 °C sıcaklığında yetişebilen mantarları korumaktadırlar. Termitler geliştirdikleri iklimlendirme sistemleri sayesinde, buldukları bölgedeki hava sıcaklıkları gündüz ortalama 40 °C'ye çıksa ya da gece 1 °C'ye kadar düşse bile, höyük içerisindeki hava sıcaklığını 29 °C'de sabit tutabilmektedirler. Höyük içerisindeki hava sıcaklığının düzenlenmesi için havalandırma delikleri bulunmaktadır. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi höyüğün altında stratejik olarak açılan 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 kapayıp açarak hava sirkülasyonunu sağlarlar ve sıcaklığı sabitlerler (Maglic, 2012).



Şekil 2.6. Termit höyüğünün iklimlendirme prensiplerinden esinlenerek tasarlanan Portcullis House Binası ve havalandırma sisteminin şematik gösterimi (URL-2)

Termitlerin bu tür davranışı Portcullis House binasının havalandırma sisteminin tasarımına ilham kaynağı olmuştur. Londra’da bulunan bu bina yapay iklimlendirmeye uygulanabilir bir alternatif olan pasif soğutma sistemlerine doğa ilhamlı bir çözüm önerisi getirmiştir. Binada termit höyüklerinde bulunan havalandırma deliklerine benzer şekilde yaklaşık 14 adet ısı düzenleme yapan baca bulunmaktadır ve her bir baca Şekil 2.6 da görüldüğü üzere dış duvarlardaki havalandırma şaftlarıyla birlikte çalışmaktadır. Bu bacalar ve şaftlar binaya temiz hava akışını sağlarken bina içerisindeki bayat havayı tahliye etmektedir. Tıpkı termik höyüklerindeki gibi baca etkisi prensibinden yararlanarak çalışan bu sistem binanın havalandırılması ve serinletilmesini sağlamaktadır. Portcullis House binası için tasarlanan bu doğal iklimlendirme sistemi sayesinde benzer şekilde geleneksel olarak soğutulan bir bina için ihtiyaç duyulan enerjinin yalnızca % 10'una ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir (URL-2).

Davranış düzeyinde taklit, neyin taklit edileceğine konusunda insani bağlamda etik kararlar almayı da gerektirmektedir. Organizmaların tümü insanlık için taklit edilebilecek uygun davranışlar sergilemezler. Yukarıdaki örnekte görüldüğü gibi termitlerin kendi yuvalarında sıcaklık konforunu sağlamak için sergilediği davranışlar binalarda termal konforu sağlamak için taklit edilebilir. Ancak sürdürülebilir bir yaşam şekli olacağı düşüncesiyle termit kolonilerin sosyal yapısını taklit ederek toplumların sosyal yapısına uygulamak gibi insan doğasına uygun olmayan tasarım kararlarının alınması uygun değildir. Bu bağlamda organizmalara özgü davranışların diğer organizmaların sosyo-ekonomik durumuna uygun olmayacak şekilde taklit edilmesinden ziyade, insan yapımı ortamların sürdürülebilirliğine katkı sağlayacak davranışların taklit edilmesi gerekmektedir (Zari, 2007).

Ekosistem düzeyinde taklit

Ekosistem düzeyinde taklit; bir organizmanın çevre ile nasıl etkileşime girdiğini ve bu bileşenlerin birlikte nasıl çalıştığını inceleyerek bunları taklit etmeyi içerir. Bu düzeyde yapılan bir taklitin sonuç ürünleri tek bir yapıdan ziyade birden çok unsur içeren kompleks projeler ya da kentsel ölçekteki projelerdir (Zari, 2007). Ekosistem düzeyinde taklit Benyus (1997) ve Vincent' in (2006) belirttiği gibi biyomimesisin ayrılmaz bir parçasıdır. Literatürde ekomimikri olarak da adlandırılmaktadır ve temel amacı sürdürülebilirliktir. Russell (2004) ve Marshall (2007) bu terimi “güç, prestij veya kâr” amaçlı tasarlamak yerine ekosistemlerin ve insanlığın refahı için tasarlamak anlamında kullanmıştır.

Tasarımda ekosistem düzeyinde taklit olarak sınıflandırılacak örneklerden biri olarak henüz inşa edilmemiş ancak 2010 yılı itibarıyla yapım aşamasında olan BIG Architects' in kurucusu Bjarke Ingels tarafından tasarlanan Zira Adası Master Planı gösterilebilir (Şekil 2.7). Hazar denizinde bulunan ve yaklaşık 1.000.000 m² bir alana sahip Zira adası sıfır enerjili eğlence ve dinleme tesisi olarak tasarlanmıştır. Tasarım, Bakü başkentinden görülebilen yedi Azerbaycan tepesinden ilham alınarak bağımsız bir ekosistem gibi tasarlanmıştır. Her bir dağ, gelişim içinde olan ve kendi içinde bütün bir çevre sistemi olarak tasarlanan binalardır. Adada rüzgar, yağmur suyu ve dalga gücünü kullanarak tüm adaya enerji sağlayacak sürdürülebilir teknolojiler tasarlanmıştır. Tüm bu unsurların birlikte çalışmasıyla ada kendi kendine yetebilen bağımsız bir ekolojik sistem haline gelmiştir. Proje kentin silüetinde ikonik bir mimari olmanın yanı sıra, aynı zamanda da gelecekteki büyük ölçekli sürdürülebilir kalkınma projeleri için ilham kaynağı olmaktadır (Maglic, 2012).



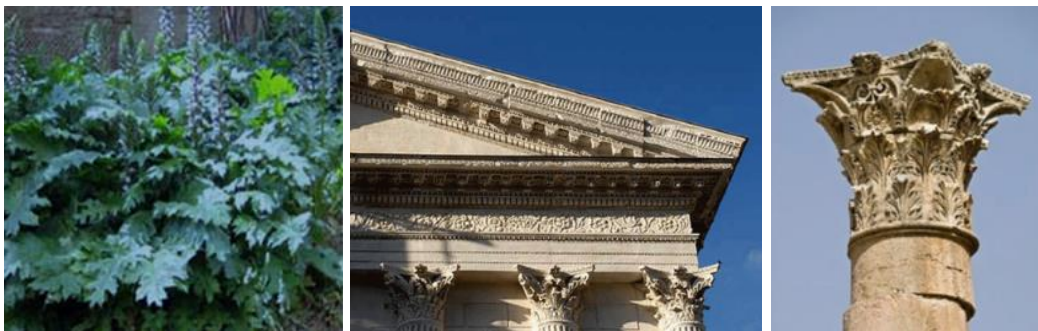
Şekil 2.7. Zira Adası görünümü (URL-3)

Literatürde bir bilim dalı olarak kabulü yakın bir geçmişte gerçekleşen biyomimesis, yukarıdaki örneklerden de görüldüğü üzere farklı sektörlerde çözüm ve ilham kaynağı

olarak kullanılmakta, yenilikçi tasarımlara öncülük etmektedir. Farklı yaklaşım anlayışları ve uygulama yöntemleriyle otomotiv sektöründen enerji, malzeme, endüstri ve inşaat sektörüne kadar geniş bir yelpazede kendine yer edinmeye başlayan biyomimesis, günümüzde halen araştırılmaya ve geliştirilmeye devam etmektedir.

2.1.3. Mimarlıkta biyomimesis kullanımı ve yenilikçi çözümler

Mimarlık tarihine bakıldığında doğadan esinlenme/öğrenme/uyarlamanın yeni bir yaklaşım olmadığı ve çok uzun yıllardan bu yana kullanıldığı görülmektedir. Mimarlıkta doğadan esinlenmenin/öğrenme/uyarlamanın kökeni barınma ihtiyacı ile eş zamanlı olarak çok eski çağlara kadar dayanmaktadır (Çınar, Müezzinoğlu ve Sungur, 2017). Topluluklar halinde yaşamayı öğrenen insanoğlu, barınma gereksinimi ile birlikte doğadaki oluşumları gözlemlemiş, salt doğadan elde ettiği malzemeleri kullanmamış aynı zamanda bilinçli ya da bilinçsiz doğadaki yapılaşmaları gözlemlemeyerek ya da taklit ederek ilk bina yapma tekniklerini geliştirmeye başlamıştır (Selçuk ve Sorguç, 2007). Antik çağlarda inşaa edilen yapılara bakıldığında, doğada görülen biçim ve strüktürler ile insan biçimi ve oranlarının sıklıkla taklit edildiği görülmektedir. Örneğin Yunan ve Roma tapınaklarının temel yapısal elemanı olan sütunların, ağacın yük taşıyan gövdesinden esinlenerek çatı ve kiriş yüklerini desteklemek için geliştirildiği bilinmektedir. Tapınakların sütun başlıklarında, cephelerinde ve birçok bölümündeki süslemelerinde ise çeşitli ağaçlara ya da bitkilere benzetilen motiflere sıkça rastlanmaktadır. Şekil 2.8’de verilen örnekte bir tapınağın cephesindeki ve sütun başlıklarındaki bezemelerde Acanthus bitkisinin biçimsel olarak taklit edildiği görülmektedir (Rian ve Sassone, 2014).



Şekil 2.8. Acanthus bitkisini taklit ederek yapılan bezemeler (Rian ve Sassone, 2014)

Ortaçağ döneminde ortaya çıkan gotik mimarlık akımında doğanın izlerini taşıyan mimari unsurlar görülmektedir. Özellikle dönemin simgesel yapıları olan kiliselerin strüktür

tasarımlarında doğa esinli yenilikler göze çarpmaktadır. Kilise mimarisinin en önemli strüktür elemanlarından biri olan yelpaze tonozların ağaç dallarının formundan ve strüktürel yapısından ilham alınarak tasarlandığı bilinmektedir. 1248 yılında inşaa edilen Sainte Chapelle kilisesinde ve 1446 yılında inşaa edilen King's College Şapelinde bunun örneğini görmek mümkündür (Aziz ve El Sherif, 2015).

15. yüzyıla bakıldığında rönesansın ilanından sonra insan ve doğanın ön plana çıktığı görülmektedir. Özellikle sanat ve mimarlık alanında doğal formlar ve doğal benzeşimler daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Rönesans döneminde insanlar kendilerini doğanın bir parçası olarak görmüş ve bu dönemin mimarları doğadaki oranları kullanmaya yönelmiştir (Yeşilyurt, 2008). Dönemin ünlü sanatçılarından Leonardo Da Vinci'nin yaşamı boyunca doğal çevreyi ve insan anatomisini inceleyerek icatlar yapmaya çalıştığı bilinmektedir. Da Vinci'nin doğaya dair gözlemleri ve çalışmaları sonraki dönemlerde de pek çok mucide ve tasarımcıya yol göstermiştir (Gruber, 2011). Yine dönemin mimarlarından Fillipo Brunelleschi de doğayı gözlemleyerek çalışmalar yapmış, yumurta kabuğunun formundan ve dayanımından esinlenerek Floransa Katedralinin ünlü kubbesini tasarlayarak hayata geçirmiştir (Nkandu ve Alibaba, 2018).

17. ve 18. yy Barok ve Rokoko dönemlerinde mimari yüzeylerin tasarımında doğadaki rastgele organik biçimlenişlerden, eğri çizgilerden, kıvrımlardan, çeşitli bitki ve çiçek biçimlerinden ilham alındığı görülmektedir (Rian ve Sassone, 2014). Bu dönemlerin devamında ortaya çıkan Art Nouveau akımında da simetrik olmayan, dalgalı ve serbest çizgiler ön plana çıkmış, bir çiçeğin goncası, böceğin kanatları, asma filizleri gibi doğadaki biçimler sanatçılara esin kaynağı olmuştur. Biçim, organik, kıvrımlı ve ritmik bir çizgi içinde eritilerek strüktürle bezemenin kaynaşması sağlanmıştır (Gertik, 2012). Art Nouveau akımının öncülerinden İspanyol mimar Antoni Gaudi bir mimarın hayal edeceği strüktürel ve süslemeci her şeyin doğada bir karşılığı olduğunu belirterek doğadan öğrenmenin önemini vurgulamış, mimari eserlerinde doğa esinli biçimlenişleri ve strüktürleri sıklıkla kullanmıştır (Lökçe, 2003). Canlıların zoolojik niteliklerini, ağaçların ve bitkilerin biçimsel ve yapısal özelliklerini analiz ederek tasarımlarına entegre etmiştir (Rian ve Sassone, 2014). Gaudi'nin mimari eserlerinde organik şekilli süslemeler göze çarpsa da, tasarımlarında işlevi de ön planda tutmuş, doğal formları sadece süsleme amaçlı değil işleyişe katkı sağlamak amacıyla da kullanmıştır (Bozkurt, 2010). Ünlü mimarlık tarihçilerinden Ching; "Gaudi'nin biçimlenişlerindeki zenginlikten dolayı, esas olarak

heykelsiliği benimsediği sanılabilir, fakat bu düşünce yanlıştır. Gaudi'ye göre bir mimarın öncelikleri mahal, ölçü, malzeme ve daha sonra formdur” diyerek Gaudi'nin tasarımlarındaki form fonksiyon ilişkisine dikkat çekmiştir. Gaudi'nin bu tasarım anlayışının bir yansıması olarak cepheden iç mekânlarına, temel elemanlarından küçük ayrıntılara kadar doğa ilhamlı birçok unsuru barındıran ünlü Sagrada Familia Katedrali gösterilebilir. Yapının en göze çarpan mimari ögesi, geleneksel sütunlar yerine kullanılan ve ağaçların taşıyıcılığı ile görünümünü taklit eden dikey strüktürlerdir. Ağaç benzeri bu sütunlar iç mekândaki dizilimiyle, gövdesi, dalları ve yaprak kümeleriyle görebildiğimiz bir orman hissi yaratmakta, doğanın koruyuculuğunu ve rahatlığını taklit etmektedir. Ayrıca ağaçların dallanmasını taklit ederek yapılan bu sütunlar ana kolondan çok sayıda destek dalının bulunmasıyla yapı yüklerinin daha eşit dağılmasını sağlamış, yapısal yük taşıma kabiliyetini artırmıştır (Orman, 2013).

Gaudi aynı zamanda yapı formlarının doğadaki gibi organik, canlı ve hareketli olması gerektiğini savunmuştur. Bu anlayışla tasarladığı birçok yapıdan biri olan Casa Batllo da dalgalı ve hareketli cephesiyle bilinmektedir (Şekil 2.9). Casa Batllo' da kenar veya dik açı yoktur ve yapının cephesi Gaudi'nin titizlikle planladığı çok fazla doğa ilhamlı ayrıntıyla donatılmıştır. Yapının cephesinde doğal nesnelere, çiçek sapları ve kemik yapısına benzetilen pencere ve strüktür elemanlarından, sürüngen derisini taklit eden çatı kaplamasına, okyanus dalgalarına öykünen cephe ve çatı hareketinden, ejderhayı analogisi yapan bacalara kadar birçok doğal benzeşimli eleman yer almaktadır (Şekil 2.9) (Imani, 2017).

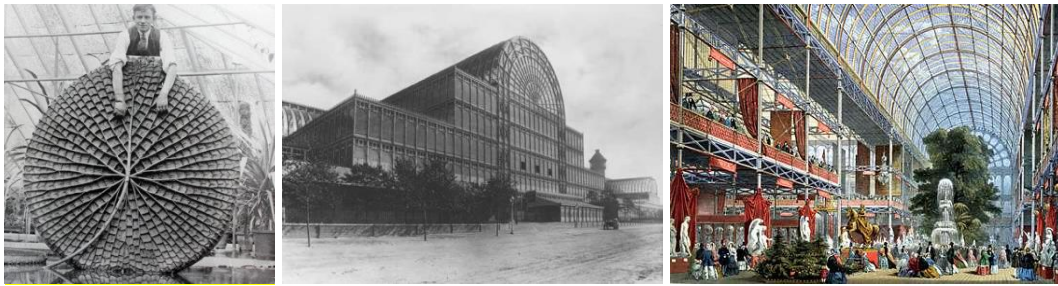


Şekil 2.9. Casa Batllo'nun kemik biçimli pencere elemanları ve sürüngen derisini taklit eden çatısı (URL-4)

18. yy ikinci yarısı ile birlikte gerçekleşen sanayi devrimi, mimarlık tarihinin önemli dönemlerinden birini başlatmıştır ve mimaride doğadan esinlenme hareketi de dönemin

getirdikleri doğrultusunda değişim ve gelişim göstermiştir. Endüstri dönemine kadar doğaya yönelim ve doğadan esinlenme hareketi genellikle biçim ve strüktürel arayışlar doğrultusunda analogik bir yaklaşımla devam ederken, yeni yapı malzemelerinin üretilmesi ve yeni yapım tekniklerinin ortaya çıkmasıyla farklı alanlara yayılarak gelişim göstermiştir. Bu gelişme sonucunda doğa, hem biçim (form) hem de işlev (fonksiyon) olarak taklit edilmeye başlanmıştır (Gertik, 2012). Malzeme ve yapım tekniği açısından nispeten özgürleşen mühendis ve mimarlar özellikle strüktür tasarımlarında doğal oluşumların yapısal prensiplerinden faydalanmışlardır. Bu doğrultuda Horatio Greenough, 1851 yılında ortaya attığı bir teorisinde yapı iskeleti tasarlama prensiplerinin hayvanların ve böceklerin iskelet sistemlerinden öğrenilebileceğini savunmuştur (Öztoprak, 2008).

1851 yılında Londra’da inşa edilen Crystal Palace, doğadan öğrenerek tasarlanmanın önemli örneklerinden biridir (Şekil 2.10). Crystal Palace, mimar ve botanik bilimci Joseph Paxton tarafından tasarlanmıştır. Paxton’un bu yapıyı tasarlarken dev amazon nilüferini model olarak kullandığı bilinmektedir. Amazon nilüferi, yapraklarının iskeleti sayesinde küçük bir çocuğun ağırlığını taşıyabilecek dayanıma sahip bir bitkidir. Bitkinin bu dayanımı nasıl elde ettiğini araştıran ve yapraklarının yapısal özelliklerini analiz eden Paxton, nilüfer yaprağındaki kaburgaya benzer yapıyı demir taşıyıcılarla, yaprağın asıl dokusunu ise cam ile özdeşleştirerek, Crystal Palace’da benzer şekilde büyük cam panellerin nervürlü demirlerle desteklendiği bir strüktür sistemini kurmuştur (Eggermont, 2008).



Şekil 2.10. Amazon nilüferinden esinlenerek tasarlanan Crystal Palace binası (URL-5)

Endüstri devriminin ardından 20. yüzyılın başlarından itibaren mimarlık hızlı bir değişimin ve gelişimin içine girmiştir. Bu dönemde ortaya çıkan birçok akım, gelişen teknolojiler, yapım teknikleri ve yeni malzemeler mimariye farklı ifade olanakları sağlamış, mimarlık yeni biçim olanaklar içinde gelişmeye başlamıştır. Kübizm, Fütürizm, Konstrüktivizm, Ekspresyonizm, Dadaizm gibi pek çok sanat akımı yeni mimarlık anlayışlarının zeminini

hazırlamıştır. Özellikle ekspresyonizm akımının etkisiyle ifadeci bir tasarım anlayışı benimsenmiş, form kaygısının ön plana çıkmasıyla birlikte mimaride heykelsi tavırlar kendini göstermiştir. Birçok mimar kütleli tasarım anlayışını benimseyerek, mimarlık ürünlerini aynı zamanda simgesel anlatım aracı olarak kullanmaya başlamıştır. Formla düşünen mimarlar biçimsel kararları verirken doğada bulunan doğal formları ilham kaynağı olarak kullanmışlardır (Özertural, 2007).

Dönemin önemli mimarlarından Le Corbusier'in geç dönem eserlerinde bu anlayışın izlerini gözlemek mümkündür. Broadbent (1978), Corbusier'in 1954 yılında Fransa Ronchamp'ta yapılan Ronchamp Şapeli için "1946'da New York'un yakınındaki Long Island'ta bulduğum bir yengeç kabuğu, çizim masamın üzerinde duruyor. O, şapelin çatısı olacaktır..." demiştir (Varlı, 2013). Aynı yıllarda Meksikalı tasarımcı Felix Candela deniz kabuklarının ve yumurtanın basınca ve kırılmaya dayanıklı yapısını inceleyerek ürünler ortaya koymaya başlamış, hiperbolik paraboloidlerle çalışmıştır (Bozkurt, 2010). Amerikalı mimar Eero Saarinen'in 1962 yılında kuş formunu imgeleyerek uçuş kavramını çağrıştırdığı TWA havalimanı binası da biyomimetik mimarlığa giden yolda dönemin önemli örnekleri arasında sayılmaktadır. Benzer şekilde Santiago Calatrava'nın birçok yapısında da hem görsel olarak hem de fonksiyonel olarak doğal dünyadan esinlendiği görülmektedir. Çalışmalarında doğadaki canlı formların hareketlerinden de esinlenen Calatrava, doğal yapı ve mekanizmaları inceleyerek kinetik mimari tasarımlar geliştirmiştir (Yeşilyurt, 2008). Calatrava "Benim için, doğada yapılara uygun iki temel prensip vardır: Biri malzemelerin optimal düzeyde kullanımı, diğeri organizmaların şekil değiştirme, büyüme ve hareket etme kabiliyetleridir. Özellikle hareket, benim için gerçek ilham kaynağıdır" (Calatrava, 2000) demiştir. Bu doğrultuda Şekil 2.11 de görülen "Planetaryum" yapısı, Calatrava'nın gözün yapısından esinlenerek kinetik yapı elemanları ile mimariye işlevsellik ve heykelsi bir duruş kazandırdığı çalışmalarından birisidir. Planetaryum, Valensiya'da bulunan Bilim ve Sanat Merkezi kompleksinin bir parçası olarak tasarlanmıştır. Yapı, içerisinde 3 boyutlu sinema bulunan küresel bir planetaryum ile onu kapsayan beton kabuktan oluşmaktadır. Yapının çevresinde tüm yapıyı yansıtan bir yansıma havuzu bulunmaktadır. Yansımanın etkisiyle planetaryum göz bebeğine, kinetik elemanlardan oluşan hareketli giriş kapısı ile beton kabuk ise göz kapağına dönüşmektedir. Yapı bu haliyle gözün uyanışını simgeleyerek organik bir vücudu temsil etmektedir ve aynı zamanda organik vücudun hareketini simüle etmektedir (Yıldız, 2007).



Şekil 2.11. Gözün biçimi ve işlevinden esinlenerek tasarlanan Planetaryum yapısı (URL-6)

Diğer taraftan 20. yüzyıl ütopyik düşünce ve tasarımların da görüldüğü bir dönem olmuştur. Japonya’da geleceğe yönelik yeni yaşam modelleri üzerine çalışan bir grup mimar ve şehir plancısı tarafından “metabolist akım” ortaya atılmıştır. Metabolist hareketin etkisiyle kent ile mimarlığın tıpkı yaşayan metabolizmalar gibi organik biçimde gelişmesi ve büyümesi fikri benimsenmiştir. Şehirler ve mimarlık canlı metabolizmalarla eşleştirilmiş, yeni kentler ile binaların bireylerin gereksinimlerine göre büyüeyebilir canlı varlıklar gibi tasarlanması gerektiği savunulmuştur. Nüfusa göre artan konut ihtiyacını karşılamak için ana strüktür üzerine eklenip çıkarılabilen yaşam alanları önerilmiş ve bu sistemle planlı bir büyümenin sağlanacağı belirtilmiştir. Metabolist mimarlardan Kisho Kurokawa’nın 1961 yılında tasarladığı Helix Kenti de bu fikri somutlaştırmıştır. DNA’dan ilham alan mimar, kentin gelişimine göre tıpkı DNA’nın yaptığı gibi kendisini kopyalayarak organik bir büyüme gösterecek sarmal yapılar önermiştir (Çakaloğulları, 2015).

20. yy aynı zamanda beton endüstrisinin gelişmesiyle bakımından da mimarlar ve mühendisler için önemli bir dönem olmuştur. Özellikle betonun demir ile kullanılmaya başlamasıyla birlikte mimaride pek çok şey değişmeye başlamıştır. Betonarme, hem kolay şekil alabilen yapısı hem de taşıyıcı özelliği ile kısa zamanda mimarların eserlerini gerçekleştirebilmesi için eşsiz bir araç olmuştur (Özertural, 2007). Beton ve özellikle çelik strüktürlerin kullanılmaya başlaması yapılarda kabuk ve strüktür tasarımlarının yeniden yorumlanmasının önünü açmış ve bu doğrultuda doğadaki kabuk yapılarının geometrisi ve verimliliği birçok tasarımcı için esin kaynağı olmuştur (Öztoprak, 2008).

Robert Maillart, Edouardo Torroja, Eugéne Freyssinet, Pier Luigi Nervi ve Felix Candela bu konstrüksiyonlar üzerinde çalışarak doğadan öğrendiği metotlarla bu sistemleri geliştirmeye çalışan önemli tasarımcılar arasındadır. Özellikle Nervi ve Candela’nın doğal yapılara derin bir ilgi duyduğunu söylemek mümkündür (Arslan Selçuk ve Sorguç, 2010). Buckminster Fuller ve Frei Otto da strüktürel açıdan verimli tasarımlar ortaya çıkarmak

için doğal formları analiz eden ve bu sayede yenilikçi strüktür sistemleri tasarlayan önemli tasarımcılar arasındadır (Öztoprak, 2008). Frei Otto doğadan öğrenmenin önemine dikkat çekerek, doğal yapıların sadece ne oldukları ile değil aynı zamanda nasıl bir araya gelip oluştuklarının da göz önüne alınması gerektiğini belirtmiştir. Bu doğrultuda doğal yapılar ve süreçler hakkında bilgi edinmek için “yapay analogi araştırması” (*synthetic analogy research*) olarak adlandırıldığı deneysel bir yaklaşım kullanmış, doğadaki öz-yapılaşma (*self-organization*) prensiplerini araştırmıştır (Gruber, Bruckner, Hellmich, Schmiedmayer ve Gebeshuber, 2011:145). 1964 de Stuttgart’ da kurduğu enstitü (*Institute for Light Weight Structures*) bünyesinde biyoloji ilkelerini tasarım sürecine entegre ederek yapısal verimlilik üzerine çok disiplinli araştırmalar ve deneyler yapmıştır. Finding Form (Form Bulma) isimli kitabında, örümcek ağı, sabun köpüğü, yeryüzü hareketleri, ağaçlar, taşlar, rüzgar erozyonu, şimşek, bulutlar, kuşlar ve arılar gibi doğal formları ve oluşumları inceleyerek konstrüksiyon merkezli deneylerine yer vermiştir. Bu deneylerin uzantısında çadır strüktürler, ağ konstrüksiyonlar, pnömatik konstrüksiyonlar, tonozlar, kabuklar gibi birçok sisteme özgün yorumlar getirmiştir. Örümcek ağlarından sabun köpüklerine varıncaya kadar pek çok doğal oluşum üzerinde çalışan Otto özellikle sabun köpüğü deneyleri sayesinde birçok asma-germe strüktür tasarımı geliştirmiştir (Pasic, 2014). Şekil 2.12’de görülen dalga pavyonu Otto’nun 1963 yılında Hamburg’da gerçekleşen uluslararası bahçe fuarı için bir dizi sabun köpüğü deneyi sonucunda geliştirip ürettiği strüktürlerden biridir.



Şekil 2.12. (a) Sabun köpüğü deneyi (Otto ve Rasch, 1995:77), (b ve c) Dalga pavyonu görünümü (Nerdinger, 2005:214; Glaeser, 1972:25)

Buckminster Fuller (1895–1983) doğada dinamik, işlevsel ve sonuç ürünleri hafif olan bir teknoloji olduğunu iddia etmiş ve doğal yapılaşmaların optimum verimlilikte olmasının insan yapımı strüktürler için önemli ipuçları barındırdığını söylemiştir (Portoghesi’den aktaran, Türk, 2018). Bu doğrultuda 50 yılı aşkın bir süre jeodezik kubbelerin geometrik yasaları üzerinde yoğun bir şekilde çalışmıştır. Çalışmalarında doğadaki organizmalardan mikro seviyelerde ilham almaya başlayan Fuller Radiolaria adı verilen tek hücreli canlıları

mikroskobik ortamda incelemiş, onların iskeletlerini, jeodezik ve küresel yapılarını yapay yapılarla karşılaştırmış ve aldığı ilhamlardan hareketle mimaride jeodezik kubbeleri kullanmaya başlamıştır. Montreal’de 1967 Dünya Sergisi için yapılan ve Fuller’ın en bilindik projelerinden biri olan jeodezik kubbe, bu anlayışla tasarlanmış örneklerden biridir (Şekil 2.13) (Pasic, 2014).



Şekil 2.13. (a) Radiolarianın mikroskopik görüntüsü (URL-7), (b ve c) Fuller'in Radiolarianın iskelet yapısından esinlenerek tasarladığı jeodezik kubbe (URL-8)

20. yüzyılda mimarlığın doğa ile ilişkisi tasarımlarda yapısal verimlilik arayışı bağlamında ilerlerken, dönemin sonlarına doğru mimarlıkta enerji verimliliği arayışı ve sürdürülebilirlik bilinci doğmaya başlamıştır. Günümüzde iklim değişikliği, nüfus artışı, plansız kentleşme, kirlilik ve doğal kaynakların tükenmeye başlaması gibi doğa üzerinde doğrudan etkiye sahip farklı türdeki sorunların ortaya çıkmaya başlamasıyla birlikte mimari tasarım perspektifi değişmiştir. Doğal çevreye uyum sağlama çabası içinde salt tüketimden uzak, enerji ve su gereksinimlerini kendi sistemleri içerisinde yenilenebilir şekilde karşılayabilen sürdürülebilir mimari tasarım stratejileri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu anlamda enerji ve su verimliliği önemli bir tasarım kriteri haline gelmiş ve binaların sürdürülebilirliğini arttırmak amacıyla LEED, BREEAM, CASBEE vb. gibi yeşil bina standartları geliştirilerek uygulanmaya başlanmıştır. Biçimleniş ve yapısal verimlilik alanında doğadan ilham alan tasarımcılar bu defa sürdürülebilirlik anlamında doğayı gözlemlemeye başlamışlardır. Bu doğrultuda biyomimesis, yapılı çevrenin sürdürülebilirlikle alakalı sorunlarını çözmek için sıklıkla başvurulan alanlardan biri haline gelmeye başlamıştır (Öztoprak, 2008).

