



Canlıların Su Dengesi Sağlama Stratejileri ve Biyo-Bilgili Yapı Kabuğu Tasarımı

Maide Merve TAŞKAN

Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye
(<https://orcid.org/0000-0003-2946-8726>), e-mail: maidemrvt@gmail.com

Güneş MUTLU AVİNÇ

Arş. Gör., Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye, Muş Alparslan Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Muş, Türkiye (<https://orcid.org/0000-0003-1049-2689>), e-mail: gunesavinc@gmail.com

Semra ARSLAN SELÇUK

Doç. Dr. Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye, (<https://orcid.org/0000-0002-2128-2858>), e-mail: semraselcuk@gazi.edu.tr

ÖZET

Günümüzde dünya nüfusunun büyük bir bölümü yüksek su stresi altında yaşamakta ve çok sayıda ülkenin su kaynaklarına erişim sıkıntısı bulunmaktadır. Gelecek nesiller de düşünüldüğünde mevcut temiz su kaynaklarının korunmasının gerektiği açıktır. Dünya genelindeki su tüketiminin önemli bir kısmı kentsel alanlarda gerçekleştiği için yapıları çevreler tasarlanırken su kazancı sağlayan stratejiler üretmek önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Yapılan araştırmalar bu konuda etkili, sürdürülebilir alternatif çözümlerin doğada bulunan stratejilerden elde edilebileceğini göstermektedir. Bu bağlamda çalışma, dış çevre ile en çok etkileşimin gerçekleştiği bina elemanı olan yapı kabuklarıyla su tasarrufu ve su kazancı sağlamak için kullanılacak biyo-bilgili yöntemlere odaklanmıştır. Bu amaçla öncelikle, su yönetimi stratejileri konusunda öne çıkan canlılar araştırılmış; bu canlıların su yönetimini sağlayan özellikleri ve mekanizmaları açıklanmıştır. Daha sonra seçilen tasarım örnekleri üzerinden biyo-bilgili çözümlerin nasıl uygulanabileceği araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Sonuç olarak doğadaki canlıların su dengesi stratejilerinin yapı kabuğu tasarımına yenilikçi çözümler önerebileceği, ancak doğanın geniş veri tabanından uygun stratejilerin aranması ve seçilmesini kolaylaştırmak gerektiği görülmüştür. Sınırlı biyolojik bilgiye sahip olan tasarımcılar için biyolojiden mimariye veri aktarımını kolaylaştıracak ara yüzlere gereksinim duyulduğunun altı çizilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyo-bilgili tasarım, canlıların su stratejileri, yapı kabuğu, sürdürülebilir mimarlık.

Water Balancing Strategies of Organisms and Bio-informed Building Envelope Design

SUMMARY

Today, a considerable amount of the world population lives under high water stress and many countries have difficulties in accessing water resources. When posterity is considered, it is clear that the existing clean water resources should be protected. Since a significant part of the water consumption in the world takes place in urban areas, it has become an important research topic to produce water saving strategies while designing built environments. Studies show that effective and sustainable alternative solutions can be obtained from strategies available in nature. In this context, the study focuses on bio-informed methods that can be used to save water and gain water with building shells, which are the building elements where the most interaction with the external environment occurs. For this purpose, first of all, the living things that stand out in water management strategies have been researched, and the features and mechanisms of these creatures that



provide water management have been explained. Afterwards, how bio-informed solutions can be applied through the selected design examples have been searched and evaluated. As a result, it has been seen that the water balance strategies of the creatures in nature can offer innovative solutions to the building envelope design, but it is necessary to facilitate the search and selection of suitable strategies from the wide database of nature. It was highlighted that designers who have limited biological knowledge require interfaces that will facilitate data transfer from biology to architecture.

Keywords: Bio-informed design, water strategies of living creatures, building envelope, sustainable architecture.

1. GİRİŞ

Su, günlük yaşamdan tarıma, endüstriyel süreçlerden enerji üretimine kadar temel insan faaliyetleri için gerekli ve kritik bir kaynaktır. Artan nüfus, kontrolsüz kentleşme ve çevre kirliliğinin neden olduğu iklim değişikliği; hidrolik kırılma ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi sonuçlar doğurmakta ve son yıllarda ciddi boyutlara ulaşan bir küresel su kıtlığı yaşanmaktadır (Caldas, Andaloro, Calafiore, Munechika, & Cabrini, 2018: 493). Birleşmiş Milletler Dünya Su Gelişim Raporu 2020 (*The United Nations WWDR 2020*) verilerine göre küresel su kullanımı son 100 yılda altı kat artış göstermiştir ve değişen tüketim kalıplarıyla birlikte yılda yaklaşık %1 oranında istikrarlı bir şekilde büyümeye devam etmektedir. Günümüzde ise yaklaşık dört milyar insan yılda en az bir ay ciddi su kıtlığı yaşamaktadır (WWAP, 2020: 1). Bu durumda temiz su kaynaklarının korunması gerekmekte ve birçok disiplinde su kıtlığı sorununa sürdürülebilir çözümler üretmek amacıyla çalışmalar yürütülmektedir.

Dünya genelindeki su kaynakları tüketiminin önemli bir kısmı, insanların temel barınma ihtiyacını karşılamak için gerekli olan inşaat ve konut faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu durum yapı çevrelerinde su yönetimi stratejilerini geliştirme taleplerini artırmaktadır. Artan taleplere mimarlıkta, etkili ve sürdürülebilir stratejiler geliştirmek için "doğa esinli" yöntemler alternatif bir çözüm kaynağı olarak görülmektedir (Badarnah, 2017: 1). Doğadan esinlenmenin ötesine geçen bir terim olan biyomimetik, yeni teknolojiler ve tasarımlar geliştirmek için doğanın en iyi fikirlerinden öğrenmek anlamına gelmektedir (Pohl & Nachtigall, 2015: 1). Mimarların yaptığı biyomimetik araştırmalar arasında sıklıkla yer alan konular genellikle hafif ve etkin strüktürlerin tasarlanması ile sürdürülebilir malzemelerin ve yapı çevrelerinin oluşturulması yönündedir. Söz konusu sürdürülebilirlik çalışmaları, enerji üretim ve kullanımında, malzeme ve yapı çevre üretiminde, doğa ile uyumlu, kullandığı kaynaklar ve yarattığı atıklar ile çevreye zarar vermeyen yapı ve sistemlerin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Bu amaçla en çok çözüm bekleyen mimari elemanlardan biri yapının kabuğudur (*building shell/facade/envelope*). Yapı kabuğu bir binanın dış çevre ile ilk etkileşime geçen elemanıdır ve bina ile dış çevre arasındaki sınırdır. Gün ışığını yönlendirme, ısı ve su transferini düzenleme gibi işlevleri yerine getirerek değişen dış çevre koşulları ve arzu edilen iç ortam konforu arasında bir filtre görevi görmektedir. Dolayısıyla bir binada oksijen, karbondioksit, su, ışık, ısı enerjisi gibi çevresel faktörlerin geçişi en çok yapı kabuğunda gerçekleşmektedir. Bu nedenle bir binanın, belirli iklim faktörlerine yanıt veren uygun stratejilerle tasarlandığında önemli ölçüde su kazancı veya tasarrufu sağlama potansiyeli yüksek olan en kritik elemanı yapı kabuğudur.

Bu çalışma kapsamında doğadaki canlıların "su yönetimini" sağlayan özellikleri ve mekanizmalarının neler olduğu ve bina kabuğuna nasıl uyarlanabileceği/uygulanabileceği sorularının yanıtlarını aramak üzere doğa esinli su yönetimi stratejilerine odaklanılmıştır. Bu amaçla öncelikle "biyomimesis" ve "mimari kabuk" tasarımında doğadan öğrenme yaklaşımları açıklanmış, daha sonra su yönetimi sağlama stratejileriyle dikkat çeken canlılar araştırılarak, bu canlıların su yönetimini sağlayan mekanizmaları ve özellikleri analiz edilmiştir. Son olarak, seçilen bina tasarımı örneklerinde biyolojik fenomenlerin su yönetimi stratejilerinin yapı kabuğu tasarımlarına nasıl uyarlandığı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.



2. LİTERATÜR TARAMASI VE KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Biyomimetik Tasarım

Ana teması "doğa" olan biyomimetik terimi, bir yaklaşım, yöntem, araç, disiplin veya strateji olarak "doğanın en iyi fikirlerinden öğrenerek tasarlama" anlamına gelmektedir (Mutlu Avinç & Arslan Selçuk, 2019: 93). Bu terim, sadece doğanın taklidini değil, aynı zamanda güncel teknolojilerin uygulamaları ile çözülebilen teknolojik soruların anlaşılmasına yardımcı olmak için doğal ilkelerin kavranmasını ifade etmektedir (Pohl & Nachtigall, 2015: 1). Amerikalı bir mühendis olan Otto Schmitt, doktora araştırması sırasında sinirlerin elektriksel hareketini taklit eden bir cihaz geliştirmiş ve 1957'de bu tip analogilerin ve fikirlerin biyolojiden teknolojiye aktarımları için ilk defa "biyomimetik" terimini kullanmıştır (Vincent, Bogatyreva, Bogatyrev, Bowyer, & Pahl, 2006: 471). 1969 yılında yayınladığı bir makalede ise Schmitt, "biyomimetik" terimini "biyoloji+teknoloji" olarak tanımlayarak bir kez daha kullanmıştır. Bu terim Webster Sözlüğüne 1974'te eklenmiştir (Rankouhi, 2012: 18).

Doğadan öğrenilen bilgiler tasarım süreçlerine uygulanırken "tasarım problemini tanımlamak ve diğer organizmaların veya ekosistemlerin bunu çözme yöntemlerini belirlemek" için "biyolojiye bakan tasarım (*design looking to biology*)" ve "tasarımı etkileyen biyoloji (*biology influencing design*)" olmak üzere temel iki yaklaşımla ele alınmaktadır (Biomimicry, 2007; Helms, Vattam, & Goel, 2009: 609-610; Speck, Speck, Beheshti, & McIntosh, 2008: 3). Son yıllarda başta çevre sorunları ve iklim değişikliği olmak üzere insanlığın problemlerine etkili, yenilikçi, sürdürülebilir çözümler üretmek amacıyla doğadan öğrenmeyi teşvik eden geniş bir yöntem (Kennedy & James, 2015: 88) olarak tanımlanan "biyomimetik tasarım" mimarlar için de kritik tasarım fikirleri barındırmaktadır.

2.2. Doğadaki Canlıların Su Yönetimi ve Su Hasadı Stratejileri

Su, tüm yaşam formları için vazgeçilemez bir yaşam kaynağıdır. Farklı iklimsel ve çevresel şartlardaki canlıların su gereksinimi ve su hasadı stratejileri de farklıdır. Temelde canlılar ihtiyaçları olan suya; yağmur suyu, sis, çiy gibi farklı kaynaklar sayesinde erişebilmektedir (Koç Aslan & Arslan Selçuk, 2018: 27). Doğadaki canlıların su yönetimi stratejileri "kazanç, taşıma, koruma ve kayıp" olmak üzere dört ana fonksiyon ile ilişkilidir. Bu fonksiyonlardan ilki olan su kazancı işlevi, canlılar tarafından suyun kısıtlı olduğu bölgelerde, havadaki sis ya da çiy gibi su zerreciklerinin yoğunlaşma ya da difüzyon yoluyla alınmasıyla gerçekleşmektedir. Suyun taşınması, yerçekimi, kapiler etki veya yapraktaki damar düzeniyle, suyun korunması ise buharlaşma oranı ya da radyasyon maruziyeti azaltılarak sağlanmaktadır. Dördüncü strateji olarak su kaybı ise terleme ya da buharlaşma ile açığa çıkmaktadır (Badarnah, 2016: 1433-1435). Tüm bu stratejileri canlılar morfolojik ve davranışsal olarak gerçekleştirmektedir. Bu doğrultuda literatürde sıklıkla geçen canlılar araştırılarak bu canlıların su dengelerini sağlamaya yönelik adaptasyonları bu iki başlıkta incelenmiştir.

