Ocak 2026

ISBN: 978-625-93507-1-4

Biyolüminesansın Aydınlatma Teknolojisine Entegrasyonu: Biyomimikri ve Nanoteknoloji Temelli Sürdürülebilir Bir Tasarım Çalışması

Gökçe Ünlü Küçükcankurtaran

ÖZET: Bu çalışma, sürdürülebilir iç mekân aydınlatma çözümleri geliştirmek amacıyla biyomimikri, biyolüminesans ve nanoteknoloji temelli bir tasarım yaklaşımı önermektedir. Doğadaki ışık üreten organizmalardan ilham alınarak geliştirilen biyolüminesans prensiplerinin, iç mekân aydınlatma tasarımıyla nasıl birleştirilebileceği araştırılmıştır. Çalışmada, biyolüminesansın kimyasal yapısı, mimari ve sanattaki mevcut kullanımları değerlendirilmiştir. Ardından nanoteknolojik malzemelerin ışık verimliliği, çevresel etki ve sürdürülebilirlik açısından katkıları analiz edilmiştir. Kavramsal tasarım sürecinde, biyouyumlu malzemeler, alg organizmaları ve kemosensör teknolojileri kullanılarak biyomimetik bir aplik önerisi geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, biyomimikri esaslı biyolüminesans aydınlatmanın, doğadaki prensiplerin günümüz tasarımlarına entegrasyonu ve gelişmekte olan 3D yazıcılarla üretilebilen biyouyumlu nanoteknolojik malzemelerin kullanımı sayesinde önemli avantajlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, mevcut enerji tüketimini azaltmakta, çevresel etkiyi en aza indirmekte ve aynı zamanda estetik açıdan yenilikçi bir alternatif sağlamaktadır. Ayrıca bu bulgular, aynı temel üzerinden ilerlenerek çok daha sürdürülebilir ve potansiyel olarak sıfır enerjiyle çalışıp kendi enerjisini üretebilen sistemlerin geliştirilebileceğini de göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyomimikri, Aydınlatma Tasarımı, Biyolüminesans, Nanoteknoloji, Sürdürülebilirlik

ABSTRACT: This study proposes a design approach based on biomimicry, bioluminescence and nanotechnology in order to develop sustainable indoor lighting solutions. It was investigated how bioluminescence principles inspired by light-producing organisms in nature can be combined with indoor lighting design. In the study, the chemical structure of bioluminescence and its current uses in architecture and art were evaluated. Then, the contributions of nanotechnological materials in terms of light efficiency, environmental impact and sustainability were analyzed. In the conceptual design process, a biomimetic wall lamp proposal was developed using biocompatible materials, algal organisms and chemosensor technologies. The results obtained show that biomimicry-based bioluminescent lighting offers significant advantages thanks to the integration of natural principles into today's designs and the use of biocompatible nanotechnological materials that can be produced with developing 3D printers. This approach reduces current energy consumption, minimizes environmental impact and also provides an aesthetically innovative alternative. In addition, these findings show that much more sustainable and potentially zero-energy systems that can produce their own energy can be developed on the same basis.

Keywords: Biomimicry, Lighting Design, Bioluminescence, Nanotechnology, Sustainability

GİRİŞ

Sürdürülebilirlik literatürünün temel taşlarından biri olan 1987 tarihli Brundtland Raporu'nda kalkınma; bugünün gereksinimlerini karşılarken, gelecek kuşakların da kendi ihtiyaçlarını temin edebilme kapasitesinden ödün vermeyen bir süreç olarak tanımlanmaktadır. (World Commission on Environment and Development (WCED, 1987: s. 43) Gelecek nesillerin hala yaşanabilir bir gezegene sahip olması için bizim doğaya karşı olan sorumluluğumuzdan bahseden bu ifade yaşadığımız ve tükettiğimiz çevreye olan sorumluluğumuzu gözler önüne sermektedir. Günümüzde doğal kaynakların hızla tükenmesi, ekosistemin dengesinin bozulması gibi gerçekler gelecek nesillere daha yaşanabilir bir çevre bırakma sorumluluğunu her zamankinden daha acil bir görev haline getirmektedir. ''Aydınlatma tasarımı konusunda sürdürülebilirlik kavramı ise, görsel çevrenin niceliksel ihtiyaçlarının doğal çevreye en az etki ile karşılanması olarak tanımlanmaktadır. Bu doğrultuda sürdürülebilir mimari aydınlatma tasarımının hedefleri, ilk tasarım aşamalarından itibaren aydınlatma sistemlerinin performansını arttırmak, aydınlatma enerjisi tüketimini azaltmak ve kullanılan elemanların çevresel etkilerini minimuma indirmek olarak belirtilebilir.'' (Yılmaz, 2014, s. 27) Bu bağlamda, aydınlatma elemanlarının enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyonu, sürdürülebilir bir gelecek için çok önemli ve dikkat çekilmesi gereken bir konudur.

Benyus (1997), biyomimikriyi; doğadaki formların ve süreçlerin, insanlığın karşılaştığı tasarım sorunlarına çözüm üretmek adına bir model olarak incelenmesi ve taklit edilmesi süreci olarak nitelendirmektedir. Mevcut teknolojiler ve yenilikçi tasarım girişimleri, enerji tüketimini azaltma ve çevresel etkiyi minimize etme konusunda önemli adımlar atmış olsa da, doğanın sürdürülebilir sistemlerinden ilham alarak ve biyomimikri prensiplerini benimseyerek aydınlatma tasarımında çok daha büyük bir potansiyelin var olduğu göz ardı edilmemelidir. Biyomimikri tasarım anlayışı sadece doğadaki bir canlıya biçim olarak benzemekten öte bir kavramdır. Biyomimikri kavramıyla yapılan bir tasarım, çalışma prensiplerini doğanın sürdürülebilir döngülerinden aldığı zaman sürdürülebilir bir nitelik kazanmış olur. Dolayısıyla, tasarlanacak aydınlatma elemanlarının sadece formu değil, aynı zamanda malzeme seçimi ve çalışma prensipleri de biyomimikri esaslı olmalı, doğanın sürdürülebilir döngüsünü yansıtmalıdır.

Biyomimikri esasına dayalı aydınlatma tasarımında yapılan çalışmalar incelendiğinde bazı canlıların biyolüminesans yoluyla çeşitli kimyasal ve fiziksel özellikler sergileyerek kendi kendilerine ışık ürettikleri gözlemlenmiştir. (Avinç ve Selçuk, 2014 s.1) Denizaltı canlılarının biyolüminesans yoluyla kendi kimyasal enerjilerini kullanarak derin su ortamlarında ışık üretme yetenekleri, aydınlatma tasarımında biyomimikri tasarım prensiplerini esas alarak kullanabileceğimiz bir özelliktir diyebiliriz. Bu doğal fenomen, enerji verimliliği ve kendi kendine yetebilirlik açısından sürdürülebilir bir tasarım çözümünü de beraberinde getirmektedir.

Nanoteknoloji ise bu noktada, sürdürülebilir aydınlatma çözümlerinin geliştirilmesinde kilit bir rol oynamaktadır. Nanoteknolojik malzemelerin aydınlatma elemanlarına entegrasyonu, enerji tüketimini daha da azaltma, ışık verimliliğini artırma ve çevresel etkiyi minimize etme gibi potansiyeller taşımaktadır. Biyomimikri, biyolüminesans ve nanoteknolojinin sistematik bir şekilde iç mekan aydınlatmalarına entegrasyonu, aydınlatma tasarımında geleneksel aydınlatma yöntemlerine olan ihtiyacı radikal bir şekilde azaltmanın yanı sıra, yeni sürdürülebilir çözümler üretmemizi mümkün kılacak potansiyele sahiptir.

