

## TEKSTİL VE GİYSİ TASARIMINDA BİYOMİMETİK UYGULAMALARI

Hilal SEVENCAN\*

Mustafa Erdem ÜREYEN\*\*

### Özet

Canlılar milyonlarca yıl boyunca aşırı çevresel etkilere karşı koyacak veya adapte olacak çok özel yapılar ve davranışlar geliştirmiştir. Bu nedenle insanoğlu varoluşundan itibaren bunların gizemlerini çözmeye çalışmış ve kendisine örnek olarak almıştır. Doğadaki gelişmiş sistemler yenilikçilik, verimlilik ve sürdürülebilirlik açılarından insanlığa örnek olmaktadır. Günümüzde doğadaki sistemleri ve/veya malzemeleri taklit ederek yeni ürünler geliştirme veya tasarımlar yapma işi biyomimetik olarak isimlendirilmektedir. Biyomimetik, tasarım, sanat, mimarlık, mühendislik ve temel bilimlerin farklı alanlarında uygulanmaktadır. Mühendislik ve temel bilimler alanlarında çalışanların ilgisi daha yoğun olmakla beraber biyomimetik, tekstil ve moda tasarımcılarına da esin kaynağı olarak çok değerli olanaklar sunmaktadır. Özellikle son yıllarda tasarımcıların biyomimetik alanına daha fazla ilgi duydukları ve özgün tasarımlar ortaya koydukları görülmektedir. Tekstilde biyomimetik uygulamalarına yönelik olarak literatürde çok fazla sayıda araştırma ve uygulama bulunmaktadır. Bu çalışmada öncelikle tekstil ve giyim sektörlerine yönelik biyomimetik temelli araştırmalar ve ürünler incelenmiş ve en yaygın uygulama alanları belirlenmiştir. Uygulamalar, temel özellikleri incelenerek altı alt alana ayrılmıştır. Bunlar hidrofobik, sürtünme kuvvetini azaltan, fotonik, süper adezyon özelliğine sahip, UV koruyucu ve termal koruma amaçlı uygulamalardır. Bu yazıda literatürde ve uygulamada tespit edilen ve yalnızca bu alanların kapsamına giren çalışmalar incelenmiştir. İncelenen alanların temel mühendislik yaklaşımlarına değinilmiş ve tasarımcılara yol gösterici olacak şekilde örneklendirilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyomimetik, Biyomimikri, Tekstil Tasarımı, Giysi Tasarımı, Moda Tasarımı

### ***BIOMIMETIC APPLICATIONS IN TEXTILE AND CLOTHING DESIGN***

#### **Abstract**

Living things have developed very specific structures and behaviours that will resist or adapt to extreme environmental impacts for millions of years. For this reason, human beings have tried to understand and solve the mysteries of nature through the ages. Advanced systems in nature set an example for humanity in terms of efficiency, innovation and sustainability. Today, the work of developing new products or making designs by imitating the systems and materials in nature is called biomimetic. Biomimetic can be applied in different fields of design, art, architecture, engineering and sciences. Although the interest of those working in the fields of engineering and sciences is more intense, biomimetic offers valuable opportunities to textile and fashion designers. Especially in recent years, it is seen that designers are more interested in biomimetic and they have created original designs. There are many research works and applications in the literature regarding

\* MSc, [hllsvncn@gmail.com](mailto:hllsvncn@gmail.com)

\*\* Prof. Dr., Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Moda ve Tekstil Tasarımı Bölümü;  
Eskişehir Teknik Üniversitesi, İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi, [meureyen@eskisehir.edu.tr](mailto:meureyen@eskisehir.edu.tr)

biomimetic applications in textile. In this study, firstly, biomimetic based research and products for textile and clothing sectors are examined and the most common application areas are determined. The applications are divided into six basic sub-areas by examining their basic features. These are hydrophobic, low friction resistance, structural coloured photonic, super adhesive, UV protective and thermal insulating materials. Only products that have been identified in the literature and practice and fall within the scope of these areas have been examined. The main engineering approaches of the examined products are mentioned and tried to be exemplified to guide the designers.

**Keywords:** Biomimetic, Biomimicry, Textile Design, Clothing Design, Fashion Design

## Giriş

Yaklaşık 4,5 milyar yaşında olan dünyada hayatın 3,8 milyar yıl önce başladığı tahmin edilmektedir. O zamandan beri doğa canlı ve cansız varlıklar arasında oluşturduğu denge ve uyum ile varlığını devam ettirmektedir. Doğanın kendi sürekliliği içinde devamlılığını güneş ışığından sağlaması, yalnızca ihtiyaç duyduğu kadar enerji kullanması, formu fonksiyona uygun hale getirmesi, her şeyi geri dönüştürmesi, iş birliğini ödüllendirmesi, değişime eğilimli olması, yerel uzmanlığı istemesi, içindeki aşırılığa hakim olması ve sınırların gücünü zorlaması gibi belirli temel kuralları vardır (Benyus, 2002, p.7). Doğanın bir parçası olarak insan bir yandan uyumlu bir şekilde yaşarken bir yandan da doğal kaynakları kullanarak hayatı değiştirmekte, geliştirmekte ve yenilikler ortaya koymaktadır. İnsanlar doğada duyularla algıladıklarını yorumlayıp yapay bir çevre ve yaşam alanı oluşturur. Beyazıt (2008, s.239), evrensel olarak insanların doğadan hoşlandıklarını ve zevk aldıklarını, deneyim elde etmekten mutlu olduklarını yani doğadan tinsel olarak etkilendiklerini vurgulamıştır. İnsanlar duyu organlarıyla benimsedikleri hisleri, algıları çıkarımlarında ve sanat eserlerinde de ortaya koymaktadırlar. İlkel insandan başlayarak insanoğlu karşılaştığı problemleri çözmek için doğayı gözlemleyip, elde ettiği bilgiyi ihtiyacı doğrultusunda gereken araç ve gereçlere dönüştürmüştür. Benyus (2002) doğadan esinlenme yöntemlerini “model olarak doğa”, “ölçüt olarak doğa” ve “danışman olarak doğa” şeklinde üçe ayırmıştır. İnsanın doğayı “model olarak” aldığı çözümler ve tasarımlara çayırlardan esinlenilerek oluşturulan çiftlikler, bitkileri ilaç olarak kullanan hayvan ve böceklerden yola çıkarak geliştirilen ilaçlar örnek olarak verilebilir. Doğadan model alınanların doğruluğunu değerlendirmek için ekolojik dengenin referans alınması “ölçüt olarak doğa” biçiminde sınıflandırılabilir. Buna göre geliştirilen bir malzeme veya ürünün doğaya uyumluluğu ve sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi bu kapsama girer. Doğa öğretici bir “danışman olarak” insanoğluna çok fazla şey öğretebilmekte, pek çok yenilik için referans olmaktadır.

Doğa her kültürde ve çağda tekstil ve giysilerin tasarımında da insanlar için ilham kaynağı olmuştur. Dokuma tekniğinin kuş yuvalarından esinlenerek geliştirildiği tahmin edilmektedir. İpek başta olmak üzere doğal lifler referans alınarak rejenere lifler ve sentetik lifler geliştirilmiştir. Günümüzde de hala tekstil, giyim ve moda tasarımında doğadan esinlenme devam etmektedir. Doğadan ilham alınan yaklaşımlarla geliştirilen yenilikçi çözümler temel olarak estetikten ziyade işlev odaklıdır (Hollington, 2007, s. 64). Bu durum tekstil ve giyim sektörleri için de geçerlidir. Bununla beraber doğa tasarımcılara da yeni fikirler için ilham kaynağı olmaktadır. Yüzlerce yıldır insanlar çiçek, böcek, hayvan figürlerini tekstil ve giysi tasarımlarını oluşturmakta kullanmışlardır. Günümüzde de hemen her sezon doğal desenleri içeren (örneğin floral desenler) tasarımlarla karşılaşmak mümkündür. Bu tip figürlerin kumaş konstrüksiyonunda, giysi tasarımında, baskıda ve nakışta kullanımı ile ilgili sayısız örnek bulunmaktadır. Dolce&Gabana'nın leopar deseni kadın giyiminde kullanılan bu konudaki önemli örneklerden bir tanesidir.

