



Biyomimikri ve Kinetik Mimarlık Yaklaşımlarının Ara Kesitinde Üretilen Biyomimetik Çalışmaların Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında İrdelenmesi

Zeynep Rumeysa POLAT

*Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yozgat, Türkiye
zrpolatt@gmail.com*

Doç. Dr. Çiğdem Belgin DİKMEN* (corresponding author)

*Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yozgat, Türkiye
cbelgin.dikmen@gmail.com*

ÖZET

Doğa, etkileşim içinde olduğu her canlıyla mükemmel bir uyum içindedir ve değişen koşullar karşısında üst düzey algılama, bilgi işleme ve performans gibi yetenekler geliştirmiştir. Doğanın izlemiş olduğu yol ve benimsediği strateji, biyomimikri ve kinetik mimarlık için bir ilham kaynağı niteliğindedir. Bu çalışmanın amacı sürdürülebilir mimarlık kapsamında doğayı gözlemleyerek ve doğanın benimsediği stratejileri geliştirerek ortaya çıkan biyomimikri ve kinetik mimarlık yaklaşımlarının ara kesitinde üretilen biyomimetik çalışmaları irdelemek ve değerlendirmektir. Çalışma kapsamında doğanın bir kılavuz olarak mimari tasarımlar üzerindeki etkisi, biyomimikri ve kinetik mimarlık yaklaşımlarının çözüm olma potansiyelleri örneklerle incelenmiş, Biyomimikri ve kinetik mimarlık yaklaşımlarının günümüz koşullarına ve çevresel değişimlere uyum sağlayabilen tasarımlar ile kesişen noktaları analiz edilmiştir. Analiz çalışmaları her iki yaklaşımın da sürdürülebilir mimari tasarıma uygulanabilecek potansiyeller barındırdığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyomimikri, Biyomimetik, Kinetik Mimarlık, Sürdürülebilirlik, Enerji Etkin Yapı Tasarımı

Examination of Biomimetic Studies Produced in the Intersection of Biomimicry and Kinetic Architecture Approaches in the Scope of Sustainable Architecture

ABSTRACT

Nature is in perfect harmony with every living thing it interacts with and has developed abilities such as high-level perception, information processing and performance in the face of changing conditions. The way nature has followed and the strategy it has adopted are a source of inspiration for biomimicry and kinetic architecture. The aim of this study is to examine and evaluate the biomimetic studies produced in the intersection of biomimicry and kinetic architecture approaches that emerge by observing nature and developing strategies adopted by nature within the scope of sustainable architecture. Within the scope of the study, the effect of nature as a guide on architectural designs, the potential of biomimicry and kinetic architecture approaches to be solutions were examined with examples, and the intersections of biomimicry and kinetic architecture approaches with designs that can adapt to today's conditions and environmental changes were analysed. Analysis studies have concluded that both approaches have potentials to be applied to sustainable architectural design.

Keywords: Bio Mimicry, Bio Mimetic, Kinetic Architecture, Sustainable Architecture, Energy Efficient Building Design

1.Giriş

Tarih boyunca insan-doğa ilişkisi hep var olmuş, insanoğlunun yerleşik hayata geçmesiyle başlangıçta var olan karşılıklı uyum kaybolarak, dengelerin bozulmasına ve insan isteklerinin her şeyin üzerinde tutulduğu ben-merkezci bir anlayışın ortaya çıkmasına yol



açmıştır. Bu anlayış; insanın kendisini ve çevresini anlama biçimini değiştirmiş, Endüstri Devrimi sonrası kentleşme ve nüfus artışına koşut olarak artan yapısal faaliyetler; enerji ve çevre sorunlarına, doğal kaynakların tükenmesine, doğal çevrenin tahrip olmasına ve doğanın daha fazla zarar görmesine neden olmuştur. Süreç içerisinde yaşam alanı olarak kırsala kıyasla kentsel çevrelerin tercih edilmesi insanların yaşamlarının büyük bölümünü yapılar içerisinde geçirmesine, enerji kaynaklarının tüketiminin, atıkların ve karbon salımının artmasına zemin hazırlamıştır (Gruber, 2011). Dünya genelinde üretilen enerji büyük oranda yapı sektöründe; yapıların yapım öncesi (ham maddenin çıkarılması, işlenmesi, mamul madde haline getirilmesi, paketlenmesi ve şantiye alanına getirilmesi), yapım (uygulama) ve yapım sonrası (kullanım, bakım-onarım, yeniden işlevlendirilerek kullanım, yıkım, geri dönüşüm) evrelerinde harcanmaktadır. Aydınlatma, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri başta olmak üzere yapısal faaliyetlerin doğal enerji kaynaklarını doğrudan tüketmesi (Sev, 2009) yapay çevremizi oluşturan yapıların doğa ile uyumlu olmadığı, hizmet ömrü boyunca tasarım, uygulama ve malzeme seçiminden kaynaklanan ve insan sağlığını tehdit eden ortamlara sebep olduğunun, insan ve tüm canlı türlerinin yaşamı için gerekli olan su, hava ve toprağı bir başka deyişle ekosistemi geri dönüşümü olmayacak biçimde tahrip ettiğinin fark edilmesini sağlamıştır. Azalan doğal kaynaklar ve artan doğa tahribatı ile küresel ısınma, iklim değişikliği ve atık gibi çevre sorunlarının yaşanması üzerine insanoğlu, bozduğu dengeyi yeniden oluşturmak için çözüm arayışına girmiştir. Bu gelişmeler tasarımcıların ilgisini her şeyin belirli bir uyum ve denge içerisinde çözümlendiği doğal ortamların incelenmesi, doğada var olan canlıların biçimlerinin yanı sıra, ekosistem içinde davranış kalıplarının öğrenilmesi ve çevre ile uyumlu yapı üretilmesi konularına yönelmiştir. Günümüzde doğal çevrenin gelecek nesillerin gereksinimlerini karşılayacak stratejiler ve gelişen teknolojiler ile sürdürülebilir yapı tasarımı kapsamında ele alınarak, doğa ve insan sağlığını önemseyen çevre dostu tasarımların oluşturulmasının gerekliliği anlaşılmıştır.

Doğada canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için kendileri için tehdit oluşturabilecek çevre değişikliği ve riskli koşullar kaynaklı uyarılara karşı duyarlılık göstermekte ve tepki vermektedir. Biyomimetik yaklaşımla doğadaki örneklerden yararlanılarak yapı elemanlarının da değişen çevre koşullarına duyarlı davranması ve uyum gösterebilmesinin mümkün olabileceği görülmektedir. Bu çalışmanın amacı çevre dostu tasarım yaklaşımları ve sürdürülebilir mimarlık kapsamında doğayı gözlemleyerek ve doğanın benimsediği stratejileri geliştirerek ortaya çıkan Biyomimikri ve Kinetik Mimarlık yaklaşımlarının ara kesitinde üretilen biyomimetik çalışmaları irdelemek ve değerlendirmektir. Çalışmanın ilk aşamasında çevre dostu tasarım yaklaşımları ile çevresel değişimlere ve değişen koşullara uyum sağlayabilen, doğadan ilham alan ve doğanın çalışma prensiplerinden esinlenen Biyomimikri, Kinetik Mimarlık ve Biyomimetik yaklaşımları açıklanmış, doğanın bir kılavuz olarak mimari tasarımlar üzerindeki etkisi irdelenmiş, çevresel değişimlere ve değişen koşullara uyum sağlayabilen, doğadan ilham alan ve doğanın çalışma prensiplerinden esinlenen Biyomimikri ve Kinetik Mimarlık yaklaşımının çözüm olma potansiyelleri tartışılmıştır. Çalışmanın ana materyalini Biyomimikri ve Kinetik Mimarlık yaklaşımları ile üretilmiş yapı örnekleri oluşturmaktadır. İkinci aşamada bir kılavuz olarak doğanın mimari tasarımların biçim üretme süreci üzerindeki etkilerinin okunduğu yapı örnekleri incelenmiştir. İncelenen yapı örneklerinin seçiminde; doğada var olan canlılardan (insan bedeni, bitki, hayvan ve mikroorganizmalar) esinlenilmiş (i), Biyomimikri ve Kinetik Mimarlık yaklaşımları arakesitinde üretilmiş Biyomimetik (ii), değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilen, iklime duyarlı (iii) ve enerji korunumu sağlayan ve insan sağlığı ve konforunu önemseyen (iv) tasarımlar olması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen örnekler üzerinden Biyomimikri ve Kinetik Mimarlık yaklaşımlarının kesişen noktaları analiz edilmiş ve analiz çalışmaları ile her iki kavramın da sürdürülebilir mimari tasarıma uygulanabilecek potansiyeller barındırdığı sonucuna varılmıştır. Çalışmanın son aşamasında Biyomimikri ve Kinetik Mimarlık yaklaşımlarının yaratıcılığı ve mimarlık disiplinini nasıl etkilediği, ne denli desteklediği sorgulanmış, bu yaklaşımların yenilikçi tasarım çözümleri üretilmesine katkıları ile gelecekte mimari tasarımı nasıl biçimlendireceği ve mimarlık eğitimini nasıl etkileyeceği üzerine fikir üretilmeye çalışılarak öneriler sunulmuştur.

