



Contribution of biomimicry approach in architecture to circular bioeconomy: An evaluation in the light of examples

Güneş MUTLU AVİNÇ¹, ORCID: 0000-0003-1049-2689
Semra ARSLAN SELÇUK², ORCID: 0000-0002-2128-2858

Abstract

In recent years, circular bioeconomy as a tool that offers solutions to sustainable development problems offers innovative solutions in sustainable design, energy, production of building materials and waste management in the field of architecture, promoting an ecological approach inspired by biological cycles. It is inevitable that this model, which mimics the circularity of natural systems, overlaps with biomimicry, which is a guide to problem solving by learning from systems, strategies and processes in nature. In this context, this article discusses the relationship between the biomimicry approach and the concept of the circular bioeconomy, and evaluates the principles and examples of biomimicry in the context of the circular bioeconomy. It also evaluates the principles of the biomimicry approach in the context of the principles of the circular bioeconomy and identifies the need for the biomimicry approach within the circular bioeconomy model. Furthermore, the contribution of the biomimicry approach in architecture to the circular bioeconomy was examined in the context of examples. In conclusion, it is clear that biomimicry will enable the construction of a circular and sustainable environment that allows exploring the circularity of nature to achieve sustainable designs, products and processes.

Highlights

- Linear economy disturbs the ecological balance.
- Circular economy contributes to sustainable goals.
- The biomimicry approach helps to build a circular and sustainable environment.
- Biomimicry and circular bioeconomy are two complementary concepts in developing sustainable solutions.

Keywords

Circular economy; Circular bioeconomy; Biomimicry; Circular materials; Architecture.

Article Information

Received:

09.04.2023

Received in Revised Form:

23.03.2024

Accepted:

29.04.2024

Available Online:

30.10.2024

Article Category

Review Article

Contact

1. Faculty of Engineering-
Architecture, Muş Alparslan
University, Muş, Türkiye
g.avinc@alparslan.edu.tr

2. Faculty of Architecture, Gazi
University, Ankara, Türkiye
semraselcuk@gazi.edu.tr



Mimaride biyomimikri yaklaşımının dögüsel biyoekonomiye katkısı: Örnekler ışığında bir değerlendirme

Güneş MUTLU AVİNÇ¹, ORCID: 0000-0003-1049-2689
Semra ARSLAN SELÇUK², ORCID: 0000-0002-2128-2858

Öz

Son yıllarda sürdürülebilir kalkınma sorunlarına çözüm sunan bir araç olarak dögüsel biyoekonomi; mimarlık alanında sürdürülebilir tasarım, enerji, yapı malzemeleri üretimi ve atık yönetimi konularında yenilikçi çözümler sunmakta ve biyolojik dögülerden ilham alarak ekolojik bir yaklaşımı desteklemektedir. Doğal sistemlerin dögüsellğine öykünen bu modelin, doğadaki sistem, strateji ve süreçleri öğrenerek problem çözebilenin bir yol göstericisi olan biyomimikri ile örtüşmesi kaçınılmazdır. Bu bağlamda, bu makale kapsamında biyomimikri yaklaşımının dögüsel biyoekonomi kavramı ile olan ilişkisi ele alınmakta ve biyomimikri ilkeleri ve örnekleri, dögüsel biyoekonomi bağlamında değerlendirilmektedir. Ayrıca, biyomimikri yaklaşımının ilkeleri dögüsel biyoekonomi ilkeleri bağlamında değerlendirilerek, dögüsel biyoekonomi modeli içerisinde biyomimikri yaklaşımının gerekliliği ortaya konulmuştur. Bunlara ek olarak mimaride biyomimikri yaklaşımının dögüsel biyoekonomiye katkısı örnekler bağlamında incelenmiştir. Sonuç olarak, biyomimikrinin, sürdürülebilir tasarımlar, ürünler ve süreçler elde etmek için doğanın dögüsellğinin keşfedilmesine olanak sağlayan dögüsel ve sürdürülebilir bir çevrenin inşasını mümkün kılacağı açıktır.

Öne Çıkanlar

- Doğrusal ekonomi ekolojik dengeyi bozmaktadır.
- Dögüsel ekonomi sürdürülebilir hedeflere katkı sunmaktadır.
- Biyomimikri yaklaşımı dögüsel ve sürdürülebilir bir çevrenin inşasına yardımcı olmaktadır.
- Biyomimikri ve dögüsel biyoekonomi, sürdürülebilir çözümler geliştirmede birbirini tamamlayan iki kavramdır.

Anahtar Sözcükler

Dögüsel ekonomi; Dögüsel biyoekonomi; Biyomimikri; Dögüsel malzeme, Mimarlık.

Makale Bilgileri

Alındı:
09.04.2023
Revizyon Kabul Tarihi:
23.03.2024
Kabul Edildi:
29.04.2024
Erişilebilir:
30.10.2024

Makale Kategorisi

Derleme Makalesi

İletişim

- Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi Muş, Türkiye
g.avinc@alparslan.edu.tr
- Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye
semraselcuk@gazi.edu.tr

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Küresel anlamda çevresel değişimin birincil itici gücü olarak yorumlanan Sanayi Devrimi (Tan ve Lamers, 2021) ile gelişen teknoloji, insan eylemlerinin tüketim odaklı olarak evrilmesine neden olmuştur. Son 150 yıl içerisinde endüstriyel ekonomi; ham maddelerden üretilen ürünlerin satıldığı, kullanıldığı ve ardından yakıldığı ya da atık olarak sistemden çıkarıldığı tek yönlü bir üretim ve tüketim modeli ile yürütülmektedir. Doğrusal olarak ilerleyen bu ekonomik model, insan refahını yükseltirken doğal kaynakların hızla tüketimine sebep olmaktadır (Wautelet, 2018). Bununla birlikte, bu doğrusal tüketim modelinin biyolojik çeşitlilikte kayıplara ve küresel iklim değişikliği gibi olumsuzluklara neden olması, doğanın ve insanlığın geleceği için tehlikeli sonuçlara yol açmaktadır (URL-1).

Bu nedenle, doğal kaynakların etkin kullanımının azaltılmasına ve/veya doğal kaynak yerine kullanılabilir alternatiflerin geliştirilmesine başlanmıştır. Öyle ki Birleşmiş Milletler'in belirlediği Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (URL-2) tam da bu sorunla mücadele etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bununla birlikte, gün geçtikçe artan kaynak sıkıntısıyla baş edebilmek için "doğrusal ekonomiye" karşı biyoekonomi ve döngüsel ekonomi kavramları ortaya çıkmıştır (Kurnaz ve Aksan Kurnaz, 2022).

Son yıllarda, dünya genelinde giderek yaygınlaşan döngüsel ekonomi kavramı, dünyanın acil ve ortak sürdürülebilir kalkınma zorluklarına çözüm sunan bir araç olarak artan bir önem kazanmıştır. Bu bağlamda Avrupa Birliği eylem planı olarak döngüsel ekonomi modeli tanıtılmıştır (URL-2). Döngüsel ekonomi kavramı, tasarım gereği atık ve kirliliğin olmaması, ürün ve malzemelerin kullanımda tutulması ve doğal sistemlerin yenilenmesi gibi 2030 gündeminin uygulanmasını hızlandırmak için öneriler sunmaktadır (URL-3). Kavramın temel felsefesi, bir sistemdeki atığın diğerinin girdisi olabilmesi; böylece kaynak verimliliğinin artırılması ve çevresel yükün azaltılmasıdır (Tóth Szita, 2017). Bu söylemler içerisinde ifade edilen ürün sürdürülebilirliği, farklı ekosistemler tarafından sağlanan kaynaklardan ödün vermeden toplumun ihtiyaçlarının karşılanması olarak tanımlanmaktadır (Morelli, 2011). Bununla birlikte döngüsel ekonomi modeli içerisinde endüstriyel ekoloji (Ayres ve Simonis, 1994), beşikten beşiğe teoremi (McDonough ve Braungart, 2010), mavi ekonomi (Pauli, 2010) ve bütün bunların yanında biyomimikri yaklaşımı (Tóth Szita, 2017) gibi kavramlar yer almaktadır.

