

BİYOMİMİKRI VE PARAMETRİK TASARIM İLİŞKİSİNİN MİMARİ ALANINDA KULLANIMI VE GELİŞİMİ

Serra İner

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik ABD, BOST

e-posta: serrainner@gmail.com

ÖZET

İnsanoğlu, varoluşsal bir içgüdüyle binlerce yıldır doğayı taklit ederek yaşamını sürdürmeye devam etmiştir. Doğayı taklit ederek yapılar tasarlamış ve icatlar yapmışlardır. Bu makalede doğadan ilham almanın teorikleşmesi ve tarihsel anlamda gelişimi irdelenmiştir. Doğanın gözlemlenerek insanoğlunun günlük yaşamına etkileri, bunun haricinde güzellik algısını etkileyerek mimariye yansımalarından bahsedilmiştir. Bu bağlamda biyomimikrinin parametrik tasarımla ilişkisi ve mimaride hangi alanlarda kullanıldığından bahsedilmiştir. Mimarların doğadan esinlenerek oluşturduğu parametrik formların doğaya olumlu geri dönüşleri ve doğayı manipüle etmeden doğaya nasıl uyum sağladıkları örneklendirilmiştir. Doğa ile dost bu tasarım yöntemi günümüz bilgisayarlı tasarım teknolojileriyle birleştirildiğinde ortaya çıkan mimari yapılardan örnekler verilmiştir. Mimari tasarım, doğadan ilham alan doğru parametreler belirlenerek yapıldığında karşımıza doğayla dost ve sürdürülebilir örnekler çıkartacaktır. Bunların analizleri ve tasarım süreçlerinde ise mimarların doğadan sonra en büyük aracı bilgisayarlı tasarım yöntemleridir.

Anahtar Kelimeler: Biyomimikri, biyomimetik, parametrik tasarım, mimari tasarım, mimarlıkta biyomimikri

ABSTRACT

Human beings instinctively mimicking an existential nature for thousands of years has continued to survive. They have designed and invented structures by imitating nature. The theory of nature inspiration and development by the historical meaning will be examine in this article. The effects of nature on the daily life of

mankind and the effects of beauty on the perception of architecture are mentioned. In this context, it will be mentioned about the relation with parametric design and the areas in which the architecture is used. We will exemplify how the parametric forms of architects inspired by nature are favorable returns to nature and how they adapt to nature without manipulating nature. The effects of nature on the daily life of mankind and the effects of beauty on the perception of architecture are mentioned.

Keywords: Biomimicry, biomimetic, parametric design, architectural design, biomimicry in architecture

1.GİRİŞ

Biyomimikri; latince bios ve mimesis kelimelerinin birleşmesiyle oluşmuştur. Bios yaşam, mimesis ise taklit etmek anlamına gelmektedir. Kelime kökeninden de anlaşıldığı üzere, biyomimikri doğaya taklit etmek anlamına gelmektedir. Bu kavram; Janine M. Benyus tarafından 1990'ların

sonuna doğru tanımlanmış ve literatüre kazandırılmıştır. «Biomimicry - Innovation Inspired by Nature» isimli kitabını yazmış, 1997'de yayımlamıştır.

Kitabında, doğanın kusursuz işeyişini şu şekilde ifade etmiştir (Benyus,1997);

"3,8 milyar yıllık araştırma ve geliştirme çabaları; milyonlarca fosil ve başarısızlık hikayesinden sonra hala bizi var eden gizemi çözebilmiş değiliz. İcat ettiğimiz herşey doğada, çok daha şık bir biçimde, zaten bulunuyor. Üstelik gezegene çok daha az zarar veriyorlar."

Çalışma yapılacak alanın, çevresel ve coğrafi verileri toplanarak bir tasarım süreci başlatıldığında, sonuç değil tasarım süreci planmış olur. Günümüz bilgisayar teknolojileri, doğadan aldığımız ilham ve verileri işleyerek hesaplanabilir ve algoritmalara

dayandırılabilir bir tasarım yaratmamıza olanak sağlar. Dolayısıyla biyomimetik bir çalışma gerçekleştirileceği zaman bilgisayar destekli tasarım programlarından yararlanmak tasarımcıya oldukça büyük kolaylıklar sağlar.

2. BİYOMİMİKİRİ

İnsanoğlu ürettiği ve tükettiği birçok materyal, gelecek nesillere büyük bir sürdürülebilirlik problemi yaratmaktadır. Ancak doğanın kendi stratejisini taklit ederek, insanoğlu bu soruna çözümler üretebilecektir. Biyomimikri ise sürdürülebilir çözümler arayan bir inovasyondur. Amacı zaten çok iyi çözümler üretmiş olan hayvanlar, bitkiler ve organizmaları inceleyerek zaten üretmiş oldukları çözüm yöntemlerini taklit etmektir. Benyus(1997) tarafından biyomimikri şu şekilde tanımlanmıştır:

”Biyomimikri, doğanın modellerini, sistemlerini, oluşum süreçlerini ve elementlerini inceleyen ve elde ettiği bilgilerden taklit ederek ya da yaratıcı ilham alarak yararlanan, problem çözmeye yönelik yeni bir bilimdir.”

Doğanın kendi içerisinde olan uyumuna baktığımızda, tüketmeye dayalı bir ekosistemi olmadığını görürüz. Ancak günümüzde tüketim üzerine kurulmuş olan yaşam standartları, milyonlarca yılda eskimeyen dünyamızı çok kısa bir süre içerisinde eskitmeyi başarmıştır. Halbuki, tüketmek yerine doğanın verdiği imkanlarla üretken bir şekilde doğayla ilişki kurulabilir. İklim koşullarına uygun malzemeler kullanarak evlerimizi inşa etmek, bize oldukça büyük bir enerji tasarrufu sağlayacaktır. Karıncaların yuvalarını güney cephelerine kurmaları bile buna bir örnek teşkil etmektedir. Çiçeklerin yapraklarından esinlenerek tasarlanan güneş panelleri de minimum enerjiyle güneşten korunmamızı sağlar. Bunu bir adım öteye taşımak ise güneş panellerinin konumunu ayçiçeklerinden esinlenerek tasarlanması örnek gösterilebilir. Doğanın mükemmelliği sadece hayvanlar ve bitkilerle sınırlı değildir. İnsan vücudundan örnek vermek gerekirse, iskelet sistemi muazzam bir strüktür örneği oluşturmaktadır. Kalp ise oldukça kuvvetli bir pompadır.

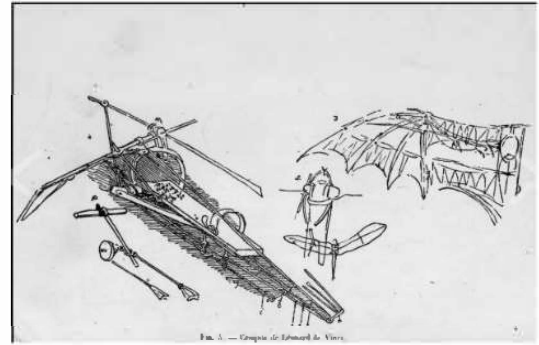
2.1. Biyomimikri örnekleri

Yaşamı oldukça kolaylaştıran ve oldukça basit yapıları icatların birçoğu aslında doğayı gözlemleyerek oluşmuştur. Pratik ve kolay çözümlerin aslında hayatımızda yer alır ve onları keşfetmek için gözlem yapmamız gerekmektedir. Tasarım, bir problemi çözmeye sürecidir. Dolayısıyla tasarım yaparken problem doğru bir şekilde belirlenmelidir. Belirlenen

problem çözümlerken doğa benzer problemlere nasıl çözümler üretmiş ve nasıl sonuçlar ortaya çıkarmıştır? Bunlar irdelendiğinde doğaya uyumlu bir tasarım süreci üretilmiş olunacaktır. Biyomimikri de doğada başarılı sonuçlar vermiş olan örneklerin taklidi esastır. Bu örnekler sayesinde yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler üretilmektedir. Günlük hayatımızda kullandığımız birçok ürün ve icat biyomimikri sayesinde üretilmiştir. Bunlara birkaç örnek aşağıda verilmiştir:

Ornithopter;

Leonardo da Vinci kuşları gözlemleyerek kanatlı bir tasarım gerçekleştirmiştir.