2. Çevre Dostu Tasarım Yaklaşımları

Tarihsel süreç içerisinde çevre dostu tasarımlar için en iyi yaklaşımın ne olduğu konusunda çeşitli uygulama ve teoriler öne sürülmüştür. Bu yaklaşımlar; yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak enerjiyi etkin ve verimli kullanan, çevresel etkiyi azaltmak için az bakım-onarım gerektiren, kendini temizleyen malzemeler, çevre dostu üretim ve bilinçli tüketim, geri dönüşüm, yeniden kullanım, atıkları azaltma vb. farklı noktalara yoğunlaşmış olsalar da hedefleri büyük ölçüde aynı kalmıştır. Elde edilen bilgiler, konunun daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına koşut olarak yeni paradigmlar ortaya çıkarmıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru çevre dostu tasarımlar; Ekolojik Tasarım Derneği (Ecologic Design Association) tarafından önerilen Eko Tasarım (Eco Design) kavramı ile canlı türlerine ve gezegen ekolojisine dost malzemelerin, ürünlerin, projelerin ve sistemlerin tasarım paradigması olarak tanımlanmıştır (Yeang, 2006). Son yıllarda, sürdürülebilirlik açısından bu mevcut tasarım paradigmasının kapsamının dar olduğu ve değiştirilmesi gerektiğini savunanların artması; doğadaki canlı türlerinin, çevrelerine ve çevrelerindeki dönüşümlere uyum sağlamak için çeşitli yöntemler geliştirmesi ve sürdürülebilir bir ekosistem oluşturması araştırmacıları yeniden doğaya yönlendirmiştir. Doğada var olan yaşam alanlarının dayanıklı ve esnek yapısı ile tasarım-yapım ve bakım süreçlerinin mükemmellik barındırması, doğanın kısıtlı koşullar altında ekosistemdeki milyarlarca türün yaşamını belirli dengeleri gözeterek düzenleyen bir uzman olduğu görüşünün benimsenmesini sağlamıştır (Madge, 1997). Böylece Dünya genelinde sürdürülebilir bir gelecek için kentsel gelişimin doğal çevre, iklim ve toplum üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla Biyomimikri yaklaşımına eğilim artmış (Gruber, 2011), Biyomimikri; sürdürülebilirliği garanti eden etkin mekanizmalar geliştirilmesine olanak tanıyan ve insan faaliyetlerinin neden olduğu ekolojik sorunları azaltan bir çıkış yolu olarak görülmüştür (Dube, 2012). Doğanın kendini organize etme şekli, koşullar karşısında sergilediği esnek tutum ve zorluklara getirmiş olduğu alternatifler doğanın önderliğinde şekillenerek Biyomimikri kavramının temelini oluşturmuştur. Yaşamın taklit edilmesi anlamında tanımlanan Biyomimikri kavramı, daha sürdürülebilir ve konforlu bir çevre için tasarımcılara ilham kaynağı olması nedeniyle mimarlık ve mühendislik gibi pek çok disiplinde ön plana çıkmıştır.

Çevre dostu tasarımların yeni bir konu olmamasına rağmen, Biyomimikrinin Eko Tasarıma kıyasla sürdürülebilir tasarım dünyasında odak noktası haline gelmesi, sürdürülebilir bir gelecek için çevreye duyarlı ve inovasyonla sonuçlanan tasarımların yaygınlaşarak önem kazanmasına neden olmuştur (Bagley, 2014). Pek çok tasarımcı, mimar, mühendis ve bilim adamı Biyomimikrinin; doğadan öğrenilebilecek çözümler sayesinde yaşam alanlarının tasarımı, malzemelerin daha verimli kullanımı ve sürdürülebilir tasarımların üretilebilmesi konusunda tasarımcıları bilgilendirebilecek bir yaklaşım olduğuna inanmakta (Paul, 2010) ve Biyomimikri yaklaşımını Eko Tasarıma tercih etmektedir. Bu tercihin nedenleri incelendiğinde; eko tasarımda bir sistem yaklaşımından ziyade ürün yaklaşımının benimsendiği (Madge, 1997), bir başka deyişle ürünün yaşam döngüsünün tüm evrelerinin (geliştirme, üretim, dağıtım, kullanım, bakım ve geri kazanım) kapalı bir döngü içerisinde gerçekleştiği (Guidice vd., 2006) görülmektedir. Yapılı çevrenin doğal çevre üzerindeki etkisini azaltmayı amaçlayan eko tasarımda; sorunu çözmek için seçilen yöntem, tasarım süreci içinde bir dizi ek strateji oluşturmaktır. Doğal çevre ve yapılı çevrenin ayrı değerlendirildiği eko tasarımda; yapılı çevrenin genellikle doğanın bir parçası olarak görülmemesi ve doğadan ayrı düşünülmesi çevresel sürdürülebilirliğin önüne geçmekte (Wahl, 2006) ve kavramın sürdürülebilirliğinin sorgulanmasına neden olmaktadır.

Doğal ve yapılı çevreyi birbirinden ayrı tutmayan, tasarım ilkelerini ve yönergelerini bütüncül ve çok yönlü bir yaklaşımla değerlendiren ve Biyomimikri ilkelerine dayandıran bir tasarım hareketinde;

- Dönemin teknolojisinden faydalanma, yeni bir teknoloji araştırma veya keşfetme,
- Geliştirme, iyileştirme, mevcut tasarımlara veya süreçlere yeni özellikler ekleme,
- Yenilikçi tasarımı destekleme, benzeri görülmemiş tasarım veya süreçler üretme,
- Doğadan öğrenme ve çevre dostu olma,



- Özgünlük, gelecekteki tasarımlar üzerinde etkili olma,
- Daha verimli, esnek, kullanışlı, daha az enerji harcayan, daha az kirletici, geri dönüştürülebilir, ekonomik ve sürdürülebilir çözümlere odaklanma gibi dikkat çekici özellikler bulunmaktadır.

Biyomimikri yaklaşımının bu özellikleri ve ekoloji, doğa bilimleri ve teknolojiyle kurmuş olduğu ilişki, Biyomimikrinin diğer çevre dostu tasarım yaklaşımları arasından sıyrılarak sürdürülebilir bir çevre için hayati bir gereklilik haline gelmesine neden olmaktadır.

Yerel ve küresel ölçekte sorun haline gelen enerji kaynaklarının yetersizliği ve artan enerji maliyetleri, doğada canlı ve cansız varlıkların yaşamlarını sürdürebilmek, değişen koşullara uyum sağlayabilmek için çevresel etkilere tepki olarak hareket halinde olması ve buldukları çevreye göre biçimlerini değiştirebilmesi tasarımcılara yol göstermiş ve Biyomimikri dışında yeni yaklaşımlara yöneltmiştir. Bu amaçla tıpkı rüzgârın hızına, yönüne, çevredeki diğer tepelerin konumuna ve biçimine göre hareket eden ve sürekli biçim değiştiren bir kum tepesi gibi (Zuk ve Clark, 1970) iç ve dış etkilere maruz kalan yapıların bu etkilere karşı koymada yetersiz kaldığı durumlarda, enerjinin etkin ve verimli kullanılabilmesi için yapının hareket edebilmesi veya sabit elemanlar yerine hareketli yapı elemanların kullanılması uygun görülmüştür (Dikmen ve Gültekin, 2009; Yaşa, 2010; Dikmen, 2011).

Yapının veya yapı elemanlarının mimari bütünlüğü azaltmadan hareket etmesi ilkesine dayanan Kinetik Mimarlık (Yaşa, 2010); denge oluşturan ve zaman içinde durağan olmayan unsurlara karşı verilen tepki (Zuk ve Clark, 1970), çevresel etkilere akıllı sistemlerle cevap vererek kullanıcılar için en uygun koşulları oluşturmaya çalışan disiplinler arası bir alan ve doğanın geometrik karmaşıklığından ilham alan biçim ve teknolojinin uyumu şeklinde tanımlanmaktadır (Al-Juboori, 2021). Kinetik Mimarlık;

- Değişen durumlar karşısında farklı işlevlere uygunluk göstererek esneklik sağlanmasında (Bostancı, 2006),
- Yapı ve yapı elemanlarının sabit bir yerde değil, farklı coğrafyalarda da kullanım sunmasında (karavan, kapsül üniteleri, mobil evler vb.),
- Dikey ve yatay sirkülasyonun kolaylaştırılmasında (kapalı otoparklarda belirli platformların kaymasıyla iç mekânın verimli kullanılması vb.),
- Yapı ve mekân tasarımlarında yüksek performans elde edilmesinde (hareketli bölücü duvarlar ve çok amaçlı gömme mobilyalar vb.),
- Yapı ile çevre arasındaki etkileşimin ve fiziksel çevre kontrolünün denetlenmesinde, yapının aydınlatma, ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması ve kaynakların etkin, verimli kullanılabilmesinde (iklime göre hareket edebilen örtü, kabuk ve yapılar, güneş kırıcılar gibi hareketli yapı elemanları, döner yapılar veya duyarlı çatılar vb.) önemli rol oynamaktadır (Ramzy ve Fayed, 2011).