Amaç

Bu çalışma, biyomimikri prensiplerinden ilham alarak, biyolüminesansı ve nanoteknolojik malzemeleri iç mekan aydınlatmalarına entegre etme potansiyelini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle biyolüminesansın kimyasal reaksiyonları ve bu reaksiyonların yapay aydınlatma teknolojisindeki potansiyeli incelenecektir. Sonrasında biyomimikri esaslı biyolüminesans prensiplerinin aydınlatma tasarımına nasıl uygulanabileceği araştırılıp, analiz edilecektir. Araştırmanın devamında mevcut biyolüminesans esaslı aydınlatma elemanı çalışmalarının ve enstalasyonlarının potansiyeli değerlendirilecektir. Araştırmanın sonunda ise; sürdürülebilir bir yaşama katkı sağlayan nanoteknolojinin biyolüminesans tabanlı aydınlatma sistemlerinin verimliliğini nasıl arttırabileceği araştırılıp, sürdürülebilir iç mekan aydınlatma çözümleri için kavramsal bir tasarım önerisi sunulmaya çalışılacaktır.

Kapsam

Bu çalışma, sürdürülebilir iç mekan aydınlatma çözümlerine odaklanırken, bazı önemli sınırlamaları beraberinde getirmektedir. Nanoteknolojik malzemeler bağlamında bu çalışma, özellikle biyolüminesans reaksiyonunu tetikleyebilen ve sistemin akıllı kontrolünü sağlayabilen kemosensörler üzerine odaklanmıştır. Kemosensörlerin seçilme nedeni, insan varlığını (örneğin karbondioksit salınımı veya ısı değişimi ile) algılayarak biyolüminesans sistemini aktive etme ve böylece enerji tüketimini optimize ederek sadece gerektiğinde ışık üretilmesini sağlama potansiyelleridir. Bu yaklaşım, doğrudan ışık üretimi yerine, biyolojik bir ışık kaynağının etkinleştirilmesinde nanoteknolojinin rolünü vurgulamaktadır. Bu çalışma iç mekan aydınlatması ile sınırlıdır. Biyolüminesans ve nanoteknolojinin dış mekan aydınlatma uygulamalarındaki potansiyeli (örneğin, sokak aydınlatması, cephe aydınlatması, peyzaj aydınlatması vb.) bu araştırmanın odağı dışındadır. Dış mekan aydınlatmasının kendine özgü gereksinimleri (dayanıklılık, çevresel faktörlere karşı direnç, farklı ışık şiddeti ihtiyaçları vb.) ve bu alandaki mevcut teknolojiler bu çalışmada ele alınmayacaktır. Bu nedenle, sunulan kavramsal tasarım önerisi ve değerlendirmeler öncelikli olarak iç mekan aydınlatma senaryoları için geçerlidir.

Yöntem

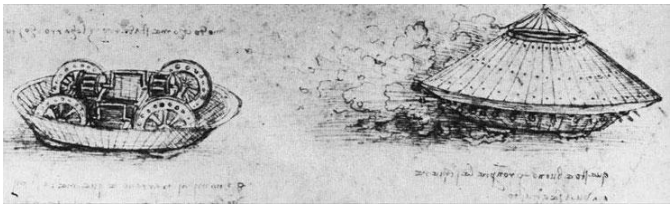
Bu çalışma sırasında, disiplinlerarası bir yaklaşım benimsenerek, biyoloji, nanoteknoloji ve tasarım alanlarındaki mevcut literatür ve çalışmalar kapsamlı bir şekilde incelenecektir. Bu literatür taramasında biyomimikri, biyolüminesans ve nanoteknoloji alanlarındaki bilimsel makaleler ve tez çalışmaları incelenecektir. Mevcut biyolüminesans tabanlı tasarım projeleri ve uygulamaları analiz edildikten sonra, kavramsal çalışmaya geçilerek, biyomimikri ve nanoteknoljiyi temel alarak sürdürülebilir iç mekan aydınlatma sistemleri için yeni tasarım konsepti geliştirilmeye çalışılacaktır. Bu konsept geliştirilirken, biyolüminesans olayının kimyasal reaksiyonları, biyolüminesas yapan canlıların biçimsel özellikleri ve yapılacak olan aydınlatma tasarımına uygun nanoteknolojik malzemenin özellikleri göz önünde bulundurularak eskiz çalışmaları yapılacaktır. Yapılan eskiz çalışmasının Adobe Illustrator, Photoshop, Procreate, Autocad programlarında teknik ve 3 boyutlu görsel çalışmaları oluşturulacaktır. Son olarak, geliştirilen konseptin teknolojik uygulanabilirliği değerlendirilip, tasarımın avantajları ya da dezavantajları tartışılacaktır.

BİYOMİMİKRİ VE BİYOLÜMİNESANS

Biyomimikrinin Tanımı ve Tasarım İlkeleri

1962'de genel bir terim olarak tanımlanan Biyomimikri, Grekçe *bios* (hayat) ve *mimikos* (taklit) kelimelerinden türemiş olup, en temel anlamıyla bir yaşam formunun diğeri tarafından taklit edilmesini ifade eder. (Çelikel & Uçar, 2020, s. 2) Ancak doğadan ilham alarak tasarım yapma pratiği, bu terimin ortaya çıkışından çok daha eskiye uzanır. Bu yaklaşım, milattan sonraki dönemlerde ve Rönesans'ta karşımıza çıkar; büyük sanatçı ve mucit Leonardo Da Vinci'nin eserlerinde biyomimetik etkiler gözlemlenir. Leonardo Da Vinci'nin yarasaları inceleyerek "Ornithopter" (Yunanca'da *ornithos* 'kuş', *pteron* 'kanat' anlamına gelmektedir) adını verdiği uçan makine tasarımı bu duruma önemli bir örnektir. Bu tasarım o dönemde etkili sonuçlar vermemiş olsa da, 400 yıl sonra Clement Ader'in yine yarasaların uçma sistemlerini inceleyerek uçabilen ilk hava aracını tasarlaması, doğadan alınan ilhamın zamanlar ötesi potansiyelini gösterir. (Maraba ve Sarıoğlu, 2022, s.26) Benzer şekilde, 'biyomimikri' kavramı henüz literatüre girmemişken, 20. yüzyılın başlarında eserleriyle mimarlık tarihinde önemli bir yer edinen Antoni Gaudí de doğadan derinlemesine öykünerek yapılar tasarlamıştır. Gaudi'nin eserlerinde gözlemlenen organik formlar, strüktürel çözümler ve malzeme kullanımları, onun doğayı taklit ederek doğanın zamanla test edilmiş sürdürülebilir ilkelerini mimariye ve iç mekâna aktarma çabasının bir yansımasıdır. Bu bağlamda, Gaudí'nin doğadan esinlenerek yarattığı Park Güell, Casa Milà ve Sagrada Familia gibi yapılar, tıpkı Da Vinci'nin

çalışmaları gibi, biyomimikri tasarım düşüncesinin erken ve güçlü örnekleri olarak kabul edilebilir. (Claypool, 2017)



Şekil 1. Leonardo Da Vinci, Zırhlı Tank (Gerçek Bilim,2014)

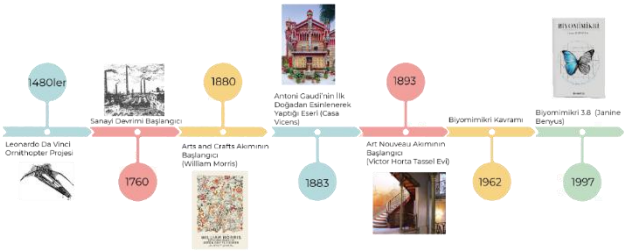


Şekil 2. Gaudi'nin Doğadan İlham Alarak Yaptığı Eskizler & Doğayı Yapıya Aktarma Biçimleriyle İlgili Kolaj Çalışması (Sagrada Família Müzesi, Barcelona; Yazarın Kişisel Fotoğraf Arşivi, 2025).

