

Plastikten Esnek, Çelikten Dayanıklı

Sırrı Çözölemeyen Biyopolimer

Örümcek İpeği

Örümcekler 400 milyon yıldır ipek üretiyorlar. Ancak birçok mühendis, biyolog, doğa ve malzeme bilimci bu mucizenin gizemini hâlâ çözemedi. Doğal bir biyopolimer olan örümcek ipeği saç telinden ince, pamuktan hafif, plastikten esnek ancak çelikten beş kat sağlam. Aynı zamanda biyobozunur, çevre dostu ve tamamen geridönüşebilir. Tüm bu özelliklere sahip örümcek ipeğini yapay olarak üretmek mümkün olursa, endüstri ve tıp alanlarında devrim niteliğinde uygulamalar bekleniyor.



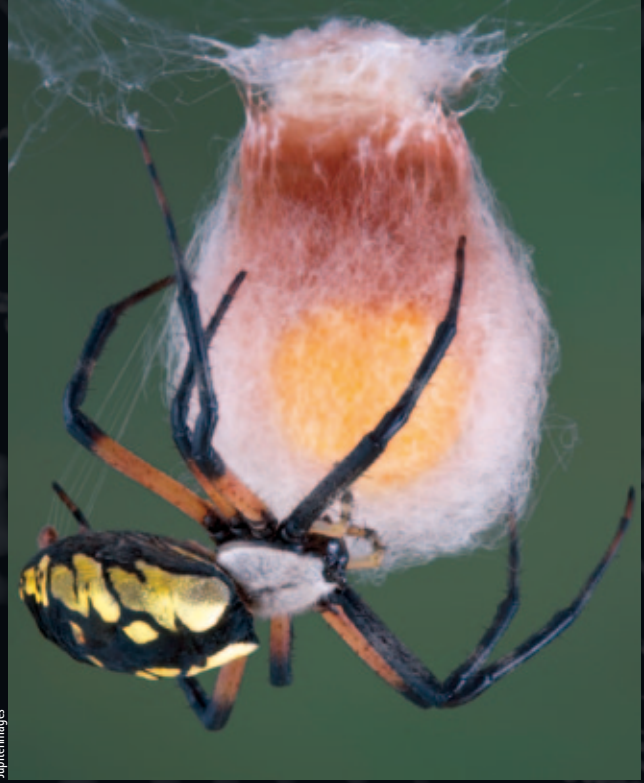
Araştırmacılar endüstride ya da günlük hayatta kullanılacak dayanıklı, güçlü ama aynı zamanda hafif yeni malzemeler tasarlama ve araştırma çabasında. Bu özelliklerin tümüne sahip bir malzeme henüz laboratuvar ortamında elde edilmiş değil, ancak doğada mevcut: “örümcek ipeği”. Örümcek ipeği bir biyopolimer. Doğal, çevre dostu ve tamamen geridönüşebilir olması, bu malzemeyi araştırmacılar için cazip kılan diğer özellikler. Yapay olarak üretilebilirse tıp ve endüstride devrim yaratacak yeniliklerin önünü açacak. Bunlardan bazıları: Doku uyumlu yapay tendon ve bağların üretimi, hassas ameliyatlara için biyobozunur ve alerji yapmayan ameliyat ipliği üretimi, dayanıklı tekstil ürünleri, kurşun geçirmez zırh, paraşüt ipi, optik ve elektro-mekanik kablo üretimi.

400 Milyon Yıllık Sır

Örümcekler 400 milyon yıldır ipek üretiyor. Ancak bilim insanları, çelikten beş kat sağlam, plastikten iki kat esnek aynı zamanda su geçirmeyen bu doğa mucizesinin sırrını hâlâ çözebilmiş değil.

Örümcekler ipeklerini başta hayatlarını sürdürmek olmak üzere birçok amaç için üretiyor. İpek iplikleriyle ördükleri ağ sayesinde avlanıyor, çevresinde oluşturdukları ipekten koza sayesinde yumurtalarının zarar görmemesini sağlıyorlar. Birçok örümcek yaşamlarına ipek içerisinde kundaklanmış olarak başlıyor. İpek sayesinde hava akımını yakalayıp yuvalarından uzaklaşarak ilk gezintilerine de çıkabiliyorlar. Örümcek ipeğinin özellikleri örümcek cinsine göre farklılık gösterebiliyor. Bazı örümcekler, kendi türlerine özgü farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip ipek üretebiliyorlar.

