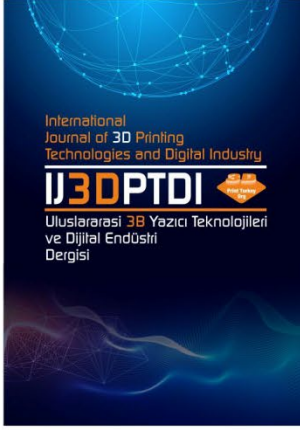




ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 [Online]

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ ARAÇLARININ BİYOMİMETİK MİMARİ TASARIM SÜREÇLERİNDEKİ POTANSİYELLERİ: DALL-E 3 ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN BİR ANALİZ

THE POTENTIALS OF GENERATIVE ARTIFICIAL
INTELLIGENCE TOOLS IN BIOMIMETIC ARCHITECTURAL
DESIGN PROCESSES: AN ANALYSIS THROUGH THE
EXAMPLE OF DALL-E 3

Yazarlar (Authors): Nurgül İnan^{ID*}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): İnan N.,
“Üretken Yapay Zekâ Araçlarının Biyomimetik Mimari Tasarım Süreçlerindeki
Potansiyelleri: Dall-E 3 Örneği Üzerinden Bir Analiz” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*,
10(2): 266-283, (2026).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1788248

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ ARAÇLARININ BİYOMİMETİK MİMARİ TASARIM SÜREÇLERİNDEKİ POTANSİYELLERİ: DALL-E 3 ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN BİR ANALİZ

Nurgül İnan^a 

^aOSTİM Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: nurgul.inan@ostimteknik.edu.tr

(Geliş/Received: 21.09.25; Düzeltme/Revised: 20.04.26; Kabul/Accepted: 03.06.26)

ÖZ

Tarih boyunca tasarımcılar estetik, işlevsellik, kaynakların verimli kullanımı ve enerji etkinliği gibi problemlerin çözümü için doğadaki tasarımlar, sistemler veya süreçlerden ilham almışlardır. Biyomimikri adı verilen bu yaklaşım günümüzde sürdürülebilir mimarlık için de bir çözüm yolu olarak görülmektedir. Ancak, bu yaklaşım disiplinler arası çalışma ve uzmanlık gerektirmektedir. Yapay zekâ araçları küresel ölçekte çok sayıda veriye erişim sağlaması ve verilen komutlar doğrultusunda bu verileri hızla işleyebilmesi nedeniyle tasarımcılar için kompleks problemlerin çözümünde bir fırsat yaratmaktadır. Yapay zekâ sayesinde istenen parametreler doğrultusunda çok sayıda tasarım fikri üretmek mümkündür. Bu çalışmanın amacı, biyomimetik tasarım ilkeleri doğrultusunda üretimsel yapay zekânın tasarım yaratmadaki günümüzdeki ve gelecekteki potansiyelini incelemektir. Bu kapsamda, DALL-E 3 metinden-görüntü üretim modeli kullanılmış; farklı biyolojik referanslara dayalı istem setleri oluşturularak modelin bu referansları biçimsel, işlevsel ve strüktürel düzeyde nasıl yorumladığı analiz edilmiştir. Çalışma hem niteliksel değerlendirme hem de çok boyutlu niceliksel bir değerlendirme matrisiyle sistematik olarak incelenmiştir. Çalışmada yapay zekâ tarafından üretilen tasarımlarda insan zekâsının sonucu olan psikososyal özellikler, deneyim birikimi, eleştirel bakış açısı, yeni ve farklı olma arayışı, insana ve çevreye duyarlı olma gibi konularda henüz eksiklikler olduğu görülmüştür. Sürekli gelişen ve yüksek potansiyele sahip yapay zekâ araçları tasarıma başlarken ilham verme özelliğine sahip olsa da günümüzde tasarımın oluşmasında insan müdahalesine ve etik açıdan bazı önlemlerin alınmasına gereksinim vardır.

Anahtar Kelimeler: Mimari Tasarım, Yapay Zekâ, Üretken Yapay Zekâ, Biyomimetik Tasarım, Görüntü Üretimi.

THE POTENTIALS OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS IN BIOMIMETIC ARCHITECTURAL DESIGN PROCESSES: AN ANALYSIS THROUGH THE EXAMPLE OF DALL-E 3

ABSTRACT

Throughout history, designers have drawn inspiration from designs, systems, or processes in nature to solve problems such as aesthetics, functionality, efficient use of resources, and energy efficiency. This approach, known as biomimicry, is now seen as a solution for sustainable architecture. However, this approach requires interdisciplinary work and expertise. Artificial intelligence tools create an opportunity for designers to solve complex problems because they provide access to large amounts of data on a global scale and can process this data rapidly according to given commands. Thanks to artificial intelligence, it is possible to generate numerous design ideas according to desired parameters. The aim of this study is to examine the current and future potential of generative artificial intelligence in design creation in line with biomimetic design principles. In this context, the DALL-E 3 text-to-image

generation model was used; demand sets based on different biological references were created, and how the model interprets these references at the formal, functional, and structural levels was analyzed. The study was systematically examined with both qualitative evaluation and a multidimensional quantitative evaluation matrix. The study revealed that AI-generated designs still lack the psychosocial characteristics inherent in human intelligence, such as accumulated experience, critical thinking, a desire for novelty and difference, and sensitivity to people and the environment. While constantly evolving and highly potential artificial intelligence tools can provide inspiration at the beginning of the design process, today's design process requires human intervention and certain ethical considerations.

Keywords: Architectural Design, Artificial Intelligence, Generative Artificial Intelligence, Biomimetic Design, Image Generation.

1. GİRİŞ

Günümüzde dijital teknolojiler her alanda olduğu gibi mimari tasarım sürecinde de yoğun biçimde kullanılmaktadır. Yakın zamana kadar bilgisayar programları yapılan tasarımların görselleştirilmesi, hesaplamaları ve hedeflenen amaçların simülasyonlarını yapma gibi konularda kullanılan yardımcı bir araç niteliğindedir. Oxman'a [1] göre yapay zekâ tabanlı araçların mimari tasarım sürecine entegrasyonu, yalnızca üretim hızını artırmakla kalmayıp tasarımcının karar verme mekanizmalarını da yeniden yapılandıran bir paradigma değişimi yaratmaktadır. Bugün yapay zekâ uygulamaları sunduğu imkânlarla artık tasarımın gerçekleştirilmesi noktasında da kullanılmaktadır. Burada önemli husus yapay zekâ uygulamalarının tasarıma entegrasyonunda ve tasarımın şekillenmesinde hangi aşamada nasıl dahil olacağıdır.

Mimar ve mühendisler tarih boyunca tasarımlarında sorunların çözümü için farklı arayışlar içerisinde olmuşlardır. Bunlardan bir tanesi de doğadaki canlıların hayatta kalabilmek için en hafif, en sağlam ve en ekonomik çözüme sahip oldukları fikrine dayanan “biyomimetik tasarım” düşüncesidir. Daha çok biçimsel taklit ile başlayan bu süreçte teknolojik olanaklar sayesinde dünyadaki oluşumların (moleküler yapılarının da daha iyi incelenmesi üzerine) artık esneklik, büyüme ve hareket becerileri ile malzeme özellikleri de taklit edilebilmektedir.

Biyomimetik tasarımda örnek oluşumun özelliklerinin çok iyi bilinmesi ve hangi özelliğinin nasıl ele alınacağı tasarımcının bilgi, kültür ve deneyim ve yorumlarına bağlıdır. Tasarımcı bu bilgi birikiminin yanında sahip olduğu çok yönlü ve eleştirel bakış açısı ile benzersiz ürünler ortaya çıkartır. Bununla

birlikte hiçbir tasarım çevresinden bağımsız düşünülemez. Arazi özelliklerinden, imar ve afet yönetmeliklerine, standartlara, o bölgenin sosyal, kültürel ve ekonomik yapısına kadar çeşitli faktörlere bağlı olarak şekillenir. Bu tip tasarımlar uzmanlık ve disiplinler arası çalışma gerektirmektedir.

Doğadan ilham alan biyomimetik tasarım yaklaşımlarının, hesaplamalı ve yapay zekâ destekli sistemlerle birlikte ele alınması, mimari form üretiminde hem performans hem de sürdürülebilirlik açısından yeni olanaklar sunmaktadır [2]. Çalışmada mimari tasarımda yapay zekânın olanakları, biyomimetik tasarım girdileri üzerinden deneyimlenmekte ve tasarım süreci analitik bir çerçeveye değerlendirilmektedir.

1.1. Araştırmanın Problemi

Günümüzde yapay zekâ araçlarının çeşitliliğinin artması, erişiminin kolaylaşması ve bazılarının kullanımının ücretsiz olması gibi nedenlerle her geçen gün meraklılar, öğrenciler ve profesyoneller tarafından kullanımı da artmaktadır. Bu noktada yanıt verilmesi gereken bazı sorular ortaya çıkmaktadır. Bu araştırmada yapay zekânın mimari tasarımdaki etkisi ve tasarım süreci aşağıdaki sorular üzerinden incelenmektedir.

1. Mimari tasarımda yapay zekâ araçlarının kullanım süreci nasıl işlemektedir?
2. Yapay zekâ tarafından üretilen tasarımlar uygulanabilir mi?
3. Yapay zekânın oluşturduğu görseller kullanılarak yapılan tasarımlar kime ait olacaktır?
4. Yaratıcılık benzersiz olma durumuyla ilişkili bir kavram olduğundan yapay zekâ ile elde

edilen mimari ürünler gerçekten yaratıcı kabul edilebilir mi?

5. Teknolojik gelişmeler dikkate alındığında yapay zekâ, gelecekte mimarların yerini alabilir mi?

1.2. Araştırmanın Amacı, Kapsamı ve Yöntemi

Yapay zekâ sunduğu imkânlarla birtakım kolaylıklar sağlamasına rağmen, beraberinde bazı zorluklar ve kısıtlamalar da getirmektedir. Bu araştırmanın amacı yapay zekânın günümüzdeki ve gelecekteki mimari tasarım sürecinde olası yerini ve potansiyelini ortaya koymaktır.

