

Sanat Bilim ile Buluşunca: DNA Origami

Kemal Çetin ve Adil Denizli

Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü

Origami, Japonca "ori" (katlamak) ve "kami" (kâğıt) sözcüklerinin birleşiminden oluşan kâğıt katlama sanatına verilen addır [1]. Origami herhangi bir makas, bıçak, zımba veya yapıştırıcı kullanmadan kâğıdın sadece katlanarak çeşitli şekiller oluşturulması sanatıdır. Origaminin başlangıcıyla ilgili bilgiler çok kısıtlıdır. Japon işi olarak bilinmesine rağmen çeşitli kaynaklarda ilk olarak Çin'de yapıldığı iddia edilmektedir. Aslında kâğıt katlama sanatının kâğıdın ilk yapıldığı yerden çıkması normal olarak görülebilir. Origami her ne kadar ilk olarak Çinliler tarafından yapılmış olsa da Budist rahipler tarafından Japonya'ya götürüldüğü düşünülmekte olup burada geliştirilip ismini de Japonca'dan almıştır.

20. yy.'da origamiyi bir el sanatından yaşayan bir sanata dönüştüren Akira Yoshizawa 1989 yılında tahmine göre 50.000'den fazla model oluşturmuştur [2].

Bunun ötesinde Yoshizawa origami için nokta ve çizgilerden oluşan bir kod; yani aslında origaminin dilini oluşturdu. Origami bir sanattır evet, ancak günümüzde sanat olması ile birlikte teknolojiye de "origami mantığı" kullanılmaya başlanmıştır. Yoshizawa'nın origaminin dilini oluşturması ile birlikte insanlar matematik prensiplerini sanata uyguladı ve bu da origaminin teknolojiye kullanılmasına olanak sağladı. Örneğin, Japon uzay programındaki uzay uyduları

için büyük güneş paneli dizilerinde Japon astrofizikçi Koryo Miura tarafından öngörülen origami kullanılmıştır [3]. Uzay uyduları fırlatma öncesinde katlanmış ve daha sonra uzaya yayılmıştır.

Origaminin teknolojiye kullanımı ile nanoteknoloji ve biyoteknolojinin kesiştiği noktada yeni bir origami türü ortaya çıkmıştır: DNA ORİGAMI...

Deoksiribonükleik asit (DNA) insanlardaki ve virüsler dahil hemen hemen tüm diğer organizmalardaki kalıtsal materyaldir. DNA, ökaryot hücrelerin çekirdeğinde bulunur. Bununla birlikte mitokondri kendi DNA'sına (mitokondriyal DNA) sahiptir. DNA'daki bilgiler, adenin (A), guanin (G), sitozin (C) ve timin (T) olarak dört kimyasal bazdan oluşan bir kod olarak saklanır.

DNA yaklaşık 40 yıldır nano ölçekteki nesnelerinin akılcı tasarımı ve inşası için kullanılıyor. DNA origami, nano ölçekte iki veya üç boyutlu şekiller oluşturmak amacıyla DNA'nın nano ölçekte katlanmasıdır. DNA'nın tamamlayıcı baz çiftleri arasındaki etkileşiminin özgün olması sayesinde DNA yararlı bir yapı malzemesi olarak görülmektedir [4]. DNA, diğer moleküllerin tutunabileceği iskeleyi oluşturmak için veya kendi başına yapılar oluşturmak için uygun olan iyi anlaşılabilir bir malzemedir. DNA'nın katlanma işlemi kısa "zımba" DNA ipliklerin etkisiyle

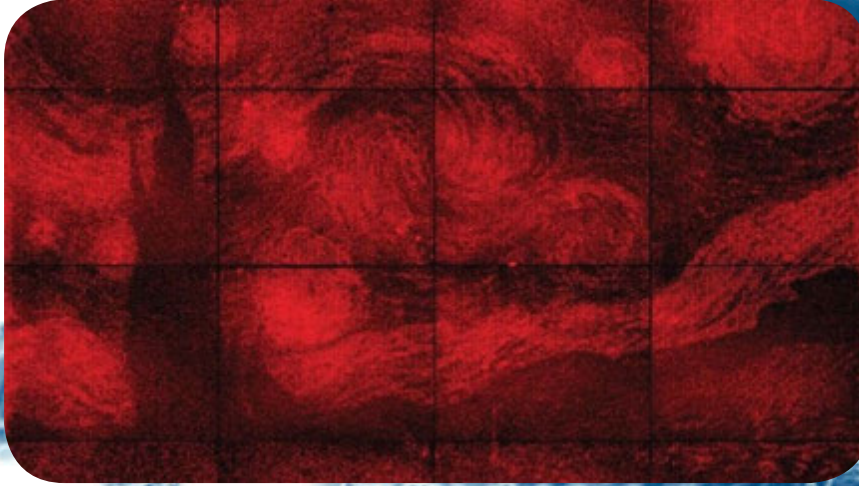
sağlanır [5]. Literatürdeki ilk DNA origami yapıları, üçgen, dikdörtgen, yıldız ve bir 'gülen yüz' gibi keyfi şekilleri de içeren iki boyutlu yapılarıdır [5]. Günümüzde ise farklı DNA origamileri tasarlamak için çeşitli yazılımlar bile mevcuttur. Örneğin Cadnano, üç boyutlu DNA origami nanoyapılarının tasarım sürecinde kullanılan bir yazılımdır [6].

