



# Üretimde 4. Boyut

Zamanla Son Şeklini Alabilen Çok Parçalı Yapılar





Dünyanın en büyük yapılarının kendiliğinden bir araya gelerek son şekillerini aldığını ya da üretildikleri malzemelerin özelliklerini değiştirebildiklerini hayal edebilir misiniz? Kendini oluşturan parçalar karıştırıldığında bir araya gelen bir mobilyayı ya da oyuncağı? Bu fikir her ne kadar şu ana kadarki bilgilerimize aykırı olsa da kendiliğinden kurulma olgusu proteinlerde, kar tanelerinde ve virüslerde olduğu gibi moleküler seviyede bilinen bir süreç.

Çevremizdeki binalar, makineler, bilgisayarlar ve insan yapımı neredeyse her şey giderek daha karmaşık hale geldikçe bu yapıların kurulumundaki zorluk da artıyor. Bir milyondan fazla parçadan oluşan bir gökdelenin inşası son derece karmaşık görünse de, yaklaşık üç milyar temel baz içeren bir DNA molekülü kendini yaklaşık bir saatte kopyalayabiliyor. Yani doğada daha karmaşık sistemler daha verimli ve hatasız bir şekilde kendiliğinden kurulma sürecini gerçekleştiriyor.

Kendiliğinden kurulma, birbirinden bağımsız parçaların farklı etkileşimler sonucu, bir yapı oluşturmak üzere kendiliğinden bir araya gelmesi olarak tanımlanabilir. Kendiliğinden kurulabilen yapılarda amaç nano ölçekte programlanabilir ve uyarlanabilir malzemeler kullanarak kendi kendini inşa edebilen yapılar tasarlamak. Ancak doğada moleküler düzeyde gerçekleşen bu süreç makro ölçekte nasıl gerçekleştirilebilir?

MIT Üniversitesi Self-Assembly Lab araştırmacıları doğal moleküler süreçleri ve bilgisayar yazılımlarını çözümlenerek, kendiliğinden kurulan yapılar için akıllı bileşenler geliştirmeye çalışıyor. Günümüzde nano ölçekte sağlanan büyük gelişmeler sayesinde şekillerini ve sahip oldukları özellikleri değiştirebilen malzemeler ve üç boyutlu yapıların tasarımına imkân veren yazılımlar üretmek mümkün. Bunun için ilk olarak karmaşık yapıların basit bileşenlerine ayrılarak çözümlenmesi, yani bu yapıların DNA'larının çıkarılması gerekiyor.

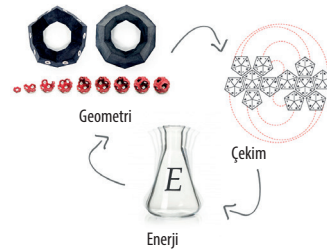


Daha sonra bu bilgiler kullanılarak şekil değiştirebilen, programlanabilir parçalar geliştirilmeli. Ayrıca parçaların bir araya gelmesini sağlayacak bir çekim kuvvetine -manyetik ya da elektrostatik- ve bu sürecin etkinleşmesini sağlayacak bir enerji kaynağına ihtiyaç var. Örneğin Self-Assembly Lab araştırmacılarının geliştirdiği farklı parçalardan oluşan zincir benzeri yapıda, parçaların her biri belli açılarda eğimli ve bu nedenle de farklı doğrultularda yönlenebiliyor. Bu parçalardan oluşan zincir birleştirildiğinde yapı programlanmış oluyor. Pasif bir kaynaktan enerji sağlandığında -örneğin sallayarak- yapı programlandığı gibi kıvrılıp son şeklini alıyor.