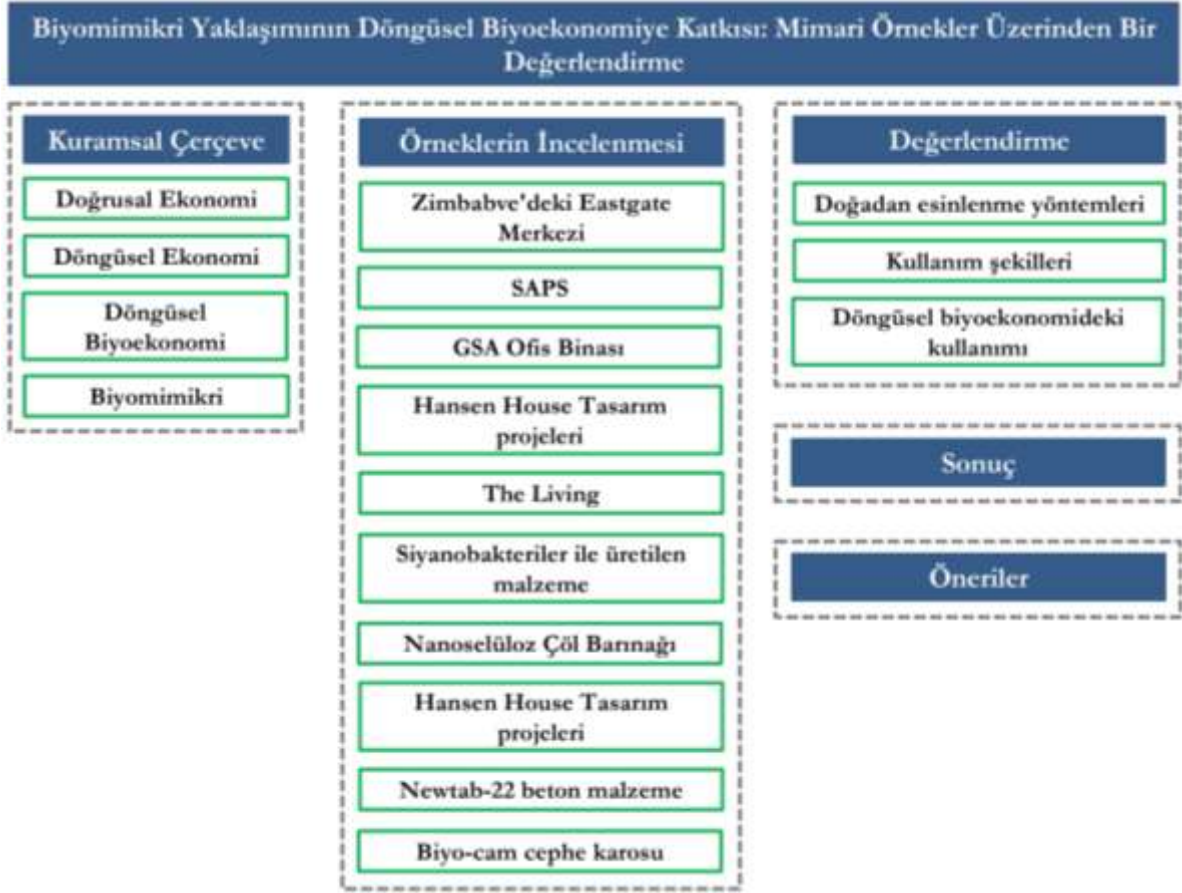
Döngüsel ekonomiyi destekleyen yaklaşımlardan biri olarak belirtilen biyomimikri kavramı; doğal biyolojik organizmaların, sistemlerin ve mekanizmaların farklı alanlardaki problemlerin çözümü için kullanılmasını öneren bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (Lurie-Luke, 2014). Bu çerçevede son dönemlerde araştırmacılar, teknoloji ve biyoloji biliminin katkılarıyla doğada bulunan canlıların işlevlerini ve sistemlerini araştırmaktadır (Arslan, Yıldırım ve Eser, 2021). Öyle ki bu yaklaşım, araştırmacıların doğadan öğrenerek geleceğe yönelik, sürdürülebilir, enerji etkin tasarım, malzeme ve teknolojiler üretmeleri için yol göstermektedir. Örneğin mimarlık alanında Badarnah (2012), bina dış kabuğunun termoregülatif (ısı düzenleme) adaptasyon sürecinde ele alınabilecek biyomimetik prensipleri sunmaktadır. Benzer şekilde Gündoğdu ve Arslan (2020), doğadaki sistemlerden ilham

alınarak tasarlanan çözümlerin, bina cephe sistemlerinde enerji etkinliği sağlamak amacıyla nasıl kullanılabilceğini göstermektedir. Diamanti, Yu ve Lee (2015) ise güncel teknolojik problemlerin doğal sistemler ile nasıl çözülebileceğini, biyomimikri yaklaşımının iklim değişikliğine uyum sürecinde bir araç olarak kullanımını, biyolojiden ilham alan uyarlanabilir yapı tasarımlarını, kendi kendini temizleyen malzemeleri, sürdürülebilir inşaat sektörü için biyomimikri önerilerini ve önde gelen araştırmacıların bu konudaki katkılarını ortaya koymaktadır.

Bu makalenin amacı ise mimarlıkta doğadan esinlenmenin/öğrenmenin sürdürülebilir olmasına dikkat çeken biyomimikri yaklaşımını döngüsel biyoekonomi perspektifi ile incelemektir. Buna ek olarak biyomimikri yaklaşımının döngüsel biyoekonomiye sağlayacağı potansiyel katkıları ortaya koymak hedeflenmiştir. “Biyomimikri yaklaşımının döngüsel biyoekonomiye katkısının neler olduğu” sorusuna dayanan bu çalışma, biyomimikrinin döngüsel biyoekonomi bağlamında sunduğu ya da sunabileceği faydaları örnekler üzerinden ortaya koymaktadır. Buradan hareketle çalışmada ilk olarak araştırmayı bağlamsallaştıran kuramsal çerçeve başlığı içerisinde doğrusal ekonomi, döngüsel ekonomi ve döngüsel biyoekonomi kavramları incelenmiştir. Devamında biyomimikri ilkeleri ve stratejileri açıklanarak mimarlıkta biyomimikri yaklaşımına dair araştırmalar analiz edilmiştir. Bu örnekler; doğal döngüleri ve süreçleri taklit etme, doğal sistemleri yapıyı çevreye entegre etme, biyolojik olarak parçalanabilen malzeme ve atıkların yeniden kullanımı gibi döngüsel biyoekonomiye sağladıkları katkılar bağlamında sınıflandırılmıştır. Son olarak, araştırmanın sonuçları sunulmuş ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışma, mimarlık alanında biyomimikri yaklaşımının döngüsel biyoekonomiye olan potansiyel katkısını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda ilk olarak, teorik çerçeve kapsamında, doğrusal ekonomi, döngüsel ekonomi, döngüsel biyoekonomi ve biyomimikri konularına odaklanılmıştır. Daha sonra doğal döngüleri ve süreçleri taklit etme, doğal sistemleri yapıyı çevreye entegre etme, biyolojik olarak parçalanabilen malzeme ve atıkların yeniden kullanımı kapsamında belirlenen örnekler analiz edilmiştir. Analiz edilen örnekler; doğadan esinlenme yöntemleri, kullanım şekilleri ve döngüsel biyoekonomideki kullanımı kapsamında değerlendirilerek tablo içerisinde sunulmuştur. Çalışmanın sonunda, biyomimikri yaklaşımının döngüsel biyoekonomiye nasıl katkı sağlayabileceği özetlenmiştir. Bu entegrasyonun mimarlık alanında sürdürülebilir tasarımı nasıl teşvik edebileceği üzerine öneriler ortaya konulmuştur. Çalışmanın akış şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Araştırmanın akış şeması

KURAMSAL ÇERÇEVE (THEORETICAL FRAMEWORK)

Doğrusal ekonomi (Linear economy)

Sanayi Devrimi'nden günümüze kadar olan süreçte insanlar, kitlesel üretim ve tüketim kapasitesine ulaşmış; bu durum da büyük miktarda atık oluşumuna neden olmuştur (Ragiel ve Phillips, 2018). Bununla birlikte ekonomik gelişmeyle hızlanan birincil malzemelerin çıkarılmasını, üretimini, tüketimini ve bertaraf edilmesini içeren doğrusal model, atık miktarını artırmıştır (Namlis ve Komilis, 2019, Magazzino vd., 2021). Geleneksel bir sistem olan ve uzun bir süredir uygulanan bu model, sürdürülebilir kalkınmayı desteklememektedir (Ghisellini ve Ulgiati, 2020). Doğrusal ekonomi olarak adlandırılan günümüz ekonomi modeli, al-yap-at (*take-make-dispose*) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2) (MacArthur, 2013: 16). Bu model, ham maddenin çıkarılmasından atık hâline getirilmesine kadar olan süreci ifade etmektedir (URL-4).



Şekil 2. Doğrusal (Lineer) ekonomi modelinin “al, yap, kulan ve at” süreci (URL-5).

Şekil 1’de gösterilen bu doğrusal modelin ilk aşamasında malzemeler çevreden alınmaktadır. Üretim, dağıtım ve kullanım ömürlerinin sonunda atığa dönüşen ve tek bir amaç için tasarlanan bu ürünlerin kullanım ömürleri kısadır (Neves ve Marques, 2022). Bununla birlikte, bu süreç içerisinde ürünün son döngüsü olan atığın geri kazanılması yer almamaktadır. Doğrusal ekonominin başlıca zorlukları; kaynakların tüketilmesi ve azalması, artan atık miktarı ve atık depolama alanı problemi, çevreye verilen zararın artması ve sürdürülebilir kalkınma programlarına katkı sağlamaması olarak belirtilmektedir (Luttenberger, 2020). Bu bağlamda üretim ve tüketimdeki doğrusal yaklaşım, iklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi faktörlerden dolayı ekosistemin bozulmasına sebep olmaktadır (Gedik, 2020). Mimarlık özelinde bakıldığında bir yapının ömrünün; yapı malzemelerinin üretilmesi, inşa süreci, kullanım süresi ve sonunda yıkılması gibi doğrusal bir aşamadan oluştuğu bilinmektedir. Bu nedenle mimari sürecin, doğrusal ekonominin izlediği benzer bir modeli takip ettiği söylenebilir.

Sınırlı kaynak tüketimi, atıkların artması ile çevrenin zarar görmesi, yenilikçi sürdürülebilir ekonomi modelini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda çevresel problemlerin azaltılması ve kaynakların korunması adına doğrusal ekonomiden dögüsel ekonomiye geçiş önem teşkil etmektedir. Mimarlar için bu değişim, bir dizi yeni zorluğu beraberinde getirmekle birlikte yenilikçi yaklaşımların kullanımını da gerektirmektedir (Dokter, Thuvander ve Rahe, 2021).