Şekil 1. Leonardo da Vinci Ornithopter Çizimi
(Hulton Archive)



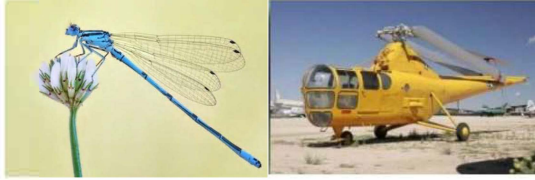
Şekil 2. Ornithopter Maketi
(İtaliye Maket Leonardo Da Vinci Koleksiyonu)

Cırt cırt – Velcro;



Şekil 3. Cırt cırt

İsviçreli elektrik mühendisi George de Mestral tarafından 1955 yılında patenti alınan cırt cırtın icadı 1948 yılında başlamıştır. Köpeğiyle doğada yürüyüşe çıkan mühendis, kadife pantolonunda ve köpeğinin tüylerinde yapışmış olan top şeklindeki bitkileri fark etmiştir. Daha sonra bu bitkiyi mikroskop altında inceleyerek mini kancaların kumaşı tuttuğunu keşfetmiştir. Bundan esinlenerek cırt cırtı tasarlamıştır. Ürettiği bu bantları ise Fransızca Velours (kafide) ve Crochet (kanca) kelimelerinin birleşimiyle “velcro” adıyla tescil ettirmiştir.



Şekil 4. Yusufçuk ve H5 Dragonfly
(Sebastian Janicki)

H5 Dragonfly: Skorsky firması H5 Droganfly’ ı tasarlarken yusufçuk böceğinden ilham almışlardır. Yusufçukun uçuşunu inceleyerek analizler yapmışlardır. Bu incelemeler sonucunda helikopteri geliştirmişlerdir.

2.2. Biyomimikri kullanılan alanlar

Biyomimikriden etkilenen birçok alan vardır. Mesela çatı ve strüktür sistemlerinde ağaçlardan, çiçek yapraklarından ve insan iskeletinden kopyalamalar vardır. Birçok ulaşım aracı hayvanların hareket mekanizmaları ve fizyolojik yapıları incelenerek tasarlanmıştır. Savunma sanayisinde Engerek Yılanlarının hassasiyetleri göz önünde bulundurularak füze detektörleri geliştirilmesi için engerek yılanlarının sinir sistemleri detaylı incelenmiştir. Böcek bilimci Fransız Réne-Antoine Réaumur arıların yuva yapımında odun hamurunun kullanımının daha iyi olduğunu gösterdikten sonra kağıt üreticileri de bu malzemeyi kullanmaya başladı. Tıp alanında hijyenik

olması açışınan köpek balığı derisinin bakteri tutmayan derisinden örnek alınarak hijyenik bir yüzey kaplama malzemesi tasarlanmıştır. Mimari de ise cephe sistemleri, enerji korunumu, bina kabukları, çatı sistemleri, yalıtım, tesisat, sürdürülebilirlik gibi alanlarda biyomimikriden faydalanılmıştır.

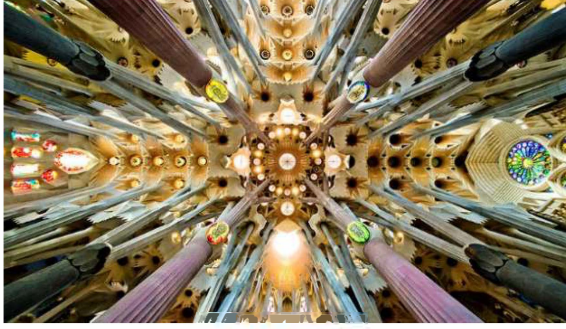
2.2.1. Mimarlıkta biyomimikri örnekleri

İlk insandan itibaren barınma ihtiyacı, insanoğlunun en temel ihtiyaçlarından biridir. Korunma ve barınma ihtiyaçları için mağaraları ve ağaç kavuklarını kullanan insanoğlu doğal form ve strüktürleri inceleyerek barınma gereksinimini hissederek barınaklar kurmaya başlamıştır. Doğayı gözlemleyerek taklit eden insanoğlu bu şekilde yapım tekniklerini geliştirmiştir (Selçuk, Sorguç 2007). 1436 yılında Filippo Brunelleschi, yumurta kabuklarını inceleyerek Floransa’daki katedralinin kubbesini tasarlamıştır. 19.yy başlarında Gemi Mimarı George Cayley, gemilerin su yüzeyindeki gidişini akıcı hale getirmek için yunusların derileri üzerinde incelemeler yaptı (Pawlyn, 2016). 19. Yy Gaudi ile iyice belirgenleşen biyomimikri akımının ardından, birçok mimar basit ve şekilsel anlamda doğadan ilhamlar almıştır. Çünkü insan gözünün aradığı mükemmel oran doğada zaten gizlidir. Amazon nilüferlerinin strüktürel yapıları incelenerek verimli çatı sistemleri, denizkulağı kabuklarına dayanan bina tasarımları, bitki hücrelerinden esinlenerek hafif köprüler geliştirilebilmektedir (Pawlyn, 2010).

Bununla beraber teknoloji geliştikçe, keşfedilen yenilikçi yöntemler sayesinde bu durum sadece şekilsel değil işlevsel olarak da doğadan ilham alınmıştır. Biyomimikrinin özünde şekil aktarımı değil işlev-fonksiyon akarımı esastır. Mimari alanda çoğunlukla strüktür, cephe, kabuk, tesisat sistemlerine aktarım yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu sayede sürdürülebilir ve tasarruflu çözümler ortaya koyulmaktadır.

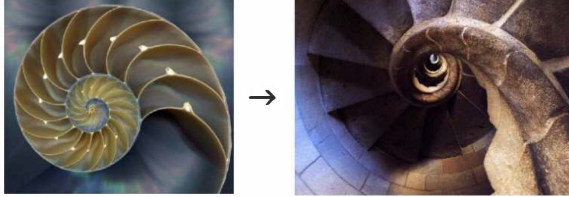
Biyomimikrinin görsel anlamda kullanımı örneği;

Sagra da Familia Kilisesi: İspanya’nın Barcelona şehrinde yer alır. 1883 yılında Antoni Gaudi tarafından devralınır. Ancak 1926 yılında Gaudi’nin ölümüyle yarım kalmıştır. Hala inşaatı devam etmektedir.



Şekil 5. Sagra da Familia Kilisesi
(*Tot conflueix / All's connected*)

Atölyemin dışındaki ağaç benim akıl hocamdır diyen Gaudí, kiliseyi de doğadan ilham alarak tasarlanmıştır. Kolonlar dallanmış ağaçları anımsatırken, iç mekânda da doğadan imgeler görmek mümkün.



Şekil 6. Sagra da Familia Kilisesi Merdivenleri
(*Griffin Rayne*)

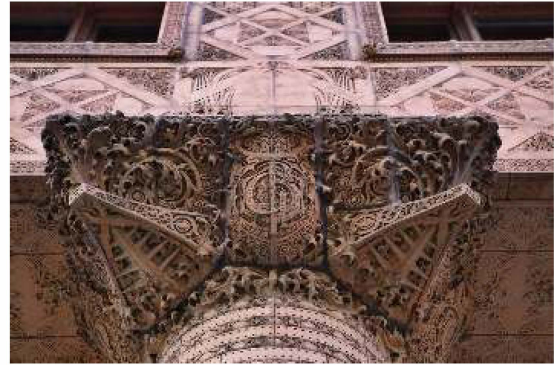


Şekil 7. Sagra da Familia Kilisesi
(*Diego Aviles, 2011*)

The Puridential (Guaranty) Building: 1896 yılında yapılan binada Louis Sullivan ve Dankmer Adler çiçek tohumları ve ağaç görsellerinden esinlenerek bunu cephe tasarımlar uygulamışlardır. Böylece görsel anlamda doğadan esinlenilmiştir.