DNA origami genel olarak şu basamaklardan oluşur [7]:

1. Yapmak istenilen şeklin düşünülmesi, hayal edilmesi
2. Yapı iskelesi-zımba şablonununun tasarlanması, tasarımın değerlendirilmesi ve zımba dizilimlerinin belirlenmesi (Cadnano vb. yazılımlardan faydalanılır)
3. DNA yapı iskelesinin hazırlanması ve zımba oligonükleotidlerinin sentezlenmesi
4. Zımba oligonükleotidlerin ortak bir havuzda toplanması
5. Moleküllerin kendilerini oluşturması için tepkimenin başlaması
6. Katlanma kalitesinin analiz edilmesi ve ortaya çıkan şekillerin saflaştırılması
7. Şekillerin ayrıntılarının değerlendirilmesi.

DNA Origami Uygulamaları

Son zamanlarda, DNA origami, geniş bir uygulama yelpazesine DNA nanoteknolojisinde en umut verici yapı tekniklerinden biri olarak ortaya çıkmıştır. Dünyadaki farklı araştırma grupları



DNA origaminin çeşitli uygulamaları üzerinde çalışmaktadırlar. Örneğin, Harvard Üniversitesi Wyss Enstitüsündeki araştırmacılar, laboratuvar testlerinde DNA origami kullanarak kendiliğinden düzenlenen ve kendiliğinden tahrip olan ilaç dağıtım sistemlerini geliştirdiler [8]. Barllan Üniversitesi Nanoteknoloji ve İleri Malzeme Enstitüsü ve Harvard Üniversitesi Wyss Enstitüsü'nden araştırmacılar DNA origami ile nanorobotların bilgisayar kapasitelerini ve canlı organizmada önceden programlanmış görevleri tamamladıklarını gösterdiler [9].

Zadegan ve arkadaşları açılıp kapanabilen bir kapağa sahip içi boş DNA kutusu origami yapısını ürettiler [10]. Bu yapının tek bir molekülün işlevini kontrol etmek, kontrollü ilaç salımı ve moleküler hesaplama gibi geniş bir uygulama yelpazesine sahip olduğunu belirttiler. Pekin'deki Nanobilim ve Teknoloji Ulusal Merkezi'ndeki ve Arizona Devlet Üniversitesi'ndeki araştırmacılar, sıklıkla kullanılan bir antikanser ilacı olan Doxorubicin (DOX) için DNA origami salım sistemi geliştirdiklerini bildirdiler [11]. DOX kovalent olmayan bağlarla origami yapısına bağlandı ve yüksek miktarda yüklemeye sağlandı.

Caltech'teki bilim insanları Van Gogh'un "Yıldızlı Gece" eserinin minik bir versiyonunu DNA origami ile yeniden yaptılar [12].

Uygulamalar bunlarla sınırlı kalmıyor. Gelecekte origami sanatının elektronik devrelerdeki günümüz çiplerinin yerini alacağı düşünülüyor. Öte yandan origami sanatının DNA'dan başka biyolojik moleküller üzerinde de kullanılabileceği tartışılıyor. Örneğin, Slovenya'daki Ulusal Kimya Enstitüsündeki araştırmacılar DNA origami ile görülen yapılara çok benzer yapılar oluşturmak için protein katlanmasının mantıklı tasarımı üzerinde çalışıyorlar [13].

Origami sanatının moleküler düzeyde tasarlanarak bilimsel araştırmalarda kullanılması heyecan verici. Bakalım gelecekte origami sanatı ile tasarlanmış ilaçları; ya da mikroçipleri DNA-temelli bilgisayarları görebilecek miyiz? Belki de hayallerimizi daha geniş tutmalıyız!

Gerçekten heyecan verici...

Kaynaklar

- [1] <http://www.gorselsanatlar.org/archive.php?topic=25765.0>
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Akira_Yoshizawa
- [3] Miura, K., (1985), Method of packaging and deployment of large membranes in space, Tech. Report 618, The Institute of Space and Astronautical Science
- [4] Zadegan, R.M.; Norton, M.L., (2012). "Structural DNA Nanotechnology: From Design to Applications". Int. J. Mol. Sci. 13: 7149-7162. doi:10.3390/ijms13067149.

[5] Rothmund, P. W. (2006). Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns. Nature, 440 (7082) 297-302.

[6] <http://cadnano.org/>

[7] Castro, C.E., Kilchherr, F., Kim, D.N., Shiao, E.L., Wauer, T., Wortmann, P., Dietz, H., (2011). A primer to scaffolded DNA origami. Nature Methods, 8 (3) 221-229.

[8] <http://www.fiercepharma.com/r-d/dna-origami-could-allow-for-autonomous-delivery>

[9] Amir, Y., Ben-Ishay, E., Levner, D., Ittah, S., Abu-Horowitz, A., & Bachelet, I., (2014). Universal computing by DNA origami robots in a living animal. Nature nanotechnology, 9 (5) 353-357.

[10] Zadegan, R.M., Jepsen, M. D., Thomsen, K.E., Okholm, A.H., Schaffert, D.H., Andersen, E.S., Kjems, J. (2012). Construction of a 4 zeptoliters switchable 3D DNA box origami. ACS Nano, 6 (11) 10050-10053.

[11] Jiang, Q., Song, C., Nangreave, J., Liu, X., Lin, L., Qiu, D., Ding, B. (2012). DNA origami as a carrier for circumvention of drug resistance. Journal of the American Chemical Society, 134 (32) 13396-13403.

[12] Gopinath, A., Miyazono, E., Faraon, A., Rothmund, P. W. (2016). Engineering and mapping nanocavity emission via precision placement of DNA origami. Nature.

[13] Peplow, M. (28 April 2013). "Protein gets in on DNA's origami act". Nature. doi:10.1038/nature.2013.12882