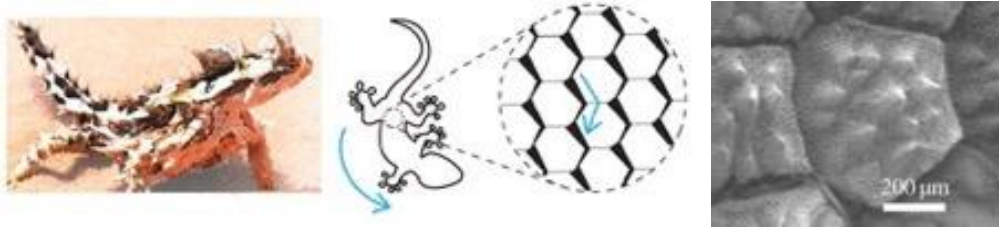
2.2.1. Morfolojik Adaptasyonlarla Su Dengesini Sağlayan Canlılar

Doğada bulunan birçok organizma yaşadıkları çevreye adapte olmuş morfolojik özellikleri sayesinde kendilerine özgü yöntemler geliştirmiş, suyu sürdürülebilir şekilde elde edip kullanmayı ve saklamayı başarmıştır. Örneğin, Namib Çöl Böceği'nin dış kabuğunda, hidrofilik yapıda küçük tepecikler ve mumsu bir yüzeye sahip hidrofobik özellikteki oluklar bulunmaktadır (Şekil 1). Böcek, sis rüzgarları geldiğinde vücudunu 45°'lik bir açıda sabitleyerek siste bulunan su taneciklerinin sırt kabuğuna çarpmasını sağlamaktadır. Buradaki hidrofilik tepecikler kabuğa çarpan su taneciklerini tutmaktadır. Tepeciklerde biriken su tanecikleri yeterli ağırlığa ulaştığında oluklara doğru kaymaktadır. Hidrofobik oluklar üzerinde tutunamayan su damlaları böceğin açılı duruşu ve yerçekiminin de etkisiyle oluklardan aşağı kayarak böceğin ağızına ulaşmaktadır (Guadarrama-Cetina, Mongruel, Medici, Baquero, Parker, Milimouk-Melnychuk, González-Viñas, & Beysens, 2014: 1-3).



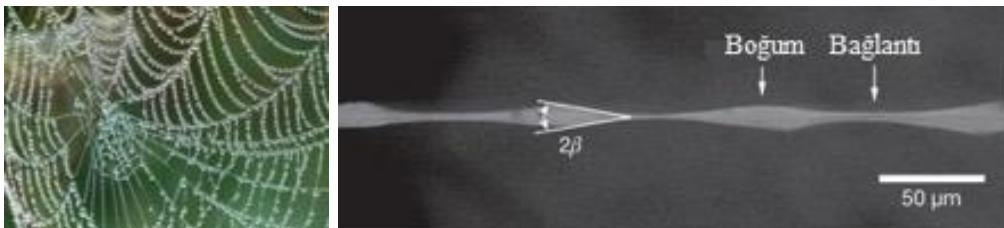
Şekil 1. Namib Çöl Böceği su hasadı şematik gösterimi (URL-7), Namib Çöl Böceği (URL-8) ve sırt kabuğundaki hidrofilik tepcikler (Nørgaard & Dacke, 2010: 5)

Molok kertenkelesinin (*Thorny devil*) derisi, mikro ölçekte üst üste binmiş bir dizi kılcal kanalın bir araya gelmesiyle oluşan bal peteği şeklinde bir yapıya sahiptir (Şekil 2). Bu yapı, kertenkele nemli bir zemin üzerine geldiğinde kapiler etkiye sebep olarak yerçekimine karşı büyük bir kuvvetle suyu zeminden kertenkeleye doğru çekmektedir. Canlıın derisindeki bu kanallar vücut üzerinde bir ağ sistemi oluşturarak zeminden çekilen suyu canlıın ağzına kadar taşımaktadır (Sherbrooke, 1993: 270-271).



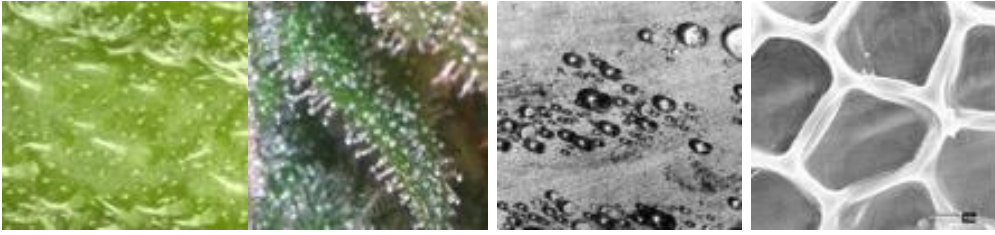
Şekil 2. Molok kertenkelesi ve petek şeklindeki derisinin gösterimi (Bhushan, 2020: 12). Derinin mikro ölçekte gösterimi (Comanns, Esser, Kappel, Baumgartner, Shaw, & Withers, 2017: 6)

Uloborus Walckenaerius gibi bazı örümcek türleri ördükleri ağ yapısı sayesinde atmosferik suyu hasat etmektedirler. Bu örümcek ağlarındaki boğumlar pürüzlü bir yüzeye sahipken bağlantılar daha pürüzsüz bir yüzeye sahiptir (Şekil 3). Yüzeylerin pürüzlülüğü arasındaki bu fark Laplace basıncına neden olmaktadır. Bunun sonucunda, hidrofilik özellikteki boğumlar tarafından hasat edilen atmosferik su, bu iki yüzey arasından daha az dirençli olan yüzeye yani boğumlara doğru toplanma eğilimi göstermektedir (Zheng, Bai, Huang, Tian, Nie, Zhao, Zhai, & Jiang, 2010: 640-641).



Şekil 3. Üzerinde su damlacıkları toplanmış örümcek ağı (URL-9); mikro ölçekte örümcek ağı, boğumlar ve bağlantılar (Zheng ve diğerleri, 2010: 641)

Bromeliaceae familyasından olan bromeliadlar (Şekil 4) yapraklarında bulunan trikoma adı verilen epidermal dokulardan oluşan tümsek benzeri tek hücreli veya çok hücreli yapılar sayesinde havadaki suyu hasat etmektedir. Trikoma'nın balmumu içeren yapısı ise toplanan suyun yapraklar tarafından emilmesini engelleyerek yaprağın kavisli yapısının da yardımıyla suyu bitkinin depolama alanına iletmektedir (Pierce, Maxwell, Griffiths, & Winter, 2001: 1371-1372).



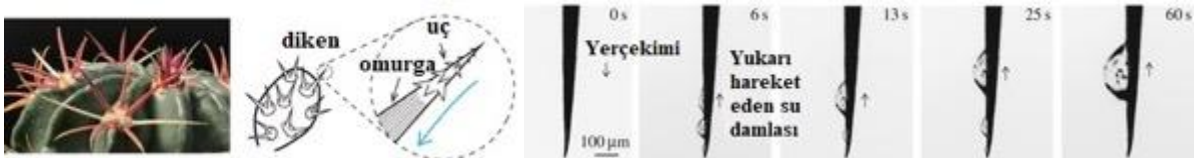
Şekil 4. Farklı bitki türlerinin yapraklarında bulunan trikomlar (URL-1) (URL-2) ve trikomların mikroskopik görüntüsü (Pierce ve diğerleri, 2001: 1384, 1386)

Güney ve Doğu Afrika'ya özgü buz bitkisi (Şekil 5), adını yapraklarını kaplayan ve bitkiyi donmuş gibi gösteren küçük, şeffaf keselerden almaktadır. Trikomların farklı bir versiyonu olan bu keselere "epidermal kese hücreleri" denilmektedir. Epidermal kese hücreleri, su toplayabilmekte ve topladığı suyun miktarına göre esnek yapısı sayesinde hacmini genişleterek su depolayabilmektedir. Bitki, depoladığı suyu kuraklık zamanlarında ve tuz konsantrasyonu yükseldiğinde kullanmaktadır (Attenborough, 1995: 278).



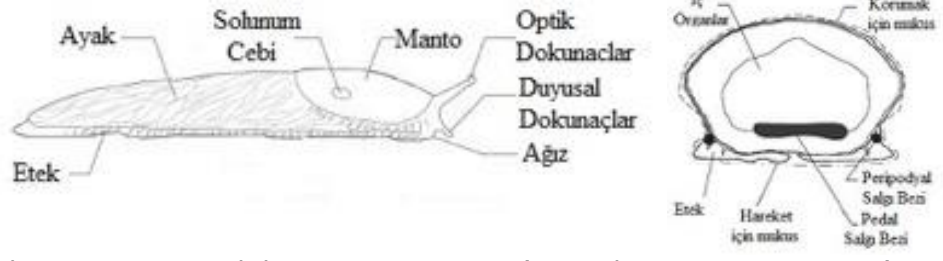
Şekil 5. Buz Çiçeği Bitkisi (URL-26) ve yüzeyindeki epidermal keseler (URL-27)

Kaktüslerde bulunan dikenler (Şekil 6), yüzey alanları minimum düzeyde olduğu için terleme oranını azaltmanın yanı sıra konik yapıları sayesinde atmosferik su hasadı yapabilmektedirler. Havadaki su damlacıkları ilk olarak dikenlerin uçlarında toplanmakta ve kritik boyuta ulaştıklarında konik diken omurgasına doğru hareket etmekte ve bitki tarafından emilmektedir (Ju, Bai, Zheng, Zhao, Fang, & Jiang, 2012: 2-4).



Şekil 6. Kaktüsün dikenleri ve omurgası; dikenlerin mikro ölçekte fotoğrafları (Bhushan, 2020)

Muz Salyangozu vücudunu pürüzlü orman zemininden korumak, vücudunun kurumasını önlemek, hareket edebilmek ve yırtıcılardan korunabilmek için cilt yüzeyine mukus salgılamaktadır (Şekil 7). Bu mukus higroskopiktir, yani su moleküllerini çevredeki ortamdan hızla çekebilendir. Bunun dışında muz salyangozu kurak zamanlarda su kaybını azaltmak için akciğerinden nefes almak yerine cilt yüzeyinden pasif gaz alışverişi yapmaktadır. Salyangozun cilt yüzeyi bu gaz alışverişini yapmaya olanak verecek şekilde gözeneklidir (Barker, 1999: 29-31).



Şekil 7. Muz Salyangozu, şematik kesiti ve görünüşü (Mazzoleni, 2013: 141-145)

Yeşil ağaç kurbağaları (Şekil 8) açık ortamlarda durduğu zaman soğur, daha sonra nemli ve ılık ağaç oyuklarına geldiğinde, kurbağanın derisi ve ortam arasındaki sıcaklık farkından dolayı havadaki nem kurbağanın soğuk derisi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Deride oluşan çiy damlları buradaki gözeneklere dolmakta ve deride bulunan kılcıl damar ağları sayesinde emilmektedir (Tracy, Laurence, & Christian, 2011: 553).



Şekil 8. Yeşil ağaç kurbağası (URL-12)

Kertenkeleler, yılanlar ve diğer sürüngenler pullu, su geçirmez bir cilde sahiptir (Şekil 9). Bu cilt yapısı sayesinde sürüngenler terlemezler, dolayısıyla su kaybı da yaşamazlar (Gorb & Gorb, 2018: 94).