Örümceklerin avları için bir tuzak olan ve ipek ipliklerden meydana gelen ağ, yapışkan bölümleri ve kubbemsi, hamak ya da yumak şeklindeki özel tasarımlarıyla uçan böcekleri bile avlayabilecek özellikte.



Jupiterimages

Örümcekler sistematik sınıflandırmaya göre eklem bacaklılar (*Arthropoda*) şubesinin, örümceğimsigiller (*Arachnida*) sınıfında yer alıyor. Bilinen 39.000'den fazla örümcek türü var. Ağızlarının önünde iki zehir çengeli (keliser) ve iki his ayağı (pedipalp) yer alıyor. Göğüs-baş bölgesiyle karın bölgesi arasında dar bir bel kısmı bulunuyor. Baş ve göğüs kaynaşmış durumda. Göğüslerinde ise gelişmiş dört çift yürüme bacağı, bunların uçlarında da tarak gibi dişli iki çengel yer alıyor. Baş bölgesindeki 6-8 adet basit gözün yapısında mercek, retina ve optik çubukları bulunuyor. Örümceklerin sistematik sınıflandırılmasında gözlerin dizilimi önem taşıyor. Başlıca besinleri böcekler olan örümcekler, avlarını keliserlerden salgılanan zehirle öldürüyorlar.

Havayla Temas Edince İplik Oluyor

Bütün örümcekler ağ yapmıyor, ama hepsi en azından yumurtalarını koruma amacıyla yumurtalarının çevresine koza yapıyor. Örümcekler ağ yapmak için özelleşmiş üç çift örü memesine, her örü memesinde de sayıları yaklaşık 2 ile 50.000 arasında değişen ince kanalcığa sahip. Bu kanalcıklardan dışarı çıkan yapışkan ve sıvı madde havayla temas edince iplikçik halini alıyor. Örümcek iki arka bacağının üzerindeki özel taraklarla salgılanan ipliği eğiriyor. Birçok örümcek, ağlarını protein kaynağı olarak kullanıyor ve ağın ana iplik dışındaki bölümünü yiyor. Dolayısıyla ağ yapımı periyodik olarak tekrarlanıyor.

Ağ yapacak olan bir örümcek önce yüksek bir yere tırmanır ve ağın ucunu bulunduğu noktaya yapıştırır. Sonra ipek iplik yardımıyla aşağı süzülerek ulaştığı bir dalla bağlantı kurar. Ardından o iplik üzerinde gidip gelerek ağı kalınlaştırır. Daha sonra vücudundan çıkmakta olan ipliğin bir ucunu ilk ipliğe tutturarak kendini boşluğa bırakır. Bu yolla birkaç gidiş gelişte ağın iskeleti meydana gelir. Bundan sonra iskeletin merkezi çevresinde halkalar yaparak ağı tamamlar.

Genetiği değiştirilen bitkilerden elde edilen örümcek ipeği ile dokunan kemer. İpek proteinlerinin üretiminden sorumlu örümcek genlerinin bitkilere transfer edilmesi ve bitkilerin örümcek ipeği proteinini üretmesi ile ilgili çalışmalar sürüyor. (Solda)



SPL



SP

Genetiği değiştirilen bitkilerden üretilen örümcek ipeği yığını

New York'taki Amerikan Doğa Tarihi Müzesi'nde 1 milyondan daha fazla sayıda örümcekte elde edilen ipek fiberleriyle dokunmuş 3 x 1,2 metre büyüklüğündeki çok ender rastlanır bir kumaş görünleri büyülüyor. Yetmiş kişi, dört yıl boyunca altın sarısı renkte ipek fiberi üreten *Nephila clavipes* cinsi örümcek toplarken, 10-15 kişi de her bir örümcekte 24,38 metre örümcek ipeği izole etmiş. Örümceklerin insanları ısırması nedeniyle örümcek toplamak için gönüllü bulmak da hayli zor olmuş. İpek eldesinden sonra, toplanan örümcekler yeniden ipek üretmeleri için doğal hayatlarına bırakılmış.

Üretmek Mümkün mü?

Saç telinden ince, pamuktan hafif ama aynı zamanda çelikten sağlam biyobozunur örümcek ipeğini çok miktarda ve orijinaline eş özellikte üretmenin yolları araştırılıyor. Eğer bu mümkün olursa pek çok sanayi dalında ve tıpta kullanılması planlanıyor.