Biyomimetik veya biyomimikri terimleri doğadaki sistem ve maddelerden esinlenerek veya taklit ederek yeni ürünler geliştirme veya tasarımlar yapma işini tanımlamakta kullanılır. Genel olarak değerlendirildiğinde biyomimikri bir tasarım anlayışını, biyomimetik ise bu anlayışı uygulayan alanı ifade etmektedir. Bu çalışmada ilk olarak biyomimetik ve biyomimikri terimleri arasındaki fark açıklanmıştır. Daha sonra detaylı biçimde tekstil ve giysi tasarımında biyomimetik yaklaşımlar örneklerle incelenmiştir. Tekstil ve giysi tasarımında biyomimetik uygulamaları kapsamında değerlendirilebilecek çok fazla örnek bulunmaktadır. Literatürde de bu konuda çok sayıda araştırma ve derleme yayınlanmıştır. Biyomimetik uygulamalarının ana amacı ürüne fonksiyonel özellikler kazandırmak ve performansın artırılmasıdır. Bu nedenle uygulamalar fonksiyonel özellikler altında gruplanmıştır. Bu çalışmada hidrofobik yüzeyler, sürtünme kuvvetini azaltan yüzeyler, fotonik yüzeyler, süper adhezyon özelliğine sahip yüzeyler, UV koruyucu yüzeyler ve termal koruma amaçlı yüzeyler kapsamına giren uygulamalar incelenmiştir. Bu gruplar altında değerlendirilemeyecek örnekler yazının kapsamı dışında tutulmuştur.

### **Biyomimetik ve Biyomimikri Kavramları**

İngilizce’de “biomimetic (biyomimetik)” ve “biomimicry (biyomimikri)” kelimeleri doğadan esinlenmeyi ifade etmek için kullanılmaktadır. Genellikle bu iki terim eşanlamli olarak kabul edilse de aralarında bazı nüanslar bulunmaktadır. Her iki kelimenin ortaya çıkış dönemleri farklıdır. Biyomimetik ve biyomimikri Yunanca yaşam anlamına gelen “bios” ve taklit etmek anlamına gelen “mimesis” kelimelerinden türetilmiştir. Biyomimetik terimi ilk olarak Otto Schmitt tarafından doktora tezinde 1957 yılında kullanılmış (Schmitt’ten aktaran Eadie ve Ghosh, 2001, s. 761) ve resmi olarak 1974’te Webster sözlüğüne tanım olarak girmiştir. O zamandan beri “*doğadaki sistem ve maddelerden esinlenerek insanların ve tekniğin problemlerine çözümler bulmaya çalışmak*” tanımı biyomimetik için kullanılmaktadır. Biyomimikri ise 1982 yılında ortaya çıkmış, 1997 yılında Benyus’un kitabının yayınlanmasından sonra yaygınlaşmaya başlamıştır. Benyus (2002, s. 1) biyomimikriyi “*Doğadaki modelleri inceleyen ve insanların sorunlarını çözmek amacıyla doğadaki tasarım ve süreçlerden ilham alan yeni bir bilim*” olarak tanımlamaktadır. Benyus genel olarak biyomimikriyi insanlığın genel problemleri ile ilişkilendirmekte, uygulamaların kapsamını teknolojidен iş, strateji ve psikoloji gibi diğer alanlara genişletmektedir. Yukarıda da belirtildiği üzere biyomimikri tasarım anlayışını, biyomimetik ise bu anlayışı uygulayan alanı ifade ettiğinden bu çalışmada biyomimetik terimi kullanılmıştır.

Doğa ve teknoloji kavramlarının insanlar üzerindeki algısını değiştiren bir kavram olarak biyomimetik, ilk çağlardan beri önemini hiç yitirmeden örnek uygulamaları ile hayatımıza girmiştir. Doğa, bilim adamlarına, mühendislere ve tasarımcılara günümüzde de yeni teknoloji ve fikirler geliştirmek üzere sınırsız olanaklar sunmaya devam etmektedir. Özellikle gelişmiş ülkeler biyomimetik ile ilgili araştırmalara çok yüksek bütçeli fonlar ayırarak bu alana verdikleri önemi göstermektedirler.

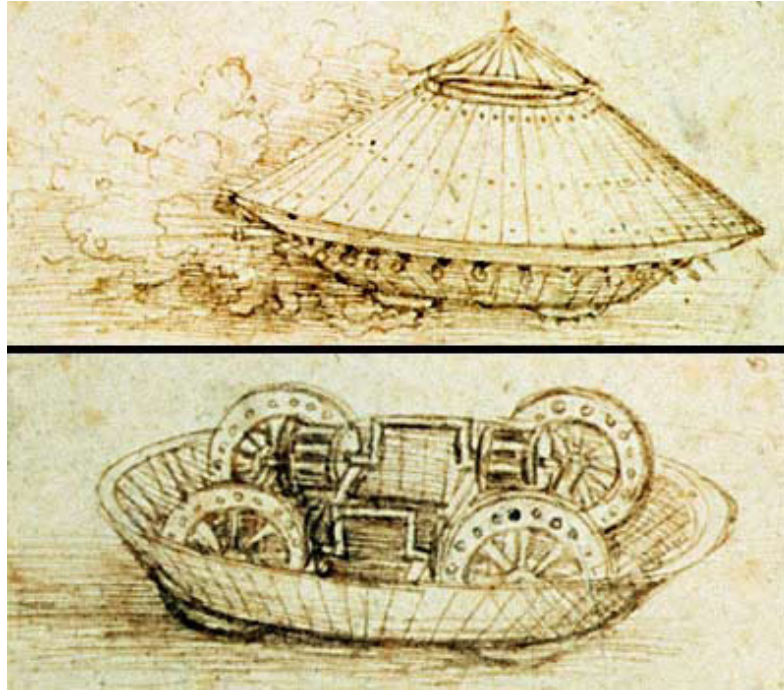
Kapsali ve Dunamore (2008, s. 123) doğanın akıllı ve sürdürülebilir tasarımlar için çok zengin bir kaynak olduğunu vurgulayarak biyomimetik’in temel prensiplerini düşük enerji ile üretim, tasarım ile fonksiyonelleştirme ve çok fonksiyonlu/uyarlanabilir yapılar olarak sınıflandırmıştır.

### **Biyomimetik ve Tasarım**

Doğa ve insan etkileşimi ile yapılan tasarım süreci belirli teknik aşamalardan geçmektedir. Tasarım sürecinde insan gözlem yeteneğiyle birlikte temel bilgi ve deneyimini de kullanırken belirli zorluklarla karşılaşmaktadır. Doğadan esinlenen biyomimetik tasarımın yapısı disiplinler arasıdır. En azından iki farklı uzmanlık alanı olan biyoloji ve mühendislik bilimlerinin bir arada kullanımını gerektirir. Tasarımda genel olarak iki yaklaşım izlenir. Aşağıdan yukarı yaklaşımda biyologlar doğada var olan

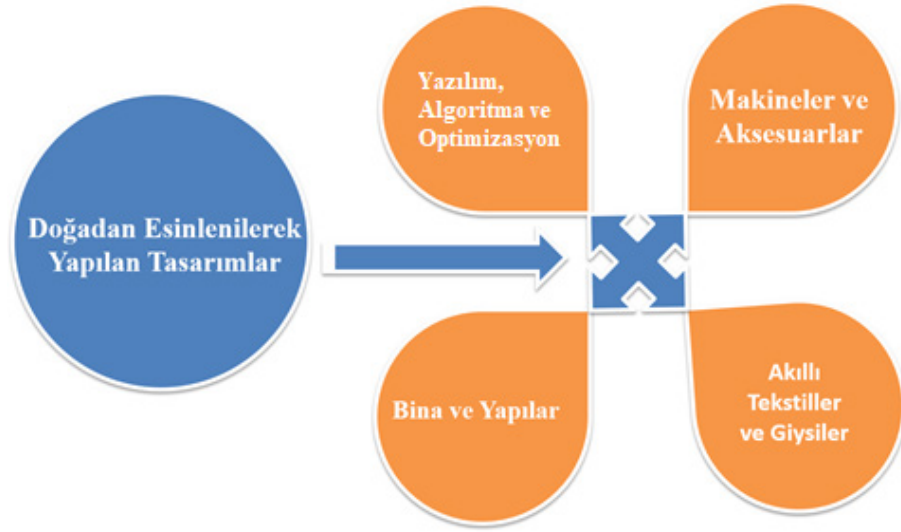
ve endüstride yararlı bir potansiyele sahip olduğunu düşündükleri ilginç bir mekanizmayı tanımlar ve daha sonra bunu morfolojik, biyomekanik ve anatomik açıdan üretmeye çalışırlar. Bu model daha sonra mühendisler tarafından aktararak insan yapımı bir ürüne adaptasyonu sağlanmaya çalışılır. Yukarıdan aşağı yaklaşımda ise endüstride görülen bir ihtiyaç veya boşluk tanımlanır. Biyologlar bu ihtiyacı veya boşluğu gidermeye yönelik mekanizmaları araştırırlar ve elde edilen verileri mühendisler tarafından aktarılır (Gester'den aktaran Kapsali ve Dunamore, 2008, s. 126). Burada biyolog ve mühendislerin kullandığı süreçlerin ve bilgilerin farklılığından dolayı oluşabilecek iletişim sorunlarının çözülmesi gerekir.