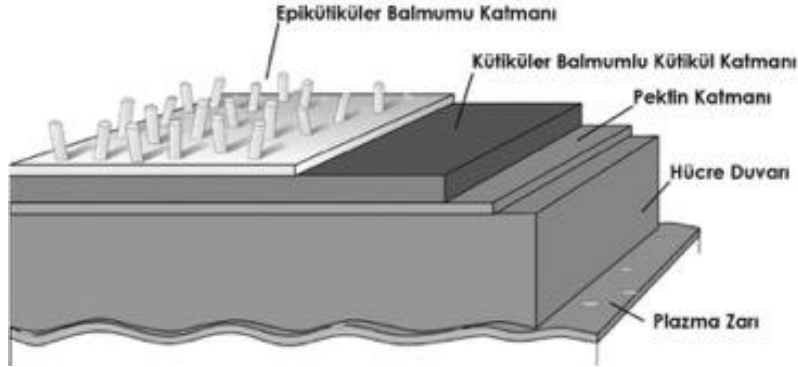
Şekil 9. Çingiraklı yılan (URL-11), kertenkele (Gorb & Gorb, 2018: 94) ve kertenkele derisinin mikro ölçekte gösterimi (Gorb & Gorb, 2018: 100)

Çöl filleri deri yüzeylerindeki karmaşık çatlak ağlar sayesinde suyu tutmaktadırlar (Şekil 10). Mikro ölçekteki kanallardan oluşan fil derisi yüzeyi, düz bir yüzeye göre 5-10 kat daha fazla su tutmakta, dehidrasyonu engellemekte ve daha uzun süre termal düzenleme yapılmasını sağlamaktadır (Martins, Bennett, Clavel, Groenewald, Hensman, Hobby, Joris, Manger, & Milinkovitch, 2018: 2).



Şekil 10. Afrika çalı filinin (*Loxodonta africana*) derisinin morfolojisi (Martins ve diğerleri, 2018: 2)

Yapraklar, meyveler ve otsu sapsar gibi tüm bitki yüzeylerinin en dıştaki hücre katmanını epidermal hücreler oluşturmaktadır. Epiderminin en dış tabakası ise kütiküldür. Mumsu bileşenlerden meydana gelen hidrofobik özellikteki kütikülün en önemli işlevlerinden biri buharlaşma oranını azaltmasıdır. (Koch & Barthlott, 2009: 1488). Epidermal hücre katmanlaşmasının modeli Şekil 11’de gösterilmiştir.



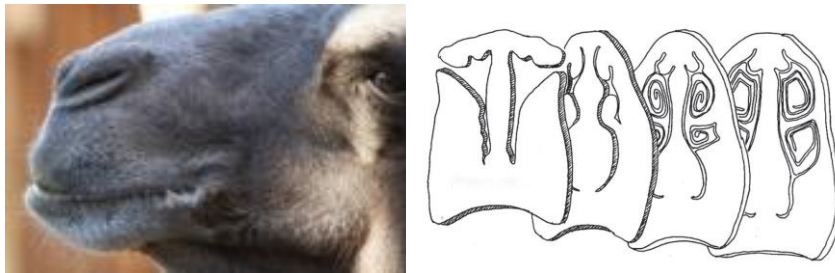
Şekil 11. Epidermal hücre katmanlaşmasının modeli (Koch & Barthlott, 2009: 1488)

Çöllerde yaşayan bağirtlak kuşunun (sandgrouse) vücudundaki diğer tüylerden farklı olarak karın bölgesinde; sert, ince ve uzun kıllar ve bu kıllara bağlı tüyler bulunmaktadır (Şekil 12). Her bir kıla bağlı tüyler, diğer kıllara bağlı tüylerle iç içe geçerek kuşun karın bölgesinde sarmal bir ağ oluşturmaktadır. Sarmal tüy ağlarının burada oluşturduğu kılcal etki sayesinde kuş, uçuşu esnasında havada bulunan su damlacıklarını toplayabilmektedir (Rijke, 1972: 195).



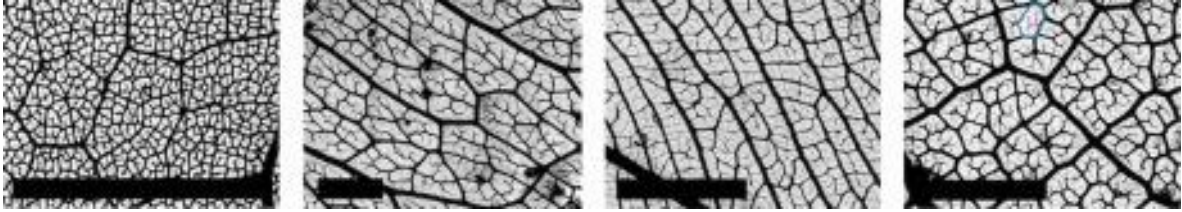
Şekil 12. Bağirtlak kuşu (URL-3) ve karın bölgesindeki tüylerin şematik gösterimi (URL-4)

Develer, zengin damar dokusuyla kaplı süngerimsi kemikten oluşan oldukça karmaşık burun yapılarına sahiptir (Şekil 13). Nefes alışları sırasında, bu karmaşık doku, suyun kuru havaya buharlaşmasıyla soğutulur. Nefes verirken ise, akciğerlerden gelen nemli hava bu geniş soğuk yüzey alanından geçer ve nemin çoğu karmaşık burun dokusuna doğru yoğunlaşarak yeniden emilir. Böylece develer sahip oldukları burun yapısı sayesinde çöl sıcaklığında buharlaşmayla su kaybını önemli ölçüde engellemektedirler (Pawlyn, 2016: 82).



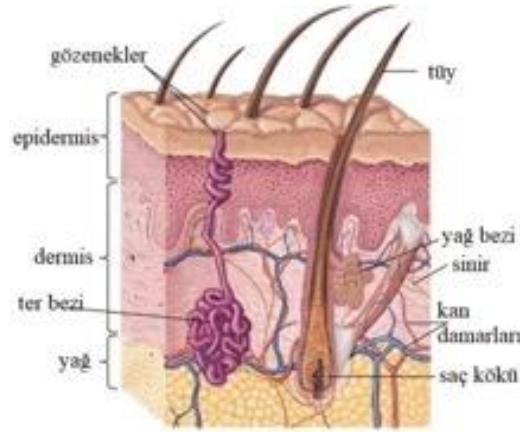
Şekil 13. Deve burnu (URL-14) ve burundaki süngerimsi kemiklerin şematik gösterimi (Pawlyn, 2016: 82)

Yapraklardaki damar ağlarının deseni (Şekil 14), karbon alımı ve su kullanımı gibi işlevlere yanıt vermektedir. Yoğun iç içe döngüler içeren yaprak damarlanma desenlerinin, hasar olaylarında bile optimal bir iletim yoluyla su iletimini sağladığı gözlemlenmiştir (Katifori, 2018: 245).



Şekil 14. Yaprak ağı morfolojisinin çeşitliliğine örnekler (Katifori, 2018: 246)

Organizmaların su kaybetme yöntemlerinden biri olan buharlaşma, canlıların cildinde, dermis ve epidermis katmanlarında gerçekleşmektedir (Şekil 15). Epidermis cildin en dış tabakası ve su difüzyonuna karşı birincil engeldir. Dermis, epidermisten çok daha kalındır ve vasküler sistemler, ter bezleri ve termoregülatör sinirleri içermektedir (Forslind & Lindberg, 2003).



Şekil 15. Deri altındaki yapıların kesiti ve üst katman epidermis (URL-13)

Görüldüğü gibi bitkilerden hayvanlara pek çok farklı canlı türü su hasadı yapabilmek ve su kaybını önlemek için birbirinden farklı çeşitli morfolojik adaptasyonlara sahiptirler. Bu biyolojik örneklerin sayısını arttırmak mümkündür, ancak çalışma kapsamında doğada gözlemlenen temel morfolojik adaptasyonlara birer örnek verilmiştir.

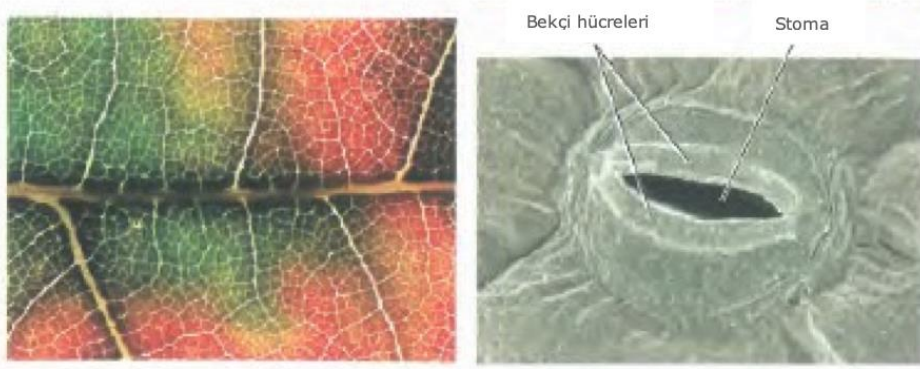
2.2.2. Davranışsal Adaptasyonlarla Su Dengesini Sağlayan Canlılar

Canlılar buldukları ekosistem içerisinde genellikle sınırlı kaynak ile yaşamlarını devam ettirmek zorundadır. Özellikle kısıtlı su kaynaklarının olduğu çevrelerde su kazanımı/korunumu amacıyla bazı kalıtsal adaptasyonlar geliştirmişlerdir. Örneğin, Namib Çölü'nde yaşayan bir böcek türü olan dairesel gövdeli ve kısa bacaklı *Lepidochora* böceği (Şekil 16), sis sırasında sisin geliş yönüne dik olacak şekilde 2-4 mm derinliğinde sığ bir hendek kazmaktadır. Bu hendeklerin sırtları çöldeki diğer bozulmamış kumlara göre daha çok su tutmaktadır. Böcekler daha sonra hendek sırtı boyunca geri dönerek burada toplanan nemin bir kısmını hasat ederken aynı zamanda kazdığı hendeği tekrar düzleştirmektedir (Seely, 1979: 219-220).



Şekil 16. Lepidochora böceği (URL-5; URL-6)

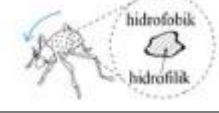




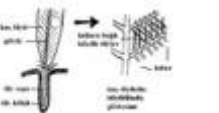



Bitkilerin yapraklarında epidermisin üzerinde bulunan mumsu katman su kaybını önlese de fotosentez için gerekli olan CO₂ alımını engellemektedir (Şekil 17). Bu nedenle bitkilerin yapraklarında suyun korunmasını ve karbon dioksit alımını açılıp kapanarak kontrol eden stoma bekçi hücreleri bulunmaktadır. Bu hücreler kapanarak yapraklardaki suyun terleme yoluyla kaybedilmesini önlemektedir (Sadava, Hillis, Heller, & Berenbaum, 2014: 733).