Aslında örümcek ipeği elde etmenin olası üç yolu var. Birincisi ipeği örümceklerden özütlemek. Ancak bu çok etkili ve pratik bir yöntem değil. Çünkü toplanan örümcekler bir arada olduklarında birbirlerini yeme eğilimi gösteriyorlar. Bu nedenle bilim adamları kimyasal olarak ya da rekombinant DNA teknolojisini kullanarak örümcek ipeği üretmeye çalışıyor. Örümcek ipeği proteinlerinin aminoasit dizilimleri çözülmüştür, ancak kimyasal olarak örümcek ipeği sentezlemenin zorluğu örümceğin ipeği ürettiği anda ipeğin sıvı olması ve havayla temas eder etmez katı hale dönüşmesidir. Bu süreci çözmek ve laboratuvar da gerçekleştirmek henüz tam olarak başırlamadı. Örümcek ipeğinin yapısında spidroin 1 ve spidroin 2 olmak üzere iki tip protein bulun-



Ürettikleri ipeği toplamak amacıyla *Nephila* cinsi örümcekler karın bölgelerinden özel çerçevelere tutturulmuş. İpek bir tele bağlı olarak küçük bir motor yardımıyla sarılıyor. Bu yöntemle bir örümcekten bir saatte 180 metre ipek elde edilebiliyor.

ması ve bu iki protein üzerinde ayrı ayrı çalışmak gerekmesi yapılan araştırmalarda karşılaşılan zorluklardan bir diğeri.

Rekombinant DNA teknolojisi kullanılarak yapılan araştırmalarda da bazı kısıtlamalar var. Örneğin rekombinant bakteri ve maya kullanılarak ancak az miktarda üretilen ipek proteininin sürekli ve kararlı olması da sağlanamıyor. Dolayısıyla bu yöntemle endüstri uygulama-



1 Kg İpek İçin 1,3 Milyon Örümcek

Çok eskiden beri örümcek ipeğinden birçok alanda yararlanılmış. Antibiyotik özelliğine, yaraların iyileştirilmesini ve kanın pıhtılaşmasını sağlamak gibi özelliklere sahip olduğuna inanılan örümcek ağı, Yunanlılar tarafından kanın akışını durdurmak amacıyla kompres olarak da kullanılıyordu. Yeni Gine'deki bazı kabilelerde örümcek ipeğinden oluşan ağın yağmurdan korunmak için şapka olarak kullanıldığı biliniyor. Endonezyalıların da örümcek ipeğinden dokunmuş kumaşları vardır. Bazı Güney Pasifik Adaları'nın yerlileri de balık avlarken örümcek ağı kullanırmış.

18. yüzyılda Fransa'da yaşamış Bon de Saint-Hilaire örümcek ipeğinden kumaşın, çorap ve eldiven dokunmasının mümkün olduğunu göstermiş, ancak 1 kg ipek elde etmek için 1,3 milyon örümceğe gerek duyulması nedeniyle bunun çok da pratik olmadığı görülmüş. 1709 yılında Fransız doğa bilimci Rene-Antoine Ferchault de Reaumur'un örümceklerin ipek üretiminde kullanılmaları konusunda yazdığı bir makale, o zamanki Çin İmparatoru Kang-he tarafından büyük takdir toplamış ve Çinceye çevirilmiş. 1860'larda, aynı zamanda iç savaşta cerrah olarak görev yapmış olan Burt G. Wilder, *Nephila clavipes* cinsi örümcek ve örümcek ipeği ile ilgili çalışmalarını içeren birçok makale yayımlamış. Hatta örümcek yakalamak için bir mekanizma bile oluşturmuş, ancak o da Bon de Saint-Hilaire gibi yeteri kadar ipek elde etmek için gerekli örümcek miktarının farkına varınca bu işten vazgeçmiş.

larında kullanılabilir üretim yapılması henüz söz konusu değil. Kanada'da bir biyoteknoloji firması örümcek ipeği genini keçilere aktararak ipek liflerini bu yolla üretmeye çalışmış. Keçiden elde edilen sütteki ipek proteini izole edilerek lif haline getirilmiş. Elde edilen ipeğin gerçek örümcek ipeğine benzediği gözlenmiş, ancak 1 litre süttten 2-15 gram ipek elde edilmesi henüz istenilen aşamaya gelinemediğini gösteriyor.