Çalışmada kullanılan DALL·E 3 aracı, metinden-görüntüye (text-to-image) üretim modelleri arasında doğal dil işleme ve görsel üretim kapasitesinin yüksek olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu tür modeller, metinsel girdileri anlamsal olarak işleyerek görsel çıktılara dönüştürebilme yeteneği ile öne çıkmakta ve özellikle sıfırdan öğrenme (zero-shot learning) bağlamında güçlü performans sergilemektedir [3]. Bununla birlikte, bu çalışmada DALL·E özelinde yapılan değerlendirme, yalnızca araç performansına odaklanmamakta; elde edilen çıktılar üzerinden yapay zekâ araçlarının semantik anlama kapasitesi (bir mekânın işlevsel gerekliliklerini kavrama düzeyi) ve mimari bağlamda biçim grameri oluşturma potansiyeli ile tasarım sürecine dair genel bir projeksiyon tutmak istenmektedir.

Çalışma kapsamında biyomimetik tasarım ilkeleri doğrultusunda basitten karmaşığa doğru verilen komutlar ile “DALL-E 3 AI” uygulamasının “text-to-image” özelliği üzerinden bina tasarımları elde edilmektedir. Böylece yapay zekânın verilen komutları eğitildiği veriler üzerinden nasıl işlediği ve anlamlandırdığı değerlendirilmektedir. Yapay zekâ araçlarının mimari tasarımlardaki etkisi için elde edilen son ürünün niteliksel ve niceliksel değerlendirilmesinin yanında tasarımı oluşturma süreci de tartışılmaktadır.

Çalışma şu adımlarla ilerlemektedir:

- Biyolojik Referansların Seçilmesi
- İstem Setlerinin Oluşturulması
- Niteliksel İnceleme
- Niceliksel İnceleme

Bu çalışma, yapay zekâ destekli biyomimetik yaklaşımların tasarım süreçlerine ve mimarlık alanındaki kullanımına ilişkin bütüncül bir değerlendirme sunmayı hedeflemektedir. Bu amaçla yapay zekânın biyomimetik tasarımlarda kullanımı değerlendirme matrisi oluşturularak çeşitli kriterler üzerinden değerlendirilmektedir.

1.3. Araştırmanın Hipotezleri

Yapay zekâ araçları veri tabanları ve verilere çok hızlı erişimleri sayesinde tasarımcılara; gündemi takip etme, tasarım konsepti oluşturmada ya da tasarım optimizasyonunda beyin fırtınası yapma, çok çeşitli tasarım alternatiflerini çok kısa sürede oluşturma, karmaşık bilgileri analiz etme ve simülasyon özellikleri ile geleneksel yöntemlerle elde edilmesi zor olabilecek öngörüler sağlama gibi fırsatlar sunmaktadır. Bu fırsatların yanında bazı zorluklar ve kısıtlamalar da getirdiği görülmektedir. Yapay zekâ modeli metin istemine bağlı kalarak, ama kendisine daha önceden öğretilmiş olan bilgiler doğrultusunda görüntüleri oluşturmaktadır. Tasarımcının sonuç üzerindeki kontrolü kısıtlıdır. Bu çalışmadaki yöntemin sınırlılığı, DALL-E 3'ün karar süreçlerini gizli tutması ve çıktı üzerinde doğrudan düzenleme imkânı sunmamasıdır. Bu durum, yapay zekânın tasarımdaki yönlendirilebilirliğini test etme amacıyla çalışmanın bir parçası olarak ele alınmıştır. Oysa, mimari tasarımlar; tasarımcının bilgisi, deneyimi ve kültür seviyesinin yanında seçilen teknoloji, yapım tekniği, malzeme, strüktür, renk, doku, maliyet, bağlam, toplumun dini, sosyal, ekonomik ve kültürel yapısına uygunluk, yönetmelik ve standartlar gibi unsurlar da eklenerek şekillenmektedir. İnsan zekâsına özgü olan bu özellikler zamanla yeni stillerin ortaya çıkmalarına ve benzersiz tasarımlara olanak sağlarken, yapay zekânın sunduğu çözümler henüz bu aşamada değildir.

Yapay zekânın kullandığı verilerin doğruluğu, verilerin gizliliği, veri ihlalleri, yetkisiz erişim, müşteri bilgilerinin ve proje ayrıntılarının korunmasına ilişkin sorunlar da çözüm beklemektedir.

2. YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ BİYOMİMETİK MİMARİ TASARIM

2.1. Yapay Zekâ (YZ) ve Mimarlık

Webster sözlüğünde “bilgisayar sistemlerinin veya algoritmaların akıllı insan davranışını

taklit etme yeteneği” olarak tanımlanan yapay zekânın kullanımı günlük hayatımızda her alanda görülmektedir [4]. Yapay zekâ; mantık, öz-farkındalık, kavrama, öğrenme, akıl yürütme, problem çözme, karar verme ve yaratıcılık gibi insan eylemlerinin ve bilişsel süreçlerinin programlanmış makineler tarafından simüle edilmesidir [5]. Yapay zekâ matematiksel olarak tanımlanmış parametrelere bağlı olarak sınırsız sayıda fikir üretebilmektedir [6].

İlk yapay zekâ denemelerinde problemler karşısında doğadaki varlıkların ve sistemlerin en iyi çözüm olabileceğini bilen bilim insanları insan beynindeki sinir yapılarını ve elektrik iletimini taklit eden sayısal bir sistem üzerinde çalışmışlardır. 1950 yılında Alan Turing [7] tarafından bir deney yoluyla makinelerin zekâlarını ölçmenin yolu kuramlanmıştır. Karşılıklı soru cevap şeklinde yapılan bu deney daha sonraları “Turing Testi” olarak anılmış ve yapay zekâ çalışmalarının oluşturulmasında önemli kriterlerden biri olarak ele alınmıştır.

Yapay zekâ denemelerinde zekâ ile özdeşleştirilen satranç oyunu da önemli bir yer almaktadır. Ancak, satranç bir strateji oyunudur. Bilgisayarlara sadece taşların konumu ve yapabilecekleri hamleler gibi kuralların öğretilmesi rakibi yenebilmek için yeterli değildir. Makinelere rakibin gelecekteki hamlelerini görebilmek, her hamleden sonra yeni stratejiler belirlemek, gerektiğinde güçlü bir taşı bile gözden çıkarmak gibi karar alma becerilerinin de kazandırılması gerekmektedir [8]. 1997 yılında IBM firması tarafından geliştirilen “Deep Blue” isimli bilgisayar dünya satranç şampiyonu olan Garry Kasparov’u yenerek dünya şampiyonunu yenmeyi başaran ilk makine olarak tarihe geçmiştir. Bu olaydan sonra Moravec [9] 1998’de yazdığı “When will Computer Hardware Match the Human Brain” başlıklı makalesinde, genel amaçlı bilgisayarların gücünün Deep Blue’nun uzmanlaşmış gücünün ötesine geçtikçe, makinelerin daha yaygın becerilerde insanlarla eşleşmeye başlayacağından bahsetmektedir.

Kasparov [10] “Deep Thinking” isimli kitabında makinelerin hangi durumda olursa olsun stres ve endişe gibi duygularının olmadığını, sadece komutlarını yerine getirdiğini söylemektedir. Oysa, insanların risk altında stres hissetmeleri onları olumlu ya da

olumsuz etkiler. Bu da insan ve makineler arasında eşitsizlik yaratır. Deep Blue en iyi satranç oyuncusu olarak görülebilir ama zekâ çok yönlü bir kavramdır [5]. Günümüzde bilgisayarların internet ortamında sürekli toplanan ve depolanan verileri insan kapasitesinin çok üzerinde bir hızla işleyebilse de duyguları, sezgileri ve hayal gücü olmadığı için insan zekâsının yerini alamayacağını öne sürülmektedir.

Yapay zekâ araçlarının ilk tasarım konsepti oluşturma aşamasında aktif rol almaya başlaması ile birlikte yeni tartışmalar başlamıştır. Bunlardan biri de yaratıcılık konusudur. Boden’e [11] göre yaratıcılık üstün insan zekâsı sonucu oluşturulan, hayrete düşüren, yeni, özgün, değer içeren fikir ve eserlerdir. Boden yaratıcılığı iki sınıfta incelemektedir:

P-Yaratıcılık (P-Creativity), Psikolojik yaratıcılık: Geçmişte başkaları tarafından ortaya çıkmış, ancak bir kişi için yeni sayılabilecek fikir ya da eser söz konusudur.

T-Yaratıcılık (H-Creativity), Tarihsel yaratıcılık: Ortaya atılan fikir veya eserin tarihte hiçbir zaman yer almadığı, çığır açıcı olduğu anlamına gelir [11].

Yaratıcılığın tanımının insana özel bir durumu yansıtması nedeniyle günümüzde “insan ve yapay zekâ etkileşimli bir eser de yaratıcı olarak kabul görebilir mi?” tartışmaları başlamıştır. Boden’in [11] sınıflandırmasına göre, mimaride yapay zekâ girilen istemler doğrultusunda önceden yapılmış tasarımları esas alarak yeni görseller oluşturduğu için ancak P-Yaratıcılık seviyesinde eserler ortaya koyabilmektedir. Yapay zekâ var olmayan yeni bir fikri ortaya koymaz. Büyük veri üzerine bilişimsel istatistik yöntemlerini uygulamaktadır [5]. Bu noktada tartışılan konu yapay zekânın gerçekten üretilmemiş bir fikri üretilip üretilmeyeceği, bu yüzden de yaratıcı sayılıp sayılamayacağıdır. Şu anda öğrendiği modelleri tekrar ettiği için aslında başkalarının ortaya çıkardıklarından bir sentez yapabilir, ama yepyeni bir fikir ortaya çıkaramaz.

Mimari tasarımlarda ise ilk kullanılan bilgisayar destekli iki boyutlu CAD programları geleneksel çizim araçları olan kâğıt, kalem, cetvel vb.nin, üç boyutlu modelleme

programları ise maketlerin yerini almıştır. Bu dönemde kullanılan programlar tasarımcıların çizimlerinde hız, hassasiyet ve doğruluk açısından kolaylık sağlayan araçlardır.

Yirminci yüzyılın ortalarında yeni form arayışları içerisinde olan mimarlar kutu şeklindeki binalar yerine amorf biçimli tasarımlar yapmaya başlamışlardır. Zamanla üç boyutlu tasarım ve bilgisayarlı sayısal kontrol şekillendirme teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte bilgisayarlar her türlü kompleks binaların tasarım, uygulama ve yönetimini kolaylaştıran bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1997 yılında inşa edilen Bilbao Guggenheim müzesinin teknik çizimlerinin hazırlanması ve inşasında özel olarak geliştirilen Computer-Aided Threedimensional Interactive Application (CATIA) programı kullanılmıştır. Sayısal kontrole dayalı ve çoklu polinom denklemleri kullanan bu program sayesinde Bilbao Guggenheim müzesinin asimetrik, devamlılığı olmayan ve karmaşık eğimli cephe kabuğu ve strüktürü tanımlanabilmiştir [12].