Dögüsel ekonomi (Circular economy)

Sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeye ve çevresel zorluklarla mücadele etmeye yönelik bir yaklaşım olarak dögüsel ekonomi kavramı, 1970’lerden beri kullanılmaktadır. Mevcut doğrusal ekonomi modelinden dögüsel ekonomiye geçiş son zamanlarda büyük küresel şirketlerin, politika yapımcıların dikkatini çekmekte (Wautelet, 2018) ve endüstriyel kalkınma tartışmalarında artan bir ilgi görmektedir (Korhonen vd., 2018). Bununla birlikte dögüsel ekonomi, sürdürülebilirlik alanında yapılan en etkili ve en güncel girişimlerden biri olarak yorumlanmaktadır (Lewandowski, 2016). Sürdürülebilir bir gelecek sağlamak adına dögüsel ekonomi modeli temel bir koşul olarak görülmektedir (Neves ve Marques, 2022).

Azalt, yeniden kullan ve geri dönüştür şeklinde yönetilen bu yeni paradigmada mevcut kaynakların ve malzemelerin kullanım ömrü uzatılarak birincil kaynak tüketiminin en aza indirilmesi hedeflenmektedir (Neves ve Marques, 2022). Malzemeler, kullanımını sona erdiğinde faydalı bir döngüye, dolayısıyla dögüsel ekonomiye geri dönmektedir (URL-6). Dögüsel ekonominin kilit noktası, ürünlerin işlevlerini yerine getirmediği durumlarda kaynakların ekonomi içinde tutularak

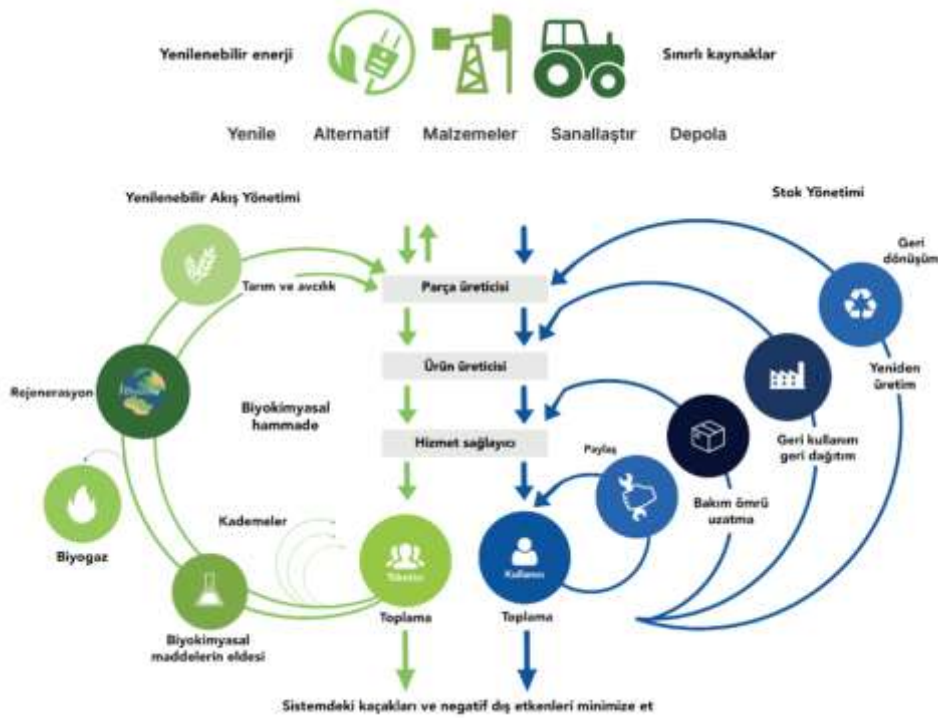
yeniden kullanılabilmesidir (Di Maio vd., 2017). Bunun gerçekleştirilmesi ile biyolojik çeşitlilik kaybı, iklim değişikliği, kirlilik ve atık gibi küresel zorlukların üstesinden gelen bir sisteme geçiş mümkün olacaktır (URL-7).

Bu model, biyolojik süreçler gibi ham maddenin onarılarak, yeniden kullanılarak ve/veya geri dönüştürülerek faydalı hâle gelmesi için süreci en baştan düşünmeyi önermektedir (URL-8). Döngüsel ekonomi; azalt, yeniden kullan, geri dönüştür ve geri kazan (*reduce, reuse, recycle, and recovery*) olarak bilinen 4R çerçevesi olarak da yorumlanmaktadır (Şekil 3) (Lieder ve Rashid, 2016).



Şekil 3. Döngüsel ekonomi süreci (URL-9)

Ellen MacArthur Vakfı, Kelebek diyagramı olarak bilinen döngüsel ekonomi sistem diyagramını teknik döngü ve biyolojik döngü olmak üzere iki ana döngü olarak tanımlamaktadır. Teknik döngü içerisinde ürün ve malzemeler onarım, yeniden üretim, geri dönüşüm ve yeniden kullanım gibi süreçlerle dolaşımda tutulmaktadır. Biyolojik döngü içerisinde ise biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerden elde edilen ürünler, doğayı yenilemek için doğaya geri gönderilmektedir (Şekil 4) (URL-10).



Şekil 4. EMAFA Kelebek diyagramı ile döngüsel ekonominin görselleştirilmesi (URL-9)

Yine Ellen MacArthur Vakfı (URL-7), döngüsel ekonomi modelini üç temel ilkeye dayandırmaktadır. Bunlar, atıkların ve kirliliğin ortadan kaldırılması, ürünlerin ve malzemelerin dolaşımı ve doğanın yeniden canlandırılması olarak sıralanmaktadır. Murray vd. (2016) ise döngüsel ekonominin temel fikirlerinden birinin, biyolojik süreçleri teknolojik sistemler aracılığıyla “taklit etmek” olduğunu belirtmektedir (Aktaran Leipold ve Petit-Boix, 2018). Bu bağlamda döngüsel ekonomi; biyolojik ürünlerin ve enerji, malzeme ve kimyasallara yönelik süreçlerin icadı, bunların geliştirilmesi, üretimi ve kullanımı ile ilgili ekonomik faaliyetleri içeren bir kavram olan biyoekonomi ile tamamlanabilmektedir (Tan ve Lamers, 2021; URL-12). Bu çerçevede döngüsel biyoekonomi kavramından da bahsetmek önem teşkil etmektedir.

Döngüsel Biyoekonomi (Circular Bioeconomy)

Döngüsel ekonomiye benzer şekilde biyoekonomi de ekolojik, sosyal, sürdürülebilir bir alan olarak öne çıkmaktadır (Aguilar ve diğerleri, 2019; Giampietro, 2019; Gawel vd., 2019). Biyoekonomi kavramı, sürdürülebilir bir ekonomik sistem çerçevesinde tüm ekonomik sektörlerde ürün, süreç ve hizmetler sağlamak amacıyla biyolojik kaynakların bilgiye dayalı üretimi ve kullanımı olarak tanımlanmaktadır (Efken vd., 2016; URL-13). Döngüsel biyoekonomi, gücünü doğadan alan ve yenilenebilir doğal sermayenin kullanımını vurgulayan bir ekonomidir (URL-14). Bununla birlikte, Avrupa Komisyonu'na (URL-15) göre biyoekonomi; gıda, malzeme ve enerji üretmek için ekinler, ormanlar, balıklar, hayvanlar ve mikroorganizmalar gibi karadan ve denizden yenilenebilir biyolojik kaynakların kullanılmasını önermektedir.

Döngüsel ve biyoekonomi kavramlarının birleşiminden oluşan döngüsel biyoekonomi yaklaşımı, dayanıklı ekosistemler ile biyolojik kaynakların sürdürülebilir şekilde yönetilmesini ve biyoçeşitliliğin

korunmasını hedeflemektedir (Tan ve Lamers, 2021; Kurnaz ve Aksan Kurnaz, 2022; D'Amato vd., 2018; Muscat vd., 2021). Yenilenebilir ve biyolojik kaynaklar, döngüsel biyoekonomi merkezinde yer almaktadır (URL-16). Bu model, döngüsel ekonomide olduğu gibi ürün ve atıkların döngüsel bir şekilde geri dönüştürülmesini ve yeniden kullanılmasını öne çıkarmakta ve sürdürülebilirliği önemsemektedir.

Döngüsel biyoekonomi ve döngüsel ekonomi ifadeleri, küçük farklılıklar içeren benzer kavramları ifade etmektedir. İki terim de genel olarak ekonominin, malzemelerin ve kaynakların daha etkili ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına odaklanan bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bunun yanında döngüsel biyoekonomi terimi, özellikle biyolojik kaynakların kullanımını vurgulamakta ve biyoçeşitliliği destekleme amacı taşımaktadır. Döngüsel biyoekonomi, biyoloji kaynaklarının kullanımını vurguladığı ve biyosüreçleri önemseydiği için biyomimikri ile bağlantılıdır. Bu bağlamda makalede bu kavram, biyomimikri ve mimarlık ilişkisini incelemek amacıyla tercih edilmiştir. Buradan hareketle çalışma kapsamında, döngüsel biyoekonomi ve biyomimikri yaklaşımının birbirini nasıl geliştirebileceğini ve besleyebileceğini ortaya koymak adına biyomimikri yaklaşımına ve ilkelerine değinilmektedir.