Tasarım sürecinde karşılaşılan zorlukların çözümüne insan zekâsı ve doğanın verdiği ipuçları kullanılarak ulaşılmaya çalışılmaktadır. Tarihteki gelişmeler doğanın birçok alanda tasarımı yönlendirdiğini ve zor süreçleri çözüme ulaştırdığını açıkça göstermektedir. İnsan çözüm sürecinde bilimden faydalanır, doğada mevcut metot ve sistemleri inceleyip modern mühendislik sistemlerinde ve teknolojilerinde kullanmayı hedefler. Leonardo Da Vinci'nin tasarımları bu metodolojiye güzel örnekler içermektedir. Da Vinci savaş makineleri, uçuş makineleri, hidrolik makineler, gibi pek çok tasarım gerçekleştirmiştir. Resim 1'de gösterilen zırhlı araç yani "tank" tasarımında kaplumbağanın korunma mekanizmasını ve savaşçıların savaşta bir araya gelerek kalkanlarını kafalarının üzerine koyarak oklardan korunmalarını örnek almıştır. Böylelikle Da Vinci insan ve hayvanlardan esinlenerek tankların ilk örneğini tasarlamıştır.



**Resim 1:** Leonardo Da Vinci'nin kaplumbağadan yola çıkarak yaptığı tank tasarımı

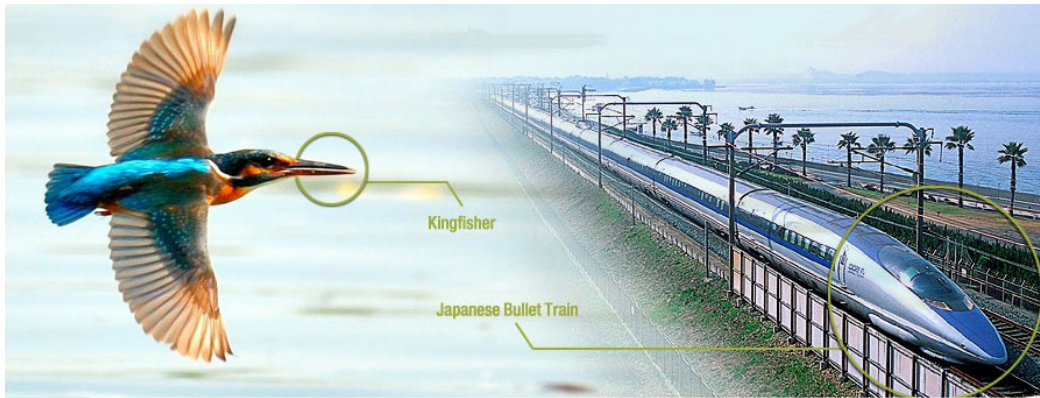
Doğadan esinlenerek yapılan tasarımlar ve geliştirilen ürünler kapsamlı olarak incelendiklerinde bunların yazılım, algoritma ve optimizasyon, makineler ve aksesuarlar, bina ve yapılar ile akıllı tekstiller ve giysiler olarak dört ana grupta yoğunlaştığı görülebilmektedir. Şekil 1'de bu sınıflandırma şematize edilmiştir.



**Şekil 1:** Biyomimetik tasarımların sınıflandırılması

Yapay zekâ, yapay sinir ağları gibi insan beyninin çalışmasını ve bilgi işlemlerini örnek alarak geliştirilen yazılım ve algoritmalar günlük hayatımızda çok fazla konuda ve uygulamada köklü değişimlere sebep olmaktadır. Sürülerin kolektif bir zekâları varmış gibi hareketleri de yapay zekâ ile ilgili önemli esin kaynaklarıdır. Karınca Kolonisi Algoritmaları ve Parçacık Sürü Optimizasyonu gibi uygulamalar buradan yola çıkarak geliştirilmiştir.

Hayvanların hareket ve davranışlarından esinlenerek geliştirilen çok sayıda makine ve aksesuar bulunmaktadır. Örneğin, hızlı trenlerin tünelde yüksek hızda oluşturdukları mikro basınç dalgaları patlama sesi ve gürültü gibi problemlere yol açmaktadır. Avlanmak için havadan suya çok zarif bir biçimde dalabilen yalıçapkını kuşunu örnek alarak Japon Demiryolları Teknik Araştırma Enstitüsü ve Kyushu Üniversitesi araştırmacıları, yeni bir hızlı tren tasarımı yaparak bu soruna çözüm bulmuşlardır (Resim 2). Kuşun gagasının şeklini örnek alan tasarımcılar bu tasarımı lokomotifin ucuna uygulamışlardır. Bu yeni tasarıma sahip trende var olan ses ortadan kaldırılmış, daha verimli, daha hızlı ve sessiz bir yolculuk sağlanmıştır.

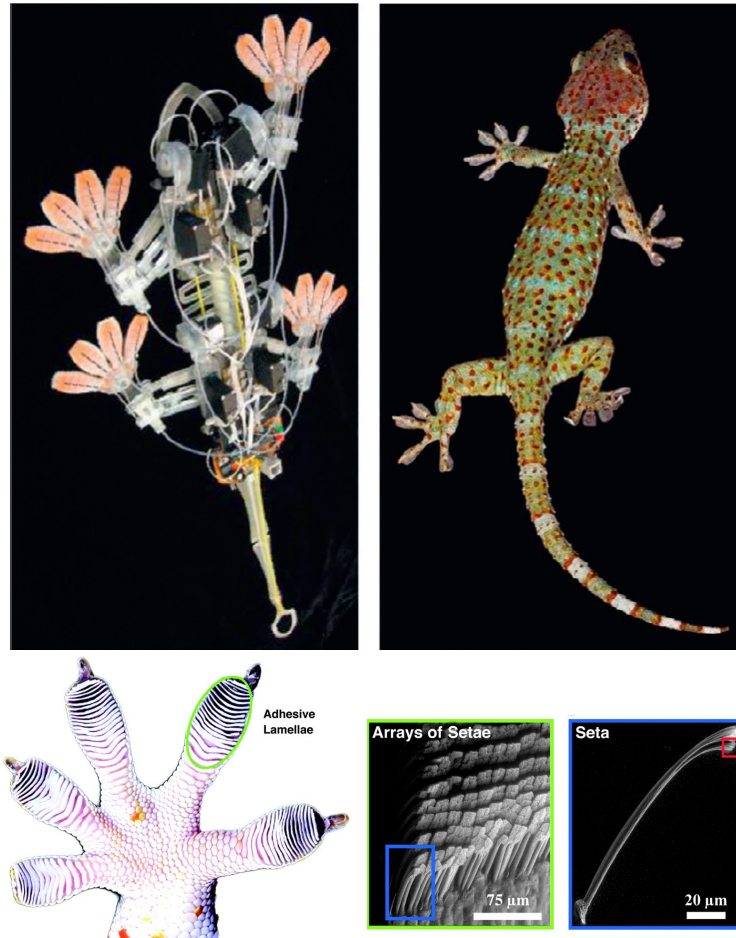


**Resim 2:** Yalıçapkını kuşundan esinlenerek tasarlanan yüksek hızlı tren

Havacılık araştırmalarında ve hava araçları tasarımında kuşların kanat yapıları ve uçuş biçimleri çok değerli katkılar sağlamıştır. Wright kardeşler geliştirdikleri Kitty Hawk isimli ilk uçağın kanatlarını akbabanın kanat modelini alarak oluşturmuşlardır. Tırtılların hareket mekanizmalarından yola çıkarak

doğrusal motorlar geliştirilmiştir. Yunusların ağızlarındaki çıkıntı ve yunus derilerinin yapısı denizaltı tasarımlarında kullanılmıştır. Tavuğun baş hareketleri Mercedes'in otomobil süspansiyonlarında kullandığı Magic Body Control teknolojisinin ilham kaynağıdır. Nike, bukalemunların gözlerini geniş açıda ve bağımsız hareket etmelerini inceleyerek geliştirdiği mercekler sayesinde %25 daha fazla görüş açısı sunan gözlükler geliştirmiştir.