Sanayi Devrimi ve onu izleyen Modernist süreç, insanın doğayla ilişkisinde köklü bir kırılma yaratarak, yeni teknolojilerin verdiği güçle doğaya hükmetme ve onu sınırsız bir kaynak olarak görme yanılgısını beraberinde getirmiştir. Bu seri üretim odaklı anlayış, sürdürülebilirlik kaygılarını hiçe sayarak doğal kaynakların hızla yok olmasına ve günümüzde dahi etkilerini derinden hissettiğimiz yaygın bir çevre kirliliğine neden olmuştur. Ancak, bu baskın endüstriyel ve mekanikleşmiş dünya görüşüne karşı bir duruş olarak, 19. Yüzyıl sonları ve 20. Yüzyıl başlarında Art Nouveau gibi sanat akımları filizlenmiştir. Bu akımlar, insanoğlunun varoluşundan beri süregelen doğayı taklit etme ve ondan öğrenme arzusunun, yani biyomimikrinin sanatsal bir tezahürü olarak, endüstriyel tekdüzeliğe estetik bir cevap sunmuştur. Art Nouveau dönemindeki doğal bezemeler, kıvrımlı yapılar ve floral etkiler, bu biyomimetik izleri

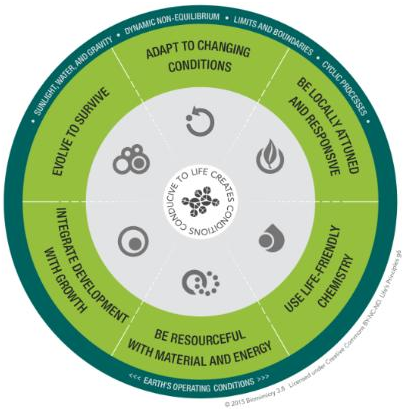
taşırken (Özgür, 2020, s.48), Sanayi Devrimi'nin etkilerine bir reaksiyon olarak doğan Arts and Crafts Hareketi ile biyomimikri disiplini arasında da kayda değer bir yakınlık görülmektedir. Özellikle William Morris gibi sanatçıların eserlerinde doğa, endüstriyel kalıplara karşı duruşun ve sanatsal ilhamın temel kaynağı olmuştur. (Maraba ve Sarıoğlu, 2022, s.27) Geçmişteki bu sanatsal ve doğaya dönük yaklaşımlar, günümüzde katlanarak artan endüstriyel olanakların çevresel kaynakları hızla tüketmesi karşısında bize önemli bir ders vermektedir: Doğal kaynakları korumak ve sürdürülebilir çözümler üretebilmek için doğadan ilham almak, yani biyomimikri anlayışını bir yaşam biçimi olarak benimsemek ve biyomimikri esaslı tasarımlara çağımızda daha fazla yer vermek artık bir zorunluluk haline gelmiştir.

Tablo 1. Biyomimikri Kavramı ve Öncesinde Doğadan Esinlenme Anlayışına Uygun Önemli Eser ve Akımların Zaman Çizelgesi (Yazar tarafından yapılan literatür ve müze araştırmaları sonucunda oluşturulmuştur)



Günümüzde kaynakların hızla azalması ve gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre bırakabilme çabası açısından sürdürülebilirlik kavramı çok önemlidir. Çelikel ve Uçar'ın (2020, s. 55) belirttiği gibi; Sürdürülebilirlik, zaman içerisinde ilerleme göstererek inşaat sektörünün vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. Günümüzde belirginleşen ekonomik ve çevresel faktörler sebebiyle, sürdürülebilirlik alanına dair yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımlar arasında, barındırdığı yüksek potansiyel ile öne çıkarak gelecek vaat eden anlayışlardan biri de Biyomimikridir. Benyus'un ''Biyomimikri: Doğadan Esinlenen İnovasyon'' adlı kitabında dediği gibi, hayatın yaşama elverişli koşullar yarattığını anlamaya başladığımız zaman, ileriye yönelik sürdürülebilir bir dünyada sürdürülebilir tasarımlar ve çözümler üretmemiz mümkün hale gelecektir. Bu koşulların anlaşılması ile birlikte daha etkili ve efektif şekilde sürdürülebilir mekanlar ve yaşam alanları tasarlayabiliriz. Bu adımları izleyerek ve doğanın üstün dehasını kullanarak tasarımlarımıza sürdürülebilir bir hale getiren yönteme sahip olmuş oluruz. Bu takip sırasında ilkelerden birini atlar veya uygulamazsak tasarım eksik olur ve biyomimikri amacından uzaklaşır. (Benyus, 1997). Bahsedilen yaşam ilkeleri Şekil 2'de Biyomimikri Tasarım Lensinde gösterilmiştir.

Tablo 2. Biyomimikri Tasarım Lensi: Yaşamın İlkeleri (Biomimicry 3.8, 2023)



Tablo 2'de gösterilen ilkelerin açıklaması şu şekildedir;

1) Hayatta kalmak için gelişmek: Yaşam boyunca bilgi edinmek ve bu bilgiyi sürece dahil etmek.

2) Kaynak açısından (malzeme ve enerji) etkili olmak: Kaynak ve fırsatlardan usta ve bilinçli şekilde avantaj sağlamak.

3) Değişen koşullara uyum sağlamak: Dinamik olan durumlara karşı uygun şekilde cevap verebilmek.

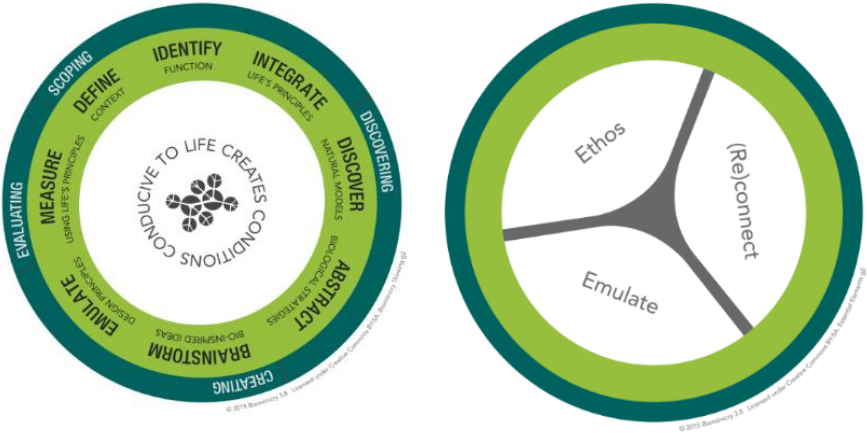
4) Kalkınmayı büyüme ile entegre etmek: Kalkınma ve büyümeyi birlikte teşvik eden stratejilere yatırım yapmak.

4)Yerel olarak duyarlı ve sorumlu olmak: Yaşadığımız çevre ile entegre olmak ve ona karşı duyarlı olmak.

5) Doğa dostu kimyasallar kullanmak: Çevreyi kirletmeyen kimyasallar kullanmak.

Yaşamın ilkelerini diyagramatik hale getiren Biyomimikri Tasarım Lensinde belirtilen maddelere göre bir yaşam tarzı ve tasarım anlayışı benimsendiğinde daha sürdürülebilir bir yaşam içerisinde olacağımızı söylememiz mümkündür. Janine Benyus ve Biomimicry 3.8 tarafından geliştirilen diğer tasarım lenslerinde ise ''Biyomimikri ile Düşünme'' ve ''Biyomimikrinin temel unsurları'' prensipleri yer alır. Bu prensipler Şekil 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Soldaki Biyomimikri ile Düşünme Sağdaki Biyomimikrinin Temel Unsurları (Biomimicry 3.8, 2023)



Tablo 3'teki "Biyomimikri Tasarım Lensleri", bir tasarım problemine çözüm ararken veya doğadaki bir sisteme bakarken bize belirli "odak noktaları" veya "bakış açıları" sunmaktadır. Bu lensler sayesinde ilk olarak doğanın bir problemi nasıl çözdüğünü (örneğin, enerjiyi nasıl verimli kullandığını, atıkları nasıl değerlendirdiğini, değişime nasıl uyum sağladığını) daha net anlama fırsatı elde ederiz. İkinci olarak ise, bu başarılı stratejileri kendi tasarım problemlerimize nasıl uyarlayabileceğimizi anlarız. Bu prensiplerdeki temel amaç doğadan daha sistematik ve derinlemesine dersler çıkararak sürdürülebilir verimli ve yenilikçi tasarımlar yapmamızı sağlamaktır. Bu lensleri, tasarım sürecini yönlendiren bir rehber olarak nitelendirebiliriz.