Yapının veya bazı yapı elemanlarının hareket prensibi doğrultusunda üretilen Kinetik Mimarlık örnekleri ile yapılarda fiziksel çevre kontrolü sağlanmakta, aydınlatma, ısı kontrolü ve enerji etkinlik konularında yüksek performans elde edilebilmekte ve hareket eden kısımlar ile kapasite arttırılabilmekte ve esnek tasarım gerçekleştirilerek kullanım değişikliklerine izin verilebilmektedir (Başar, 2014). Bu bağlamda enerji etkin ve esnek tasarımlara olanak tanıyan, doğayı teknolojiyle, teknolojiyi de kinetik mimarlıkla bütünleşik olarak ele alan biyomimetik kavramı ön plana çıkmıştır.

Doğadaki canlı-cansız tüm oluşumlar, 3,8 milyar yıllık değişim sürecinde çok işlevli çözümler geliştirerek seçim ve etkileşim yoluyla karakteristik özelliklerini değişen çevre koşullarına uyarlamıştır (Knippers and Speck, 2012). Yaşam alanı nerede olursa olsun tüm canlı türleri yer ve mekân gözetmeksizin uyum sağlamayı, diğer varlıklarla yaşamayı, kendini korumayı ve iyileştirmeyi bilmektedir. İnsanoğlu yaşamı boyunca pek çok sorunla mücadele etmek durumunda kalırken, doğanın sorunun çözümünü bir metot ile tasarlamış ve ortaya koymuş olması, doğanın şüphesiz en bilge öğretici olduğunun kanıtıdır (Benyus,



2002). Biçim-işlev ilişkileri, simetrik/asimetrik örüntüleri, kendi içinde var olan döngüsü ve prensipleri ile doğa; pek çok tasarıma ışık tutmuş ve bilginin kaynağı olarak kabul edilmiştir (Özen, 2016). Doğada canlıların yaşam döngüleri incelendiğinde; her varlığın çevresiyle mükemmel bir uyum içerisinde olduğu ve zorluklara karşı çeşitli çözümler geliştirdiği görülmektedir. Çözümlerin temelinde; canlının gereksinimi karşılanırken, diğer organizmaların veya ekosistemin zarar görmemesine dikkat eden bir tasarım anlayışı bulunmaktadır. Canlıların doğal yaşam döngüleri içerisinde kendi yaşam koşulları için en uygun ve değişen yaşam koşullarına uyum sağlayabilen ideal biçime ve gelişme konusunda doğa kadar deneyimli, eko sisteme duyarlı ve yaratıcı tasarımlara sahip olduğu görülürken (Özen, 2016), insanoğlunun sahip olduğu teknolojik olanaklarla dahi değişen yaşam koşullarına karşı uyum sağlama konusunda diğer canlı türleri kadar hünerli ve doğaya duyarlı olmadığı görülmektedir.

Pek çok mühendislikten farklı olarak doğada canlı türlerini araştıran biyoloji ile mimarlık bilimleri benzeşmekte, doğada canlıların ve insanoğlunun temel gereksinimlerinin karşılanması genellikle açıkça tanımlanmış işlevler, estetik dışında ölçülebilir teknik veya ekonomik parametreler içermektedir. Bu nedenle yaşanan mekân veya çevrenin özellikleri ile yaşam için gereksinimlerin bilinmesi ve biçimin yaşamsal faaliyetler ve işlev ile ilişkisinin sağlanması sürdürülebilir mimarlık için önem taşımaktadır.

2.1. Biyomimikri ve Kinetik Mimarlık Ara Kesitinde Üretilen Biyomimetik Örnekler

Mimarlık disiplininde doğanın, canlı ve cansız varlıkların biçimlerinin tesadüfi olmadığı ve her varlığın yaşamını sürdürebilmesi için gereken koşulların biçim ve doğanın çalışma prensibi ile desteklendiği görülmektedir. Biyomimikri biliminin bir parçası ve insanların karşılaştıkları sorunları çözmek için doğanın ilke ve stratejilerini, hareket kabiliyeti ile birlikte daha pek çok boyutunu taklit eden bir yaklaşım olarak kabul gören biyomimetik (İnan, 2014) terimi, Otto Schmitt tarafından 'Yaşam imgesinde fiziksel sistemler veya biyofiziksel bileşimler geliştirmek için bilgi ve ilham kazanma umuduyla biyolojik fenomenlerin incelenmesi' olarak tanımlanmıştır (Vincent vd., 2006). Benyus biyomimetik yaklaşımı, doğadaki biyolojik organizmalar veya sistemler tarafından kullanılan fonksiyonel stratejilerin teknik olarak gerçekleştirilmesi ve uygulanması olarak tanımlanmış ve Biyomimetik'in hedefinin mevcut teknolojilerden daha iyi performans gösteren sürdürülebilir ve ekonomik kalkınmayı sağlayan yeni radikal teknolojiler oluşturmak olduğunu belirtmiştir (Benyus, 2002).

Biyomimikri ve Kinetik Mimarlık yaklaşımları arakesitinde üretilen Biyomimetik yapı örnekleri incelendiğinde, tasarımlarda doğanın sadece biçimsel benzerliğinden (anoloji) değil, çalışma mantığından esinlenerek işlevsel benzerliğinden de yararlandığı görülmektedir. Bu çalışma kapsamında doğadan öğrenerek, ilham alarak ve doğanın çalışma prensipleri ile hareket kavramını kullanarak tasarlanan sürdürülebilir yapı örnekleri seçilmiştir. İnsan bedeninden (antropomorfik), bitki (fitomorfik) hayvan (zoomorfik) ve mikroorganizmalardan (mikromorfik) ilham alarak ve doğaya öykünerek tasarlanan bu örneklerde oluşturulan biçimin fiziksel çevre denetimi, değişen gereksinimlere ve durumlara uyum sağlayabilme, esnek tasarım, enerji etkinlik ve su korunumu sağlama, geniş açıklık geçmede taşıyıcı sisteme destek olma, yarı açık ve gölge alan oluşturma amaçlarının yanı sıra estetik bir unsur olarak da kullanıldığı görülmektedir.

1981 yılında Paris'te açılan bir yarışma ile Jean Nouvel Architecture tarafından tasarlanan ve 1987 yılında yapımı tamamlanan Institut du Monde Arabe yapısı; çevresel algılayıcıların hareketiyle otomatik yanıtı dayalı ve Biyomimetik yaklaşımla üretilen ilk yapı örneklerindedir. Pek çok yapısında olduğu gibi aydınlatmada doğal ışığın etkin ve verimli kullanımına dikkat çeken Nouvel; bu yapıda insan gözünün ısı ve ışık karşısındaki davranışını hareket unsuru katarak taklit eden aktif bir cephe kullanmaktadır. Diğer cephelerden farklı olarak yapının güney cephesinde Arap mimarisindeki kafes figürünün teknik bir yorumu olarak tanımlanan (Loonen, 2010), geometrik motiflerden oluşan metalik düzlemler üzerindeki 25.000 güneş pili ve bilgisayar aracılığıyla orta ışık seviyesine

(Fortmeyer and Linn, 2014) ve günde en fazla on sekiz kez hareket etmeye ayarlanan 240 adet farklı büyüklükte ışığa duyarlı mekanik diyafram; dış ortam ışık seviyesine göre, tıpkı göz gibi otomatik olarak küçülüp büyüebilmektedir. Gözün davranışını taklit ederek oluşturulmuş kinetik cephede güneş ısısına ve parlamaya karşı koruyan (Archdaily, 2012a) mekanik diyaframlar ile aydınlatma sistemi, günışığının iç mekânlara girişi denetlenmekte ve ısı konfor korunmaktadır (Fotoğraf 1) (Mimdap, 2019a). Diyaframların sağladığı hareketlilik ve ışık-gölge etkisi ile iç mekânda mekânı değiştiren, dinamik bir etki yaratıldığı ve bu deneyimin iç mekânda önemli rol oynadığı ifade edilmektedir (Bahar ve Yalçınkaya, 2021). Ancak yapı; tamamen otomatik olan kinetik cephesinin kullanıcılara kontrol olanağı tanımaması, cephe panellerinin gürültülü ve kırılğan olması gibi nedenler ile olumsuz eleştiri almaktadır (Coelho ve Maes, 2009; Loonen vd., 2013).