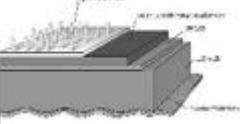
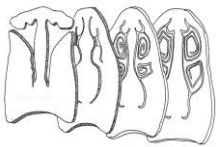
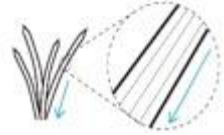
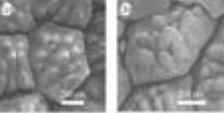

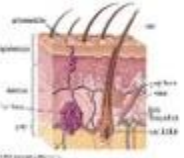
Şekil 17. Yaprak ve yaprağa ait mikro ölçekte stoma görüntüsü (Sadava ve diğerleri, 2014: 733)

Buraya kadar incelenen canlıların su dengesini sağlamaya yönelik stratejilerini, mimarlıkla ilişkilendirebilmek adına sistematik bir şekilde özetlemek faydalı olacaktır. Bu bağlamda su yönetimi için temel fonksiyonlar olarak belirlenen kazanma, koruma, taşıma ve kaybetme işlevleri ile bu fonksiyonları sağlamak için canlıların kullandıkları yöntemler başlığında yukarıdaki bilgilerin özetlendiği bir tablo oluşturulmuştur. Yine incelenen canlılara bakıldığında su dengesini sağlamaya yönelik adaptasyonların temelde morfolojik ya da davranış olarak geliştiği görülmektedir. Bu morfolojiler ve davranışlar da bir mekanizma ile su dengesini sağlamaktadır. Buna göre Tablo 1'de organizmaların morfolojik adaptasyonlarla; Tablo 2'de ise davranışsal adaptasyonlarla su yönetimini sağlama mekanizmaları özetlenmiştir.


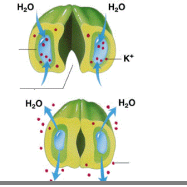




Tablo 1. Morfolojik adaptasyonlara göre organizmaların su yönetimini sağlama mekanizmaları

Su Yönetimi Fonksiyonu	Yöntem	Morfoloji	Organizma	Mekanizma
Kazanma	Yoğuşma	Hidrofilik tepecikler 	Namib Böceği	Böceğin kabuğunun üzerindeki hidrofilik tepecikler, havadaki sisten su damlacıklarını çekmektedir.
		Hegzagonal 	Molok Kertenkelesi	Deri yüzeyinin hegzagonal yapısı havadaki suyu çeken süper hidrofilik bir yüzey oluşturmaktadır.
		Pürüzler/ Boğumlar 	Örümcek Ağı	İpek lifler üzerindeki düğümler nemli havadan su çekmektedir.
		Trikomlar 	Bromeliaceae Bitkileri	Bu bitkilerin yapraklarında epidermal dokulardan oluşan trikomlar bulunmaktadır. Trikomların üzerinde yer alan küçük tüyler havadaki su damlacıklarını yakalamaktadır.
		Konik formda dikenler 	Kaktüsler	Dikenlerin uçları, havadaki su damlacıklarını çekmektedir. Dikenlerin ucunda toplanan su damlacıkları birleşir, büyür ve konik formun sebep olduğu laplace basıncının etkisiyle diken tabanına doğru ilerler.
		Saç benzeri tüy yapısı 	Bağırtlak kuşu (sandgrouse)	Karın bölgesinde iç içe geçerek sarmal bir ağ oluşturan saç benzeri tüyler kılcal etkiye sebep olarak havadaki nemi çekmekte ve burada depolamaktadır.
		Epidermal Keseler 	Buz Çiçeği Bitkisi	Bir çeşit trikom olan epidermal keseler, havadaki suyu toplayıp esnek yapıları sayesinde depolayabilmektedir.
	Difüzyon	Gözenekler (porlar) 	Yeşil Ağaç Kurbağası	Cilt yüzeyindeki küçük gözenekler, yoğunlaştırılmış suyun doğrudan difüzyonuna izin vermektedir.
		Gözenekli higroskopik cilt 	Muz Salyangozu	Higroskopik cilt çevredeki su moleküllerini kendisine çekmektedir. Çekilen su molekülleri gözeneklerden içeri alınmaktadır.

Tablo 1. (Devam) Morfolojik adaptasyonlara göre organizmaların su yönetimini sağlama mekanizmaları

Su Yönetimi Fonksiyonu	Yöntem	Morfoloji	Organizma	Mekanizma
Korumak/ Muhafaza etmek	Buharlaşma oranının azaltılması	Pullu, su geçirmez cilt 	Sürüngenler	Su geçirmeyen deri yapısı sayesinde sürüngenlerin çoğu terlememekte ve buharlaşma yoluyla su kaybını en aza indirmektedir.
		Kırışıklıklar 	Fil Derisi	Kırışıklıklar, nemi ve buharlaşmayı tutmak için yeterli yüzey alanı sağlar.
		Balmumu benzeri katman 	Kütikül	Su geçirmeyen mumsu kütikül katmanı özellikle kaktüs gibi, kurak ortamlarda yetişen bitkilerin yüzeyden terleyerek su kaybetmesini önler.
		Süngerimsi burun kemikleri 	Deve Burnu	Develerin burunlarında bulunan zengin damar dokusuyla kaplı süngerimsi kemikler nefes verirken su kaybedilmesini önlemek için gelen havadaki nemi yoğunlaştırarak emer.
Taşıma	Yerçekimi	İçbükey kalın yapraklar ve oluklar 	Sabır Otu (Agave)	Yaprak ayasındaki olukların varlığı, bitkinin köklerine doğru uzun bir eksen yönünde ilerler, yönlendirilmiş su toplama ve taşıma sağlar ve damlacıkların saçılmasını azaltır.
	Kapiler Etki (Kılcalılık)	Mikro ölçekte kılcal kanallar 	Molok Kertenkelesi	Deride bulunan mikro ölçekteki kanallar zeminden su çekmek için yerçekimine karşı güçlü bir kapiler kuvvet oluşturur.
	Yaprakta damar düzeni (Venation)	Damar düzeni 	Yapraklar	Yapraklarda (doğrusal yerine) iç içe geçmiş döngülerden oluşan karmaşık bir hiyerarşik ağ, hasar olaylarında bile en uygun taşımayı sağlamaktadır.
Kaybetme	Buharlaşma	Epidermis ve Dermis 	İnsan derisi	Buhar basınç farkı, hava akış hızı, sıcaklık, yüzey alanı ve yönelim gibi çeşitli iç ve dış faktörlere bağlı olarak vücut fazla suyu, terleme yoluyla kaybedebilmektedir.

Tablo 2. Davranışsal adaptasyonlara göre organizmaların su yönetimini sağlama mekanizmalarının özeti

Su Yönetimi Fonksiyonu	Yöntem	Davranış	Organizma	Mekanizma
Kazanma	Yoğuşma	Hendek kazma 	Lepidochora Böceği	Sis rüzgarlarının geliş yönüne dik konumda hendekler kazarak hendek sırtlarında daha çok nem toplanmasını sağlar. Hendekte toplanan suyu hasat eder.
		Koruma/ Muhafaza etmek	Buharlaştırma oranının azaltılması	Geçirgenliği kontrol etmek 
Geçirgenliği kontrol etmek 	Crassulaceae Asit Metabolizması Bitkileri			Gece sıcaklığın düşük bağıl nemin yüksek olması sebebiyle özellikle bu zamanda CO ₂ alımı yapması buharlaştırma oranını azaltır.
Yön değiştirme 	Arizona Acı Bakla Bitkisi			Paraheliotropik (ışığa yönelme) yaprak hareketleri, yaprak sıcaklıklarının daha düşük olmasını ve terlemeyle oluşan su kaybının azalmasını sağlar.
Radyasyon maruziyeti	Kıvrılma/ Katlanma 		Yapraklar	Su stresi sırasında, gelen ışınların etkisini azaltmak ve stomaları daha yüksek neme sahip mikro koşullarda tutmak için yapraklar yuvarlanır ve katlanır, böylece dehidrasyonu önler.
	Büzülme 		Sukulent	Çıkıntılı morfolojisi kendini gölgeleyen bölgeler oluşturarak şişmeye ve büzülme izin verir, böylece ışığa maruz kalma durumu azaltılmış olur.

Canlıların farklı mekanizmalarla sağladığı bu temel dört fonksiyon su kullanımı açısından sürdürülebilir binaların sağlaması gereken fonksiyonlara karşılık gelmektedir. Böyle bir bina su kazanarak farklı kullanım amaçlarına yönelik ihtiyaç duyulan suyu kendisi hasat edebilir; bina içindeki su kaynaklarını muhafaza edebilir, mevcut suyu enerji tüketimi olmadan taşıyıp iletebilir ve fazla suyu tahliye edebilir. Kısacası binalar ve canlılar su yönetimi sağlamak için benzer işlevleri yerine getirmektedirler. Bu doğrultuda doğadaki canlıların bu temel fonksiyonları hangi mekanizmalarla sağladığı incelenmiştir. Aynı işlev farklı canlılarda birbirinden farklı mekanizmalarla sağlanmaktadır. Bu mekanizmaların her biri bina kabuğu tasarımları için farklı birer çözüm sunmaktadır. 3. Bölümde, bu bölümde incelenen canlıların su yönetimi stratejilerinden esinlenerek tasarlanmış farklı bina kabuğu örneklerine yer verilecektir. Böylece bu bölümde incelenen canlıların su yönetimi mekanizmaları bir çözüm

olarak alınıp bina kabuğu tasarımlarına uyarlandığında mimari kabuğun gösterdiği özellikler saptanacaktır.

3. YAPI KABUĞU TASARIMINDA DOĞADAKİ CANLILARIN SU HASADI STRATEJİLERİNİN KULLANIMI

Doğadaki canlıların su hasadı stratejileri mimari tasarımlarda farklı şekillerde kullanılabilir. Bu bölümde doğadaki canlıların deri/kabuk fonksiyonlarının bina kabuklarına işlevsel benzerliği ve bina kabuklarının dış çevre ile etkileşim düzeyinden dolayı etkili bir mimari eleman olması sebebiyle canlıların su hasadı stratejilerinin bina kabuğu tasarımlarına uyarlandığı örnekler incelenmiştir. Örneklerin bazıları kavramsal düzeydedir bazıları ise prototip geliştirme aşamasına geçmiş ya da uygulanmıştır.

3.1. Biyomimikri Müzesi

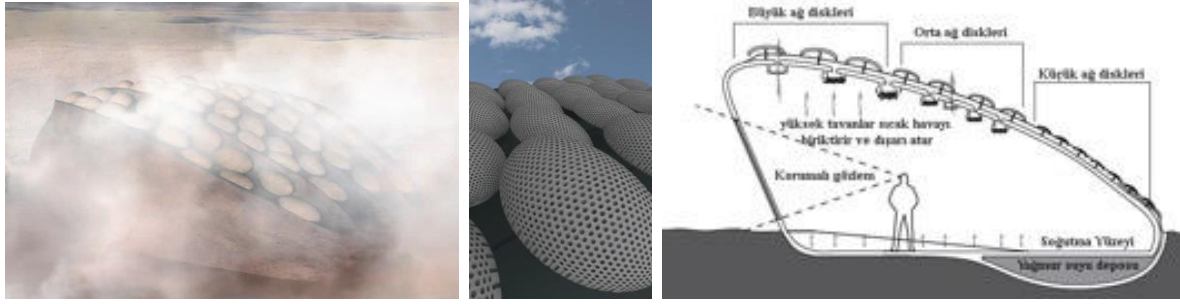
Exploration Architecture, Biyomimikri Müzesi'ni Orta Doğu bölgesinin doğasından ve kültürel özelliklerinden ilham alarak tasarlamıştır. Müzedeki giriş, amfi tiyatro ve restoran mekanları boyunca bölgenin bitkilerine özgü bir vaha bulunmaktadır. Bu vahanın üst örtüsü olan müzenin büyük giriş kanopisi develerin burunlarındaki su dengesini sağlayan süngerimsi kemiklerden ve kaktüs dikenlerinin havadaki suyu hasat etme özelliklerinden esinlenilerek tasarlanmıştır. Biyomimetik özellikteki kanopinin havada bulunan suyu hasat etmesi sayesinde vahada bulunan bitkilerin su ihtiyacı doğal bir şekilde karşılanmaktadır (Şekil 18) (URL-10).