Bu rehber lensler dışında Biyomimikri tasarımında dikkat edilmesi gereken temel ilkeler vardır. Tablo 4'te Enerji, Malzeme, Yaklaşım Modeli Açısından Biyomimikri esas alınarak yapılan tasarımlarda dikkat edilmesi gereken ilkeler gösterilmiştir.

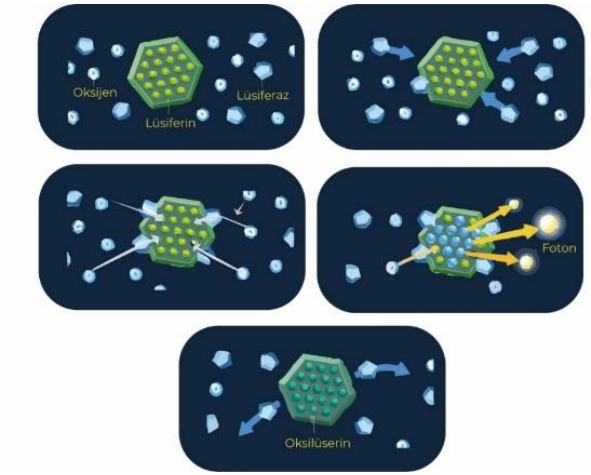
Tablo 4. Biyomimikri Tasarımında Dikkat Edilmesi Gerekenler (Çelikel & Uçar, 2020 çalışmasından yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.)



Şekil 4'de Yaklaşım Modeli olarak gösterilen ''Biyolojiden Tasarıma'' olan kısımda doğada doğal olarak ortaya çıkan bir fenomen olan ''Biyolüminesans'' örneği verilebilir. Biyolüminesans, bazı canlı organizmaların doğada sergilediği kimyasal reaksiyon ile ışık enerjisi ürettiği doğal bir süreçtir. (Wilson & Hastings, 1998). Canlıların iletişim, savunma, üreme veya dikkat çekmek için kullandığı biyolüminesans olayı, biyomimikri yoluyla tasarım için ilham kaynağı olarak gösterilebilir. Bu yaklaşımda, öncelikle biyolüminesansın kimyası incelenmeli ve bu bilgi bir tasarım öğesine aktarılmalıdır. Tasarım sürecinde, biyokimyasal mekanizmaların anlaşılmasının yanı sıra, kullanılacak malzemelerin hem yenilenebilir hem de geri dönüştürülebilir olması öenmli bir gerekliliktir.

Biyolüminesansın Kimyası & Doğadaki Örnekleri

Biyolüminesans olayında bir lüsiferin ışık üretir ve bir lüsiferaz ışık üreten kimyasal reaksiyonun gerçekleşmesini sağlar. Bu reaksiyonda lüsiferaz katalizör görevi görür. Lüsiferaz, oksijenin lüsiferinle birleşmesini sağlar. Bu reaksiyonda ışık fotonları üretir. Son olarak oksitlenen lüsiferin, inaktif oksilüsfiferine dönüşür. (Coşansu ve Ayhan, 2003, s.70)



Şekil 3. Biyolüminesans Sürecinin Şematik Gösterimi (Bilgiustam, t.y.)

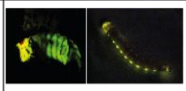
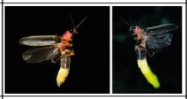
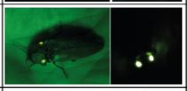
Biyolüminesans doğada çeşitli canlı organizmalarda görülmektedir. Bu canlı organizmalara bakteri, alg, fitoplankton, böcek ve balık gibi örnekler verilebilir. (Avinç, Selçuk, s.6) Okyanuslarda, besin maddelerinde ani bir artış olduğunda, alg patlaması meydana gelmektedir. Bu olay bazı koylarda gözlemlenebilmektedir. (Demirci, 2022, s.6)



Şekil 4. Okyanusta Alg Patlaması ile Biyolüminesans Olayının Gerçekleşmesi (Hapyazı, 2024)

Dinoflagellatların (deniz planktonlarının) hayatta kalması için sıvı bir ortam şarttır ve optimum büyüme ve bakım sıcaklığının 20 ila 22°C arasında olduğu söylenebilir. Fotosentetik olanlar ışığa, tercihen güneş ışığına ihtiyaç duyar; ancak, soğuk beyaz floresan lambalar altında üretilebilir ve muhafaza edilebilirler. (Cussatlegras & Le Gal, 2004) Doğada algler dışında böcekler, tek hücreliler, omurgasızlar, balıklar, mantarlar biyolüminesans yapan diğer canlı türleri arasındadır. Bu canlıların çeşitleri ve Biyolüminesans yapma şekilleri Tablo 5'de gösterilmiştir. (Tablo 5)

Tablo 5. Doğada Biyolüminesans Türlerinin Örnekleri (Literatür verileri ve internet kaynaklarından yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.)

TÜR	CANLI	CANLI GÖRSELİ	MEKANİZMA
BÖCEKLER	Demiryolu Solucanları (Phengodidae)		Biyolüminesans sırasında parıldama yapar
	Işıldayan Kurtçuk Böcekleri (Phrixotrix Hirtus)		Biolüminesans sırasında sırtında ve başında sarı yeşil kırmızı ışık şeklinde parıldama yapar
	Büyük Kepçe Ateş böceği (Photinus Pyralis)		Lusiferaz kullanarak biyolüminesans reaksiyonu yoluyla ışık üretimi yapar
	Trakya Böceği (Piroforus Noctilucus)		En parlak biyolüminesans yapan böcekler arasındadırlar
	Schimmel'in Çin ateş böceği (Sinopyrophorus Schimmeli)		Sert bir gövdeye sahip biyolüminesans yapan bir türdür
	Ateş Böceği (Glow Worms)		Biyolüminesans sırasında mavi yeşil bir ışık yayarlar
TEK HÜCRELİLER (PLANKTON)	Dinoflagellatlar (Dinoflagellates)		Sıcaklık, basınç ve titreşim gibi faktörler aracılığıyla mavi yeşil ışık yayar.
OMURGA-SIZLAR	Denizanaları Sifonoforlar (Aequorea Victoria)		Yeşil floresan proteinin (GFP) keşfedildiği canlılardır ve mavi ışık üretirler. Birçok knidl (Cnidaria) türü ışık saçabilir.
BALIKLAR	Fener Balıkları (Lophiiformes takımı)		Başlarından sarkan "olta" benzeri uzantının ucunda biyolüminesan bakteriler yaşar ve bu ışığı av çekmek için kullanırlar.
	Ejderha Balıkları (Stomiidae familyası)		Malacosteus niger gibi bazı türler, diğer deniz canlılarının göremediği kırmızı ışık üretebilir ve bunu avlarını gizlice aydınlatmak için kullanır.

Biyolüminesansın Mimari ve Sanatta Kullanılma Potansiyeli

Günümüzde artan enerji talebinin ve kaynak eksikliğinin bir sonucu olarak mimari de alternatif sürdürülebilir çözümler üretilmeye başlanmıştır. Bunlar güneş, rüzgar enerjileri gibi yenilenebilir enerjiler dışında alg bakterileri olarak karşımıza çıkmaktadır. Alg biyokütlesi elektrik üretimin yanı sıra biyo-yakıt ve biyo gaz üretimi için de kullanılmaktadır. (Elrayies, 2018) Alg fotobiyoreaktörleri, araştırmalar sayesinde enerji üretimi ve yalıtımı açısından etkili olduğu kanıtlanmıştır. Bu bulgular sayesinde, alglerle dolu panellerin cephe sistemi olarak kullanıldığı bir proje gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'de Almanya'nın Hamburg kentinde dünyada ilk kez alglerle çalışan cephe sistemli ''BIQ Binası'' gösterilmiştir. (Demirci, 2022, s. 23)



Şekil 5. Dünyanın İlk Alglerle Çalışan Binası, Almanya Hamburg'daki BIQ Binası. (Ingenia, 2015)

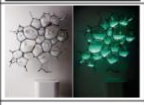
Aydınlatma tasarımı alanında da Biyolüminesans yöntemi ile gerçekleştirilen örnekler bulunmaktadır. Buna Philips'in ''metan ve kompostlanmış malzeme'' ile beslenen biyolüminesans bakteriler kullanan ''Biyo Işık'' prototopi örnek olarak gösterilebilir. Biyo Işık yalnızca teknolojik ve bilimsel olarak bir başarı örneği değil aynı zamanda estetik olarak da etkileyicidir. Philips bu prototipi yaratırken bazı tasarım ilkelerini ortaya koymuştur. Bunlar; kendi kendine enerji üretebilmek, uyarlanılabilirlik, kendi kendini onarmak, çevresel koşullara biyolojik sensörler olarak tepki vermek, bilgi iletişim şeklimizi değiştirmek vb. gibi...