Kendiliğinden kurulma teknolojisinde parçaların geometrisi yapının kendiliğinden kurulumunun başarılı bir şekilde gerçekleşmesini sağlıyor. Yapıyı oluşturan bileşenlerin tasarımı, parçaların kendiliğinden yönlenebilmesini sağlayan etkileşimlerin meydana gelmesine olanak veriyor. Böylece yapı sonuçta pek çok olası şekilden en kararlı olan biçimi alıyor. Daha fazla sayıda doğru etkileşimin olması, daha güçlü bir yapının ortaya çıkmasını sağlıyor. Ancak parçaların uygun bir şekilde etkileşime girebilmesi için sürecin aktif hale gelmesini sağlayan enerjinin çok küçük olması gerekli. Çünkü verilen enerjinin fazla olması -örneğin çok hızlı karıştırmak- bileşenlerin dağılmasına neden olabilir.



Düz bir zincir yapısının kendiliğinden bükülerek yeni bir şekil oluşturmuş hali



Kendiliğinden kurulma teknolojisinin temel bileşenleri

Self-Assembly Lab araştırma grubunun lideri Skylar Tibbits, kendiliğinden kurulumun temel mekanizmalarını aydınlatmaya çalışıyor.



## Düz Bir Levhadan 3 Boyutlu Yapıya

Katlanarak kendiliğinden kurulan yapılar üretim süreçleri için hızlı ve düşük maliyetli bir alternatif sunuyor. Ancak önce kendiliğinden katlanmanın hangi yollarla gerçekleştirilebileceğini anlamak gerekiyor. İki boyutlu yapıların bağlantı noktalarında kullanılan akıllı malzemeler sayesinde kendiliğinden katlanma süreci ısı, manyetik ya da elektrik alan, görünür ya da morötesi ışık gibi bir enerji kaynağı ile harekete geçebiliyor.

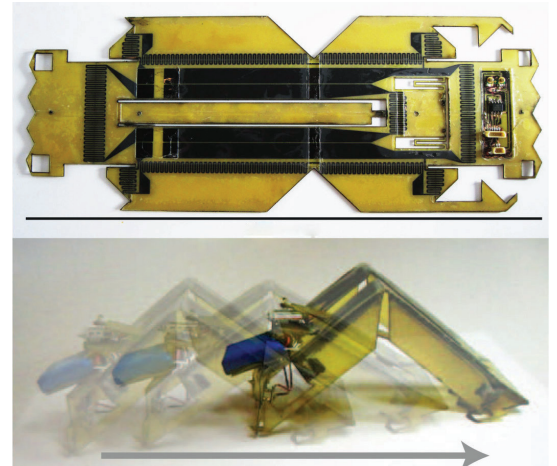
Harvard Robot Laboratuvarı araştırmacıları origamide olduğu gibi iki boyutlu malzemelerin katlanarak üç boyutlu bir yapı oluşturduğu, hareket edebilen bir robot üretti. Robot, enerji verilerek uyarıldığında şeklini değiştirebilen malzemeden üretilmiş bağlantı noktaları içeren düz levhalar olarak üretiliyor. Polistiren malzemenin kullanıldığı bağlantı noktaları, ısıtıldığında şekil değiştirerek iki boyutlu yapının katlanmasını sağlıyor. Üretilen robot saniyede iki milimetre hızla hareket edebiliyor.

## Doğadan İlham Alan Tasarımlar

Kendiliğinden kurulma teknolojisindeki aşılması gereken zorluklardan biri de birbirinden bağımsız parçalardan oluşan bir yapının uyumlu çalışmasını sağlayabilmek. Zürih Federal Teknoloji Enstitüsü (ETH) araştırmacıları çok pervaneli bir helikoptere benzeyen ve kendiliğinden bir araya gelerek uyumlu bir şekilde havalanıp hareket edebilen multikopter adını verdikleri bir robot projesi geliştirdi. Küçük altıgen parçalardan oluşan yapı bir araya geldikten sonra havalanıyor. Bu projede robot tek bir yapı şeklinde kontrol ediliyor. Bunun yerine her bir parça grup içindeki yerine kendi karar vererek kontrollü bir uçuş sağlayabiliyor. Multikopteri oluşturan parçalar, aralarındaki uyum sayesinde, değişik şekillerde bir araya gelerek farklı yapılar oluşturabiliyor.