Geko kertenkeleleri tavanlara yapışabilme, cam yüzeyde bile yere düşmeden yürüyebilme özellikleri ile çok sayıda araştırmaya ilham kaynağı olmuştur. Geko'nun ayağının altında yaklaşık beş yüz bin adet tüycük vardır ve kıllar kare şeklinde kümelenmiştir. Bu tüycükler van der Waals kuvveti ile yüzeye tutunurlar. Bu kıllar yaklaşık 100 nm boyutundadır. Kıllar keratin içermektedir ve her bir kılın üzerinde nano boyutta küresel bir başlık yer almaktadır (Boesel vd., 2010, s. 2129). Geko ayağının temas açısını değiştirdiğinde van der Waals kuvveti ortadan kalkar ve kertenkele hareket edebilir. Gekonun ayaklarındaki mekanizma nano seviyede çalışırken makro seviyede çalışmamaktadır. Buradan esinlenerek yapılacak tasarımlarda bu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. Geko'dan esinlenerek geliştirilen camda yürüyen robot (StickyBot) Resim 3'te (Tavakoli ve Viegas, 2015, s. 307) gösterilmiştir. Bu robot parmaklarındaki elastomerik yapıştırıcı ile yüzeylere tırmanabilmektedir. Geko benzeri ayaklarla yapılan robotlar, örneğin, bir yangın sırasında mahsur kalmış kişilerin kurtarılması amacı ile kullanılabilir. Tıpta ve elektronik malzemelerde kuru yapıştırıcı olarak bu tip ürünlerden yararlanmak mümkün olabilir.



**Resim 3:** Gekodan esinlenerek geliştirilen StickyBot robotu ve Geko kertenkelesi (üst resim). Gekonun ayaklarındaki ince kıllar (alt resim).

Dünya çapında çok sayıda bina ve yapı doğadan esinlenerek oluşturulmuştur. Cidde Havaalanı Hac Terminali, Sydney'deki Ulusal Stadyum, Kanada ve Münih'teki hayvanat bahçeleri örümcek ağına benzer şekilde tasarlanmış bina örnekleridir.

Günlük hayatımızın ayrılmaz parçası olan tekstil ve giysiler de biyomimetik uygulamaları için ilgi çekici bir alan olmuştur. Aşağıda tekstil ve giysi tasarımına yönelik olarak belirlenen alt alanlar kapsamında yapılmış bazı uygulamalar değerlendirilmiştir.

### **Tekstil ve Giysi Tasarımında Biyomimetik Uygulamaları**

Doğa, dokuma kumaş tekniğinin geliştirilmesinden günümüzdeki modern pek çok uygulamaya kadar binlerce yıldır tekstil ve giysi alanında da insanlara ilham vermiştir. Günümüz tekstil ve giysilerinin ayrılmaz bileşeni olan rejenere ve sentetik liflerin geliştirilmesinin esin kaynağı da doğa olmuştur. İnsanoğlu çok uzun süre ipeğin sağladığı özellikleri sunan bir malzeme üretmeye çalışmıştır. 1800'lerin sonunda ilk rejenere selüloz lifinin üretimi filament halinde başarı ile gerçekleştirilmiştir. Bu lif o dönemde, her ne kadar ipeğin özelliklerini taşımasa da, suni ipek olarak isimlendirilmiştir. Günümüze kadar çelikten daha sağlam, yanmayan, yüksek performanslı çok sayıda sentetik lif geliştirilmiş olsa da bu alandaki arayışlar halen devam etmektedir. Örneğin, pek çok araştırmacı örümcek ipeğinin yüksek dayanım ve performans özelliklerine sahip lif geliştirmeye çalışmaktadır. Endüstriyel olarak örümcek ipeğinin özelliklerine sahip lif geliştirilmesi yüksek performanslı lif alanında çok önemli bir gelişme olacaktır.

Tekstil ve giysi tasarımına yönelik olarak da doğanın esin kaynağı olduğu pek çok örnek bulunmaktadır. Yukarıda da belirtildiği üzere biyomimetikden esas olarak yeni fonksiyonel özellikler sağlama ve performans iyileştirme amacıyla yararlanılmaktadır. Bu konuda günümüze kadar yapılmış çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Bu incelemenin sonucunda endüstriyel olarak da uygulama alanı bulabilmiş veya bulma olasılığı olan çalışmalar derlenmiştir. Bunların önemli bir bölümünün aşağıda sunulan altı alt başlık altında toplanabileceği görülmüştür. Bu çalışmada bu alt başlıklar altında değerlendirilebilen uygulamalar incelenmiştir:

- Hidrofobik yüzeyler,
- Sürtünme kuvvetini azaltan yüzeyler,
- Fotonik yüzeyler,
- Süper adhezyon özelliğine sahip yüzeyler,
- UV koruyucu yüzeyler ve
- Termal koruma sağlayan yüzeyler.

### **Hidrofobik Yüzeyler**

Tekstil yüzeylerine su iticilik veya su geçirmezlik özelliği kazandırılmasına ilişkin çalışmalar 1940'lı yıllara dayanır. Polar olmayan parafin, silikon, silan gibi malzemeler ile kaplama yapılarak su geçirmezlik sağlanabilmektedir. Ancak bu tür malzemeler özellikle giysiler için nefes alabilir özellikte olmadıklarından konforlu değildirler. Yıllardır bazı canlıların yüzeylerinin kendi kendini temizleme, su ve leke iticilik özellikleri araştırma konusu olmuştur. Nilüfer çiçeğinin yaprağı bu alanda en çok ilgi gören örnektir. Çiçeğin yapraklarının yüzeyindeki uzun zincirli hidrokarbonlar, alkoller, asitler ve terpenlerden oluşan mumsu tabakanın nilüfer çiçeğinin sürekli temiz kalmasını sağladığı belirlenmiştir. Bununla beraber nilüfer çiçeğinin yaprağının yüzeyi mikro ve nano boyuttaki çıkıntılardan oluşur. Bunların yarattığı düşük yüzey enerjisi ve pürüzlülüğün yaprağa su iticilik özellik

kazandırdığı, yüzeyde tutunamayan su damlacıklarının aşağı doğru kayarken beraberinde kirleri de uzaklaştırdığı tespit edilmiştir. 1970’lerde keşfedilmesine rağmen, “Lotus Effect” ismi verilen yüzey morfolojisine dayanan bu mekanizmaya yönelik detaylı çalışmalar Alman botanikçileri Barthlott ve Neinhuss (1997a; 1997b) tarafından yapılmış ve bu mekanizmanın araba ve bina yüzeyleri gibi alanlarda kullanılabilceği vurgulanmıştır. İlk olarak boya endüstrisinde kullanılan bu teknoloji farklı sektörlerde olduğu gibi tekstil sektöründe de kullanılmıştır. Resim 4’te nilüfer çiçeğinin yaprağı ile giysi ve kumaşlarda bu teknolojinin uygulaması gösterilmiştir.



**Resim 4:** Nilüfer çiçeği yaprağı ve yüzeyi (üst resim), hidrofob ve kir itici özellik kazandırılmış giysi ve kumaş örnekleri (alt resim)

Son yıllarda bu alandaki çalışmalar su iticiliğin yanında yağ gibi yüzey gerilim düşük olan sıvıları da itebilen süperhidrofob yüzeyler üzerine odaklanmıştır. Bu tip yapıların örnekleri bazı bitki ve böcek türlerinde bulunmaktadır. Darmanin ve Guittard (2014) doğadan esinlenerek geliştirilmiş süperhidrofobik yapıların kullanım potansiyellerini detaylı biçimde incelemiştir. Tekstil uygulamalarında yıkama dayanımının önemine vurgu yapan yazarlar günümüzde 600 yıkamaya kadar dayanıklı malzemelerin olduğunu vurgulamışlardır.