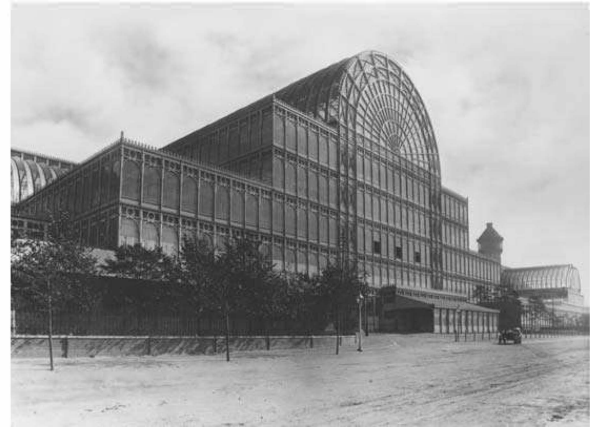


Şekil 8. The Puridential (Guaranty) Building
(*Steven H. Photo Systems, 2012*)



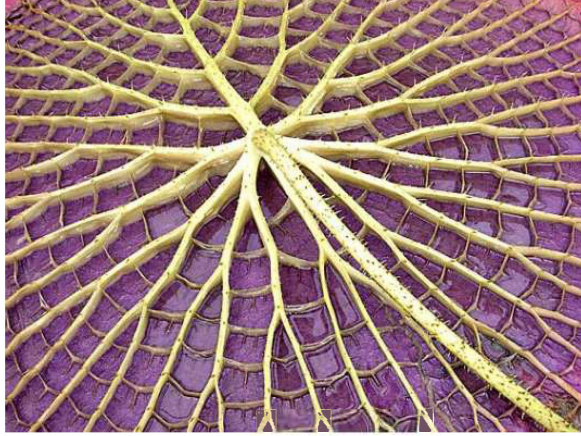
Şekil 9. The Puridential (Guaranty) Building detayları
(*Tom Fawls, 2014*)

Biyomimikrinin strüktürel anlamda kullanımı örneği;



Şekil 10. Crystal Palace
(*BBC Hulton Picture Library*)

Crystal Palace: 1851 yılında Joseph Paxton tarafından tasarlanan yapının strüktüründe Viktoria Zambağından esinlenilmiştir. Zambağın çapraz kaburgalar tarafından sağlamlştırılarak, radyal bir kaburga tarafından taşındığını gözlemlemiştir. Böylece strüktürel anlamda doğadan esinlenilmiştir.



Şekil 11. Zambağın alltan görünüşü
Phil Gates, 2007



Şekil 12. Viktoria Zambağı
Milly Cruz, 2018

Biyomimikrinin işlevsel olarak kullanım örneği;



Şekil 13. Durian Meyvesi- Esplanade Theater
(Paul Hagon, 2014-Christopher West, 2013)

Esplanade Theater: Durian meyvesi, sert kabuğu sayesinde güneş ve çevresel etkenlerden etkilenmeyerek kendini koruyabilir. Bundan etkilenen Russell Johnson, tasarımında; gün boyu güneşin açısına göre ayarlanabilen üçgen panjurlar kullanarak işlevsel çözümlerde doğadan esinlenilmiştir.

Biyomimikrinin sürdürülebilir enerji alanında kullanım örneği;



Şekil 14. Eastgate Building
(Mandy Patterson)

Eastgate Building: Zimbabve, Harere 'de bulunan Eastgate binasının iklimlendirme sistemi termitler(akkarınca) tarafından inşa edilen höyüklerinden esinlenerek tasarlanmıştır. Termitlerin biyolojik yapılarından dolayı, yaşadıkları höyüklerin nem ve sıcaklığı büyük teşkil eder. Dolayısıyla termit höyüklerinde ortam sıcaklığı sabittir. Termit kulelerinde bulunan bacalardan yükselen hava sayesinde ortam sıcaklığı sabit kalmaktadır.

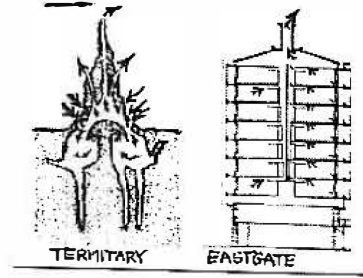


Figure 1: design model

Şekil 15. Termit kulesi – Eastgate Binası

Bu baca sistemi Eastgate binasında da kullanılmıştır. Derin saçklar kullanılarak yaz güneşinden korunmuş ve sabah vakitlerinde ise kış güneşini alarak binanın ısınması sağlanmıştır.

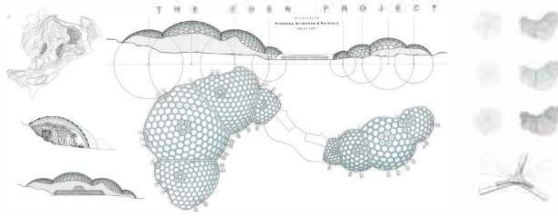
Biyomimikrinin işlevsel, strüktürel ve görsel anlamda kullanımını örneği – Eden Project

Cennet Projesi olarak da anılan Eden Projesi İngiltere'de bulunmaktadır. Kurucu ortağı Tim Smit olan proje 1996 yılında Nicholas Grimshaw tarafından tasarlanan büyük bir çevre kompleksidir.



Şekil 16. Eden Projesi
(Juliette Crawford, 2012)

Eden projesinin sürdürülebilir ve biyomimik bir yaklaşımla tasarlanması için oluşturulmuş ekibin merkezinde olan Mimar Michael Pawlyn ve ekibi, Eden Projesi tasarlanırken biyolojiden oldukça faydalanılmış ve gözlemlenen örneklerden alınan ipuçları doğrultusunda tasarımı tamamlamıştır. Sabunlardaki hava kabarcıkları binanın temel tasarımını oluşturmuştur. Polen tanecikleri, radyolaryaya ve karbon molekülleri ise altıgenler ve beşgenler kullanılarak verimli bir yapı çözümüne ulaştırmıştır. Dış cephe tasarımında bu altıgenler maksimize edilerek bir kütle tasarlandı. Ancak altıgen boyutları oluşturulabilecek cam panellerden büyük olduğu için buna uygun bir alternatif arayışına girildi. Sonucunda güçlü bir polimer olan EFTE kullanıldı.



Şekil 17. Eden Projesi Konsept

Cam panellerin maksimum boyutundan 7 kat büyük olabilmemesinin yanında çift cam sisteminin yüzde bir ağırlığında olması sebebiyle strüktürel anlamda da tasarruf edilmiş olundu. Ağırlık azaldığı için daha az çeliğe ihtiyaç duyuldu. Daha az çelik kullanımı ise daha fazla güneş ışığı alınması demektir, bu sayede ısı tasarrufu da sağlanmış olundu. Çelik parçalarının bir araya getirilmesinde ise yusufçuk böceğinin kanatlarından ilham alındı. Böylelikle doğadan ilham alınarak aslında kullanılan kaynakların çok daha azına bir proje üretebileceğine önemli bir kanıt ve örnek teşkil eden bir proje olan Eden Projesi tasarlanmıştır.

3. PARAMETRİK TASARIM

Biyomimetik örneklere baktığımızda, tasarımın herhangi bir veriye dayandırıldığı gözlemlenir. Verilerin toplanıp işlenmesi sonucunda tasarım oluşur.

Sonucunda tespit edilen problem çözülmüş olur. Probleminiz güneş enerjisinin verimli kullanıldığı bir bina yaparsanız, öncelikler güneş ışınlarıyla ilgili verileri toplanır. Bu veriler ışığından doğadan ilham alarak gerekli güneş panelleri ve solar sistemleri kurularak tasarım oluşturulur. Bu süreçte verilerin değerlendirilmesi ve sonucunda tasarımın oluşturulması için bilgisayarlı tasarıma ihtiyaç duyarız.

Parametre kelimesi, Genel Türkçe Sözlüğe göre değişken anlamını taşımaktadır. Parametrik tasarım ise tasarımın belli değişkenlere dayandırılması anlamına gelmektedir. Tasarım sürecini sistemleştiren parametrik tasarım sayesinde tasarımcı incelenen obje ile iletişim kurabilir. Parametrik tasarım, iletişim ve bilgi aktarımına ara yüz olur. (Erdoğan, Gönenç, 2011) Doğadaki biçimlerin oluşum süreçlerinin incelenmesi ve doğa insan etkileşiminin tasarım sürecine aktarımında sürecin tasarlandığı parametrik tasarım büyük kolaylık sağlamaktadır.