Şekil 6. Philips Bio Light (Art & Science Journal, t.y.)

Biyolüminesansın tasarım prensibi olarak ele alınarak sanat ve aydınlatma alanında yapılan birçok çalışma vardır. Bu çalışmalar aşağıda Tablo 6 'de gösterilmiştir.

Tablo 6. Biyolüminesansın Tasarım Presibi Kullanılarak Yapılan Çalışmalar (Literatür verileri ve internet kaynaklarından yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur)

PROJE	GÖRSEL	TASARIM SÜRECİ	BİYOLÜMİNESANS ÖZELLİĞİ
E. Coli		Ateş Böcekleri ve biyolüminesans bakterilerin genleri aydınlatma elemanlarına aktarıldı.	Aydınlatma Tasarımı
			Bakteriyel Biolüminesans Prototipi
Eye Beacon Pavilion		Biyolüminesans etkisi panellerin içine yerleştirilen LED projeksiyonlar ile sağlandı.	Aydınlatma Tasarımı
			Biyolüminesans Simülasyonu
Philips Bio-Light		Metan Gazı ve Kompost materyaliyle beslenen biyolüminesans bakterileri kullanılarak aydınlatma ürünleri geliştirildi.	Aydınlatma Tasarımı
			Bakteriyel Biolüminesans Prototipi
Place Andre Thome için tasarlanan aydınlatma		Alivibrio Fisher adı verilen mikroorganizmalar sayesinde Aydınlatma Ürünleri geliştirilmiştir.	Aydınlatma Tasarımı
			Biyolüminesans Simülasyonu
Archlight Enstelasyonu		Değişen çevre koşullarına cevap veren, etkileşimli aydınlatmayı da kapsayan sentetik aydınlatma tasarımı geliştirildi.	Enstelasyon Tasarımı
			Biyolüminesans Esaslı Biyomimikri
Biomim Fuarı		Bakteriyel Biyolüminesans içeren aydınlatma prototipleri geliştirildi.	Aydınlatma Tasarımı
			Bakteriyel Biolüminesans Prototipi

Tablo 6'daki projeler incelendiğinde, biyolüminesansla elde edilen ışığın yoğunluğunun daha düşük olması sebebiyle, bu tür ışık kaynaklarının işlevsel aydınlatma yerine daha çok ambiyans yaratma ve dolaylı aydınlatma amaçlarına uygun olduğu gözlemlenmiştir. Geleneksel ışık kaynaklarından daha yavaş olan ve işlevselliği canlı malzemenin kendi ömrüne bağlı olan bu tasarımda yayılan ışığın değişime duyarlı olması ve çevresel ortamına tepki vermesi de diğer özellikleri arasındadır.

Biyolüminesans esaslı tasarımların sunduğu doğal ve ortama duyarlı aydınlatma cazip bir yaklaşım olmakla birlikte, bu tür yenilikçi sistemlerin başarısı ve yaygınlaşması büyük ölçüde kullanılan taşıyıcı veya destekleyici malzemelerin de yenilikçi ve sürdürülebilir olmasına bağlıdır. Sadece ışık kaynağının değil, tüm sistemin çevresel etkisini minimize etmek ve kullanım ömrünü artırmak gibi hedefler, biyolüminesansın potansiyelini tam anlamıyla ortaya koyacak yenilikçi ve sürdürülebilir malzeme arayışını zorunlu kılmaktadır. İşte bu gereklilik, atomik ve moleküler düzeyde malzeme özelliklerini geliştirme ve devrimsel çözümler üretme potansiyeli sunan nanoteknolojinin incelenmesini önemli hale getirmektedir.

NANOTEKNOLOJİ VE AYDINLATMA MALZEMELERİ

Hayatımızda devrim yaratma potansiyeli taşıyan ve yeni bir sanayi devrimi olarak görülen nanoteknoloji, fiziksel bir büyüklüğün milyarda birini ifade eden 'nano' kelimesinden türemiştir. Keskin (2011)'e göre nanoteknoloji, maddelerin 1 ila 100 nanometre ölçeğindeki özelliklerini anlayıp yönlendirerek pek çok sektörde köklü değişimlere öncülük etmektedir. Nanoteknoloji, sağlık, ilaç sanayi, tekstil, elektronik, otomotiv, gıda gibi sektörlerin yanısıra mimarlık ve tasarım alanında da devrim yaratma potansiyeline sahip bir bilim dalıdır. Nanomalzemelerin kullanımıyla, daha hafif, daha dayanıklı ve daha sürdürülebilir yapılar ya da ürünler elde etmek mümkün hale gelmektedir. Örneğin, kendi kendini temizleyen yüzeyler, ısı yalıtımını artıran malzemeler ve enerji üreten kaplamalar, nanoteknolojinin mimarideki uygulamalarından sadece birkaçıdır. Bu sayede, hem estetik hem de fonksiyonel açıdan daha gelişmiş yapılar tasarlanabilir ve daha yaşanabilir mekanlar yaratılabilir. (Gür, 2010, s.83)

Nanoteknolojinin Tanımı ve Önemi

''Nanoteknoloji, 1-100 nanometre boyutundaki parçacıkların farklı alanlarda belirli bir amaca hizmet etmesi için tasarlanarak kullanıldığı bilim dalıdır.'' (Türk Dil Kurumu, t.y.) Nanoteknoloji, çok çeşitli uygulama alanları sunması nedeniyle ülkeler için büyük bir stratejik değere sahiptir. Aynı zamanda, 21. Yüzyılın en önemli teknolojik atılımlarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu teknoloji, malzeme biliminin yanı sıra gıda, tekstil, eczacılık, tıp, fizik, kimya, biyoloji ve elektronik gibi pek çok farklı alanda çığır açan yenilikler sunarken, mimarlık ve yapı sektöründe çok önemli gelişmelere imkan tanımaktadır. Özellikle 'nanomimarlık' olarak adlandırılan alanda, nanoteknolojinin binaların hem iç hem de dış mekanlarında kullanılan malzemelerin daha sağlam, yüksek kaliteli, amaca uygun ve hafif olmasını sağlamadaki rolü hızla artmaktadır. Sürdürülebilir yapılar bağlamında kullanım alanlarına bakıldığında ise; üretim teknikleriyle elde edilen kendi kendini temizleyebilen yüzeyler, üstün ısı yalıtım materyalleri, nanokompozit malzemeler, yenilikçi aydınlatma ve hava kalitesini artıran sistemler, daha dayanıklı beton yüzeyler, etkin yangın koruma yöntemleri, lotus etkisinden yararlanan boya malzemeleri, özel kaplama yüzeyleri, fotovoltaik paneller, yansımayı engelleyen malzemeler ve enerji verimliliğini artıran uygulamalar öne çıkmaktadır. (Çetin ve Tekin, 2021, s.47)

Nanoteknolojik Malzemeler

Yapı malzemeleri, nanoteknoloji sayesinde kendini temizleme, yalıtım ve çevresel adaptasyon gibi yeni yetenekler kazanmaktadır. Bu gelişmiş özellikler, binaların çevreleriyle estetik ve işlevsel bir uyum içinde tasarlanmasına olanak tanırken, nanoteknolojik malzemelerin geliştirilmiş dayanıklılıkları da özellikle depreme dirençli yapıların oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. (Arı, 2022, s.4) Tablo 7'de bu malzemelerin elde edilme teknikleri ve kullanıldığı alana sağladığı faydalar gösterilmiştir.