Örümcek ipeği üretiminden sorumlu genleri bakteriye transfer ederek örümcek ipeği proteinlerinin aynıını üretme deneylerini devam ettiren araştırmacılar, proteinlerin ipek ipliklerine dönüşümünü sağladıktan sonra bu ipliklerin mekanik özelliklerini test edecekler. Çabalar, proteinlerin dayanıklılığını arttırmak, doğal ipek proteini ile yapay olarak üretilen ipek proteinleri arasındaki farkları yok etmek ve bakterilerin üretim hızlarını artırmak yönünde.

Bir tarafta yapay örümcek ipeğini endüstriyel kullanım için üretme çabası sürerken diğer taraftan da Max Planck Enstitüsü ve Luther Üniversitesi'ndeki araştırmacılar çeliktten daha sağlam olan örümcek ipeğine az miktarda metal ekleyerek daha da güçlü ve dayanıklı yapıyı başardılar. Topladıkları örümcek ipeklerini vakum tankında kuruttuktan sonra önce metal buharına ardından su buharına maruz bıraktılar. Bu işlemi yüz kez tekrarlarken her tekrar arasında bazı ipek fiberlerini mekanik teste tabi tuttular. Dietilçinko, trimetilaliminyum ve titanyum izopropoksit olmak üzere farklı üç metal kullanan araştırmacılar, metallere maruz bırakılmayan ipek fiberlerine göre metale maruz bırakılanların (özellikle de titanyum kullanıldığında) 8 kat daha güçlü hale geldiklerini gözlemlemişler. Böylece metal eklenerek daha da sağlamlaştırılan ipek fiberlerinden cerrahide kullanılabilir, ileri teknoloji ürünü pek çok tıbbi malzeme ve çok sağlam tekstil ürünleri de üretilebilecek.



Protein Olmasına Rağmen Parçalanmıyor

Bu doğal ürünün şaşırtıcı özelliklerinin kaynağı benzersiz moleküler yapısı.

Farklı türde örümcekler farklı tiplerde ipek üretebiliyor. Ancak örümcek türleri arasında en güçlü ipeğin *Nephila clavipes* ve *Araneus diadematus* türleri tarafından üretiliyor olması nedeniyle bilim insanlarının araştırmaları bu iki tür ve ipekleri üzerinde yoğunlaşıyor. *Nephila clavipes*, 7 farklı salgı bezinden çok çeşitli ipek üretiyor. Draglin ve viscid olarak adlandırılan ipek lifleri ağın merkezindeki ipleri oluşturmak için kullanılıyor.

Örümcek ipeği de diğer tüm ipekler gibi uzun aminoasit zincirlerinden meydana gelen proteinlerden oluşur. Spidroin 1 ve spidroin 2 olarak adlandırılan proteinler draglin ipek liflerinin yapısında bulunur. Bu iki protein yapısının büyük bölümü glisinden (%42) ve alaninden (%25) oluşur, geri kalanı ise tirozin, glutamin, arjinin, serin ve lösin gibi aminoasitler oluşturur. Draglin ipek lifleri, 5-10 aminoasit uzunluğundaki polialanin dizisindeki alanin aminoasitlerinin, glisince zengin aminoasit dizisi boyunca çok iyi bir şekilde düzenlenmesiyle yarı kristal polimerlerden oluşur. Bu alanin aminoasitleri proteinlerin ikincil yapısı olan ve proteine direnç kazandıran beta yaprak konformasyonunu oluşturarak kristal bölgeyi meydana getirirler. Beta yaprak konformasyonu hem spidroin1 hem de spidroin 2 proteinlerinin yapısında yer alır.

Örümcek ipeği protein yapısında olmasına rağmen diğer proteinler gibi doğadaki küf ve bakteriler tarafından parçalanmaz. Bu sürekliliğin nedeni örümcek ipeğinin yapısındaki pirolidin, potasyum hidrojen fosfat ve potasyum nitratdır. Pirolidin ortamdaki suyu bağlayarak ipek ipliklerinin kurumasını önler. Potasyum hidroksit fosfat ve potasyum nitrat ise ipek ipliklerinin asidik ve tuzlu olmasını sağlayarak küf ve bakteri çoğalmasını engeller.



Argiope bruennichi örümceğinin ipek lifleri

Tıp Ve Endüstride Devrim Yaratacak

Bir bilim ve teknoloji firması, örümcek ipeğinin kimyasal formülünden yola çıkarak, birçok uygulama alanı olan, sağlamlığı ve esnekliğiyle örümcek ipeğinin üstün fiziksel özelliklerine en çok yaklaşan, ama onun kalite açısından biraz daha düşük bir benzeri olan kevları (yani yapay elyaf) üretmiş. Ancak örümcek ipeği kevlardan daha sağlam ve dayanıklı olmasının yanı sıra biyobozunur ve çevre dostu da olduğundan, birçok bilim adamı ve teknoloji firması ipek üzerindeki araştırmalarını sürdürüyor.