Nilüfer çiçeğine benzer şekilde pirinç yaprağında da yaprak yüzeyine paralel çıkıntılar vardır. Bu çıkıntılar sayesinde pirinç yaprağı süper hidrofobik ve anizotropik ıslanabilirlik özelliği göstermektedir. Süperhidrofobik yüzeyler kanatlı birçok hayvanda da mevcuttur. Kelebek kanatları üzerindeki bölümlerde açıklanacağı üzere yanardöner renge sahiptirler. Ayrıca kanat yüzeyinde mikro ve nano boyutlarda çıkıntılar bulunmaktadır. Bu çıkıntılar sayesinde kelebek kanatları süper hidrofob, kendi kendini temizleme ve kimyasallara karşı dayanım özellikleri taşımaktadır. Bu konuda ilginç bir örnek de Stenocara böceğidir. Böcek sabahın erken saatlerinde bir kum tepeliğinin üzerinde, kanatları rüzgâra 45° açıyla bakacak şekilde durur ve nemli rüzgârın esmesini bekler. Rüzgârın içindeki normalden daha küçük su damlacıkları böceğin kanatlarındaki suyu sevmeyen, süper

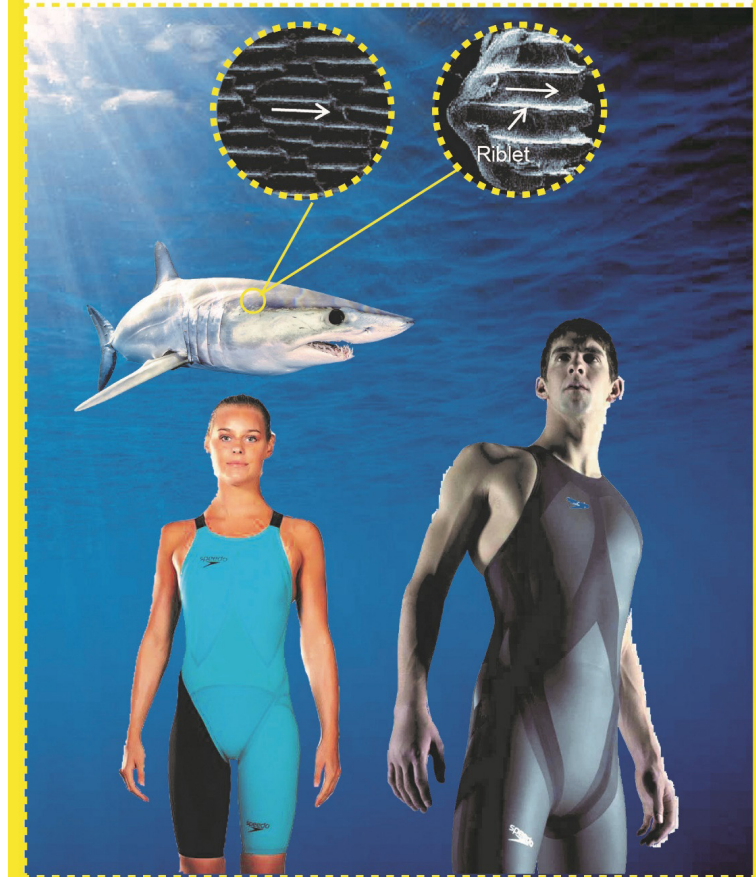


hidrofobik özelliğe sahip yumruların üzerinde toplanmaya başlar. Birleşen su damlacıkları, belirli bir büyüklüğe ulaştıca yer çekiminin etkisiyle, aşağı doğru hızla yuvarlanırken üzeri cila ile kaplı süper hidrofobik yüzeyler devreye girerek suyun buharlaşmasına izin vermeden çok kısa süre içerisinde böceğin ağzına düşmesini sağlarlar. Böylece, böcek su ihtiyacını karşılamış olur. İşte bu çöl böceğinin su ihtiyacını karşılayıp, hayatta kalmasını sağlayan, kanatları üzerindeki mikro ve nano yapılarıdır (Bayındır vd., 2007, s. 52). Süperhidrofobik ve süperhidrofilik yapıların Stenocara'nın yüzeyindeki dizilişine benzer bir düzenleme ile elde edilecek yüzeylerde, verimli ve ucuz bir su toplama yöntemi geliştirilmesi mümkündür. Böylece, çöl ya da dağ gezilerine giden insanlar, yanlarında günlerce yetecek su taşımaktansa, sadece böyle yüzeye sahip bir çadır kullanarak hem su gereksinimlerini hem de barınma ihtiyaçlarını karşılayabilirler. Suyun az bulunduğu bölgelerde yaşayanlar, bu teknik sayesinde, içme sularını verimli ve ucuz bir şekilde elde edebilirler.

Doğada bulunan bu hidrofob ve kendi kendini temizleyen yüzeylerden alınan ilham ile geliştirilen kumaşlar yağmurluk, gömlek, takım elbise, pantolon gibi giysilerin ve tente, çadır gibi ürünlerin üretiminde kullanılmaktadırlar. Ancak gömlek gibi vücuda temas eden ve çoğunlukla pamuktan yapılan giysilerin kullanımında sorunlar yaşanabilmektedir. Hidrofob özellik giysinin ter emiciliğini azaltıp, statik elektriklenme oluşmasına sebep olabilmektedir. Bu da kullanıcı konforunu olumsuz etkilerken, çabuk kirlenmesine de yol açabilmektedir. Bu tip ürünlerde yıkama dayanımının da yüksek olması gereklidir. Giysi tasarımında bu hususlara dikkat edilmelidir. Nem ve su buharı transferi ile ilgili de ağaçlar referans alınarak yapılan çalışmalar vardır (Sun, 2020). Hidrofobik yüzeyler ile bu uygulamalar da kombine edilebilir.

### **Sürtünme Kuvvetini Azaltan Yüzeyler**

Sürtünme kuvveti harekete daima zıt yöndedir ve hareketi zorlaştırıcıdır. Tekstil ve giysiler için sürtünme kuvvetine karşı çeşitli çözümler doğadan esinlenilerek geliştirilmiştir. Köpek balığı derisi doğada en düşük seviyede sürtünme direncine sahip yüzeylerden birisidir. Deri, bölgesel akış yönüne paralel olan çok küçük boyutta testere yivine benzer bir tabaka ile örtülüdür. Bu tabaka suyun deri yüzeyindeki ters akıntılarını oluşturduğu dönme hareketini azaltarak suyun yüzeyde kolaylıkla hareket etmesini sağlar. NASA tarafından da incelenen köpek balığı derisinin bu özelliği teknelerde, uçaklarda ve sıvı taşıyan borularda denenmiştir (Das vd., 2015, s. 896). Bu alandaki en başarılı ticari örnek Speedo firması tarafından 2000 yılında geliştirilen FastSkin mayo teknolojisidir. Resim 5'de köpek balığı derisinin mikroskop görüntüsü ve mayo örnekleri sunulmuştur. Yeni lifler ve yeni dokuma teknikleri ile yapılan bu mayolar, yüzücünün vücudunu sararak suya karşı en az direnci göstermektedir ve normal mayo tiplerine oranla, sürtünme direncini %7,5 oranında azaltmaktadır (Eadie ve Ghosh, 2011, s. 769). Vücudu sıkıca saran bu mayolar kas vibrasyonunu da azaltarak performansı arttırmaktadır. Daha sonra pek çok firma tarafından benzer ürünler geliştirilmiştir. 2009 Dünya Yüzme Şampiyonasında kırılan 43 rekor ve bir yıldaki toplam 130 dünya rekorundan sonra FINA 2010 yılından itibaren tüm vücudu saran bu tip mayoları yarışmalarda yasaklamıştır (Dyer, 2015, s. 7; Nazemi vd., 2018, s. 3). Köpek balığı derisinin bu yapısı aynı zamanda antimikrobiyal özellik de sağlamaktadır. Bu yapı mikroorganizmaların yüzeyde tutunmasını engellemektedir. Sharklet Technologies tarafından geliştirilen ürünler bu amaçla kullanılmaktadır.



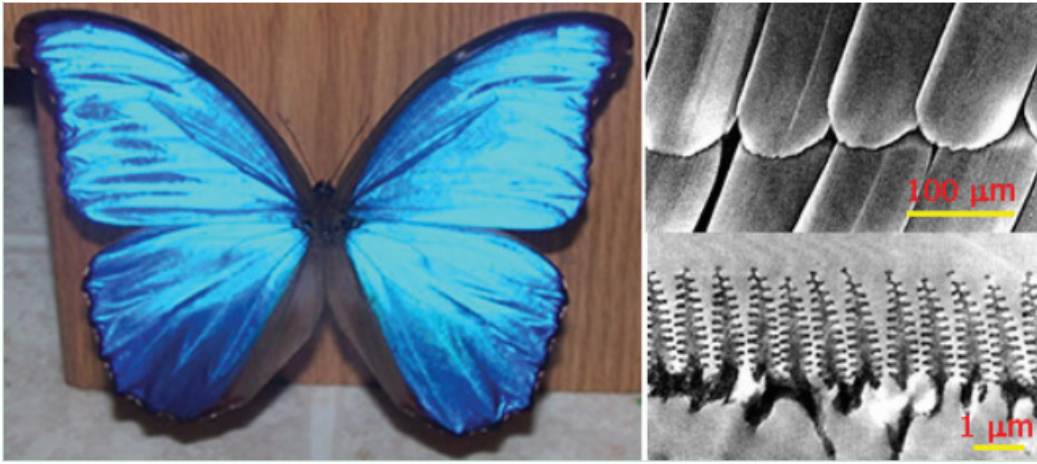
**Resim 5:** Köpekbalığı derisinin SEM görüntüsü (üst resim) ve Speedo firmasının geliştirdiği FastSkin mayolar (alt resim)