Şekil 2.6’da gösterilen Portcullis House Binası ve Şekil 2.14’de gösterilen Katar Tarım Bakanlığı Binası biyomimikrinin sürdürülebilir mimari tasarımda kullanımına dair örneklerdendir. Katar’da bulunan Tarım Bakanlığı Binası Aesthetics Architects Go Group tarafından tasarlanmıştır. Binada çöl iklimi ile başa çıkabilen kaktüs bitkisinden ilham alan

doğa esinli teknolojiler kullanılmıştır. Kaktüs bitkisinde gövdesi boyunca bulunan dikenlerin, bitkiye gölgelendirme yaparak depolanan suyun buharlaşmasını engellediği ve gövde boyunca yere kadar iç sıcaklığın optimal düzeyde kalmasını sağladığı bilinmektedir. Bitkinin bu gölgelendirme davranışına dayanarak binanın cephesi boyunca istenen iç sıcaklığa bağlı olarak güneş ışığı ve ısı miktarını düzenlemek için otomatik olarak yukarı ve aşağı dalgalanma özelliğine sahip güneşlikler yapılmıştır. Bu çözüm, iklimlendirme için kullanılacak enerjiden tasarruf edilmesine katkı sağlamıştır (Maglic, 2012).






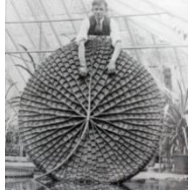
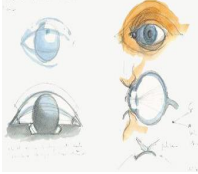

Şekil 2.14. Kaktüs bitkisinden ilham alınarak tasarlanan Doha Tarım Bakanlığı Binası (Rao, 2015)

Biyomimesisin mimaride kullanımıyla ilgili olarak örnekleri çoğaltmak mümkündür. Ancak özetle mimarlık tarihine bakıldığında dönemlerin getirdiği ihtiyaçlar ve imkânlar doğrultusunda mimarlık ve doğanın mutlak bir etkileşim içinde olduğu görülmektedir. Mimaride doğayı taklit etme yaklaşımı dönemlerin dinamiklerine göre farklılık göstermiş ancak en temelde doğa birçok tasarımcı için rol model olmaya devam etmiştir. Tarihsel süreç içerisinde teknolojinin gelişmesi ve araştırma imkanlarının artmasının sağladığı avantajlarla doğadan öğrenme hareketi doğanın şekilsel olarak taklit edilmesinin ötesinde biyolojik bilginin tasarım sürecine entegre edilmesiyle çok disiplinli bir anlayışla biyomimikri ışığında irdelenmeye başlamıştır. Doğayı taklit metaforik ve analogik yaklaşımın ötesine geçmiş, doğal formları yöneten kurallar mimari yapıların işleyişindeki sorunları çözmek için kullanılarak strüktür, malzeme, renk, yapısal verimlilik, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi birçok alana yayılmıştır. Günümüzde de biyometetik bilim çatısı altında birleşen ve birçok bilim dalıyla iş birliği içinde olan doğadan öğrenme hareketi mimarlık alanında etkin sonuç ürünleri vermekte ve gelişmeye devam etmektedir. Son yıllarda dünya çapında üniversitelerde biyometetik çalışma merkezleri yayılmaya başlamıştır. İsveç'te bulunan Biyoloji Esinli Sistemler Laboratuvarı (*Biologically Inspired Systems Lab*), Atlanta'da bulunan Biyoloji Esinli Tasarımlar Merkezi (*the Centre for*

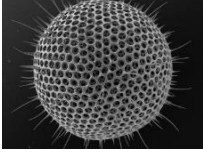









Biologically Inspired Designs) ve Kuzey Carolina Duke Üniversitesi'nde bulunan Biyoloji Esinli Malzemeler ve Sistemler Merkezi (*the Centre for Biologically Inspired Materials and Material Systems*) örneklerden bazılarıdır (Nkandu ve Alibaba, 2018). Benyus' a (1997) göre bu öğrenme süreci farklı disiplinlerde yaygınlaşarak devam ederse önümüzdeki yıllarda “biyomimetik bir devrim” yaşanacaktır. Görüldüğü gibi, biyolojik veriler diğer bilim ve tasarım dallarında olduğu gibi mimarlık alanında da yeni paradigmlar yaratma potansiyeline sahiptir.



Çizelge 2.1. Mimarlık ve biyomimesis ilişkisinin tarihsel gelişimini gösteren özet tablo (yazar tarafından hazırlanmıştır)

	Doğal Esin Kaynağı	Mimariye Yansıması	Tasarımdaki Uygulaması	Uygulama Alanı	Biyomimikri düzeyi
6-9. yy	<p><u>Acanthus Bitkisi</u></p> 	<p><u>Sütun Başlığı</u></p> 	Acanthus bitkisinin şekilsel özellikleri taklit edilerek sütun başlığının süslemelerinde kullanılmıştır	Form	Organizma Düzeyi
9-16.yy	<p><u>Ağaç</u></p> 	<p><u>Yelpaze Tonoz</u></p> 	Yelpaze tonozlar ağaç dallarının biçimlenişinden ve yük taşıma prensibinden ilham alınarak geliştirilmiştir	Form Strüktür	Organizma Düzeyi
16-19. yy	<p><u>Kemik ve sürüngen derisi</u></p> 	<p><u>Casa Battlo</u></p> 	Casa Battlo, okyanus dalgaları, iskelet, kemikler ve sürüngen derisi gibi doğal nesnelere esinlenerek tasarlanmıştır	Form	Organizma Düzeyi
	<p><u>Nilüfer Çiçeği</u></p> 	<p><u>Crystal Palace</u></p> 	Crystal Palace'ın strüktürel yapısı Nilüfer yaprağının doğal iskelet yapısından ilham alınarak tasarlanmıştır	Strüktür	Organizma Düzeyi
19-20. yy	<p><u>Göz</u></p> 	<p><u>Planetaryum</u></p> 	Planetaryum, gözün formundan ve hareketinden ilham alınarak tasarlanmıştır	Form Fonksiyon	Organizma Düzeyi
	<p><u>Sabun Köpüğü</u></p> 	<p><u>Dalga Pavyonu</u></p> 	Dalga pavyonunun asma-germe strüktür sistemi, sabun köpüğünün yüzeylerinin minimum yüzey-gerilim prensibinden ilham alınarak tasarlanmıştır	Strüktür	Organizma Düzeyi

Çizelge 2.1. (devam) Mimarlık ve biyomimesis ilişkisinin tarihsel gelişimini gösteren özet tablo (yazar tarafından hazırlanmıştır)

	Doğal Esin Kaynağı	Mimariye Yansıması	Tasarımdaki Uygulaması	Uygulama Alanı	Biyomimikri düzeyi
19-20. yy	<u>Radiolarian</u> 	<u>Jeodezik Kubbe</u> 	Tek hücreli canlılardan Radiolarian canlısının iskelet yapısı jeodezik kubbelerin tasarımına ilham kaynağı olmuştur.	Strüktür	Organizma Düzeyi
21.yy	<u>Termit Höyüğü</u> 	<u>Portcillus House</u> 	Termitlerin, yuvalarında uyguladığı havalandırma hareketinden ilham alınarak Portcillus House binasının pasif iklimlendirme sistemi tasarlanmıştır.	Fonksiyon	Organizma Düzeyi
	<u>Kaktüs</u> 	<u>Doha Tarım Bakanlığı</u> 	Kaktüs bitkisinin formundan ve güneş ısı ve ışığından korunma prensibinden ilham alınarak Doha Tarım Bakanlığı binasının cephesi tasarlanmıştır	Form Fonksiyon	Organizma Düzeyi
	<u>Venüs Çiçeği Süngeri</u> 	<u>Gherkin Tower</u> 	Gherkin Tower venüs çiçeği süngerinin formundan ve iskelet yapısından ilham alınarak tasarlanmıştır	Form Fonksiyon	Organizma Düzeyi
	<u>Dağ ekosistemi</u> 	<u>Zira Island</u> 	Zira Island yedi Azerbaycan tepesinden ilham alınarak bağımsız bir ekosistem gibi kendi içinde bütün bir çevre sistemi olarak tasarlanmıştır	Form Fonksiyon	Ekosistem Düzeyi

2.2. Yapılı Çevrelerde Su Hasadı Yöntemleri

Bu bölümde yapılı çevrelerde kullanılan su hasadı yöntemleri incelenerek bu yöntemlerden yağmur suyu hasadı (*rain water harvesting*) konusuna odaklanılmış, yağmur suyunun özellikle su kıtlığı çeken bölgelerde varlığını devam ettirebilmiş toplumlarda suya erişim

problemlerinin çözülmesi ve toplumların sürdürülebilirliğinin sağlanması noktasındaki yeri ve önemi tarihsel bir arka plan çerçevesinde anlatılmıştır. Ardından günümüzde kullanılmakta olan yağmur suyu hasadı sistemleri hakkında bir takım teknik bilgilere yer verilerek sistemlerin temel düzeydeki çalışma prensipleri anlatılmış, yağmur suyu hasadının önemi ve avantajlarına değinilerek hali hazırda yağmur suyu kullanan ülkelerde geliştirilen yasalar ve teşvikler ortaya konulmuştur. Son olarak tarih boyunca kullanılan ve halihazırda kullanılmakta olan geleneksel yağmur suyu hasadı yöntemleri ve modern yağmur suyu hasadı yöntemleri araştırılarak öne çıkan örnekleriyle beraber sunulmuştur.

Literatüre bakıldığında yapılı çevrelerde farklı su hasadı yöntemlerinin yer aldığı görülmüştür. Bu yöntemleri; yağmur suyu hasadı, sis hasadı, nem hasadı (atmosferik su üretimi), deniz suyunun arıtımı ve yeraltı suyu hasadı olarak sıralamak mümkündür. Ancak günümüzde bu yöntemlerin çoğunun literatür ölçeğinde kaldığı ve yapılı çevrelerde herhangi bir uygulama alanı bulamadığı görülmüştür. Bu yöntemler içerisinde yağmur suyu hasadı günümüzde yaygın olarak kullanılan ve örneklerine sık rastlayabileceğimiz bir yöntemdir. Bu sebeple tez çalışmasında yağmur suyu hasadı uygulamalarına özel ilgi gösterilecektir, ancak su toplama yöntemlerine genel bir çerçeve çizebilmek adına yağmur suyu hasadıyla ilgili ayrıntılara geçmeden önce aşağıda diğer yöntemler kısaca açıklanmıştır.

2.2.1. Atmosferik su hasadı

Atmosferik su (nem, sis vb.) hasadı hava içerisinde bulunan su taneciklerinin yoğunlaştırılarak su elde edilmesini ifade etmektedir. Bu yöntem genellikle yağışsız iklimler için uygun olan su elde etme yöntemlerinden biri olarak görülmektedir. Özellikle kurak bir bölge olmasına rağmen, batısında bulunan büyük okyanus üzerinden gelen nemli hava sayesinde sıklıkla yoğun sis olayları yaşanan Atacama Çölü gibi bölgelerin bu yöntem için uygun olduğu belirtilmektedir (Kidron' dan aktaran Bradshaw, 2008). Atmosferik su hasadında temel prensip nemli veya sisli hava içerisindeki küçük su damlacıklarını veya kristallerini çıkarmaktır. Bu yöntemle su elde edilmesi için çeşitli tasarımlar ve cihazlar geliştirilmiştir. Örneğin; Güney Amerika'da Dr. Cristian Suau tarafından içerisinde sis yakalama ağları olan 'sis kovanı' (*Fog Hive*) adında bir sistem geliştirildiği ve bu sistemin günde ortalama 1.4 litre su topladığı kaydedilmiştir (Suau' dan aktaran Bradshaw, 2008). Ayrıca henüz yaygın bir yöntem olarak kullanılmasa da İsrail ve

Suudi Arabistan'ın, iklimsel yapısı Atacama ölu'ne benzeyen çöl bölgelerinde sis içerisindeki su taneciklerinin yoğunlaştırılarak suya dönüştürülmesi yönünde çalışan bazı proje ekiplerinin olduğu bilinmektedir (Bradshaw, 2008).

Diğer taraftan geçmişte bazı toplumların nemli hava içerisindeki su zerreciklerini yoğunlaştırarak atmosferik su hasadı yaptığı tahmin edilmektedir. Örneğin; Bizans döneminde yapılan büyük, gizemli yapıların, bu yöntemle içlerinde nem yoğunlaştırıp, şehirlerin sakinlerine bol miktarda tatlı su sağladığı düşünülmektedir. Günümüzde de tarihsel olarak kayıp bir teknoloji türü olduğu düşünülen bu yöntemin su temini için önemli bir potansiyel barındırdığı düşünülmektedir (Bradshaw, 2008).

2.2.2. Deniz suyu hasadı

Deniz suyu hasadı yöntemi, deniz suyu içerisindeki tuzun ayrıştırılarak tatlı suya dönüştürülmesini ifade etmektedir. Bu yöntem son yıllarda, özellikle ısrarcı kuraklıkların yaşandığı Kaliforniya'da önemli miktarda ilgi görmüştür. Bu yöntem dahilinde suyu tuzdan ayırma işlemi için ciddi miktarda enerji girişi gerektiği, ancak diğer taraftan tuzdan arındırma tesislerinin kıyı boyunca inşa edilmeleri koşuluyla, elde edilecek suyun sınırsız olacağı belirtilmiştir. İçilebilir su elde etmek için deniz suyunun arıtılması iyi bir su kaynağı alternatifi olarak görülse de bu teknolojinin maliyetlerinin kuraklık koşullarından müzdarip tüm bölgeler ve ülkeler için uygulanabilir bir seçenek olmadığı değerlendirilmektedir (Kelkar, Joshi, Ansari ve Manivel' den aktaran Bradshaw, 2008). Ayrıca, tuzdan arındırma işleminin, önemli miktarda toksin ve atık birikimi oluşturduğu belirtilerek uzun vadede çevre dostu bir yöntem olamayacağı öngörülmektedir (Bradshaw, 2008).

2.2.3. Yeraltı suyu hasadı

Yeraltı suyu hasadı erişilebilir su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde kullanılan yöntemlerden biridir. Ancak bu yöntem doğal su döngüsü üzerinde geri dönüştüremez zararlara yol açtığından ve ekolojik dengeyi bozduğundan dolayı uzun vadede tercih edilmemesi gerektiği düşünülen bir yöntemdir. Ayrıca bu yöntem yeraltı suyunun tahliyesi için geliştirilmesi oldukça maliyetli olan kuyu ve pompaların yapımı ile

gerçekleştirildiğinden ekonomik olarak da sürdürülebilir bulunmamaktadır (Bradshaw, 2008).

2.2.4. Yağmur suyu hasadı

Yağmur suyu hasadı hem geçmişte hem de günümüzde su elde etmek için en çok kullanılan sürdürülebilir yöntemlerden birisidir. Bu sebeple yağmur suyu hasadı konusu aşağıda geniş bir çerçevede anlatılmıştır.

Tarihsel arka plan

Yağmur suyu hasadı yöntemi tarih boyunca birçok toplum tarafından benimsenmiş ve kullanılan en yaygın su toplama yöntemidir. Birçok kültürde yağmur suyu hasadı, su kaynaklarının yetersiz olduğu zamanlarda evsel ve tarımsal amaçlı su ihtiyaçlarını karşılamanın etkili bir yolu olmuştur (Mbua, 2013). Özellikle Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Batı Asya gibi kurak/yarı kurak iklimlerde bulunan ve geçim kaynağı büyük ölçüde tarıma dayanan yerleşimlerde, yağmur suyu hasadı uygulamalarının tarihsel süreç içerisinde önemli bir yer edinmiş olduğu görülmektedir. Bu anlamda Ortadoğu hem evsel hem de tarımsal faaliyetlerde kullanmak için yağmur suyu hasadı uygulamaları yapan en eski bölgelerden biridir. Ortadoğu'da, ortaya çıkışının M.Ö. 9000'lere kadar uzandığı tahmin edilen ilkel yağmur suyu toplama sistemlerinin varlığı arkeolojik kanıtlar ile belgelenmiştir. Benzer kanıtlara İsrail Necef Çölü'nde de rastlanmıştır. Necef çölünde M.Ö. 2000 tarihine dayanan ve yüzey yağmur sularının toplanarak tarım uygulamalarında kullanıldığına işaret eden arkeolojik kanıtlar bulunmuştur. Kuzey Yemen'de 20.000 hektarlık tarımsal araziye sulayabilecek kadar yağmur suyu hasat edildiği ve bu sayede çiftçilik yapıldığı bilinmektedir (Nachshon ve Livshitz, 2016).

Afrika'da da yüzyıllar boyunca kırsal ve kentsel alanlarda yağmur suyu hasadı uygulamaları yapılmıştır. Afrika'nın güneyinde yer alan Kalahari Çölü'nde yüzyıllar önce yaşamış yerel halkın, bölgedeki sert yaşam koşullarıyla baş edebilmek için avcılık ve toplayıcılıkla beraber yağmur suyu hasadı yaptığı bilinmektedir (Mbua, 2013). Gould ve Nissen-Pettersen (1999)'nın belirttiği üzere, Kalahari çölünde yaşayan bu topluluklar yağmur suyunu geleneksel olarak devekuşu yumurtalarında toplayıp muhafaza etmişlerdir. Roma İmparatorluğu'nun tahıl ambarı olarak bilinen Libya'da yağmur suyu hasadı

yapılarak toplanan su, arpa, buğday, zeytin, üzüm, incir ve hurma yetiştirmek için kullanılmış, ayrıca hayvancılığın da gelişmesine katkı sağlamıştır. Yine Doğuda, Tanzania'da, çiftçiler mahsullerini sulamak için çok uzun yıllar boyunca tek su kaynağı olarak yağmur suyu hasadını kullanmışlardır. Batı Afrika Gana'da ise güvenli olmayan içme suyuna bağlı olarak suyla taşınan hastalıkların çoğalması, alternatif su temin sistemleri arayışına neden olmuş ve yağmur suyu hasadı uygulamalarının kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır (Barnes, 2009). Afrika'nın tamamında ise, Kenya yağmur suyu toplama teknolojileri ve uygulaması açısından liderlik yapmıştır (Mbua, 2013).

Yağmur suyu hasadının geçmişine bakıldığında Asya'nın da önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Rajiv Gandhi Ulusal İçme Suyu Misyonu'nun (2004) (*The Rajiv Gandhi National Drinking Water Mission*) belirttiği gibi Hindistan'ın Dholavira bölgesinde M.Ö. 3000-1500 yılları arasında içme suyu temin etmek ve sulama işlerinde kullanmak için yağmur suyu hasadı yapıldığını gösteren çeşitli rezervuarlar bulunmuştur. Yine Thar Çölü'nde (Büyük Hint Çölü olarak da bilinir) yağmur suyu akışını depolamak için yeraltı su depolama sistemleri kullanılmıştır. Delhi'de (Hindistan), 11. yüzyıl başlarında Aravalli tepelerinde evsel kullanım için yağmur suyunun toplanması ve depolanması için yapılar inşa edilmiştir. Kuzey Mısır'da ise yaklaşık 2000 yıl öncesine ait olduğu bilinen ve halen kullanılmakta olan, hacimleri 200m³ ile 2000m³ arasında değişen çok sayıda sarnıç bulunmuştur (Mbua, 2013). Doğu Asya'ya bakıldığında Japonya'da insanların yağmur suyu hasadı sayesinde Pasifik'teki Miyake-jime Mikura-Jima gibi alternatif su kaynağı bulunmayan volkanik adalarda yaşamlarını devam ettirebildikleri bilinmektedir. Bunlarla birlikte dünyanın birçok bölgesinde de yağmur suyu toplama sistemlerinin örnekleri mümkündür (Fewkes, 2012). Mısır, Cezayir, Tunus, Batı Afrika, Hindistan, Çin, Türkmenistan, Kuzey ve Güney Amerika'da birçok farklı karmaşıklık düzeyine sahip yağmur suyu hasadı sistemleri bulunmuştur (Nachshon ve Livshitz, 2016).

Akdeniz bölgesinde arkeologlar yaşı MÖ 1700'e kadar uzandığı tahmin edilen Knossos Sarayı'nda, yağmur suyu toplama ve depolama sistemlerine rastlamışlardır (Hasse'den aktaran, Mbua, 2013). Ayrıca 6. yüzyıldan itibaren Sardunya'daki Fenikelilerin ve Kartacaların, ana su kaynağı olarak yağmur suyunu kullandıkları bilinmektedir (Crasta'dan aktaran, Mbua, 2013). Antik Yunan'da ise şehirlerin kuru iklimin daha elverişli (sellere ve taşkınlara karşı korunma) ve daha sağlıklı (suya bağlı hastalıklardan korunma) olduğu düşüncesiyle kurak bölgelere inşa edilmesi sebebiyle suya erişebilmek için çeşitli

stratejiler geliştirildiği bilinmektedir. Bu doğrultuda su yetersizliği altındaki yerleşim yerlerinde yağmur suyu iyi bir su kaynağı alternatifi olarak kabul edilmiş ve şişe sarnıçları olarak bilinen ağız dar boynu uzun şişe şekilli büyük sarnıçlar yağmur suyunu toplamak için yaygın olarak kullanılmıştır. Dikdörtgen ve dairesel kesitli bu depolama sarnıçlarının kanıtları Yunanistan'ın dört bir yanındaki birçok kamu binasında ve özel binalarda bulunmuştur. M.Ö. 3000-1450 yılları arasında Yunanistan'da yaşadığı bilinen Minos medeniyeti de yağmur suyunu toplayıp Girit ve diğer adalardaki yerleşim bölgelerine taşımak için kayda değer teknolojiler geliştirmişlerdir. Bu teknolojilerin izleri birçok yerleşim yerinde bulunmuştur (Yannopoulos, Antoniou, Saropoulou ve Angelakis, 2016). Roma İmparatorluğu döneminde de yağmur suyu hasadı önemini korumaya devam etmiştir. Bu dönemde yağmur suyu toplama aynı zamanda sanat ve bilim dalı haline dönüşmüştür. Su kemerleri, kanallar, sarnıçlar gibi çeşitli teknolojilere odaklanılmış ve büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Şehirlerde, Roma evlerinde özellikle içme su temin etmek amacıyla ana su kaynağı olarak yağmur suyu kullanılmıştır. 80.000 m³ kapasitesi ile dünyadaki en büyük sarnıcının bu dönemde İstanbul'da yapılan Yerebatan Sarayı olduğunu bilinmektedir. Ortaçağ döneminde Hindistan'da devlet yöneticileri, su kaynaklarını verimli bir şekilde yönetmek için çok sayıda su deposu, basamaklı kuyuları, kanallar, tanklar ve suyla ilişkili benzeri yapılar inşa etmişler, çiftçileri kendi yağmur suyu toplama sistemlerini ve kuyularını inşa etmeye teşvik etmek için kredi ve mali yardım dağıtmışlardır. Ülkenin birçok yerinde büyük ve küçük su tankları inşa edilmiştir (URL-9).

Modern zamanlara doğru daha sofistike teknolojilerin gelişmesiyle birlikte yağmur suyu hasadı uygulamalarının kullanımı azalsa da iklim değişikliği ve diğer faktörler sebebiyle su kaynaklarının azalması endişesiyle, başta Batı Afrika ve Asya olmak üzere Dünya'nın birçok bölgesinde yağmur suyu hasadı bir su kaynağı temini yöntemi olarak yeniden gündeme gelmeye başlamıştır (Fewkes, 2012).

Yağmur suyu hasadı tanımı ve bileşenleri

Yağmur suyu toplama ya da yağmur suyu hasadı tanım olarak, yağmur suyunun birincil ve/veya yardımcı su kaynağı olarak toplanması, depolanması ve kullanılması sürecini ifade etmektedir (Fewkes, 2012). Yağmur suyunu toplamak, depolamak ve daha sonra banyo-WC kullanımları, çamaşır yıkama, peyzaj sulama, araba yıkama ve yangın söndürme rezervuarlarında kullanma gibi çeşitli ihtiyaçların karşılanmasında yeniden kullanmak için

geliştirilmiş bir tekniktir (Hassan, 2016). Dünya Koruma Yaklaşımları ve Teknolojilerine Küresel Bakış Ağı (*World Overview of Conservation Approaches and Technologies Network* (WOCAT)) veri tabanına göre yağmur suyu hasadı; “Evsel ve tarımsal kullanımın yanı sıra ekosistemin devamlılığı için su mevcudiyetini arttırmak amacıyla yağmur suyunun toplanması ve yönetimi” olarak tanımlanmaktadır. Ulusal Devlet Yasama Meclisleri Konferansı'na (*National Conference of State Legislatures* (NCSL)) göre ise yağmur suyu hasadı “dış mekan kullanımı, sıhhi tesisat ve bazı durumlarda tüketim için yağmur suyunu kullanmak için bir toplama sistemi kullanma eylemidir”.

Tipik bir yağmur suyu toplama sisteminde; toplama yüzeyi, nakil sistemi, depolama sistemi ve dağıtım sistemleri olmak üzere 4 ana bileşen bulunmaktadır. Yağmur suyu, toplama yüzeylerinden toplanarak bir dizi oluk sistemi vasıtasıyla depolara ulaştırılmakta ve çeşitli kullanımlar için yeniden dağıtılmaktadır (Şahin, 2010).

Toplama yüzeyi; yağmur suyunun toplandığı yüzeydir (Şahin, 2010). Toplama yüzeyleri; çatı yüzeyleri, toprak yüzeyler ve kaya yüzeyleri gibi birçok farklı tipte yüzeyleri içermektedir. Çatılar yaygın olarak kullanılan toplama yüzeyleridir. Yüzeylerden toplanacak yağmur suyu miktarı toplama yüzeylerinin büyüklüğüne ve iklim koşullarına göre değişim göstermektedir. Ayrıca toplama yüzeylerinde kullanılan malzeme, toplama verimliliği ve su kalitesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu açıdan toplama yüzeylerinde pürüzsüz, su itici, suyu kirletmeyen temiz malzemelerin tercih edilmesi önemlidir (Mbua, 2013).

Nakil sistemleri; toplama alanlarından gelen yağmur sularını depolara yönlendiren sistemlerdir (Şahin, 2010). Bu sistemler yağmur olukları, borular ve filtrelerden oluşmaktadırlar. Oluklar için çoğunlukla metal ve plastik malzemeler kullanılmakla beraber bazı bölgelerde ucuz bir seçenek olarak bambu kullanılmaktadır ancak etkinliği düşüktür. Nakil sistemleri dâhilinde toplanan yağmur suyu direk olarak kullanılabilirdiği gibi çeşitli filtreleme ya da arıtma işleminden de geçirilebilmektedir. Arıtma yönteminin ve ya filtrelemenin türü ise hasat edilen yağmur suyunun nihai kullanımına bağlıdır. Örneğin amaç yağmur suyunu içme suyu olarak kullanmak ise kimyasal ve biyolojik kontaminasyonu hedefleyen bir arıtma yöntemi gereklidir (Mbua, 2013).

Depolama sistemi; nakil sistemlerinden gelen yağmur suyunun biriktirildiği alanlardır. Gerektiğinde kullanabilmek için toplanan yağmur suyunun doğru şekilde depolanması son °C önemlidir. Depolama tankları çelik, plastik, beton, sıkıştırılmış toprak, çimento ve ahşap kullanılarak inşa edilebilmektedirler. Depolama tanklarının malzemesinin su geçirmez olması, suyu kirletmemesi, bölgenin iklimsel ve çevresel koşullarına uygun olması malzeme seçiminde göz önünde bulundurulması gereken unsurlardır (Mbua, 2013). Yağmur suyu deposunun büyüklüğü; yağış miktarı, ihtiyaç duyulan su miktarı, öngörülen yağmursuz geçen süre, yağmur suyu toplama yüzeyi alanı, filtrelerin etkinliği, estetik, kişisel tercih, ekonomik nedenler gibi etkenlere bağlıdır (Şahin, 2010).

Dağıtım sistemi; dağıtım sistemi toplanan ve kullanıma hazır hale getirilen yağmur suyu yerçekimi ya da pompalar yardımıyla kullanım noktalarına ulaştıran sistemlerdir (Şahin, 2010).

Yağmur suyu hasadının önemi ve avantajları

Bulduğumuz yüzyıl diliminde küresel ısınma, çevresel kirlilik, iklim değişikliği ve Dünya nüfusunun giderek çoğalması gibi sebepler özellikle kentsel alanlardaki su kaynaklarını risk altına almış böylece su kaynaklarının sürdürülebilirliği kritik bir konu haline gelmiştir. Su kaynaklarının yetersizliği endişeleriyle birlikte, yapıları çevrelerde suyun verimli bir şekilde kazanılması ve korunması için alternatif çözümler araştırılmış ve bu doğrultuda yağmur suyu hasadı konusu, Dünya'nın birçok ülkesinde ayrıntılı bir şekilde incelenmeye başlanmıştır. Son yıllarda özellikle şehirlerde yoğunlaşan nüfus için iyi kalitede suyun tedarikiyle ilgili artan zorluklara karşı çözümün bir parçası olarak kentsel ortamlarda yağmur suyu toplama ve kullanma eğilimi artmıştır (Badarnah, 2016). Kim ve arkadaşlarına (2005) göre, yağmur suyu hasadı, kentsel gelişimin sürdürülebilir olmasını sağlamak ve doğal hidrolojik döngüyü geri kazanmak için kullanılacak en iyi yöntemlerden biri olarak belirtilmektedir. Yağmur suyunu toplamanın hem ekonomik hem de çevresel açıdan birçok avantajı bulunmaktadır, bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir:

- Yağmur suyu nispeten temiz ve ücretsiz bir su kaynağıdır (Julius, Prabhavathy ve Ravikumar, 2013).
- Yağmur suyu bina içi kullanımlar ve peyzaj bitkileri ile bahçe kullanımları için uygundur. Ayrıca yağmur suyunun Ph değerinin nötre yakın olması ve saflığı sayesinde

çamaşırhanelerde kullanımında deterjan ihtiyacının azalmasına katkı sağlar (Julius ve diğerleri, 2013).