Benyus(1997)'a göre insanlık birçok alanda Biyomimikri Devrimini yaşamıştır. Artık görsel esinlenmelerin önüne geçilmiştir. Tasarımlarda 'model, ölçü veya kılavuz' olma niteliklerine dikkat çekmiştir. Bilgisayarlı tasarım araçları sayesinde nesnelerin somut özellikleri yanı sıra, doğanın yöntemi ve işleyişi daha kapsamlı incelenerek işlenebilir hale gelmiştir.

3.1. Mimari Tasarım Sürecinde Parametrik Tasarım

Mimari tasarım sürecinde parametrik tasarım belirli parametrelere bağlanarak yapılır. Mimari tasarım sürecinde elde edilen çevresel veriler belirli parametreler içerir. Örneğin rüzgar şiddeti, hakim rüzgar yönü, insan yoğunluk gibi veriler parametre olarak tanımlanır. Bilgisayar ortamında parametrelere girilen değerler sonucunda tasarım aşamasındaki form üretimi için ya da mekanda ışık-ses-biçim değişimleri için kullanılır.

Strüktür ve detay çözümleri içinde parametreler kullanılır. Bunlarda ise parametreler ölçü, açı ve kalınlıktır. Bu parametrelere bağlı olarak tasarım ortaya çıkar.

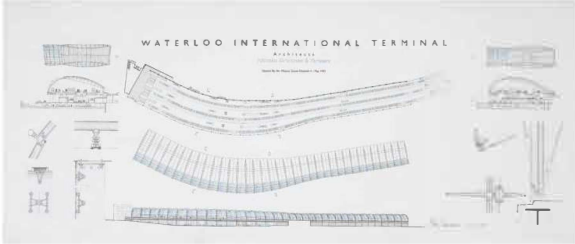


Şekil 18. Küp

Bir kağıt ikiye katlandığı zaman bu işlemin gerçekleşmesi için sonsuz tane yöntem vardır. Farklı yerlerden katlanarak binlerce farklı sonuç ve farklı veya aynı iki yüzey elde edilir. Burada kağıt katlanırken süreç tasarlanmış olunur ve tasarım aynı yöntemle olmasına rağmen sonucu değiştirir. Bu sürecin bilgisayar ortamına 3 boyutlu olarak taşındığında bir küpün katlama sürecinin planlanması olacaktır. Bu durumda nesne, elle değil bilgisayar ortamında kodlanmış bir algoritmayla katlanmış olacaktır. Şekil 18 'de bir küpün 16 adımda katlanarak elde edilmiş olan 2 farklı formu verilmiştir. 16 katlamanın ardından 400.000 yüzey elde edilmiştir (Hansmeyer, TEDGlobal 2012). Katlama yerleri ve katlama oranları değiştirildiğinde ortaya çıkan ürün tamamen farklı bir ürün haline gelir. Bu örnekte tasarlanan şeyin form değil, süreç oluğunu görüyoruz. Yani kağıt ve küp örneğinde görüldüğü gibi parametreler değiştirilerek farklı sonuçlar elde edilmiştir.

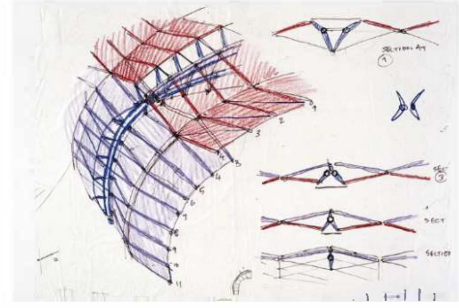
3.2. Parametrik Tasarım Kullanarak Yapılmış Olan Mimari Yapılar

Waterloo International Terminal Station



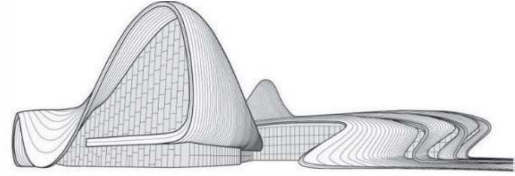
Şekil 19. Waterloo International Terminal Station kesit ve plan çizimleri

1993'te Londra'da Nicholas Grimshaw tarafından tasarlanan terminalin çatısında parametrik tasarım yöntemi kullanılmıştır. Araziye uyumlu çatı tasarımında tek bir makasın parametrik modeli yapılmıştır. Bu modelden doğacak diğer makaslar için de parametreler belirlenmiştir. Çatı strüktüründe bulunan kemerde ölçek boyut ve pozisyon gibi parametreler belirlenmiş ve terminal boyunca değişen parametre değerleriyle oluşan makaslar seri şekilde üretilebilmiştir.



Şekil 20. Waterloo International Terminal Station sistem detayı eskizleri

Haydar Aliyev Kültür Merkezi



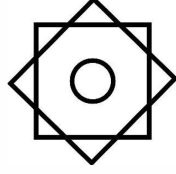
Şekil 21. Haydar Aliyev Kültür Merkezi; model

Zaha Hadid ve Patrik Schumacher tarafından tasarlanan yapı, 2013 yılında Bakü'de inşa edildi. Bina kıvrımlarının peyzaja dönüştüğü yapıda kesintisiz ve akıcı bir tasarım hakimdir. Mimari unsurlar ile zemin arasında ilişki kurulur. İnsanların iç mekanlara yönelişi, yüzey akışkanlığı, ışık alacak mekanların açıklıklarının büyüklüğü ve akustik tasarıma yön veren parametrelerdir. Bu parametrelere bağlı olarak oluşan kabuk tasarımı ise bir sistem ürünüdür (Uysal,2016). Biyomimetik olarak Hazar Denizinin yükselişinden esinlenilmiştir.



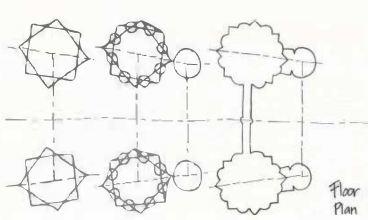
Şekil 22. Petronas İkiz Kuleleri
(Kenny Teo, 2018)

Petronas İkiz Kuleleri: 1991 yılında mimar Cesar Pelli tarafından tasarlanan Petronas Kuleleri 1998 yılında açılmıştır. Tasarımda Malezya için mimarın yanında kültürel bir değer taşıması hedeflendiğinden İslam kültüründen çizgiler taşımaktadır. İslam kültüründe önemli bir sembol olan "Rub el Hizb" şekline doğan bir plan şeması mevcuttur.



Şekil 23. Rub el Hizb motifi

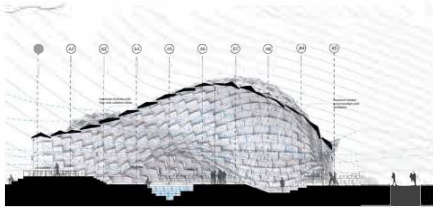
8 köşeli yıldızdan uyarlanan kat planı parametrik olarak yükselerek incelmekte ve Kuala Lumpur'a imgesel bir silüet kazandırmaktadır. İki kule birbirlerine gökyüzü köprüsü adı verilmiş olan kuleyle bağlanırlar.



Şekil 24. Kat Planı Oluşumu

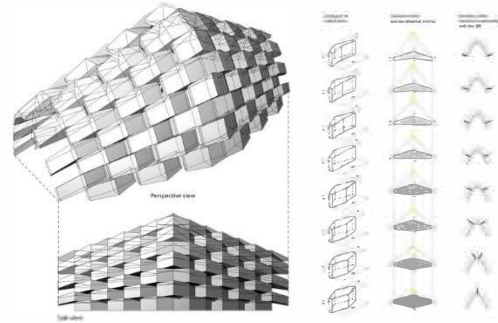
Eko-Sürdürülebilir Konut

2007 eVolo Architecture Konut Yarışmasında özel mansiyon alan projenin sahibi Federico Rossi'dir. Parametrik bir proje olan konut tasarımında çevresel verilere ve sürdürülebilirlik ilkelerine bağlı kalmıştır.