Fotoğraf 1. Institut du Monde Arabe (World Press, 2017; Mimdap, 2019a)

Santiago Calatrava'nın Amerika'da Michigan Gölü kıyısında tasarladığı Quadracci Pavyonu'na yönelik çalışmalar, 1957 yılında Eero Saarinen tarafından bir savaş anıtı (Milwaukee Savaş Anıtı) olarak tasarlanan Milwaukee Sanat Müzesi ve 1975 yılında eklenen David Kahler tasarımı sergi alanından oluşan bölgeye güçlü bir mimari kimlik ve kamusal imaj yaratma hedefi ile başlamıştır. Atriyum, geçici sergiler için galeri, eğitim merkezi, hediyelik eşya satış yeri, restoran içeren ve mevcut yapının ayrı bir bütün olarak bozulmadan kalmasına izin verilerek, Kahler'in yapısına yakın konumda ve göl kıyısında tasarlanan Quadracci Pavyonu (Fotoğraf 2) 2001 yılında tamamlanmıştır. Saarinen'in yapısına dik konumda cam ve paslanmaz çelikten yapılmış, lamel çatılı doğrusal kanat dahil olmak üzere tasarım aracılığıyla, mevcut sergi ve kamusal amaçlı kullanılan 14900 m² alana 13200 m² ek alan ile bölgeye kimlik kazandırmıştır. Yapının tasarımında Michigan Gölü'ndeki kuşların kanatlarından ve yelkencilik kültüründen esinlenilmiştir. Kinetik bir yapıya sahip pavyonun en dikkat çeken özelliği resepsiyon salonunun üzerinde, yükselen kanat formunda ve büyük bir kuşun kanatları gibi açılıp kapanarak güneş kırıcı/gölgelik işlevi gören, hareketli nervür panjurlardan oluşan çatıdır. Hareketli panjurları taşıyan ve giriş holünü örten konik çatıyı destekleyen pilon hattı, Calatrava tasarımı yaya köprüsü direği ile aynı eğimde bir başka direk, doğrusal eksene dayanarak yapı girişini belirtmektedir. Kanat açıklığı 66 metre olan çatıda 36 kanatçıktan oluşan yarı otomatik kinetik sistem; gölgelendirme, gün ışığı kontrolü ve güneşin zararlı etkilerinden korunma sağlamanın yanı sıra, rüzgâr hızının 50 km/s'i geçmesi durumunda otomatik olarak kapanarak rüzgârın olumsuz etkilerini de kontrol etmektedir (Mimdap, 2019b).



Fotoğraf 2. Milwaukee Sanat Müzesi Quadracci Pavyonu (Mimdap, 2019b).

ARUP Group tarafından 2005 yılında Çin'in önemli simgelerinden olan Peony'den (Manolya çiçeği) esinlenilerek Shanghai'da tasarlanan Qizhong Stadyumu (Fotoğraf 3); doğada çiçeklerin güneş ve rüzgâra göre taç yapraklarını hareket ettirmesi prensibi ile çalışmaktadır. Manolya bitkisinin güneş ve rüzgâra göre davranışından ilham alarak tasarlanan betonarme stadyumun üzeri, 123 m çapında devasa bir çelik konstrüksiyon ve her biri 72 m uzunluğunda, 48 m genişliğinde ve 61,5 m konsol uzunluğuna sahip taç yaprağı biçiminde sekiz elemandan oluşan çelik çatı ile örtülüdür (Asefi and Foruzandeh, 2011). Üç ray üzerinde birlikte hareket edebilen, dönebilen elemanlar aracılığı ile stadyum 8 dakika içerisinde açılıp kapanabilmektedir. Çatının bu hareketi yapının yarı açık ve kapalı olarak esnek kullanımına olanak sunduğu gibi, çatıların kapanması yapı içinde yükselen sıcak havanın stadyumun içine verilmesini, açılması ise dışardan gelen taze ve serin havanın kontrollü olarak yapı içerisine alınmasını sağlamaktadır (Zenter ve Yıldırım, 2020; Eser, 2021).



Fotoğraf 3. Qizhong Stadyumu (Taflı, 2019)

Michael Jantzen tarafından kamu binası veya konut olarak kullanılabilir şekilde tasarlanan Wind Shaped Pavilion (Fotoğraf 4), değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilen, iklime duyarlı ve çevre dostu bir yapıdır. Adından da anlaşılacağı üzere hava koşullarına, rüzgârın gücüne ve yönüne göre Wind Shaped Pavilion'un görünümü sürekli olarak değişmektedir. Yapıda rüzgâr gücü aracılığıyla bir eksen etrafında altı parçanın dönebilmesini sağlayan merkezi açık bir destek sistemi bulunmaktadır. Her bir parçanın merkezi bir eksen etrafında dönebilmesini sağlayan hareket; yapı cephesinde farklılık yaratmanın yanı sıra, rüzgârın olumsuz etkilerinden korunma ve rüzgâr enerjisiyle yapının soğutulması ve iklimlendirilmesinde de etkilidir (Inhabitat, 2006; Zenter, 2018). Görece simetriye yakın plan şemasına sahip yapı rüzgâra maruz kaldığında, rüzgâr yönü ve şiddetine bağlı olarak her bir parça farklı hareket ederek yapı görünümünü rasgele değiştirebilmektedir. Pavyonun rüzgâr gücüne göre dönüş hareketi, yenilenebilir ve temiz enerji kaynağı olan rüzgâr aracılığı ile enerji elde edilmesini sağlamaktadır. Sanatsal yaratıcılık ile teknolojik gelişmeleri sürdürülebilirlik kapsamında birleştiren yapı; yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına dikkat çekmekte, yapıda aydınlatma, havalandırma, ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılmasına ve enerji tasarrufuna destek olmaktadır (Archello, 2018).



Fotoğraf 4. Wind Shaped Pavilion (Archello, 2018).

Enric Ruiz-Geli tarafından 2007-2009 yılları arasında tasarlanarak Barcelona'da inşa edilen Media-TIC Office Building (Fotoğraf 5); teknolojiyle uğraşan yatırımcıları, kullanıcıları ve mucitleri bir araya getiren bir mekân yaratma amacı ile ofisler ve kamuya açık sergi mekanlarından oluşmaktadır. Media-TIC Office Building'in cephesi; doğadan ilham alarak, canlıların nefes alma/verme gibi fizyolojik davranışlarına benzer biçimde şişme/sönme, gerilme hareketi ile bir diyafram gibi davranan kinetik bir zarf oluşmaktadır (Arkitektuel, 2018). Yapı cephesinde cama kıyasla daha hafif, az maliyetli, güneş kazanımı yüksek, daha iyi yalıtım sağlayan esnek bir malzeme olan, değişken bir perde gibi hareket eden, güneş enerjisini almak için kışın açılan ve yazın güneşten korunmak ve gölgelemek için kapanan ETFE (ethylene tetra fluoro ethylene) paneller kullanılmıştır. ETFE panellerden oluşturulan ve adeta bir cilt gibi davranan zarf; değişen çevre koşullarına göre şişerek/sönerek farklı biçimler alabilmektedir. Dış ortama ilişkin sıcaklık, günışığı, basınç, nem ve rüzgâr verileri sensörler aracılığıyla cepheye aktarılmakta, algılanan verilere göre ilk katı şeffaf, diğer iki katı noktalı üç katmandan oluşan ve üçgen çerçevelere bağlanmış olan hareketli ETFE elemanlar; cephede dış ortam sıcaklığına göre güneş enerjisini almak için kışın sönerek açılan ve yazın güneşten korunmak ve gölgelemek için şişerek güneş kırıcı gibi çalışmakta oluşan hava hazneleri aracılığıyla ısı yalıtımı sağlamaktadır (Ayçam vd., 2021). ETFE malzemenin yapışmaz özelliği ile kir tutmayan cephe, bakım gerektirmemektedir. ETFE panellerin içine nitrojen bazlı sis uygulaması ile cephenin opaklığı değiştirilirken ışık geçirgenliğinin kaybolması da önlenmiştir. Bu uygulama cephe elemanlarının içindeki havanın partiküllerinin yoğunluğuyla bir nevi bulut efekti oluşturarak, güneş ışınlarını direkt dağıtan bir cephe yaratılmaktadır. Yapı cephesinde kullanılan dinamik uygulama enerji verimliliğini arttırmakta, karbon salımını %95 ve UV ışınlarının yapı içerisine girişini de %85 oranında azaltmaktadır (Archdaily, 2010). Yapının güney cephesine gelen güneş ışığı miktarına göre düzenlenmiş cephe yüzeyi; daha fazla gün ışığına gereksinim duyulduğunda sönerek ve gün ışığının kullanılmadığı durumlarda şişerek aydınlatma kontrolü sağlamaktadır. Hareketli paneller çevre ve kullanım koşullarına bağlı olarak farklı cepheler de sunabilmektedir (Suner, 2011). Yapı, teknoloji ve mimari kurgunun birleşimini hedefleyen yaklaşımıyla dikkat çeken bir tasarıma sahiptir ve zeminde kentsel mekân yaratmaktadır. Yapının zaman zaman mimarların kurguladığı şekilde kullanılmayışı kullanıcılar tarafından eleştirilmektedir.