Biyomimikri Yaklaşımı ve İlkeleri (Biomimicry Approach and Principles)

Biyomimikri terimi, ilk olarak 1962'de bilimsel literatürde hem sibernetik hem de biyonik kavramlarını içeren genel bir terim olarak yer almıştır (Bensaude-Vincent vd., 2002). Biyomimikri teriminden önce, ilk olarak 1950'lerde Otto Schmitt tarafından kullanılan biyomimetik ve 1960'ta Jack Steele tarafından önerilen biyonik (*bionics*) terimleri kullanılmıştır (Vincent vd., 2006). Biyomimikri (*biomimicry*) terimi, 1997'de Biyomimikri: Doğadan Esinlenen Yenilik (*Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*) adlı bir kitapla popüler hâle gelmiş ve literatürdeki kullanımını yaygınlaştırmıştır. Yeni ufuklar açan bu yayın, biyomimikri kavramını sağlamlaştırarak ve sürdürülebilirliğe odaklandığını vurgulayarak kavramın paralel gelişen uygulamalardan ayrılmasına öncülük etmiştir (MacKinnon vd., 2020).

Biyomimikri, insanlığın baş etmek zorunda olduğu problemleri çözmek üzere doğada bulunan stratejileri öğrenen ve bunları taklit eden bir uygulamadır. Bu yaklaşımın temel amacı, tasarım problemlerini sürdürülebilir bir şekilde ve dünyadaki tüm yaşamla iş birliği içerisinde çözen sistemler, süreçler ve ürünler geliştirmektir (URL-17). Michael Pawly (2019) biyomimikriyi, biyolojideki fonksiyonel problemlerin çözülme şekline ilham alan tasarım olarak tanımlamaktadır. Sonuç olarak biyomimikri, doğanın verimli tasarım çözümlerini kullanma sürecini ifade etmektedir (Wadia ve McAdams, 2010).

Benyus (2002:8), doğadan öğrenilecek temel yasaları, stratejileri ve ilkeleri 9 madde olarak sıralamaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Doğadan öğrenilecek temel yasalar, stratejiler ve ilkeler (URL-18)

Doğa güneş ışığı ile çalışır.	Doğa, ana enerji kaynağı olarak güneş ışığını kullanır. Organizmalar bu bitmeyen kaynaktan ısı ve UV radyasyonu kullanır.
Doğa sadece ihtiyacı olan enerjiyi kullanır.	Doğa sadece ihtiyacı kadarını alır.
Doğa, formu fonksiyona uydurur.	Bir ağaç topraktan su ve besin çekmek için toprağa kök salar, dallarını ve yapraklarını geniş açarak yüzey alanını arttırır, güneş ışığını emerek enerji üretir ve büyür. Tohumlar hafiftir ve hatta bazıları havada yüzebilmeleri için bir tür şemsiye ile donatılmıştır. Doğa, sağladığı işleve göre tasarımlar yaratır.
Doğa her şeyi geri dönüştürür.	Doğada üretilen her şey biyolojik olarak parçalanabilir, doğada atık yoktur. Bir çam kozalağı, doğal yaşamı gelip geçtikten sonra, yeni bir amaca dönüştürülen temel öğelere ayrılır.
Doğa iş birliğini ödüllendirir.	Uğur böcekleri, yaprak bitleriyle beslenir ve bitkilerin sağlıklı kalmasına yardımcı olur. Doğa, tüm sistemin sağlığını koruduğu için iş birliğinden yanadır.
Doğa çeşitliliğe güvenir.	Bitkiler, tohum yaymak veya avcılara karşı savunmak için birkaç farklı strateji kullanır.
Doğa yerel uzmanlık ister.	Doğanın sistemleri, doğası gereği yereldir. Belirli türler, belirli koşullar altında gelişir. Yerel ve bölgesel hava modelleri; toprak, hava kalitesi ve su sıcaklığı gibi diğer koşullar gibi önemlidir.
Doğa atık üretmez.	Tüm biyotik ve çevresel kompleksin sürekli etkileşimi nedeniyle doğa da bir denge içerisindedir.
Doğa sınırların gücünden faydalanır.	Tüm canlılar sınırlamalar tarafından yönetilir; yaş, iklim, nüfus yoğunluğu ve diğer birçok faktör, türlerin ve sistemlerin nasıl geliştiğini belirler.

Görüldüğü gibi biyomimikri, doğal sistemlerden öğrenerek döngüsel değişimin hızlandırılmasına ve gezegen için sürdürülebilir ürün ve hizmetler üretilmesine yardımcı olmaktadır (URL-19). Bu bağlamda, doğal sistemlerin zekâsı ve etkinliği üzerine inşa edilen biyomimikri; ürünlerin, süreçlerin ve sistemlerin tamamen döngüsel ve sıfır atık olmasını sağlayarak ekoloji ve teknoloji arasındaki boşluğu doldurmaktadır. Dolayısıyla biyomimikri ile döngüsel biyoekonomi arasındaki en belirgin bağlantı, doğada atık olmadığını kabul edilmesidir. Biyomimikri, döngüsel sürece geçiş için önemli çözümler sunmaktadır. Böylece, doğadaki kapalı döngü sistemleri taklit edilerek ekonomik, ekolojik ve çevresel sorunlar giderilebilmektedir (Wadhvani, 2022). Özetle döngüsel biyoekonomi ve biyomimikri kavramlarının her ikisi de doğal sistemleri, süreçleri taklit ederek yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler üretmeyi hedeflemektedir.

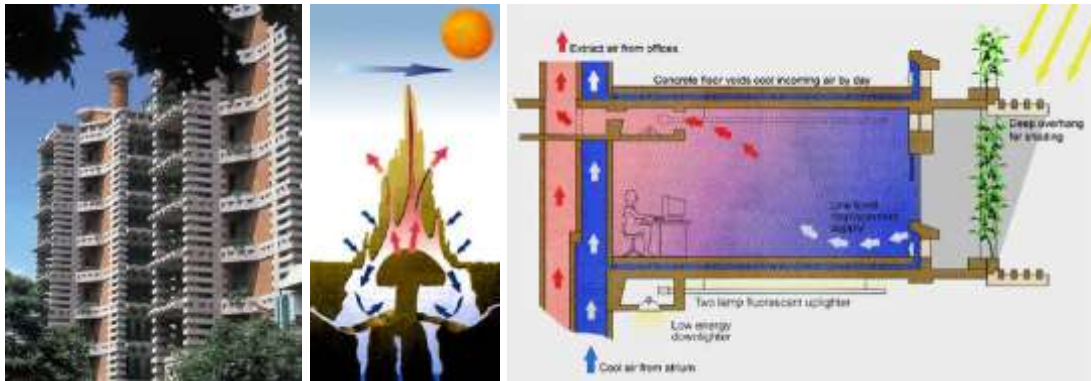
MİMARİDE KULLANILAN BİYOMİMİKRI YAKLAŞIMININ DÖNGÜSEL BİYOEKONOMİYE KATKISI (CONTRIBUTION OF BIOMIMICRY APPROACH USED IN ARCHITECTURE TO CIRCULAR BIOECONOMY)

Yapay ve doğal süreçler arasındaki temel fark, doğal süreçlerin dairesel, yapay (insan yapımı) süreçlerin ise doğrusal bir yapıda olmasıdır. Atık, doğada bir döngü içerisinde tekrar gıdaya dönüşürken yapay çevrede genellikle çöpe dönüşmekte ve kirliliğe yol açmaktadır. Bu bağlamda döngüsel biyoekonomi, malzemeleri yeniden kullanmayı ve sürdürülebilirliği önemseyen bir model olarak doğal süreçlere benzer bir yaklaşımı incelemektedir. Buradan hareketle makale kapsamında,

döngüsel biyoekonomi ve doğayı model/ölçü/akıl hocası alan biyomimikri yaklaşımı, birbirini destekleyen iki süreç olarak düşünülmüştür. Bunların yanında yapı çevrenin doğaya verdiği tahribatlar düşünüldüğünde mimari tasarımda biyomimikri yaklaşımının kullanılması, sürdürülebilir bir ekonomik sistem kurmayı hedefleyen döngüsel biyoekonomiye önemli katkılar sağlayacaktır. Bu çerçevede, biyomimikri yaklaşımının döngüsel biyoekonomi perspektifinden incelenmesi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için faydalı sonuçlar geliştirmeye yardımcı olacaktır. Araştırmanın bu bölümünde biyomimikrinin döngüsel biyoekonomiye sağladığı/sağlayacağı katkılar örnekler ışığında incelenmiştir. Bu örnekler; doğal döngüleri ve süreçleri taklit etme, doğal sistemleri yapı çevreye entegre etme, biyolojik olarak parçalanabilen malzeme kullanımı, atıkların yeniden kullanımı başlıkları altında sunulmuştur.

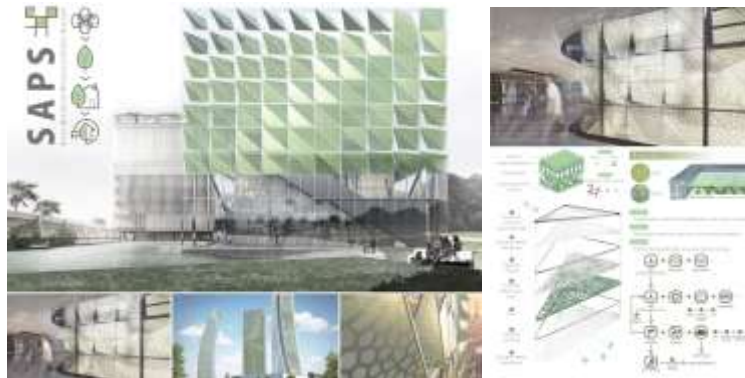
Doğal döngüleri ve süreçleri taklit etme (Mimicking natural cycles and processes)

Doğada var olan organizmaların, sistemlerin ve ekosistemlerin tasarım prensiplerinin incelenmesi ve uygulanması ile atık üretimi azaltılabilir. Örneğin, termit yuvaları gibi doğal yapıların incelenmesinin, enerji tasarrufu sağlayan pasif iklimlendirme sistemleri tasarlamada etkili olduğu Zimbabwe'deki Eastgate Centre (URL-20) binası ile görülebilmektedir. Bu binada kullanılan sistem, kaynak kullanımını azaltarak döngüsel ekonomiye katkı sağlamaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Zimbabwe'deki Eastgate Binası (URL-20)

Doğal süreçleri taklit ederek tasarlanan bir başka çalışma, küresel bir mimarlık yarışması olan *The Annual Architecture MasterPrize* tarafından birinci olarak seçilen SAPS (*Semi-Artificial Photosynthesis System*) projesidir (Şekil 6) (URL-21).