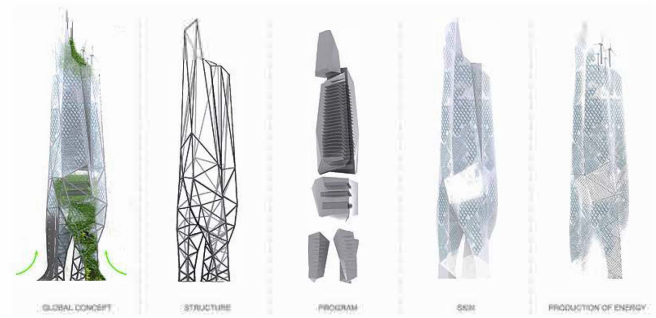
Şekil 25. Proje Kesiti

İki şerit halinde kıvrılmış elips çerçeveli bir kafes kullanılarak parametrik bir tasarım elde edilmiştir. Yüzeyin genişliği, uzunluğu ve kalınlığı belirlenen parametrelerle kontrol edilebilecek ve bu sayede yüksek sıcaklıkta kalınlık artacaktır. Baklava şeklindeki geometrik çerçeveyi iç basınç ve rüzgar hızına göre deforme ederek yaşayan bir bina tasarlanmıştır.



Şekil 26. Baklava Modüllerinin hareketi

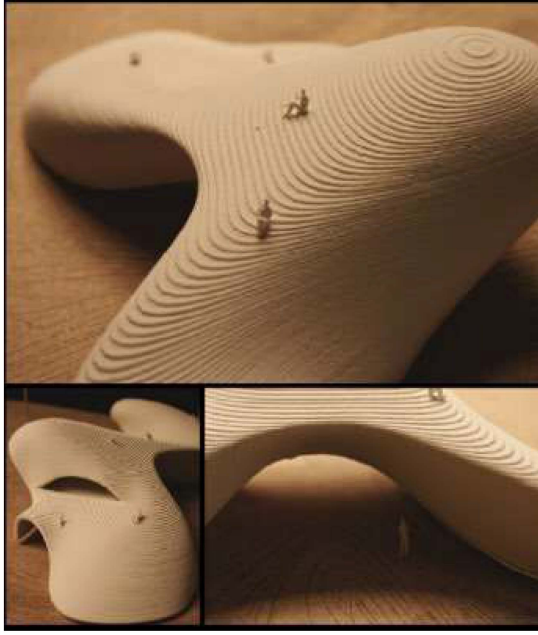
Warp Skyscraper: 2007 eVolo Gökdelen Yarışması özel mansiyon kazanan projenin tasarımcıları Bosna Hersek'ten Nenand Basic ve Güney Kore'den Keeyong Lee'dir.



Şekil 27. Warp Skyscraper Model (eVolo)

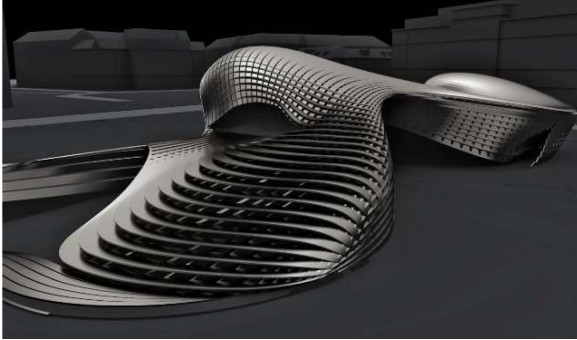
Paris'te yer alan proje tasarlanırken öncelikli olarak dikkat edilen veri, Paris şeklinin insan yoğunluğu olmuştur. Tarihi kent dokusunun yoğunluğu ve kalabalık nüfus sebebiyle minimum yüzey alanı kullanılmak zorunda kalmıştır. Çözümü anatomiye bulan tasarımcılar, insan vücudu bölümlerinden ilham alarak tasarımlarını oluşturmuşlardır. Gökdelen tasarımının iki ayak üzerinden yükseldiğini görebilirsiniz. Bu sayede şehir içi sirkülasyon engellenmemiş oldu. Strüktüründe ve cephe kaplamasında parametrik tasarım uygulanan projenin cephesinde ETFE kullanılarak aynı zamanda enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Sigmund Freud Pavilion: 2009 yılında Christoph Hermann tarafından Avusturya'da tasarlanmış bir parametrik tasarım projesidir. Projede rekreasyon alanı, kafe ve sergi alanı olarak kullanılabilecek bir mimari tasarım çalışılmıştır.



Şekil 28. Proje Maketi

Bu projede, çeşitli mekansal parametrik mimari oluşumlarla geleneksel bina-zemin kompozisyonu oluşturmak yerine, alanın ihtiyaçları doğrultusunda değişebilen bir mimari yapı oluşturulmuştur. Dinamik sistemleri kullanarak tasarım yapmak, tasarımcıyı birbiriyle bağlantılı, açık ve geçirgen bir parametrik tasarıma götürür. Bu proje Gehry Technologies'in mimarlarıyla birlikte parametrik tasarım ve BIM yazılımlarıyla çizilmiştir. Bu sayede tasarım sürecinde konsept fikrinin oluşması ve gelişmesi kolaylaştırılmıştır.



Şekil 29. Proje Modeli

4. PARAMETRİK TASARIM VE BİYOMİMİKRI İLİŞKİSİNİN TASARIM SÜRECİYLE İNCELENMESİ

Lotus Tapınağı: Desibel Mimarlık tarafından tasarlanan Lotus Tapınağı, bulunduğu bölge olan Vietnam'ın ulusal çiçeği olan Lotus Çiçeğinden ilham alınarak tasarlanmıştır.

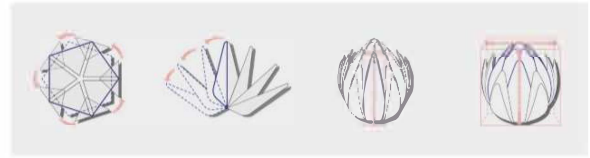


Şekil 30. Lotus Tapınağı

Bu yapının iç mekan tasarımdan peyzajına, peyzajından cephesine kadar her detayda esinlenmeler yer almaktadır.

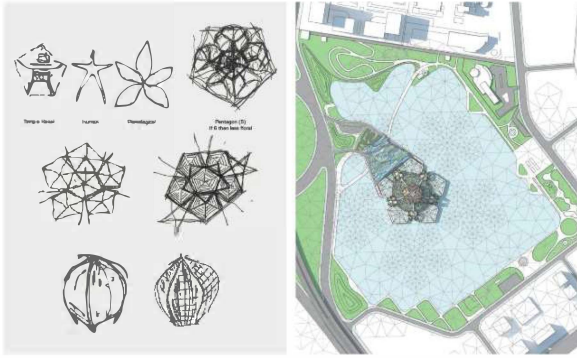
Şekil 31. Lotus Çiçeği (Kapalı Yaprak)
(Bahman Farzad, 2011)

Henüz açmamış olan lotus çiçeğinin sıkı yaprakları binanın yapısına ilham kaynağı olmuştur.



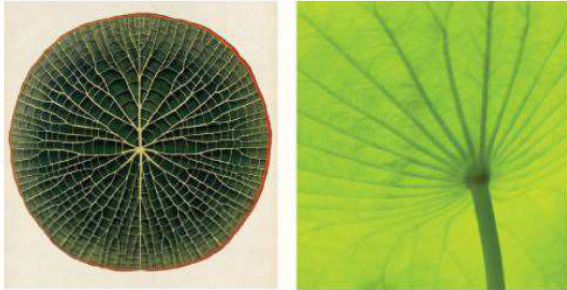
Şekil 32. Kod Çözme Süreci

Lotus biçimi, beşgen ızgaralı bir sistemden oluşur. Bu beşgen uzanan bir kişinin; başını, kollarını ve bacaklarını simgeleyen bir metafor olarak seçilmiştir. Lotus çiçeği dahil olmak üzere, doğada birçok çiçek yapısında bu oranı görülmektedir. Buradan doğa ve insan arasında bir odak kurulmaktadır.

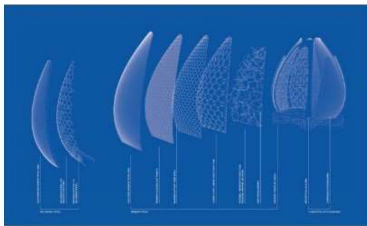


Şekil 33. Beşgen metaforu

Ana dolaşım alanının tavanı ise lotus yaprağının altında geziniyormuş hissi vermesi için o renk ve formda tasarlanmıştır.



Şekil 34. Ana Hol Tavanı- Lotus Yaprığının Altından Görünüşü



Şekil 35. Katmanlar

Yaprakların biyolojik yapısı incelenerek, Cephede de katmanlı bir yapı oluşturularak biyomimikriden aktarım yapılmıştır.