Fotoğraf 5. Media-TIC Ofis Binası (Archdaily, 2010; Arkitektuel, 2018)

Doris Kim Sung tarafından 2011 yılında Los Angeles, Silver Lake'de sergilenen Bloom enstalasyonu (Fotoğraf 6); değişen çevre ve iklim koşullarına uyum sağlayacak yapı malzemelerinin kullanımına yönelik farkındalık oluşturmayı amaçlamaktadır. Mimarlık ürünü yapıların, statik ve iklim kontrollü olması yerine, iklimsel değişimlere dinamik olarak tepki veren, sıcaklık değişimine uyum sağlayabilen malzemeler ile tasarlanması gerektiğini savunan Sung; akıllı yapı malzemesi olarak gördüğü termo-bimetaller ile çevreye duyarlı bir enstalasyon tasarlamıştır. Enstalasyonda malzeme deneyleri gerçekleştirerek, hesaplamalı form kalıbı ve yapısal yenilik fikri ile ısı ve ışıktaki değişikliklere tepki veren, sıcaklığı düzenleyen ve yapay soğutma gereksinimini azaltan bir zarf oluşturulmuştur. 20 feet uzunluğunda, ısı ve basınç uygulanarak bir araya getirilmiş iki farklı metal ile birbirinden tamamen farklı 14.000 termo-bimetal parçadan oluşan zarf; artan ısıyla birlikte tepkisel bir şekilde kıvrılarak biçim değiştiren ve hava geçirgenliği ile nefes alan dinamik heykelsi bir yapı göstermektedir. Farklı genleşme katsayılarına sahip ve sıcaklığı pasif bir şekilde düzenleyecek termo-bimetal panellerin kullanıldığı Bloom; doğada değişen iklim ve çevre koşullarına kolayca uyum sağlayabilen canlıların davranışlarının gözlenmesi ve stratejilerinin anlaşılmasının, hareket yetenekleri ve çevresel tepkileri olmayan statik cephe ve kabuklar yerine biyomimetik ilkeleri ile teknoloji ve enerji kullanılmaksızın çevresel değişikliklere yanıt veren akıllı yapı malzemesi kullanarak yapılarda dinamik ve duyarlı bir şekilde güneşten ve yüksek sıcaklıklardan korunabileceğini, pasif havalandırmadan yararlanarak soğutma yüklerinin azaltılabileceğini, kullanıcı sağlığı ve konforu ile enerji verimliliği sağlanabileceğini göstermesi açısından değerli görülmektedir (Dosu Studio Architecture; Lopez vd., 2015).



Fotoğraf 6. Bloom Enstalasyonu (Dosu Studio Architecture)

Yarışma ile elde edilen ve Soma Architecture tarafından 2012 yılında Güney Kore'de tasarlanan One Ocean Tematik Pavilion EXPO 2012, kentsel bağlama uygun biçimde bulunduğu yer için bir simge oluşturmayı amaçlamaktadır (Fotoğraf 7). Yapıda yaşayan okyanus ve sahil olarak belirlenen konsept ile okyanusun sonsuzluk ve derinlik algısı binaya aktararak biyomimetik bir cephe tasarlanmıştır. Cennet Kuşu bitkisi ve köpekbalığı solungacından ilham alınarak tasarlanan yapıda; açılıp kapanma hareketi ayrı ayrı kontrol edilebilen, kanatlı ve 108 cam elyaf takviyeli polimerden (GFRP-Graphite Fiber Reinforced Polymer) oluşan çok katmanlı sürdürülebilir bir cephe uygulanmıştır. Kore'nin çok yüksek hızdaki rüzgarlarına karşı dayanımını sağlamak amacıyla organik ve kısıtlı olmayan biçim ile oluşturulmuş kinetik cephede koreografi niteliğindeki açıklıklar aracılığıyla rüzgâr yönlendirilmekte ve yapı doğal olarak havalandırılmaktadır. Optimum düzeyde gün ışığını iç mekâna aktarabilmek için yapının ihtiyacına, gün ışığının geliş açısına, rüzgârın yönüne ve şiddetine göre hareket edebilen kinetik cephe iç mekân konforunu korumaktadır. Yapı formu uyarlanabilir bir dış gölgeleme sistemi sunarak, yazın soğutma yüklerini azaltarak, kışın ise kışın pasif enerji kullanımı ile enerji tasarrufu sağlamaktadır (Archdaily,2012b; Knippers and Speck, 2012).



Fotoğraf 7. Cennet kuşu bitkisi ve One Ocean Tematik Pavilion EXPO 2012 yapısının kinetik cephesi (Archdaily, One Ocean Tematik Pavilion EXPO 2012b).

Aedas Architecture tarafından 2012 yılında Birleşik Arap Emirlikleri'nde tasarlanan 145 metrelik kulelerden oluşan Al Bahr Towers (Fotoğraf 8), kentsel bağlama ve bulunduğu yerin coğrafyasına özgü iklimsel ve kültürel veriler ile gelişen tasarım; değişen çevre koşullarına ve iklime duyarlı bir yaklaşım göstermektedir. Geleneksel İslam Mimarisinde kullanılan geometrik figürler (Mashrabiye pattern) ile ahşap kafes sistemlerden esinlenen yapının tasarım felsefesi; günışığından yararlanmak, güneş kaynaklı ısı kazancını azaltırken, güneşin ısınım, ısınım ve kamaşma gibi olumsuz etkilerinden korunmak, gölgeleme elemanları ile yapıda soğutma yüklerini azaltmak ve iç mekânda ısı konfor sağlamaktır. Kültürel bir değerın günümüz koşulları ve teknolojik altyapı ile yeniden yorumlanması üzerine gelişen tasarımda cephede kullanılan iklime duyarlı ahşap kafes sistem; kültür ile kurulan bağlantı ve estetik açıdan değerlendirilmekle birlikte, sadece görsel bir imge olarak ele alınmamış, strüktürel olarak yeniden yorumlanmıştır. Ahşap kafes sistemin yeniden yorumlanması geçmiş ve günümüz arasında bir köprü kurma çabasının yanı sıra, yapı cephelerinin değişkenliği ile gün içinde farklılaşan bir imge değeri oluşturmaktadır. Kültürle kurulan bağ esas alınarak, geçmişte kullanılan strüktürel elemanın modern bir yorumla yeniden tasarlanması; yapıya işlevsel (güneş kırıcı, strüktür) ve estetik (imge değeri oluşturmaları) açıdan ve günümüz bezeme anlayışı bağlamında yeni açılımlar getirebilme potansiyeli barındırmaktadır (Balkan ve Koca, 2021). Bu durum, yapının fark edilebilirliğini arttırarak onu güçlü bir imge haline getirmekte ve yapının sembolik çağrışımlarla anlamsal ifadesini güçlendirmektedir.

Al Bahr Towers güney, doğu ve batı cephelerinde kullanılan ve hareketli bileşenleri olan üçgen elemanlardan oluşan altıgen formlu birimler; merkezlerinde bulunan doğrusal bir aktüatör tarafından güneşin konumuna doğrudan tepki veren ve kamaşmayı önleyici 1049 adet politetrafloroetilen-PTFE (teflon) yarı saydam panel sistemden oluşmaktadır. Cephede bulunan elemanlar; merkezlerinde bulunan doğrusal bir aktüatör ile güneş kazancını ve parlamayı azaltmak için programlanmış merkezi bir bilgisayar aracılığı ile hareket etmektedir. Hareketli cephe elemanları yılın farklı günlerinde güneş ışınlarının yoğunluğuna ve değişen geliş açılara tepki olarak simüle edilmektedir. Cephede kullanılan bu sistem aracılığı ile güneş ısınımından kaynaklı ısı kazancı%50, soğutma yükleri %25 oranında azaltılabilmekte (Maden, 2019) ve yılda 1750 ton CO₂ salımı önlenmektedir (Archdaily, 2012c). Ayrıca yapının yüzey alanını minimize eden alt ve üst kotlarda daralan ve orta kısımlarda genişleyen dairesel formu, güneşin etkisini azaltırken, aynı zamanda büyük bir hacmin oluşturulmasına da izin vermektedir (Başaran, 2015; Zenter ve Yıldırım, 2020). Yapının günışığı ile aydınlatılmasına, soğutma yüklerinin azaltılmasına ve ısı dengesini korumasına yardımcı olan bu yüzeyler, sürdürülebilirlik ilkeleri açısından değerlendirildiğinde de enerji korunumu, çevresel değişikliklere ve iklime duyarlı tasarım yaklaşımı ile olumlu katkı sağladığı söylenebilir (Arch2o, 2012).