Bugün gelinen noktada yapay zekâ araçları sundukları imkânlarla mimari projelerin tasarlanma ve yönetilme biçimlerini yeniden şekillendirmektedir. Chaillou'ya [13] göre, mimari tasarımda kullanılan bilgisayar teknolojileri günümüze kadar dört ana adımda tarihsel gelişimini sürdürmüştür:

- Modülerlik; inşaatta esneklik ve uyarlanabilirlik sağlamak için tasarımda standartlaştırılmış, değiştirilebilir parçaların kullanılmasını içerir.
- Hesaplamalı tasarım; tasarım sürecine yardımcı olmak için bilgisayarları kullanır ve daha kesin ve karmaşık tasarımlara olanak tanır.
- Parametrik tasarım; belirli kriterlere dayalı tasarım seçenekleri oluşturmak için algoritmaları ve değişkenleri kullanır.
- Yapay zekâ; tasarım sürecine yardımcı olmak ve daha karmaşık ve optimize edilmiş tasarımlar oluşturmak için gelişmiş makine öğrenimi ve diğer akıllı algoritmaları kullanarak bu kavramları daha da ileri taşır [13].

Mimari tasarımda çok farklı yapay zekâ modelleri kullanılmakla birlikte, doğal dil işleme ile ilgili şu modeller kullanılarak son ürün elde edilmektedir:

- Metinden metne
- Resimden metne
- Metinden resme

“Proje yönetimi, işçi güvenliği, portföy optimizasyonu” gibi konularda “metinden metne” modeli kullanılırken, “metraj, keşif ve hakkeşlerin hazırlanması” gibi konularda “resimden metne” modeli, “konsept tasarımı, kentsel planlama, kat planı tasarımı, cephe tasarımı, tarihi yeniden yapılandırma, eğitim” gibi konularda “metinden resme” modelleri kullanılmaktadır [14]. Günümüzde yapay zekâ sunduğu imkânlar ile tasarımın optimize edilmesi, bina performansının simülasyonu, enerji verimliliği veya bina sakinlerinin konforu üzerindeki etkilerinin analiz edilmesine kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Son yıllarda mimarlar tasarım sürecine yardımcı olması için yapay zekâ görüntülerinden daha fazla faydalanmaya başlamışlardır. Yapay zekâ, çok sayıda tasarım verilerini analiz ederek ve istatistiksel modeller kullanarak kısa sürede ve çok sayıda yeni varyasyonlar üretebilmektedir. Hegazi ve Saleh [6] yapay zekâ ile görüntü oluşturmayı;

“Bir bilgisayarı bir dizi komuta veya bir dizi eğitim verisine dayalı olarak orijinal görüntüler oluşturacak şekilde eğitmeyi içeren bir makine öğrenimi biçimi”

olarak tanımlamaktadırlar. Mimari tasarımlarda kullanılan yapay zekâ araçları girilen metin istemi doğrultusunda veri kümesini kullanarak, en yakın gördüğü referans görüntüyü yeni bir versiyon oluşturmak üzere başka bir görüntüye uygulamaktadır. Ancak yapay zekâ, kullandığı resimlerin tasarım parametrelerini bilemez, onun yerine internette bulunan genel açıklamalarından yararlanır. O yüzden de veri kümesinde sadece görüntü örnekleri değil bunların detaylı açıklamaları da olmadıkça bazı detayları kaçırabilir. Burada veri kümesinin zenginliği kadar girilen metin isteminin ne kadar kapsamlı ve ayırt edici olduğu da önemlidir. Gereksiz yere sadece kapsamlı metin girmek de bazen modelin kafasını karıştırabilmektedir. Ayırt edici metinlerin kullanılması önemlidir. Ancak, yine de tasarımcının sonuç ürün üzerindeki kontrolü önceki tasarım araçlarına göre daha azdır. Çünkü, model metin istemine bağlı kalarak, ama kendisine daha önceden öğretilmiş olan

bilgiler doğrultusunda görüntüleri oluşturur. Metin girildikten sonra çıktı resim oluşturuluncaya kadar kullanıcının müdahalesine izin vermez.

Mimarlar tasarım konseptlerini oluştururken projenin arazi kullanımı, yön, rüzgâr, kullanıcı ihtiyaçları, esneklik, çevreye uyum, sürdürülebilirlik, estetik, stil vb. birçok parametreyi bir arada düşünmek durumundadırlar. Yapay zekâ araçları ile görüntü oluştururken de bu ve benzeri parametrelerin göz önünde bulundurulması önemlidir. Ancak, yapay zekânın bu parametreleri istenen doğrulukta işleyip işleyemeyeceği, nasıl estetik hale getireceği ve görselin uygulanabilirliği tartışma konusudur.

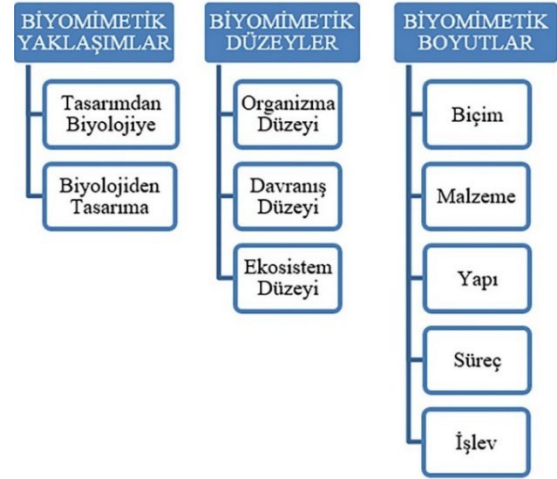
Yapay zekâ tabanlı tasarım araçları mimari tasarımda yeni fırsatlar sunarken, bu sistemlerin beslediği veri ve referans kaynakları tasarım çıktılarının niteliğini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda biyomimetik tasarım, yapay zekâ destekli üretim süreçleri için güçlü bir referans alanı oluşturmaktadır.

2.2. Yapay Zekâ ve Biyomimetik Yaklaşımın Entegrasyonu

Latince bios (yaşam) ve mimesis (taklit) kelimelerinden türetilen “Biyomimikri” kelimesi Webster Sözlüğünde “mühendislik veya buluşta doğal biyolojik tasarımların veya süreçlerin taklit edilmesi” olarak açıklanmaktadır [15]. Benyus [16] Biyomimikriyi “insan sorunlarını çözmek ve sürdürülebilir teknolojileri icat etmek için doğanın tasarımlarını ve süreçlerini taklit eden veya doğadan ilham/ders alan yeni bir disiplin” olarak açıklamaktadır.

Zari [17], biyomimetik tasarımı yaklaşım, düzey ve boyutlar açısından ele alırken temel yaklaşımları iki grupta toplar (Şekil 1). Tasarımdan biyolojiye yaklaşımda; tasarım problemlerinin çözümü doğada aranır. Biyolojiden tasarıma yaklaşımda ise; doğadaki sistemlerin özellikleri tasarıma uyarlanır. Her iki yaklaşımda da tasarım; organizma, davranış ve ekosistem düzeylerinde ele alınır. Organizma düzeyinde; canlıların spesifik özellikleri, davranış düzeyinde; organizmanın davranışı, ekosistem düzeyinde ise; ekosistemin sürekliliğini sağlayan temel prensipler esas alınır. Ancak, bu prensiplere ek olarak biçim boyutuyla tasarımın neye benzeyeceğine, malzeme boyutuyla tasarımın

neden yapacağına, yapı boyutuyla tasarımın nasıl inşa edileceğine, süreç boyutuyla tasarımının nasıl çalışacağına ve işlev boyutuyla da tasarımın ne işe yarayacağına karar verilir [17].



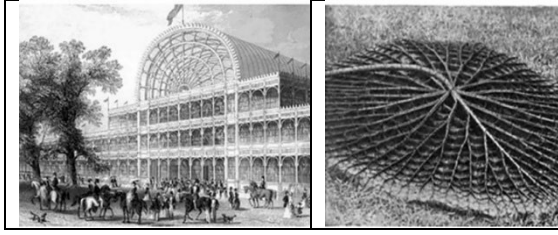
Şekil 1. Zari'nin biyomimetik tasarım prensipleri (Yazar tarafından Zari, 2007, s:4 esas alınarak oluşturulmuştur).

İnsanoğlu barınma ihtiyacını karşılarken de doğadaki Cansız oluşumlar, Canlı organizmalar ve Canlı organizmalar tarafından üretilen yapılaşmalardan yararlanmışır [18]. Şekil 2’de farklı dönemlerde yapılmış mimari uygulamaların doğadaki örneklerine benzerlikleri gösterilmektedir.



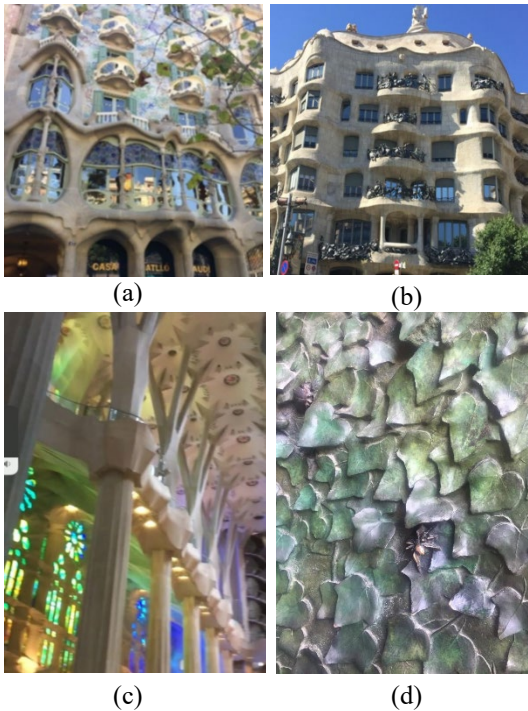
Şekil 2. Biyomimetik mimari uygulamalar [19].

20. yüzyılın ortalarına kadar doğadan esinlenen örneklerde estetik kaygılar ve biçimsel yaklaşımlar görülmektedir. Örneğin: 19. Yüzyılda inşa edilen Londra Crystal Palace binasının çelik ve cam çatı strüktüründe bir su nilüferi yaprağının strüktürel yapısından ilham alınmıştır [20] (Şekil 3).