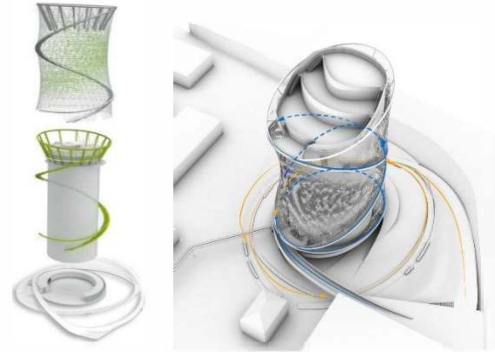
LAVA- Enerji Depolama Merkezi: 2019 yılında tamamlanması planlanan projenin inşasına Almanya,

Heidelberg de 2017 yılında başlanmıştır. Silindirik bir depolama merkezi olarak tasarlanan binanın kullanım amacı, halka açık bir sürdürülebilir enerji bilgi merkezi oluşturmaktır.



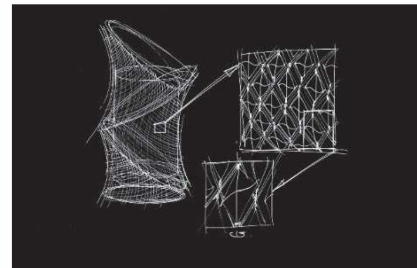
Şekil 36. Enerji Depolama Merkezi (Stadtwerke Heidelberg-Model)

Katmanlı cephe tasarımına sahip olan binada bir çok esin kaynağı vardır. Esneklik, uyarlana bilirlilik, enerji geçişi, yerinden yönetim ve ağ oluşturma kavramlarını sergileyebilmek adına örümcekler, yapraklar ve sürüngen derilerinden ilham alınmıştır. "Sonuç, binayı rüzgarla canlandıran, dinamik, sürekli değişen bir ışık ve gölgenin yüzeyi, binayı dinamik bir yeni enerji rejiminin işareti haline getiriyor."(Santos, S. 2016).

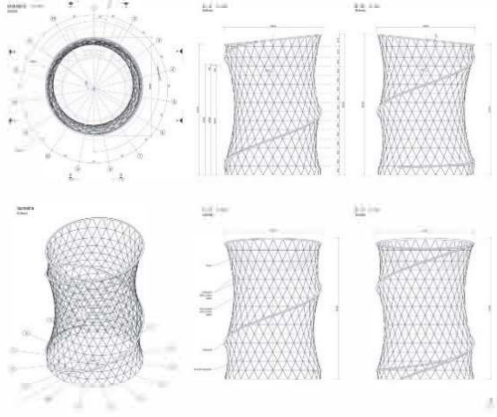


Şekil 37. Merkezin Merdiven Diyagramı (LAVA)

Cephe geometrilerinde, doğadan esintiler taşıyan yapıda baklava biçimli 11.000 adet plaka, paslanmaz çelikten yapılmıştır ve rüzgarda 45 derece dönebilen çelik kablo ağına bağlıdır.

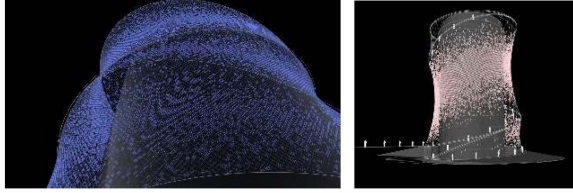


Şekil 38. Profil Detayları (LAVA)



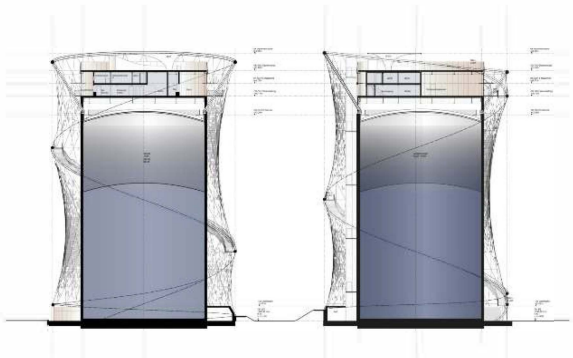
Şekil 39. Çelik Kablolar
(LAVA)

Gece saatlerinde merdivenlerin altına edilecek düşük enerjili LED aydınlatmalarla binanın aydınlatılması planlanmaktadır. Böylelikle ziyaretçiler yapıyı üç boyutlu olarak hissedebilecektir. Bu aydınlatma sayesinde cephede yanıltıcı bir iç katman efekti yaratılır ve ışık binadaki eylemleri yansıtır. Deponun doldurulması ve boşaltılması sinyallerini verir.



Şekil 39. Cephe ve Aydınlatma
(LAVA)

LAVA'nın bu yapıda uyguladığı stratejilerden biri de uygun tasarımı oluşturabilmek adına yapmış olduğu analizler ve oluşturduğu parametrelerdir. Geniş güneş analizi ve rüzgar tüneli testleri yaparak, güneş ve rüzgar enerjileri sayesinde sıcak su ve ısı enerjisi oluşturulacaktır.



Şekil 40. Kesit
(LAVA)

Pekin Ulusal Su Sporları Merkezi (Su Küpü)

2008 yılında Çin Halk Cumhuriyeti başkenti Pekin'de açılan Su Sporları Merkezi, sabun köpüklerinin doğal oluşumundan esinlenerek oluşturulmuştur.

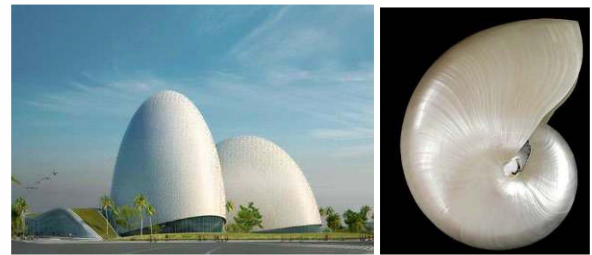


Şekil 41. Pekin Su Sporları Merkezi
(Roland Wich, 2016)

Arup tasarımcıları ve yapı mühendisleri, organik görünürken balonların tekrarlayan ve geliştirilebilir olacağını düşündüler. Rasgele dağılmış görünen cephe sistemi aslında belirli bir düzen için tekrar etmekte ve seçilen malzeme (ETFE) sayesinde güneş enerjisinin %20'sini hapsederek ısıtma için kullanılmaktadır. Aynı zamanda yarı saydam olan bu malzeme gün boyunca ışık olarak %55 aydınlatma enerjisinden tasarruf sağlamaktadır. Cephe yağmurla yıkanarak, kendi kendine temizlenir.



Şekil 42. Sabun Köpüğü ve Pekin Su Sporları Merkezi İç Mekan Görüntüsü



Şekil 43. BioLab, Model – Deniz Kabuğu

Tayvan Hastalık Kontrol Merkezi -BioLab: 2009 yılında Nicoletti Associati tarafından tasarlanmıştır.

Zararlı deniz kabuklarının formundan esinlenerek tasarlanan hastalık kontrol merkezinin cephesinde oldukça ilginç detaylar vardır. Dış cephede tehlikeli bakterilerin DNA dizilimini temsil eden geometrik desenler bulunmaktadır.



Şekil 44. Cephe Detayı ve Yeşil Yol-Model

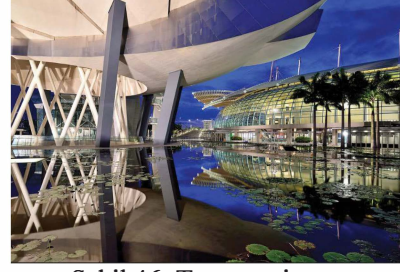
İki ana binadan oluşan yapının yalıtımı, etrafını çevreleyen yeşil yollarla sağlanmaktadır. Cephe sayesinde mekan yeterli ışığı alabiliyor ve ışığın filtrelenmesine izin vererek iç mekanın ısısını koruyor. C şeklindeki 3 katlı idare merkezi, çim ve yeşilliklerle kaplanarak yapay bir tepelik oluşturmuştur. Bu yeşillikler sayesinde izolasyon sağlanmıştır.