- Yağmur suyu toplama sistemleri, çoğunlukla ucuz, bakımı ve kullanımı kolay basit teknolojileri kullanırlar, herhangi bir merkezi sistemden bağımsız olarak çalışabilme özelliğine sahip olduklarından buldukları alanlarda kendi kendilerine yeterliliği sağlayabilirler ve merkezi su sistemlerinde yaşanan su kesintileri gibi dış faktörlerden kaynaklanan çeşitli olumsuz durumlardan korunmaya yardımcı olurlar (Hassan, 2016).
- Hem bireysel hane halkı düzeyinde hem de kamusal düzeyde kullanılabilen bu sistemler acil durumlar için yedek bir su kaynağı işlevi görebilirler (Julius ve diğerleri, 2013).
- Yağmur suyu toplama sistemleri sayesinde yoğun yağışlarda su tahliyesi sistemleri üzerindeki oluşan yük azaltılarak sel baskını ve erozyon riski azaltılabilir (Hassan, 2016)
- Yağmur suyunun toplanması sadece su tasarrufu değil, aynı zamanda geniş bir hizmet alanı üzerinde suyu işlemek ve pompalamak için tasarlanan merkezi bir su sistemini çalıştırmak için ihtiyaç duyulan enerjiden tasarruf edilmesini de sağlar (Rahman, Dbais ve Imteaz, 2010)
- Kentsel su temin sistemlerinde, su rezervuarlarının kirlenmesi, suyla yayılan salgın hastalıklar ve terörist saldırı gibi öngörülemeyen durumlarda kentsel su temin sistemine ek güvenlik sağlayabilirler (Rahman ve diğerleri, 2010).
- Bir yerleşim bölgesinde hanelerin çoğunda kurulması durumunda, su ihtiyaçlarını karşılamak üzere inşaa edilen barajlar veya çeşitli altyapıların ertelenmesini sağlayabilir ve dolayısıyla bu yapıların inşaatı ve kullanımı sürecinde doğal çevrede yaratılan tahribatın önüne geçilmesine katkı sağlayabilirler (Rahman ve diğerleri, 2010).

Ayrıca farklı ülkelerde yapılan çalışmalar incelendiğinde yağmur suyu hasadının önemli ölçüde su tasarrufu sağlayabileceği tespit edilmiştir (Julius ve diğerleri, 2013). Örneğin;

- Almanya'da, Herrmann ve Schmida (2008) tarafından yapılan çalışmada, bir hanedeki içme suyu tasarrufu potansiyelinin sistemdeki su toplama alanına bağlı olarak % 30 ile % 60 arasında değişebileceği belirtilmiştir.

- Avustralya'da, Coombes, Argue ve Kuczera (2000) Newcastle' daki 27 evi analiz etmiş ve yağmur suyu kullanımının % 60'lık su tasarrufunu sağlayacağı sonucuna varmışlardır.
- Brezilya'da, Ghisi (2006) 62 şehirde su hasadı tekniğinin kullanılarak potansiyel su tasarrufunu % 34'ten % 92'ye çıkacağını öngörmüştür.
- İsveç, Brezilya ve İngiltere'de de benzer çalışmalar, yağmur suyu hasadının yüksek oranda su tasarrufu sağlayabileceğini göstermiştir (Fewkes, 1999).

Dünya çapında yağmur suyu kullanımı, yasa, yönetmelik ve teşvikler

Yağmur suyu kullanımıyla ilgili çalışmalara bakıldığında tüm Dünya'da su yetersizliğiyle ilgili konuların ele alınması ve ekosistemin sürdürülebilirliğinin sağlanması için yağmur suyu hasadı uygulamalarının geliştirildiği ve uygulandığını görülmektedir (Hassan, 2016). Örneğin; Avustralya'daki konut binalarında tuvalet, çamaşır yıkama, sıcak su ve dış mekan sulamaları için gereken suyun % 50'sine kadarı yağmur suyu hasadından sağlanmaktadır (Eroksuz ve Rahman, 2010). New York'taki çok amaçlı yapıların içilebilir olmayan su ihtiyacının önemli bir yüzdesi yine yağmur suyu hasadıyla birlikte tedarik edilmektedir. Suriye'de, yağmur suyu hasadı sayesinde su ediniminde 35 MCM (milyon metreküp) kadar artış sağlanmaktadır (Mourad ve Berndtsson, 2011).

Ayrıca yağmur suyu kullanımı için Dünya çapında yerel veya bölgesel düzeyde, hukuki düzenlemeler ve teşvikler geliştirilmekte, giderek daha fazla bölgede uygulanmaktadır (Domènech ve Saurí, 2011). Örneğin;

- Almanya'da yağmur suyu hasadı sistemleri konusunda 'DIN 1989' standartları kullanılmaktadır, bu standart yağmur suyuna ilişkin planlama, tesisat, uygulama, bakım, filtreleme, depolama ve ek bileşenleri konularını ele almaktadır. Ayrıca Almanya'da yağmur suyu toplama sistemi kullananlar bazı vergileri ödemekten muaftır (Şahin ve Manioğlu, 2011).
- İngiltere'de yağmur suyu kullanımı konusunda 'BS-8515:2009 Yağmur Suyu Toplama Sistemleri, Uygulama Standardı' yayımlanmıştır. Bu standartlar kapsamında yağmur suyunun kullanım suyuna eklenmesine ilişkin tasarım, tesisat ve bakımı hakkında bilgi

vermektedir. Ayrıca sistemin uygulandığı ilk yıl %100 vergi indirimi sağlanmaktadır (Şahin ve Manioğlu, 2011).

- Avustralya’da, ulusal ve bölgesel düzeyde çeşitli girişimler alternatif su kaynaklarının kullanımını teşvik etmektedir. Ayrıca Avustralya Hükümeti, ‘*National Rainwater and Greywater Initiative*’ programı kapsamında bir yağmur suyu toplama sistemi ya da gri su sistemi kuran tüm konutlar için 500 \$'a kadar devlet teşviki sağlamaktadır (Domènech ve Saurí, 2011).
- Japonya’da, Bayındırlık Bakanlığı tarafından çıkarılan yasa ile 30.000 m²’den büyük binalarda gri su arıtma sistemlerinin veya yağmur suyu toplama sistemlerinin kullanılması zorunlu hale getirilmiştir (Şahin ve Manioğlu 2011).
- Hindistan’da; Yeni Delhi’de 100 m²’den büyük çatı alanına ve 1000 m²’den büyük inşaat alanına sahip tüm yeni binalarda, Indore’da 250 m² inşaat alanına sahip tüm yeni binalarda, Chennai’de 3 katlı tüm yeni binalarda, Mumbai’de 1000 m² parsel alanına sahip tüm binalarda ve Gujarat’da tüm resmi kamu binalarında yağmur suyu hasadı sistemlerinin kullanılması kanuni olarak zorunlu hale getirilmiştir (Şahin ve Manioğlu 2011).
- İspanya’ya bağlı Katalonya özerk bölgesinde, çeşitli belediyeler belirli bir bahçe alanına sahip yeni binalarda yağmur suyu toplama sistemlerini kurmak için finansal teşvikler vermektedir (Domènech ve Saurí, 2011).
- Ürdün ve Sri Lanka ulusal düzeyde yağmur suyu toplama politikalarını geliştirmişlerdir (Domènech ve Saurí, 2011).
- Kuzey Amerika’da Tucson (Arizona), Santa Fe County (New Mexico) ve birkaç Karayip adasının yeni binalarında yağmur suyu hasadı zorunlu hale getirilmiştir (Domènech ve Saurí, 2011).
- Texas’taki Hays County ve San Antonio gibi bölgeler, yağmur suyu kullanımını teşvik etmek için indirimler ve vergi muafiyetleri sağlamaktadır (Domènech ve Saurí, 2011).
- Güney Avustralya’da, tüm yeni binalarda bir yağmur suyu toplama sistemi veya başka bir alternatif su kaynağı tesis etmek zorunlu hale getirilmiştir (Domènech ve Saurí, 2011).
- Ülkemizde ise yağmur suyu kullanımına ilişkin ‘Yağmur Suyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik’ 30105 sayılı ve 23.06.2017 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanarak Çevre Şehircilik Bakanlığı tarafından yürürlüğe konulmuştur. Yönetmelikte yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemlerinin planlanmasına,

tasarımına, projelendirilmesine, yapımına ve işletilmesine ilişkin usul ve esasları düzenlenmiştir

Görüldüğü gibi, binalarda yağmur suyu kullanımı ile ilgili olarak dünyanın birçok farklı bölgesinde yasalar ve yönetmelikler yürürlüğe konulmakta, bu kapsamda başta finansal teşvikler olmak üzere bölgelere özel birçok teşvik sağlanmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkeler, su kaynaklarını su tüketimini azaltarak korumakta bu konuda yağmur suyunu etkin bir su kaynağı alternatifi olarak değerlendirmektedir.

Geleneksel yağmur suyu hasadı yöntemleri

İnsanoğlu tarih boyunca yaşamlarını sürdürebilmek için suya erişmeye çalışmışlar ve bunu kurak bölgelerdeki kısıtlı su kaynaklarını ustaca kullanarak başarmışlardır. Eskiden sadece temel ihtiyaçları karşılamak için geliştirilen yağmur suyu toplama yöntemleri günümüzde artan su tüketimine ve su yetersizliğine karşı bir önlem olarak su kaynaklarının sürdürülebilirliğine katkı sağlamak için kullanılmaktadır. Bununla birlikte literatürde çok sayıda yağmur suyu toplama yöntemi yer almaktadır. Her bir yöntem topoğrafya, arazi kullanımı, arazi örtüsü, yağış ve talep parametrelerine bağlı olarak spesifik ve uygulama yapılan alana özgü olup yüksek maliyetlerden düşük maliyetlere, ileri teknoloji yöntemlerinden geleneksel olanlara kadar geniş bir yelpazeden oluşmaktadır (Mbua, 2013). Aşağıda yağmur suyu hasadı yöntemleri geleneksel ve modern yöntemler olmak üzere iki ayrı başlık altında örnek uygulamalarıyla beraber incelenmiştir.

Tarihsel süreç içerisinde dünyanın farklı yerlerinde birçok toplum gereksinimleri ve imkânları doğrultusunda farklı yağmur suyu hasadı uygulamaları yapmış, her kültür kendine özgü geleneksel yağmur suyu hasadı yöntemlerini oluşturmuştur. Bununla birlikte geleneksel yağmur suyu hasadı yöntemleri incelendiğinde aynı tekniklerin bazen farklı bölgelerde farklı isimlerle anıldığı, bazen de benzer isimlere sahip olmalarına rağmen uygulamada tamamen farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Sonuç olarak, geleneksel yağmur suyu toplama tekniklerinin farklı tanımları ve sınıflandırmaları vardır ancak bölgesel veya uluslararası düzeylerde kullanılan terminoloji henüz standartlaştırılmamıştır. Geleneksel yağmur suyu hasadı yöntemleri genel olarak bölgelerin yağış miktarı, arazinin doğası, toprak tipi, jeolojisi ve topoğrafyasına bağlı olarak geliştirilmiştir (Bradshaw, 2008). Geleneksel yağmur suyu hasadı yöntemleri dahilinde çoğunlukla yöreye özgü

geliştirilmiş su tankları, kuyular, sarnıçlar, çeşitli su yapıları, su kanalları, yapay göletler ve ya havuzlar vb. kullanılmıştır. Aşağıda en çok bilinen geleneksel yağmur suyu toplama yöntemleri açıklanmıştır.

Çatılar aracılığıyla yağmur suyu toplama

Çatı suyu toplama Dünyanın birçok bölgesinde halen yaygın olarak kullanılmakta olan bir yöntemdir (Şekil 2.16). Çatılar nispeten temiz ve geçirimsiz olmalarından dolayı yağmur suyu toplama yöntemlerinde en çok tercih edilen yapı yüzeyleridir. Geleneksel bir çatı suyu toplama sisteminde; çatı yüzeylerine düşen yağmur suyu toplanıp oluklar aracılığıyla taşınarak su tanklarında depolanmaktadır. Su tankları yapıların bahçesinde, bodrum katında çatısında ya da yer altında bulunabilmektedir. Tanklarda toplanan yağmur suyu daha sonra evsel kullanımlar, bahçe sulama işleri ve hayvancılık için kullanılabilir de çatıların toplama yüzey alanlarının sınırlı olması sebebiyle genellikle içme suyu temin etmek için kullanılmaktadır (Beckers ve diğerleri, 2013).



Şekil 2.15. (a) Etiyopya'da uygulanan çatı suyu toplama, (b ve c) Gana'da uygulanan çatı suyu toplama (Barnes, 2009)

Özel yapılar aracılığıyla yağmur suyu toplama

Tarih boyunca yağmur suyu hasadı için küçük ölçekli basit yapılardan büyük ölçekli kompleks yapılara kadar çok çeşitli yapılar inşa edilip kullanılmıştır. Örneğin, su tankları ve su kuyuları yağmur suyu hasadı için yerel malzemeler ve basit tekniklerle inşa edilen basit geleneksel yapılardır. Bu yapılar aracılığıyla yağmur suyu hasadı yapmak, bilinen en yaygın geleneksel yöntemlerden biridir. Yeraltında ve ya yer üstünde inşa edilebilen su tankları yağmur sularının toplanıp, biriktirilmesi amacıyla buldukları bölgeye göre çoğunlukla yöresel malzemeler kullanılarak yapılan su toplama depolarıdır. Basit kurulum

ve kullanım ilkeleriyle geliştirilen bu geleneksel yöntemle çoğu durumda yıl boyunca yetecek kadar su toplanıp depolanabilmektedir. Dünya'nın birçok bölgesinde halen geleneksel olarak kullanılmakta olan bu yöntemin çok çeşitli tiplerde geliştirilmiş örneklerine rastlamak mümkündür. Örneğin, Şekil 2.15 de görülen, Kund ve Taanka isimleriyle bilinen sistemler Hindistan'da yağmur suyu toplamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Meydanlarda evlerde ya da açık tarım alanları gibi çeşitli yerlerde yerel malzemelerle farklı şekillerde ve boyutlarda inşa edilebilen bu su toplama tankları genellikle içme suyu temin edebilmek için kullanılmaktadır. Tank yağmur suyunu kendi üzerindeki ve zemindeki delikler ile toplayıp depolamaktadır. Depolanacak suya çöplerin karışmaması ve suyun kuşlar sürüngenler gibi hayvanlardan korunması için su giriş delikleri tel ağlarla örtülmektedir. Suyu mikroplardan korumak için ise tankın kenarları ve su toplama yüzeyleri kireç ve ya kül ile kaplanmaktadır. Ayrıca yapıların çoğunda suyun serinliğini korumak ve buharlaşmasını önlemek için çoğunlukla tuğladan yapılan kubbe şeklinde bir kapak veya düz bir kapak bulunmaktadır (Şekil 2.15) (Bhattacharya, 2015).



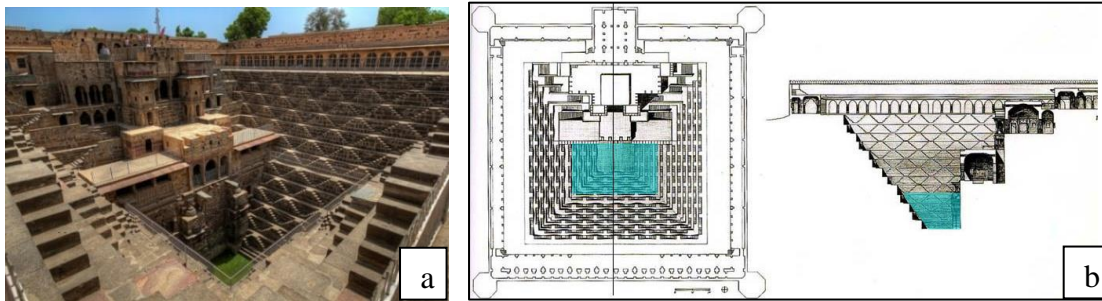
Şekil 2.16. (a ve b) Kund ve Tanka görünümü , (c) Yağmur suyu toplama şematik gösterimi (URL-10)

Yağmur suyunu toplamak ve depolamak için küçük ölçekli tankların ya da su kuyularının kullanılmasının yanı sıra, anıtsal değer taşıyan birçok su yapısı da inşa edilmiştir. Buna örnek olarak Şekil 2.17'de gösterilen ve çoğunlukla Asya ile Hindistan'da bulunan basamaklı su kuyuları gösterilebilir. Basamaklı su kuyuları yapıldıkları dönem su ihtiyacını karşılayan önemli su toplama uygulamalarındandır. Basamaklı su kuyularının en eski örneklerinin M.S. 550 yılında yapıldığı tahmin edilmekle beraber en ünlü ve görkemli örneklerinin Orta Çağ'da inşa edildiği bilinmektedir. Bu yapılar geleneksel ismiyle *baoli* olarak bilinmesinin yanı sıra *Vav*, *vavadi*, *baudi*, *bawdi*, *bawri*, *bavadi* ve *bavdi* gibi farklı isimlerle de anılmaktadırlar. Hindistan konuşma dilinde çoğunlukla *baudi* olarak kullanılmaktadır. *Johara* olarak bilinen bir başka tip su kuyusunda ise hayvanların suya

daha kolay ulaşabilmesi için basamak yerine rampalar kullanılmıştır. Basamaklı su kuyuları geniş açık yüzeylerinde yağmur suyu toplayarak kuyunun dibinde depolamaktadır. Bu sistemi farklılaştıran en önemli eleman kuyunun dibine inen basamaklardır. Bu basamaklar sayesinde hem suya erişim sağlanmakta hem de güneş ışığının doğrudan suya nüfuz etmesi önlenerek buharlaşma en düşük düzeyde tutulmaktadır (Murugesan, 2014).

Bu yapılar yıl boyunca insanların suya doğrudan erişebilmelerini sağlamanın yanı sıra antik zamanlardan beri özellikle krallar ve kraliçeler onuruna inşa edilen ve yüksek arkeolojik önem taşıyan yapılardır. Çoğu zaman toplumların sosyal ve sanatsal ilgilerini gösteren heykel ve yazıtlarla süslenmişlerdir. Ayrıca bazı su sporları, gösteriler, ritüeller, festivaller gibi etkinliklerin gerçekleştirilmesi için de hizmet etmişler, halkın toplandığı, bilgi alışverişinde bulunduğu sosyalleşme alanları olmuşlardır. Bu doğrultuda yapıların kullanım amacı buldukları yerlere göre değişmiştir. Yerleşim yerinde ya da yakınında bulunanlar halka açık toplantılar, gösteriler ve çeşitli etkinlikler için kullanılmış, yerleşim yerinden uzakta ve ya ticaret yolları üzerinde bulunanlar ise dinlenme alanı olarak işlev görmüştür (Murugesan, 2014).

Hindistan'ın Rajasthan eyaletindeki Abhaneri köyünde inşa edilen 33 metre derinliğe sahip Chand Baori, basamaklı su kuyusunun önemli örneklerinden biridir (Şekil 2.17). Bu kuyuda yaklaşık olarak 3500 basamak bulunmaktadır. Yapının üç tarafı basamaklarla çevrelenirken, diğer tarafında tarafında çoğunlukla sosyal mekan işlevi gören bir yapı bulunmaktadır (Murugesan, 2014).



Şekil 2.17. (a) Rajasthan, Hindistan'da bulunan basamaklı su kuyusu görünümü, (b) basamaklı su kuyusunun planı ve kesiti (URL-11)

Yapay göletler ya da havuzlar aracılığıyla yağmur suyu toplama

Yapay göletler ve havuzlar çoğunlukla hayvancılık ve tarımsal amaçlar için su temin etmede kullanılan sistemlerdir. Bu sistemlerde yüzey akış suları ile yağmur suları büyüklüğü birkaç bin metreküpten on binlerce metreküplere kadar değişebilen göletlerde toplanmaktadır. Birçok bölgede bulunabilen bu göletler özellikle Hindistan'da çok yaygındır ve yaklaşık üç milyon hektar arazi bu yolla sulanmaktadır. Ayrıca Sudan, Ürdün ve Suriye'de de daha küçük havuzlar yaygındır. Şekil 2.18'de görülen *Talai* ve *Johad* olarak bilinen yağmur suyu göletleri özellikle Hindistan'da yaygın olarak görülmektedir. Bu tip göletler büyüklüklerine ve su toplama kapasitelerine göre geleneksel olarak *Talab*, *Bandh*, *Sagar* veya *Samand* olarak da adlandırılmaktadırlar. *Talai*'ler en çok kullanılan türüdür. *Johad* ismiyle anılanları ise talai'den daha büyük ve daha derin olan havuzlardır. Hem *Talai* hem de *Johad*, topluluklarının evsel kullanımlar ve hayvancılık için su ihtiyacını karşılayan açık su toplama ve depolama yapılarıdır. Bu havuzlar geleneksel olarak duvarlar arasında toprak dolgusuyla birlikte yığma duvarlar kullanılarak inşa edilmektedir. Ayrıca, çoğunlukla toprağa su sızmasını engellemek için zeminleri taşla kaplanmaktadır. Havzasının temiz kalabilmesi için ise genellikle köylerden veya insan yerleşimlerinden uzakta yapılmaktadırlar. Geleneksel olarak oldukça yaygın olarak kullanılan *Talab* ve *Johadlar* zamanla kentleşme ve sanayileşme nedeniyle kaybolmaya başlamıştır (Murugesan, 2014).



Şekil 2.18. Talab görünümü, Racastan/Hindistan (URL-12)

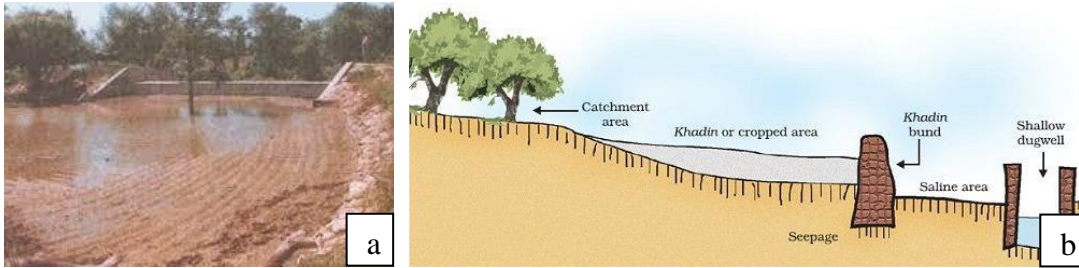
Benzer şekilde Doğu Afrika ülkelerinde yaygın olarak kullanılan ve *Berkad* ismiyle bilinen sistemler de beton veya çimentodan yapılan küboid şekilli su hasadı yapılarıdır (Şekil 2.19). Genelde eğimli alanlara konumlandırılan bu sistemde yüzeysel akış suları ve yağmur suları kanallar yardımıyla da toplanıp yönlendirilerek bir havuz içerisinde toplanmaktadır.

Hacimleri 300-500 m³ arasında değişebilen berkadlar çoğunlukla hayvancılık ve evsel kullanımlar için su temini sağlamaktadır (Oduor ve Gadain, 2007).



Şekil 2.19. Berkad görünümü (Oduor ve Gadain, 2007)

Bir başka örnek olarak Batı Hindistan'da kullanılan *Khadin* isimli sistem olarak gösterilebilir. *Adhora* olarak da bilinen *Khadin*, tarımda kullanılmak üzere yüzey sularının ve yağmur suyunun toplanması için geliştirilmiş sistemlerdir (Şekil 2.20). Bu sistemde diğer yağmur göletlerinden farklı olarak yağmur suyu çeşitli kullanım amaçları için dağıtılmaz. Yağmur suyu toplandığı yüzeyi tarımsal faaliyetlerde kullanılmak üzere besler ve toprağı hazırlar. Diğer bir deyişle *Khadin* sistemi esas olarak bir ekim sahasında yağmur suyu toplama ve daha sonra yağmur suyu ile doyurulmuş bu araziye bitki üretimi için kullanma ilkesine dayalıdır (Hussain, Husain ve Arif, 2014).



Şekil 2.20. (a) Khadin görünümü, (b) yağmur suyu toplama sistemi şematik gösterimi (URL-13)

Modern yağmur suyu toplama yöntemleri

Modern yapılarda kullanılan yağmur suyu hasadı sistemlerine bakıldığında, geleneksel yağmur suyu hasadı tekniklerinin modern sistemlere uyarlandığını söylemek mümkündür. Özellikle sarnıçlardaki yağmur suyu toplama ilkesinin günümüz sürdürülebilir mimari yaklaşımlarında önemli yer edindiği görülmektedir. Bugün yapılarda kullanılabilen yağmur

suyu hasadı sistemleri aslında sarnıçların gelişmiş modelleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Temel prensip olarak yağmur suyu hasadı, bina yüzeylerinden çoğunlukla da çatılardan yağmur suyunun toplanarak çeşitli rezervuarlarda depolanması şeklinde yapılmaktadır. Bu temel prensip doğrultusunda yağmur suyu hasadı için birçok farklı konsept görmek mümkündür. Bu konseptler yapının mimari özellikleri, bulunduğu bölgenin iklimsel durumu, çevresel etkenler, kullanıcı ihtiyaçları vb. birçok değişken doğrultusunda farklılık göstermektedir.

Literatüre bakıldığında yağmur suyu toplama yöntemleriyle ilgili farklı yaklaşımların olduğu ve henüz standartlaştırılmış bir sınıflandırmanın olmadığı görülmüştür. Örneğin; Jothiprakash ve Sathe (2009); yapıları alanlarda yağmur suyu toplama yöntemlerini 5 başlık altında incelemiştir. Bunlar; özel su yapıları, çatılar, su kuyuları, otopark alanları ve yapay göletler ile havuzlardır. Yazar (2016) bu yöntemleri çatılar aracılığıyla yağmur suyu toplama ve yapıları zeminler (avlu, veranda vs.) aracılığıyla yağmur suyu toplama olarak ikiye ayırmıştır. Benzer şekilde Martin ve Shrivastava (2013); yağmur suyu toplama yöntemlerini çatı suyu toplama ve yüzey suyu toplama (barajlar göletler kuyular vb. yapıları aracılığıyla) olmak üzere iki ana başlık altında incelemiştir. Najivar (2018) ise yağmur suyu toplama yöntemlerini çatılar ve özel mimari tasarımlar olarak iki grupta sınıflandırmıştır. Bu çalışma kapsamında modern yapıları yağmur suyu toplama yöntemleri Najivar (2018)'in incelediği gibi çatılar ve özel mimari tasarımlar olarak iki başlık altında örnekleriyle birlikte açıklanacaktır.

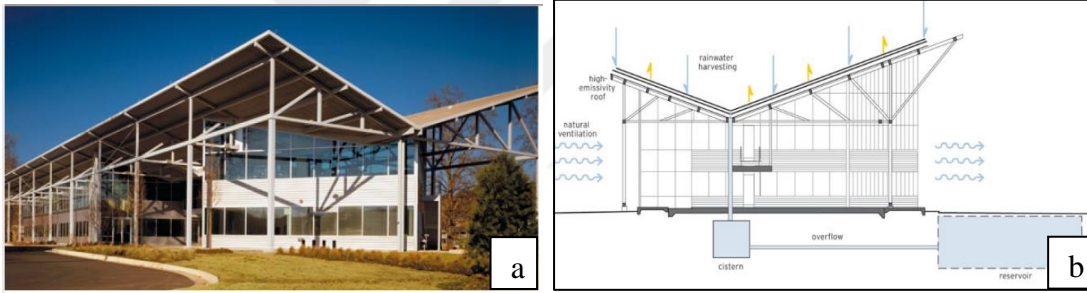
Çatılar aracılığıyla yağmur suyu toplama

Çatı suyu toplama yağmur suyu hasadı için günümüzde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde çatıya düşen yağmur suları çatı yüzeylerinden toplanarak belirli alanlarda depolanmakta ve sonrasında iletim sistemleri vasıtasıyla kullanım noktalarına gönderilmektedir. Aşağıda çatı suyu toplama yöntemiyle yağmur suyu elde eden bina örneklerine yer verilmiştir.

Winrock International Global Headquarters

ABD'nin Arkansas eyaletinin başkenti Little Rock' da Arkansas Nehri vadisinde bulunan Winrock International binası HOK firması tarafından ofis binası olarak tasarlanmıştır.

2,230 m² büyüklüğündeki bina 70 çalışana ev sahipliği yapmaktadır. Binanın tasarım stratejileri sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda geliştirilmiştir. Tasarımcıların temel hedefleri LEED Silver °Csini elde etmek ve bunu Little Rock'taki eşdeğer bir geleneksel binadan daha pahalıya mal olmadan yapmak olmuştur. Proje hayata geçtiğinde ise hedeflenenden daha fazla LEED puanı elde edilmiş LEEDGold sertifikası alınmıştır. Yapının sürdürülebilirlik hedefleri arasında yer alan su verimliliği hedefine ulaşmak için yağmur toplama sistemi tasarlanmıştır. Yapı farklı işlevlere hizmet eden martı kanadı şeklindeki büyük çatısıyla ön plana çıkmaktadır. Bu çatı binaya gölgeleme sağlarken, biçimi ve büyüklüğü sayesinde de yağmur suyunu toplamak için de ideal bir yüzey sunmaktadır. Şekil 2.21'de gösterildiği gibi yağmur suları çatının eğimi sayesinde yönlendirilip toplanarak depolama alanına gönderilmektedir. Toplanan yağmur suyu binanın sulama işlerinde kullanılmaktadır ve fazla yağmur suyu binanın bitişiğinde bulunan marinayı beslemektedir (The McGraw-Hill Companies, 2008:111).



Şekil 2.21. (a) Winrock International Building genel görünümü, (b) Yağmur suyu toplama sistemi (The McGraw-Hill Companies, 2008, 111).

Philip Merrill Environmental Center

ABD'nin Maryland eyaletinde bulunan Philip Merrill binası, J. Harrison Architect ve SmithGroup işbirliğiyle tasarlanan bir ofis binasıdır (Şekil 2.21). Bina Chesapeake Körfezi'ni iyileştirmek için çalışan bir koruma kuruluşu olan Chesapeake Körfez Vakfı'na (CBF) ev sahipliği yapmaktadır. Binada öğretmenler, avukatlar, araştırmacılar, yöneticiler, iletişim uzmanları ve destek personelinin oluşan yaklaşık 90 kişilik bir kullanıcı ağı bulunmaktadır (Heerwagen ve Zagreus, 2005).

ABD'nin ilk LEED Platinum sertifikalı binası olan Merrill Center, sürdürülebilirlik uygulamalarında öncü olmuştur. Chesapeake Bay Foundation web sitesinde

(www.savethebay.org) açıklandığı gibi, Merrill Center binası “uzay çağı teknolojisini geleneksel tekniklerle birleştirmektedir”. Sürdürülebilirlik özellikleri arasında yangın söndürme sistemlerinde, lavabolarda, temizlik işlerinde ve iklim kontrol sistemlerinde kullanılmak için kurulan bir yağmur suyu toplama sistemi yer almaktadır (Heerwagen ve Zagreus, 2005). Binanın çatısından yağmur olukları vasıtasıyla toplanan yağmur suyu giriş cephesinden açıkça görülebilen üç adet 7.000 galonluk sarnıçlarda toplanmaktadır. Geleneksel kum filtreleriyle arıtılan yağmur suyu kullanım noktalarına iletilmektedir. Ayrıca binanın bulunduğu bölgedeki su sisteminde sadece konut tipi suya erişim mevcut olduğundan, bu sarnıçların kurulması bina için bir altyapı güncellemesinin önüne geçmiştir (U.S. Department of Energy by the National Renewable Energy Laboratory, 2012). Binanın su kullanımının ortalama olarak % 73'ü toplanan yağmur suyundan sağlanmaktadır. Geleneksel bir ofis binasının yıllık ortalama su kullanımı 12,33 galon iken bu binada toplam su kullanım ortalaması yıllık 1.25 galondur. Philip Merrill binası, geleneksel bir ofis binasının su tüketimi % 10 oranında kullanmaktadır (URL-14).