Tablo 7. Nanoteknolojik Malzemelerin Elde Edilme Teknikleri ve Sağlayabildiği Faydalar

MALZEME	TEKNİK	FAYDA
Cam	Fotokataliz Tekniği, Cam Malzeme Arasına Jel Şeklindeki Aerosol Dolgu Malzemesi Eklenmesi	Kendini temizleyebilme, Yangına Karşı Dayanım
Işık ve Işınlara Karşı Koruyucu Kaplamalar	UV Işınlarını Kendi Bünyesinde Absorbe Etme Özelliği	Malzemenin Zarar Görmesini Engelleme
Beton	Nanopartikül Gibi Ek Maddelerin İlavesi	Ek Dayanım, Kendini Onarabilme Özelliği
Akıllı Boyalar	Fotokatalitik Temizleme	Yüzeyi Koruma, Nem Oluşmasını Engelleme, Yüzeyde İz Tutmama, Mekanda Bulunan Havayı Temizleme, Isıya Dayanıklı Yüzeyler Elde Etme
Nanokompozit & Nanotüpler	Çelik ve Beton Gibi Yapı Malzemeleriyle Nanotüplerin Birleşmesi sonucu	Çelik Malzemeye Oranla 3 Kat Fazla Dayanım
Fotovoltaik paneller	Panel Üzerine Kaplananan Nanoteknolojik Malzemeler	Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme

Nanoteknolojik Malzemelerin Aydınlatma Sistemlerindeki Potansiyelleri

Nanoteknolojideki son gelişmeler, özellikle lüminesans özellikli malzemelerle aydınlatma sistemlerinde devrim yaratmaktadır. Bu malzemeler, üstün optik, yapısal ve elektronik özellikleri sayesinde daha verimli, uzun ömürlü ve çevre dostu aydınlatma vaat etmektedir. Katı hal aydınlatma sistemlerinde nanomalzemeler, elektrik enerjisini yüksek verimlilikle görünür ışığa çevirerek geleneksel yöntemlere üstünlük sağlamaktadır. Lüminesans nanoparçacıklar, özellikle LED'lerde renk doğruluğu ve enerji verimliliğini artıran kuantum noktaları gibi yarı iletkenler, optik performansın isteğe göre ayarlanmasına olanak tanımaktadır. Düşük enerji tüketimi, çevreye duyarlılık, termal dayanım ve uzun ömür gibi nitelikleri, bu malzemeleri sürdürülebilir aydınlatmanın temel taşları yapmaktadır. Bu yenilikler sayesinde, gelecekte enerji verimliliği yüksek, estetik ve çevreyle uyumlu aydınlatma sistemlerinin yaygınlaşması beklenmektedir. (Tiwari ve Yakhmi, 2015 s. 15-68)

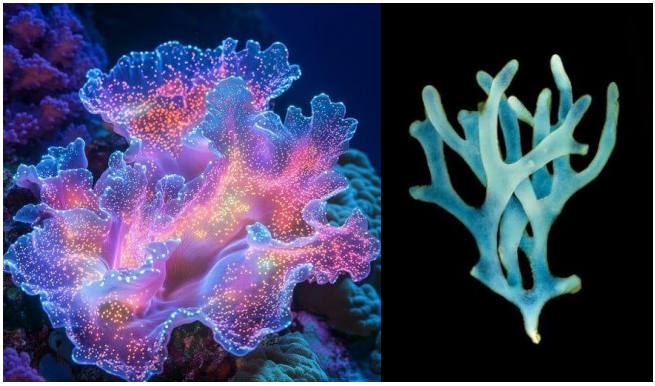
Tablo 8'de Tiwari ve Yakhmi'nin 2015'te yaptığı çalışma da aydınlatma sistemlerinde kullanılabilecek nanomalzemelerin özelliklerine değinilmiştir.

Tablo 8. Aydınlatma Sistemlerinde Kullanılabilecek Nanomalzemeler ve Özellikleri (Tiwari & Yakhmi (2015) çalışmasından uyarlanmıştır.)

NANOMALZEME	ÖZELLİK
Kuantum Noktalar (Quantum Dots - QD)	Yarı iletken nanokristaller, boyutlarına bağlı olarak farklı dalga boylarında ışık yayabilirler. LED'lerin renk gamını genişletmek, renk doğruluğunu artırmak ve enerji verimliliğini yükseltmek için kullanılırlar. Özellikle yüksek kaliteli beyaz ışık elde etmek için mavi LED'lerle birlikte kullanılırlar.
Nanoteller (Nanowires)	Yüksek yüzey alanları sayesinde daha verimli ışık emisyonu sağlayabilirler. LED'lerin ışık şiddetini artırmak ve daha düşük güç tüketimiyle daha parlak ışık elde etmek için potansiyel taşırlar.
Perovskit Nanokristaller	Yüksek ışık emisyon verimlilikleri ve ayarlanabilir emisyon dalga boyları sayesinde LED'ler ve diğer aydınlatma uygulamaları için kullanılabilir malzemelerdir.
Galyum Nitrür (GaN) Nanoyapıları	LED üretiminde kullanılan temel malzemelerden biri olan GaN'ın nanoyapıları, ışık çıkarma verimliliğini artırmaya ve cihaz performansını iyileştirmeye yardımcı olabilirler.
Nanopartikül Bazlı Fosforlar	Geleneksel fosforlu malzemelere kıyasla daha küçük boyutları ve farklı optik özellikleri sayesinde daha yüksek lümen verimliliği, daha iyi renk dönüşümü ve daha uzun ömür sağlayabilirler. Nadir toprak elementleri katkılı nanopartiküller bu alanda yoğun olarak araştırılmaktadır.
Yüksek Termal İletkenliğe Sahip Nanokompozitler	LED'lerin aşırı ısınmasını önlemek ve ömrünü uzatmak için kullanılırlar. Grafen, karbon nanotüpler ve diğer iletken nanopartiküller polimer matrislere eklenerek yüksek termal iletkenliğe sahip malzemeler elde edilebilir.
Nanoakışkanlar	LED sistemlerinde ısı transferini iyileştirmek için kullanılabilirler.
Nanofotonik Kristaller	Işık dalgalarının davranışını kontrol etmek için periyodik olarak düzenlenmiş nanoyapılardır. Işığın yönlendirilmesi, filtrelenmesi ve yansıtılması gibi optik özellikleri iyileştirmek için kullanılabilirler.
Yansıtıcı Nanokaplamalar	LED'lerin ışık çıkışını artırmak ve ışığın daha verimli bir şekilde yönlendirilmesini sağlamak için kullanılabilirler.
Kendiliğinden Işıyan Nanomalzemeler (Kemosensörler)	Belirli kimyasallarla etkileşime girdiğinde ışık yayan nanomalzemeler, akıllı aydınlatma sistemlerinde sensör olarak kullanılabilir.
Biyolüminesan Nanopartiküller	Canlı organizmaların ışık üretme prensibinden ilham alınarak geliştirilen bu nanopartiküller, gelecekte sürdürülebilir ve biyolojik temelli aydınlatma çözümleri sunma potansiyeline sahiptir.

BULGULAR: BİYOLÜMİNESANSIN AYDINLATMA TEKNOLOJİSİNE ENTEGRASYONU

Biyolüminesansın çalışma prensibi ve nanoteknolojik malzemelerin aydınlatma alanında ki potansiyeli incelendikten sonra tasarım konsepti geliştirilmiştir. Bu süreçte, biyolüminesans esaslı çalışan aydınlatma kaynaklarının loş bir ambians ışığı ürettiği gözlemlenmiştir. Bu tasarımın mekanda indirekt bir ışık yayacak şekilde kullanılmasının uygun olduğu saptanmıştır. Fonksiyon olarak geçiş mekanlarında (koridorlar vb.) bir aplik olarak çalışması öngörülmüştür. Biyolüminesans sayesinde yayılan ışık loş bir ambians ışığı olacağı için gece yön bulmak için uygun estetik bir tasarıma sahip olması önemsenmiştir.