Şekil 6. SAPS tasarım görselleri (URL-21)

SAPS projesi içerisinde, yarı yapay fotosentez oluşturmak için bitki, yaprak, gövde ve köklerinin çalışma ilkeleri taklit edilmektedir. Köklerin çalışma prensibi, bina içerisine su iletim sistemi olarak aktarılmıştır. Bu yapay fotosentez sisteminde bitkilerin köklerinin, gövdelerinin, damarlarının ve yaprak dokularının 3D baskı ile üretilmesi planlanmıştır (URL-21).

Doğal sistemleri yapıyı çevreye entegre etme (Integrating natural systems into the built environment)

Biyomimikri yaklaşımının döngüsel biyoekonomiye bir diğer katkısı, sürdürülebilir çözümler oluşturmak için doğal sistemlerin yapıyı çevreye entegre edilmesidir. Örneğin alglerin binaya cephe elemanı olarak entegre edilmesi, enerji tasarrufu sağlayarak fosil yakıt tüketimini ve atık üretimini azaltabilmektedir. Bu bağlamda bitki bazlı bir biyokütle olarak mikroalgler, CO_2 'i emme, atık suyu geri dönüştürme ve O_2 salma potansiyelleriyle diğer yenilenebilir kaynaklardan daha iyi performans gösterebilmektedir (Elrayies, 2018).

HOK ve Vanderweil, Biyomimikri Grubu (URL-22) ile iş birliği yaparak Los Angeles şehir merkezindeki Federal Ofis Binasını (*General Services Administration-GSA*) sıfır enerjili yapmak için mikroalg fotobiyoreaktör kullanımını önermektedir. Buna göre GSA binasının dış kabuğu boru biçimli fotobiyoreaktörlerden oluşan modüler bir ağ ile kaplanmaktadır. Fotobiyoreaktörler güneş ışığını yakalamakta, CO_2 'i absorbe ederek O_2 'i serbest bırakmaktadır. Aynı zamanda fotobiyoreaktörler hem enerji üretmekte hem de iç mekânlara gölgeleme sağlamaktadır. Bu projede, doğanın tasarıma dâhil edilmesi yeni bir düzeye taşınmaktadır (Şekil 7) (Bernard, 2011).



Şekil 7. GSA Ofis Binası, Los Angeles, 1960 (URL-22)

Cephede mikroalglerin kullanımıyla ilgili bu fırsatlar, ekosistem tabanlı bir ekonomik modelin oluşturulmasına katkıda bulunarak çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmektedir.

Biyolojik olarak parçalanabilen malzeme kullanımı (Use of biodegradable materials)

Mimarlık ve inşaat sektöründe, sadece çevreye değil, aynı zamanda insanların yaşam kalitesine de olumlu katkıda bulunan çözümler araştırılmaktadır. Bu sektörde yürütülen araştırmalar, binalarda enerji verimliliğini arttırmanın yanı sıra CO_2 oranını da azaltacak, çevreye uyumlu ürünler ve uygulamalar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu amaçla yaşam döngüleri süresince enerji akış ilkelerini ve döngüsel ekonomiyi izleyen yenilikçi ekolojik yapı malzemelerinin araştırılması, tasarlanması ve

uygulanması çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmaların odak noktası, geri dönüştürülebilir özellikleriyle öne çıkan ekolojik malzemelerdir. Bu malzemeler, doğadan elde edilerek üretilmekte ve ömrü tükendiğinde geri dönüştürülerek tekrar kullanıma dâhil edilmektedir. Bu sayede, sürdürülebilir bir gelecek için atık üretimini en aza indirmek ve doğal kaynak kullanımını azaltmak amaçlanmaktadır.

Gayrimenkul alanında ekolojik yeniliği destekleyen bir şirket olan Rogovin tarafından desteklenen ve Hansen House arazisinde sunulan açık hava performatif laboratuvar alanında özel yapım bir robotik kol ile toprak ve tohum karışımı kullanılarak küçük yapılar inşa edilmektedir. Bu projede, beton ve çelikten yapılmış binalar yerine yapısal eleman olarak yerel toprak ve kökleri kullanan bir mimari önerilmektedir (Şekil 8) (Jason, 2022).



Şekil 8. Hansen House Tasarım projeleri, Kudüs Tasarım Haftası 2022 (Jason, 2022)

3D baskı teknolojisi ile tohum ve ham toprak kullanımını birleştirmenin yanı sıra inşaat sürecinde miselyum kullanma olasılığı da son yıllarda potansiyel bir yapı malzemesi olarak araştırılmaktadır. Miselyum, gelecekteki evler için yapı taşları olarak kullanılacak endüstriyel düzeyde dayanıklılığa sahip, organik, kompostlanabilir ve biyolojik olarak parçalanabilen doğal bir mantar malzemesidir (Jason, 2022). Mimaride miselyum kullanımı araştırmalarına bir örnek olarak Hy-Fi projesi ile fiziksel bir ortam ve sürdürülebilir mimari için yeni bir paradigma sunmaktadır (Şekil 9) (URL-23).



Şekil 9. The Living, 2014 MoMA PS1 Genç Mimarlar Programı Hy-Fi tasarımı (URL-24)

Bir başka çalışmada ise siyanobakterileri canlı tutarak inşaat malzemeleri üretilmiştir. Siyanobakteriler, güneş ışığını büyümek için kullanmakta ve doğru koşullarda üretildiğinde biyoçimento oluşturmaktadır (Şekil 10) (Srubar, 2020).



Şekil 10. Siyanobakteriler (*cyanobacteria*) ile üretilen kafes kiriş ve tuğla (Srubar, 2020)

Benzer şekilde bir doğal malzeme olan nanoselüloz, son yıllarda hem bilimin hem de endüstrinin odak noktasıdır. Bu bağlamda NCA Architects, bina yapımında nanoselülözün potansiyelini araştırmaktadır (URL-25). 2016 Venedik Bienali için İsrail Pavyonu'nda sergilenen ve nanoselülözü bir laboratuvarında sentezlemek için Prof. Oded Shosayov tarafından geliştirilen bir yöntem kullanan NCA Architects, çöl sakinleri için soğutma, aydınlatma ve içme suyu için yenilenebilir enerji sağlayan modern ve sürdürülebilir bir çöl barınağı tasarlamıştır (URL-26). Negev Çölü'ndeki Bedevi topluluğu için bir eğitim ve kültür merkezi tasarımı olarak planlanan Nanoselüloz Çöl Barınağı projesinde, geri dönüştürülmüş doğal liflerden oluşan son teknoloji bir malzemenin mimari potansiyeli araştırılmaktadır. Tamamen nanoselülözden üretilmiş bu yapı, biyolojik olarak parçalanarak, çevreye olumsuz bir etki bırakmadan doğal döngüsünü sonlandırmaktadır (Şekil 11) (URL-27).



Şekil 11. Nanoselüloz Çöl Barınağı, NCArchitects, 2016 (URL-26)

Atıkların yeniden kullanımı (Reuse of Waste)

Biyomimikri yaklaşımı, doğada var olan organizmaların ve ekosistemlerin tasarım prensiplerinin incelenmesi ve uygulanması ile atıkların yeniden kullanımını sağlamaktadır. Örneğin, kabuklu deniz hayvanlarının kabuklarının kullanılması ile malzeme üretimi üzerine pek çok araştırma yürütülmektedir (Şekil 12) (Silva vd., 2019; URL-28; Crook, 2020; Englefield, 2023).



Şekil 12. Newtab-22 beton malzeme (Crook, 2020); CERMAT/UFSC yapay taş (Silva vd., 2019); binalar için dış cephe kaplama malzemesi (URL-29)

Bu çerçevede Londra mimarlık stüdyosu Bureau de Change, sanatçı Lulu Harrison tarafından midye kabuklarından elde edilen bir biyomalzeme olan Thames Glass'ı kullanarak bir dizi desenli karo üretmiştir. Harrison, biyo-camı yerel kum ve atık odun külü ile bataklık midyelerinin öğütülmüş kabuklarını kullanarak elde etmiştir. Quagga midye kabukları, camı güçlendirmek için dengeleyici olarak kullanılmıştır (Frearson, 2022). Cam cephe karosu olarak kullanılması planlanan biyomalzeme, tamamen el yapımı olup her bir kaplama karosu kendi dokusu ve rengiyle farklı bir görünüme sahiptir (Şekil 13) (Bahadursingh, 2022).