Şekil 18. Biyomimikri Müzesi'nin 3B modelleri ve planı (URL-10)

3.2. Çöl Araştırmacıları için Konut Prototipi

Namib Çölü'ndeki araştırmacıların konutları olarak prototipi tasarlanan projede Namib Çöl Böceği'nin su toplama mekanizmasından esinlenilmiştir. Binanın eğimli zarfı sabah sisinin geldiği yöne yani okyanusa doğru bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Termal düzenleme için ise binanın bir kısmı yer altına gömülmüştür. Binanın cephesinden havadaki suyu hasat etmek için böceğin engebeli kabuk yapısı taklit edilirken; toplanan suyu depoya kanalize etmek için böceğin sırtındaki oluklar ve genel geometrisi taklit edilmiştir. Bina zarfında sabah sisinin neden olduğu nemi yakalamak için 3 farklı boyutta ağ diskleri bulunmaktadır. Her disk bir eksen üzerine yerleştirilmiştir ve yeterli su biriktiğinde diskler bu eksenlerden eğilerek suyu bina zarfına iletmektedir. Su bina zarfından aşağı kayarak depoya ulaşmaktadır. Böylece konutun içme suyu ihtiyacı karşılanmaktadır (Şekil 19) (Mazzoleni, 2013: 176-178).



Şekil 19. Çöl araştırmacıları için tasarlanan konut projesi prototipi (Mazzoleni, 2013)

3.3. Habitat 2020

Çin’de hayata geçmesi planlanan Habitat 2020 projesinde (Şekil 20) binanın zarfı bitkilerin yapraklarındaki stomaların formu ve davranışından esinlenilerek yaşayan bir deri gibi tasarlanmıştır. Bina cildi dış çevre ve binanın içi arasında bağlantı görevi gören bir zar gibi davranmakta; ısı, ışık, hava ve su ile ilgili koşulları düzenlemektedir. Bina cildinde yer alan stoma benzeri elemanlar sayesinde yağmur suyu hasat edilip filtrelenerek bina içerisinde kullanılmaktadır. Ayrıca bu elemanlar yağışsız zamanlarda da havadaki nemi de hasat edebilmektedir (Prakash & Sharma, 2017: 236-237).



Şekil 20. Habitat 2020 Projesi (Prakash & Sharma, 2017)

3.4. Seawater Greenhouse

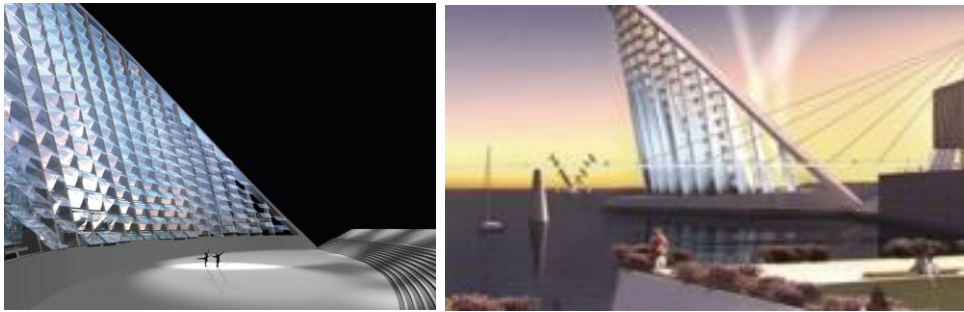
Charlie Paton tarafından Namib Çöl Böceklerinden ilham alınarak tasarlanan projede (Şekil 21), suyun kısıtlı olduğu bölgelerde deniz suyunu tuzdan arındırıp sera bitkilerinin sulamasında kullanan bir sistem geliştirilmiştir. Namib Çöl Böcekleri, geceleri vücut ısını dışarı yayararak çevredeki ortamdan daha soğuk hale gelmektedir. Bu sırada denizden esen rüzgârın içindeki nem, böceğin havadan daha soğuk olan kabuğuna temas etmekte ve yoğunlaşmaktadır. Seawater Greenhouse projesinde de bu prensip taklit edilerek seranın tavanına ısını kaybederek ortamdan daha soğuk hale gelen bir dizi borular yerleştirilmiştir. Seranın altındaki sıcak borular tarafından çekilen deniz suyu seranın içinde sıcak havanın etkisiyle buharlaşmakta ve yükseldiği zaman tavandaki soğuk borulara temas ederek bu yüzeyler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Böylece sera bitkilerinin ihtiyaç duyduğu tatlı su elde edilmektedir (Pawlyn, 2016: 83-86).



Şekil 21. Seawater Greenhouse Avustralya (URL-16)

3.5. Las Palmas Su Tiyatrosu

Tasarladığı biyo-ilhamlı projelerle bilinen önemli mimarlardan biri olan Micheal Pawlyn, İspanya Kanarya Adaları için su kıtlığının getirdiği zorluklara bir çözüm olması amacıyla Las Palmas Su Tiyatrosu projesini önermiştir (Şekil 22). Namib Çöl Böceğinin sis rüzgarlarına karşı açılı duruşu taklit edilerek, açık amfi tiyatronun zeminini oluşturan binanın kütlesi, denizden esen nemli rüzgarların geldiği yöne doğru açılı bir şekilde tasarlanmıştır (Rankouhi, 2012: 24). Bu açılı yapının cephesinde ise böceğin suyu tutan kabuk morfolojisinden ilham alınarak tasarlanan üst üste istiflenmiş bir dizi buharlaştırıcı ve kondansatör sistemi bulunmaktadır. Yapı, cephenin şekli ve üzerindeki sistem sayesinde havadaki suyu hasat edebilecektir (Pawlyn, 2016: 88). Proje hayata geçirilmemiş olsa da bazı ticari seralar bu strateji ile tatlı su üretmektedir (Rankouhi, 2012: 24).



Şekil 22. Las Palmas Su Tiyatrosu (Las Palmas Water Theatre) (Pawlyn, 2016: 87) (URL-15)

3.6. Biyomimetik Ofis Binası

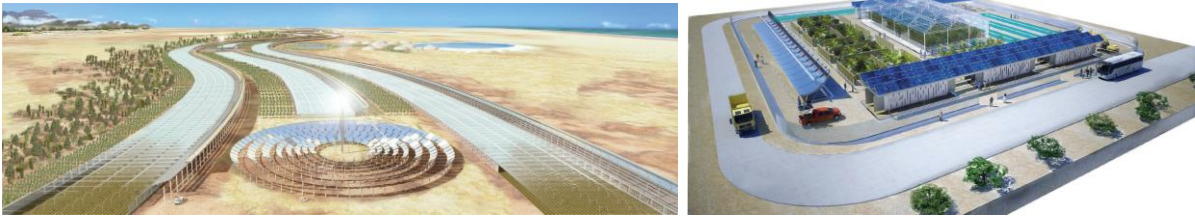
Michael Pawlyn, biyomimetik danışmanı olarak Julian Vincent'ın da içinde bulunduğu bir ekiple birlikte, kaynak ve enerji tüketiminin düşük olması hedefiyle Biyomimetik Ofis Binası'nı tasarlamıştır (Şekil 23). Bu binanın tasarımında birçok canlıdan esinlenilmiştir. Binanın taşıyıcı sisteminde hafif ve dayanıklı olabilmesi için kuş ve mürekkep balığı iskelet yapısından; gün ışığı düzenlemesi için spookfish balığı, taş bitkileri ve yılan yıldızlarından; çevre kontrolü için termitler, penguen tüyleri ve kutup ayısı kürkünden; su yönetimi için ise çöl böcekleri, mimoza ve gürgen yapraklarından esinlenilmiştir (URL-17). Su hasadı için çöl böceklerinin sisten su hasat etme davranışlarından ilham alınarak Seawater Greenhouse projesindeki sisteme benzer bir sistem uygulanmıştır (URL-18). Proje henüz uygulanmamıştır.



Şekil 23. Biyomimetik Ofis Binası (Biomimetic Office Building) (URL-17)

3.7. Sahra Ormanı Projesi -Katar, Tunus ve Ürdün

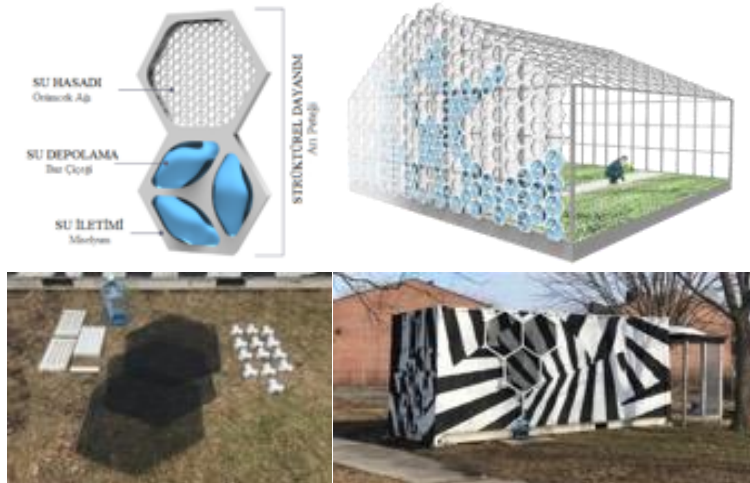
Bu proje Exploration Architecture tarafından, çöl ortamında tarım yapabilmek ve bitki örtüsü oluşturabilmek, bunu yaparken de enerji tüketimi ve maliyeti düşük olan verimli bir tesis kurabilmek amacıyla tasarlanmıştır (Şekil 24). Tesisin içerisinde bulunan seraların tasarımında, bu kurak bölgede iklim değişikliğiyle mücadele etmek için kendi tatlı suyunu geliştirmenin ve vücut ısısını düzenlemenin yolunu bulan Namibya sis baskın böceğinden ilham alınmıştır. Charlie Paton'un Seawater Greenhouse seraları için tasarladığı buharlaşma-soğutma-yoğuşma prensipli sistemden sayesinde sera bitkilerinin ihtiyaç duyduğu tatlı su üretilmektedir (Nkandu & Alibaba, 2018: 8). Bu projenin ilk pilot tesisi 2012 yılında Katar'da 1 hektarlık bir alana inşa edilmiştir (URL-19).



Şekil 24. Sahra Ormanı Projesi (Pawlyn, 2016: 126-127)

3.8. AquaWeb

Nexloop Şirketi tarafından tasarlanan AquaWeb yerel kaynaklardan yararlanabilen, mimari kabuklara entegre olabilen, esnek ve modüler bir üründür (Şekil 25). Arı peteklerinden esinlenen yapı struktürünün her bir parçası altıgen biçimindedir. Bu parçaların içinde yağmur, sis ve nem gibi atmosferik suyu hasat edebilmek amacıyla örümcek ağının liflerini taklit eden bir ağ bulunmaktadır. Bu ağ havadaki suyu çekmektedir. Çekilen su, buz çiçeklerinin keselerinden esinlenerek tasarlanan esnek bölmelerde biriktirilmektedir. Biriken su, miselyum bitkilerinin suyu taşıma özelliğini taklit eden borular aracılığıyla yapının gerekli bölümlerine iletilmektedir. Sonuç olarak AquaWeb doğadan esinlenerek tasarlanan yapısı sayesinde atmosferik suyu hasat eden, depolayan ve iletebilen bir sistemdir. 2019 yılında Döngüsel Ekonomi pilot projesinin bir parçası olarak hidroponik bir konteyner çiftliğine kurumuştur (URL-20).