Şekil 7. Tasarımda Esinlenen Mercan Görüntüleri (www.pinterest.com)

TASARIM KONSEPTİ

Tasarımın Formu

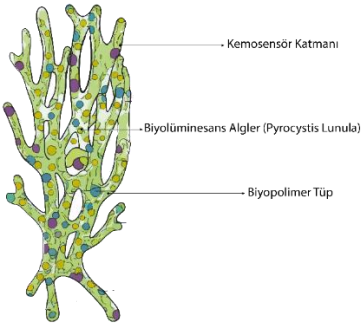
Apliğin sürdürülebilir biyomimikrik bir tasarım anlayışının yanında estetik bir forma sahip olması da önemlidir. Apliğin formu tasarlanırken deniz mercanlarından ilham alınmıştır. Mercanlar, dokularında yaşayan simbiyotik algler (zooxanthellae) sayesinde sarı, turuncu, kırmızı, pembe, mor, mavi ve yeşilin sayısız tonunda renklere sahip olabilirler. Bazı türler UV ışık altında floresan özellikler de gösterebilir. Bu özellikleri onları estetik açıdan benzersiz kılmaktadır. Bu mercanları görebilmek için insanlar su altı dalışları yapmaktadır. Mercanların dallanmış yapıları tüp görevi görecek ve içinde algleri barındırabileceklerdir.



Şekil 8. Apliğin Eskiz Çalışması (Procreate'de Çizilmiştir)

Tasarımda Kullanılan Malzemeler

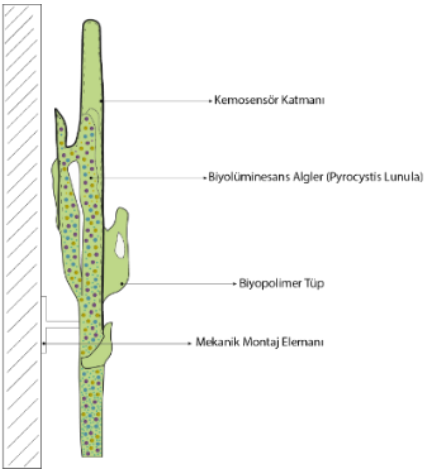
Tasarımın malzeme seçiminde sürdürülebilir, biyouyumlu, yarı şeffaf bir polimer seçilmiştir. Bu malzeme biyoplastik malzemedir. Biyoplastik malzeme algleri içinde barındıracak ve yarı şeffaf özelliği sayesinde ışığı dağıtma özelliğine sahip olacaktır. Nanoteknolojik kemosensör katmanı, insan hareketini (örneğin, karbondioksit salınımı veya ısı değişimi) algılayarak alglerin kimyasal reaksiyonunu tetikleyerek ışık yayılımını sağlayacaktır. Alg kapsüllerinin içinde lüsiferaz enzimi ve lüsiferin içeren mikroalgler yerleştirilecektir. (*Pyrocystis lunula* gibi biyolüminesans algler) Bu algler, mercan tüplerinin içinde kendi kendine yetebilen bir kimyasal reaksiyonla ışık yayabilme özelliğine sahip olabileceklerdir.



Şekil 9. Aplik Tasarımın Kullanılan Malzemelerin Diagramatik Gösterimi (Adobe Illustrator'da Çizilmiştir)

Tasarımın Çalışma Prensibi

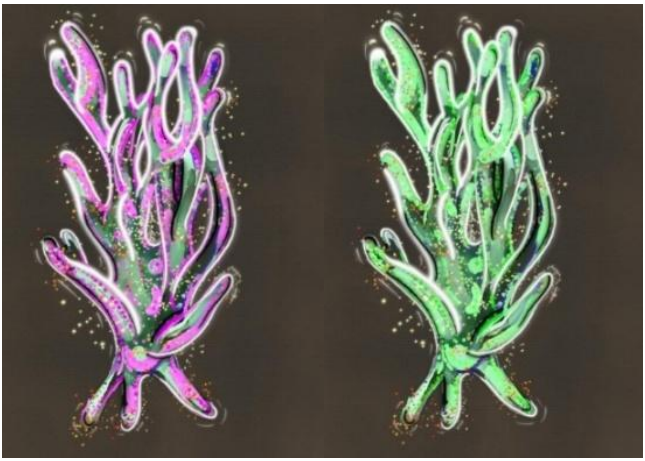
Aplikteki kemosensörler, mekana bir insan yaklaştığında algleri uyararak lüsiferaz-lüsiferin reaksiyonunu başlatacaktır. Bu reaksiyon loş mavi yeşil ya da mor bir ışık üretecektir. İnsan uzaklaştıktan bir süre sonra reaksiyon duracak, böylece aplik sadece kullanım sırasında ışık yayacaktır.



Şekil 10. Apliğin Yan Kesit Olarak Diagramatik Gösterimi (Adobe Illustrator'da Çizilmiştir)

Sürdürülebilirlik

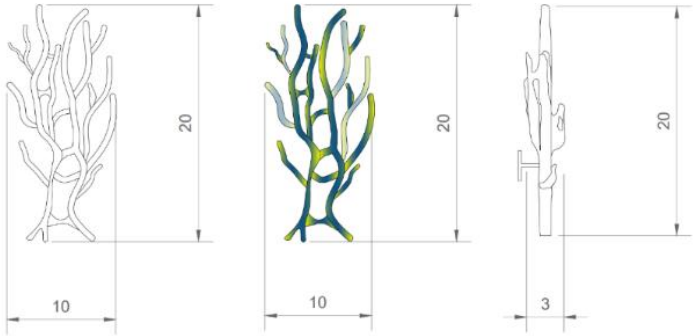
Herhangi bir elektrik kaynağına ihtiyaç duyulmadan alglerin doğal yaşamı ve kimyasal reaksiyonu sayesinde ışık yayılımı mümkündür. Biyouyumlu ve geri dönüştürülebilir polimerler sayesinde malzeme açısından sürdürülebilir seçenekler kullanılması öngörülmüştür. Tüplere yerleştirilen algler, uygun koşullarda (nem ve sıcaklık) aylarca aktif kalabilir ve periyodik olarak yenilenebilmektedirler.



Şekil 11. Apliğin Farklı Renklerde Işık Üretme Özelliğinin Gösterilmesi (Procreate'de Çizilmiştir)

TEKNİK DETAYLAR

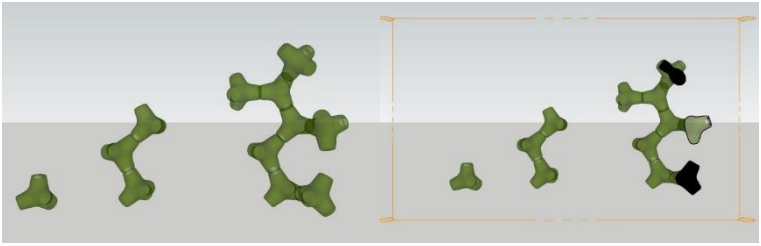
Her aplik yaklaşık 20 cm yüksekliğinde, duvardan 3 cm çıkıntı derinliğinde olacaktır. Organik form, ışığın yumuşak bir şekilde yayılmasını sağlayacaktır. Biyolüminesans, yaklaşık 0.1-1 lumen aralığında loş bir ışık üretmektedir (ateş böceği parlaklığına benzer). Aplik mekan içerisinde belirli aralıklarla yerleştirileceği için bu lümen değeri yön bulmak için yeterli görülmektedir. Kemosensörler, insan hareketini 2-3 metre mesafeden algılamaktadır. Reaksiyon, 10-15 saniye sürer ve ardından ışık sönmektedir. Alg kapsülleri, 3-6 ayda bir değiştirilebilir. Biyoplastik gövde, kolay açılıp kapanan bir tasarıma sahip olacaktır. Hafif malzemeler sayesinde duvara vidalı veya yapışkan şeklinde montaj yapılabilecektir.