Şekil 2.22. (a ve b) Philip Merrill genel görünümü, (c) yağmur suyu toplama sistemi (URL-14).

Heifer International Center

ABD'nin Arkansas eyaletinin başkenti Little Rock' da Arkansas Nehri kenarında bulunan Heifer International Center, Polk Stanley Rowland Curzon Porter Architects tarafından ofis binası olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.22). Sürdürülebilir tasarım yaklaşımıyla tasarlanan bina en yüksek LEED °Csi olan Platinum sertifikasına sahiptir. Bina, yapı tasarımına entegre edilen yağmur suyu sistemi ve gri su geri kazanım sistemleri sayesinde LEED değerlendirme kriterlerinden su verimliliği (*Water Efficiency*) başlığında 5/5 tam puan almıştır. Yağmur suyu toplama sistemi dahilinde; yaklaşık 2790 m² büyüklüğündeki çatıdan toplanan yağmur suyu, çatı eğimi yardımıyla da yönlendirilerek Şekil 2.22'de

görülen yangın merdiveniyle sarılmış beş katlı, 3,000 galonluk su kulesine iletilerek burada depolanmaktadır. Su kulesinde kullanılan ultrasonik bir su seviyesi ölçüm cihazı, sisteme katılan yağmur suyu miktarını kontrol etmektedir. Bu sayede su seviyesinin azaldığı zamanlarda depoya şebeke suyu takviye edilirken seviyenin aşıldığı zamanlarda fazla yağmur suyu tahliye edilmektedir.

Binada, yağmur suyu toplama sisteminin yanı sıra gri su geri kazanım sistemi de kullanılmaktadır. Lavabolardan ve çeşmelerinden toplanan gri su, havalandırma ünitelerinden gelen yoğuşma suyu ve su kulesinde depolanan yağmur suyu, tuvaletler ve havalandırma ünitesinde yeniden kullanılmaktadır. Bu sistemler binadaki su tüketiminin geleneksel bir binaya kıyasla % 65 azalmasını sağlamıştır. Çatıdan toplanan yağmur suyu sayesinde ise 1 yıl boyunca 528.000 galondan fazla su kazanıldığı ve gri su geri kazanım sisteminin de katkısıyla yıllık 3.402.000 galon olan su ihtiyacının 1.182.000 galona kadar düşürüldüğü kaydedilmiştir (URL-15).



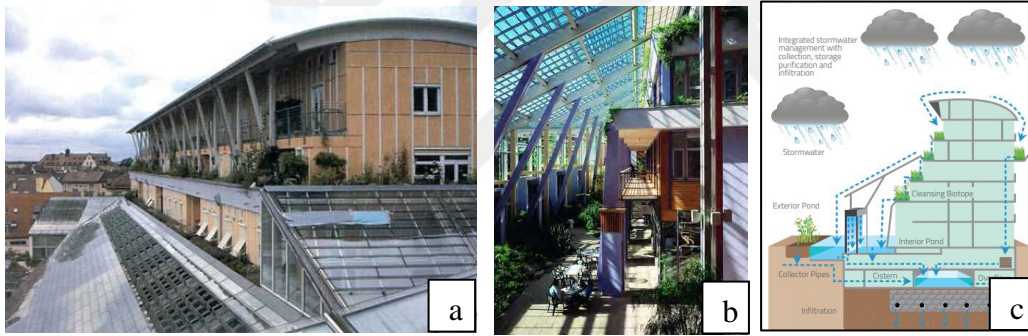
Şekil 2.23. (a) Heifer International genel görünümü, (b) yağmur suyu kulesi (URL-15)

Prisma Nuremberg

Nürnberg'de bulunan Prisma Nuremberg Joachim Eble tarafından tasarlanan karma kullanımlı bir binadır (Şekil 2.23). Binada 61 adet daire, 32 adet ofis, 10 adet dükkan ve anaokulu yer almaktadır. 4 katlı olan binanın zemin katında mağazalar, kafeler, ve anaokulu, ikinci, üçüncü ve dördüncü katlarında ofisler, beşinci ve altıncı katlarında ise özel dubleks konutlar bulunmaktadır (Hoyer, Dickhaut, Kronawitter ve Weber, 2011).

Nuremberg Prisma'nın tasarımcıları, bina içerisinde yağmur suyunu kullanarak işlevsel ve konforlu bir yaşam ve çalışma ortamı oluşturmayı amaçlamışlardır. Şekil 2.23'de

gösterildiği gibi yağmur suyu binanın çatısından toplanarak, çeşitli temizlik ünitelerinden geçtikten sonra 240 m³ hacmindeki yeraltı sarnıcında depolanmaktadır. Sarnıçta depolanan yağmur suyu buradan iki farklı dolaşım sistemine pompalanmaktadır. Bu sistemlerin birinde yağmur suyu yangın söndürme sistemlerinde kullanılmak, bina içerisindeki bitkileri sulamak ve yine bina içerisindeki peyzajda bulunan 100 metrelik bir su yolunu beslemek için yönlendirilirken diğer sistemde yağmur suyu doğal iklimlendirme için kullanılmaktadır. Doğal iklimlendirme sürecinde yağmur suyu, fuayenin güney ve güney batı cephelerinde yer alan 6 adet 5 metre yüksekliğindeki su duvarlarını beslemektedir (Şekil 2.28). Yağmur suyu bu duvarlardan geçirilerek yaz aylarında fuayenin soğutulmasına olumlu bir katkı sağlamaktadır (Şekil 2.28). Kış aylarında ise, en az 18 °C sıcaklıkta tutulan su, fuayenin ısınmasına katkı sağlamaktadır. Su duvarları hava sıcaklığı ve nem açısından ortama katkı sağlarken aynı zamanda da ziyaretçiler üzerinde görsel bir etki bırakmaktadır (Hoyer ve diğerleri, 2011).



Şekil 2.24. (a) Prisma Nuremberg Genel Görünümü, (b) Prisma Nuremberg İç Mekân Görünümü, (c) yağmur suyu toplama sistemi (Phebeun, 2012)

The Solaire

New York'da The Solaire Cesar Pelli tarafından tasarlanan bir konut yapısıdır. Bina 27 katlı olup 293 adet konut biriminden oluşmaktadır (Şekil 2.24). The Solaire binası ABD'de LEED Gold sertifikası alan ilk yüksek katlı konut yapısıdır.

The Solaire binasında birçok sürdürülebilir tasarım yaklaşımı uygulanmıştır. Yağmur suyu toplama sistemi bunlardan biridir. Binanın çatısından toplanan yağmur suyu bodrum katta bulunan 10.000 galonluk bir sarnıçta depolanmaktadır. Sarnıçta toplanan yağmur suyu New York City standartlarına uygun olarak kum filtresi sistemleriyle arıtılıp klorlanarak binanın yeşil çatısının sulanması için yeniden kullanılmaktadır. Ayrıca toplanan yağmur

suyu binanın soğutma sistemlerinde ve tuvaletlerinde de kullanılmaktadır. Bina içerisinde kullanılan su tasarruflu cihazlar, yağmur suyu toplama sistemi ve gri suyun dönüştürülerek yeniden kullanılması sayesinde binada su kullanımını geleneksel yüksek katlı binalara göre %50 oranında azalmıştır (URL-16).



Şekil 2.25. (a) The Solaire genel görünümü, (b) The Solaire'in yeşil çatısı, (c) yağmur suyu toplama sistemi (URL-16).

The Edith Green-Wendell Wyatt Federal Building

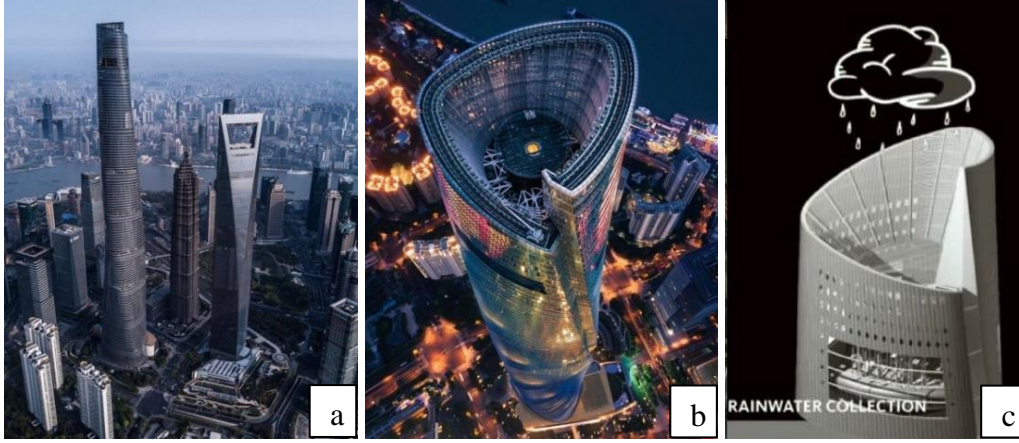
Portland şehir merkezinde bulunan Edith Green-Wendell Wyatt Federal Binası SERA Architects tarafından yenilenmiş 18 katlı bir ofis binasıdır (Şekil 2.25). Orijinali 1974 yılında inşa edilen bina, yenileme projesi için Amerikan İyileştirme ve Yeniden Yatırım Yasası kapsamında fon almıştır. Bu fon, projenin Enerji Bağımsızlığı ve Güvenlik Yasası'nın (EISA) enerji ve su tasarrufu gereksinimlerini karşılanması gerekliliğini sunmuştur. Bu doğrultuda yenileme projesi hedefleri arasında su verimliliği konusu önemli bir yer tutmuştur ve su kullanımını azaltmak için binaya yağmur suyu toplama sistemi entegre edilmiştir. Binaya özgü su koruma stratejisi geliştirme çalışmaları mevcut binanın geçmiş su kullanımının analizleri ile başlamıştır. Bu analizler sonucunda, binanın su kullanımının % 87'sinin evsel kullanım için olduğunu ve % 13'ünün çevredeki bitkilerin sulanması için kullanıldığı anlaşılmıştır. Su kullanımında bina içi kullanımlarının büyük yer kaplaması nedeniyle birincil strateji olarak sıhhi tesisat fikstürlerinde yağmur suyunun kullanımı konusu üzerine odaklanılmıştır. Yağmur suyu Şekil 2.25 de görüldüğü gibi çatıya açılı olarak yerleştirilmiş ve üzerinde güneş panellerinin de yer aldığı kanopiye çarparak doğrudan 165.000 galonluk bir depolama tankına yönlendirilmektedir. Depolanan yağmur suyu, WC, sulama ve soğutma kulelerindeki su ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu stratejiyle binada %60'dan fazla su tasarrufu sağlanmaktadır (URL-17).



Şekil 2.26. Wendell Wyatt Federal Building genel görünümü ve yağmur suyu toplama sisteminin şematik gösterimi (URL-17).

Shanghai Tower

Çin'in Pudong Finans Bölgesi'nde bulunan Shanghai Kulesi Gensler Architect tarafından karma kullanımlı bir bina olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.26). Dokuz dikey bölgeye ayrılarak tasarlanan 127 katlı kulede alt katlarda ticaret mekânları, oteller, kültürel tesisler üst katlarda gözlem terasları bulunmaktadır. Shanghai Kulesi'nde yerinde enerji sağlamak için yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji teknolojileri kullanılmaktadır. Yüksek performanslı cephe, parapetlere yerleştirilmiş rüzgâr türbinleri ve yağmur suyu toplama sistemi gibi bir takım sürdürülebilirlik kararları alınarak tasarlanmıştır. Yağmur suyu, binanın sarmal parapetiyle toplanarak ve kulenin iklimlendirme (*Heating, Ventilating and Air Conditioning HVAC*) sistemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca sulama ve tuvalet kullanımları için gri suyu ve yağmur suyunu geri dönüştürülmektedir. Böylelikle yağmur suyu toplama ve geri dönüşümü ile gri su geri dönüşüm sistemlerinin kullanımıyla birlikte bu stratejiler, su tüketiminde %38 oranında genel bir azalma sağlamaktadır (Al-Kodmany, 2016).

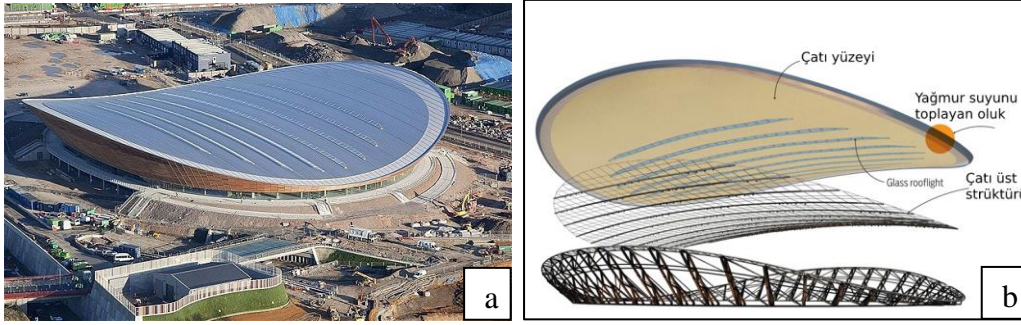


Şekil 2.27. (a ve b) Shanghai Tower genel görünümü (URL-18), (c) yağmur suyu toplama şematik gösterimi (URL-19)

London 2012 Velodrome

Londra’ da bulunan Velodrome stadyumu Hopkins Architects tarafından 2012 Londra Olimpiyat ve Paralimpik oyunları için tasarlanmıştır (Şekil 2.27). Londra 2012'nin vizyonu kapsamında ilham verici, güvenli ve kapsayıcı bir Olimpiyat ve Paralimpik Oyunlara ev sahipliği yapmanın yanı sıra Londra ve Birleşik Krallık için de sürdürülebilir bir miras bırakmak amaçlanmıştır. Bu amaçla, Londra 2012'nin aday dosyasına bir dizi sürdürülebilirlik stratejisi eklenmiştir (URL-20).

Stratejiler arasında su kullanımını %40 azaltma hedefi de yer almıştır ve bu hedef doğrultusunda Velodrome’a bir yağmur suyu toplama sistemi tasarlanmıştır (Braithwaite, 2011). Yapıda yağmur suyu yaklaşık 11 Olimpik yüzme havuzu büyüklüğündeki 11.500 m² lik çatı alanından toplanarak 25 m³ hacmindeki depolama alanlarına iletilmektedir. Yağmur suyu, çatı strüktüründe yer alan 360 °C devam eden tek bir kenar oluğu vasıtasıyla toplanmaktadır. Çatının hiperbolik parabolik biçimi ise bu kenar oluğunun tasarlanması için oldukça karmaşık bir mühendislik gerektirmiştir. Ancak kurulan bu yağmur suyu toplama sistemi sonucunda yıllık yaklaşık 550 m³ su toplanmaktadır (URL-20).



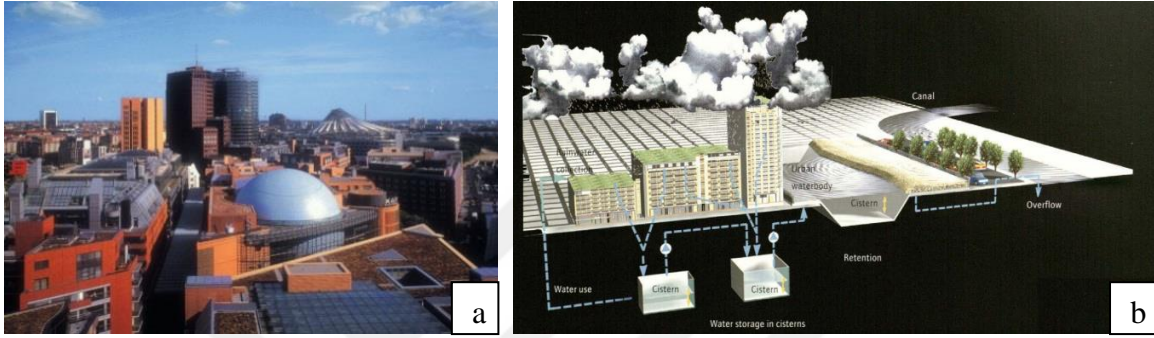
Şekil 2.28. (a) Velodrome genel görünümü, (b) Yağmur suyu toplama oluğu (URL-21)

Potsdamer Platz

Berlin’de bulunan Potsdamer Platz, Renzo Piano Building Workshop ve Christoph Kohlbecker tarafından tasarlanmış 19 binadan oluşan bir komplekstir (Şekil 2.28). Potsdamer Platz kompleksi kullanıcılarına eğlence, ofis ve alışveriş mekânları gibi farklı alanlarda hizmet sunmanın yanı sıra Sony ve Daimler Chrysler gibi çok uluslu şirketlere ev sahipliği yapmaktadır (Musoke, 2012).

Potsdamer Platz, büyük ölçekli yağmur suyu hasatlarının en iyi örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir (Musoke, 2012). Kompleksin “kentsel su tasarımı” Atelier Dreiseitl ve Peter Hausdorf tarafından yapılmıştır ve bu tasarım yıllar süren kapsamlı bir veri analizi, hesaplama ve optimizasyon modellemesi gerektirmiştir. Dreiseitl’in belirttiği üzere, güvenilir bir yağmur suyu yönetim sistemi ile ekolojik olarak sağlam yüzey suyu koşulları geliştirmek için birçok faktör araştırılmıştır (Hoyer ve diğerleri, 2011). Yağmur suyu toplama sisteminde; bina çatılarından, kaldırımlardan ve sokaklardan yağmur suyu toplanmakta ve binaların bodrum katlarında ve kompleks içerisinde yer alan park alanlarının altında bulunan sarnıçlarda toplanmaktadır (Şekil 2.28). Yaklaşık 48.000 m²’lik çatı yüzeyinden toplanan yağmur suyu uygun arıtma işlemlerden geçirildikten sonra yeşil çatı sulama sistemlerinde, alışveriş merkezlerinde yer alan otomatik bitki sulama sistemlerinde ve yangın söndürme sistemlerinde kullanılmak üzere bina içi kullanım alanlarına gönderilmektedir. Yağışların fazla olduğu ve sarnıçların kapasitelerinin dolduğu durumlarda ise fazla su kompleks içinde bulunan yapay gölete iletilmektedir. Piano göleti ismiyle bilinen bu gölet yaklaşık 13.000 m²’lik bir alanı kaplamaktadır ve sarnıçlardan gelen fazla suyu barındırmanın yanı sıra yüzey sularının toplanmasını da sağlamaktadır. Üçgen forma sahip olan bu göletin büyüklüğü, şekli ve derinliği de su sirkülasyonunu ve

filtrelemeyi optimize etmek için ayrıntılı bir şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca açık hava rekreasyonunun da odak noktası noktası olan Piano göleti ekolojik bir dengeyi korumaya yardımcı olmaktadır ve çevresel koşullara katkıda bulunmaktadır. Büyük su yüzey alanından buharlaşan su sayesinde oluşan nem yerel olarak mikro iklime katkıda bulunmaktadır ve yaz aylarında sıcaklıkları birkaç °C düşürmektedir (Hoyer ve diğerleri, 2011).



Şekil 2.29. (a) Potsdamer Platz'ın genel görünümü (URL-22), (b) Yağmur suyu toplama sistemi şematik gösterimi (Phebeun, 2012)

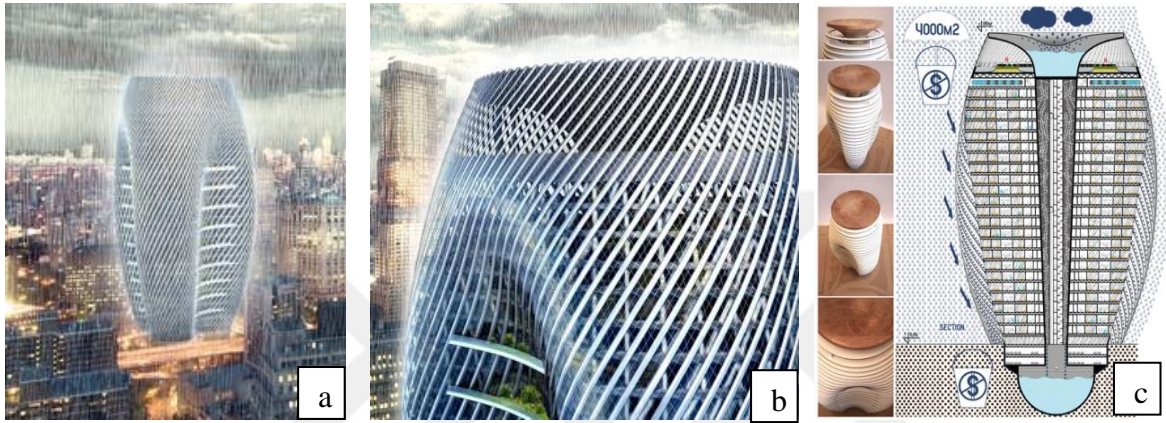
Özel mimari tasarımlar aracılığıyla yağmur suyu toplama

Bu yöntemde yağmur suyunu maksimum düzeyde kazanabilmek için tasarımı özel olarak geliştirilmiş binalar kullanılmaktadır. Günümüzde çoğunlukla proje aşamasında bu yöntem geliştirilmeye devam etmektedir. Aşağıda özel mimari tasarımlar aracılığıyla yağmur suyu elde eden bina örneklerine yer verilmiştir.

Rain Skycraper - H3AR

Rain Skycraper projesi mimarlık öğrencileri Ryszard Rychlicki ve Agnieszka Nowak tarafından 2010 eVolo gökdelen yarışması için tasarlanmış ve yarışma özel ödülünü almış bir projedir (Şekil 2.29). Rain Skycraper mümkün olduğu kadar fazla yağmur suyu toplamak üzere tasarlanmıştır. Bina tarafından toplanan ve işlem gören yağmur suyunun, tuvaletlerde, çamaşır makinelerinde, sulama tesislerinde, temizlik işlerinde ve diğer evsel uygulamalarda kullanılması öngörülmüştür. Gökdelendeki yağmur suyu sistemi sayesinde, kullanıcıların günlük ortalama 150 litre olan su ihtiyacının 85 litresinin karşılanması öngörülmüştür. Kule tasarlanırken öncelikli olarak yağmur suyu en verimli şekilde toplayabilmek için çatı yüzeyini biçimlendirmeye ve modellemeye odaklanılmıştır. Çatının

yüzeyinde hidro botanik su arıtma ünitesi olarak kullanılan büyük bir huni ve sazlık şeklinde su depoları bulunmaktadır. Bu arıtma üniteleri yağmur suyunu daha fazla kullanılabilir suya dönüştürmek için işlemden geçirmektedir. Çatı tasarımının yanı sıra, bina cephesi de yağmur suyu toplayıcısı olarak geliştirilmiştir. Bina cephesinde bulunan bir dizi oluk sistemiyle binadan aşağıya akan yağmur suları tutulmakta ve tekrar kullanılmaktadır (URL-23).



Şekil 2.30. (a) Rain Skycraper genel görünümü, (b) cephede bulunan yağmur suyu toplama olukları, (c) yağmur suyu toplama sistemi şematik gösterimi (URL-23)

Concave Roof Projesi

Concave Roof projesi İran merkezli mimarlık ofisi BMDesign Studios tarafından bir okul binası projesi olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.30). Proje su eksikliğinin yaşandığı İran gibi kurak iklimlere alternatif bir yağmur suyu hasadı sistemi tasarımı sunmaktadır. İran’da yağışların dünya ortalamasının üçte birinden daha az olduğu ve buharlaşmanın dünya ortalamasının üç katından fazla olduğu bilinmektedir. Bu sebeple projede yağmur suyunu en verimli şekilde toplamak için kâse şeklinde iç bükey çatılar tasarlanmıştır. Bu dik eğimli çatılar sayesinde yerçekiminin de yardımıyla yüzeye az miktarda düşen yağmur damlaları bile toplanarak buharlaşmasına imkân verilmeden depolanmaktadır.



Şekil 2.31. (a ve b) Concave roof genel görünümü, (c) Yağmur suyu toplama sistemi şematik gösterimi (URL-24)

Projede 923 m^2 'lik yüz ölçümüne sahip bir iç bükey çatıda 28 m^3 'lük su %60'lık verimlilikle toplanmaktadır. Çatılardan gelen yağmur suyu Şekil 2.30'da gösterildiği gibi yapının duvarları arasında depolanmaktadır. Bu depolama sistemi suyun ısı tutma kapasitesi sayesinde iç mekânlardaki sıcaklık değişiminin daha kontrol edilebilir olması avantajını sunmaktadır. Böylece yapının karbon ayak izinin de azalacağı tahmin edilmektedir (URL-24).




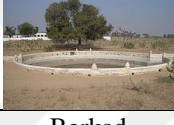





Görüldüğü gibi modern yapılarda yağmur suyu toplama yöntemleri içerisinde çatı suyu toplama yöntemi büyük yer edinmektedir. Bu doğrultuda geleneksel kırma ve teras çatılardan çelik çatılara, kanopilere, hiperbolik parabolit çatılara ve özel tasarım çatılara kadar pek çok çatı tipi kullanılabilir. Bu çatılar vasıtasıyla toplanan yağmur suları ise binaların bodrum katlarında, çatılarında, bahçelerinde ya da özel olarak tasarlanmış alanlarda çeşitli büyüklükteki depolarda biriktirilebilmektedir. Yağmur suyu elde edebilmek için yapılan özel mimari tasarımlara bakıldığında ise geleneksel çatı suyu toplama yönteminin genişletildiği ve cepheler balkonlar gibi diğer mimari elemanların da yağmur suyu toplama işlevini yerini getirmek üzere tasarlandığı görülmektedir. Henüz uygulamalarda sıklıkla karşılaşmadığımız bu yöntemin, gelişen teknolojiler ve modelleme yöntemleri sayesinde geliştirilmeye devam edileceği öngörülmektedir.

Tablo 2.2.'de yağmur suyu hasadının geleneksel ve modern yöntemleri özetlenmiş, bu yöntemlerin öne çıkan örnekleri sunulmuştur. Geleneksel yağmur suyu hasadı yöntemlerinden çatılar aracılığıyla yağmur suyu hasadı yapılması yönteminin modern yapılarda da sıklıkla karşımıza çıkan bir yöntem olduğu görülmektedir. Özel su yapıları aracılığıyla yağmur suyu hasadı yapılması yönündeki uygulamaların ise geçmişte önemli bir yer kapladığı ancak günümüzde bu uygulamaların geri planda kaldığı anlaşılmaktadır. Bu geleneksel uygulamalar günümüzde yerini yağmur suyu hasadı için özel olarak







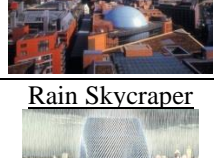

geliştirilen modern ve teknolojik yapı tasarımlarına bırakmaktadır. Yapay göletler/havuzlar aracılığıyla yapılan geleneksel yağmur suyu hasadı uygulamaları ise özellikle kırsal bölgelerde tarımsal amaçlar için kullanılmakta olup, modern yapı tasarımlarında genellikle yer edinmemektedir. Geleneksel ve modern yağmur suyu hasadı uygulamalarının amaçlarında ve kullanım alanlarında da farklılıklar görmek mümkündür. İncelenen örneklerden de anlaşıldığı üzere geleneksel yağmur suyu hasadı uygulamalarının genellikle içme suyu temini ve tarımsal amaçlar için yapıldığı, bu anlamda aslında temel hayati ihtiyaçları sağlamak için kullanıldığı görülmektedir. Modern uygulamalara bakıldığında çevresel kaygıların ön plana çıktığı ve hayati ihtiyaçlardan ziyade su verimliliği, su tasarrufu gibi konuların amaçlandığı görülmektedir.