### Fotonik Yüzeyler

Işık saçınımı ile renk oluşumu özellikle boya kullanılan alanlar için çok ilgi çekicidir. Canlılar renkleri yaşadığı çevreye uyum, düşmanlarını uyarma, kamuflaj yoluyla şaşkırtma ve bilgi ulaştırma amacıyla kullanılmaktadırlar. Canlılarda renkler pigmentlerle veya yapısal olarak oluşur. Pigmentlerde kromoforlar tarafından ışığın absorblanması ile renk oluşurken, yapısal renkler genellikle canlıların derisinde veya yüzeyinde bulunan dokuya gelen ışığı yansıtan geometrik şekiller aracılığı ile ortaya çıkar. Fotonik, canlılarda bulunan bu yapısal renklerin anlaşılması ve taklit edilmesi ile ilgilenmektedir. Morpho kelebeği Güney Amerika'da yaşayan bir kelebek türüdür. Bu kelebek türünün kanadındaki yanardöner renklerin oluşumu ile ilgili çok fazla sayıda araştırma bulunmaktadır. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri kanadın iki farklı pul tabakasından oluştuğunu göstermektedir. Alt pul tabakası eni yaklaşık 50-100 nm, boyu yaklaşık 150-200 nm olan dikdörtgen şekilli lamellerden meydana gelmektedir. Bu lameller saydam epitel tabakaya bağlıdır. Pulların birbirlerine paralel ağısı bir yapıları vardır ve üst pul tabakasına çapraz bağlarla bağlıdır (Saito, 2011, s. 2). Morpho kelebeğinin sahip olduğu göz alıcı mavi renk kanatta bulunan bu pul tabakalarının kanada gelen ışığı absorblama miktarı, girişim ve saçılımı ile oluşmaktadır. Kelebek ve kanadının mikroskop görüntüsü Resim 6'da sunulmuştur. Görüleceği üzere yapıda bulunan birbirine paralel şeritler yansıtılan ışığın şiddetini artırarak kanadın daha parlak görünmesine sebep olmaktadır. Morpho kelebeğinin bu yapısı taklit edilerek Teijin/Japonya firması tarafından Morphotex® lifleri geliştirilmiştir. Resim 7'de Tasarımcı Donna Sgro tarafından bu lifler kullanılarak tasarlanmış elbise gösterilmiştir. Bu

üründe hiçbir boya veya pigment kullanılmamakta, renk değişimi kalınlık ve liflerin yapısına göre oluşmaktadır. Morphotex lifi yaklaşık 15-17 mikron kalınlığında, düz yapıda ve 70-90 nm kalınlığında 61 kat polyester ve naylondan oluşmaktadır. Katmanların kalınlığı, sayısı ve farklı kırılma indisi (nylonun 1,6, polyesterin 1,55) farklı yapısal renklerin oluşmasını sağlamaktadır (Teodorescu, 2014, s. 6). Benzer şekilde Kuraray firması da Diphorl ticari isimli lifleri geliştirmiştir. Bu lifler dikdörtgen kesitlidir ve termal özellikleri farklı iki farklı tipte polyesterden üretilmektedirler. Dokumadan sonra yapılan ısıtma işleminden sonra kumaş parlak renklerde görülebilmektedir.

Tavus kuşu tüyleri ve bukalemunların kamuflaj özelliklerinin tekstil ve giysilere uyarlanması ile ilgili de çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu alandaki gelişmeler tekstil boyamacılığında devrim niteliğinde gelişmelere yol açabilecek niteliktedir.



**Resim 6:** Morpho rhetenor kelebeği ve kanatlarında bulunan mavi renk veren fotonik yapı



**Resim 7:** Morphotex® kullanılarak Donna Sgro tarafından tasarlanan elbise

### Süper Adezyon Özelliğine Sahip Yüzeyler

Adezyon birbirinden farklı yüzeylerin birbirlerine yapışma eğilimidir. Doğada bunun en güzel örneklerinden birisi Geko kertenkelesidir. Geko kertenkelesi daha önce de belirtildiği üzere farklı alanlarda tasarıma ilham veren önemli bir canlıdır. Duvarları hızla tırmanarak tavana yapışabilen ve

burada rahatlıkla yürüyebilen Geko, yerçekimine karşı dayanımı ile dikkat çekmiş ve araştırmalara konu olmuştur. Gekoların ayaklarıyla ürettikleri kuvvet sürtünme kuvvetinden altı yüz kat daha fazladır. Geko'dan esinlenerek geliştirilen Vibram ayakkabıları Resim 8'de gösterilmiştir. Üretici firma, ayakta doğal bir hisse sahip ve kavrama kabiliyetine yardımcı fonksiyonel özellik taşımakta olan tasarımı gerçekleştirmiştir. Ayakkabı yürüme, koşu ve tırmanma hareketliliğini en uygun bir biçimde oluşturulan tekstil yüzeyleriyle sağlamaktadır.



**Resim 8:** Geko kertenkelesi ve ayaklarından esinlenilerek geliştirilmiş ayakkabı

Pıtrak, mikroskop altında incelendiğinde, tohumunun yüzeyindeki dikenlerin uçlarının küçük kancalar biçiminde olduğu görülmektedir. Bu yapı taklit edilerek 1941 yılında geliştirilen cırt bant (Velcro®) biyomimetik tekstil alanındaki ilk örneklerindedir (Resim 9). Cırt bantlar spor ayakkabıları, çantalar ve giysilerde kullanıldığı gibi, NASA tarafından astronot kıyafetlerinde ve uzaydaki malzemeleri sabitleştirmekte de kullanılmaktadır.



**Resim 9:** Pıtrak ve pıtrağın yapısından esinlenerek geliştirilen cırt bant (Velcro®)

### UV Koruyucu Yüzeyler

Çıplak gözle insanlar tarafından görülemeyen farklı dalga boylarındaki güneş ışınları ultraviyole (UV) yani morötesi olarak isimlendirilir. Üç tip UV ışını vardır. Ozon tabakası bunların arasından sadece en zararlı olan UVC ışınlarını engelleyebilir. UVA ve UVB tipi ışınları her gün temas edilen ışınlardır. Zararlı UV ışınlarından korunmanın en kolay yolu maruziyet süresini azaltmaktır. Bunun

dışında koruyucu krem ve/veya koruyucu kıyafetler giyerek UV ışınlarından korunmak mümkündür. UV'den korunmak üzere kutup ayısı kürkü referans alınarak bazı ürünler geliştirilmiştir. Kutup ayısının kürkü ışınları soğurur, UV'nin cilde ulaşmasını engeller ve bunlara ilave olarak ısı kaybına da engel olur. Piyasada kutup ayısının kürkünün özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiş yarı saydam silikon kaplama uygulamalar vardır. Bitkilerde de benzer yapılar tespit edilmiştir. Alp dağlarında yetişen Edelweiss bitkisinin üzerini kaplayan ince beyaz filamentlerde bulunan nano yapılar bitkiyi zararlı UV ışığından korumaktadır. Tüm bunlar UV koruyucu kıyafet geliştirilmesi ile ilgili çalışmalarda referans teşkil etmektedirler.

### Termal etki

Kutup ayısı termal koruma amaçlı ürünler için de ilham kaynağı olmuştur. Cui vd. (2018) ipek fibroini ve kitosan kullanarak kutup ayısı kılına benzer yapıda lif üretmişlerdir. Bu ürünün termal koruyuculuk özelliğinin ipek ve polyester göre daha iyi olduğunu bulmuşlardır. Lif çekiminde karbon nanotüp ilave ederek de lifi ısıtılabilir hale getirmişlerdir. Kutup ayısının kılı, mikroskop görüntüsü ve Cui vd. tarafından geliştirilen lif Resim 10'da gösterilmiştir. Kutup ayılarından ilham alınarak geliştirilen endüstriyel polyester esaslı Thermolite® liflerinin içi boşlukludur. Vücut sıcaklığını korumak için, boşluklarda bulunan havanın yalıtkan özelliği kullanılarak, çok katlı giyinme ihtiyacı ortadan kaldırılır.



**Resim 10:** Kutup ayısı (üst sol), kutup ayısının oyuk ve gözenekli kıl yapısı (üst orta), Cui vd. (2018) tarafından geliştirilen lif (üst sağ). Thermolite lifi ve bu liften yapılmış kıyafet (alt)

Penguenler 120 gün çok soğukta yiyeceksiz yaşayabilir ve çok soğuk suya 50 m derine kadar dalabilir. Bilim insanları bunun sebebinin tüy ve deri kombinasyonu ile sağlanan koruyucu bariyer tabaka olduğunu bulmuşlardır. Tüyün yapısı yalıtım amaçlı olarak önemli miktarda havayı tutabilmektedir.