Şekil 12. Apliğin Teknik Çizim Gösterimi (Autocad'de Çizilmiştir)

ÜRETİM VE PROTOTİP

Biyoplastik tüpler PLA veya agar bazlı biyopolimerler, 3D yazıcıyla modüler şekilde basılabilmektedir. Biyolüminesans algler (Pyrocystis lunula), biyoteknoloji firmalarından temin edilebilmektedir. Nanoteknolojik sensörler (Kemosensör) için üniversite laboratuvarları veya Ar-Ge firmalarıyla iş birliği yapılabilmektedir. Alglerin yerleşeceği tüplerin 3D yazıcılarla basılırken modüler şekilde birbirlerine bağlanması gerekmektedir. Bu şekilde modüller birbirlerine daha kolay şekilde entegre olabileceklerdir. Ayrıca, alglerin yaşayacağı kapaklı bölümlerde (modüllerde) hava delikleri olmalıdır. Çünkü algler ışık üretirken ortamdan düzenli olarak oksijen almaları gerekir.



Şekil 13. Biyoplastik Tüplerin 3D Yazıcıyla (PLA Flamentiyle) Basılması İçin Gereken Birleşim Eklemleri ve Modülleri (Sketchup'da Modellenmiştir)



Şekil 14. Apliğin Loş Bir Koridora Uygulanmış Kolaj Görüntüsü (Adobe Photoshop'ta Yapılmıştır)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, sürdürülebilirlik ilkeleri ışığında, biyomimikri ve biyolüminesansın nanoteknolojik malzemelerle desteklenerek iç mekân aydınlatması için yenilikçi ve çevre dostu bir çözüm potansiyeli taşıdığını ortaya koymuştur. Mevcut çalışmalarda, biyolüminesansa dayalı tasarım çalışmaları ve enstalasyonlar, genellikle deneysel veya sanatsal düzeyde kalmakta, günlük kullanıma yönelik işlevsel donatılara dönüştürülememektedir. Bu durum, biyolüminesansın aydınlatma alanındaki potansiyelinden yeterince yararlanılmadığını göstermektedir. Bu çalışma, bu durumu gözeterek, biyolüminesansın kimyasal yapısı, kendi kendine enerji üretebilmesi ve alg tabanlı organizmaların kontrollü üremesi ile nanoteknolojik kemosensörlerin alg tetiklemesini mümkün kılmasını sağlayacak bir çalışma sistemi geliştirmiştir. Özellikle ambians, estetik ve yön bulma gibi destekleyici aydınlatma senaryolarında (örneğin geçiş alanları, koridorlar veya gece lambası işlevleri için) yenilikçi bir tasarım olabileceğini göstermektedir. Kavramsal tasarımı oluşturulan biyolüminesans esaslı apliğin, doğal malzeme kullanımı ve enerjiye ihtiyaç duymayan yapısıyla sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu bir şekilde tasarlanmıştır.

Bununla birlikte, biyolojik ışık kaynaklarının ömrü, çevresel koşullara hassasiyeti, malzeme tedariki, bakım gereksinimleri ve nanoteknolojik bileşenlerin maliyeti gibi önemli teknik ve ekonomik zorluklar, bu sistemlerin yaygınlaşmasının ve seri üretime geçilmesinin önünde engel teşkil edebilmektedir. Bu yenilikçi aydınlatma yaklaşımının deneysel ve sanatsal çerçevenin dışına çıkarak günlük yaşamda işlevsel bir yer edinebilmesi için bu zorlukların aşılması gerekmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada geliştirilen biyomimikri temelli biyolüminesans aydınlatma tasarımı, sürdürülebilirlik ekseninde yenilikçi ve deneysel bir öneri olarak kabul edilmelidir. Gelecekte yapılacak disiplinlerarası çalışmalarla daha ekonomik, dayanıklı ve kullanıcı dostu versiyonların geliştirilmesi, bu sistemlerin hem estetik hem de ekolojik değere sahip iç mimari aydınlatma elemanları olarak yaygınlaşmasını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Arı, A. C. (2022). Nanoteknolojik yöntemle üretilen yapı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanılmasının incelenmesi. *Uluborlu Mesleki Bilimler Dergisi, 5*(1), 14-27.

Avinç, G. M., & Selçuk, S. A. (2014). İç mekan aydınlatma tasarımında biyolüminesans kullanımı. *International Science and Art Research Center*, 1133-1149.

Basílica de la Sagrada Família. (2014). *Museum and exhibition* [Müze sergisi]. Barcelona, İspanya.

Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. Morrow.

Ceschin, F., & Gaziulusoy, I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. *Design Studies, 47*, 118-163. https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002

Claypool, M. (2017). *İşte Gaudi* (D. Öztok, Çev.). Hep Kitap.

Coşansu, S., & Ayhan, K. (2003). Bakteriyel biyolüminesans ve uygulama alanları. *Gıda, 28*(1), 65–70.

Cussatlegras, A. S., & Le Gal, P. (2004). Bioluminescence of the dinoflagellate Pyrocystis noctiluca induced by laminar and turbulent Couette flow. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 310*(2), 227–246. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.04.012

Çelikel, S. B., & Uçar, S. (2020). Biyomimikri: Doğayla uyumlu yeni bir tasarım modeli. *Humanities Sciences, 15*(2), 51-61.

Çetin, A. S., & Tekin, C. S. (2021). Nanoteknoloji ve nanomimarlık. *International Journal of Social, Political and Economic Research, 8*(1), 47-54.

Demirci, Ö. (2022). *Evaluating the usability of bioluminescence in building interiors* (Yüksek Lisans Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Elrayies, G. M. (2018). Microalgae: Prospects for greener future buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81*, 1175–1191. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.032

Gür, M. (2010). Nanomimarlık bağlamında nanomalzemeler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 15*(2).

Keskin, H. L. (2011). Nanoteknoloji nedir? *Turkish Medical Journal, 5*(1), 45-49.

Maraba, B., & Sarıoğlu, E. (2022). Tarihsel süreçte biyomimikri ve moda ilişkisi. *Uluslararası Disiplinlerarası ve Kültürlerarası Sanat, 7*(15), 23-38.

Özgür, N. (2020). *Biyomimetiğin sanat ve tasarım objeleri üzerinden incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Söğüt, M. A., & Aytar Sever, İ. (2019). Tasarımda doğa etkisi biyomimikri. *Uluslararası Sanat ve Estetik Dergisi, 2*(3), 17-31.

Tiwari, S., & Yakhmi, J. V. (2015). Recent advances in luminescent nanomaterials for solid state lighting applications. *Defect and Diffusion Forum, 361*, 15–68. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ddf.361.15

Türk Dil Kurumu. (t.y.). Nanoteknoloji. *Güncel Türkçe Sözlük*. https://sozluk.gov.tr

Wilson, T., & Hastings, J. W. (1998). Bioluminescence. *Annual Review of Cell and Developmental Biology, 14*(1), 197–230. https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.14.1.197

World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.

Yılmaz, F. Ş. (2014). *Sürdürülebilir çevre için mimari aydınlatma sistemi tasarımında kullanılabilecek bir yaklaşım* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

İnternet Kaynakları

Art & Science Journal. (t.y.). *Philips Bio-Light: Bacteria as energy source*. https://www.artandsciencejournal.com/post/26217329425/philips-bio-light-bacteria-as-energy-source

Bilgiustam. (t.y.). *Biyolüminesans nedir, nasıl çalışır?* https://www.bilgiustam.com/biyoluminesans-nedir-nasil-calisir/

Biomimicry 3.8. (2023). *Biomimicry DesignLens: Life's principles*. https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-lifes-principles/

Gerçek Bilim. (2014). *Leonardo da Vinci: Bölüm 2 – İcatlar*. https://www.gercekbilim.com/leonardo-da-vinci-bolum-2-icatlar/

Hapyazı. (2024). *Biyolüminesans: Doğanın gizemli ışıltısı ve işlevleri*. https://www.hapyazi.com/post/biyoluminesans-doganin-gizemli-isiltisi-ve-islevleri

Ingenia. (2015). *Algae-powered architecture*. https://www.ingenia.org.uk/articles/algae-powered-architecture

Türk Dil Kurumu. (t.y.). Nanoteknoloji. *Güncel Türkçe Sözlük*. https://sozluk.gov.tr