Şekil 3. Crystal Palace ve su nilüferi yaprağı benzeşimi [21].

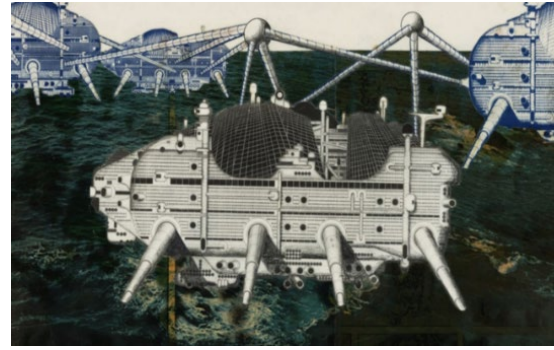
20. Yüzyılda ise Antoni Gaudi yapılarında sadece biçimsel analogiler yapmakla kalmamış, aynı zamanda biyoiklimsel taktikler kullanarak ve yeni teknolojiler yaratarak binalarının enerji verimliliğini de artırmıştır [22, 23]. Mimar Casa Battlo'nun cephe tasarımında iskelet sistemleri ile biçimsel analogiler yaparken (Şekil 4a), Casa Mila'nın cephesinde dalga efekti ve deniz yosunları duygusu yaratmak istemiş (Şekil 4b), La Sagrada Familia kilisesinin kolonlarının şeklini bir ağacın dallarına benzetmiş (Şekil 4c) yapının cephelerinde doğadan figürler kullanmıştır (Şekil 4d).



Şekil 4. Gaudi'nin yapılarından örnekler (Fotoğraflar yazarın arşivinden alınmıştır).

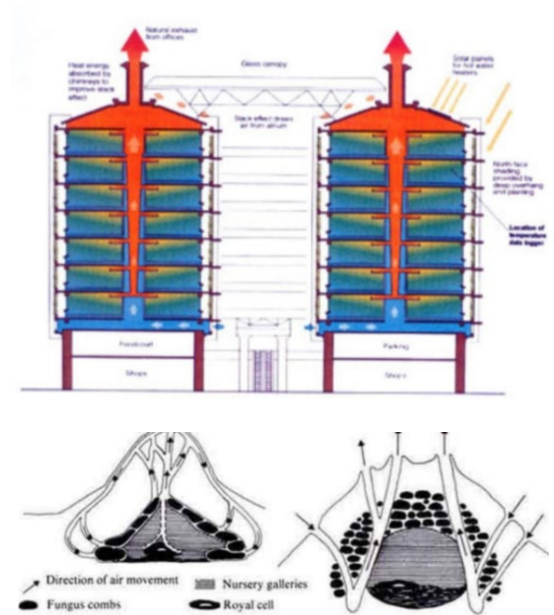
Teknolojik gelişmeler, farklı disiplinlerle yapılan iş birlikleri mimarlıkta doğadan esinlenmenin biçimsel taklidi ötesinde "gelişim süreçleri" ve "hareket mekânizmaları" gibi farklı yönlerinin de uygulanabilmesini sağlamıştır. Ron Herron'un Walking City projesinde hareket kavramının sınırlarının

zorlanarak yapı topluluklarının (şehirlerin) hareketi söz konusudur [24] (Şekil 5).



Şekil 5. Walking City projesi [24].

Günümüzde sürdürülebilir bir dünya için kaynakların yönetimi, su ve enerji verimliliği, iklimlendirme ve sıfır atık sistemleri gibi konular ön plana çıkmaktadır [25]. Zimbabwe'deki Eastgate binasında termit tepelerinin kendi kendini soğutma özelliğinin komplekse uyarlanmasıyla enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılmıştır (Şekil 6) [26].



Şekil 6. Eastgate binası ve akkarınca kulesi [26].

Bu gelişim süreci, biyomimetik tasarım yaklaşımının yalnızca estetik bir adaptasyon değil, aynı zamanda ekolojik performansı artırmaya yönelik bilimsel bir strateji olduğunu göstermektedir. Doğal sistemlerin sunduğu optimizasyon prensiplerinin mimariye aktarım süreci, doğrudan bir kopyalama değil; yorumlama, soyutlama ve yeniden üretme süreçlerini içermektedir.

Bu nedenle biyomimetik tasarımın karmaşık ve çok katmanlı yapısı, disiplinler arası iş birliğini zorunlu kılmaktadır. Bu noktada yapay zekâ, büyük veri setlerini analiz ederek, biyolojik verileri parametrik modellere dönüştürme ve çok sayıda tasarım alternatifini hızla üretebilme kapasitesiyle mimarların tasarım fikirlerini geliştirmelerine önemli katkılarda bulunmaktadır. Biyomimikri ve yapay zekânın entegrasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar, doğadan ilham alan çözümlerin yapay zekânın veri odaklı analiz ve optimizasyon gücüyle entegre edilerek sürdürülebilir ve kaynak verimli çözümler üretebildiğini göstermektedir. Ancak bu potansiyelin etkin biçimde ortaya çıkabilmesi için veri kalitesi, modelleme ve ölçeklenebilirlik sorunlarının aşılması ve güçlü disiplinler arası iş birliğinin sağlanması gerekmektedir [27].

Biyomimetik yaklaşımlar, yapay zekâ sistemleri için bir “içerik ve ilke kaynağı” oluştururken; yapay zekâ bu bilgiyi işleyerek çoklu tasarım alternatiflerine dönüştüren bir araç işlevi görmektedir. Dolayısıyla, yapay zekâ ve biyomimetik tasarımın entegrasyonunun niteliği, büyük ölçüde tanımlanan istemlerin kapsamı ve derinliği ile ilişkilidir. Bu nedenle, yapay zekâ destekli biyomimetik tasarım süreci; veri (doğa), araç (yapay zekâ) ve yorumlayıcı (tasarımcı) arasındaki dinamik bir etkileşim olarak ele alınmalıdır. Ancak bu entegrasyonun etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, yapay zekâ çıktılarının tasarımcı tarafından eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirilmesi ve mimari bağlam içerisinde yeniden yorumlanması gerekmektedir.

Bu çalışma da söz konusu entegrasyonu, farklı düzeylerde tanımlanan biyomimetik istemler ve bu istemlere karşılık üretilen tasarım çıktıları üzerinden değerlendirmektedir.

3. YAPAY ZEKÂ İLE BİYOMİMETİK MİMARİ TASARIM DENEMELERİ

Günümüzde her türlü mimari tasarım için faydalanılabilecek yapay zekâ uygulamalarının sayısı ve çeşitliliği artmaktadır. Bu uygulamaların neredeyse herkes için erişilebilir olması nedeniyle profesyonel olmayan meraklılar tarafından bile kullanıldığı görülmektedir. Ancak, zamanla özellikle popülerliği artan bazı yapay zekâ uygulamalarının kullanımının ücretli hale getirilmesi kullanıcılar için kısıtlayıcı olmakta

ve onları diğer uygulamaları kullanmaya yönlendirmektedir.

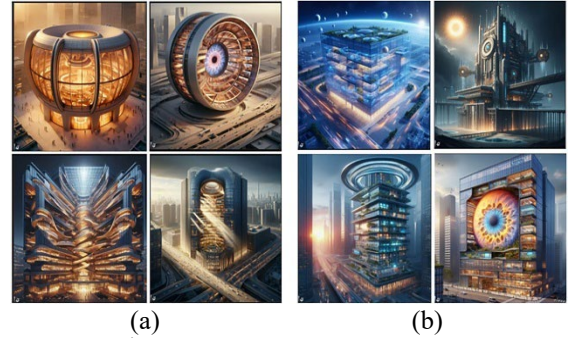
Bu çalışma tasarımcıların problemler karşısında doğadaki oluşumlardan esinlenmeleri (biyomimikri) fikrinden yola çıkarak yapay zekânın form elde etme sürecine nasıl katkı sunacağına odaklanmaktadır. Bu doğrultuda araştırma yalnızca görsel sonuç üretimine değil, aynı zamanda süreç odaklı bilişsel dönüşüme ve tasarımcının rolünün yeniden tanımlanmasına da değinmektedir. Çalışmada; kompleks çözümler, uzmanlık ve disiplinler arası çalışma içeren biyomimetik tasarım için yapay zekânın kapasitesi, yetenekleri, avantaj ve dezavantajları ve gelecekteki potansiyeli DALL-E 3 AI uygulaması üzerinden tartışılmaktadır. Yapay zekânın metinden resme (Text to Image) modeli kullanılarak biyomimetik tasarım ilkelerini içeren komutlar (metin istemleri) sayesinde mimari görseller elde edilmektedir. Basit istemlerden başlanıp kapsamı genişletilerek yapay zekânın istemlerdeki detaylara göre ürettiği çıktılar karşılaştırılmakta ve elde edilen tasarımlar mimari bakış açısından incelenmektedir. Elde edilen görsellerin çeşitliliği, yeni konsept ve tarzların keşfedilmesinde yapay zekânın potansiyelini ve günümüzdeki kabiliyetlerini göstermektedir.

Çalışmada biyomimetik girdiler belli amaçlar doğrultusunda basitten karmaşığa ilerleyen bir sistematikte oluşturulmuştur. Çizelge 1’de yapılan sınıflandırma ile yalnızca kavramsal bir ayırım değil, aynı zamanda çalışmada elde edilen görsellerin üretim sürecini sistematik olarak açıklamaya yönelik bir çerçeve sunmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda her bir seviyedeki (basit, orta ve karmaşık) metin istemleri, izleyen bölümde sunulan ve yapay zekâ tarafından oluşturulan görsel çıktılarla ilişkilendirilmiştir. Yapay zekâ tarafından üretilen görsellerde Basit seviye istemlerde biyolojik referansın biçimsel özelliklerini, orta seviye istemlerde geometrik organizasyon ve yapısal ilişkileri, karmaşık seviye istemlerde ise çevresel performans, adaptasyon ve strüktürel özelliklerini görmek mümkündür.

Çizelge 1. Metin istemlerinin seviyeleri ve amaçları.