Çizelge 2.2. Yağmur suyu hasadı yöntemleri (yazar tarafından hazırlanmıştır)

		YÖNTEM	ÖRNEK	AÇIKLAMA	KULLANIM YERLERİ
YAĞMUR SUYU TOPLAMA YÖNTEMLERİ	GELENEKSEL YÖNTEMLER	Çatılar aracılığıyla	<u>Etiyopya'da bir örnek</u> 	Yağmur suyu yapıların çatılarından toplanarak bir oluk vasıtasıyla taşınarak su tanklarında depolanır	-İçme suyu temini -Küçük ölçekli evsel kullanımlar
		Özel su yapıları aracılığıyla	<u>Kund/Tanka</u> 	Yağmur suyu tankın üzerindeki deliklerden ve ya zeminde açılan boşluklardan toplanarak depolanır	-İçme suyu temini
			<u>Chand Bori</u> 	Yağmur suyu basamaklı su kuyusunun devasa açık yüzeyinden toplanarak kuyunun dibinde depolanır	-Genel Kullanımlar
		Yapay göletler/havuzlar aracılığıyla	<u>Talab</u> 	Yağmur suyu yapay göletler ya da havuzlar içerisinde toplanarak burada depolanır	-Tarımsal faaliyetler -Evsel kullanımlar -Hayvancılık
			<u>Berkad</u> 	Genelde eğimli arazilerde, yağmur suyu akışı kanallar vasıtasıyla yönlendirilerek yapay gölet içerisinde toplanıp depolanır	-Evsel kullanımlar -Hayvancılık
			<u>Khadin</u> 	Yağmur suyu, kanallar ya da arazi eğimi vasıtasıyla yönlendirilerek tarım yapılacak arazi üzerinde toplanır	-Tarımsal faaliyetler
	MODERN YÖNTEMLER	Çatılar aracılığıyla	<u>Winrock International</u> 	Yağmur suyu binanın martı kanadı şeklindeki çatısından toplanarak bodrum katta yer alan su tanklarında depolanır	-Peyzaj ve bahçe sulama işleri
			<u>Philip Merrill</u> 	Yağmur suyu binanın tek yöne eğimli çatılarından toplanarak cephede bulunan su tanklarında depolanır	-Yangın söndürme sistemleri -WC -Temizlik işleri -İklimlendirme sistemleri
			<u>Heifer International</u> 	Yağmur suyu binanın martı kanadı şeklindeki çatısından toplanarak cephede yer alan su kulesinde depolanır	-Yangın söndürme sistemleri -WC

Çizelge 2.2. (devam) Yağmur suyu hasadı yöntemleri (yazar tarafından hazırlanmıştır)

YAĞMUR SUYU TOPLAMA YÖNTEMLERİ		YÖNTEM	ÖRNEK	AÇIKLAMA	KULLANIM YERLERİ
MODERN YÖNTEMLER	Çatılar aracılığıyla		<u>Prisma Nürnberg</u> 	Yağmur suyu binanın tek yöne eğimli çatısından ve yarım silindirik çatısından toplanarak bodrum kattaki su tanklarında depolanır	-Yangın söndürme sistemlerinde -Peyzaj sulaması -İklimlendirme sistemi
			<u>The Solaire</u> 	Yağmur suyu binanın teras çatılarından toplanarak bodrum katında bulunan su tanklarında depolanır	-Yeşil çatıların sulanması -WC -Soğutma sistemleri
			<u>Wendell Wyatt Federal Building</u> 	Yağmur suyu binanın çatısına sonradan eklenmiş olan tek yöne eğimli geniş kanopiden toplanarak binanın bodrum katında bulunan su tanklarında depolanır	-WC ve lavabolar -Genel sulama işleri -İklimlendirme sistemi
			<u>Shangai Tower</u> 	Yağmur suyu binanın sarmal parapetiyle toplanır	-İklimlendirme sistemi
			<u>The Velodrome</u> 	Yağmur suyu binanın hiperbolik parabolik çatısından toplanarak bodrum seviyesinde yer alan su tanklarında depolanır	-WC, Lavabolar
			<u>Postdamer Platz Kompleksi</u> 	Yağmur suyu kompleks içerisinde bulunan binaların çatılarından toplanarak yer altı su tanklarında depolanır	-Yeşil çatıların sulanması -AVM lerde bulunan otomatik bitki sulama sistemleri -yangın söndürme sistemleri
	Özel Mimari Tasarımlar Aracılığıyla		<u>Rain Skycraper</u> 	Yağmur suyu binanın çatısında bulunan büyük bir huniyle ve cephelerde bulunan oluklarla toplanır	-WC, Banyo -Sulama ve temizlik işleri
		<u>BMDesign's Concave Roofs</u> 	Yağmur suyu binanın iç büyük çatılarından toplanarak yapının duvarları arasında depolanır	-Genel kullanımlar	



3. MATERYAL VE METHOD

Önceki bölümde; mimarlık alanında yeni bir tasarım yöntemi olarak kullanılmaya başlanan “Biyomimetik Tasarımın” ne olduğu ve biyomimetik tasarım sürecinin nasıl işlediğine dair bilgilere yer verilmiş, literatür araştırması yöntemiyle elde edilen bu bilgiler örnek tasarım uygulamaları üzerinden pekiştirilerek biyomimetik bilim ve mimarlık ilişkisine genel bir çerçeve çizilmiştir.

Ardından kritik çevre sorunlarından biri olan su yetersizliği sorunu için alternatif çözüm yollarının ortaya konulması amacıyla; tarih boyunca, özellikle su kaynaklarının yetersiz olduğu coğrafyalarda, su ihtiyacının nasıl karşılandığı, literatür taraması yöntemiyle araştırılmıştır. Araştırma sonucunda; yağmur suyunun geçmişten bu yana su ihtiyaçlarının karşılanmasında etkin bir su kaynağı olarak kullanıldığı ve bunun için çeşitli yağmur suyu hasadı yöntemleri geliştirildiği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda çeşitli coğrafyalarda uygulanan yağmur suyu hasadı yöntemleri incelenerek, geleneksel yağmur suyu hasadı yöntemleri başlığı altında sınıflandırılmış ve örnekler aracılığıyla incelenmiştir. Devamında yapı çevrelerin su tüketimindeki etkin rolü göz önüne alınarak, su yetersizliği sorununa binalar bazında getirilen modern çözümler literatür taraması yöntemiyle araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda modern yapılarda suyun etkin kullanımı için; atık suyun geri dönüşümü (gri su ve siyah su kullanımı), su tasarruflu tesisat seçimi ve yağmur suyu hasadı olmak üzere 3 temel stratejinin kullanıldığı görülmüş, ancak bu stratejiler arasından değişkenleri mimari tasarım kararlarıyla bağlantılı olan yağmur suyu hasadı konusuna odaklanılmıştır. Bu doğrultuda farklı kullanım amaçlarına hizmet 11 adet modern yapı seçilerek suyu etkin kullanma stratejileri ve yağmur suyu hasadı yöntemleri analiz edilmiştir. Yapı örnekleri, sürdürülebilirlik ve su verimliliği amacıyla inşaa edilmiş veya tasarlanmış olan, tasarımında yağmur suyu hasadının yapılabilmesi için çeşitli mimari tasarım kararlarının alındığı yapılardan seçilmiştir. Tek tip fonksiyona sahip, belirli büyüklükteki yapılar tercih edilmemiş, yerine küçük ölçekli projelerden kompleks projelere, tek katlı yapılardan yüksek katlı yapılara, konut kullanımlı yapılardan, ticaret, eğitim, kültür ve spor yapılarına kadar geniş bir yelpaze içerisinde seçim yapılmıştır. Böylelikle yapılar aracılığıyla yağmur suyu hasadı yapılmasının bu tip kriterlerden bağımsız olarak değerlendirileceği varsayılmıştır. Analiz sonucunda modern yapılarda kullanılan yağmur suyu hasadı yöntemleri, yağmur suyunu toplama işlevi gören mimari

yüzeylerin niteliğine göre sınıflandırılarak binalarda yağmur suyu hasadının hangi yöntemlerle yapılabileceği ortaya konulmuştur.

Bir sonraki bölümde, doğadaki canlıların suyu etkin kullanma stratejileri incelenmiş, elde edilen verilerin biyomimetik tasarım aracılığıyla yapılara aktarılması sonucu ortaya çıkabilecek tasarımlar sorgulanacaktır. Tasarımlar, suyu etkin kullanma yöntemleri açısından analiz edilerek, bu yöntemlerin getirdiği farklılıklar ve yenilikler ortaya konulmuştur. Değerlendirme bölümünde ise binalarda suyun etkin kullanıma dair geliştirilen modern yaklaşımlar ve biyomimetik yaklaşımlar karşılaştırılarak, bu yaklaşımların su kaynaklarının korunumuna katkısı, binalar eliyle yapılan su tüketiminin azaltılmasındaki etkisi, elde ettiği suyun kalitesi ve güvenilirliği, yöntemlerin uygulanabilirliği, devamlılığı gibi konular tartışılmıştır.

4. DOĞA ESİNLİ SU TOPLAMA STRATEJİLERİ

Su kaynaklarının azalmasıyla birlikte ortaya çıkan su yetersizliği endişeleri, suyun edinimi, korunumu ve kullanımıyla ilgili yeni sürdürülebilir stratejilerin geliştirilmesi gereğini gündeme getirmiştir. Bu bağlamda su kaynakları üzerinde baskı yaratan önemli unsurlardan biri olan yapılı çevrenin kendi suyunu kazanabilmesi, muhafaza edebilmesi ve verimli bir şekilde kullanabilmesi önem arz etmektedir. 2. Bölüm’de de tartışıldığı üzere binalar aracılığıyla yapılan yağmur suyu hasadı uygulamaları bu konuda etkin bir çözüm yöntemi olarak görülmekte ve kullanılmaktadır. Diğer taraftan doğa suyun edinimi, korunumu ve etkili kullanımı için birçok strateji barındırmaktadır. Doğada bulunan birçok organizma evrim yoluyla adapte olmuş morfolojik özellikleri, davranışsal uyum stratejileri ve kendilerine özgü yöntemleri sayesinde suyu sürdürülebilir şekilde elde edip kullanmayı ve muhafaza etmeyi başarmaktadır. Bu bağlamda bu bölüm kapsamında doğadaki canlıların su yönetimi için geliştirdikleri morfolojik özellikler, davranışlar ve yöntemler incelenmiş, ardından bu tür stratejilerin biyomimesis bilimi aracılığıyla taklit edilerek binalara aktarılması sonucu ortaya çıkan mimari tasarımlar sunulmuştur.

4.1. Doğadaki Canlıların Su Yönetimi Stratejileri

Bilindiği üzere su, tüm yaşam formları için vazgeçilemez bir yaşam kaynağıdır. Doğadaki canlılar ihtiyaçları olan suya; yağmur suyu, sis, çiy gibi farklı kaynaklar sayesinde erişebilmektedir. Yağmur, sis ve çiy havadaki nem kaynaklarıdır ve hepsi canlılar için su hasadı konusunda önemli bir yere sahiptir. Özellikle yağışsız ve kurak bölgelerde havadaki su buharı (sis, çiy) canlıların en önemli su kaynağı haline gelmektedir. Bu anlamda canlıların suyu edinme, koruma ve kullanma biçimlerini kapsayan su yönetimi stratejileri uzun yıllar boyunca birçok araştırmacı tarafından araştırılmış olup bu konuda literatürde çeşitli çalışmalara rastlamak mümkündür. Örneğin; Lloyd (1905), 100 yıldan uzun bir süre önce bitkilerin havadaki su buharını nasıl emebildiğini araştırmış ve özellikle bu bitkilerin yüzey özelliklerinin bunu kolaylaştırdığını belirterek, gelecekte bu tip çalışmaların artacağına dair görüş vermiştir. Stone (1957) tarafından yapılan bir çalışmada yağışların az olduğu kurak ve yarı kurak iklimlerde yaşayan ve suyu doğrudan çiy / sis hasadı sayesinde edinen hayvanlar ve bitkiler incelenmiştir. Benzer şekilde Bolwig (1958); Kalahari’deki en önemli su kaynağının yeşil yapraklar olduğuna işaret etmiş, Namibya Çölü’nde yaşayan

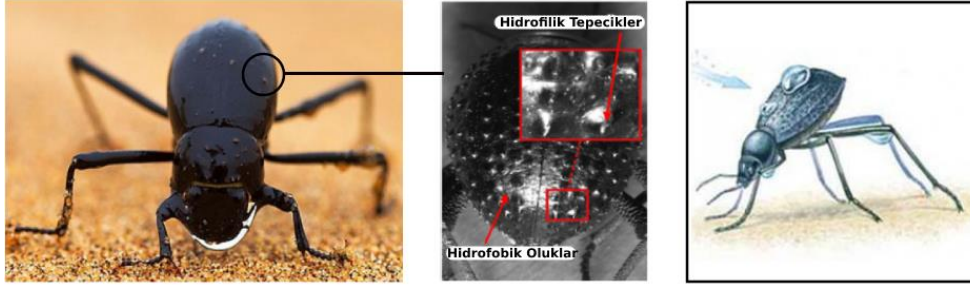
çeşitli böcek türlerinin ise sisten su elde ederek hayatta kaldığını belirtmiştir. Rorabaugh (2007) ve Auffenberg (1963) tarafından ise suyu, yağmur suyu hasadı sonucu elde eden çeşitli türler not edilmiştir. Rorabaugh (2007) Yuma Çölü'nde bulunan bir yılan türünün, Auffenberg (1963) ise Güney Afrika'da yaşayan bir kaplumbağa türünün yağmur suyu hasadı yaptığını belirtmiştir.

Bu bağlamda aşağıda özellikle kurak ortamlara uyum sağlayarak üstün su yönetimi stratejileriyle bilinen Namibya çöl böceği, molok kertenkelesi, örümcek ağı, diken kaktüsü, buz çiçeği, spesifik bir çalı türü ve stomalara odaklanılarak bu doğal organizmaların su yönetimi stratejileri incelenmiştir.

4.1.1. Namib çöl böceği (*Stenocara*)

Namib Çöl Böceği (*Stenocara*) Güney Afrika'da Atlas okyanusuna kıyısı olan Namib çölünde yaşayan bir böcek çeşitidir (Şekil 4.1). Bu bölge Dünya'nın en kurak ve en sert iklime sahip bölgelerinden birisidir ve sıklıkla aşırı sıcaklıkların, şiddetli rüzgarların ve yoğun sis olaylarının etkisi altında kalmaktadır. Buna rağmen Namibya çöl böceği okyanus kıyısı üzerinde oluşan ve iç kesimlere kadar ilerleyebilen yoğun sis kemerleri içerisindeki su zerreciklerini toplayarak (*fog-harvesting*) su ihtiyacını karşılamaktadır (Brown ve Bhushan, 2016). Böcek bu su toplama işlemi temelde sırt kabuğunun kendine özgü yapısı ve sis içerisinde sergilediği davranış sayesinde gerçekleştirebilmektedir. Şekil 4.1 de görüldüğü gibi böceğin sırtında rastgele şekilde dağılmış tepecikler ve bu tepecikler arasında uzanan oluklar bulunmaktadır. Sırt kabuğu üzerindeki bu oluklar balmumuna benzer özellikler gösteren hidrofobik (suyu iten) bir yapıya sahiptir. Tepecikler ise hidrofilik (suyu çeken) bir özellik göstermektedir. Su, bu hidrofilik ve hidrofobik özellikler sayesinde toplanmaktadır. Böcek sis içerisinde başını rüzgarın geldiği yöne doğru çevirip arka ayakları üzerinde yükselerek vücudunu kırk beş °C'lik açıda sabitlemektedir. Bu duruş pozisyonu sayesinde sisteki su tanecikleri rüzgarın da etkisiyle böceğin sırtına çarpmaktadır ve hidrofilik tepeciklere yapışmaktadır. Tepeciklere yapışan su tanecikleri bir araya gelip belli bir öz ağırlığı ulaştığında ise yamaçlara doğru kaymaya başlayarak oluklara ulaşmaktadır. Oluklara inen su damlaları buradaki hidrofobik yapı nedeniyle tutunamayıp kaymaya başlamaktadır. Suyun kayma hareketine böceğin açılı duruşu ve yerçekimi de destek olmaktadır. Böylece sis içerisinde yakalanan su sırt kabuğundan aşağıya doğru yuvarlanarak böceğin ağzına ulaşmaktadır. Bu davranış ve

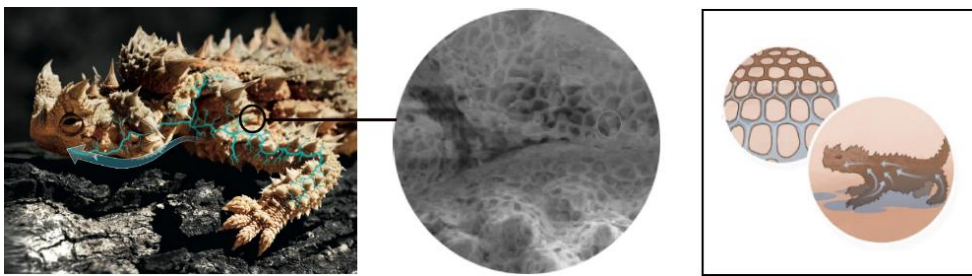
morfolojik adaptasyonlar sayesinde ise namib çöl böceği bulunduğu zorlu iklim koşullarına rağmen susuzlukla mücadele edebilmektedir (Tekin ve Kurugöl, 2011).



Şekil 4.1. Namibya çöl böceği ve su hasadı şematik gösterimi (URL-25)

4.1.2. Molok kertenkelesi (*Moloch Horridus*)

Dikenli şeytan kertenkelesi olarak da bilinen molok kertenkelesi Avustralya'nın kurak bölgelerinde yaşayan bir kertenkele türüdür (Şekil 4.2). Molok kertenkelesi, suya doğrudan erişimi kısıtlı olduğundan, su ihtiyacını nemli alanlardan ya da su birikintilerinden karşılayabilmektedir. Canlı bu su toplama becerisini temelde iki faktör sayesinde gerçekleştirebilmektedir. Bunlar; belirli bir vücut duruşuyla bütünleşmiş özel bir davranış ve derinin özel morfolojisidir. Deri, mikro ölçekte üst üste binmiş halde bulunan bir dizi kılcal kanalın bir araya gelmesiyle oluşan bal peteği şeklinde bir yapıya sahiptir. Bu yapı sayesinde suyun yüzeyden çekilebilmesi için gerekli olan kuvvet, kapiler etki sayesinde elde edilmektedir. Ayrıca bu kanallar vücut üzerinde bir ağ sistemi oluşturarak suyun yüzeyden emildikten sonra canlının ağzına kadar taşınmasını sağlamaktadır. Bu haliyle deri verimli bir su taşınımı için de süper bir hidrofilik yüzey haline dönüşmektedir (Badarnah, 2016).

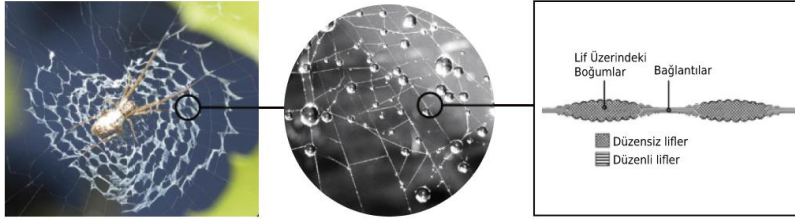


Şekil 4.2. Molok kertenkelesi ve su hasadı şematik gösterimi (URL-26)

Diğer bir deyişle molok kertenkelesi su elde edebilmek için tüm derisini adeta bir pipet buketi olarak kullanmaktadır. Canlı su toplamak için ıslak ve ya nemli bir yüzey üzerine gelerek ağız hareketiyle derideki kapiler olayı başlatmaktadır, kapiler olayın etkisiyle su yüzey üzerinden yerçekimine karşı büyük bir kuvvetle emilmeye başlamaktadır ve kanal ağları vasıtasıyla canlının ağzına kadar ulaştırılmaktadır. Böylece canlı suyun çok kısıtlı olduğu ortamlarda bile yağmur birikintilerinden, çiğden, nemli kumlardan vb. çeşitli kaynaklardan ayakları ve derisi vasıtasıyla ihtiyacı olan suya ulaşabilmektedir (Badarnah, 2016).

4.1.3. Örümcek ağı

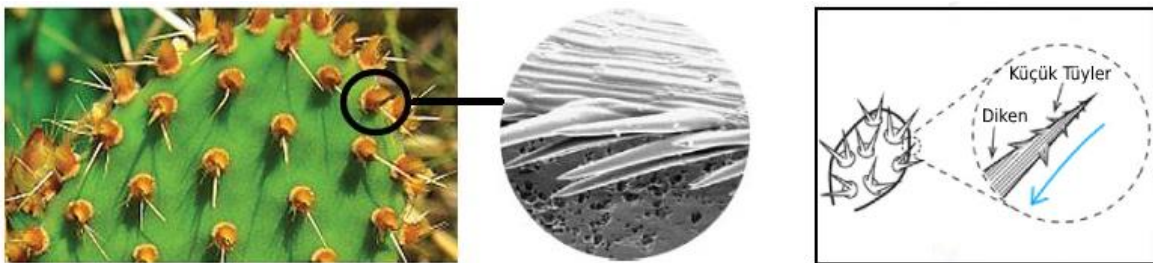
Hem bitki hem de hayvanların sahip olduğu pek çok biyolojik yüzey, su ile etkileşimlerini kontrol eden mikro ve nanometre ölçekte olağandışı yapısal özelliklere sahiptir. Örümcek ipeği de havadan verimli bir şekilde su toplayabilen doğal oluşumlardan biridir. *Uluborus Walckenaerius* örümceği gibi bazı örümcek türlerinin yaptığı örümcek ağlarının atmosferik suyu toplamak için benzersiz bir takım yapısal özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Şekil 4.3'de şematik olarak ifade edildiği gibi bu örümcek ağı lifleri mikro yapıda bir takım boğum (düğüm) ve bağlantılardan oluşmaktadır. Ağ lifleri üzerindeki boğumlar, rastgele bir araya gelerek pürüzlü bir yüzey oluşturan liflerden oluşmaktadır. Araştırmalar bu boğumların ağ örme işlemi esnasında lifler üzerindeki bazı noktalarda örümcekler tarafından 4 kat daha kalın düğümler yapılması sayesinde oluştuklarını göstermiştir. Boğumların bu yapısı onlara hidrofilik (suyu çeken) özellik kazandırmaktadır ve havadaki su bu boğumlara doğru çekilip yoğunlaşmaktadır. Boğumlar arasındaki bağlantılar ise düzenli şekilde bir araya gelmiş nispeten pürüzsüz yüzeylerdir. İki yüzeyin pürüzlülüğü arasındaki bu farklılık bir yüzey enerjisi ve Laplace basıncı oluşturmaktadır. Bunun sonucunda su her iki itici gücün etkisiyle hareket ederek iki yüzey arasında daha az dirençli alana (boğumlara) doğru toplanma eğilimi göstermektedir. Ayrıca boğumların konik formu ise aynı suyu boğumların merkezine doğru çeken bir basınç farkı oluşturmaktadır. Böylelikle nemli hava içerisinde bulunan su zerrecikleri boğum noktaları üzerine çekilerek damlacıklar halinde toplanmaktadır (Zheng, Bai, Zihai ve Tian, 2010).



Şekil 4.3. Örümcek ağı ve lif yapısının şematik gösterimi (URL-27)

4.1.4. Diken inciri kaktüsü (*Opuntia Microdasys*)

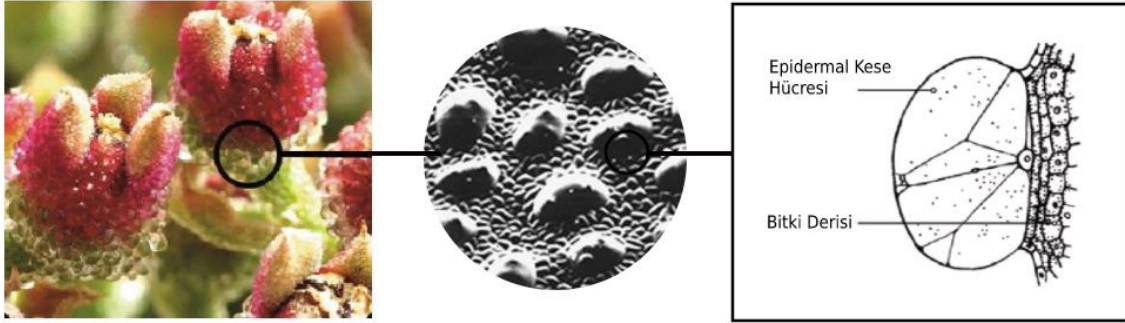
Kaktüsler genellikle kurak bölgelerde bulunmaktadır. Bu nedenle, suyu depolamak ve su kaybını en aza indirmek için uyarlanmış kalın, tombul ve şişmiş parçaları olan bir bitki türüdür. İlk defa 1970'li yıllarda bazı kaktüs türlerinin ikincil bir su kaynağı olarak sis olaylarından faydalandığı açıklanmıştır. Dünya'nın en kurak bölgelerinden biri olan Atacama Çölü'ne özgü bir kaktüs türünün gece meydana gelen sis olaylarından su toplayarak hayatını sürdürdüğü tespit edilmiştir. Şekil 4.4 de görülen ve diken inciri ismiyle bilinen kaktüs türlerinin de bu şekilde su topladığı bilinmektedir. Bitkinin su elde etme işlevini gövdesinin özel yapısı sayesinde gerçekleştirmektedir. Bitkinin gövdesinde suyun toplanmasına yardımcı olan konik dikenler ve bu konik dikenler üzerinde ise küçük kancalar şeklinde dikenler (tüycükler) yer almaktadır (Şekil 4.4). Sis içerisinde bulunan su tanecikleri bu tüycüklere yapışarak üzerinde birikmektedir. Tüycükler üzerinde toplanan ve yeterli büyüklüğe/ağırlığa ulaşan damlalar kayarak omurganın üzerine doğru akmaktadır. Sonrasında yüzey enerjisinin ve Laplace basınç prensiplerinin de yardımıyla su bitkinin köküne doğru hareket etmektedir. Böylelikle bitki ihtiyacı olan suyu elde etmeyi başarmaktadır (Brown and Bhushan, 2016).



Şekil 4.4. Diken inciri kaktüsü ve diken yapısının şematik gösterimi (Brown ve Bhushan, 2016)

4.1.5. Buz çiçeği (*Mesembryanthemum Crystallinum*)

Buz çiçeği bitkisi Güney Afrika ve Doğu Afrika'ya özgü, kuraklığı dayanıklı bir bitki çeşitidir. Bitki, gövdesi üzerinde bulunan ve bitkinin donmuş çığ ile kaplı gibi görünmesini sağlayan küçük saydam keseciklerden dolayı bu isimle anılmaktadır (Şekil 4.5). Buz çiçeği kurak ortamlarda yaşamasına rağmen susuzlukla mücadele edebilmektedir. Bunu başarmak için, yağışlı zamanlarda doğrudan erişebildiği suyu kurak zamanlarda kullanmak üzere maksimum ölçüde depolayabilen özel bir gövde yapısına sahiptir. Bitkinin gövdesi üzerinde, epidermal kese hücreleri denilen, küçük saydam kesecikler bulunmaktadır. Bu kesecikler bitkinin susuzlukla mücadeledeki başarısının anahtarı olarak bilinmektedir. Epidermal kese hücreleri kolay şekil alabilen, genişleyip büzüşebilen elastik bir yapıya sahiptirler. Bitki suyu topraktan çekerek ihtiyacı olanı kullandıktan sonra fazlasını bu kesecikler içinde biriktirmektedir. Kesecikler elastik yapısı sayesinde su aldıkça dışarıya doğru şişmektedir, böylece su, kurak dönemlerde kullanılmak üzere bu kesecikler içinde güvenli bir şekilde muhafaza edilmektedir. Bu sayede bitki ihtiyaç duyabileceği suyu maksimum şekilde depolayarak susuzlukla mücadele edebilmektedir (Agarie, Shimoda, Shimizu ve Baumann, 2007).

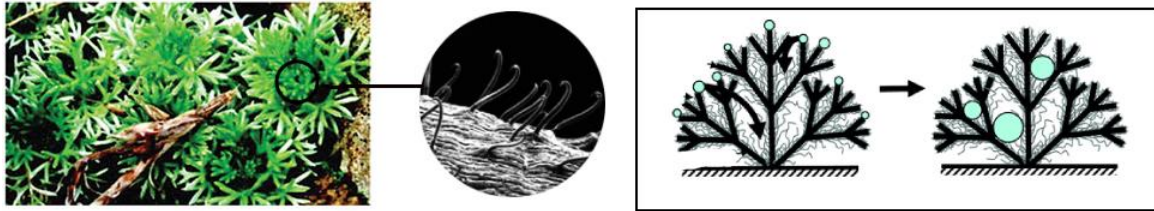


Şekil 4.5. Buz çiçeği ve kese hücrelerinin detayı ve şematik gösterimi (URL-28)

Ayrıca buz çiçeği bitkisi dinamik bir kapsül (valf) mekanizması sayesinde tohumlarını dağıtarak çoğalabilmektedir. Bitki tohumlarını dağıtmak için yağmur suyunu tetikleyici olarak kullanmaktadır. Yağmur yağdığında tohum kapsülleri suyu absorbe ederek şişmeye başlar ve yıldız şeklindeki kapsüller açılır. Kapsüller açıldıktan sonra ise yine yağmur damlalarının etkisiyle tohumlar çevreye fırlatılmaktadır (Agarie ve diğerleri, 2007).

4.1.6. Çalı (*Cotula fallax*)

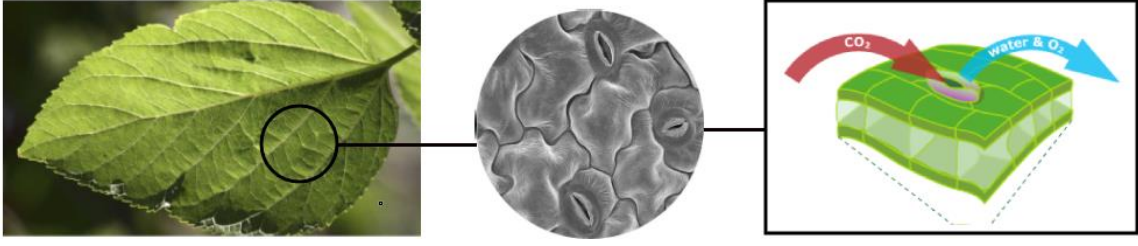
Cotula fallax, Güney Afrika'da kurak bölgelerde bulunan bir çalı türüdür. Bitki, kurak bölgelerde yaşayan diğer birçok bitki türü gibi sisten veya havadan su toplayabilecek şekilde gelişmiş yapısal özelliklere sahiptir. Bitkinin yaprakları üzerinde mikro ölçekten küçük tüycükler bulunmaktadır. Sis içerisindeki su taneleri bu tüycükler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Yoğunlaşan taneler yeterli büyüklüğe ulaştığında ise damlacıklar haline kaymaya başlayarak bitki köküne doğru hareket etmektedir. Bu sayede canlı su ihtiyacını karşılamaktadır. Ayrıca, bu su toplama mekanizmasında tüyler bitkinin tümü sardığı için suyun çok yönlü olarak verimli bir şekilde toplanmasını sağlamaktadır (Brown and Bhushan, 2016).



Şekil 4.6. Çalı, yaprak detayı ve su hasadının şematik gösterimi (Brown ve Bhushan, 2016).

4.1.7. Stoma

Stoma olarak adlandırılan küçük gözenekler bitkilerdeki terlemeyi ve gaz değişimini kontrol eden canlı yapılardır. Genellikle yaprağın alt yüzeyinde bulunurlar. Terlemenin düzenlenmesi ve özellikle kurak zamanlarda bitkideki su kaybının önlenmesi için stomaların açılıp kapanması önemli rol oynamaktadır. Stoma iki özel hücreden oluşmaktadır. Bu hücrelerin stoma açıklığına bakan iç çeperleri kalın, komşu epidermise bakan dış çeperleri ise incedir. Temelde bu çeperlerin kalınlık farkı ve çeşitli fizyolojik olayların etkisiyle açılıp kapanma olayı gerçekleşmektedir. Stomaların açılıp kapanması stoma hücrelerinde bulunan su miktarındaki artış ve azalışla ortaya çıkan turgor basıncı değişikliğiyle kontrol edilmektedir. Yaşama ortamında yeterli su bulabilen nemli ortam bitkilerinde stomalar genellikle gündüz açıktır. Bu sırada terleme en yüksek düzeyde gerçekleşir. Ancak yeterli suyun olmadığı ortamlarda stomalar kapanarak terlemeyle gerçekleşecek su kaybı önlenmektedir. Örneğin, çöl bitkilerinin çoğu stomalarını gündüz kapalı tutup gece açmaktadır (Badarnah, 2016).