Sanat Bilimi Müzesi: 2011 yılında Singapur'da projelendirilen Müze binası körfez suyunun bitişiğinde yer almaktadır. Yapı, gölün üzerinde duran lotusları anımsatan bir mimari tasarıma sahiptir.



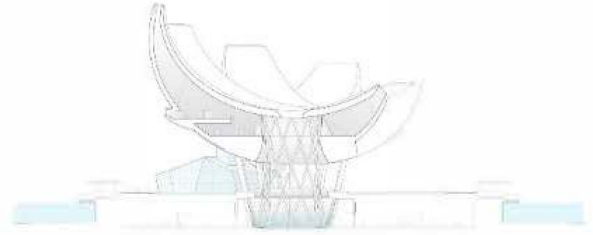
Şekil 45. Sanat Bilimi Müzesi ve Lotus Çiçeği
(Massimiliano Sechi, 2012)

10 yapraklı bir çiçeğe benzeyen yapı 10 parmağa atıfta bulunur. Her biri farklı yüksekliğe sahip olan parmaklar güneş ışığını mekanın içine alır. Bu parmaklardan dolayı arkasında bulunan bina olan Marina Bay Sands'ı geliştiren şirketin genel başkanı Sheldon Andelson tarafından "Singapur'un karşılama eli" olarak tanımlanmıştır.



Şekil 46. Taşıyıcı sistem
(Rebecca Ang, 2013)

Çanak şeklinde olan çatı formu sayesinde, yağmur suyu toplanarak iç gölete akıtılır. 60 metre yüksekliğindeki binayı çelik bir kafes taşımaktadır. Çelik kafes 10 adet sütun ile desteklenir.



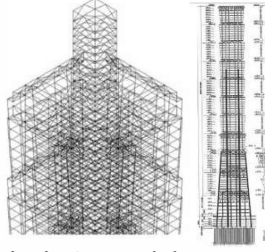
Şekil 47. Kesit

Taipei 101: Adını 101 katlı oluşundan alan yapının inşaatı 1999 yılında başlamış ve 2004 tasarihinde bitmiştir ve Tayvan'da bulunmaktadır.



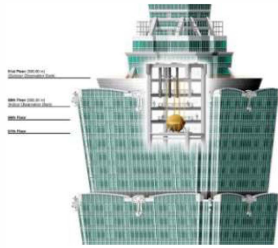
Şekil 48. Taipei 101 ve Bambu Bitkisi
(Prevljn Naidoo, 2014)

Mimar C.Y. Lee tarafından tasarlanan bina bölgenin yerel mimari öğelerinden olan pagodalar ve bambu bitkisinden esinlenerek tasarlanmıştır. Katmanlar sayesinde bina aynı bambu bitkisi gibi ince uzun bir şekilde yükselerek döneminin en uzun yapısı unvanını kazanmıştır. Bu katmanlı mimari modüler olarak 8 parçadan oluşur. Her modülde 8 kat vardır. Tayvan'ın konuşma dili olan Çince 'de sekiz kelimesi zenginlik ile eş anlamlı olduğu için bu şekilde bir atıf yapılmıştır. Çünkü Taipei 101 finansal merkez niteliğindedir.



Şekil 49. Taipei 101 Modüler Taşıyıcı Sistemi

Gökdelenin geometrik yapısının yanı sıra binanın 92. Katında bulunan 680 tonluk bir harmonik emici bulunur. Bu sayede deprem ve şiddetli rüzgarı sönümleyen bu kütle sayesinde binadaki sallanma azalarak hasar ve yapısal bozulmalar önlenmektedir.



Şekil 50. Taipei 101 Denge Topu

Binanın yapımında kullanılan çoğu malzeme geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Binada çevre dostu birçok sistemi kullanılmıştır. Aydınlatmalar ve çift camlı duvarlar enerji tasarrufu sağlar. Binanın yönetimi dumansız hava sahası sağlayarak sigara içimini engellemiştir. Çöp ayırma ve enerji ve su tasarrufu önlemleri alınmıştır. Aydınlatmada LED kullanılarak, havalandırma sistemini de klima sistemine optimize ederek enerji tasarrufu yapılmaktadır. Binada bulunan filtrelenmiş yağmur suyu toplama sistemi ve tuvaletlerde su tasarrufu sağlayan cihazlar sayesinde yıllık yaklaşık 28000 ton su tasarrufu sağlanır. Bu sebeplerden ötürü 2011 yılında LEED (Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik) ile ödüllendirilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğayı tükettiğimiz ve yerine koyamadığımız çağımızda, en azından doğaya daha fazla zarar vermemek adına; doğanın milyonlarca yıldır yaptığı gibi, kendi dengesi içerisinde yaşamasına izin verilmelidir. Doğadan örnek alıp, nasıl yaşadığını gözlemleyerek tasarımların doğaya zarar vermeden de oluşturulabileceğini görülebilir. Kendi kendini sürdüren doğada ilham alarak yapılan tasarımlarda sürdürülebilir ve tasarruflu olacaktır.

İnsanoğlunun şu ana dek ürettiği en güçlü iplik olan aramid ipliği henüz örümceğin ürettiği iplikten güçlü

değildir. Bu ipliği üretebilmek için insanoğlu yüksek sıcaklık ve basınca ihtiyaç duyuyor. Bunun yanında büyük bir çevre kirliliğine sebep oluyor. Oysa ki örümcek ağını oluşturmak için ölü sinekleri yiyerek çevresel sıcaklık ve basınç koşullarında bu işlemi gerçekleştirebiliyor (Pawlyn,2010). Bu da aslında bizim doğadan, hayvanlardan ve organizmalardan çok fazla şey öğrenmemiz gerektiğinin bir kanıtıdır. Eden Projesinde çalıştıktan sonra 2007 yılında Exploration şirketini kurarak biyomimikri alanında rüştünü ispatlayan ve 2011 yılında "Mimarlıkta Biyomimikri" adlı kitabı İngiliz Kraliyet Mimarlar Enstitüsü tarafından basılan Michael Pawlyn enerji tasarrufu ve sürdürülebilirlik ile kalkınma sağlana bilinmesi için üç büyük değişimin gerçekleştirilmesi gerektiğini savunmaktadır. Bunları 2010 yılında gerçekleştirdiği TEDTalks konuşmasında şu şekilde belirtmiştir;

- Kaynak verimliliğinde radikal artış gerçekleştirmek.
- Kaynakları çizgisel, tutumsuz kirlilik yaratan bir şekilde kullanmak yerine kapalı döngü modeline dönüştürmek.
- Fosil yakıtlarının kullanıldığı ekonomiden güneş enerjisi kullanan ekonomiye geçiş yapmak.

Bu çözümlerin hayata geçirilebilmesi için ihtiyaç duyulan yöntem biyomimikridir. Bunun içinde bu maddeleri zaten 3,8 milyar yıldır gerçekleştirmeyi başarmış olan doğayı incelemek en doğru yöntem olacaktır.

Biyomimikriden ilham alarak tasarım oluşturmak için, günümüz teknolojilerinin imkanlarından yararlanarak, parametrik tasarımla biyomimikri birleştirilir. Lotus Tapınağı örneğinde de görüldüğü gibi, katmanları bilgisayar programlarını kullanmadan tasarlamak oldukça güç. Bu durumda parametrik bir tasarım yapmak için bilgisayar ortamında tasarım yapmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Mimari eğitimde bu ekolle yetişen mimarlar doğaya saygılı ve düşünceli tasarımlar ortaya koyacaktır. Hesaplamaya dayalı tasarım tasarımcının belirlediği sınırlar içerisinde olasılıklar ortaya koyarak değişim ve deformasyon imkanı sunar. Tasarım sürecinde toplanan veriler ve analizler sayesinde belirli parametreler hali hazırda elde edilmiş olacaktır. İhtiyaca yönelik parametreler de eklendiği taktirde hem tasarım süreci hızlanacak hem de girilen parametreler ışığında verimli bir yapı ortaya çıkacaktır. İncelenen örnekler, çevre koşullarının iyi analiz edilerek, olumsuz olarak değerlendirilecek çevresel etkenlerin bir şekilde ihtiyacı karşılayacak bir sisteme dönüştürüldüğü görülmektedir. Çevresel etkenlere adapte olan basit mimari çözümler tasarruf sağlarken aynı zaman da tasarım konseptinin geliştirilmesinde önemli rol oynar.