Seviye	Metin İstemi Örneği	Metin İstemi Türü	Amaç
Basit	Tıpkı irisin ışığı kontrol ettiği gibi sıcaklığı kontrol eden bir bina	Tekil biyolojik referans	Form davranışını gözlemleme
Orta	Binlerce minyatür irisin ışık girişini kontrol edebilmesi gibi, yan kısımlarındaki panelleri otomatik olarak bükerek gelen güneş ışığını düzenleyerek iç sıcaklığı kontrol eden bir konut binası	Morfolojik + yapısal parametre içeren komut	Geometrik organizasyon analizi
Karmaşık	Binlerce minyatür irisin ışık girişini kontrol edebilmesi gibi, dairesel yan kısımlarındaki panelleri otomatik olarak bükerek gelen güneş ışığını düzenleyerek iç sıcaklığı kontrol eden konut binası	Biyolojik fenomen + çevresel performans parametreleri	Adaptif ve strüktürel tepkiler üretme

Yapay zekâ ile tasarım denemelerine başlarken metin istemi olarak mimarların biyomimetik tasarımlarında esinlendikleri canlıların bazı özellikleri “gözün açılıp kapanma hareketi” ile “fütüristik”, “modern” ve “estetik” gibi soyut kavramlar birlikte verilmektedir. “A building that controls the temperature just like how iris can controls the light (Şekil 7a)” ve “Tıpkı irisin ışığı kontrol ettiği gibi sıcaklığı kontrol eden bir bina (Şekil 7b)” gibi basit metin istemleri iki farklı (İngilizce ve Türkçe) dilde yazılarak mimari görseller elde edilmektedir. Elde edilen görsellerde dil ayrımının sonuç ürün üzerinde fazla etkisinin olmadığı görülmektedir. 100’den fazla dili destekleyen yapay zekâ modellerinin kullanımında dil farklılıklarının artık çok öneminin kalmadığı ve tasarımcıların yapay zekâdan ilham almak için en hâkim oldukları dili rahatlıkla kullanabilecekleri söylenebilir. Basit metin istemleri ile elde edilen görsellerde mekânîk anlamda sıcaklığın kontrolünün nasıl sağlanacağı ya da biyomimetik yaklaşımla gözün hareketi ile bina kabuğunun gün ışığı kontrolü arasında nasıl bir ilişki kurulacağı net değildir. Bunun yerine cephelerde sadece gözün biçimsel taklidinin yapıldığı, tasarım ilkelerinin göz ardı edildiği ve belli bir tarzı olmayan görseller elde edilmektedir. Tasarımda amaç biçimin taklit edildiği bir imaj arayışının ötesinde ısı kontrolü olduğuna göre daha ayrıntılı metin istemlerine gerek duyulduğu açıktır.



Şekil 7. İngilizce ve Türkçe verilen basit metin istemleri ile elde edilen görseller.

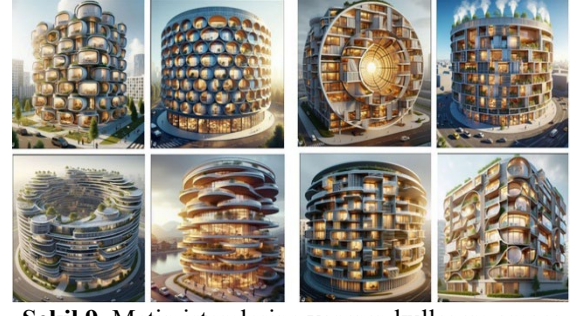
Çalışmanın devamında orta seviye metin istemlerinde (iki farklı dilde) yapının kullanım tipi, panel kullanımı ve sayısı gibi biraz daha ayrıntılı morfolojik ve yapısal parametreler içeren metinler eklenerek “A residential building that controls the inside temperature by regulating incoming sun light by automatically warping the panels on its siding parts, just like how thousands of miniature irises can control the light intake (Şekil 8a)” ve “binlerce minyatür irisin ışık girişini kontrol edebilmesi gibi, yan kısımlarındaki panelleri otomatik olarak bükerek gelen güneş ışığını düzenleyerek iç sıcaklığı kontrol eden bir konut binası (Şekil 8b)” olarak belirtilmiştir. Elde edilen görsellerde mekânsal bölünmelerin yapıldığı, ancak mekânların hangi amaç (salon, mutfak, banyo vs.) için kullanılacaklarının belli olmadığı görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 8. Metin istemlerine yapının kullanım tipi, panel kullanımı ve sayısı gibi detayların eklenmesi ile elde edilen görseller.

Bir sonraki aşamada karmaşık seviye metin istemi için “binlerce minyatür iris in ışık girişini kontrol edebilmesi gibi, dairesel yan kısımlarındaki panelleri otomatik olarak bükerek gelen güneş ışığını düzenleyerek iç sıcaklığı kontrol eden konut binası” şeklinde çevresel performans parametreleri eklenerek kapsam genişletilmiştir. DALL-E 3 AI uygulaması ile daire formun yatay veya dikey düzlemde kullanıldığı farklı görseller elde edilmiştir (Şekil 9). Bu görseller cephe çalışmalarında ilham vermesi açısından kullanılabilir. Ancak, bir konut binasında farklı özelliklere sahip salon, yatak odası, mutfak veya banyo gibi kullanım alanları için özelleşmiş bir cephe tasarımı fikri yoktur. Oysa, her bir farklı alanın kendine özgü ihtiyaçları doğrultusunda farklı cephesi (pencere boyutları, balkon ihtiyacı vs...) oluşabilir. AI uygulaması ile elde edilen görünüşlerde hangi mekânın nereye denk gelebileceği, plan, kesit, cephe bütünlüğü çözümlerinde ne kadar esneklik sağladığı ve taşıyıcı sisteminin nasıl olacağı konuları belirsizdir. Görünüşten kullanıcı ihtiyaçlarını karşılama ve plan oluşturma aşamasında nasıl sıkıntılarla karşılaşılacağı ve nasıl çözüleceği noktasında tasarımcının müdahalesine ihtiyaç vardır. Mimari bir yapıya ait tüm çözümler tasarımcının stil, form, fonksiyon, estetik, bağlam, arazi özellikleri, yönetmelikler, standartlar gibi değerlerin tümünü birlikte düşündüğü bütüncül bir yaklaşımla mümkündür. Bu noktada, AI uygulaması ile elde edilen görseller tasarımcının müdahalesi olmadan uygulama noktasında yetersiz kalabilmektedir.



Şekil 9. Metin istemlerine yapının kullanım amacı ve formu ile ilgili bilgiler verilerek elde edilen görseller.

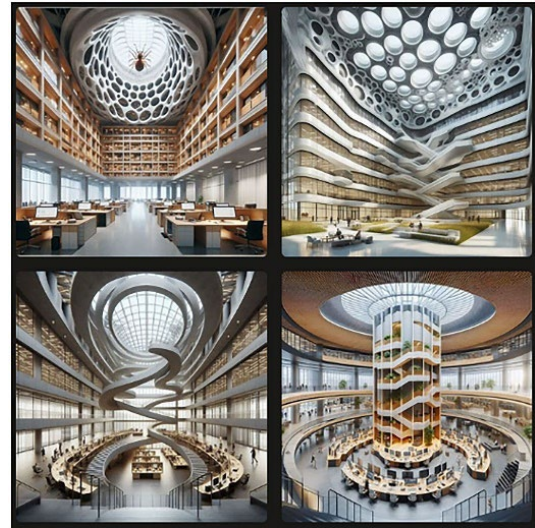
Yapay zekâ ile yapılan tasarım uygulamalarında biyomimetik örüntülere yönelik basit komutlar, yalnızca doğal formun temel geometrisini tanımlayarak genel bir illüstrasyon üretmekte, ancak biçim-işlev bütünlüğünü derinlemesine aktarmamaktadır. Orta düzey komutlar, doğal sistemin organizasyon ve yapısal mantığını mimari dile daha görünür bir şekilde taşımakta; özellikle deniz kabuklarındaki spiral büyüme, termit tepelerindeki hava akışı ve bal peteğindeki hücresel düzen gibi örüntüler, tasarım kararlarıyla ilişkilendirilebilmektedir. İleri seviye metin istemleri ile profesyonel düzeyde kontrol edilebilir mimari görseller elde edilerek malzeme, ışık, açı, ölçek, form ve biyomimetik ilkelerin daha net okunabilmelerine olanak sağladığı görülebilmektedir.

Önceki bölümde incelenen yapılarda olduğu gibi enerji etkin yapı tasarımlarında karınca yuvalarının doğal havalandırma sisteminden esinlenilerek yapılmış uygulamalar mevcuttur. Yapay zekânın bu konudaki katkısını görebilmek için “Karınca yuvasına benzer ofis binası” şeklinde orta seviyede metin istemi kullanılmıştır. Elde edilen görseller birbirlerine çok benzer olmakla birlikte yapı kütlesi birbiri üzerinde kaydırılan kademeli katların farklı varyasyonları biçimindedir (Şekil 10). Bu görsellerde ise sistemin ayakta kalabilmesi ve dengede durabilmesi için taşıyıcı sistemin nasıl çözüleceği belli değildir.



Şekil 10. Karınca yuvasına benzer ofis binası.

Havalandırma sistemleri iç mekânları ilgilendiren bir konu olduğu için aynı metin istemi “Karınca yuvasının havalandırma sistemine benzer sistemle oluşturulmuş iç mekâna sahip ofis binası” olarak değiştirilmiştir. Elde edilen görsellerde (bir karınca yuvasının dışarıya açılan dikey girişine bağlanan yatay koridorlardan esinlenilerek) ortada geniş bir galeri boşluğu ve tavanda pencerelerin yer aldığı görülmektedir (Şekil 11). Tavandaki pencereler binanın doğal aydınlatması, açılır-kapanır sistemlerle çözüldüğünde ise doğal merkezi havalandırma problemleri için çözüm olabilir. Ancak, yine de bir tasarımcı tarafından yapı bütünü ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 11. Karınca yuvasının havalandırma sisteminden esinlenilerek oluşturulmuş iç mekân.

Sıradaki üç örnek (bal peteği, deniz kabuğu, termit tepeleri) doğadan ilham alan ve ileri seviye metin istemleri ile üretilen mimari tasarımlarda karşılaştırma yapabilmek için örnek modellemeler olarak incelenmektedir. Şekil 12’de üç farklı örnek için yapay zekâya verilen ileri seviye metin istemlerine karşılık farklı zamanlarda farklı kullanıcılar tarafından elde edilen görseller vardır.