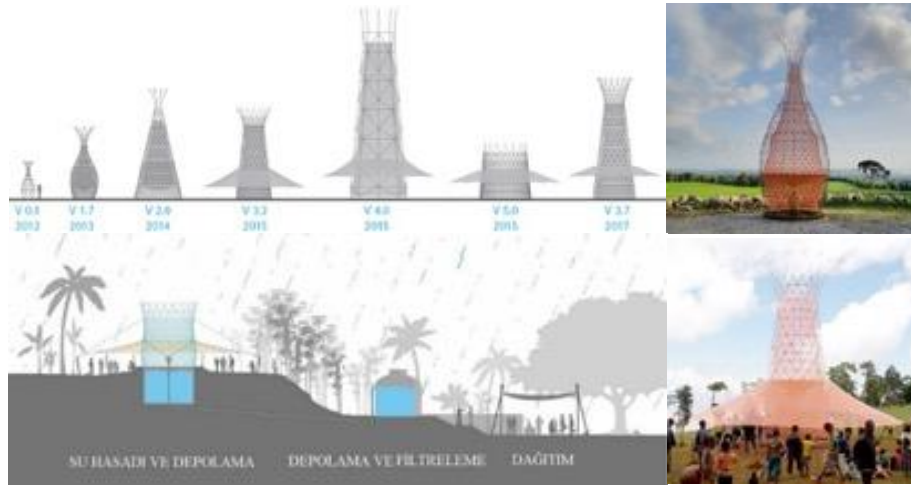


Şekil 25. AquaWeb şematik gösterimi, AquaWeb'in modüler bileşenleri ve konteynerin üzerine monte edilmiş hali (URL-20)

3.9. Warka Kulesi

Warka Kulesi, temiz ve güvenli su kaynaklarına erişim sıkıntısı yaşanan bölgeler için atmosferik su hasadı yaparak yerli halka temiz su kaynağı sağlayacak bir sistem olarak Arturo Vittori tarafından tasarlanmıştır (URL-21). Kulenin formunda termit kuleleri ve

kaktüs dikenlerinden esinlenilirken; su toplama sisteminde ise Namib Çöl Böceklerinin kabuk morfolojisi ve örümcek ağlarının liflerinden ilham alınmıştır. Namib Çöl Böceği ve örümcek ağının pürüzlü yüzeyler aracılığıyla suyu çekmesi taklit edilerek örgülü polyester özel bir kaplama malzemesi geliştirilmiş ve bambu çerçevelerle desteklenmiştir. Kulenin yüzeyini oluşturan bu özel malzeme atmosferik suyu kendi yüzeyine çekerek kulenin aşağı kısmında bulunan depoya iletmektedir (URL-22). Havanın, yerel ortam sıcaklıklarından ve nem koşullarından bağımsız olarak her zaman belirli miktarda su buharı içermesi sayesinde sistem yağmur yağmasa bile günde 40-80 litre su toplayıp depolayabilmektedir. Sonuç olarak Warka Kulesi herhangi bir enerjiye gerek duymadan yoğunlaşma, buharlaşma ve yerçekimi gibi olaylarla doğal bir şekilde çalışmaktadır. 2012'den beri 12 adet prototipi oluşturulan projenin 3.2 versiyonu 2015 yılında Etiyopya'nın Dorze Köyü'nde; 4. Versiyonu ise 2019 yılında Kamerun'da inşa edilmiştir (Şekil 26) (URL-23).



Şekil 26. Warka Kulesi'nin versiyonlarının yıllara göre şematik gösterimi, V.01 kulesinin prototipi, mekanizmanın işleyişinin şematik gösterimi (URL-21) ve 2015'te inşa edilen V.3.2 kulesi (URL-23)

3.10. Rain Bellows

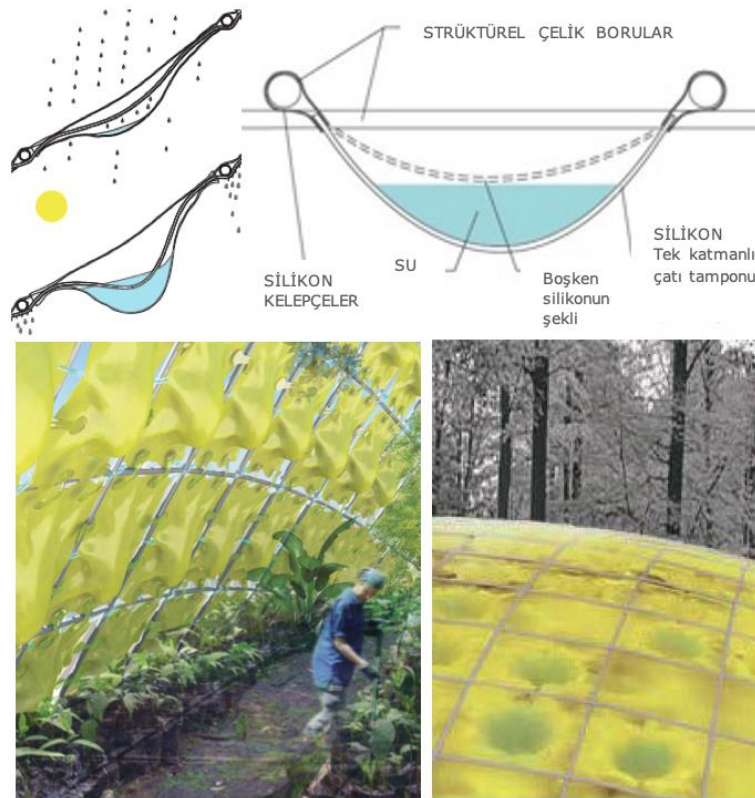
Rain Bellows, "Winners Innovation Inspired by Nature for Eleven's International Biomimicry Competition" yarışması için Rachael Meyer, Alexandra Ramsden, Jennifer Barnes ve Michele Richmond'un tasarladıkları bir cephe elemanıdır (Şekil 27). Projede yağmur suyunu depolayarak ihtiyaç halinde binaya iletebilen bir cephe sistemi geliştirmek amaçlanmıştır. Bu amaçla buz çiçeği bitkisinin suyu depolama özelliği taklit edilmiştir. Buz çiçeği bitkisi gövdesindeki epidermal kese hücreleri sayesinde su depolayabilmekte ve kurak zamanlarda depoladığı suyu kullanmaktadır. Bitkinin bu mekanizması soyutlanarak, yağmur suyu aldıkça körükleri sayesinde depolama kapasitesini arttırabilen Rain Bellows tasarımına aktarılmıştır (URL-24). Burada biriken su, bu cephe elemanlarının altında bulunan sıhhi tesisat sistemi tarafından alınıp filtrelenerek binada gerekli yerlere iletilmektedir (URL-25).



Şekil 27. Rain Bellow cephe elemanının prototipi ve çalışma mekanizmasının şematik gösterimleri (URL-24)

3.11. Orman Serası Tasarım Önerisi

Mazzoleni ve öğrencileri tarafından muz salyangozlarından ilham alınarak Akdeniz iklimine sahip Santa Cruz bölgesi için yağmur suyunu toplayıp depolayabilen bir sera tasarımı önerisi geliştirilmiştir (Şekil 28). Tasarıma, muz salyangozlarının dört özelliği uyarlanmak istenmiştir: ciltlerinin nefes almasını sağlayan gözeneklilik ve geçirgenlikleri; derilerine salgıladıkları mukusun kurumaya ve yırtıcılara karşı koruma yetenekleri; çevredeki nem ve sıcaklık değişimlerine uyum sağlama ve homeostaz yoluyla çevreleri ile denge ve iletişimi kurma özellikleri. Bu doğrultuda seranın zarfında yağmur suyu toplama amacıyla ana malzeme olarak tampon keseler kullanılmıştır. Bu keselerin her birini birbirine bağlayan çelik gridler seranın strüktür sistemini oluşturmaktadır. Tamponların çoğu suyla dolu çift katmanlı silikonlardan oluşurken çatıdaki tamponlar yağmur suyunu toplamak için tek katmandan meydana gelmekte ve yağmur suyunun yapıya doğrudan damlamasına izin vermektedir. Yağış sırasında tampon üniteleri dolup ağırlaşmakta ve onları yerinde tutan kelepçeleri çekerken aşağı doğru sarkmaya ve seranın zarfını açmaya başlamaktadır. Böylece, yağmur suyu, bitkileri doğrudan sulamakla beraber keselerde biriktirilip kurak zamanlar için depolanmaktadır (Mazzoleni, 2013: 142-147).



Şekil 28. Seranın zarfındaki tamponların yağmur suyu toplama mekanizmasının şematik gösterimleri ve sera zarfının 3B modelleri (Mazzoleni, 2013: 147-149)

İncelenen proje örnekleri biyolojik esin kaynağı olan organizma, bu organizmadan ilham alınan su dengesi stratejileri, bu stratejiler tasarıma aktarıldığında oluşan biyomimetik mimari kabuğun özellikleri ve biyomimetik kabuğun binaya sağladığı su yönetimi fonksiyonu bağlamında analiz edilip Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Doğadaki canlıların su hasadı stratejilerini yapı kabuğu tasarımlarında kullanan mimari örnekler

Mimari Örnek	Esinlenen Organizma	Organizmanın Esinlenen Su Dengesi Stratejileri	Biyomimetik Mimari Kabuk Özellikleri	Biyomimetik Mimari Kabuğun Sağladığı Su Yönetimi Fonksiyonu
Biyomimikri Müzesi	Deve, Kaktüs	Develerin burunlarında yer alan damar dokusuyla kaplı süngerimsi kemikler, nefes alırken ve verirken su kaybedilmesini önlemek için havadaki nemi emer. Kaktüsün yüzeyindeki dikenlerin uçları, havadaki su damlacıklarını çekmektedir.	Kanopinin üst yüzeyindeki diken benzeri yapılar havadaki suyu hasat etmektedir. Kanopinin iç kısımdaki karmaşık kıvrımlar tavandaki yüzey alanını artırarak içerden buharlaşan nemin büyük bir kısmını emerek buharlaşmayla su kaybını önlemektedir.	<p>Su hasadı</p> <p>Su kaybının önlenmesi</p> <p>Suyun iletilmesi</p> <p>Su depolama</p> <p>Su filtreleme</p>
Çöl Araştırmacıları için Konut Prototipi	Namib Çöl Böceği	Böceğin engebeli kabuk yapısındaki hidrofilik tepcikler havadaki nemi çekmektedir. Böceğin açılı duruşu ve kabuk yapısındaki hidrofobik kanallar suyun ağız kısmına iletilmesini sağlamaktadır.	Eğimli bina zarfı üzerinde bulunan ağ diskleri havadaki nemden su hasat etmektedir. Eğimli bina zarfı ve zarfın üzerinde bulunan oluklar toplanan suyun depoya iletilmesini sağlamaktadır.	<p>Su hasadı</p> <p>Su kaybının önlenmesi</p> <p>Suyun iletilmesi</p> <p>Su depolama</p> <p>Su filtreleme</p>
Habitat 2020	Stoma Hücreleri	Stoma hücreleri osmotik basınca tepki olarak açılıp kapanarak hücrenin su dengesini sağlamaktadır.	Bina zarfında bulunan stoma benzeri elemanlar yağmur suyunu veya havadaki nemi hasat edip filtreleyerek bina içinde kullanımına olanak sağlamaktadır.	<p>Su hasadı</p> <p>Su kaybının önlenmesi</p> <p>Suyun iletilmesi</p> <p>Su depolama</p> <p>Su filtreleme</p>
Seawater Greenhouse (Deniz suyu Serası)	Namib Çöl Böceği	Namib Çöl Böceği, geceleri vücut ısısını düşürerek kabuk yüzeyinin havadan daha soğuk olmasını sağlar. Böylece havadaki su buharı böceğin kabuğu üzerinde yoğunlaşmaktadır.	Seranın tavanında ısıyı dışarı vererek ortamdaki daha soğuk hale gelen borular sera içerisindeki nemi kendi yüzeyleri üzerinde yoğunlaştırmaktadır.	<p>Su hasadı</p> <p>Su kaybının önlenmesi</p> <p>Suyun iletilmesi</p> <p>Su depolama</p> <p>Su filtreleme</p>
Las Palmas Su Tiyatrosu	Namib Çöl Böceği	Böcek sis rüzgarlarının geldiği yöne doğru açılı bir şekilde durarak havadaki nemi kabuğuna yapışmasını sağlamaktadır. Geceleri vücut ısısını düşürerek kabuk yüzeyinin havadan daha soğuk olmasını sağlar. Böylece havadaki su buharı böceğin kabuğu üzerinde yoğunlaşmaktadır.	Bina, sis rüzgarlarına doğru eğimli cephesi üzerinde bulunan üst üste istiflenmiş bir dizi buharlaştırıcı ve kondansatör sistemi sayesinde havadaki suyu hasat edebilecektir.	<p>Su hasadı</p> <p>Su kaybının önlenmesi</p> <p>Suyun iletilmesi</p> <p>Su depolama</p> <p>Su filtreleme</p>