Fotoğraf 8. Aedas Mimarlık, Abu Dabi, Al Bahr Towers (Ekoyapı, 2019)

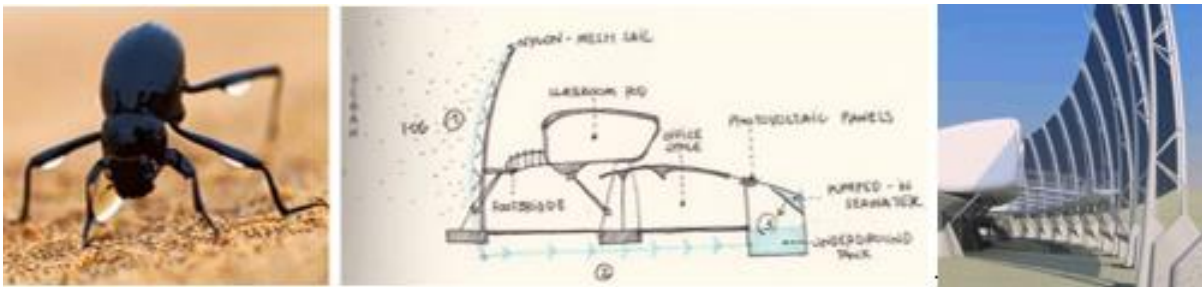
Menges, Krieg ve Reichert tarafından 2013 yılında Fransa'da FRAC (Fonds Regional d'Art Contemporain) merkezinde ArchiLab sergisi için tasarlanan HygroSkin-Meteorosensitif Pavillion (Fotoğraf 9) projesinde, mimarlıkta teknolojik performans olarak tanımlanan pek çok mekanik ve elektronik düzen ve cihazlar gerektiren iklime duyarlılık önemsenmiştir. Pavyon; kuru iken ortamdaki nemi alan ve ıslandığında ortama nem vererek ortamın bağıl nemini dengede tutma potansiyeline sahip olan ahşap malzemenin yapısal özellikleri ve neme göre davranışından yararlanarak, iklime duyarlı açıklıklar ile derin ve dalgalı bir deri görünümünde tasarlanmıştır. Doğada canlıların teknoloji olmaksızın geliştirdiği stratejilerle tepki verme becerisini dikkate alan projede ortama bağılı olarak nem seviyesini düzenleyen ladin çamı kozalaklarından esinlenilmiştir. 28 ahşap panel üzerinde yer alan hareketli, işlevsel ve uyarlanabilir bir sistem ile bütünleşik olarak çalışan modüler düzenler, çam kozalağının bulunduğu ortamın nemi karşısında gösterdiği duyarlılıkla çalışmaktadır. Pavyon çevresindeki nem artışı; HygroSkin yüzeyindeki ahşap küçük açıklıkların kapanmasına neden olarak hava koşullarının etkisini en aza indirmekte ve güneşli ortamlarda (Reichert vd., 2014: 66-67; Fox, 2016;) açılarak güneş enerjisinden yararlanmaktadır. Pavyon yüzeyindeki ahşap malzemenin doğasında olan neme karşı tepkisel davranış ile yüzeydeki ahşap açıklıklar ortam neminin içeriğine koşut olarak açılıp, kapanarak tepki vermekte ve değişen koşullara duyarlı bir zarf oluşturmaktadır. HygroSkin yüzeyindeki ahşap malzemenin ortama uygun davranışından yararlanılarak herhangi bir teknik donanım gerektirmeksizin ve enerji kullanmaksızın biyomimetik tasarım ilkeleri ile iklime duyarlı ve değişen koşullara göre uyarlanabilir zarf, yerel mikro iklim ile doğrudan geri bildirimde bulunabilmektedir. Pavyon yüzeyindeki açıklıklar ışık iletimini ve zarfın görsel geçirgenliğini modüle ederek açıklık ve gözeneklilik derecesini sürekli olarak ayarlamaktadır (Knippers vd., 2012; Krieg vd., 2014; Steffen vd., 2015).

Pavyonun aynı zamanda yük taşıyan ve iklime duyarlı davranış göstererek değişen yüzeyi ince kontrplak levhaların elastik bükülme davranışından türetilmiştir. Aktif hücre basıncı değişiklikleriyle üretilen diğer bitki hareketlerinden farklı olarak, bu hareket açıklıkların nem değişikliklerine karşı pasif bir tepkiyle gerçekleşmektedir. Bu tepki kozalakların kurduğunda açılan ve ıslandığında kapanan malzemesinin çift katmanlı yapısı ile sağlanmaktadır. Pavyonda iç katman nispeten sabit kalırken, yoğun şekilde bir araya getirilmiş ince düzlemsel kontrplak levhalardan oluşan ve kompozit bir malzeme gibi çalışan dış katman, bağıl nemin yoğunluğuna bağılı olarak genişleyerek veya büzülerek tepki vermekte, iç ve dış katmanların boyutsal değişimi, en eski ve en yaygın yapı malzemelerinden biri olan ahşabın iklime duyarlı, doğal bir kompozit olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Archdaily, 2013).



Fotoğraf 9. HygroSkin-Meteorosensitif Pavillion (Archdaily, 2013; Reichert vd., 2015)

Bir dönem flora-faunanın çöl koşullarında nasıl canlı kalabildiği konusunda araştırmalar yapmak üzere Afrika'da bulunan İngiliz mimar Matthew Parkes'in Namibya Üniversitesi Hidroloji Binası'nda çevre kaynaklı sorunlara mimari çözüm geliştirebilmek amaçlanmıştır (Fotoğraf 10). Çöl ortamında su kaynağı bulmanın tek koşulunun yağmur ve sis olması, sisin çöktüğü kum yüzeyinin suyu emmesi nedeniyle sisin çökeceği biçimde kumda siperler oluşturulmaktadır. Doğa esinlenmeli tasarımlarda, özellikle canlıların karşılaştıkları çevre sorunları karşısında geliştirdikleri stratejilerden ilham alınmaktadır. Tasarımda Atlas Okyanusu kıyısında yer alan ve dünyanın en eski ve sert çölllerinden biri olan Namib çölünde yaşayan (*Unguicularis Physasterna Cribripes*) Namib Çöl Böceği'nden esinlenilmiştir. Namib Çöl Böceği ön kanatlarında bulunan yumrular aracılığıyla yeterli büyüklüğe gelene kadar sis damlacıkları bu alanlarda birikmekte, rüzgâra karşı dayanım ve sisi vücut yüzeyinde toplayabilmek ve ağızına akıtılabilmek için aldığı vücut pozisyonu ile yaşamını sürdürebilmektedir. Zorlu çöl koşullarında hayatta kalabilmek için günün erken saatlerinde oluşan sis tabakasından elde ettiği su damlacıklarını bünyesinde toplayan Namib Çöl Böceği'nin su toplama özelliğine benzer şekilde, yapıda kullanılan eğrisel kabuk sistemi, dönebilen ağ benzeri kısmın arkasına konumlandırılan ve sis tabakasından su damlacıklarının toplanmasını sağlayan yeni bir su kaynağı oluşturulmuştur (Tekin ve Kurugöl, 2011). Namib Çöl Böceği'nin su bulma stratejisi ile Şili ve Peru'da mümkün olan nemi tutabilmek amacıyla ağaçlar arasında gerilen ağdan yararlanılarak Namibya Üniversitesi Hidroloji Binası'nda okyanusa bakan ve döndükçe sisi toplayan naylon ağdan yapılmış uzun bir perdenin arkasında konumlandırılan kemerli bir kabuk dizisi kullanan bir sistem geliştirilmiştir. Parkes'in binanın altyapısıyla entegre ettiği bu sistem ile ağ doyma noktasına ulaştıkça yerçekimi nemi, oluklara yönlendirmekte ve bu sayede suyun tutulduğu yeraltı sarnıçları soğuk kalmakta ve buharlaşmanın önüne geçilmektedir. Tasarladığı bu sistemin 'su yakalayan düşük seviyeli teknolojik bir yaklaşım' olduğunu ifade eden Parkes, tasarımda teknoloji ve bina formunun birleştirildiğini ifade etmektedir (Tekin ve Kurugöl, 2011).



Fotoğraf 10. Namib Böceği ve Namibya Üniversitesi Hidroloji Binası
(Tekin ve Kurugöl, 2011)

3. Bulgular ve Tartışma

Doğadan öğrenmek, insanın varoluşu boyunca sürdürdüğü bir gelenektir. İnsan yaşamını konforunu sağlamak, sağlıklı ve sürdürülebilir çevreler oluşturmak için doğanın ilke ve stratejilerini anlamaya çalışarak, doğadan ilham alarak ve öğrenerek bir tasarım yaklaşımı benimsendiğinde olumsuz ve değişen çevre koşullarına dayanıklı, verimli ve etkili çözümler



elde edilebildiği görülmektedir (Ginsberg vd., 2013). Çalışma kapsamında incelenen örneklerin doğadan ilham alan, yapının veya bazı yapı elemanlarının hareketi ile değişen çevre koşullarına uyum gösteren ve iklime duyarlı, enerji korunumu ile insan sağlığı ve konforunu önemseyen yapılar olması istenmiştir. Analiz çalışmaları sonucunda örneklenen yapıların Biyomimikri ve Kinetik Mimarlık yaklaşımlarının doğadan alınan ilhamla değişen çevre koşullarına uyum gösteren ve iklime duyarlı, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarını kullanan, sürdürülebilir mimari tasarıma uygulanabilecek potansiyeller barındırdığı, bu yaklaşımlar ile üretilen tasarımların mekân kullanımında esneklik, değişen koşullara uyum becerisi, fiziksel çevre denetimi ve enerji etkinlik konularında kullanıcıya sağlıklı ve konforlu çevreler sunduğu sonucuna varılmıştır.

4.Sonuçlar

İnsanoğlu başlangıçta barınma gereksinimini karşılamak amacıyla doğadaki oluşumları ve yapılaşmaları gözlemleyerek veya doğayı taklit ederek bina yapmaya başlamıştır (Selçuk Arslan ve Gönenç Sorguç, 2007). Doğadaki canlıların biçimsel olarak taklit edildiği ilk örnekler, süreç içerisinde doğadaki canlıların değişen çevre ve iklim koşullarına karşı geliştirdikleri stratejiler ve gösterdikleri uyumun incelendiği, gelişen teknolojik olanaklar ile mimarlık ile birlikte biyoloji, mühendislik, malzeme bilimleri gibi pek çok disiplin tarafından değerlendirildiği işlevsel benzerlik sağlayan örneklerle evrilmiştir. Doğayı model, ölçüt ve kılavuz olarak dikkate alan Biyomimikri yaklaşımı; kentsel tasarım, yapı tasarımı, strüktür tasarımı, iç mekân tasarımı ve peyzaj tasarımında da kullanılmaktadır.