Örnek	İleri Seviye Metin İstemi	Görsel 1	Görsel 2
Bal Peteği	Petek hücre organizasyonuna dayalı fütüristik modüler bina cephe sistemi. Güneş açılarına yanıt derinlik varyasyonuna sahip altıgen modüller, uyarlanabilir gölgeleme membranları, yarı saydam polimer kaplamalar ve entegre yapısal çerçeveler. Bir cepheyi çalışma paneli olarak oluştur: Ön cephe, eğik perspektif ve temiz bir triptik düzeninde düzenlenmiş yakın plan detaylı makro çekim. Ultra keskin 8k gerçekçilik, tekdüze beyaz arka plan, yumuşak global aydınlatma.		

Deniz Kabuğu	Deniz kabuğunun logaritmik spiral geometrisinden türetilen parametrik mimari pavyon. Gradyan kalınlaştırılmış kalsiyum benzeri kompozit panellerden oluşan sürekli nervürlü yapı, sedef benzeri pürüzsüz yanardöner yüzey, kusursuz eğrilik geçişleri, yük taşıyıcı helisel nervürler. Yüksek çözünürlüklü 8k'da, kontrollü yansımalarla stüdyo aydınlatmasıyla oluştur. Ana yapının etrafında yüzen, geometrik üretken mantığı ve yapısal katmanları ortaya çıkaran patlatılmış aksiyometrik bileşenler içersin.		
Termit Tepeleri	Termit yuvalarının termoregülasyon sisteminden esinlenerek tasarlanmış, iklime duyarlı bir yüksek binanın mimari konsept çizimi. Pasif havalandırma şaftları olarak işlev gören dikey delikli cephe kanalları, gözenekli toprak dokulu kompozit malzeme, baca etkisiyle çalışan hava akışı boşlukları, konik kütle geometrisi, biyomimetik baca benzeri kuleler. Ultra gerçekçi tarzda, 8k çözünürlükte, nötr gün ışığı ve yumuşak gölgelerle görsel üretilsin. İç hava akışı mantığını ortaya çıkarmak için perspektife entegre edilmiş bir kesit göster, ince şematik oklarla işaretle.		

Şekil 12. İleri seviye metin istemleri ile elde edilen görseller.

Çalışmanın bu aşamasına kadar elde edilen görseller ve tasarım süreci doğrultusunda “Yapay Zekâ ve Biyomimetik Tasarım Değerlendirme Matrisi” oluşturulmuştur (Çizelge 2). Bu matris yapay zekânın farklı tasarım kriterlerine katkısını sistematik olarak analiz etmek amacıyla geliştirilmiş olup, gözlemlerin belirli ölçütler çerçevesinde bir değerlendirme sistemine dönüştürülmesi hedeflenmektedir.

Bu kapsamda kullanılan 1–5 arası puanlama sistemi doğrudan nicel bir ölçüm değil, çalışmada tanımlanan performans düzeylerine dayalı derecelendirme ölçeğidir. Her bir puan aralığı aşağıdaki somut ölçütlere karşılık gelecek şekilde tanımlanmıştır:

1 Puan (Çok yetersiz): İlgili kriterin neredeyse hiç karşılanmadığı, tasarımda belirgin eksikliklerin olduğu durumlar

2 Puan (Zayıf): Kriterin sınırlı düzeyde karşılandığı, temel problemler içerdiği durumlar

3 Puan (Orta / Kısmen yeterli): Kriterin belirli ölçüde karşılandığı ancak geliştirilmesi gereken yönlerin bulunduğu durumlar

4 Puan (İyi): Kriterin büyük ölçüde karşılandığı, küçük eksiklikler barındıran durumlar

5 Puan (Çok iyi): Kriterin kapsamlı ve tutarlı biçimde karşılandığı, yüksek performans gösteren durumlar

Bu değerlendirme yaklaşımı, tamamen nesnel ölçümler üretmeyi değil, tasarım çıktılarının karşılaştırılabilir bir çerçevede analiz edilmesini amaçlamaktadır. Dolayısıyla tablo, nicel bir kesinlik iddiası taşımaktan çok, sistematikleştirilmiş bir değerlendirme olarak ele alınmaktadır. Bu sayede, yapay zekâ çıktılarının güçlü ve zayıf yönleri farklı kriterler üzerinden daha açık ve tutarlı biçimde tartışılabilmektedir.

Çizelge 2. Yapay Zekâ ve Biyomimetik Tasarım Değerlendirme Matrisi.

Kriter	Açıklama	Gerekçe	Puan
Yapay Zekâ Entegrasyonu	YZ araçlarının tasarım üretimine katkı derecesi	Çoklu alternatif üretme, hızlı geri bildirim sağlama ve tasarım sürecine erken aşamada entegre olabilme kapasitesi yüksek düzeydedir. Tanımlanan ölçekte “kapsamlı ve tutarlı performans” kriterini karşılamaktadır.	5
Problem Çözme Yeteneği	Tasarımın problemini karşılama derecesi	Verilen istemler doğrultusunda problem–çözüm ilişkisi hızla kurulabilmekte; ancak bu ilişki bazı durumlarda yüzeysel kalmakta ve bağlamsal derinlik sınırlı olmaktadır. Ölçekte “büyük ölçüde karşılama ancak eksiklik içerme” düzeyine karşılık gelmektedir.	4
Komutlara Uyum	Metin istemlerinin doğru yorumlanması	İstemler genel olarak doğru yorumlanmakta; ancak çok parametrelili girdilerde kısmi sapmalar gözlemlenmektedir; kısmen yeterlidir.	3
Biyomimetik İlkeye Uyum	Doğadaki form/ilke/süreçlerin tasarıma aktarılma niteliği	Biçimsel benzerlikler sağlanmakta; ancak davranışsal ve performans temelli biyomimetik aktarım sınırlı kalmaktadır; kısmen yeterlidir.	3
Mimari Uygulanabilirlik	Mekânsal/strüktürel mantık	Çoğu çıktı heykelsi, taşıyıcı sistem, yapım tekniği ve gerçek dünya kısıtları çoğunlukla ele alınmamaktadır; zayıf düzeydedir.	2
Fonksiyonel Uygulanabilirlik	Yapının mimari işlev görme potansiyeli	Mekânsal kullanım, kullanıcı ihtiyaçları ve fonksiyon dağılımı çoğu örnekte belirsizdir; sınırlı düzeydedir.	2
Malzeme Kullanımı	Malzemenin gerçekçi ve tanımlı kullanımı	Malzeme önerileri ağırlıklı olarak kavramsal ve görsel düzeyde kalmakta; teknik karşılıkları sınırlıdır; kısmen yeterlidir.	3
Detay Çözümleme	Yüzey, doku, birleşim detayları	Görsel detaylar güçlü olmakla birlikte yapısal birleşim ve teknik detaylandırma eksiktir; kısmen yeterlidir.	3
Biçimsel Kompozisyon	Kütle dengesi, ritim, bütünlük	Kompozisyon genel olarak dengeli ve tutarlı olmakla birlikte bazı durumlarda biçim işlevin önüne geçmektedir; iyi düzeydedir.	4
Estetik Etki	Sanatsal değer, görsel ilgi, çekicilik	Yüksek çözünürlük, kompozisyon ve görsel etki açısından güçlü ve tutarlı sonuçlar üretmektedir; çok iyi düzeydedir.	5
Mekânsal Okunabilirlik	İç/dış mekân ilişkisi, giriş–çıkışların anlaşılabilirliği	Plan kurgusu, giriş–çıkış organizasyonu ve mekânsal süreklilik çoğunlukla belirsizdir; zayıf düzeydedir.	2
Alternatif Tasarım	Farklı alternatifler üretme kapasitesi	Aynı istem üzerinden çok sayıda alternatif üretme kapasitesi yüksek olup, kapsamlı ve tutarlı performans göstermektedir.	5
Özgünlük	Yeni fikir, benzersiz biçim üretme kapasitesi	Mevcut veri setlerine dayalı yeniden kombinasyon söz konusu olup radikal yenilik sınırlıdır; kısmen yeterlidir.	3

Çizelge 2’de sunulan değerlendirme matrisi, üretken yapay zekâ araçlarının biyomimetik tasarım bağlamındaki performansını çok boyutlu olarak ortaya koymayı

hedeflemektedir. Elde edilen bulgular, yapay zekânın özellikle estetik üretim, alternatif tasarım geliştirme ve tasarım sürecine hızlı entegrasyon gibi alanlarda yüksek performans

sergilediğini; buna karşılık mimari uygulanabilirlik, mekânsal organizasyon ve strüktürel bütünlük gibi temel tasarım bileşenlerinde sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu durum, yapay zekânın güncel kullanımının daha çok kavramsal tasarım ve erken fikir üretimi aşamalarında etkili bir araç olduğunu, ancak bütüncül ve uygulanabilir mimari çözümler üretme noktasında henüz tasarımcı müdahalesine ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır.

Bu değerlendirmeler, çalışmanın sonuç bölümünde tartışıldığı üzere, yapay zekâ ile insan tasarımcı arasındaki ilişkinin bir ikame değil, tamamlayıcılık temelinde ele alınması gerektiğini desteklemektedir. Dolayısıyla, üretken yapay zekânın mimari tasarım süreçlerindeki rolü, bağımsız bir tasarım üreticisi olmaktan ziyade, tasarımcının karar verme ve yaratıcı düşünme süreçlerini destekleyen bir araç olarak konumlanmaktadır.

Yapay zekâ ile gerçekleştirilen bu denemeler, tasarımın etik ve telif boyutuyla da doğrudan ilişkilidir. DALL-E 3 ile üretilen biyomimetik

formlar, eğitim verisindeki geniş görsel arşivinden izler taşısa da, ortaya çıkan sonuç ürün tasarımcının yönlendirmesiyle şekillenen yeni bir yaratım süreci olarak tartışılmaktadır. Bu durum, mimarlıkta telif haklarının ve tasarımcı statüsünün “üretici algoritmalar” ile “yönlendirici tasarımcı” arasında nasıl konumlanacağı sorusunu gündeme getirmektedir [28]. Bu nedenle elde edilen sonuç ürün doğrudan bir intihalden ziyade bütüncül karar mekanizmasının bir sonucu, mevcut mimari dillerin biyomimetik prensiplerle kolektif bir yeniden harmanlanması olarak değerlendirilebilir.