Tablo 3. (Devam) Doğadaki canlıların su hasadı stratejilerini yapı kabuğu tasarımlarında kullanan mimari örnekler

Mimari Örnek	Esinlenen Organizma	Organizmanın Esinlenen Su Dengesi Stratejileri	Biyomimetik Mimari Kabuk Özellikleri	Biyomimetik Mimari Kabuğun Sağladığı Su Yönetimi Fonksiyonu
Biyomimetik Ofis Binası (Biomimetic Office Building)	Namib Çöl Böceği Mimosza Yaprağı Gürgen Yaprağı	Geceleri vücut ısısını düşürerek kabuk yüzeyinin havadan daha soğuk olmasını sağlar. Böylece havadaki su buharı böceğin kabuğu üzerinde yoğunlaşmaktadır	Isısını dışarı vererek ortamdan daha soğuk hale gelen borular bina içerisindeki nemi kendi yüzeyleri üzerinde yoğunlaştırmaktadır	Su hasadı Su kaybının önlenmesi Suyun iletilmesi Su depolama Su filtreleme
Sahra Ormanı Projesi Katar, Tunus ve Ürdün	Namib Çöl Böceği (Stenocara)	Namib Çöl Böceği, geceleri vücut ısısını düşürerek kabuk yüzeyinin havadan daha soğuk olmasını sağlar. Böylece havadaki su buharı böceğin kabuğu üzerinde yoğunlaşmaktadır	Seranın tavanında ısısını dışarı vererek ortamdan daha soğuk hale gelen borular sera içerisindeki nemi kendi yüzeyleri üzerinde yoğunlaştırmaktadır	Su hasadı Su kaybının önlenmesi Suyun iletilmesi Su depolama Su filtreleme
AquaWeb	Örümcek Ağı Buz Çiçeği Bitkisi Miselyum	Örümcek ağındaki ipek lifler üzerinde yer alan düğümler nemli havadan su çekmektedir. Buz çiçeği bitkisinin sahip olduğu epidermal esnek su keseleri sayesinde suyu depolayarak ihtiyaç halinde kullanmaktadır.	Ağ benzeri cephe elemanları atmosferik suyu hasat etmektedir. Esnek cephe keseleri hasat edilen suyu depolamaktadır. Cephedeki borular yardımıyla su taşınabilmektedir.	Su hasadı Su kaybının önlenmesi Suyun iletilmesi Su depolama Su filtreleme
Warka Kulesi (Warka Tower)	Örümcek Ağı Namib Çöl Böceği	Örümcek ağında yer alan ipek lifler üzerindeki düğümler nemli havadan su çekmektedir. Namib Çöl Böceğinin engebeli kabuk yapısındaki hidrofilik tepecikler havadaki nemi çekmektedir.	Örgülü polyester kaplama malzemesi pürüzlü yapısı sayesinde atmosferik suyu hasat edebilmektedir.	Su hasadı Su kaybının önlenmesi Suyun iletilmesi Su depolama Su filtreleme
Rain Bellows	Buz çiçeği bitkisi	Buz çiçeği bitkisi, epidermal esnek su keseleri sayesinde suyu depolayarak ihtiyaç halinde kullanmaktadır.	Cephe elemanı kövrükler sayesinde yağmur suyu miktarı arttıkça depolama hacmini genişletebilmektedir. İçinde su bulunmadığında ise esnek kövrükler sayesinde kapalı durabilmektedir.	Su hasadı Su kaybının önlenmesi Suyun iletilmesi Su depolama Su filtreleme
Orman Serası Tasarım Önerisi	Muz Salyangozu	Muz salyangozu, yağışlı zamanlarda hidrofilik ve higroskopik deri özelliği sayesinde nemi cildine çeker ve gerekli durumlarda mukus olarak salgılar.	Yapı zarfındaki silikon tamponlar yağmur yağdığı anda esneyip kese şeklini alarak yağmur suyunu hem toplamakta hem de depolamaktadır.	Su hasadı Su kaybının önlenmesi Suyun iletilmesi Su depolama Su filtreleme

Yukarıda incelenen biyomimetik tasarım örneklerine ve özet tablo analizine göre canlı organizmaların su yönetimi mekanizmaları mimari kabuk tasarımlarına bire bir aktarılmaktan ziyade uyarlanabilmektedir. Bu durumda bir canlının sahip olduğu aynı mekanizma farklı mimari kabuk tasarımlarına uyarlandığında benzer işlevler elde edilebilirken estetik olarak farklı görünüşler ortaya çıkmaktadır. Ayrıca sıkça muson yağmurlarının olduğu Çin ve Namib Çölü gibi iklim koşulları birbirinden oldukça farklı olan



bölgelerde olsa bile bina kabukları aynı işlevi sağlamak için tasarlanabilmektedir. Doğadaki canlı organizmaların sahip olduğu su dengesi stratejileri mimari kabuk tasarımlarına aktarıldığında ise organizmada sağlanan su yönetim stratejisi ve mimari kabuğun sağladığı su yönetim fonksiyonunun aynı olabileceği görülmektedir. Yani mimari kabuk tasarımı ile elde edilmek istenilen fonksiyon doğada aynı işleve sahip canlıların mekanizmaları incelenerek sağlanabilmektedir. Veya doğada bir canlının sahip olduğu su yönetim stratejisi mimari kabuk tasarımına uyarlandığında mimari kabukta aynı fonksiyon sağlanabilmektedir. Bu doğrultuda canlıların deri/kabuk fonksiyonları ve mimari kabuk fonksiyonlarının benzerliği nedeniyle canlı organizmaların stratejilerinin mimari kabuklara uyarlanmasının sürdürülebilir ve etkili çözümler sunacağı açıkça görülmektedir.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmanın temel amaçlarından biri biyolojik su yönetimi bilgilerinin ve binalar için yeni çözümlere ilham verecek mekanizmaların araştırılmasıdır. İlk olarak doğadaki canlılar araştırılırken, geliştirdikleri adaptasyonlara göre morfolojik ve davranışsal olarak iki farklı tabloda incelenmiştir. Elde edilen geniş biyolojik verilerin sistematik bir şekilde incelenmesi için geliştirilen adaptasyonlar "su yönetimi fonksiyonu", bu fonksiyonu sağlayan "yöntem", bu yöntemi kullanan "organizmalar" ve her bir organizmanın geliştirdiği "mekanizma" başlıklarıyla özetlenmiştir. Bu bilgiler sınıflandırıldığında canlılarda belli morfolojilerin ve davranışların belli su dengesi yöntemlerine karşılık geldiği gözlemlenmiştir. Örneğin Bromeliaceae bitkilerinin sahip olduğu trikomlar, kaktüslerdeki dikenler ve Namib Çöl Böcekleri'nin kabuklarındaki tepecikler gibi "yüzeyden çıkıntı yapan diken ve benzeri morfolojiler" havadaki suyu çekebilme; fillerin derilerindeki kırışıklıklar ve develerin burun kemiklerinin karmaşık yapısı gibi "yüzey alanını arttıran morfolojiler" buharlaşma oranını azaltmaya; ağaç yapraklarının kıvrılması ve sukulentlerin büzüşmesi gibi "yüzey alanını azaltmaya yönelik davranışlar" radyasyon maruziyetini azaltarak su kaybını önlemektedir.

Tüm bu yöntemler de su kazanma, muhafaza etme, taşıma ve kaybetme şeklinde dört temel fonksiyona karşılık gelmektedir. Biyomimetik bina kabuğu tasarımlarına bakıldığı zaman ise canlılardaki bu fonksiyonların binalarda sağlanan su yönetimi fonksiyonlarıyla eşleştiği gözlemlenmiştir. Yani su kazancı sağlayan bir canlının mekanizması bina kabuğu tasarımına aktarıldığında binada su hasadı yapılabilmekte; taşıma özellikleri aktarıldığında binada suyun iletilmesi sağlanmakta; muhafaza etme özellikleri aktarıldığında binada su kaybı önlenilmekte, su depolanabilmekte ve filtrelenebilmektedir. Canlıların su yönetimi stratejileri ve bina kabukları arasında bu şekilde fonksiyonel benzetimler kurulabilirken bu fonksiyonları canlılarda sağlayan özellik mimariye aktarıldığında farklı tasarım varyasyonları meydana gelmektedir. Örneğin Charlie Paton'un Namib Çöl Böceği'nin kabuk yüzeyinde yoğunlaşma meydana getirmek için kullandığı vücut ısısını düşürme stratejisinden esinlenerek kurduğu sistem dört farklı mimari tasarımda kullanılmıştır. Yine bu böceğin morfolojik özelliklerinden esinlenerek su hasadı yapan iki farklı mimari örnek olan Çöl Araştırmacıları Konut Projesi ve Warka Kulesi'ne bakıldığında bu morfolojiyi gerek kullanılan malzemeler gerek tasarım olarak farklı şekillerde yorumladıkları görülmektedir. Sonuçta iki örnekte de mimari kabuk aracılığıyla su hasadı yapılmaktadır.

Doğada gözlemlenen bir strateji tasarım süreçlerine aktarılırken öncelikle çalışma prensibi tespit edilmekte ve soyutlanan temel fikir tasarımın bir girdisi olmaktadır. Bu çalışma kapsamında bu prensipler tespit edilmeye çalışılarak mimari tasarımlara aktarımlarda bir çerçeve çizilmesi amaçlanmıştır. Bu prensipler en başta bahsedilen, temel fonksiyonları sağlayan su yönetim stratejilerine karşılık gelen morfoloji veya davranış özellikleridir. Örneğin Namib Çöl Böceği'nin kabuklarındaki tepecikler, Bromeliaceae bitkilerinin yapraklarındaki trikomlar, kaktüslerdeki dikenler için bir genelleme yapıldığında yüzeyden çıkıntı yapan diken ve benzeri morfolojiye sahip olduklarını söylemek mümkündür. Bir başka ifade ile yüzeyden çıkıntı yapan diken ve benzeri morfolojiler havadan su çekebilmektedir. Bu prensip mimariye aktarıldığında da cepheden böylesi çıkıntı yapan



elemanlara sahip mimari kabukların (Çöl Araştırmacıları Konut Projesi ve Warka Tower) atmosferik su hasadı yapabildiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, canlıların su yönetimi stratejilerinden temel prensipler alınıp mimari kabuk tasarımına farklı malzemeler, oranlar ve ölççeklerle aktarılabilmektedir.