Biyometrik kavramının doğanın uzun hizmet ömrüne sahip, kaynak korunumu sağlayan, az bakım onarım-gerektiren, esnek, enerji etkin, insan sağlığı ve konforuna uygun sürdürülebilir yapı tasarımında mimarlık ile birlikte pek çok disiplini ilgilendiren ve bütünlük bir yaklaşım olarak ortaya çıktığı söylenebilir. Doğadaki canlıların davranış kalıpları ile doğanın prensiplerini benimseyen biyometrik kavramının araştırmacılara, sanatçılara, tasarımcı olarak mimarlara da yol gösterici, ilham verici ve yaratıcılığı artıran bir yaklaşım olduğu görülmektedir.

Statik biçimli mimari tasarımlar, çağımızın hızla değişen koşullarına uyum sağlayamamakta ve insan yaşamının farklılaşan gereksinimlerini karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu karmaşık ve değişken gereksinimlere yanıt verebilen mimari tasarımlar başarılı bir yapı çevrenin ön koşulu olarak görülmektedir (Zuk ve Clark, 1970). Yapının bir kısmının veya tamamının hareketli olması yapının değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilmesi, dış kısıtlamalara yanıt verebilmesi ve yapıdan beklenen performansta maksimum verimin alınabilmesinde katkı sağlamaktadır.

Doğanın değişen koşullar karşısında sergilediği üst düzey algılama, bilgi işleme, performans ve uyum yeteneği dikkate alındığında, doğanın metodolojisi ile kinetik mimarlığın hedeflerinin örtüştüğü açıktır. Dolayısıyla doğanın izlemiş olduğu yol ve benimsediği strateji kinetik mimarlık için ilham kaynağı niteliğindedir. Kinetik Mimarlık örnekleri bir hareket çıktısı sağlamak prensibi ile yapıda fiziksel çevre kontrolünün sağlanmakta, farklı işlevlerle esnek kullanım olanağı yaratılmakta ve aydınlatma, ısı kontrolü ve enerji etkinlik konularında yüksek performans elde edilebilmekte; kapasite ve hareket eden kısımlar ile esnek tasarım gerçekleştirilerek, kullanım değişikliklerine izin verilebilmektedir (Başar, 2014). Bu bağlamda enerji etkin ve esnek tasarımlara olanak tanıyan, doğayı teknolojiyle, teknolojiyi de kinetik mimarlıkla bütünlük olarak ele alan biyometrik yaklaşım, gün geçtikçe daha çok kabul görmektedir.

Doğanın prensipleri ile tasarlanmayan yapıların aksine biyometrik yaklaşım ile doğanın yaşam döngüsü içerisinde canlıların davranış kalıplarını inceleyerek ve ondan dersler çıkararak; işlevsel, dayanıklı, estetik, ekonomik ve çevreci kısaca sürdürülebilir yapı tasarımının mümkün olduğu görülmektedir. Çevresel etmenler mimari tasarımlar üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Tasarımın kullanım ömrü boyunca değişen çevre koşullarına ve kullanıcı gereksinimlerine minimum kaynak kullanarak yanıt vermesi beklenmektedir.

Yapıya eklenen kinetik sistemlerle yapı bileşeninde veya yapı bütününde biçim değişebilmekte ve oluşan her yeni biçim yapıya yeni bir fiziksel düzen, yeni bir mekân, yeni bir çevre, yeni bir nitelik veya yeni bir atmosfer sunmaktadır.

Doğanın bir kılavuz olarak mimari tasarımlar üzerindeki etkisi ve biyomimikri ve kinetik mimarlık yaklaşımlarının çözüm olma potansiyelleri örneklerle incelenmiş, biyomimikrinin günümüz koşullarına ve çevresel değişimlere uyum sağlayabilen kinetik mimari tasarımlar ile kesişen noktaları analiz edilmiştir. Analiz çalışmaları sonucunda Biyomimikri ve Kinetik Mimarlık yaklaşımlarının doğadan alınan ilhamla değişen çevre ve iklim koşullarına duyarlı, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarını kullanan, eko sistem, malzeme ve enerji korunumu sağlayan, mekân kullanımında esneklik, değişen koşullara uyum becerisi, fiziksel çevre denetimi ve enerji etkinlik konularında potansiyel barındıran sürdürülebilir mimari tasarım ilkeleri kapsamında değerlendirilebileceği görülmektedir. Günümüzde her geçen gün sayısal olarak artan Biyomimikri ve Kinetik Tasarım yaklaşımlarının arakesitinde üretilen Biyomimetik örneklerin mimarlık eğitiminde de yaratıcılığı arttıracak ve disiplinler arası çalışmaları destekleyecek boyutta olduğu söylenebilir. Biyomimetik yapı örneklerinin mimarlık disiplininde gelişime açık potansiyeller barındırdığı ve bu yaklaşımların değişen çevre ve iklim koşullarına duyarlı, kullanıcıya sağlıklı ve konforlu çevreler sunabileceği ve sürdürülebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Al-Juboori, AMK. (2021). Kinetik Mimari Çerçevesinde Bağdat'ta Konut Tasarımı İçin Çözüm Önerileri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Arch2o, (2012). Al Bahr Tower, <https://www.arch2o.com/al-bahr-towers-aedas/> (Erişim Tarihi: 24.09.2022).
- Archdaily, (2010). Media-TIC Office Building, <https://www.archdaily.com/49150/media-tic-enric-ruiz-geli> (Erişim Tarihi: 24.09.2022).
- Archdaily, (2012a). AD Classics: Institut du Monde Arabe-Jean Nouvel Architecture Studio. <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel> (Erişim Tarihi: 10.04.2022).
- Archdaily, (2012b). One Ocean, Thematic Pavilion EXPO 2012 by Soma, L. <https://www.archdaily.com/236979/one-ocean-thematic-pavilion-expo-2012-soma> (Erişim Tarihi: 10.04.2022).
- Archdaily, (2012c). Al Bahr Tower https://www-archdaily-com.translate.googleusercontent.com/search?q=al-bahr-towers-responsive-facade-aedas?x_tr_sl=en&x_tr_tl=tr&x_tr_hl=tr&x_tr_pto=sc
- Archdaily, (2013). <https://www.archdaily.com/424911/hygroskin-meteorosensitive-pavilion-achim-menges-architect-in-collaboration-with-oliver-david-krieg-and-steffen-reichert> (Erişim Tarihi: 22.12.2022)
- Archello, (2018). <https://archello.com/project/wind-shaped-pavilion> (Erişim Tarihi: 22.12.2022).
- Arkitektuel, (2018). Media-TIC Ofis Binası <https://www.arkitektuel.com/media-tic/> (Erişim Tarihi: 22.12.2022).
- Arslan Selçuk, S. ve Gönenç Sorguç, A. (2007). Mimarlık Tasarımı Paradigmasında Biomimesis'in Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. Cilt 22, No 2, pp. 451-459.
- Asefi, M. and Forzandeh, A. (2011). Nature and Kinetic Architecture: The Development of a New Type of Transformable Structure for Temporary Applications, Journal of Civil Engineering and Architecture, 5(6): pp. 513-526 https://www.academia.edu/29455824/Nature_and_Kinetic_Architecture_The_Development_of_a_New_Type_of_Transformable_Structure_for_Temporary_Applications (Erişim tarihi: 22.09.2022)
- Ayçam, İ., Soyuluk, A. ve Eşer, S. (2021). Yüksek Performanslı Gelişmiş Cephe Sistemleri, Mimarlık Planlama ve Tasarım Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler, (Editör: Doç. Dr. H. Burçin Henden Şolt) Cilt: 1, ss.79-80. Gece Kitaplığı, Ankara.