Çizelge 3, yapay zekâ araçları üzerinden elde edilen çıktıların özgünlük, tasarım mülkiyeti/telif hakkı, veri güvenliği, hesap verilebilirlik, ekolojik ve toplumsal etki gibi temel kavramlar üzerinden mimari tasarım özelinde nasıl tartışılabileceğini göstermeyi amaçlamaktadır. Sonuç olarak, yapay zekâ araçları tasarım üretiminde bir yaratıcı değil, yönlendirilmiş bir hesaplayıcıdır; bu nedenle hak, sorumluluk ve etik yükümlülükler daima tasarımcıda olacaktır.

Çizelge 3. Üretilen Mimari Görsellerin Etik ve Telif Hakları Bağlamında Tartışma Çerçevesi

Etik Boyut	Tartışma Konusu	Çözüm Yaklaşımı
Özgünlük	Yapay zekâ verilerinin diğer tasarımlarla benzerlik üretmesi	AI çıktılarının nihai tasarım değil ön-fikir aracı olarak konumlandırılması
Tasarım mülkiyeti/Telif Hakkı	Üretilen tasarımın kimde hak doğurduğu belirsizliği	İnsan tasarımcının yönlendirici-bilimsel karar mekanizması olarak vurgulanması
Veri güvenliği	Model eğitim setlerinin ticari/kültürel içerik barındırma ihtimali	Şeffaf veri politikası ihtiyacı ve model üreticilerine bildirim gerekliliği
Hesap verilebilirlik	Yapay zekâ karar hatalarında sorumlu aktör tanımsız kalması	Kontrol sorumluluğunun daima tasarımcıda kaldığının net olarak belirtilmesi
Ekolojik ve toplumsal etki	Kaynak kullanımı, enerji, sürdürülebilirlik belirsizliği	Verilen referanslarla tasarım bilincinin çok boyutlu ve disiplinlerarası olacak şekilde ilişkilendirilmesi

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Biyomimetik tasarımda; problemlerin çözümü için doğadaki oluşumların ilham alınan özelliklerinin ne düzeyde ele alınacağı, bu özelliklerin hangi malzeme ve yapım teknolojisi ile uyumlu olacağı çok iyi analiz edilmelidir. Böyle tasarımlar disiplinler arası bir çabayla bilgi alışverişi, uzmanlık ve detay çözümleri gerektirir. Bu çalışma, biyomimetik tasarım ilkelerinin üretken yapay zekâ ile sınanması üzerinden yürütülmüş olup, metinden görsel üretimi ile elde edilen tasarım çıktılarının hem potansiyellerini hem de sınırlılıklarını ortaya

çıkartmaktadır. Sonuç olarak yapay zekâ araçlarının sağladığı fotogerçekçi görüntüler, görsel çeşitlilik, hız, hesaplamalarda doğruluk ve hassasiyet gibi avantajlarının yanında yaşanabilecek sorunlara karşı önlem alınabilmesi açısından zayıf ve güçlü yönleri, kısıtları ve fırsatları tartışılmaktadır.

Zayıf yönleri: Biyomimetik tasarımda, tasarımcı doğadan ilham alırken doğa felsefesinden, kişisel ve toplumsal deneyimlerinden, mitolojik, dinsel inançlardan ve doğa yasalarının bilimde bulduğu

karşılıklardan yararlanır [29]. Bireylerin bilgi, kültür ve deneyim düzeylerindeki farklılıklardan dolayı doğayı algılayış ve anlamlandırma biçimleri de farklıdır. Problemlerin çözümü için doğadaki oluşumların analoji yoluyla tasarıma yansıtılmasında bu farklılıkların etkisi açıktır. Seçilen teknoloji, yapım tekniği, malzeme, strüktür, renk, doku, maliyet, bağlam, toplumun sosyal, ekonomik ve kültürel yapısına uygunluk, yönetmelik ve standartlar gibi unsurlar da eklendiğinde tasarımlar farklı yönlerde evrilmektedir. İnsan zekâsına özgü olan bu özellikler zamanla yeni stillerin ortaya çıkmasına ve benzersiz tasarımlara olanak sağlarken, yapay zekânın sunduğu çözümler henüz bu aşamada değildir. Üretilen örnekler incelendiğinde, yapay zekânın biyolojik forma ilişkin geometrik analogileri başarıyla modellediği; ancak malzeme doğruluğu, strüktürel tutarlılık, yapım teknikleri ve kullanıcı senaryosu gibi çok yönlü ve bütüncül mimarlık parametrelerine hâlen tam erişemediği görülmektedir. Dolayısıyla yapay zekâdan elde edilen sonuçlar, tasarım fikri geliştirmede güçlü bir tetikleyici sunmakla birlikte, insan zekâsının deneyim, bağlamsal yorumlama ve eleştirel karar üretme sürecinin yerini henüz alamamaktadır.

Günümüzde tasarım öğrencilerinden profesyonellere kadar üretken yapay zekâdan faydalanan kullanıcıların sayısında büyük bir artış yaşandığı görülmektedir. Yapay zekâ uygulamaları veri tabanında bulunan örnekleri temel alarak ve onlar üzerinde düzenlemeler yaparak mimari görselleri oluşturmaktadır. Ancak, “yapay zekânın oluşturduğu görseller kullanılarak yapılan tasarımların telif haklarının kime ait olacağı” etik kaygılarla cevap bekleyen bir sorudur. Yapay zekâ araçları ile görüntüler elde edilirken mevcut tasarımlar üzerinden değişiklikler söz konusu olduğuna göre, örnek alınan mevcut tasarımla ilgili etik ihlal ve telif hakkı nedeni ile anlaşmazlıklar yaşanması da muhtemeldir. Ayrıca, benzer metin istemlerinin bire bir aynı olmasa da çok benzer sonuçlar üretmesi de olasıdır. Bu sorun sadece mimari tasarıma özgün bir problem değil, tüm sanat alanlarını ilgilendiren bir tartışma konusudur. Böyle sorunlar için yapay zekâ araçlarının yapımcıları hak sahibi kişi veya kuruluşlara adları ve markaları ile ilişkili görüntüler

oluşturulmasının sınırlanmasını talep etme imkânı sunmaktadır.

Yapay zekâ araçları etkili bir şekilde çalışabilmek için büyük miktarda veriye ihtiyaç duymaktadır. Ancak, bu noktada da verilerin doğruluğu, verilerin gizliliği, veri ihlalleri, yetkisiz erişim, müşteri bilgilerinin ve proje ayrıntılarının korunmasına ilişkin kaygılar ortaya çıkmaktadır. Bunlar için sağlam veri koruma protokolleri uygulanması gerekmektedir [30].

Yapay zekâyâ aşırı güvenerek yapılan tasarımlarda ya da hesaplamalarda hata yapılması durumunda hesap verilebilirlik durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu noktada yapay zekâ modellerinin çıktılarını hesaplama/kontrol etme sorumluluğu tasarımcıya düşmektedir.

Her yapının üzerinde bulunduğu arazi koşulları, yakın çevresi ile ilişkisi benzersizdir. Yapay zekâ tarafından üretilen ve her yere uygulanabilirmiş gibi görünen tasarımların yetersiz kalması olağandır. Yapay zekâ ile üretilen görsellerin bağlama uygunluğu tasarımcı tarafından göz önünde bulundurulmalıdır.

Mimari tasarımlar yapılırken çeşitli yönetmelikler ve standartlar önemli tasarım girdilerindendir. Özellikle güvenlik, afet güvenliği, erişilebilirlik ve sürdürülebilirlik ile ilgili konularda yapay zekânın sunduğu hesaplamalar ve simülasyonlardan yararlanılabilir. Ancak, yapay zekâ tarafından üretilen çözümlerde yönetmeliklere ve standartlara uygunluk ile tasarımın bütününe entegrasyonu kontrol edilmeli ve doğrulanmalıdır.

Yapı kabuğu üzerinden verilen görsellerin plan ya da kesitle ilişkilendirilmemesi nedeniyle tasarımcının müdahalesi gerekmektedir. Bu tip görseller tasarıma başlarken ilham vermesi için kullanılabilir.

Güçlü yönleri: Tasarımcıların gündemi takip etmelerini kolaylaştırır.

Yapay zekâ araçları giderek büyüyen veri tabanları ve verilere çok hızlı erişimleri sayesinde kullanıcılarına sınırsız sayıda tasarım

fikirleri sunmaktadır. Tasarımcı göz önüne alınmasını istediği parametreleri istemlere ekleyerek çok kısa surede birçok prototip tasarım elde ederek bu tasarımlardan ilham alabilir ve yapay zekânın ürettiği birbirinden farklı tasarımları kullanarak özgün ve bütünsel bir tasarım ortaya çıkarabilir. Yapay zekâ araçlarının fotogerçekçi temsil gücü, saniyeler içinde çoklu varyasyon üretme kapasitesi ve metin istemlerinin doğru yorumlanması tasarım sürecini hızlandırıcı önemli bir avantajdır.

Sürekli yeniliklere ve gelişime açıktır. Günümüzde yapay zekâ, üzerinde en çok kaynak harcanan ve en hızlı gelişen alanlardan biridir. Artan rekabet ile birlikte sürekli yeni yapay zekâ modelleri kullanıcılara sunulmaktadır. Kullanıma sürülen her yapay zekâ modeli öncekilerden en az bir konuda daha yetenekli ya da kullanımı daha kolay olmaktadır.

Kısıtları: Biyomimetik tasarım açısından bakıldığında yapay zekâ kullanılarak elde edilen görsellerde doğadaki oluşumların daha çok biçimsel olarak taklit edildikleri görülmektedir. Dolayısıyla insan zekâsının çok yönlü düşünmesi karşısında hala eksik ve kısıtlayıcı kalmaktadır.

Özellikle sanatsal ve stilize edilmiş görüntüler oluşturan yapay zekâ araçları yapının hangi malzeme ve yapım teknikleri ile inşa edileceği, yapı tasarım fizibilitesi ve taşıyıcı sistem özellikleri gibi strüktürel konuları dikkate almaz. Bu tasarımların inşa edilmeleri şu anda mevcut olmayan malzeme özelliklerini ya da karmaşık yapım tekniklerini gerektirebilir. Bu yüzden yapay zekâ sonuç ürünü her ne kadar mevcut örnekler üzerinden oluşturulsa da gerçek dünyada üretilmeleri her zaman mümkün olmayabilir. Mimarlar yapay zekâ ile elde ettikleri tasarımları ilham kaynağı olarak kullansalar da üretilbilmeleri için gerekli tüm kriterleri, mevcut teknolojiyi, kaynakları ve kısıtlamaları göz önünde bulundurarak tasarıma müdahale etmek durumundadırlar.