Penguen su itici özellik gerektiğinde tüyleri deriye doğru çekmekte, sıcak tutma gereksinimi olduğunda serbest bırakmaktadır. Buradan yola çıkarak geliştirilen kumaşlar çok soğuk ve çok sıcakta kullanılabilecek askeri üniformalar geliştirilmesi için kullanılmıştır. Benzer mekanizma ördeklerde de vardır. Ördek tüylerinin su iticilik ve yalıtım özelliklerinin taklit edilerek kumaşlara uygulanması ile ilgili de çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu alandaki geliştirme çalışmaları halen devam etmektedir.

Dawson vd. (1997) çam kozalağının çevresel nem konsantrasyonundaki değişikliğe göre yaptığı açılma kapanma hareketini incelemişlerdir. Nem emiciliği yüksek pamuk gibi lifler sıvıyı emerek şişerler. Bu da kıyafetin boşluklarının azalmasına dolayısı ile hava geçirgenliğinin düşmesine sebep olur. Kozalaklar ise nemli ortamda kapanır, kuru ortamda açılırlar. Kozalağın bu hareketi giysilere uyarlanarak yüksek nemli ortamlarda kıyafetin hava geçirgenliğini artırma yoluyla kullanan kişiye ferahlık sağlama amaçlanmıştır. Giysilerde kozalak etkisi elde etmek için çeşitli kompozit yapılar geliştirilmiştir. Sentetik liflerden (örneğin polyester) yapılmış bir kumaş ve bunun üzerine uygulanmış poliüretan tipi bir kaplama (örneğin Sympatex) buna örnek olarak verilebilir (Kapsali, 2009, s.126). MMT Textile firması tarafından patenti alınan INOTEK™ lifleri bikomponent yapıdadırlar ve kozalak etkisi gösterirler. Bu lifler nemli ortamda büzülerek kumaşın gözenekliliğinin artmasını, kuru ortamda ise açılarak gözeneklerin kapanmasını sağlarlar (Weerasinghe vd., 2019, s. 4285). Böylece özellikle sporcu kıyafetleri için konforlu giysiler tasarlanmasına olanak verirler. Benzer şekilde bikomponent lifler kullanılarak Nike tarafından Nike Sphere Macro React ürünü geliştirilmiştir. Bu giysi 2006 yılında Maria Sharapova tarafından US Open tenis turnuvasında kullanılmıştır (Resim 11). Bu giyside lazer kesimle oluşturulmuş balık pulu şeklinde parçalar vardır. Kullanıcı terlediğinde bu pullar açılarak havalandırma etkisi sağlayarak kullanıcının konforunu arttırmaktadır. Son yıllarda ise Nike Aeroreact markası ile bu teknolojiyi ürünlerinde kullanmaktadır.



**Resim 11:** Nike tarafından geliştirilen Sphere Macro React ürünü

Bitki yapraklarından esinlenerek geliştirilen kompozit bir yapı Stomatex® ticari ismi ile üretilmektedir (Wood, 2019, s.3). Bu yapı neopren üzerine yerleştirilmiş küçük kubbe şeklinde çıkıntılı olan örme kumaştan oluşmaktadır. Fazla ısı ve nemin bu kubbecikler aracılığı ile vücuttan atılması sağlanırken dışarıdan serin havanın içeri girmesi de sağlanır. Böylece bir mikroklima etkisi oluşturulmuş olur. Bu ürün sporcu kıyafetlerinde, performans artırma ve koruma amaçlı üretilen elastik yapı ve basınç uygulayan ürünlerde kullanım alanı bulmuştur.

## Değerlendirme ve Sonuç

Dünya’da milyonlarca yıldır süren yaşam boyunca canlılar ve zorlu çevresel koşullar arasındaki mücadele canlıların çok özgün fonksiyonel özellikler kazanmasına sebep olmuştur. Doğada bulunan ve insanın sahip olmadığı eşsiz özellikler her zaman ilgi çekici olmuş, taklit edilmeye çalışılmıştır. Bugünkü teknoloji seviyesine ulaşılmasında doğanın taklit edilmesinin önemli katkısı vardır. Biyomimetik, tasarım, sanat, mimarlık, mühendislik ve bilimin farklı alanlarında uygulanabilmektedir. Günümüze kadar yapılmış pek çok çalışma içerisinde hayatın hemen her alanında uygulama alanı bulmuş ticari başarılı örnekler de ortaya koyulabilmiştir. Halen bu alandaki çalışmalar sürdürülmektedir. İnsanoğlunun en yüksek teknoloji seviyesine ulaştığı günümüzde bile hala doğada çözülememiş ve bilim insanlarına ve tasarımcılara yol gösterici, fikir verici pek çok özel durumla karşılaşılmaktadır.

Bu çalışmada biyomimetik ve onunla ilişkili olarak biyomimikri kavramları açıklanmış, detaylı biçimde tekstil ve giysi teknolojisi ve tasarımında biyomimetik yaklaşımlar örneklerle incelenmeye çalışılmıştır. Bu alanda çok fazla sayıda çalışma ve uygulama bulunmaktadır. Bunların belirli bir sistematik altında değerlendirilmesi amacı ile altı alt başlık belirlenmiş ve incelenen uygulamalar bu kapsama sınırlanmıştır. Biyomimetik uygulamalarının çoğunlukla tekstil ve giysilerde koruma amacıyla kullanıldığı görülmüştür. Sıvılardan, UV’den, ısıdan ve ısı kaybından koruma bu alandaki en önemli çalışmalardır. Bu nedenle çalışmanın büyük bölümü bu hususları kapsamaktadır. İlgi çekici bir uygulama alanı da fotoniktir. Fotonik uygulamaları hem estetik açıdan ürüne çekicilik sağlamakta hem de boya ve yan kimyasal kullanımını ortadan kaldırarak çevre ve maliyet açısından da fayda sağlamaktadır. Bu nedenle bu alandaki çalışmalar da bu yazıda incelenmiştir.

Taklit edilen doğal örneklerin ilgi çekici bir yönü de birçoğunun birden fazla fonksiyona sahip olmalarıdır. Örneğin, yazıda da açıklandığı üzere, köpek balığının derisi yüzücü mayolarında sürtünme azaltıcı özelliği ile çok başarılı olmuştur. Öte yandan derinin bu yapısı köpekbalığına antimikrobiyal özellik de sağlayabilmektedir. Bu, tekstil uygulamalarında da önemli fayda sağlayacak bir özelliktir. Morpho kelebeğinin kanat yapısı pek çok alanda olduğu gibi tekstil alanında da ürünlerin renklendirilmesinde kullanılmaktadır. Bununla beraber keleklerin kanatlarının ısı değişimlerine ve gazlara da tepki verdiği tespit edilmiştir. İlave olarak su itici özellik de göstermektedirler. Dolayısı ile bu yapı, renklendirme amacına ilave olarak, tekstil ve giysilerde yeni görsel ve fonksiyonel etkiler elde etmek için de kullanılabilir. Ayrıca gaz algılama özelliği de itfaiyeci kıyafeti gibi teknik ürünlere entegre edilebilir.

Doğadaki modeller ileri fonksiyonel özelliklerinin yanında aynı zamanda verimli ve sürdürülebilir özelliktedirler. Dolayısı ile biyomimetik denince akla verimlilik ve sürdürülebilirlik kavramları da gelmektedir. Verimlilik ve sürdürülebilirlik daha çok üretim ve kullanım ile ilgili süreçleri kapsar. Yenilikçilik ise bir malzeme ve ürüne yeni, ileri ve fonksiyonel özellikler kazandırmak ve/veya performansın arttırmak amacıyla yapılan uygulamaları içerir. Bu nedenle biyomimetik bir tasarım aracı olarak kullanılırken yenilikçilik dışında verimlilik ve sürdürülebilirliğin de, bütünsel bir yaklaşım ortaya koyulabilmesi amacıyla, tasarımın ana amaçlarından birisi olması gerekir. Ancak özellikle sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde günümüz uygulamalarında durumun her zaman böyle olmadığı anlaşılmaktadır. Doğadan taklit edilen sistemlerin endüstriyel uygulamaları maalesef pek çok durumda çevre dostu değildir. Örneğin, pıtrak taklit edilerek geliştirilen cırt bantların malzemesi çoğunlukla petrol kökenli poliamid veya polyesterdir. Pıtrak doğada çözünebilirken cırt bantlar doğada çözünmez. Bu durumun temel sebebi esas olarak uygulamalarda doğrudan doğal tasarımın taklit edilmeye çalışılmasıdır. Doğal tasarımın taklit edilmesi yerine sürecin de taklit edilmesi gelecek açısından çok daha yararlı olacaktır. Biyomimetik kullanılarak yapılan üretim ve tasarımların sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde çevre dostu olmasına da dikkat

edilmesi bu tip ürünlerin kullanımında önemli olacaktır. Doğanın gizemleri çözüldükçe tekstil ve giysilerin yenilikçi tasarımlarında kullanımı ile ilgili uygulamalar da artacaktır. Polimer, kimya, malzeme teknolojilerindeki ilerlemelerle birlikte tekstil üretim yöntemlerindeki gelişmeler bu alanda umut vericidir. Taklit edilen fonksiyonel özelliğin kimyasallarla sağlanması yerine yapısal olarak sağlanması, kullanılan kimyasal miktarının mümkün olduğunca düşük seviyelerde tutulması, kullanılan lif ve kimyasalların çevre dostu olması sürdürülebilirlik açısından önemli hususlardır. Biyomimetik uygulamalarının bu hususlar çerçevesinde gerçekleştirilmesi çok daha başarılı örneklerin hayatımıza girmesine de vesile olacaktır.