- Balkan, AS. ve Koca, A. (2021). Dijital Çağda Mimarlık ve Süsleme İlişisini Yeniden Düşünmek, Süleyman Demirel Üniversitesi ART-E Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi, Cilt: 14 Sayı: 27, ss. 196-222.
- Bagley, C.A. (2014). Biomimicry: How Nature Can Stream line Your Business For Innovation, Forbes
<https://www.forbes.com/sites/rebeccabagley/2014/04/15/biomimicry-how-nature-can-streamline-your-business-for-innovation/?sh=647230dd4380> (Erişim Tarihi: 10.04.2022).
- Bahar, Z. ve Yalçinkaya, Ş. (2021). Bir Tasarım Ögesi Olarak Gün Işığı: Jean Nouvel, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı: 9, ss. 1724-1738.
- Başar, C. (2014). Mekân Hareketlerinin Fiziksel, Topolojik ve Deneyimsel Bağlamlar Üzerinden İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- Başaran, Ö. (2015). Kinetik Gölgeleme Elemanları Entegre Edilmiş Bir Binanın Enerji Etkinliğinin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi FBE, Ankara.
- Benyus, J.M. (2002). Biomimicry: innovation inspired by nature. Harper Collins, New York.
- Bostancı, C.S. (2006). Akıllı Kinetik Güneş Control Sistemi Önerisi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Coelho, M. and Maes, P. (2009). Shutters: A Permeable Surface for Environmental Control and Communication. In: Proceedings of the Third International Conference on Tangible and Embedded Interaction, Cambridge, UK.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Shutters%3A-a-permeable-surface-for-environmental-and-Coelho-Maes/17858ee9a8a09a0a184f824fd872229faeaf28f0> (Erişim tarihi: 10.09.2022).
- Dikmen, Ç.B. (2011). Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi. Politeknik Dergisi, 14 (2), ss. 121-134.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33057/367908> (Erişim Tarihi: 14.08.2021).
- Dikmen, Ç.B. ve Gültekin, A. (2009). Sürdürülebilir Yapı Tasarımı Kapsamında Mimari Tasarım Sürecinde Akıllı Bina Kavramına Bakış. 21th International Building and Life Congress: Nature, City and Sustainability. Bursa.
- Dosu Studio Architecture, Bloom, <https://www.dosu-arch.com/bloom?lightbox=dataItem-jhscbzszs> (Erişim Tarihi: 14.01.2023).
- Dube, R. (2012). Application Du Biomimétisme Dans L'aménagement Et Le Fonctionnement D'un Développement Domiciliaire Écologique En Milieu Rural, Centre Universitaire De Formation En Environnement Université De Sherbrooke.
- Ekoyapı, (2019). Al Bahr Towers Yapısı, <https://www.ekoyapidergisi.org/mimaride-kinetik-cepheler> (Erişim Tarihi: 16.09.2022).
- Eser, A. (2021). Biyomorfik Yapıların Algısal Değerlendirilmesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Konya
- Fortmeyer, R. and Linn C. (2014). Kinetic architecture: design for active envelopes Mulgrave: Images Publishing Arab World Institute, Jean Nouvel, Projects, Paris.
<https://www.jeannouvel.com> (Erişim Tarihi: 13.12.2022).
- Fox, M.A. (2016). Interactive Architecture: Adaptive World, Princeton Architectural Press, p.125.
- Ginsberg, M., Schiano, J., Kramer, M. and Alleyne, M. (2013). A Case Study in Bio-Inspired Engineering Design: Defense Applications of Exoskeletal Sensors, Defense & Security Analysis, Vol.29(2), pp. 156-169
- Gruber, P. (2011). Biomimetics in Architecture (Architekturbionik). In book: Chapter: 7, Biomimetics-Materials, Structures and Processes.
- Guadarama-Cetina, J., Mongruel, A., Medici, MG., Baquero, E., Parker, AR., Milimouk-Melyntchuk, I., Gonzales-Vinas, W. and Beysens, D. (2014). Dew condensation on desert beetle skin The European Physical Journal E, 37, 109 pp.

- <https://link.springer.com/article/10.1140/epje/i2014-14109-y> (Erişim Tarihi: 17.11.2022).
- Guidice, F., La Rosa, G. and Risitano, A. (2006). *Product Design for the Environment: A Life Cycle Approach*, Boca Raton, FL: CRC Press.
- Inhabitat (2006). *Wind Shaped Pavillion*, <https://inhabitat.com/wind-shaped-pavilion/> (Erişim Tarihi: 24.09.2022).
- İnan, N. (2014). *Kinetik Yapı Tasarımında İşlevsel Esneklik ve Entegre Sistemlerin Kullanım Önerisi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Knippers, J. and Speck, T. (2012). *Design and Construction Principles in Nature and Architecture*, <https://www.semanticscholar.org/paper/Kinetic-systems-in-architecture%3A-New-approach-for-Ramzy-Fayed/8c9c67d1e599d75dec3d8798c08cce599024b62c> (Erişim Tarihi: 14.08.2021).
- Knippers, J., Menges, A., Gabler, M., La Magna, R., Waimer, F., Reichert, S. and Schwinn T. (2012). *From Nature to Fabrication: Biomimetic Design Principles for the Production of Complex Spatial Structures* (Eds. L. Hesselgren, S. Sharma, J. Wallner, N. Baldassini, P. Bompas, J. Raynaud), *Advances in Architectural Geometry*, Springer, Wien New York, pp. 107-122
- Krieg O.D., Christian Z., Correa, D., Menges, A., Reichert, S., Rinderspacher, K. and Schwinn T. (2014). *Hygroskin: Meteorosensitive Pavilion*. In: *Proceedings of the Fabricate Conference Zurich*.
- Loonen RCGM. (2010). *Climate Adaptive Building Shells, What Can We Simulate?* Eindhoven (The Netherlands): Technische Universiteit Eindhoven.
- Loonen, R.C.G.M., Trčka, M., Cóstola, D. and Hensen J.L.M. (2013). *Climate Adaptive Building Shells: State-of-the-Art and Future Challenges*. *Renewable Sustainable Energy Review*, 25 pp. 483-493
- Lopez M, Rubio R, Martín S, Croxford B. and Jackson R. (2015). *Active Materials for Adaptive Architectural Envelopes Based on Plant Adaptation Principles*. *J Facade Des Eng*, 3(1): pp. 27-38.
- Maden, F. (2019). *The Architecture of Movement: Transformable structures and spaces*, pp. 551-567. *LIVENARCH VI LIVable ENVironments & ARCHitecture 6th International Congress Repacing Architecture*.
- Madge, P. (1997). *Ecological Design: A New Critique*. *Design Issues*, 13(2), pp. 44-54.
- Mimdap, (2019a). *Jean Nouvel*, <http://mimdap.org/2019/12/jean-nouvel> (Erişim Tarihi: 02.01.2022)
- Mimdap (2019b). *Santiago Calatrava Milwakuée Sanat Müzesi Quadracci Pavyonu* <http://mimdap.org/2010/11/calatravanyn-kanatlary/> (Erişim Tarihi: 02.01.2022).
- Özen, G. (2016). *Doğa Referanslı Tasarım: Biyomimikri*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Paul, R. (2010). *Design inspiration from nature. Biomimicry for a better planet. Finding Inspiration in Nature-Biomimicry for a Better Planet (inhabitat.com)* (Erişim Tarihi 02.10.2021)
- Ramzy, N. and Fayed, H. A. (2011). *Kinetic systems in architecture: New approach for Environmental Control Systems and Context-sensitive Buildings*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670711000394?via%3Dihub> (Erişim Tarihi: 02.08.2022)
- Reichert, S., Menges, A. and Correa D. (2014). *Meteorosensitive Architecture: Biomimetic Building Skins Based on Materially Embedded and Hygroscopically Enabled Responsiveness* *Comput-Aided Design*, 60 pp. 50-69.
- Sev, A. (2009). *Sürdürülebilir Mimarlık*, YEM yayınevi. İstanbul.
- Steffen, S., Reichert, A. and Correa, D. (2015). *Meteorosensitive Architecture: Biomimetic Building Skins Based on Materially Embedded and Hygroscopically Enabled Responsiveness* Elsevier, *Computer-Aided Design*, Volume 60, pp. 50-69 (Erişim Tarihi: 11.11.2022).
- Suner, A. (2011). *Çevresel Etkenlere Göre Değişebilen Mimari*. *Ekoyapı* (5), ss. 82-86.



- Tafli, A. S. (2019). Hareketli Yapı Kabuğu Elemanlarının Dünya Örnekleri Üzerinden Analizi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara.
- Tekin, Ç. ve Kurugöl, S. (2011). Üç Canlı ile Çevre Dostu Üç Bina, e-Journal of New World Sciences Academy. ss. 943-952 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/186147> (Erişim Tarihi: 09.11.2022).
- Vincent, JFV., Bogatyreva, OA., Bogatyrev, NR., Bowyer, A. and Pahl, A. (2006). Biomimetics: Its Practice and Theory, *Journal of the Royal Society Interface*, 3: pp. 471-482.
- Wahl, D.C. (2006). Bionics vs. Biomimicry: From Control of Nature to Sustainable Participation in Nature. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol 87, pp. 289-298.
- World Press (2017). *Modern Architecture: A Visual Lexicon*, University of Hong Kong, Department of Architecture (2017). Arap Dünya Endüstri Müzesi, <https://visuallexicon.wordpress.com/2017/10/04/arab-world-institute-jean-nouvel/>, (Erişim Tarihi: 10.06.2022).
- Yaşa, A. (2010). Mimari Kinetik Sistemler ve Performansa Dayalı Tasarım Önerileri, Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yeang, K. (2006). *Ecodesign: A manual for ecological design* Hoboken, NJ: Wiley-Academy.
- Zenter, Ö. (2018). Mimari Tasarımda Biyomimetik Yaklaşımların İşlevsel Esneklik Amaçlı Kullanımı, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Zenter, Ö. ve Yıldırım, M.T. (2020). Proposal of Bio-Inspired Kinetic Mechanisms Utilization for Providing Functional Flexibility in Architectural Design, *Gazi University Journal of Science, Part B*, 8(3): pp. 643-656
- Zuk, W. and Clark, R. (1970). *Kinetic Architecture*, Van Nostrand Reinhold Press, New York.