İstenen sonucu elde edebilmek için metin istemlerinin hedefe uygun ve ayrıntılı olarak verilmesi gerekir. Aksi taktirde hedeflenen tasarımdan uzak uygulanabilirliği olmayan sonuçlar elde etmek mümkündür.

Tasarımcının sonuç üzerindeki kontrolü kısıtlıdır. Çünkü, model metin istemine bağlı kalarak, ama kendisine daha önceden öğretilmiş olan bilgiler doğrultusunda görüntüleri oluşturur. Bu sırada kullanıcının müdahalesine izin vermez.

Yapay zekâ modelleri önyargılı veri kümeleri üzerinde eğitilirse, ürettikleri tasarımlar ve öneriler mevcut toplumsal önyargıları sürdürebilir [30].

Yapay zekâyâ güvenilerek yapılan çalışmalarda tasarımcının eleştirel düşünme, kendini geliştirme, yaratıcı çözümler arama, yeni ve benzersiz olanı yapma çabalarında azalma riski ortaya çıkabilir.

Fırsatları: Yapay zekâ uygulamalarına olan taleplerin artması ile birlikte, bu tür uygulamaların sayısı, çeşitliliği artmakta ve erişimleri kolaylaşmaktadır.

Yapay zekâ araçlarının çeşitli faktörleri göz önünde bulundurarak karmaşık bilgileri analiz etme ve simülasyon özellikleri geleneksel yöntemlerle elde edilmesi zor olabilecek öngörüler sağlayabilir.

Yapay zekâ araçları tasarım konsepti oluşturmada ya da tasarım optimizasyonunda beyin fırtınası yapmak için bir araç olarak kullanılabilir.

Yapay zekâ hakkında yapılan yayınlardaki artış ile birlikte bu tür uygulamaların eksik ve güçlü yönleri ortaya çıkartılmakta ve kendini geliştirme çabaları ile birlikte sorunlarına çözüm yolları aranmaktadır.

Yapay zekâ uygulamaları tasarımcının kendi tasarımı üzerinden farklı alternatifler oluşturmaya da olanak sağlamaktadır. Bu sayede telif hakkı sorununun önüne de geçilmeye çalışılmaktadır.

Tasarımcılar yapay zekânın mimarlık endüstrisinde daha gerçekçi, daha verimli ve daha az sorunla katkı sağlaması noktasında aktif rol alabilirler.

Yapay zekâ sistemlerinin yalnızca görsel üretim değil, yapısal ve çevresel performans kriterlerini de dikkate alacak şekilde

geliştirilmesi, mimari tasarım süreçlerindeki etkinliğini artıracaktır.

Yapay zekâ araçlarının özellikle konsept döneminde tasarımcıya geniş bir keşif alanı açması, erken karar aşamalarında bellek, referans ve eskiz üreticisi gibi kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Bu yönüyle yapay zekâ, geleneksel tasarım sürecine alternatif değil; onu hızlandıran, çeşitlendiren ve çoğaltan bir ortak akıl şeklinde konumlanabilir.

Sonuç olarak, insan zekâsı ve yaratıcılığı ile yapay zekânın becerileri arasındaki iş birliği mimari tasarım sürecinin geleceğini şekillendirmeye başlamıştır. Buradaki endişelerden bir tanesi de yapay zekâ araçlarının mimarların yerini alıp almayacağı sorusudur. Günümüzde yapay zekâ geldiği noktada tasarımcı rolünü devralmaktan ziyade tasarımcıyı besleyen bir partner olarak görülebilir. Yine de üretkenliğin hızlanması, morfogenetik formların hızlı varyasyonlarla test edilebilmesi ve henüz deneysel aşamadaki geometrilerin görselleştirilmesi açısından yüksek potansiyel taşımaktadır. Yapay zekânın kendisinin de insan zekâsının bir ürünü olduğu unutulmamalıdır. Çok fazla veriye çok kısa sürede erişip hızla işleyebilme kapasitesine sahip olmasına rağmen yapay zekâ halen mevcut veriler üzerinden işlem yapabilmektedir. Oysa insan zekâsı tarih boyunca hayallerin bile ötesine çıkarak o güne kadar var olmayan yepyeni fikirler üretmeyi ve gerçekleştirmeyi başarmıştır. Bundan sonraki aşamada insan zekâsının yaratıcılığı ile yapay zekânın sunduğu imkânların entegrasyonu ile tasarımlar çok daha kontrollü, hızlı ve verimli olacaktır. Bu entegrasyon birçok fırsat sunmasına karşılık, bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Yapay zekânın mimarlık alanında daha etkin, denetlenebilir ve mühendislik temelli kullanımı için disiplinler arası araştırmaların artırılması önerilmektedir. Çalışma, bir araç değerlendirmesinden öte geleceğe yönelik bir tasarım metodolojisi tartışması ile literatüre katkı sunmayı amaçlamaktadır. Üretken yapay zekâ araçlarının mimari tasarım alanında kullanım hızı ve sayısındaki artışa paralel olarak, literatürde de konu ile ilgili destekleyici ya da eleştirici çok sayıda yayın yapılmaya başlanmıştır. Burada önemli olan yapay zekânın

sunduğu ve sürekli gelişim gösterdiği fırsatları iyi değerlendirmek ve oluşabilecek sorunları öngörerek önlemleri almaktır.

KAYNAKLAR

1. Oxman, R., "Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking", *Design Studies*, Cilt 52, Sayfa 4–39, 2017.
2. Badarnah, L., & Kadri, U., A methodology for the generation of biomimetic design concepts. *Architectural Science Review*, Cilt 58, Sayı 2, Sayfa 120–133, 2014.
3. Ramesh, A., Pavlov, M., Goh, G., Gray, S., Voss, C., Radford, A., Chen, M. & Sutskever, I., "Zero-Shot Text-to-Image Generation", <https://arxiv.org/abs/2102.12092>, Şubat 24, 2021.
4. Merriam-Webster.com dictionary, "Artificial intelligence", <https://www.merriam-webster.com/dictionary/artificial%20intelligence>, Mayıs 26, 2025.
5. Artut, S., "Yapay zekâ olgusunun güncel sanat çalışmalarındaki açılımları", *İnsan&İnsan*, Cilt 6, Sayı 22, Sayfa 767-783, 2019.
6. Hegazy, M., Saleh, A., M., "Evolution of AI role in architectural design: Between parametric exploration and machine hallucination", *Engineering Journal*, Cilt 2, Sayı 2, Sayfa 1-26, 2023.
7. Turing, A., "Computing machinery and intelligence", *Mind*, Cilt 59, Sayı 236, Sayfa 433-460, 1950.
8. Shannon, C. E., "XXII. Programming a computer for playing chess", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, Cilt 41, Sayı 314, Sayfa 256–275, 1950.
9. Moravec, H., "When will computer hardware match the human brain", *Journal of Evolution and Technology*, Cilt 1, Sayı 1, Sayfa 1-12, 1998.
10. Kasparov, G., "Deep thinking", Sayfa 120-124, Hodder & Stoughton, London, 2018.
11. Boden, M. A., "The creative mind: Myths and mechanisms", Sayfa 2-3, Routledge, Abingdon, 2004.
12. Park, J. D., "A study on digital technology for the construction of curved forms", *Journal of Architectural Institute of Korea*, Cilt 21, Sayı 12, Sayfa 183-192, 2005.

13. Chaillou, S., “The advent of architectural AI, a historical perspective”, <https://medium.com/data-science/the-advent-of-architectural-ai-706046960140>, Ağustos 13, 2025.
14. Ploennigs, J., Berger, M., “Generative AI and the history of architecture”, <https://arxiv.org/abs/2312.15106>, Temmuz 10, 2025.
15. Merriam-Webster dictionary, “Biomimicry”, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/biomimicry>, Temmuz 10, 2025.
16. Benyus, J.M., “Biomimicry: Innovation inspired by nature”, Sayfa 72-75, William Morrow& Company Inc., New York, 1997.
17. Zari, P.M., “Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability”, Sustainable Building Conference (SB07), Sayfa 1-10, Auckland, 2007.
18. Selçuk, S. A., Sorguç, A.G., “Mimarlık tasarımı paradigmasında biomimesis’in etkisi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 22, Sayı 2, Sayfa 451-459, 2007.
19. Portoghesi, P., “Nature and architecture”, Sayfa 18-26, Skira Editore, Milan, 2000.
20. Hertel, H., “Structure, form, movement”, Sayfa 101, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1966.
21. Miller, W., “Water-lilies and other aquatic plants”, <https://chestofbooks.com/gardening-horticulture/Flowers/Water-Lilies-And-Other-Aquatic-Plants-Part-3.html>, Mayıs 26, 2025.
22. González Moreno-Navarro, A., “Gaudí, constructor (la materialización de una arquitectura singular)”, Informes de la Construcción, Cilt 42, Sayı 408, Sayfa 5–8, 1990.
23. Emekci, Ş., “Using nature in architecture: A perspective from Antoni Gaudí”, European Journal of Science and Technology, Özel Sayı 34, Sayfa 87-91, 2022.
24. Herron, R., “Walking city on the ocean”, <https://www.moma.org/collection/works/814>, Temmuz 10, 2025.
25. Amer, N., “Biomimetic approach in architectural education: Case study of ‘biomimicry in architecture’ course”, Ain Shams Engineering Journal, Cilt 10, Sayı 3, Sayfa 499–506, 2019.
26. Fehrenbacher, J., “Biomimetic architecture: green building in Zimbabwe modeled after termite mounds”, <https://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/>, Şubat 15, 2025.
27. Jahed, S., “Imitating Nature to Create Smart Technologies: Biomimicry and Artificial Intelligence for Sustainable Innovation”, Arceng (International Journal of Architecture and Engineering), Cilt 5, Sayı 1, Sayfa 175–182, 2025.
28. Epstein, Z., Hertzmann, A., Investigators of human creativity, Akten, M., Farid, H., Fjeld, J., ... & Smith, A. “Art and the science of generative AI”, Science, Cilt 380, Sayı 6650, Sayfa 1110-1111, 2023.
29. Tümer, G., “Doğayla uyumlu mimarlık üzerine bir deneme”, Yapı Dergisi, Sayı 268, Sayfa 44-47, 2004.
30. Rane, N. L., “Potential role and challenges of chatGPT and similar generative artificial intelligence in architectural engineering”, International Journal of Artificial Intelligence and Machine Learning, Cilt 4, Sayı 1, Sayfa 22-47, 2024.