### Kaynakça

- Barthlott, W. & Neinhuis, C. (1997a). Characterisation and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces. *Annals of Botany*, 79(6), 667–677.
- Barthlott, W. & Neinhuis, C. (1997b). Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces. *Planta*, 202(1), 1-8.
- Bayazıt, N. (2008). *Tasarımı Anlamak*, İstanbul: İdeal Kültür Yayıncılık.
- Benyus, J.M. (2002). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: HarperCollins.
- Boesel, L.F., Greiner, C. & Arzt, E. (2010). Gecko-Inspired Surfaces: a Path to Strong and Reversible Dry Adhesives. *Adv. Mater.*, 22, 2125-2137.
- Darmanin T. & Guittard F. (2014). Recent advances in the potential applications of bioinspired superhydrophobic materials. *Journal of Materials Chemistry A*, 2, 16319-16359.
- Das, S., Bhowmick, M., Chattopadhyay S.K. & Basak, S. (2015). Application of biomimicry in textiles. *Current Science*, 109(5), 893-901.
- Das, S., Shanmugam, N., Kumar, A. & Jose, S. (2017). Potential of biomimicry in the field of textile technology. *Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials*, 6(4), 224-235.
- Dawson, C., Vincent, J. F. V. & Rocca, A.M. (1997). How pine cones open. *Nature*, 390, 668.
- Dyer, B. (2015). The controversy of sports technology: a systematic review. *Springer Plus*, 4(524).
- Eadie, L. & Ghosh, T.K. (2001). Biomimicry in textiles: past, present and potential. An overview. *J. R. Soc. Interface*, 8, 761-775.
- Gester, M. (2007). *Integrating biomimetics into product development. Biomimetics: strategies for product design inspired by nature*. DTI Global Watch Mission Report, 38–41.
- Hollington, G. (2007). *Biomimetics and product design. Biomimetics: strategies for product design inspired by nature*. DTI Global Watch Mission Report, 64.
- Kapsali, V. & Dunamore, P. (2008). Biomimetic principles in clothing technology. *In Biologically inspired textiles* (Eds. Abbott, A. and Ellison, M.), (117-136), Cambridge: Woodhead Publishing.
- Kapsali, V. (2009). Biomimetics and the design of outdoor clothing. *In Textiles for Cold Weather Apparel* (Ed. Williams, J.T.), (113-130), Cambridge: Woodhead Publishing.



- Kapsali, V. (2018). Biomimetic principles for design of water repellent surfaces. *In Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing (Ed. Williams, J.T.)*, (121-135), Cambridge: Woodhead Publishing.
- Kuday, I. (2009). *Tasarım Sürecini Destekleyici Faktör Olarak Biyomimikri Kavramının İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Nazemi, S., Khajavi R., Far, H.R., Yazdanshenas, M.E. & Raad, M. (2018). Effect of hydrophobic finishing on drag force of swimwear. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 30(1), 2-15.
- Özgür, H., Gemici, Z. ve Bayındır M. (2007). Akıllı Nanoyüzeyler. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 473, 52-56.
- Saito, A. (2011). Material Design and Structural Color Inspired by Biomimetic Approach. *Science and Technology of Advanced Materials*, 12(6).
- Santos, D., Heyneman, B., Sangbae, K., Esparza, N. & Cutkosky, M.R. (2008). Gecko-inspired climbing behaviors on vertical and overhanging surfaces. In: Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2008. Pasadena: USA.
- Schmitt, O. (1969). Some interesting and useful biomimetic transforms. In: Proceedings of 3rd Int. Biophysics Congress (p. 297). Paris: France.
- Singh, A. V., Rahman, A., Kumar, N. S., Aditi, A. S., Galluzzi, M., Bovio, S., Barozzi, S., Montani E. & Parazzoli, D. (2012). Bio-inspired approaches to design smart fabrics. *Materials & Design*, 36, 829-839.
- Sun, M. (2020). Research and Application of Biomimetic Textile Materials in Fashion Design. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 440.
- Tavakoli, M. & Viegas, C. (2015). Bio-inspired climbing robots. In: T. D. Ngo (Ed.), *Biomimetic Technologies* (301-320). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Teodorescu, M. (2014). Applied Biomimetics: A New Fresh Look of Textiles. *Journal of Textiles*, 1-9.
- Weerasinghe, D.U., Perera, S. & Dissanayake, D.G.K. (2019). Application of biomimicry for sustainable functionalization of textiles: review of current status and prospectus. *Textile Research Journal*, 89(19-20), 4282-4294.
- Wood, J. (2019). Bioinspiration in Fashion—A Review. *Biomimetics*, 4(16).

### Görsel Kaynakça

**Resim 1:** <http://www.leonardodavincisinventions.com/war-machines/leonardo-da-vincis-tank/> (Erişim tarihi: 17.03.2020)

**Resim 2:** <https://sites.psu.edu/biomimicrybws5565/> (Erişim tarihi: 17.03.2020)

**Resim 3: Üst resim:** Tavakoli, M. & Viegas, C. (2015). “Bio-inspired climbing robots.”, In: *Biomimetic Technologies*, Ed. Trung Dung Ngo, Woodhead Publishing, pp. 301-320.

**Alt resim:** Malshe, A., Rajurkar, K., Samant, A., Hansen, H. N., Bapat, S., & Jiang, W. (2013). Bio-inspired functional surfaces for advanced applications. *CIRP Annals*, 62(2), p.607-628.

**Resim 4: Üst resim:** <http://wthielicke.gmxhome.de/bionik/indexuk.htm> (Erişim tarihi: 17.03.2020); **Alt resim:** Gömlek-<https://www.offneeds.com/Turms-Anti-Stain-Shirt> (Erişim tarihi: 17.03.2020), kumaş-<https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-7643-8321-3%2F11%2F1.pdf> (Erişim tarihi: 17.03.2020) nanokaplama yapılmış polyester kumaşın yüzeyinde kaplama görülememektedir. Elektron mikroskopunda yüksek büyütmelerde kaplama görülebilmektedir.

**Resim 5: Üst resimdeki köpekbalığı derisinin SEM görüntüsü:** Bixler, G.D. & Bhushan, B. (2012). Bioinspired rice leaf and butterfly wing surface structures combining shark skin and lotus effects, *Soft Matter*, 8, p.11271–11284

**Alt resimdeki mayo:** <https://www.popsci.com/technology/article/2012-07/speedos-super-fast-sharkskin-inspired-swimsuit-actually-nothing-sharks-skin> (Erişim tarihi: 17.03.2020)

**Resim 6:** [http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/nanoteknoloji\\_t.pdf](http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/nanoteknoloji_t.pdf) (Erişim tarihi: 17.03.2020)

**Resim 7:** <https://donnaagro.com/Morphotex-Dress> (Erişim tarihi: 17.03.2020)

**Resim 8:** <http://www.technologystudent.com/prddes1/biomimetic1.html> (Erişim tarihi: 17.03.2010)

**Resim 9:** <https://www.immerse.education/leaf-out-of-natures-book/velcro/> (Erişim tarihi: 17.03.2020)

**Resim 10: Üst resim:** Cui, Y., Gong, H., Wang, Y., Li, D. & Bai, H. (2018). A Thermally Insulating Textile Inspired by Polar Bear Hair. *Adv. Mater.*, 30, p. 1-8.

**Alt resimdeki thermolite lif görüntüsü:** <https://karsu.com.tr/urunler/fonksiyonel-iplikler/thermolite/> (Erişim tarihi: 17.03.2020)