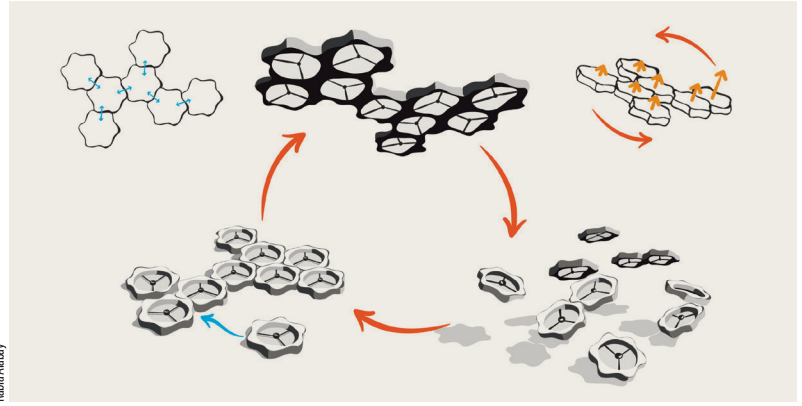
Farklı yönlere hareket edebilen her bir parça, aralarındaki temas noktaları sayesinde ortak bir nokta bularak bir araya gelmek üzere programlanmış. Kızılötesi ışınlar veri aktarımı sağlıyor. Bütün parçalar bir araya geldiğinde sensörler sayesinde birbirlerinden ayrılmıyor ve multikopter pervanelerini çalıştırarak havalanıyor. Robotun kendi etrafında dönmesini engellemek amacıyla multikopteri oluşturan parçaların yarısının pervaneleri saat yönünde dönerken diğerlerinininki saat yönünün tersi yönde hareket ediyor. Yekpare olarak yerden havalanan yapı, içindeki sensörler sayesinde eğim ve dönüşleri algılayabiliyor. Her parça, pervanesinin hızında küçük ayarlamalar yaparak doğru yönlendirmede kalabiliyor. Kızılötesi bağlantı, robot parçaların yön ve eksenlerine karar vermesine yardımcı oluyor.

Multikopter projesini gerçekleştiren araştırmacılar farklı parçalardan oluşan yapıların kontrol problemini çözmek için farklı yöntemler geliştirdi. Kendini oluşturan parçaların her birinin kendi ağırlık merkezini bağımsız olarak kontrol edebildiği küp şeklindeki yapı sayesinde -parçalar bir araya geldiğinde düzensiz bir şekil oluştursalar bile- bir yapının dengesinin nasıl sağlanabileceği anlaşıldı.



Robot tırtılın iki boyutlu hali (sağ üstte) ve kendiliğinden katlanarak aldığı üç boyutlu şekil (sağ altta)





Rahia Alahay

Aslında bu teknolojinin izlerine doğada rastlamak mümkün. Örneğin bir lideri olmayan arı ya da karınca kolonilerini oluşturan bireyler, birlikte verimli bir şekilde hareket edebiliyor. Kendine düşen görevi yerine getirmek üzere programlanmış her bir işçi arı, bir yapının inşası ya da yiyecek bulma gibi ortak bir amaç için bir bütünün parçası olarak hareket edebiliyor.

Doğadan ilham alan ve farklı parçaların bir araya gelmesiyle oluşmuş robotlar, uzay görevleri gibi zorlayıcı koşullarda kullanılabilir. Örneğin çok büyük kargoların fırlatılmasını gerektiren uzay görevlerinde, farklı parçalardan oluşan robot grupları, bu teknoloji sayesinde çalışacakları ortamda kendiliğinden bir araya gelerek görevlerini yerine getirebilir.