Şekil 13. Midye kabuklarından yapılan biyo-cam cephe karosu (Bahadursingh, 2022)

Bir başka çalışmada, Carvey Ehren Maigue, atık mahsullerin ultraviyole ışıktan temiz enerji üretebilen kaplamaya dönüştürüldüğü AuReus sistemiyle “Küresel Sürdürülebilirlik Ödülünü” kazanmıştır. Geleneksel güneş panellerinin aksine yarı saydam AuReus malzemesi, bulutlardan geçen görünmez UV ışınlarından güç toplamaktadır. AuReus, pencerelere veya cephelere bir tür floresan kaplama olarak uygulandığında, kaldırımlardan ve çevredeki yüzeylerden seken UV ışınlarını yakalayıp tüm binaları dikey güneş tarlalarına dönüştürmektedir. Bununla birlikte AuReus, atık meyve ve sebzelerden elde edilen Biyoluminesans parçacıkları ile üretilmektedir (Şekil 14) (Hahn, 2020).



Şekil 14. Atık mahsullerden AuREUS (Evli, 2021); cephe üzerinde AuREUS (URL-30)

Buraya kadar ele alınan örneklerden yola çıkılarak, döngüsel bioekonomi modeline biyomimikri yaklaşımının entegre edilmesiyle sürdürülebilir inovasyonların elde edilebileceği söylenebilir. Bu çerçevede biyomimikri, sürdürülebilir malzeme çalışmalarına önemli katkılar sunacaktır.

DEĞERLENDİRME (EVALUATION)

Çalışma kapsamında incelenen örnekler; doğadan esinlenme yöntemleri, mimaride kullanım şekilleri ve döngüsel biyoekonomideki kullanımı bağlamında Tablo 2 içerisinde değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Biyomimikri yaklaşımının kullanıldığı örneklerin kriterler bağlamında değerlendirilmesi

Proje Adı	Görsel	Doğadan esinlenme yöntemleri	Mimaride kullanım şekilleri	Döngüsel biyoekonomideki kullanımı
Eastgate Centre		Termit yuvalarının doğal döngülerinin ve süreçlerinin taklit edilmesi	Yerel doğal malzeme kullanımı	Sürdürülebilirliğe katkı hedeflenmiştir.
SAPS		Yarı yapay fotosentez için bitki yaprak, gövde ve köklerinin taklit edilmesi	Yapay hücreler içeren giydirme cephe malzemesi	Sürdürülebilirliğe katkı hedeflenmiştir.
GSA Ofis Binası		Fotobiyoreaktörlerin mimari tasarım sürecine dâhil edilmesi	Fotobiyoreaktörlerle dolu tüplerden oluşan cephe malzemesi	Biyolojik olarak parçalanabilen döngüsel bir sürece sahiptir.
Hansen House		Doğal döngüsel süreç, doğal malzeme kullanımı	Toprak ve tohum ile mimari tasarım araştırmaları	Biyolojik olarak parçalanabilen döngüsel bir sürece sahiptir.
Hy-Fi		Doğal döngüsel süreç, doğal malzeme kullanımı	Miselyum tuğla	Biyolojik olarak parçalanabilen döngüsel bir sürece sahiptir.
Kafes kiriş ve tuğla		Doğal döngüsel süreç, doğal malzeme kullanımı	Kafes kiriş, tuğla ve biyoçimento malzemesi	Biyolojik olarak parçalanabilen döngüsel bir süreç ile geri dönüştürülebilir.
Nanoselüloz Çöl Barınağı projesi		Doğal döngüsel süreç, doğal malzeme kullanımı	Biyolojik olarak parçalanabilen nanoselüloz malzeme tasarımı	Geri dönüştürülmüş doğal liflerden oluşan nanoselüloz döngüsel bir sürece sahiptir.
Newtab-22 beton malzeme		Doğal döngüsel süreç, doğal malzeme kullanımı	Geri dönüştürülebilir ve sürdürülebilir cephe kaplama malzemesi	Atık deniz kabuklarından üretilmiştir. Döngüsel bir süreç ile tekrar geri dönüştürülebilir.
Biyo-cam cephe karosu		Doğal döngüsel süreç, doğal malzeme kullanımı	Doğa dostu, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir bir kaplama malzemesi	Midye kabuklarından üretilmiştir. Döngüsel bir sürece sahiptir.
AuREUS		Kuzey ışıklarına güç sağlayan fizikten esinlenerek tasarlanmıştır.	Flüoresan kaplama malzemesi	Atık meyve ve sebzelerden üretilmiştir.

Değerlendirme sonuçları, biyomimikri ve dögüsel biyoekonomi yaklaşımlarının birbirini desteklediğini ve sürdürülebilir kaynak yönetimi açısından önemli birer model olarak öne çıktığını göstermektedir. İncelenen biyomimikri örneklerinde biyolojik kaynakların etkili ve sürdürülebilir kullanımının vurgulanması, doğadan ilham alarak tasarımın güçlendirilmesine yönelik bir anlayışı ortaya koymaktadır. Bu anlayış, aynı zamanda dögüsel biyoekonomi prensipleri ile örtüşmektedir. İncelenen biyomimikri örneklerinde doğal atıkların, yenilikçi ve sürdürülebilir malzeme tasarımları için kullanılması göze çarpmaktadır. Bu durum, atık dögüsellığı ilkesinin biyoekonomi kapsamında ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Biyoekonomi, atıkların ekonomi içinde bir kaynak olarak kullanılmasını teşvik etmektedir. Bununla birlikte biyomimikri de doğanın atıkları nasıl etkili bir şekilde kullanabildiğini incelemekte ve bu bilgileri tasarım süreçlerine entegre etmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda dögüsel biyoekonomi ve biyomimikri, sürdürülebilir kaynak verimliliği ve çevresel fayda sağlama konularında birbirini tamamlayan iki önemli yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Her iki model de doğadan öğrenmeyi ve doğal dögüleri taklit etmeyi esas alarak gelecek nesiller için daha sürdürülebilir bir ekonomik paradigma oluşturmaya yönelik benzer hedeflere hizmet etmektedir.

Mimarlık disiplini, sürdürülebilirlik ilkelerini benimseyerek dögüsel ekonomide önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda kaynak verimliliğine ve malzeme tüketiminin en aza indirilmesine katkı sağlamak amacıyla dayanıklı, geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Mimarlık alanında bu ilkeleri benimseyen tasarımlar, malzemelerin geri dönüşümünü ve yeniden kullanımını teşvik ederek kaynak tüketimini ve atık oluşumunu azaltabilir.

Tasarım aşamasında inşaat malzemelerinin tüm yaşam dögüsünün dikkate alınması, çevresel etkilerin en aza indirilmesine yardımcı olabilir ve dögüsel süreci destekleyebilir. Bu, planlama sürecinde adaptasyon ve esneklik kriterleriyle birlikte yıkım yerine yeniden kullanım veya yenileme gibi seçeneklere olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, binaların kullanım süresini uzatarak ve yeni inşaat ihtiyacını azaltarak kaynakların korunmasına katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte prefabrikasyon ve modüler tasarım gibi modern üretim ve inşaat yöntemlerinin kullanılmasını, bina bileşenlerinin sökülüp yeniden takılmasını mümkün kılmaktadır. Bu durum, sadece inşaat atıklarını azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda dögüsel ekonomi ilkelerini de desteklemektedir. Genel olarak mimarlık ve dögüsel ekonomi arasındaki bu ilişki, bir binanın tüm yaşam dögüsü boyunca sürdürülebilirliği ön planda tutmayı, tüketimi azaltmayı ve kaynakların verimli kullanımını teşvik etmeyi içermektedir. Bu sayede mimarlık disiplini, gelecek nesiller için daha sürdürülebilir bir çevre oluşturmaya yönelik önemli bir rol oynamaktadır.

SONUÇ (CONCLUSION)

Biyomimikri ve dögüsel biyoekonomi, sürdürülebilir çözümler geliştirmede birbirini tamamlayan iki kavram olarak öne çıkmaktadır. Biyomimikri, sürdürülebilir çözümler geliştirmek için doğanın tasarımını taklit ederken dögüsel biyoekonomi, atıkları azaltmak ve kaynakları verimli kullanmak için biyolojik kaynakları, atıkları, doğanın dögüsellığını ve sistem düşüncesini kullanmaktadır. Bu iki kavram; atıkların geri dönüşümü, azaltılması, yeniden kullanımı ve doğal kaynakların verimli kullanımı yoluyla dögüsel biyoekonomiye katkıda bulunmak için mimari tasarımda birleştirilebilir.

potansiyeli taşımaktadır. Bu çerçevede, biyomimikri ve dögüsel ekonomi prensipleri birleştirilerek, bütünsel bir yaklaşım ile sürdürülebilir ve çevresel açıdan bilinçli uygulamalar geliştirilebilir.

Biyomimikri ve dögüsel biyoekonomi, doğal kaynakların daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu iki yaklaşımın birleştirilmesi, gelecekte daha sürdürülebilir, yenilikçi ve çevre dostu ürünlerin ve iş modellerinin geliştirilmesine olanak tanıyabilir. Biyomimikri yaklaşımı, malzeme döngüsünün doğal süreçlerini taklit eden ve atık oluşumunu en aza indiren sürdürülebilir çözümler oluşturmak için doğal sistemleri ilham kaynağı olarak kullanmaktadır. Bu yaklaşım ile biyolojik olarak parçalanabilen malzemeler ve doğal sistemler yapıllı çevreye entegre edilerek dögüsel biyoekonomiye katkı sağlanmaktadır.