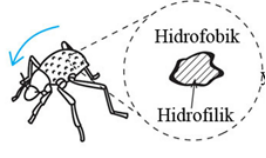

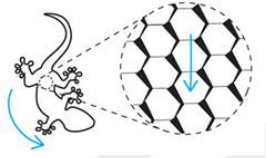

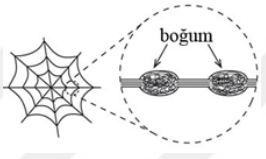

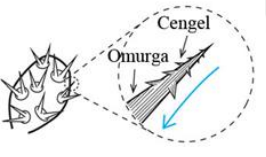

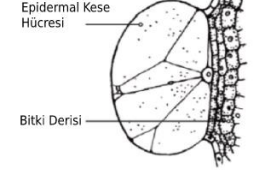

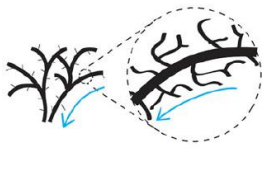

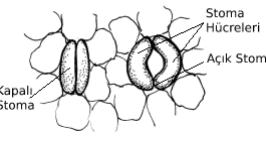


Şekil 4.7. Yaprak yüzeyi, stomaların detayı ve stomalardaki gaz alışverişi ve terlemenin şematik gösterimi (URL-29 ve URL-30)

Yukarıdaki örneklerden görüldüğü gibi suya doğrudan erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde doğadaki canlılar suyu elde edebilmek için çeşitli su hasadı stratejileri geliştirmiştir. Bu anlamda her bir canlı su hasadı stratejileri kapsamında çeşitli yöntemlere, adaptasyonlara, morfolojik özelliklere ve materyal özelliklerine sahiptir. Tablo 4.1 de ve Tablo 4.2 de bu canlıların su hasadı stratejileri özetlenmiştir.

Bundan sonraki bölümde doğadaki bu su toplama stratejilerinin mimarlık disiplinine olan yansımaları araştırılmış ve barındırdığı potansiyeller ortaya konmuştur.

Çizelge 4.1. Doğadaki canlıların su yönetimi stratejileri özet tablosu (Brown and Bhushan, 2016, yazar tarafından uyarlanarak geliştirilmiştir)

Organizma	Yöntem	Açıklama
<p>Namibya Çöl Böceği</p> 		<p>Sis içerisindeki su zerrecikleri sırt kabuğundaki hidrofilik tümseklerde toplanır, damlalar yeterli büyüklüğe ulaştığında yamaçlara kayar ve hidrofobik oluklar aracılığıyla canlına ulaştırılır.</p>
<p>Molok Kertenkelesi</p> 		<p>Islak ve ya nemli yüzeylerdeki su, kılcak kanal demetlerinden oluşan derinin oluşturduğu kapiler olay etkisiyle çekilir ve yine deri içindeki kanallar vasıtasıyla canlına ulaştırılır.</p>
<p>Örümcek Ağı</p> 		<p>Nemli hava içerisindeki su zerrecikleri Laplace basıncı ve yüzey geriliminin etkisiyle özel bir lif yapısına sahip hidrofilik boğumlara doğru çekilir ve bu boğumlarda toplanır</p>
<p>Kaktüs</p> 		<p>Su damlacıkları, gövdedeki dikenlerin üzerindeki bulunan çengel şekilli tüycüklerde toplanır, yeterli büyüklüğe ulaştığında gövde üzerine inerek buradan köke doğru yönlendirilir.</p>
<p>Buz Çiçeği</p> 		<p>Su, gövde üzerinde bulunan ve suyun miktarına göre genişleyip büzüşebilen epidermal kese hücreleri içinde biriktirilir, susuz dönemlerde kullanılır.</p>
<p>Çalı</p> 		<p>Sis içerisindeki su zerrecikleri yaprak yüzeylerindeki ince tüylerde toplanır, köke doğru yönlendirilir</p>
<p>Stoma</p> 		<p>Bitki ortam koşullarındaki suyun varlığına bağlı olarak stomaları açıp kapatarak su kontrolünü sağlar</p>

Çizelge 4.2. Su yönetimi yapan canlıların özet analiz tablosu

	YÖNTEM						ADAPTASYON			MORFOLOJİK (BIÇİMSEL) ÖZELLİKLER			MATERYAL ÖZELLİKLERİ		
	Yoğunlaşma	Kılcal Hareket	Diffüzyon	Buharlaşma	Kontrollü Geçirgenlik	Yerçekimi	Morfolojik	Davranışsal	Fizyolojik	Dikenli	Pürüzlü (<i>Timsekiti</i>)	Hegzagonal	Hidrofobik	Hidrofilik	Elastik
Su Toplama															
Namibya Böceği	X						X	X			X			X	
Molok Kertenkelesi	X						X			X	X			X	
Örümcek Ağı	X						X				X			X	
Kaktüs	X						X			X				X	
Sahil otu	X						X				X			X	
Su Taşıma															
Namibya Böceği						X		X					X		
Molok Kertenkelesi		X					X					X	X		
Kaktüs						X	X								
Sahil otu						X									
Su Kaybetme															
Stoma			X	X			X		X						
Koruma															
Buz Çiçeği					X				X						X

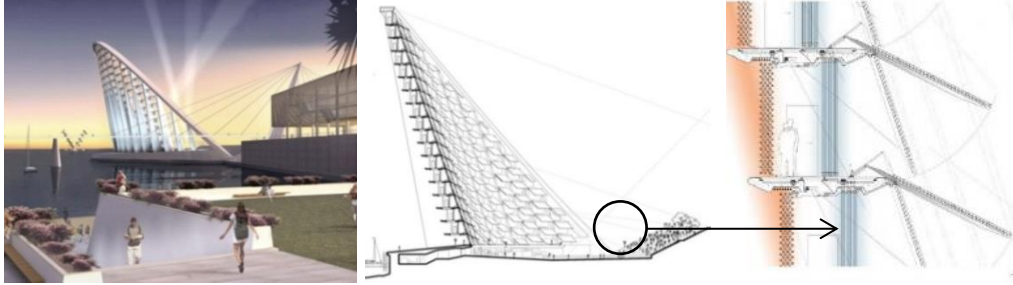
4.2. Biyomimesis ve Yapılar Aracılığı ile Yenilikçi Su Toplama Yaklaşımları

Bilindiği üzere küresel ısınma, nüfus artışı, hızlı kentleşme, kirlilik gibi sebeplerle su kaynaklarının tükenmeye başlaması, çeşitli alanlarda suyun sürdürülebilir şekilde kazanılması ve kullanılması konusunda yeni stratejilerin geliştirilmesi gereğini gündeme getirmiştir. Bu anlamda mimarlık alanında da kendi suyunu kazabilen, muhafaza edebilen ve verimli bir şekilde kullanabilen binalar üzerine farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bu konuda yağmur suyu hasadı uygulamaları dünyanın birçok yerinde kullanılmaya başlamıştır. Öte yandan son birkaç on yılda, yağmur suyu hasadı uygulamalarının yanı sıra doğadan ilham alarak yoğunlaşma veya konsantrasyon yoluyla su kazanımı yapabilen yapılar ve mimari yüzeyler geliştirilmektedir. Bu bağlamda Bölüm 4.1'de incelenen canlıların su toplama/düzenleme stratejilerinden ilham alınarak geliştirilen mimari yüzey tasarımları sunulmuştur.

4.2.1. Las Palmas Water Theatre

Las Palmas Water Theatre, mimar Michael Pawlyn tarafından tasarlanan bir açık hava tiyatrosu projesidir (Şekil 4.8). Biyomimesis alanında çalışan önemli mimarlardan biri olan Pawlyn doğadan ilham alan sürdürülebilir projeler geliştirmek amacıyla 2007 yılında "Exploration" adlı bir şirket kurmuştur. Biomimicry in Architecture (2011) adlı kitabında içinde su yönetiminin de bulunduğu 6 temel çevresel kaygıyı araştırmış ve doğadaki canlıların su stratejileriyle ilgili araştırmalar yapmıştır. Pawlyn araştırmaları doğrultusunda Las Palmas Water Theatre projesini önermiştir. Proje İspanya Kanarya Adaları'nda bulunan Las Palmas şehri için tasarlanmıştır. Bu şehir hem deniz kıyısında olması hem de yıl boyunca daimi rüzgarların etkisinde olması sebebiyle projeyi geliştirmek için ideal bir yer olarak görülmüştür. Pawlyn, yapıyı tasarlarken Namibya çöl böceğinin morfolojik özelliklerinden ve davranışından esinlenmiştir. Binanın konumlandırılmasında böceğin sis içerisinde gösterdiği davranış taklit edilmiştir ve yapının su toplamak için tasarlanan cephesi tıpkı namibya böceğinin yaptığı gibi nemli hava esintisinin geldiği yöne doğru açılı bir şekilde yerleştirilmiştir. Cephenin tasarımında ise böceğin sırt kabuğunun pürüzlü yapısı taklit edilmiştir. Pawlyn, Seawater Greenhouse'in tasarımcısı Charlie Paton ile birlikte, bu cephe için bir dizi buharlaştırma ve yoğunlaştırma "panjurları" tasarlamıştır (Rankouhi, 2012). Limandan gelen nemli esintinin içerisindeki su zerrecikleri panjurlarda yoğunlaştırılarak suya dönüştürülmektedir. Toplanan su ise çeşitli kullanım alanlarına

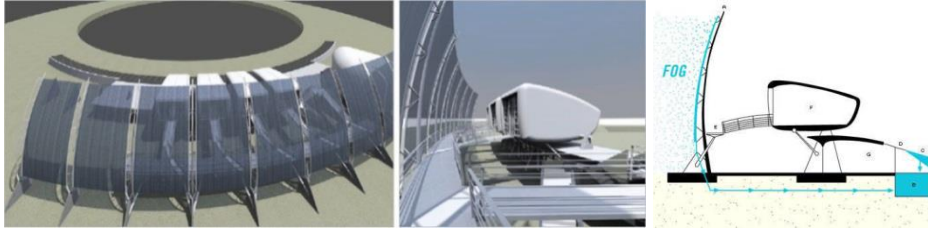
gönderilmek üzere depolanmaktadır (Singh ve Nayyar, 2015). Pawlyn'ın bu projesi hayata geçmemiştir ancak bazı ticari seraların bu stratejiyi kullanarak su ürettiği bilinmektedir (Rankouhi, 2012).



Şekil 4.8. Las Palmas Water Theatre genel görünümü ve detayı (URL-31)

4.2.2. Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi

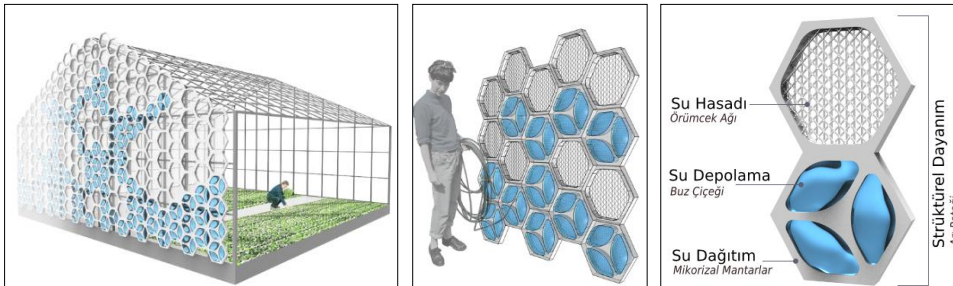
Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi İngiliz mimar Matthew Parkes tarafından tasarlanmıştır (Şekil 4.9). Matthew Parkes, çevre problemlerine karşı mimari çözümler geliştirebilmek için Afrika'da su yoksunluğu çeken bölgelerde bulunan bitki ve hayvanların nasıl canlı kalabildikleri konusunda araştırmalar yapmıştır. Özellikle namibya çöl böceğinin su toplama ilkelerinden etkilenen Parkes bu ilkeleri Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi binasının tasarımına aktarmıştır. Parkes namibya böceğinin kabuk morfolojisini taklit ederek sisli hava içerisindeki su damlalarını toplayarak kullanılabilir suya dönüştürebilen benzer bir teknolojiyi binaya uyarlamıştır. Bina, suyun etkin bir şekilde tutulabilmesi için yönü okyanusa bakan ve okyanustan esen havanın içindeki nemi yakalayan yüksek, kavisli ve naylon ağ yüzeye sahip bir duvarın arkasında konumlanmıştır. Naylon ağlardan oluşan bu duvarda ağ yüzeyleri tıpkı namibya böceğinin kabuğunda bulunan tümsekli yapı gibi biçimlendirilmiştir ve hidrofilik bir yüzey meydana getirilmiştir. Okyanustan gelen nemli veya sisli hava içerisindeki su zerrecikleri bu hidrofilik cephede yoğunlaşmaktadır. Yoğunlaşan ve ağırlaşan su, yerçekiminin de yardımıyla kanallar vasıtasıyla yer altı depolarına iletilmektedir. Depolanan su daha sonra çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır (Maglic, 2012).



Şekil 4.9. Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi Görünümü ve Binanın Su Toplama Sisteminin Şematik Gösterimi (URL-32)

4.2.3. AquaWeb

AquaWeb projesi NexLoop şirketi tarafından, atmosferik suyu hasat etmek, depolamak ve sonrasında yerel gıda üretiminde kullanmak için tasarlanmış bir sera projesidir. “Sürdürülebilir Gıda İçin Yenilenebilir Su” sloganıyla projeler üreten NexLoop şirketi bu amaçla doğadan ilham alarak AquaWeb projesini önermişlerdir. Proje önerdiği yenilikçi tasarım yaklaşımlarıyla Ray of Hope Prize ödülünü kazanmıştır. AquaWeb, strüktür tasarımından yapı malzemelerine kadar birçok uygulama alanında doğadan ilham alan yenilikçi çözümler kullanmıştır. (Şekil 4.10). Tasarımcılar örümcek ağlarının havadan su toplama özelliğini, buz çiçeğinin suyu depolama özelliğini ve mantar miselyumlarının suyu taşıma özelliğini bir araya getirerek yapıya aktarmışlardır. Ekip dayanıklı ve modüler bir yapı strüktürü için de arı peteğinden ilham almışlardır. Yapı strüktürünün her bir parçası Şekil 4.10’da görüldüğü gibi suyu toplayan depolayan ve ileten elemanlardan oluşmaktadır. Su, örümcek ağının lif yapısından esinlenerek tasarlanan ağ üzerinde toplanmakta ve tıpkı buz çiçeğinin keselerinde olduğu gibi esnek bölmelerde depolanmaktadır. AquaWeb adı verilen bu yenilikçi tasarım bağımsız olarak inşa edilebileceği gibi bina çatılarına da entegre edilebilmektedir. Ayrıca tasarım ekibi tarafından bu tasarım fikirlerinin doğrudan yapı kabuklarına dâhil edilmesi için çalışmalar yapıldığı belirtilmiştir (URL-33).



Şekil 4.10. AquaWeb görünümü ve su hasadı sisteminin şematik gösterimi (URL-33)

4.2.4. Warka Tower

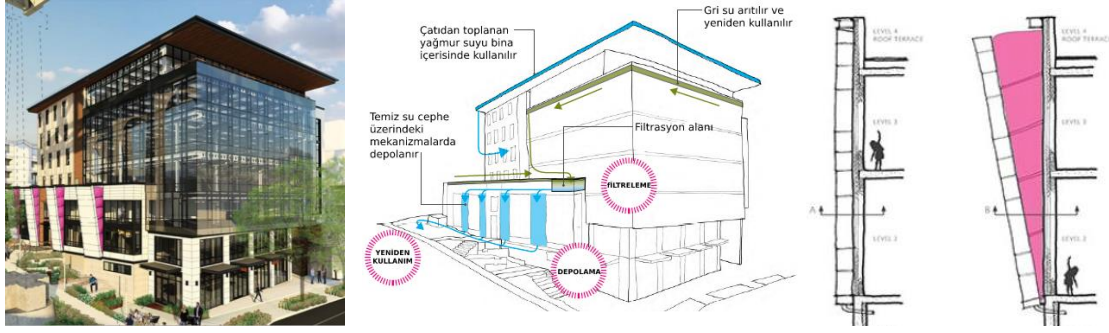
Warka Tower İtalyan mimar Arturo Vittori ve ekibi tarafından atmosferdeki potansiyel içme suyunu (yağmur, sis ve çiy) toplamak için tasarlanan dikey bir strüktürdür. Yapı 2015 yılında Etiyopya’da inşaa edilmiştir ve içme suyuna erişim konusunda çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalan kırsal nüfusa alternatif bir temiz su kaynağı olarak hizmet etmektedir. Vittori Warka Tower’ı “sürdürülebilir bir şekilde su toplama ve depolama olanaklarına bakan çevre dostu bir felsefe” şeklinde açıklamaktadır. Yapı karmaşık mühendislik ve inşaat gereksinimlerine ihtiyaç duyulmadan inşaa edilebilmektedir ve düşük maliyetlidir. Bir Warka su yapısı bambu bir çerçeve, geri dönüştürülebilir ağ, ip, kanopi ve bir su deposundan oluşmaktadır ve yaklaşık dört günde altı kişi tarafından ucuz yerel malzemelerle kolay bir şekilde monte edilebilmektedir. Elektrik gücüne veya başka herhangi bir enerjiye ihtiyaç duymaksızın sadece yerçekimi, yoğunlaşma buharlaşma gibi doğal çevre prensiplerine bağlı olarak su temini sağlamaktadır. Bu doğrultuda Warka Tower’ın tasarım kararlarında birçok doğa esinli unsur yer aldığı görülmektedir. Yapının formu, strüktürü ve su toplama sisteminde birçok canlıdan esinlenilmiştir. Örneğin yapının formunda termit karıncalarının yuvalarından ve kaktüs dikenlerinden ilham alındığı belirtilmiştir. Yapının su toplama sisteminde ise Namibya çöl böceğinin morfolojik özelliklerinden ve örümcek ağı liflerinin mikro yapısından esinlenilmiştir. İki canlı tarafından da su elde etmede kullanılan engebeli ve pürüzlü yüzeyler bu yapıda spesifik bir malzemenin üretilmesinin yolunu açmıştır. Tasarımcılar Warka Tower’ın su toplama kabiliyetini artırarak daha verimli bir sis hasadı sağlayan 3 boyutlu özel bir örgü kumaş geliştirmişlerdir. Kulenin strüktürü tarafından desteklenen bu örgü ağ nemli zamanlarda havada bulunan su taneciklerini üzerinde yoğunlaştırmaktadır. Yoğunlaşan ve ağırlaşan su damlaları ise ağlar üzerinde kayarak kulenin merkezindeki bir alanda toplanıp buradan depoya yönlendirilmektedir. Yapı ayrıca yağışlı zamanlarda yağmur suyunu da toplamaktadır. Yapının su toplama kapasitesinin meteorolojik koşullara bağlı olduğu ancak havanın yerel ortam sıcaklıkları ve nem koşullarından bağımsız olarak daima belirli bir miktarda su buharı içerdiği ve bu sebepler suyun sürdürülebilir şekilde toplanabileceği belirtilmiştir. Yapının günde 50 litre ile 100 litre arasında su toplayabildiği kaydedilmiştir. Toplanan su 3000 litrelik bir su tankında depolanmaktadır ve içme suyu olarak da kullanılmaktadır. Kule yerel halkın su ihtiyacını karşılamaının yanı sıra topluluklara sosyal bir alan da sağlamaktadır. Warka Tower halkın bulunduğu, çeşitli halk toplantılarının, eğitimlerin ve etkinliklerin yaptığı bir kamusal alan sunmaktadır (URL-34).



Şekil 4.11. Warka Tower görünümü ve detayları (URL-34)

4.2.5. Rain Bellows

Rain Bellows binası, Rachael Meyer, Alexandra Ramsden, Jennifer Barnes ve Michele Richmond tarafından, “Winners Innovation Inspired by Nature for Eleven’s International Biomimicry Competition” yarışması kapsamında tasarlanmış ticari bir yapıdır (Şekil 4.11). Yaşayan Binalar Hareketi (*Living Building Challenge*) kapsamında belirlenen standartlar doğrultusunda yapılan bina tasarımında, yapılı çevrelerde içme suyunun kullanımının azaltılmasına yönelik yeni stratejiler ortaya konulmuştur. Bunun için proje ekibi biyomimesis yoluyla beş aşamalı bir tasarım yöntemi kullanmıştır. 1. adımda doğada üstün su depolama ve yeniden kullanma özelliğiyle bilinen buz çiçeği bitkisi esin kaynağı olarak seçilmiştir. 2. adımda bitkinin su depolama ve yeniden kullanma işlevini gerçekleştirmesini sağlayan biyolojik özellikleri araştırılmış ve gövde üzerinde bulunan epidermal kese hücrelerinin bu işlevi yerine getirdiği ortaya konulmuştur. 3. adımda epidermal kese hücrelerinin çalışma prensipleri (su aldıkça genişleyerek suyu içerisinde depolayan ve kurak dönemlerde bitkiye geri gönderen mekanizma) araştırılmıştır. 4. adımda epidermal kese hücrelerinin mekanizması mimari bir forma dönüştürülmüştür. 5. adımda ise bina cephesi bir su depolama alanı olarak belirlenmiş cepheye su depolama elemanları eklenmiştir. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi cephede suyla doyana kadar genişleyebilen ve depolayan cephe elemanları bulunmaktadır. Çatı aracılığıyla toplanan yağmur suyu doğrudan bina içi kullanımlarına gönderilmektedir ve kirlendikten sonra tekrar toplanıp artırılarak cephede depolanmaktadır. Bu doğa esinli elemanlar sayesinde ek bir depolama alanına ihtiyaç duyulmadan su depolanmaktadır ve buradan bina içi kullanımlarına yönlendirmektedir. Tasarımcılar bu sistem sayesinde binada binada, sahaya düşen yağmur suyunun en az yarısının tekrar kullanılmasıyla içme suyu kullanımını % 75 oranında azaltılacağını öngörmüşlerdir (URL-35).



Şekil 4.12. Rain Bellows görünümü ve cephe elemanı prototipi (URL-35)

4.2.6. Habitat 2020 China

Çin için öngörülen Habitat 2020 binası, doğal organizmalar gibi davranan “yaşayan” yapılar oluşturmak için ileri teknoloji fikirleri temel hücresel işlevlerle birleştiren geleceğe dönük bir biyomimetik mimari örneğidir (Şekil 4.12). Habitat 2020 binası yapıların geleneksel yüzey algısını radikal bir şekilde değiştirmiştir. Binanın cephesi tıpkı canlı, nefes alan ve koşullara göre tepkimeli davranabilen yaşayan bir cilt gibi tasarlanmıştır. Cephenin tasarımında yaprak yüzeylerinde yer alan stomalardan ilham alınmıştır. Bilindiği gibi stomalar, gaz alışverişi, terleme, güneş ışığı alımı gibi çeşitli işlevlerde görev alarak bitkinin bulunduğu ortamla ilişkisi sağlamaktadır. Habitat 2020 binasının cephesi de benzer bir işlevi yerine getirerek bina ile dış ortam arasındaki bağlantıyı sağlayan bir zar gibi davranmaktadır. Cephe; ışık, hava ve suyla ilgili koşulları optimize etmektedir. Örneğin güneş ışığına göre kendini otomatik olarak ayarlayarak iç mekânların ısı ve ışık düzenlemesini yapmaktadır. Bina cildi aynı zamanda cephe üzerinde yer alan elemanlar vasıtasıyla yağmur suyunu hasat etmekte ve bu suyu filtreleyerek bina içerisinde kullanmaktadır. Yağmur suyu toplama yeteneğinin yanı sıra yağışsız zamanlarda da havadaki nemi emerek su üretebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bina bu haliyle suyu kapalı bir döngüde kullanarak su tüketimi optimize etmeyi amaçlamıştır (Prakash ve Sharma, 2017).



Şekil 4.13. Habitat 2020 China binasının görünümü ve detayı (Prakash ve Sharma, 2017)

4.2.7. Çeşitli yüzey tasarımları

Mimarlık alanında doğa esinli yöntemlerle su toplayan yüzeyler üzerinde literatürde de çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Örneğin; Badarnah ve Kadri (2015) tarafından yapılan bir çalışmada çeşitli canlı türlerinin su toplama stratejileri kullanılarak birkaç katmandan oluşan bir bina kabuğu tasarımı yapılmıştır. Bina kabuğuna başta Namibya çöl böceği olmak üzere molok kertenkelesi ve çeşitli bitkilerin morfolojik ve yapısal özellikleri uyarlanmıştır. Cephenin en dış katmanında Namibya çöl böceğinin engebeli sırt kabuğu ve kabuğun hidrofilik ve hidrofobik özellikleri taklit edilerek Şekil 4.13'de görüldüğü gibi bina kabuğu tasarlanmıştır. Su cephenin bu en dış katmanı tarafından tutulmaktadır. İkinci katman Molok kertenkelesinin kılcallı yapısını taklit etmektedir ve mikro kanallardan oluşmaktadır. Bu vasıta ile yüzey üzerinde suyun kılcal hareketlerle taşınmasını ve depo odalarına kanalize edilmesini sağlanmaktadır. Depolama odalarının açılması ve kapanması doygun hale geldiğinde şişen ve kurduğunda büzüşen akıllı malzemelerle ve pasif elemanlarla kontrol edilmektedir (stoma, insan derisi ve CAM bitkilerinden uyarlanmış). Bu sistemde su gece boyunca toplanırken, kuru ya da sıcak günlerde iç mekanlara serbest bırakılmakta ve ortam nemine katkı sağlayarak iç mekan konforunu artırmaktadır.

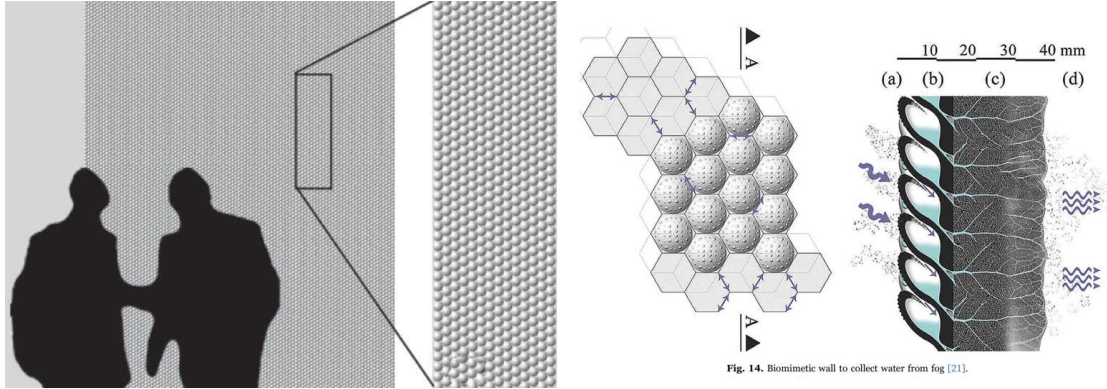
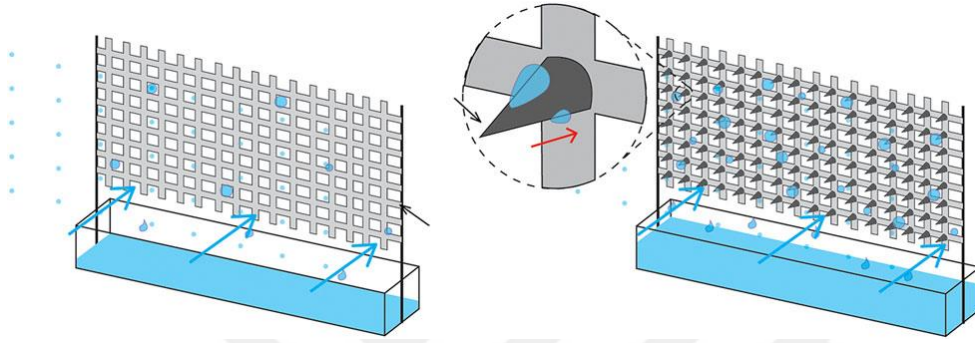


Fig. 14. Biomimetic wall to collect water from fog [21].

Şekil 4.14. Su toplayıcı yüzey tasarımı (Badarnah ve Kadri, 2015)

Brown ve Bhushan (2016) da doğadaki canlıların su yönetimini araştırmış, özellikle sisten yoğunlaştırma prensibiyle su elde eden canlılara odaklanarak benzer şekilde sisten su elde eden yüzey tasarımları önermiştir. Brown ve Bhushan hâlihazırda bazı bölgelerde geleneksel yöntemlerle yapılan sis yakalayıcı strüktürlerin kullanıldığı belirtmiş, kaktüsün su hasadı prensiplerini taklit ederek bir yüzey önermiş ve doğa esinli yöntemle tasarlanan bu yüzey ile geleneksel sis yakalayıcı yüzeyi kıyaslamıştır. Şekil 4.15 de görüldüğü gibi

polimer ağlardan oluşan geleneksel bir yüzeye kaktüslerden ilham alan elemanlar eklenmiştir. Bu elemanlar kaktüslerin gövdelerinde bulunan ve su yakalama özelliğiyle bilinen konik dikenleri taklit etmektedir. Brown ve Bhushan (2016) 'a göre kaktüsten ilham alan bu konik yapılar sisteki damlacıkların tutulması için mevcut yüzey alanını arttırmaktadır, damlacıkların birleşmesini ve hareketini kolaylaştırarak daha verimli su toplanmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.15. Su toplayıcı yüzey tasarımı (Badarnah ve Kadri, 2015)

Yukarıdaki örnek tasarımlardan görüldüğü gibi su etkin yapı tasarımlarına birçok yeni mimari tasarım kararı getirmek mümkündür. Doğa esinli su hasadı teknikleri geniş bir perspektife potansiyel uygulama alanlarını teşvik etmektedir.

5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tez çalışması boyunca yapılan araştırmalar ve 4. Bölüm’de incelenen, biyomimetik tasarım aracılığıyla su etkin yapıların tasarlanmasına ilişkin örnekler sonucunda biyomimesis biliminin yapılarda suyla ilgili problemlerin çözülebilmesi için etkin çözümler ve yenilikçi potansiyeller barındırdığı görülmüştür.

Bu bölümde elde edilen verilen değerlendirilmesi için hazırlanan tablolar ışığında biyomimetik tasarım ilkeleri doğrultusunda yapılan tasarımlarla ortaya konulan yeni su etkin tasarım yöntemleri, yenilikçi mimari tasarım kararları, bina kabukları, yüzeyler, cephe elemanları, strüktürler ve malzemeler gösterilmektedir.