Henüz bilimsel olarak kanıtlanmış olmasa da araştırmacılar hayvanlar üzerinde yaptıkları çalışmalarda örümcek ipeğinin normalde vücut içerisine yerleştirilen implantların sebep olduğu gibi bir reaksiyona sebep olmadığını görmüşler.

İşte bu nedenle örümcek ipeğinin doku uyumlu yapay tendon ve bağların üretiminde, hassas ameliyatlara için biyobozunur ve alerji yapmayan ameliyat ipliklerinin üretiminde, ilaç salınım sistemlerinde, damar yaralanmalarının tedavisinde ve daha birçok ileri teknoloji ürünü tıbbi malzemenin üretiminde kullanılabileceği düşünülüyor.

Sabahları çiğge maruz kalan örümcek ağının yüzeyi, ipek liflerinin büzülmesi ile küçülür ve dolayısıyla ağın hasar görmesi önlenmiş olur. Bilim adamları örümcek ipeğinin bu özelliğinden yola çıkarak ıslanıldığında %50 oranında büzülme özelliği olduğunu keşfettiler ve şimdi bu mekanizmayı yapay kas oluşturmak için kullanmaya çalışıyorlar. Süper büzülme olarak tanımlanan bu özelliği ile örümcek ipeği, tıpkı insan kası gibi, belli bir oranda hareket edebilme kabiliyetine sahip. Bu çalışma başarıyla sonuçlanırsa ipeğin robot ve mikroçip teknolojisinde kullanılması da söz konusu olabilir.

Bir malzemenin sağlamlığı ve esnekliği, endüstriyel alanda kullanım şansı bulması açısından çok önemli. Bu özelliklerinden dolayı, ekonomik açıdan da avantajlı olabilecek miktarda yapay örümcek ipeğinin elde edilmesi dört gözle bekleniyor.

Örneğin düşük sıcaklıklarda esnekliğini koruma özelliğine sahip olduğu için, farklı sıcaklıklara maruz kalan paraşüt kumaşlarının üretiminde yapay örümcek ipeğinin kullanılmasının ideal olacağı düşünülüyor. Sürdürülmekte olan bilimsel çalışmalar doğrultusunda, örümcek ipeğinden süper dayanıklı tekstil ürünleri, hafif, esnek ve kurşun geçirmez zırh, çelik yelek, miğfer, paraşüt ipi, gemileri bağlamak için hafif halat, lif optik ve elektromekanik kabloları, uçak ve gemi sanayinin dış yapı malzemelerinin üretilmesi de planlanıyor.

Yapılan araştırmalar konusunda araştırmacılar ve bilim-teknoji firmaları arasında bir rekabet olduğu düşünülüyor. Bu nedenle genellikle bu konuda yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar çok da fazla paylaşılmıyor. Ama çabalar gösteriyor ki, yakın bir gelecekte hayatımızın birçok alanında istenilen miktarda ve özellikle üretilen örümcek ipeğini görebileceğiz.

Nephila cinsi örümcek ipeğinin araştırmada kullanılmak üzere bir makaraya sarılma düzeneği

Kaynaklar

Lewis, R., "Unraveling the weave of spider silk: one of nature's most wondrous chemical structures is being dissected that it can be used in human inventions." *BioScience*, cilt 46, s.636-639, 1996.
Berenbaum, May R. "Spin control (spider silk)" *Sciences*, cilt 35, s.13-16, 1995.
Graham, D., "Synthetic spider silk" *Technology Review*, cilt 97, s.16-18, 1994.
<http://www.physorg.com/news62944656.html>
<http://www.af.mil/news/story.asp?id=123088041>
<http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96%C3%BCmcek>

<http://physicsworld.com/cws/article/news/2006/09/27/spider-silk>
<http://www.mhhe.com/biosci/genbio/life/articles/article1.mhtml>
<http://news.discovery.com/tech/spider-silk-artificial-muscle.html>
<http://www.sciencedaily.com/releases/2006/10/061009031730.htm>
<http://www.accessexcellence.org/WN/SU/spider.php>
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/5172422.stm>
<http://www.wired.com/wiredscience/2009/09/spider-silk>