ÖNERİLER (FUTURE REMARKS)

Günümüzde, sonsuz ihtiyaçlar karşısında kısıtlı kaynakların farkındalığıyla birlikte sürdürülebilir üretim ve tüketimi desteklemek, doğal kaynakları korumak ve çevre dostu yönetim uygulamalarını benimsemek önem kazanmaktadır. Bu bağlamda doğrusal ekonomi modelinden dögüsel ekonomi modeline geçiş, çevresel etkilerin önemli ölçüde azaltılmasına yönelik kritik bir adımdır. Bu çerçevede mimarlar, tasarım, üretim, kullanım ve atık aşamalarını bir bütün olarak düşünmelidirler. Mimari tasarım sürecinin her aşamasında kullanılacak olan ürünlerde biyo ve sürdürülebilir malzemelerin kullanılması, dögüsel ürün sürecinin başlamasına önemli katkı sağlayacaktır.

Bununla birlikte yapıllı çevrelerde kullanılan malzemelerin geri dönüşümleri için fikir geliştirilmesi ve bu yönde tesislerin kurulması teşvik edilebilir. Buna ek olarak mimarlıkta dögüsel ekonominin prensipleri ile biyomimikri yaklaşımının birlikte kullanımı konusunda farkındalık oluşturmak amacıyla eğitimler düzenlenebilir. Son olarak Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yapıllı çevre için dögüsel ekonomiyi teşvik eden politikaların geliştirilip uygulanması, inşaat şirketlerinin ve mimarların bu prensiplere uygun davranmalarını destekleyebilir.

Mimarlık eğitiminde dögüsel malzeme süreci, ekonomi ve biyomimikri konuları ele alınarak bu konularda öneriler geliştirilebilir. Dögüsel biyoekonomi kapsamında sürdürülebilir üretim ve tüketimin inşaat sektörüne entegre edilmesi üzerine çalışmalar yürütülebilir. Bunun yanında biyomimikri yaklaşımı kullanılarak doğal ve evsel atıkların yeniden kullanıldığı, geri dönüştürülebilir malzemeler tasarlanabilir.

Acknowledgements | Teşekkür Beyanı

Makalemizi incelemek için zaman ayıran ve bize değerli eleştirilerini ileten tüm hakemlere teşekkür ederiz.

Conflict of Interest Statement | Çıkar Çatışması Beyanı

Araştırmanın yürütülmesi ve/veya makalenin hazırlanması hususunda herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

There is no conflict of interest for conducting the research and/or for the preparation of the article.

Financial Statement | Finansman Beyanı

Bu araştırmanın yürütülmesi ve/veya makalenin hazırlanması için herhangi bir mali destek alınmamıştır.

No financial support has been received for conducting the research and/or for the preparation of the article.

Ethical Statement | Etik Beyanı

Araştırma etik standartlara uygun olarak yapılmıştır.

All procedures followed were in accordance with the ethical standards.

Copyright Statement for Intellectual and Artistic Works | Fikir ve Sanat Eserleri Hakkında Telif Hakkı Beyanı

Makalede kullanılan fikir ve sanat eserleri (şekil, fotoğraf, grafik vb.) için telif hakları düzenlemelerine uyulmuştur.

In the article, copyright regulations have been complied with for intellectual and artistic works (figures, photographs, graphics, etc.)

Author Contribution Statement | Yazar Katkı Beyanı

A. Fikir / Idea, Concept	B. Çalışma Tasarısı, Yöntemi / Study Design, Methodology	C. Literatür Taraması / Literature Review
D. Danışmanlık / Supervision	E. Malzeme, Kaynak Sağlama / Material, Resource Supply	F. Veri Toplama, İşleme / Data Collection, Processing
G. Analiz, Yorum / Analyses, Interpretation	H. Metin Yazma / Writing Text	I. Eleştirel İnceleme / Critical Review

AUTHOR 1: A/B/C/E/F/G/H/I

AUTHOR 2: B/D/G/H/I

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Aguilar, A., Twardowski, T., & Wohlgemuth, R. (2019). Bioeconomy for sustainable development. *Biotechnology Journal*, 14(8), 1800638. <https://doi.org/10.1002/biot.201800638>
- Arslan, H. D., Yıldırım, K. & Eser, A. (2021), Biyomorfik yapıların algısal değerlendirilmesi, Edt. Aksoy, Y. ve Duyan, E. içinde, *Çağdaş Mimarlık Araştırmaları: Kent, Kuram, Tasarım*. İstanbul: DAKAM, 16-36. ISBN:978-625-7034-12-8.
- Bahadursingh, N. (2022). Design team develops bio-glass cladding tiles made from mussel shells. Archinect. 16 Mart 2024 tarihinde <https://archinect.com/news/article/150311676/design-team-develops-bio-glass-cladding-tiles-made-from-mussel-shells> adresinden erişildi.
- Badarnah, K., L. (2012), Towards the living envelope biomimetics for building envelope adaptation, Bachelor of Architecture Theses, Delft University of Technology, Netherlands.
- Bensaude-Vincent, B., Arribart, H., Bouligand, Y., & Sanchez, C. (2002). Chemists and the school of nature. *New journal of chemistry*, 26(1), 1-5. <https://doi.org/10.1039/b108504m>
- Bernard, M. (2011). HOK / Vanderweil Process Zero Concept Building: As Green As... Algae? 8 Mart 2024 tarihinde <https://buildipedia.com/aec-pros/featured-architecture/hok-vanderweil-process-zero-concept-building-as-green-asalgae> adresinden erişildi.
- Crook, L. (2020). Sea Stone is a concrete-like material made from shells. Dezeen. 17 Mart 2024 tarihinde <https://www.dezeen.com/2020/08/28/sea-stone-newtab-22-design-shells-materials/> adresinden erişildi.
- D'Amato, D., Veijonaho, S., & Toppinen, A. (2020). Towards sustainability? Forest-based circular bioeconomy business models in Finnish SMEs. *Forest policy and economics*, 110, 101848. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.12.004>
- Di Maio, F., Rem, P. C., Baldé, K., & Polder, M. (2017). Measuring resource efficiency and circular economy: A market value approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.009>
- Diamanti MV., Yu CP. & Lee HK., (2015), *Biotechnologies and biomimetics for civil engineering*. cham: Springer International Publishing, pp. 1-19.
- Dokter, G., Thuvander, L. & Rahe, U. (2021). How circular is current design practice? Investigating perspectives across industrial design and architecture in the transition towards a circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 692-708. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.032>
- Efken, J., Dirksmeyer, W., Kreins, P., & Knecht, M. (2016). Measuring the importance of the bioeconomy in Germany: Concept and illustration. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 77(1), 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.03.008>
- Elrayies, G. M. (2018). Microalgae: prospects for greener future buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1175-1191. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.032>
- Evli, A. (2021). AuREUS ile UV ışığını elektrige dönüştürmek. 16 Mart 2024 tarihinde <https://teknoloji.org/aureus-ile-uv-isigini-elektrige-donusturmek/> adresinden erişildi.

- Frearson, A. (2022). Bureau de Change creates architectural tiles using glass made from mussels. Dezeen. 16 Mart 2024 tarihinde https://www.dezeen.com/2022/05/19/thames-glass-tiles-mussels-bureau-de-change-lulu-harrison/?li_source=LI&li_medium=bottom_block_1 adresinden erişildi.
- H. Silva, T., Mesquita-Guimarães, J., Henriques, B., Silva, F. S., & Fredel, M. C. (2019). The potential use of oyster shell waste in new value-added by-product. *Resources*, 8(1), 13. <https://doi.org/10.3390/resources8010013>
- Hahn, J. (2020). Solar panels made from food waste win inaugural James Dyson Sustainability Award. Dezeen. 18 Mart 2024 tarihinde <https://www.dezeen.com/2020/11/27/aureus-carvey-ehren-maigue-james-dyson-awards-sustainability/> adresinden erişildi.
- Gawel, E., Pannicke, N., & Hagemann, N. (2019). A path transition towards a bioeconomy—The crucial role of sustainability. *Sustainability*, 11(11), 3005. <https://doi.org/10.3390/su11113005>
- Gedik, Y. (2020). Döngüsel ekonomiyi anlamak: Teorik bir çerçeve. *Turkish Business Journal*, 1(2), 110-137. <https://doi.org/10.51243/SAKA-TJMER.2020.5>
- Giampietro, M. (2019). On the circular bioeconomy and decoupling: implications for sustainable growth. *Ecological economics*, 162, 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.001>
- Ghisellini, P., & Ulgiati, S. (2020). Circular economy transition in Italy. *Achievements, perspectives and constraints. Journal of Cleaner Production*, 243, 118360. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118360>
- Gündoğdu E. & Arslan H.D., (2020). Mimaride enerji etkin cephe ve biyomimikri. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım ve Teknoloji (GU J Sci, Part C)*, 8(4), 922-935. <https://doi.org/10.29109/gujsc.799424>
- Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., and Birkie, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *J. Clean. Prod.* 175, 544–552. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.111
- Jason, J. (2022). The Future of Architecture: Imagining a world where buildings are constructed from living materials. https://www.archdaily.com/987459/the-future-of-architecture-imagining-a-world-where-buildings-are-constructed-from-living-materials?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all
- Kurnaz, L. M. ve Aksan Kurnaz, I. (2022). Biyoekonomi, Döngüsel Ekonomi ve Döngüsel Biyoekonomi. *Bilim Teknik*. 10, 58-63. https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/ayiklanan_basliksiz_sayfalar_44.pdf
- Leipold, S., & Petit-Boix, A. (2018). The circular economy and the bio-based sector-Perspectives of European and German stakeholders. *Journal of cleaner production*, 201, 1125-1137. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.01>
- Lewandowski, M. (2016). Designing the business models for circular economy—Towards the Conceptual Framework, *Sustainability*, 8, 43, 1-28. <https://doi.org/10.3390/su8010043>

- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of cleaner production*, 115, 36-51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
- Lurie-Luke, E. (2014). Product and technology innovation: What can biomimicry inspire?. *Biotechnology advances*, 32(8), 1494-1505. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.10.002>
- Luttenberger, L. R. (2020). Waste management challenges in transition to circular economy—Case of Croatia. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120495. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120495>
- MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy, economic and business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK. https://kidv.nl/media/rapportages/towards_a_circular_economy.pdf?1.2.1
- MacKinnon, R. B., Oomen, J., & Pedersen Zari, M. (2020). Promises and presuppositions of biomimicry. *Biomimetics*, 5(3), 33. <https://doi.org/10.3390/biomimetics5030033>
- Magazzino, C., Mele, M., Schneider, N., & Sarkodie, S. A. (2021). Waste generation, wealth and GHG emissions from the waste sector: Is Denmark on the path towards circular economy?. *Science of the Total Environment*, 755, 142510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142510>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North point press, pp. 208.
- Morelli, J. (2011). Environmental Sustainability: A Definition for Environmental Professionals. *Journal of Environmental Sustainability*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.14448/jes.01.0002>
- Mohan, S. V., Dahiya, S., Amulya, K., Katakojwala, R., & Vanitha, T. K. (2019). Can circular bioeconomy be fueled by waste biorefineries—A closer look. *Bioresource Technology Reports*, 7, 100277. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100277>
- Muscat, A., de Olde, E. M., Ripoll-Bosch, R., Van Zanten, H. H., Metzke, T. A., Termeer, C. J., ... & de Boer, I. J. (2021). Principles, drivers and opportunities of a circular bioeconomy. *Nature Food*, 2(8), 561-566. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00340-7>
- Namlis, K. G., & Komilis, D. (2019). Influence of four socioeconomic indices and the impact of economic crisis on solid waste generation in Europe. *Waste management*, 89, 190-200. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.012>
- Neves, S. A., & Marques, A. C. (2022). Drivers and barriers in the transition from a linear economy to a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 341, 130865. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130865>
- Pauli, G. A. (2010). The blue economy: 10 years, 100 innovations, 100 million jobs. *Paradigm publications*, pp. 336.
- Pawlyn, M. (2019). *Biomimicry in architecture*. London: RIBA Publishing, pp.1-36.
- Ragiel, S., & Phillips, R. (2018). The Circular Economy: How architects and designers can contribute to reducing waste. *Construction Specifier*. <https://www.constructionspecifier.com/the-circular-economy/>

- Srubar, W. (2020). Buildings grown by bacteria – new research is finding ways to turn cells into mini-factories for materials. <https://theconversation.com/buildings-grown-by-bacteria-new-research-is-finding-ways-to-turn-cells-into-mini-factories-for-materials-131279>
- Tan, E. C., & Lamers, P. (2021). Circular bioeconomy concepts—a perspective. *Frontiers in Sustainability*, 2, 701509. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsus.2021.701509/full>
- Tóth Szita, K. (2017). The application of life cycle assessment in circular economy. *Hungarian Agricultural Engineering*, 31, 5-9. <https://doi.org/10.17676/HAE.2017.31.5>
- URL-1: United Nations: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2017-05-30/secretary-general-climate-action-delivered>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-2: United Nations: <https://sdgs.un.org/goals>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-3: United Nations: From Concept to Practice: https://www.un.org/en/ga/second/73/jm_conceptnote.pdf, son erişim: 17.03.2024.
- URL-4: Kenniskaarten: <https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/en/knowledge-map-circular-economy/how-is-a-circular-economy-different-from-a-linear-economy/>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-5: Business4goals: <https://www.business4goals.org/wp-content/uploads/2021/03/%C4%B0sletmeler-icin-Dongusel-Ekonomi-Rehberi.pdf> son erişim: 17.03.2024.
- URL-6: Circulardesignguide: <https://www.circulardesignguide.com/post/loops>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-7: Ellen MacArthur Foundation: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-8: Iberdrola: <https://www.iberdrola.com/social-commitment/circular-design>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-9: Business4goals: https://business4goals.org/PDF/Dongusel_Ekonomi_Rehberi.pdf, son erişim: 17.03.2024.
- URL-10: Ellen Macarthur Foundation: <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-11: Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy#:~:text=What%20is%20the%20circular%20economy,minimising%20the%20generation%20of%20waste>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-12: Biofuture Platform: <http://www.biofutureplatform.org/post/new-biofuture-report-global-greenhouse-gas-goals-out-of-reach-without-biofuels-and-bioproducts>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-13: Bioekonomy BW: <https://www.biooekonomie-bw.de/en/bw/definition>, son erişim: 17.03.2024.

- URL-14: Cifor: https://www.cifor.org/wp-content/uploads/2021/03/Flyer%20-%20Knowledge%20Guide_Circular%20Bioeconomy-v4.pdf, son erişim: 17.03.2024.
- URL-15: European Commission: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/bioeconomy_en, son erişim: 17.03.2024.
- URL-16: World Economic Forum: <https://www.weforum.org/agenda/2020/10/circular-bioeconomy-nature-reset/>: son erişim: 17.03.2024.
- URL-17: Biomimicry Institute: <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-18: Biolearn: https://biolearn.eu/wp-content/uploads/2021/06/NinePrinciplesofBiomimicry_EU.pdf, son erişim: 17.03.2024.
- URL-19: Circularity: <https://circularitylive.com.au/community/how-the-circular-economy-uses-biomimicry-to-imitate-natural-systems/>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-20: Eastgate: <http://www.mickpearce.com/Eastgate.html>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-21: Architecture Masterprize: <https://architectureprize.com/winners/winner.php?id=3766>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-22: Buildipedia.com: <https://buildipedia.com/aec-pros/featured-architecture/hok-vanderweil-process-zero-concept-building-as-green-asalgae>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-23: The Living: http://www.thelivingnewyork.com/?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com, son erişim: 17.03.2024.
- URL-24: Architizer: <https://architizer.com/projects/hy-fi/>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-25: Deutschland Land der Ideen: <https://land-der-ideen.de/en/competitions/beyond-bauhaus/award-winners/nanocellulose-desert-shelter>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-26: NCArchitects: <https://www.ncarch.com/en/Projects/140>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-27: Altervista: http://woodywood.altervista.org/nanocellulose-desert-shelter/?doing_wp_cron=1674194845.6202359199523925781250, son erişim: 17.03.2024.
- URL-28: Newtab-22: <https://www.newtab-22.com/%EB%B3%B5%EC%A0%9C-material-sea-stone>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-29: Local works studio: <https://localworksstudio.com/projects/shellcrete-transforming-sea-shells-into-low-carbon-materials/>, son erişim: 17.03.2024.
- URL-30: The James Dyson Award: <https://www.jamesdysonaward.org/tr-TR/2020/project/aureus-aurora-renewable-energy-uv-sequestration/>, son erişim: 17.03.2024.
- Vincent, J. F., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., & Pahl, A. K. (2006). Biomimetics: Its practice and theory. *Journal of the Royal Society Interface*, 3(9), 471-482. <https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127>

Wautelet, T. (2018). Exploring the role of independent retailers in the circular economy: a case study approach. *European University for Economics and Management*. (Unpublished Master-Thesis). eufom European University for Economics & Management A.s.b.l, Luxembourg.

Wadia, A. P., & McAdams, D. A. (2010). Developing biomimetic guidelines for the highly optimized and robust design of complex products or their components. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 6, 307–321.
<https://doi.org/10.1115/DETC2010-28708>

Wadhvani, T. (2022). How the circular economy uses biomimicry to imitate natural systems. 17 Mart 2024 tarihinde <https://acehub.org.au/news/how-the-circular-economy-uses-biomimicry-to-imitate-natural-systems> adresinden erişildi.

YAZARLARIN BİYOGRAFİLERİ (BIOGRAPHIES OF THE AUTHORS)

Güneş MUTLU AVİNÇ (Dr. Öğr. Üyesi)

Güneş MUTLU AVİNÇ mimarlık alanındaki lisans derecesini Karadeniz Teknik Üniversitesinde (2009), yüksek lisansını Karadeniz Teknik Üniversitesinde (2016) ve doktora çalışmasını ise Gazi Üniversitesinde (2022) tamamlamıştır. 2022 yılından beri Muş Alparslan Üniversitesinde tam zamanlı öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Araştırmacı biyomimikri yaklaşımı, biyomimetik tasarım, biyofilik binalar, mimarlık eğitimi konularında çalışmaktadır.

Semra ARSLAN SELÇUK (Prof. Dr.)

Semra Arslan Selçuk mimarlık alanındaki lisans derecesini Selçuk Üniversitesinde (1999), yüksek lisans ve doktora çalışmalarını ise Orta Doğu Teknik Üniversitesinde (2009) tamamlamıştır. Doktora çalışmalarını tamamlamak için Bath Üniversitesinde (2005) Dr. Chris Williams ile, doktora sonrası araştırmalarını yapmak için ise Texas A&M Üniversitesinde (2011) Dr. Wei Yan ile çeşitli çalışmalar yürütmüştür. 2014 yılından beri Gazi Üniversitesinde tam zamanlı öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Akademik çalışmalarını “doğadan öğrenmek ve doğayla uyumlu tasarımlar” üzere kurgulayan araştırmacı son yıllarda, biyomimetik tasarımlar, biyofilik binalar, enerji etkin yapılar, çevreler, performatif mimarlık, yapı enerji modellemesi, simülasyonu ve optimizasyonu konularında yüksek lisans ve doktora tezleri yaptırmakta ve bunları yayınlamaktadır.