Görüldüğü gibi, doğadaki canlıların su yönetimi fonksiyonlarından ilham alarak tasarlanan mimari kabuklar binaların su tüketimini azaltmakta, mevcut su kaynaklarının korunmasını ve binada gereksinim duyulan suyun kazanılmasına olanak sağlayacak potansiyeller barındırmaktadır. Söz konusu biyomimetik/biyo-bilgili mimari kabuklar dünya üzerindeki su kaynaklarının bina faaliyetleri sebebiyle tüketilmesi sorununa sürdürülebilir çözümler önermektedir. Bu bağlamda gelecekte de binalarda su yönetimi sağlamak amacıyla yapılacak biyomimetik mimari tasarım araştırmalarının sayısını ve niteliğinin artırılması önemlidir. Bu artış, doğanın geniş veri tabanından uygun stratejilerin aranması ve seçilmesini teşvik edecek, sınırlı biyolojik bilgiye sahip olan mimarların biyolojiden mimariye veri aktarımını kolaylaştıracak yöntemlerin/ara yüzlerin geliştirilmesi ile mümkün olacaktır.

KAYNAKÇA

- Attenborough, D. (1995). The private life of plants: a natural history of plant behaviour.
- Badarnah, L. (2016). Water management lessons from nature for applications to buildings. *Procedia engineering*, 145, 1432-1439.
- Badarnah, L. (2017). Form follows environment: biomimetic approaches to building envelope design for environmental adaptation. *Buildings*, 7(2), 40.
- Barker, G. M. (1999). Naturalised Terrestrial Stylommatophora (Mollusca: Gastropoda). *Fauna of New Zealand*, 38.
- Bhushan, B. (2020). Design of Water Harvesting Towers and Projections for Water Collection from Fog and Condensation. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2167), 20190440. doi:doi:10.1098/rsta.2019.0440
- Biomimicry, G. (2007). Innovation inspired by nature work book. *Biomimicry Guild*.
- Caldas, L., Andaloro, A., Calafiore, G., Munechika, K., & Cabrini, S. (2018). Water harvesting from fog using building envelopes: part I. *Water and Environment Journal*, 32(4), 493-499.
- Comanns, P., Esser, F. J., Kappel, P. H., Baumgartner, W., Shaw, J., & Withers, P. C. (2017). Adsorption and movement of water by skin of the Australian thorny devil (Agamidae: *Moloch horridus*). *Royal Society Open Science*, 4(9), 170591. doi:doi:10.1098/rsos.170591
- Forslind, B., & Lindberg, M. (2003). *Skin, hair, and nails: structure and function*: CRC Press
- Gorb, S. N., & Gorb, E. V. (2018). *Functional Surfaces in Biology III: Diversity of the Physical Phenomena* (Vol. 10): Springer
- Guadarrama-Cetina, J., Mongruel, A., Medici, M. G., Baquero, E., Parker, A. R., Milimouk-Melnytchuk, I., González-Viñas, W., & Beysens, D. (2014). Dew Condensation on Desert Beetle Skin. *The European Physical Journal E*, 37(11), 109. doi:10.1140/epje/i2014-14109-y
- Helms, M., Vattam, S. S., & Goel, A. K. (2009). Biologically inspired design: process and products. *Design studies*, 30(5), 606-622.
- Ju, J., Bai, H., Zheng, Y., Zhao, T., Fang, R., & Jiang, L. (2012). A multi-structural and multi-functional integrated fog collection system in cactus. *Nature Communications*, 3(1), 1247. doi:10.1038/ncomms2253
- Katifori, E. (2018). The transport network of a leaf. *Comptes Rendus Physique*, 19(4), 244-252. doi:https://doi.org/10.1016/j.crhy.2018.10.007
- Kennedy, B., & James, J. K. N. (2015). *Integrating Biology, Design, and Engineering for Sustainable Innovation*. Paper presented at the 2015 IEEE Integrated STEM Education Conference.



- Koch, K., & Barthlott, W. (2009). Superhydrophobic and Superhydrophilic Plant Surfaces: an Inspiration for Biomimetic Materials. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1893), 1487-1509. doi:10.1098/rsta.2009.0022
- Koç Aslan, D., & Arslan Selçuk, S. (2018). A Biomimetic Approach to Rainwater Harvesting Strategies Through the Use of Buildings. *Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2(1), 27-39.
- Martins, A. F., Bennett, N. C., Clavel, S., Groenewald, H., Hensman, S., Hoby, S., Joris, A., Manger, P. R., & Milinkovitch, M. C. (2018). Locally-curved geometry generates bending cracks in the African elephant skin. *Nature Communications*, 9(1), 3865. doi:10.1038/s41467-018-06257-3
- Mazzoleni, I. (2013). *Architecture follows nature-biomimetic principles for innovative design* (Vol. 2): Crc Press
- Mutlu Aving, G., & Arslan Selçuk, S. (2019). Mimari Tasarımda Biyomimetik Yaklaşımlar: Pavyonlar Üzerine Bir Araştırma. *Online Journal of Art and Design*, 7(2).
- Nkandu, M. I., & Alibaba, H. Z. (2018). Biomimicry as an alternative approach to sustainability. *Architecture Research*, 8(1), 1-11.
- Nørgaard, T., & Dacke, M. (2010). Fog-basking behaviour and water collection efficiency in Namib Desert Darkling beetles. *Frontiers in Zoology*, 7(1), 23. doi:10.1186/1742-9994-7-23
- Pawlyn, M. (2016). *Biomimicry in Architecture*: Routledge
- Pierce, S., Maxwell, K., Griffiths, H., & Winter, K. (2001). Hydrophobic trichome layers and epicuticular wax powders in Bromeliaceae. *American Journal of Botany*, 88(8), 1371-1389. doi:10.2307/3558444
- Pohl, G., & Nachtigall, W. (2015). *Biomimetics for Architecture & Design: Nature-Analogies-Technology*: Springer
- Prakash, N., & Sharma, P. (2017). Biomimicry: A Pathway to Sustainable Built Environment. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, p-ISSN: 2349-8404; e-ISSN: 2349-879X; Volume 4, Issue 3; , pp. 233-238.
- Rankouhi, A. R. (2012). *Naturally Inspired Design Investigation into the Application of Biomimicry in Architectural Design*. Pennsylvania State University,
- Rijke, A. (1972). The water-holding mechanism of sandgrouse feathers. *Journal of Experimental Biology*, 56(1), 195-200.
- Sadava, D., Hillis, D. M., Heller, H. C., & Berenbaum, M. R. (2014). *Yaşam Biyoloji Bilimi* (Ertunç Gündüz & İ. Türkan, Trans.): Palme Yayınevi - Akademik Kitaplar
- Seely, M. (1979). Irregular fog as a water source for desert dune beetles. *Oecologia*, 42(2), 213-227.
- Sherbrooke, W. C. (1993). Rain-Drinking Behaviors of the Australian Thorny Devil (Sauria: Agamidae). *Journal of Herpetology*, 27(3), 270-275. doi:10.2307/1565147
- Speck, T., Speck, O., Beheshti, N., & McIntosh, A. (2008). Process sequences in biomimetic research. *Design and nature IV*, 114, 3-11.
- Tracy, C. R., Laurence, N., & Christian, K. A. (2011). Condensation onto the Skin as a Means for Water Gain by Tree Frogs in Tropical Australia. *The American Naturalist*, 178(4), 553-558. doi:10.1086/661908
- URL-1. https://en.wikipedia.org/wiki/Trichome#/media/File:Solanum_scabrum_trichomes_on_leaf_lamina.tif [Erişim Tarihi: 20.11.2020].
- URL-2. https://en.wikipedia.org/wiki/Trichome#/media/File:Trichomes_Close_Cannabis.jpg [Erişim Tarihi: 20.11.2020].
- URL-3. <https://asknature.org/strategy/ultra-absorbent-feather-structure-carries-water-2/#jp-carousel-90307> [Erişim Tarihi: 20.11.2020].
- URL-4. <https://asknature.org/strategy/ultra-absorbent-feather-structure-carries-water-2/#jp-carousel-90306> [Erişim Tarihi: 20.11.2020].



- URL-5. https://www.naturepl.com/stock-photo/trench-digger-beetles-lepidochora-sp-dig-little-trenches-in-the-sand-surface/search/detail-0_01214302.html [Erişim Tarihi: 21.11.2020].
- URL-6. <https://asknature.org/strategy/trenches-gather-water/#jp-carousel-6974> [Erişim Tarihi: 21.11.2020].
- URL-7. <https://asknature.org/strategy/water-vapor-harvesting/#jp-carousel-8302> [Erişim Tarihi: 21.11.2020].
- URL-8. <https://asknature.org/strategy/water-vapor-harvesting/#jp-carousel-73068> [Erişim Tarihi: 21.11.2020].
- URL-9. <https://asknature.org/strategy/web-continuously-collects-water-from-air/#jp-carousel-83729> [Erişim Tarihi: 22.11.2020].
- URL-10. <http://www.exploration-architecture.com/projects/biomimicry-museum> [Erişim Tarihi: 25.11.2020].
- URL-11. <https://asknature.org/strategy/just-in-time-manufacturing-conserves-resources/#jp-carousel-6159> [Erişim Tarihi: 26.11.2020].
- URL-12. <https://asknature.org/strategy/body-removes-foreign-objects/#jp-carousel-6852> [Erişim Tarihi: 26.11.2020].
- URL-13. <https://www.britannica.com/science/epidermis-anatomy> [Erişim Tarihi: 27.11.2020].
- URL-14. <https://asknature.org/strategy/nasal-surfaces-remove-water-vapor/#jp-carousel-8118> [Erişim Tarihi: 30.11.2020].
- URL-15. <http://www.exploration-architecture.com/research/las-palmas-water-theatre> [Erişim Tarihi: 01.12.2020].
- URL-16. <https://seawatergreenhouse.com/australia-1> [Erişim Tarihi: 01.12.2020].
- URL-17. <http://www.exploration-architecture.com/projects/biomimetic-office-building> [Erişim Tarihi: 01.12.2020].
- URL-18. <https://www.dezeen.com/2020/10/22/michael-pawlyn-exploration-architecture-dassault-systemes-video/> [Erişim Tarihi: 01.12.2020].
- URL-19. <http://www.exploration-architecture.com/projects/sahara-forest-project> [Erişim Tarihi: 03.12.2020].
- URL-20. <https://nexloop.us/> [Erişim Tarihi: 03.12.2020].
- URL-21. <https://www.warkawater.org/warkatower/> [Erişim Tarihi: 06.12.2020].
- URL-22. <https://www.dezeen.com/2016/11/10/video-interview-arturo-vittori-warka-water-tower-ethiopia-sustainable-clean-drinking-water-movie/> [Erişim Tarihi: 06.12.2020].
- URL-23. <https://www.warkawater.org/ethiopia/> [Erişim Tarihi: 06.12.2020].
- URL-24. <https://aasarchitecture.com/2017/05/winners-innovation-inspired-nature-elevens-international-biomimicry-competition.html/> [Erişim Tarihi: 06.12.2020].
- URL-25. <https://forterra.org/editorial/what-would-nature-do/attachment/rain-bellows> [Erişim Tarihi: 08.12.2020].
- URL-26. <https://asknature.org/strategy/surface-cells-store-water/#jp-carousel-7816> [Erişim Tarihi: 08.12.2020].
- URL-27. <https://asknature.org/strategy/surface-cells-store-water/#jp-carousel-64000> [Erişim Tarihi: 08.12.2020].
- Vincent, J., Bogatyreva, O., Bogatyrev, N., Bowyer, A., & Pahl, A.-K. (2006). Biomimetics: Its Practice and Theory. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society*, 3, 471-482. doi:10.1098/rsif.2006.0127
- WWAP, U. (2020). The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change In: UNESCO.
- Zheng, Y., Bai, H., Huang, Z., Tian, X., Nie, F.-Q., Zhao, Y., Zhai, J., & Jiang, L. (2010). Directional Water Collection on Wetted Spider Silk. *Nature*, 463(7281), 640-643.