Çizelge 5.1’de kurak bölgelerde yaşayan Namibya Çöl Böceği’nin suyu elde etme prensibinden esinlenerek tasarlanan Las Palmas Water Theatre binası görülmektedir. Binada Namibya çöl böceğinin sisten su elde etme prensiplerine dayanarak nem hasadı yapılmaktadır. Bunun başarabilmesi için yapının konumlandırılmasından, kullanılacak malzemelerin niteliğine kadar birçok farklı tasarım kararında biyomimetik unsurların yer aldığı görülmektedir. Öncelikle proje için yer seçimi ve konumlandırma kararları biyomimetik bir yaklaşımla alınmıştır. Namibya çöl böceğinin suyu etkin bir şekilde toplayabilmek için vücudunu sis içerisinde hava akımının geldiği yöne doğru çevirip yaklaşık 45 °Clik bir açıda sabitleyerek hava akışının sırt kabuğuna çarpmasını sağladığı bilinmektedir. Bu doğrultuda bina nemli hava akışının yoğun olduğu bir bölgede, hava akışını karşılayacak bir aksta konumlandırılmış, bu aksa açılı bir cephe yerleştirilmiştir. Binanın cephe tasarımı ise yine biyomimetik unsurlar barındırmaktadır. Namibya çöl böceğinin, sırt kabuğunun hidrofilik etkili tepecikli yapısı sayesinde su elde etme işlemini gerçekleştirdiği bilinmektedir. Bu veriden yola çıkılarak binanın cephesi için böceğin sırt kabuğunda yer alan tepeciklere atıfta bulunan özel yoğunlaştırma panellerinin tasarlandığı ve suyun bu cephe aracılığıyla elde edildiği görülmüştür. Bu anlamda bina, su etkin tasarım konusunda konumlandırma kriterini gündeme getirmesiyle ve geleneksel yöntemlerin dışına çıkarak suyu özel bir cephe tasarımı aracılığıyla elde etmesiyle bir yeniliği temsil etmektedir.

Çizelge 5.2’de yine Namibya Çöl Böceği’nin suyu elde etme prensibinden esinlenerek tasarlanan Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi Binası görülmektedir. Binada söz konusu canlının sisten su elde etme yöntemine benzer şekilde yoğunlaştırma ilkesine dayanarak sis hasadı yapılmaktadır. Bu ilke doğrultusunda binanın tasarım kararlarında çeşitli biyomimetik unsura yer verildiği görülmektedir. Bina hava içerisindeki suyun tutulması için özel olarak tasarlanmış strüktürel elemanlarıyla ön plana çıkmaktadır. Bu elemanların tasarımında böceğin sis içerisindeki spesifik duruşu (*fog basking behavior*) taklit edilmiş ve strüktür sisli hava akışını optimum şekilde karşılamak üzere belirli bir açı ve yükseklikte tasarlanmış ve konumlandırılmıştır. Ayrıca bilindiği üzere Namibiya Çöl Böceği’nin sırt kabuğunda bulunan tepecikler suyun yoğunlaştırılmasını artıran hidrofilik (suyu çeken) bir yapıya sahiptir. Bu özellik bina için bir takım yenilikçi yüzeylerin tasarlanmasına ilham olmuştur ve özel strüktür elemanları tarafından desteklenen ağ yüzeyleri hidrofilik yapıda tasarlanmıştır. Bu doğrultuda bina, su etkin tasarım konusunda konumlandırma kriterini gündeme getirmesiyle, suyu geleneksel yöntemlerin haricinde spesifik bir strüktür aracılığıyla elde etmesiyle ve suyun kazanımını destekleyen malzeme önerisiyle yenilikçi bir yaklaşımı temsil etmektedir.

Çizelge 5.3’de bazı örümcek türlerine ait örümcek ağlarının su tutma prensiplerinden ve buz çiçeği bitkisinin su depolama prensiplerinden yola çıkılarak tasarlanan Aquaweb isimli sera yapısı görülmektedir. Yapı tıpkı örümcek ağlarında olduğu gibi yoğunlaştırma yöntemiyle su elde etmekte ve buz çiçeği bitkisinin suyu depolama ilkelerine benzer ilkelerle geliştirilen bir sistemle su depolamaktadır. Bu doğrultuda yapının bütüncül bir yaklaşımla tasarlandığı ve birçok farklı biyomimetik unsurun bir araya getirildiği görülmektedir. Yapının strüktürü, dayanıklılığı, verimliliği ve modülerliğiyle bir mühendislik harikası olarak bilinen bal peteğinin yapısından ilham alınarak tasarlanmıştır. Strüktür temelde altıgen parçalardan oluşmaktadır. Bu parçaların bir kısmı suyu yoğunlaştırma işlevini yerine getirirken bir kısmı depolama görevini üstlenmiştir. Su toplayan parçalarda örümcek ağının mikro ölçekte görülebilen boğumlu yapısı taklit edilen yapay bir ağ yüzeyi kullanılmaktadır. Su depolayan parçalarda ise buz çiçeği bitkisinin gövdesi üzerinde bulunan ve su aldıkça genişleyen keseciklerden ilham alan su aldıkça genişleme özelliğine sahip esnek yapıllı bölmeler bulunmaktadır. Yapay ağ üzerinde yoğunlaşan su damlaları kanallar vasıtasıyla depolama bölmelerine ulaştırılarak burada muhafaza edilmektedir. Bu anlamda yapı, su etkin tasarım konusunda spesifik bir strüktür örneği sunmakta, suyu toplama, taşıma ve depolama işlevlerini bir arada yaparak ileriye

dönük yenilikçi bir yaklaşımı temsil etmektedir.

Çizelge 5.4’de örümcek ağlarının ve Namibya çöl böceğinin su elde etme prensiplerinden ilham alınarak tasarlanan Warka Tower görülmektedir. Yapıda Namibya Çöl Böceği’nin ve örümcek ağlarının su elde etme yöntemine benzer şekilde yoğunlaştırma ilkesi dayanarak su elde edilmektedir. Su toplama işlemi yapının strüktürü içerisinde yer alan ağ yüzeyler tarafından yapılmaktadır. Suyun elde edilebilmesi için özellikle malzeme anlamında biyomimetik tasarım unsurlarının yer aldığı görülmektedir. Örümcek ağlarının mikro ölçekte boğumlu bir yapıya, Namibya çöl böceğinin ise benzer şekilde tepecikli bir sırt kabuğuna sahip olduğu ve sahip oldukları bu yüzey özellikleri sayesinde başarılı bir şekilde su tutuculuğu elde ettikleri bilinmektedir. Buradan yola çıkılarak yapı için mikro ölçekte örümcek ağlarının yapısına benzeyen 3 boyutlu özel bir örgü ağ yüzeyi geliştirilmiştir. Bu doğrultuda bina, yalnızca su toplamak üzere özelleşmiş spesifik bir strüktür örneği sunmasıyla ve verimli bir su tutucu yüzey önerisi getirmesiyle yenilikçi ve fonksiyonel bir yaklaşımı temsil etmektedir.


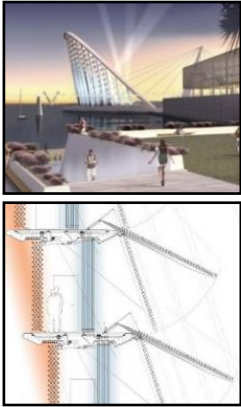
Çizelge 5.5’de buz çiçeğinin su depolama prensibinden ilham alınarak tasarlanan Rain Bellows isimli proje görülmektedir. Yapı buz çiçeği bitkisinin suyu depolama ilkelerine benzer ilkeler doğrultusunda tasarlanan cephe elemanı ile ön plana çıkmaktadır. Cephe elemanı yağmur suyuyla doyana kadar genişleyebilen ve ek bir depolama alanına ihtiyaç duymayan hareketli bir mekanizmaya sahiptir. Bu anlamda yapı su depolama konusunda önerdiği bu doğa esinli mekanizmayla binalarda suyun depolanması konusunda önemli bir potansiyeli ortaya koymuştur.

Çizelge 5.6’da bitki yapraklarında bulunan stomaların çevresel faktörlere göre bir takım uyumluluklar göstererek bitkiyi su, sıcaklık ve gaz alışverişi konusunda stabil tutabilme ilkelerinden ilham alınarak tasarlanan Habitat 2020 binası gösterilmektedir. Bina, tıpkı bitki yaprakları gibi dış ortam koşullarına göre çeşitli adaptasyonlar göstererek yaşayan bir cilt gibi davranan tepkimeli yapı kabuğuyla ön plana çıkmaktadır. Yapı kabuğunda stomaları taklit eden mimari elemanlar yer almaktadır. Bu elemanlar nemli veya yağışlı havada açılarak su elde etmektedir. Bu anlamda bina, su etkin tasarım konusunda yağışa ve neme karşı duyarlı tepkimeli bir bina kabuğu örneği ortaya koymasıyla ileriye dönük yenilikçi bir tasarımı temsil etmektedir.


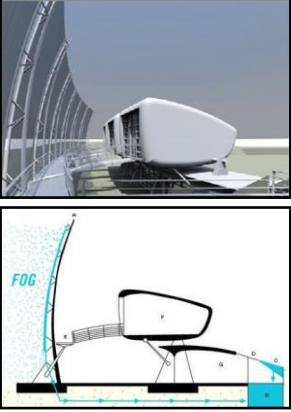
Çizelge 5.7’de Namibya çöl böceğinin su elde etme prensibinden ve molok kertenkelesinin su taşınımı prensiplerinin ilham alınarak geliştirilmiş çok katmanlı bir yüzey tasarımı örneği görülmektedir. Yüzey tıpkı Namibya çöl böceği gibi nemli havadaki suyu yoğunlaştırma yöntemiyle su elde etmekte, kazanılan suyu ise tıpkı molok kertenkelesinin derisinde bulunan kılcal kanal ağları gibi tasarlanan boru sistemleriyle iç ortama iletmektedir. Yüzeyin en dış katmanı namibya böceğinin sırt kabuğundaki engebeli yapı taklit edilerek tepecikli şekilde tasarlanmış ve bu yapay tepecikler hidrofilik bir malzemeyle desteklenmiştir. Bir dizi kılcal borudan oluşan alt katman ise toplanan suyu kuru ya da sıcak günlerde iç mekânlara serbest bırakarak ortam nemine katkı sağlamak ve ortam konforunu artırmak üzere planlanmıştır. Bu anlamda bu yüzey tasarımı su etkin tasarım konusunda spesifik bir biçimleniş ve malzeme özelliklerine sahip çok katmanlı bir yüzey örneği sunarak potansiyel bina kabuğu tasarımlarını temsil etmektedir.

Çizelge 5.8’de kurak bölgelerde yetişmesiyle bilinen kaktüslerin su elde etme prensibinden esinlenerek geliştirilen bir ağ yüzeyi tasarımı görülmektedir. Yüzey tıpkı kaktüslerde olduğu gibi yoğunlaştırma ilkesine dayanarak havadan su elde etmektedir. Bu su elde etme işlemi için yüzey tasarımında bir takım biyomimetik unsurlar kullanılmıştır. Kaktüslerin, gövdelerinde yer alan konik dikenler sayesinde yoğunlaştırma yaparak su elde ettiği bilinmektedir. Buradan yola çıkılarak benzer şekilde yüzey tasarımına konik elemalar eklenmiş ve bu elemanların mevcut yüzey alanını genişleterek, damlacıkların birleşmesini ve hareketini kolaylaştırdığı ve daha verimli su toplanmasını sağladığı kaydedilmiştir. Bu anlamda yüzey tasarımı su etkin tasarım konusunda yenilikçi bir örnek sunarak potansiyel yüzey tasarımlarına teşvik etmektedir.



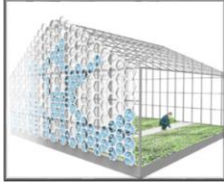
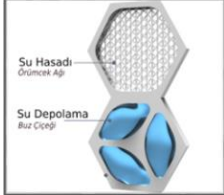
Çizelge 5.1. Namibya böceğinden esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım

ESINLENİLEN ORGANİZMA	<p>NAMİBYA ÇÖL BÖCEĞİ</p> 		ORGANİZMANIN ÖZELLİKLERİ	<p><u>İlham Alınan Özellik:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Su hasadı
				<p><u>Su Hasadı Yöntemi (Nasıl):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sisli hava içerisindeki su tanecikleri, böceğin sırt kabuğu (elitra) üzerinde yoğunlaşır ve buradan canlının ağzına doğru kanalize olur
				<p><u>Su Hasadı İçin Gelişmiş Biyolojik Özellikler (Ne İle):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Özel Davranış Biçimi</u> (Sis içerisinde rüzgar yönü doğrultusunda açılı duruş (<i>fog-basking behaviour</i>)) • <u>Morfolojik Özellikler</u> (Hidrofilik tepcikler ve hidrofobik oluklardan oluşan engebeli elitra) • <u>Hidrofilik ve Hidrofobik Yüzeylerin Kombinasyonu</u>
BIYOMİMETİK TASARIM SÜRECİ				
<i>Biyomimetik yaklaşım</i>				
<i>Biyolojiye Bakan Yaklaşım</i>		<i>Biyoloji Esinli Yaklaşım</i>		Binalarda gerçekleşen su tüketimi sebebiyle su kaynakları üzerinde oluşan olumsuz etkinin azaltılabilmesi için suyu sürdürülebilir bir yöntemle elde edip kullanabilen Namibya çöl böceği araştırılmıştır
X		✓		
<i>Biyomimikri düzeyi</i>				
<i>Organizma Düzeyi</i>	<i>Davranış Düzeyi</i>	<i>Ekosistem Düzeyi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Namibya böceğine ait elitra, morfolojik olarak taklit edilmiştir (organizma düzeyi) • Böceğin su hasadı için geliştirdiği özel davranış(<i>fog-basking behaviour</i>) taklit edilmiştir (davranış düzeyi) 	
✓	✓	X		
MİMARİDEKİ UYGULAMASI	<p>LAS PALMAS WATER THEATRE (Las Palmas, İSPANYA)</p> 		YAPININ ÖZELLİKLERİ	<p><u>Yapıya Aktarılan Özellik:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Su Hasadı
				<p><u>Su Hasadı Yöntemi:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nemli hava içerisinde bulunan su tanecikleri binanın cephesi aracılığıyla yoğunlaştırılarak toplanır
				<p><u>Su Hasadını İçin Geliştirilmiş Mimari Tasarım Kararları:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Özel Cephe Tasarımı</u> (Cephe, nemli havadaki suyun yoğunlaştırılmasını sağlamak için özel olarak tasarlanmış panellerden oluşmaktadır) • <u>Spesifik Konumlandırma</u> (Yapı okyanus esintisinin hakim olduğu yöne göre konumlandırılmıştır)
SU HASADI YÖNTEMİ				
<i>Yağmur Suyu Hasadı</i>	<i>Atmosferik Su Hasadı</i>	<i>Deniz Suyu Hasadı</i>	<i>Yeraltı Suyu Hasadı</i>	
X	✓	X	X	




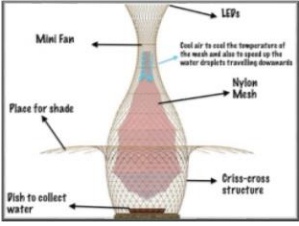
Çizelge 5.2. Namibya böceğinden esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım

ESİNLENİLEN ORGANİZMA	<p><u>NAMİBYA ÇÖL BÖCEĞİ</u></p> 		ORGANİZMANIN ÖZELLİKLERİ	<p><u>İlham Alınan Özellik:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Su hasadı
	<p><u>Su Hasadı Yöntemi (Nasıl?):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Sisli hava içerisindeki su tanecikleri, böceğin sırt kabuğu (elitra) üzerinde yoğunlaşır ve buradan canlının ağzına doğru kanalize olur 			<p><u>Su Hasadı İçin Gelişmiş Biyolojik Özellikler (Ne İle):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <u>Özel Davranış Biçimi</u> (Sis içerisinde rüzgar yönü doğrultusunda açılı duruş (fog-basking behaviour)) <u>Morfolojik Özellikler</u> (Hidrofilik tepecikler ve hidrofobik oluklardan oluşan özel engebeli elitra) Hidrofilik ve Hidrofobik Yüzeylerin Kombinasyonu
BIYOMİMETİK TASARIM SÜRECİ				
<i>Biyomimetik yaklaşım</i>				
<i>Biyolojiye Bakan Yaklaşım</i>		<i>Biyoloji Esinli Yaklaşım</i>		Su kıtlığı olan bölgede bulunan binaların suya erişim probleminin çözülebilmesi için doğada benzer şartlar altında yaşayan ve bu problemi çözmüş olan Namibya çöl böceği araştırılmıştır
✓		X		
<i>Biyomimikri düzeyi</i>				
<i>Organizma Düzeyi</i>	<i>Davranış Düzeyi</i>	<i>Ekosistem Düzeyi</i>		<ul style="list-style-type: none"> Namibya böceğine ait elitra, biçim ve malzeme bazında taklit edilmiştir (organizma düzeyi) Böceğin su hasadı için geliştirdiği özel davranı taklit edilmiştir (davranış düzeyi)
✓	✓	X		
MİMARİDEKİ UYGULAMASI	<p><u>NAMİBYA ÜNİVERSİTESİ HİDROLOJİ MERKEZİ</u> (Namibya, GÜNEY AMERİKA)</p> 		YAPININ ÖZELLİKLERİ	<p><u>Yapıya Aktarılan Özellik:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Su Hasadı
	<p><u>Su Hasadı Yöntemi:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Sis içerisindeki su tanecikleri bina cephesinin önüne yerleştirilmiş özel bir yapıyla yoğunlaştırılarak toplanır 			<p><u>Su Hasadı İçin Geliştirilmiş Mimarî Tasarım Kararları:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <u>Özel Stüktür Tasarımı</u> (Su toplayan ağ yüzeylerini destekleyen ve Namibya böceğinin açılı duruşunu taklit eden özel stüktür tasarımı) <u>Spesifik Konumlandırma</u> (Yapı okyanus esintisinin hakim olduğu yöne göre konumlandırılmıştır) <u>Yenilikçi Malzeme</u> (Elitranın engebeli yapısına benzer şekilde biçimlendirilerek hidrofilik özellik kazandırılan özel ağ yüzeyler)
SU HASADI YÖNTEMİ				
<i>Yağmur Suyu Hasadı</i>	<i>Atmosferik Su Hasadı</i>	<i>Deniz Suyu Hasadı</i>	<i>Yeraltı Suyu Hasadı</i>	
X	✓	X	X	

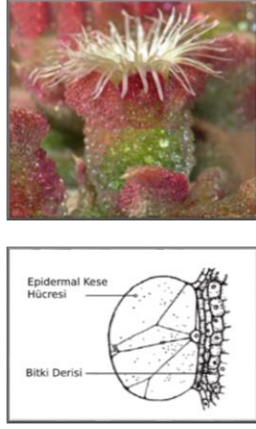

Çizelge 5.3. Örümcek ağı ve buz çiçeği bitkisinden esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım

ESİNLİ ENİL ENLEP GANİZMALAP	ÖRÜMCEK AĞI	ORGANİZMANIN ÖZELLİKLERİ	İlham Alınan Özellik:
			<ul style="list-style-type: none"> Su hasadı (Örümcek ağı) / Su depolama (Buz çiçeği)
	BUZ ÇİÇEĞİ		Su Hasadı ve Su Depolama Yöntemi (Nasıl?):
			<ul style="list-style-type: none"> Nemli hava içerisindeki su taneleri, örümcek ağı üzerinde yoğunlaşarak toplanır (su hasadı) Su bitki gövdesi üzerinde depolanır (su depolama)
BİYOMİMETİK TASARIM SÜRECİ			
<i>Biyomimetik yaklaşım</i>			
<i>Biyolojiye Bakan Yaklaşım</i>		<i>Biyoloji Esinli Yaklaşım</i>	
X		✓	
<i>Su etkin bir yapı tasarımı için doğanın stratejileri araştırılmış, örümcek ağlarının su tutma prensibinden ve buz çiçeğinin su depolama sisteminden ilham alınmıştır</i>			
<i>Biyomimikri düzeyi</i>			
<i>Organizma Düzeyi</i>	<i>Davranış Düzeyi</i>	<i>Ekosistem Düzeyi</i>	<ul style="list-style-type: none"> Ağ liflerinin özel yapısı taklit edilmiştir Buz çiçeğinin gövdesinde bulunan kese hücreleri taklit edilmiştir
✓	X	X	
MİMARİDEKİ UYGULAMASI	AQUAWEB (Konsept)	YAPININ ÖZELLİKLERİ	Yapıya Aktarılan Özellik:
			<ul style="list-style-type: none"> Su hasadı / Su depolama
			Su Hasadı ve Su Depolama Yöntemi:
			<ul style="list-style-type: none"> Nemli ve sisli hava içerisindeki su tanecikleri yapının strüktürü üzerinde yoğunlaştırılarak toplanır ve yine strüktür üzerinde depolanır
Su Hasadı ve Su Depolama İçin Geliştirilmiş Mimari Tasarım Kararları:			
<ul style="list-style-type: none"> Özel Stüktür Tasarımı (Su toplayıcı yapay ağları ve depolama bölmelerini bir araya getirerek destekleyen strüktür tasarımı) Yenilikçi Malzeme (Örümcek ağını taklit ederek su toplama işlevini yerine getiren yapay ağlar ve buz çiçeğinin su depolama keseleri taklit ederek su depolama işlevini yerine getiren özel elastik malzeme) 			
SU HASADI YÖNTEMİ			
<i>Yağmur Suyu Hasadı</i>	<i>Atmosferik Su Hasadı</i>	<i>Deniz Suyu Hasadı</i>	<i>Yeraltı Suyu Hasadı</i>
X	✓	X	X

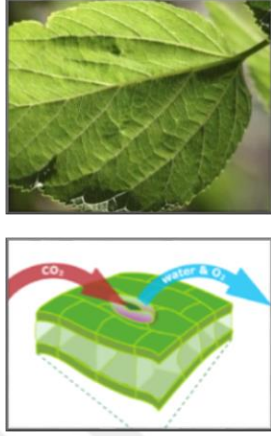

Çizelge 5.4. Örümcek ağı ve Namibya böceğinden esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım

ESİNLENİLEN ORGANİZMALAR	<p><u>NAMİBYA BÖCEĞİ</u></p> 	ORGANİZMANIN ÖZELLİKLERİ	<p><u>İlham Alınan Özellik:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Su hasadı
	<p><u>ÖRÜMCEK AĞI</u></p> 		<p><u>Su Hasadı Yöntemi (Nasıl?):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nemli hava içerisindeki su Namibya böceğinin sırt kabuğu üzerinde yoğunlaşarak toplanır • Nemli hava içerisindeki su örümcek ağı lifleri üzerinde yoğunlaşarak toplanır <p><u>Su Hasadı İçin Gelişmiş Biyolojik Özellikler (Ne İle):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Hidrofilik tepciler ve hidrofobik oluklardan oluşan özel engebeli elitra (Namibya böceği) • Mikroölçekte hidrofilik etkili boğumlardan ve hidrofobik etkili bağlantılardan oluşan özelleşmiş ağ lifleri (su hasadı)
BİYOMİMETİK TASARIM SÜRECİ			
<i>Biyomimetik yaklaşım</i>			
<i>Biyolojiye Bakan Yaklaşım</i>	<i>Biyoloji Esinli Yaklaşım</i>	Su yetersizliği altında bulunan bölgelerde yaşayan insanların temiz suya erişebilmelerini sağlamak için, kendine özgü yöntemlerle su kazanabilen canlılar araştırılmıştır	
✓	X		
<i>Biyomimikri düzeyi</i>			
<i>Organizma Düzeyi</i>	<i>Davranış Düzeyi</i>	<i>Ekosistem Düzeyi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Namibya böceğinin sırtı kabuğunun ve örümcek ağının hidrofilik yapıları taklit edilmiştir
✓	X	X	
MİMARİDEKİ UYGULAMASI	<p><u>WARKA TOWER</u> (Etiyopya, DOĞU AFRİKA)</p> 	YAPININ ÖZELLİKLERİ	<p><u>Yapıya Aktarılan Özellik:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Su hasadı
			<p><u>Su Hasadı Yöntemi:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nemli havada içerisindeki su tanecikleri strüktürü içerisinde bulunan naylon ağ yüzeyleri üzerinde yoğunlaştırılarak toplanır • Yağmur suyu strüktürün açık çatısı tarafından direk olarak toplanır <p><u>Su Hasadı ve İletimi İçin Geliştirilmiş Mimari Tasarım Kararları:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Özel strüktür tasarımı</u> (ağ yüzeyleri destekleyen ve yağmur suyunun toplanmasını kolaylaştıran modüler strüktür sistemi) • <u>Yenilikçi malzeme</u> (naylon ağ)
SU HASADI YÖNTEMİ			
<i>Yağmur Suyu Hasadı</i>	<i>Atmosferik Su Hasadı</i>	<i>Deniz Suyu Hasadı</i>	<i>Yeraltı Suyu Hasadı</i>
✓	✓	X	X



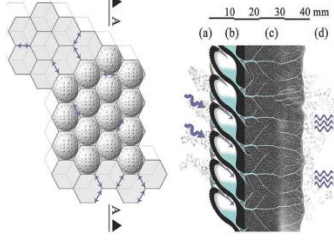
Çizelge 5.5. Buz çiçeği bitkisinden esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım

ESİNLENİLEN ORGANİZMA	<p>BUZ ÇİÇEĞİ</p> 		ORGANİZMANIN ÖZELLİKLERİ	<p><u>İlham Alınan Özellik:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Su korunumu
				<p><u>Suyu Muhafaza Etme Yöntemi (Nasıl?):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Su bitki gövdesi üzerinde depolanarak muhafaza edilir
				<p><u>Su Korunumu İçin Gelişmiş Biyolojik Özellikler (Ne İle):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Bitki gövdesi üzerinde yer alan ve su miktarına göre genişleyip büzülerek suyu içerisinde tutan epidermal kese hücreleri
BIYOMİMETİK TASARIM SÜRECİ				
<i>Biyomimetik yaklaşım</i>				
<i>Biyolojiye Bakan Yaklaşım</i>		<i>Biyoloji Esinli Yaklaşım</i>		Buz çiçeği bitkisinin su tutma yeteneği binalardaki su depolama alanları için ilham kaynağı olmuştur
X		✓		
<i>Biyomimikri düzeyi</i>				
<i>Organizma Düzeyi</i>	<i>Davranış Düzeyi</i>	<i>Ekosistem Düzeyi</i>		<ul style="list-style-type: none"> Buz çiçeğinin gövdesindeki epidermal kese hücrelerinin fonksiyonu taklit edilmiştir
✓	✓	X		
MİMARIDEKİ UYGULAMASI	<p>RAINBELLOWS (Seattle, ABD)</p> 		YAPININ ÖZELLİKLERİ	<p><u>Yapıya Aktarılan Özellik:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Su korunumu
				<p><u>Suyu Muhafaza Etme Yöntemi:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Çatı aracılığıyla toplanan yağmur suyu çeşitli kanallar vasıtasıyla yönlendirilerek cepheye entegre edilmiş depolama alanlarında muhafaza edilir
				<p><u>Su Korunumu İçin Geliştirilmiş Mimari Tasarım Kararları:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <u>Özel Cephe Elemanı Tasarımı</u> (Buz çiçeğinin esnek epidermal kese hücrelerini taklit ederek toplanan yağmur suyunun miktarına göre genişleyip daralabilen kinetik cephe elemanı)
SU HASADI YÖNTEMİ				
<i>Yağmur Suyu Hasadı</i>	<i>Atmosferik Su Hasadı</i>	<i>Deniz Suyu Hasadı</i>	<i>Yeraltı Suyu Hasadı</i>	
✓	X	X	X	


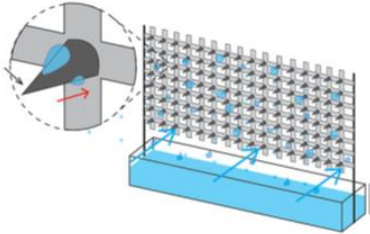
Çizelge 5.6. Bitki yaprağından esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım

ESİNLENİLEN ORGANİZMA	BİTKİ YAPRAĞI		ORGANİZMANIN ÖZELLİKLERİ	<u>İlham Alınan Özellik:</u>
				<ul style="list-style-type: none"> Su alışverişi
				<u>Su Alışverişi Yöntemi:</u> <ul style="list-style-type: none"> Su alışverişi yaprak yüzeyinde yer alan stoma hücreleri tarafından gerçekleştirilir
<i>BİYOMİMETİK TASARIM SÜRECİ</i>				<u>Su Alışverişi İçin Gelişmiş Biyolojik Özellikler (Ne İle):</u> <ul style="list-style-type: none"> Çeşitli fizyolojik olayların etkisiyle açılıp kapanabilen stoma hücreleri
<i>Biyomimetik yaklaşım</i>				
<i>Biyolojiye Bakan Yaklaşım</i>		<i>Biyoloji Esinli Yaklaşım</i>		<ul style="list-style-type: none"> Bitki stomalarının bitkinin bulunduğu çevresel durumlara göre tepkimeli davranarak bitki-dış ortam dengesini sağlaması benzer bir bina kabuğunun tasarımına ilham olmuştur
X		✓		
<i>Biyomimikri düzeyi</i>				
<i>Organizma Düzeyi</i>	<i>Davranış Düzeyi</i>	<i>Ekosistem Düzeyi</i>		<ul style="list-style-type: none"> Bitki yapraklarının stomalar aracılığıyla çevreyle etkileşime girme biçimi taklit edilmiş, yapı kabuğu yaşayan bir cilt gibi tasarlanmıştır
X	X	✓		
MİMARİDEKİ UYGULAMASI	HABİTAT 2020 CHİNA (ÇİN)		YAPININ ÖZELLİKLERİ	<u>Yapıya Aktarılan Özellik:</u>
				<ul style="list-style-type: none"> Su Hasadı
				<u>Su Hasadı Yöntemi:</u> <ul style="list-style-type: none"> Yağmur suyu ve nemli hava içerisindeki su bina kabuğu aracılığıyla toplanır
<u>Su Korunumu İçin Geliştirilmiş Mimari Tasarım Kararları:</u>				<ul style="list-style-type: none"> <u>Özelleşmiş Bina Kabuğu Tasarımı</u> (stomaların çevreyle ilişkisini taklit ederek nemli ve yağışlı durumlarda açılıp su toplayan bina kabuğu elemanları)
<i>SU HASADI YÖNTEMİ</i>				
<i>Yağmur Suyu Hasadı</i>	<i>Atmosferik Su Hasadı</i>	<i>Deniz Suyu Hasadı</i>	<i>Yeraltı Suyu Hasadı</i>	
✓	✓	X	X	