## Moleküler Seviyede Lojistik: DNA Nanorobot

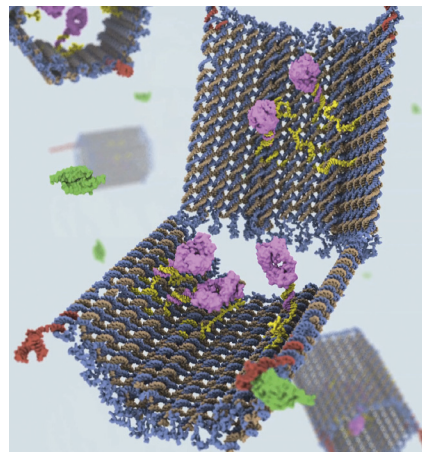
Kendiliğinden kurulumun büyük ölçekli uygulamalarının dışında Harvard Üniversitesi Wyss Enstitüsü'nden araştırmacılar Autodesk Biyo-Nano-Programlanabilir Malzemeler Grubu ile birlikte hücrelere moleküler kargolar taşıyabilen programlanabilir DNA nanorobot projesi geliştirdi. Hücre yüzeyindeki değişimlere duyarlı bu yapı, hedef molekülü algıladığında etkinleşerek, taşıdığı yükü hedefe ulaştıracak biçimde yapısını değiştirebiliyor. Bu cihaza farklı tür kargolar yüklemek de mümkün. Belli bir hedef moleküle bağlanabilme özelliğine sahip, aptamer yapıları içeren programlanmış akıllı kapı yapısı sayesinde, cihaz farklı değişimlere cevap verebiliyor. Yapılan deneylerde farklı bileşimde antikorlar yüklenen nanorobot, doku örneklerinde bulunan iki tür hücreye karşı kullanıldı.

DNA iplikçiklerinin katlanarak üç boyutlu bir yapı oluşturduğu nanorobot projesindeki yapı, ikiye ayrılabilen bir silindire benziyor ve özel DNA

yapıları tarafından kapalı tutuluyor. Hastalık işareti olan hücre yüzey proteinlerini bulma ve tanıma özelliğine sahip programlanabilir nano tedavi yöntemi, vücudun kendi bağışıklık sistemini taklit ediyor. Çığır açıcı bu gelişme ileride yan etkileri olan tedavi yöntemlerinin, örneğin kemoterapinin yerini alabilir.

Üç boyutlu baskı yöntemi ve kendiliğinden kurulan yapılar özellikle montajın zorlayıcı ve maliyetli olduğu uygulamalar için önemli kolaylıklar sağlayabilir. Ayrıca düz yapıların depolama ve nakliye kolaylığı nedeniyle lojistik açıdan bazı avantajları var. Kendiliğinden kurulan yapıların gelecekte sadece daha büyük değil aynı zamanda daha akıllı olması bekleniyor. Dijital bilginin depolanabildiği parçalardan oluşan yapılar belki de bu teknolojinin gerçekleşmesini sağlayacak.

Farklı şekillerde bir araya gelebilen multikopter, parçaları arasındaki uyum sayesinde kontrollü bir uçuş gerçekleştirebiliyor.



DNA nano robotun özel DNA yapıları tarafından açılmış hali

### Kaynaklar

- <http://sap.mit.edu/resources/portfolio/future/>
- <http://www.sjet.us/SJET-MIT.html>
- <http://bioselfassembly.net/>
- [http://www.ted.com/talks/skylar\\_tibbits\\_the\\_emergence\\_of\\_4d\\_printing.html](http://www.ted.com/talks/skylar_tibbits_the_emergence_of_4d_printing.html)
- <http://wyss.harvard.edu/viewpressrelease/75/>
- Douglas, S. M., Bachelet, I., Church, G. M., "A Logic-Gated Nanorobot for Targeted Transport of Molecular Payloads", *Science*, Cilt 335, Sayı 6070, s. 831-834, 2012.
- <http://www.gizmag.com/distributed-flight-array-self-assembling-multicopter/28380/>
- Felton, S. M., Tolley, M. T., Onal, C. D., Rus, D., Wood, R. J., "Robot Self-Assembly by Folding: A printed Inchworm Robot", *2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2013.