Bu mimari çözümler oluştururken yapacağı işleve uygun olan niteliklerde olan hayvanlar, bitkiler ve organizmalar incelenerek bir çok çözüm üretmek mümkündür. Böylelikle tasarım sürecinde hem doğadan yararlanarak çözümler üretilmiş olunur hem de BIM ve parametrik tasarım yazılımlarıyla tasarım süreci hızlandırılmış olunacaktır.

6. KAYNAKLAR

Bayakara, M., 2011, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlıkta Parametrik Tasarım Ve Arazide Kütle Yerleşimi İçin Bir Model Önerisi

Erdoğan, E. ve Gönenç Sorguç A., 2011, Hesaplamalı Modeller Aracılığıyla Mimari Ve Doğal Biçim Üretim İlkelerini İlişkilendirmek

Genç, M., 2013, Sanatta Yeterlik Eseri Çalışması Raporu, Doğa, Sanat ve Biyomimetik Bilim

İleritürk, İ. 2016, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Eğitiminde Doğa İle İlişki Bağlamında Biyomimikri

Karabetcan, A., 2015, 4. Ulusal İç Mimarlık Sempozyumu, Doğadan Esinlenmiş Tasarımlar: Tasarım Stratejisi Olarak Biyomimikri

Kuday, I., 2009, Yüksek Lisans Tezi, Tasarım Sürecinde Destekleyici Faktör Olarak Biyomimikri Kavramının İncelenmesi

Tekin, Ç. Kurugöl, S. 2011, e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0207

Zeytün. B. 2014, Yüksek Lisans Tezi, Mimari Tasarımda Biyomorfik Yaklaşımlar

Akgöze, F., 2015, Biyomimikri: Doğanın tasarımı <https://sherpa.blog/biyomimikri-doganin-tasarimi#.WjvEHd9l-Mr>
Erişim tarihi; 15.12.2017

Archdaily.cm, 2013, Heydar Aliyev Center / Zaha Hadid Architects
<http://www.archdaily.com/448774/heydar-aliyev-center-zaha-hadid-architects>
Erişim Tarihi: 15.12.2017

AskNature Team, 2016, Mound facilitates gas exchange
<https://asknature.org/strategy/mound-facilitates-gas-exchange/#.WIKMsd9l-Mp>
Erişim Tarihi:06.01.2018

AskNature Team, 2016, Needle-like structure inserts painlessly
<https://asknature.org/strategy/needle-like-structure-inserts-painlessly/#.WIKMtt9l-Mp>
Erişim Tarihi:06.01.2018

Barber, L., 2014, Final Project: Sustainable Design
<http://laurabarber2125.pbworks.com/w/page/73060772/Final%20Project%3A%20Sustainable%20Design>
Erişim tarihi; 05.01.2018

Biomimetic-architecture.com, 2010, Biomimetic Shading Techniques of the Esplanade Theatre
<http://www.biomimetic-architecture.com/2010/biomimetic-shading-techniques-of-the-esplanade-theatre/>
Erişim Tarihi:06.12.2017

biomimicry.org, Biomimicry Examples,
<https://biomimicry.org/biomimicry-examples/>
Erişim Tarihi:06.12.2017

biomimicry.org, What is biomimicry?,
<https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>
Erişim Tarihi:06.12.2017

CTBUH Research Paper, CTBUH 2004 Seoul Conference, Structural Design of Taipei 101, the World's Tallest Building
<http://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1650-structural-design-of-taipei-101-the-worlds-tallest-building.pdf>
Erişim tarihi; 05.01.2018

Desibel Mimarlık, Hanoi Lotus,
<http://www.db-a.co/work/hanoi-lotus/>
Erişim Tarihi:06.12.2017

Designboom.com, 2013, zaha hadid: heydar aliyeve cultural center shapes azerbaijan
<http://www.designboom.com/architecture/zaha-hadid-heydar-aliyev-cultural-center-shapes-azerbaijan/>
Erişim Tarihi: 15.12.2017

Dispenza, K., 2011, Zaha Hadid's Heydar Aliyev Cultural Centre: Turning a Vision into Reality
<http://buildipedia.com/aec-pros/from-the-job-site/zaha-hadids-heydar-aliyev-cultural-centre-turning-a-vision-into-reality>
Erişim Tarihi: 15.12.2017

Encyclopædia Britannica,
www.britannica.com/topic/Crystal-Palace-building-London
Erişim Tarihi:06.12.2017

Eti, A.R., 2017, Doğadan Örnek Almanın Tarihi
<http://www.altugeti.com/dogadan-ornek-almanin-tarihi/>
Erişim Tarihi:06.12.2017

evolo.us, 2010, Warp Scaper
<http://www.volo.us/competition/warp-skyscraper/>
Erişim Tarihi: 05.01.2018

evolo.us, 2010, Eco-Sustainable Housing – Parametric Design
<http://www.evolo.us/architecture/eco-sustainable-housing-parametric-design/>
Erişim Tarihi: 05.01.2018

Göreci, I., 2007, Hayatı Taklit Eden Mimari
http://www.mimarizm.com/haberler/hayati-taklit-eden-mimari_116038
Erişim Tarihi:06.12.2017

Girvin, T., 2007, Sustenance, Biomimicry And Design
www.girvin.com/blog/sustenance-biomimicry-and-design/
Erişim Tarihi:06.12.2017

grimshaw.global, International Terminal Waterloo London, UK
<https://grimshaw.global/projects/international-terminal-waterloo/>
Erişim Tarihi: 13.12.2017

Hansmeyer, M., 2001, Hayal edilemeyen biçimler inşa etmek -TEDTALKS
https://www.ted.com/talks/michael_hansmeyer_building_unimaginable_shapes?language=tr#t-178699
Erişim tarihi; 05.01.2018

Hennighausen, A. Rostan, E., 2015, 14 Smart Inventions Inspired by Nature: Biomimicry, Bloomberg
<https://www.bloomberg.com/news/photo-essays/2015-02-23/14-smart-inventions-inspired-by-nature-biomimicry>
Erişim tarihi; 02.01.2018

l-a-v-a.net, Energy Storage Centre
<http://www.l-a-v-a.net/projects/energy-storage-centre/>
Erişim tarihi; 28.12.2017

Lee, E., 2009, Taiwan's Beautiful Bioshell Center for Disease Control
<https://inhabitat.com/taiwans-beautiful-bioshell-center-for-disease-control/>
Erişim tarihi; 05.01.2018

Pawlyn, M., 2010, TEDTalks, Using nature's genius in architecture
https://www.ted.com/talks/michael_pawlyn_using_nature_s_genius_in_architecture/up-next?language=en
Erişim Tarihi: 05.01.2018

Pawlyn, M., 2016, How biomimicry can be applied to architecture, Financial Times.
<https://www.ft.com/content/e2041a1e-0d32-11e6-b41f-0beb7e589515>
Erişim tarihi; 02.01.2018

pheiding.blogspot.com.tr, 3 Buildings with 3 Different Concept/ Approach, 2011,
<http://pheiding.blogspot.com.tr/2011/01/sj-12-3-buildings-with-3-different.html>
Erişim tarihi; 05.01.2018

Royalacademy.org.uk, Sir Nicholas Grimshaw
<https://www.royalacademy.org.uk/artist/nicholas-grimshaw-ppra>
Erişim Tarihi:13.12.2017

Uysal, D., 2016, Mimari Tasarım Süreç Ve Etkileşimleri
<https://mimaritasarimsurecveetkilesimleri.wordpress.com/author/dogukanuysal/>
Erişim tarihi; 15.12.2017

Welch, A., 2014, Taiwan Centers for Disease Control – Biolab Squadron
<https://www.e-architect.co.uk/taiwan/taiwan-centers-disease-control>
Erişim tarihi; 05.01.2018
Wikizero.net, Prudential (Guaranty) Building
[https://en.0wikipedia.org/wiki/Prudential_\(Guaranty\)_Building](https://en.0wikipedia.org/wiki/Prudential_(Guaranty)_Building)
Erişim Tarihi:06.12.2017

Zorn, A., 2017, LAVA Breaks Ground on Sculptural Energy Tower in Germany
<https://www.archdaily.com/877158/lava-breaks-ground-on-sculptural-energy-tower-in-germany>
Erişim tarihi; 02.01.2018