Çizelge 5.7. Namibya böceği ve molok kertenkelesinden esinlenerek geliştirilen tasarım

ESİNLENİLEN ORGANİZMALAR	<p><u>NAMİBYA BÖCEĞİ</u></p>  <p><u>MOLOK KERTENKELESİ</u></p> 		ORGANİZMANIN ÖZELLİKLERİ	<p><u>İlham Alınan Özellik:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Su hasadı (Namibya böceği) • Su iletimi (Molok kertenkelesi)
				<p><u>Su Hasadı ve Su İletim Yöntemi (Nasıl?):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sisli hava içerisindeki su tanecikleri namibya böceğinin sırt kabuğu üzerinde yoğunlaşır ve canlımın ağzına doğru kanalize olur (su hasadı) • Su, molok kertenkelesinin derisinin içerisinde bulunan kılcak kanal ağları vasıtasıyla taşınır
				<p><u>Su Hasadı İçin Gelişmiş Biyolojik Özellikler (Ne İle):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Özel Davranış Biçimi</u> (Sis içerisinde rüzgar yönü doğrultusunda açılı duruş (<i>fog-basking behaviour</i>)) • <u>Morfolojik Özellikler</u> (Hidrofilik tepecikler ve hidrofobik oluklardan oluşan özel engebeli elitra) • <u>Deri içerisinde mikro ölçekte üst üste çakışmış halde bulunan bir dizi kılcak damar ağları</u>
	BİYOMİMETİK TASARIM SÜRECİ			
<i>Biyomimetik yaklaşım</i>				
<i>Biyolojiye Bakan Yaklaşım</i>		<i>Biyoloji Esinli Yaklaşım</i>		
X		✓		
<i>Namibya böceğinin ve molok kertenkelesinin su yönetimi stratejileri su etkin bir yüzey tasarımına ilham olmuştur</i>				
<i>Biyomimikri düzeyi</i>				
<i>Organizma Düzeyi</i>	<i>Davranış Düzeyi</i>	<i>Ekosistem Düzeyi</i>		
✓	✓	X	<ul style="list-style-type: none"> • Namibya böceğine ait elitra ve Molok kertenkelesinin derisinin kılcaklı yapısı taklit edilmiştir (organizma düzeyi) • Böceğin su hasadı için geliştirdiği özel davranış taklit edilmiştir (davranış düzeyi) 	
MİMARİDEKİ UYGULAMASI	<p><u>KADRİ ve BADARNAH (2015) TARAFINDAN YAPILAN YÜZEY TASARIMI (Konsept)</u></p> 		YAPININ ÖZELLİKLERİ	<p><u>Yapıya Aktarılan Özellik:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Su hasadı ve Su iletimi
				<p><u>Su Hasadı ve Su İletimi Yöntemi:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nemli hava içerisindeki su tanecikleri bina kabuğu üzerinde yoğunlaştırılarak toplanır ve taşınır
				<p><u>Su Hasadı ve İletimi İçin Geliştirilmiş Tasarım Kararları:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Özelleşmiş Bina Kabuğu Tasarımı</u> (bina kabuğunun en dış katmanı, namibya böceğinin sırt kabuğu gibi tepecikli tasarlanmış, alt katman ise toplanan suyu iç mekanlara iletmek ve yüzey üzerinde dağıtmak üzere molok kertenkelesinin kılcaklı derisi taklit edilerek tasarlanmıştır) • <u>Malzeme Seçimi</u> (hidrofilik malzeme)
	SU HASADI YÖNTEMİ			
<i>Yağmur Suyu Hasadı</i>	<i>Atmosferik Su Hasadı</i>	<i>Deniz Suyu Hasadı</i>	<i>Yeraltı Suyu Hasadı</i>	
X	✓	X	X	

Çizelge 5.8 Kaktüsten esinlenerek geliştirilen biyomimetik tasarım

ESİNLENİLEN ORGANİZMA	<u>KAKTÜS</u>		ORGANİZMANIN ÖZELLİKLERİ	<u>İlham Alınan Özellik:</u>
				<u>Su Hasadı ve Su İletim Yöntemi (Nasıl?):</u>
				<u>Su Hasadı İçin Gelişmiş Biyolojik Özellikler (Ne İle):</u>
<ul style="list-style-type: none"> Su hasadı (Namibya böceği) Sisli hava içerisindeki su tanecikleri kaktüsün gövdesi üzerinde yoğunlaşarak toplanır <u>Morfolojik Özellikler</u> (konik dikenler ve dikenler üzerinde bulunan mikro yapıdaki tüyler) 				
<i>BİYOMİMETİK TASARIM SÜRECİ</i>				
<i>Biyomimetik yaklaşım</i>				
<i>Biyolojiye Bakan Yaklaşım</i>		<i>Biyoloji Esinli Yaklaşım</i>		Kaktüs bitkisinin sisten su elde etme prensipleri sisten su üretebilen bir yüzey tasarımına ilham olmuştur
X		✓		
<i>Biyomimikri düzeyi</i>				
<i>Organizma Düzeyi</i>	<i>Davranış Düzeyi</i>	<i>Ekosistem Düzeyi</i>	<ul style="list-style-type: none"> Kaktüsün gövdesinde yer alan konik dikenler biçimsel olarak taklit edilmiştir 	
✓	X	X		
MİMARİDEKİ UYGULAMASI	<u>BROWN ve BHUSHAN (2016) TARAFINDAN YAPILAN YÜZEY TASARIMI (Konsept)</u>		YAPININ ÖZELLİKLERİ	<u>Yapıya Aktarılan Özellik:</u>
				<u>Su Hasadı Yöntemi:</u>
				<u>Su Hasadı ve İletimi İçin Geliştirilmiş Mimari Tasarım Kararları:</u>
				<ul style="list-style-type: none"> Su hasadı Nemli hava içerisindeki su tanecikleri ağlardan oluşan bir yüzey üzerinde yoğunlaştırılarak toplanır <u>Malzeme Seçimi</u> (hidrofilik malzeme)
<i>SU HASADI YÖNTEMİ</i>				
<i>Yağmur Suyu Hasadı</i>	<i>Atmosferik Su Hasadı</i>	<i>Deniz Suyu Hasadı</i>	<i>Yeraltı Suyu Hasadı</i>	
X	✓	X	X	

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Mimarlık disiplininde son yıllarda pek çok platformda tartışılmaya başlayan biyomimesis terimi genel olarak doğadan öğrenme biçimlerini ifade etmektedir. Bu kavramla beraber aslında yüzyıllardır kaçınılmaz bir etkileşim içerisinde olan doğa ve mimarlık unsurları akılcı ve bilimsel bir etkileşim anlayışıyla yeniden bir araya getirilmektedir. Günümüzde doğadan esinlenme/öğrenme sürecine evrilen doğa ve mimarlık etkileşimi, ilerleyen bilim ve teknolojiler sayesinde yenilikçi bir tasarım modeli olarak gündeme gelmekte ve çok yönlü bir bilim dalı olan biyomimesis biliminin çatısı altında yer edinmektedir. Biyomimesis bilimi ve mimarlık disiplini arasında gelişen bu ilişki mimari tasarım alanına yeni bir başlık ekleyerek biyomimetik mimarlık/biyomimetik tasarım kavramını ortaya çıkarmıştır. Biyomimetik tasarım konusu yeni bir tasarım yaklaşımı olmasına rağmen birçok tasarımcı tarafından benimsenmekte ve geliştirilmekte olup, yeni ürünler ortaya koymaya devam etmektedir.

Bu doğrultuda, tez çalışması kapsamında mevcut su kaynaklarını korumak ve gelecek nesiller için devamlılığını sağlamak adına suyun çeşitli yapılar aracılığıyla elde edilmesine yönelik bir araştırma yürütülmüştür. Bu konuda doğanın su elde etme stratejilerinin biyomimetik tasarım aracılığıyla yapı tasarımlarına aktarılabilmesi ve bunun sonucunda kendi suyunu üretmeyi ve etkin bir şekilde kullanmayı başaran yapı tasarımları ortaya koymanın mümkün olduğu görülmüştür.

Tez çalışmasının kapsamında ilk olarak biyomimesis bilimi ve mimarlık alanına olan yansımaları hakkında literatür çalışmasına yer verilerek mimarlık-doğa etkileşimiyle ilgili bir arka plan sunulmuştur. Yine aynı bölümde yapılı çevrelerde su hasadı (water harvesting) yöntemleri araştırılmış, yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan yağmur suyu hasadı (rainwater harvesting) yöntemine odaklanarak geçmişten günümüze doğru tarihsel bir arka plan çerçevesinde anlatılmış ve geleneksel ve modern uygulamalarıyla birlikte sunulmuştur.

Tez çalışması boyunca “Doğada ihtiyaçları olan suyu çeşitli yöntemlerle elde ederek sürdürülebilir bir şekilde kullanmayı başaran canlılar tarafından geliştirilen su hasadı stratejileri biyomimetik yaklaşım yöntemiyle bina tasarımlarına aktarılabilir mi ve bu

doğrultuda kendi suyunu kazanabilen binalar tasarlamak mümkün müdür?” sorusu araştırılmış ve tez sonucunda elde edilen bulgular ve örnek tasarımlar doğrultusunda bunun mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışma sonucunda “Biyomimetik tasarım yöntemleri ile doğadan elde edilen öğretiler doğrultusunda binalar aracılığı ile etkin su hasadı yöntemleri geliştirilebilir.” hipotezi 5. Bölüm’deki bulguların ışığında test edilmiş ve doğrulanmıştır.

Çizelge 6.1. Değerlendirme tablosu

Yapılı Çevrelerde Su Toplama Yöntemleri					
Su Hasadı Yöntemleri	Kullanılan Mimari Unsurlar	Geleneksel Yapılar	Modern Yapılar	Biyomimetik Tasarımlar	
Yağmur Suyu Hasadı	Çatılar	✓	✓	✓	
	Yapay göletler/havuzlar	✓	✓	X	
	Cephe / Cephe elemanları	X	✓	X	
	Özel Mimari Tasarımlar	Özel Yapılar	✓	✓	✓
		Strüktürler	X	X	✓
		Yüzeyler	X	X	X
Atmosferik Su Hasadı	Çatılar	X	X	X	
	Yapay göletler/havuzlar	X	X	X	
	Bina kabuğu	X	X	✓	
	Cephe / Cephe elemanları	X	X	✓	
	Özel Mimari Tasarımlar	Özel Yapılar	X	X	✓
		Strüktürler	X	X	✓
Yüzeyler		X	X	✓	
Deniz Suyu Hasadı		X	X	X	
Yeraltı Suyu Hasadı		X	X	X	

Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi tez çalışması kapsamında binalar aracılığıyla su toplama bağlamında incelenen geleneksel yapılar, modern yapılar ve biyomimetik tasarımlar; kullandıkları su hasadı yöntemleri ve bu yöntemlerde kullanılan mimari unsurlar açısından kıyaslanarak bir değerlendirme yapılmıştır. Bu doğrultuda öncelikle su hasadı yöntemleri kapsamında yağmur suyu hasadının ortak bir strateji olarak benimsendiği görülmüştür. Özellikle modern yapılarda ve geleneksel olarak geliştirilen su toplama yapılarında yağmur suyu hasadı uygulamalarının hem acil su ihtiyaçlarının giderilmesi hem de su tüketimlerinin azaltılmasında kayda değer olumlu katkılar sağladığı tez çalışması boyunca incelenen örneklerde açıkça görülmüştür. Biyomimetik tasarımların su elde etme stratejilerinde ise yine yağmur suyu hasadı uygulamalarını görmek mümkün olmuştur ancak bunun yanı sıra doğadan öğrenilen yeni bir yaklaşım olarak sis ve nem hasadı uygulamalarını kapsayan atmosferik su hasadının ön plana çıktığı ve bu sayede yapılar aracılığıyla maksimum su elde etmenin yollarının araştırıldığı görülmüştür. Bu anlamda atmosferik su hasadı uygulamalarının özellikle yıllık yağışların az olduğu veya dönemsel yaşandığı iklim bölgelerinde etkili bir su kaynağı oluşturabileceği öngörülmektedir. Ayrıca farklı iklim tiplerine uygun su hasadı stratejilerinin ortaya konularak yapıların su hasadı stratejilerinin bu doğrultuda belirlenmesi neticesinde yapıların sahip olduğu potansiyellerin değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Diğer taraftan biyomimetik yapı örneklerinde, günümüz modern yapılarında ve geleneksel yapılarda kullanılan su elde etme stratejilerine kıyasla daha fazla mimari tasarım unsurunun su hasadı sürecine dahil edildiği görülmüştür. Örneğin geleneksel ve modern yapılarda su hasadı konusunda incelenen örnekler özelinde genellikle çatılar ve çatı elemanlarıyla kısıtlı kalındığı ancak biyomimetik tasarımlarda cephelerin, özel olarak geliştirilmiş cephe elemanlarının, bina kabuklarının, strüktürlerin, duvarların ve çeşitli yüzeylerin kullanıldığı görülmüştür. Bu doğrultuda biyomimetik tasarımlar suyun etkin kullanımında daha geniş bir çerçeve sunmakta olup yağmur suyu hasadı ve atmosferik su hasadı konusunda binaların sahip olduğu potansiyeli de açıkça göstermektedir. Bu anlamda ortaya çıkarılan bu potansiyellerin değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Özetle yapıları çevrelerde su toplama yöntemlerinin geliştirilmesi noktasında doğaya bakmak başta havadan su elde edilmesine yönelik potansiyeller olmak üzere birçok potansiyelin ortaya çıkarılmasında etkili bir yoldur. Bu bağlamda, bu alanda yapılacak çalışmalarda araştırmacılar için yapı tasarımı süreçlerinin multi disiplinler bir anlayışla

yürütülmesi, doğanın bir çözüm unsuru olarak araştırılarak ortaya konulması ve doğadan alınan öğretilerin biyomimetik tasarım çerçevesinde mimari öğretilere dönüştürülerek yapı tasarımı sürecine dahil edilmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Agarie, S., Shimoda, T., Shimizu, Y., Baumann, K. (2007). Salt tolerance, salt accumulation, and ionic homeostasis in an epidermal bladder-cell-less mutant of the common ice plant *Mesembryanthemum crystallinum*. *Journal of Experimental Botany*, (58)8, 1957–67.
- Al-Kodmany, K., Ali, M. M. (2013). Importing urban giants: Re-imaging shanghai and Dubai with skyscrapers. *International Journal of Architectural Research*, (2), 22-42.
- Arslan Selçuk, S. ve Gönenç Sorguç, A. (2007). Mimarlık Paradigmasında Biomimesisin Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 451-459.
- Arslan Selçuk, S. ve Gönenç Sorguç, A. (2010). *A Parametric Approach to Biomimesis*. LAP Lambert Academic Publishing.
- Aziz, M. S., El sheriff, A. Y. (2015). Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation. *Alexandria Engineering Journal*, (55)1, 707–714.
- Badarnah, L., Kadri, U. (2015). A methodology for the generation of biomimetic design concepts. *Architectural Science Review*, 58(2), 120-133.
- Badarnah, L., (2016). *Water management lessons from nature for applications to buildings*, Master Thesis, Department of Architecture, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Barnes, D. A. (2009). *Assessment of Rainwater Harvesting In Northern Ghana*, Master Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering at the Massachusetts Institute of Technology, Boston.
- Beckers, B., Berking, J., Schütt B. (2013). Ancient Water Harvesting Methods in the Drylands of the Mediterranean and Western Asia. *Journal For Ancient Studies*, 2, 145–164.
- Bhattacharya, S. (2015). Traditional water harvesting structures and sustainable water management in India: A socio-hydrological review. *International Letters of Natural Sciences*, 37, 30-38.
- Bozkurt, C. (2010). *Kinetik Sistemlerle Çalışan, Biyomimetik Bir Kentsel Donatı Tasarımı Urbancot*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bradshaw, A. J. (2016). *Water Harvesting Methods and the Built Environment: The Role of Architecture in Providing Water Security*. Masters Thesis in University of Nevada, Las Vegas.

- Brown, P. S., Bhushan, B. (2016). Bioinspired materials for water supply and management: water collection, water purification and separation of water from oil. *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences* 374(2073).
- Çakaloğulları, Ş. (2015). *Ütopya-Radikal Mimarlık Bağlamında 1960-70 Dönemi Mimarlığına Analitik Bir Yaklaşım*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çınar, H., M., Müezinoğlu, M. K., ve Sungur, M. (2017). Tasarım Eğitiminde Form Yaratma Sürecine Bir Örnek: Biyomimesis. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5 (63), 654-664.
- Domènech, L., Saurí, D. (2011). A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs, *Journal of Cleaner Production*, 19, 598-608.
- Eggermont, M. (2008, June). *Biomimetics as problem-solving, creativity and innovation tool in a first year engineering design and communication course*. Paper Presented at the WIT Transactions on Ecology and the Environment, Calgary, Canada.
- Eroksuz, E., Rahman, A. (2010). Rainwater tanks in multi-unit buildings: a case study for three Australian cities. *Resources Conservation and Recycling*, 54(12), 1449-1452.
- Fewkes, A. (1999). The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and Environment* 34(6), 765-772.
- Gertik, A. (2012). *Biyomimesis Anlayışı ve Bu Bağlamda Günümüz Kuzey Kıbrıs Mimarisi'ne Eleştirel Bir Bakış*, Yüksek Lisans Tezi, Yakın Doğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gruber, P. (2011). *Biomimetics in Architecture - Architecture of Life and Buildings*. Germany, Springer, 14.
- Gruber, P., Bruckner, D., Hellmich, C., Schmiedmayer, H. B., Stachelberger, H. And Gebeshuber. (2011). *Biomimetics Materials, Structures and Processes*, Berlin: Springer, 145.
- Harris, D. (2016). *How can biomimicry be used to enhance the design of an architectural column*, Master Thesis, Deakin University, Australia.
- Hassan, I. (2016). Rainwater Harvesting- an alternative water supply in the Future for Pakistan. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 8(6), 213-222.
- Hoyer, J., Dickhaut W., Kronawitter, L., Weber, B. (2011). *Water Sensitive Urban Design: Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future*. Berlin: Jovis, 90-97.

Hussain, J., Husain, I., Arif, M. (2014, September). *Water resources management: traditional technology and communities as part of the solution*. Paper presented at the ICWRS2014, Bologna, Italy.

İnternet: Gül Kelebeğinin Kanadından Esinlenerek Geliştirilen Güneş Pili URL-1: <https://phys.org/news/2017-10-black-butterfly-wings-solar-cells.html>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2019.

İnternet: Portcillus House Binası URL-2: <https://www.intechopen.com/books/on-biomimetics/biomimicry-of-termite-social-cohesion-and-design-to-inspire-and-create-sustainable-systems>, Son Erişim Tarihi: 10.06.2019.

İnternet: Zira Adası Görünümü URL-3: <https://www.dezeen.com/2009/01/30/zira-island-masterplan-by-big/>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2019.

İnternet: Casa Batllo Görünümü URL-4: <https://www.engineering.com/BIM/ArticleID/17396/How-A-Century-Old-Architects-Buildings-Predicted-Generative-Design.aspx>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2019.

İnternet: Amazon nilüferinden esinlenerek tasarlanan Crystal Palace binası URL-5: <https://theartwriter.wordpress.com/tag/dallas/>

İnternet: Gözün biçimi ve işlevinden esinlenerek tasarlanan Planetaryum yapısı URL-6: <http://www.idesign.wiki/santiago-calatrava/>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2019.

İnternet: Radiolarianın mikroskobik görünümü URL-7: <https://www.ucl.ac.uk/GeolSci/micropal/radiolaria.html>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2019.

İnternet: Fuller'in Radiolariandan esinlenerek tasarladığı jeodezik kubbe URL-8: <https://www.archdaily.com/572135/ad-classics-montreal-biosphere-buckminster-fuller/>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2019.

İnternet: Yağmur Suyu Hasadı Tarihi URL-9: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/rainwater-harvesting-information/history-of-rainwater-harvesting/>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2019.

İnternet: Kund ve Tanka görünümü URL-10: <http://www.indiarainwater.org/>, Son Erişim Tarihi: 09.02.2019.

İnternet: Hindistan'da bulunan basamaklı su kuyusu görünümü URL-11: <http://www.chandbaori.org/>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2019.

İnternet: Talab görünümü URL-12: <https://www.omashram.com/projects/rainwater-harvesting-talab>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2019.

İnternet: Khadin görünümü URL-13: <http://www.rajasthan.gov.in/2014/08/khadin-traditional-water-harvesting.html?m=1>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2019.

İnternet: Philip Merrill binası URL-14: <https://cbe.berkeley.edu/livable-building/philip-merrill-environmental-center/>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2019.

İnternet: Heifer International Center URL-15: <https://architizer.com/projects/heifer-international-headquarters/>, Son Erişim Tarihi: 16.06.2019.

İnternet: The Solaire URL-16: <http://www.skyscrapercenter.com/building/the-solaire/11830>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

İnternet: Wendell Wyatt Federal Building genel görünümü ve yağmur suyu toplama sisteminin şematik gösterimi URL-17: <https://www.archdaily.com/505184/egww-sera-architects-cutler-anderson-architect>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

İnternet: Shanghai Tower genel görünümü URL-18: <https://thetowerinfo.com/buildings-list/shanghai-tower/>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

İnternet: Yağmur suyu toplama şematik gösterimi URL-19: <https://image.slidesharecdn.com/shanghai-tower-160430154759/95/shanghai-towersustainability-specifications-10-638.jpg?cb=1462031350>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

İnternet: The Velodrome URL-20: <https://www.archdaily.com/252812/london-2012-velodrome-hopkins-architects>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

İnternet: The Velodrome görünümü URL-21: <https://theelementallife.wordpress.com/2013/01/29/the-london-velodrome-bicycle-inspiration/>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

İnternet: Potsdamer Platz'ın genel görünümü URL-22: http://www.laits.utexas.edu/berlin/images/buildings/05PotsdamerPlatz/c215_PotsdamerPlatz.jpg, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

İnternet: Rain Skycraper URL-23: <https://www.designboom.com/architecture/rain-collector-skyscraper/>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

İnternet: Concave Roof URL-24: <https://www.archdaily.com/802377/this-concave-roof-system-collects-rainwater-in-arid-climates>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

İnternet: Namibya Çöl Böceği URL-25: <https://asknature.org/strategy/water-vapor-harvesting/>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

İnternet: Molok Kertenkelesi URL-26: <https://wol.jw.org/tr/wol/d/r22/lp-tk/102015365>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

İnternet: Örümcek ağı ve lif yapısının şematik gösterimi URL-27: <https://www.terrapinbrightgreen.com/blog/2014/06/biomimicry-photonics/>

Buz Çiçeği URL-28: <https://nexloop.us/>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019.

- İnternet: Stomaların mikroskopik görüntüsü URL-29:
<https://www.smithsonianmag.com/blogs/national-museum-of-natural-history/2017/06/08/can-you-help-us-clear-fossil-air/>, Son Erişim Tarihi: 10.06.2019.
- İnternet: Stomalarda gaz alışışı ve terlemenin şematik gösterimi URL-30:
https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/mcelwain_02, Son Erişim Tarihi: 10.04.2019.
- İnternet: Las Palmas Water Theatre URL-31: <https://inhabitat.com/charles-patons-teatro-del-agua/>, Son Erişim Tarihi: 10.04.2019.
- İnternet: Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi URL-32:
<http://www.yearininfrastructuredigital.com/yearininfrastructure/2010/MobilePagedArticle.action?articleId=1456730#articleId1456730>, Son Erişim Tarihi: 10.04.2019.
- İnternet: AquaWeb URL-33: <https://nexloop.us/>, Son Erişim Tarihi: 10.04.2019.
- İnternet: Warka Water URL-34:<http://www.warkawater.org/>,Son Erişim Tarihi: 10.04.2019.
- İnternet: RainBellows URL-35: <https://www.eleven-magazine.com/?entrants=rainbellows>,Son Erişim Tarihi: 10.04.2019
- Jacobs, S. (2014). Biomimetics: A Simple Foundation Will Lead to New Insight About Process. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics* 9(2), 83-94.
- Julius, J. R., Angeline Prabhavathy, R., Ravikumar, G. (2013). Rainwater Harvesting (RWH) - A Review. *International Journal of Innovative Research & Development*, 2(5), 925
- 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), 1156-1162.
- Lökçe, S. (2003). İki Şehir İkonu : Sagrada Familia ve Sydney Opera Binası. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (1), 89-100.
- Maglic, M. J., (2012). *Biomimicry: Using Nature as a Model for Design*, Master Thesis, University of Massachusetts Amherst, Amherst.
- Mazzoleni, I. (2013). *Architecture Follows Nature, Biomimetic Principles For Innovative Design*, Florida, CRC Press Taylor & Francis Group, 47-124.

- Mbua, R. L. (2013). *Water Supply in Buea, Cameroon: Analysis and the Possibility of Rainwater Harvesting to stabilize the water demand*, Master Thesis, Von der Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität, Cottbus.
- Heerwagen, J., Zagreus, L. (2005). *The Human Factors of Sustainable Building Design: Post Occupancy Evaluation of the Philip Merrill Environmental Center, Summary Report for U.S. Department of Energy, Center for the Built Environment*, Berkeley, California.
- Mourad, K., Berndtsson, R. (2011). Potential water saving from rainwater harvesting in Syria. *Water Research and Management*, 67, 113–117.
- Murugesan, A. (2014). Traditional Water harvesting systems of Rajasthan. In N. Krishna and A. Singh (Eds.), *Ecological Traditions of India Environmental Education Centre*. Chennai: C.P.R. Environmental Education Centre, 174-183.
- Musoke, E. (2012). Implementation of a Rainwater Harvesting Network to Manage Stormwater Runoff in Manhattan, Kansas. *A Report for Department of Landscape Architecture and Regional and Community Planning College of Architecture, Planning and Design, Kansas State University*, Manhattan.
- Nachshon, U., Livshitz, Y. (2016). Land Cover Properties and Rain Water Harvesting in Urban Environments. *Sustainable Cities and Society*, 27, 398-406
- Nkandu, M. I., Alibaba, H. Z. (2018). Biomimicry as an Alternative Approach to Sustainability. *Architecture Research*, 8(1), 1-11.
- Oduor, A., Gadain, H. M. (2007). Potential of rainwater harvesting in Somalia: A planning, design, implementation and monitoring framework; *FAO-SWALIM Technical Report*, Nairobi, 38-42.
- Orman, B. (2013). Art Nouveau & Gaudí: The Way of Nature, *The Johnson County Community Collage Honors Journal*, 4(1), Article 2.
- Özertural, R. (2007). *Çağdaş Sanat Ortamında Birbirine Yaklaşan İki Disiplin: Mimar ve Heykel*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öztoprak, Z. (2018). *A Biomimetic Perspective on (retro)Fitting of Building Envelopes*, Master Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Pasic, A. (2014). *Rethinking Technical Biology in Architecture*, Master Thesis, Technical University Graduate School of Science Engineering and Technology, Istanbul.
- Prakash, N., Sharma, P. (2017). Biomimicry: A Pathway to Sustainable Built Environment. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, (4)3, 233-238.

- Rahman, A., Dbais, J., Imteaz, M. (2010). Sustainability of Rainwater Harvesting Systems in Multistorey Residential Buildings. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(1), 73-82.
- 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.
- Rao, R. (2014). Biomimicry in Architecture. *International Journal of Advanced Research in Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering and Developing*, 1 (3).
- Reap, J., Baumeister, D., Bras, B. (2005, November). *Holism, Biomimicry and Sustainable Engineering*. Paper Presented at the International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Florida, USA.
- Rian, M. I., Sassone, M. (2014). Tree-inspired dendriforms and fractal-like branching structures in architecture: A brief historical overview. *Frontiers of Architectural Research*, 3(3), 298-323.
- The McGraw-Hill Companies. (2008). *Emerald Architecture-Case Studies In Green Building*. USA, 111.
- Şahin, N. İ. (2010). *Binalarda Su Korunumu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şahin, N. İ., Manioğlu, G. (2011). Binalarda Yağmur Suyunun Kullanılması. *Tesisat Mühensiliği*, 125, 21-32.
- Tekin, Ç., Kurugöl S. (2011). Üç Canlı ile Çevre Dostu Üç Bina. *e-Journal of New World Sciences Academy*, (6)4, 944-952.
- Türk, Z. B. (2018). *Sürdürülebilir Mimarlık İçin Doğadan Öğrenilen Yaklaşımlar: Doğa Esinli Fikirlerin Bina Kabuğuna Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Varlı, E. (2013). *Geleneksel ve Dijital Tasarım Yaklaşımlarının Okunulabilirliğinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Vincent, J. F., Bogatyreva, O., Bogatyreva, N. R., Bowyer, A. (2006). Biomimetics: Its Practice and Theory. *Journal of The Royal Society Interface*, (3), 471-48.
- Volstad, N.L., Boks, C. (2008, August). *Biomimicry-a useful for the industrial designer?* Paper presented at the NordDesign Conference, Tallinn, Estonia.
- Yannopoulos, S., Antoniou, G.P., Kaiafa-Saropoulou, M., and Angelakis, A. (2016). Historical development of rainwater harvesting and use in Hellas: A preliminary review. *Water Science & Technology Water Supply* 17(4), 1022-1034.

- Yeşilyurt, E. (2008). *Biyoloji Temelli Bilimsel Kuramlar ile Mimari Tasarım İlişkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldız, A. E. (2007). *Mobile Structures of Santiago Calatrava: Other Ways of Producing Architecture*, Master Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Zari, P. M. (2007, November). *Biomimetic Approaches to Architectural Design for Increased Sustainability*. Paper Presented at the Sustainable Building Conference, Wellington, New Zealand.
- Zheng, Y., Bai, H., Zihai, J., Tian, X. (2010). Directional water collection on wetted spider silk. *Nature*, (463), 640-643.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :ASLAN, Duygunur
 Uyuğu :T.C.
 Doğum tarihi ve yeri :07.07.1990, Acıgöl
 Medeni hali :Eveli
 Telefon :0 (507) 044 12 67
 e-mail :duygunur.koc@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Mimarlık Bölümü	2019
Lisans	Balıkesir Üniversitesi	2013
Lise	Burdur Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	Mimar

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Koç Aslan, D. Arslan Selçuk, S. (2018) A Biomimetic Approach to Rainwater Harvesting Strategies Through Use of Buildings. *Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture*, (2)1, 27-39 (Scientific World Index).

Hobiler

Seyahat etmek, kitap okumak, müzikle ilgilenmek



GAZİ GELECEKTİR..