

3 Boyutlu Baskı Doğa Dostu Olabilir mi?

R. P. Siegel ²

Can 3-D Printing Go Green? ¹

3 Boyutlu baskının olumsuz yönleri; tehlikeli kimyasallar, plastik atıklar ve çok yüksek enerji tüketimi... Aşağıda detayları yer alan plan, 3 Boyutlu baskıyı doğa için daha temiz bir hale getirebilir

İki yıl önce Tasarım yazılımı devi Autodesk, alışılmadık bir hamle yaptı.

Autodesk firmasının bir zamanlar sadece blokları bir araya getiren Bilgisayar Destekli Çizim (CAD) yazılımı, mühendislerin yeni mikro ölçekli karmaşık geometrileri tasarlamalarına izin verebilecek bir düzeye evrimleşti. Bu geometriler sadece 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak imal edilebilmektedir. Firma, aditif imalat iş akışlarını mümkün olduğunca yakından takip ederek müşterilerinin istek ve ihtiyaçlarını anlamak istemektedir. Autodesk'te bir tasarımcı olarak çalışan Shalom Ormsby, "bunu anlamanın en iyi yolu kendi donanımlarımızı yapmak" diyor.

Firma bir sıçrama gerçekleştirdi ve ilk üretiminde kaliteli bir 3 boyutlu yazıcı olan Ember'ı imal etti.

Fakat bu 3 boyutlu yazıcıyı yapmış olmak Autodesk için tek başına yeterli olmayacaktı. Autodesk bu yazıcının sürdürülebilirlik performansı ile de gurur duyabilirdi. Sadece yenilenebilir enerji kullanarak geri dönüşüme katkı sağlamaktaydı ve binalar, imalatlar ve altyapı tesisleri için sürdürülebilir çözüm örnekleri sunan bir web sitesine sahipti.

Tasarımcıların enerji, malzeme ve su ile ilgili sürdürülebilir seçimler yapmalarına yardımcı olmak için yazılıma doğrudan ürün yaşam döngüsü analizi – bir ürünün etkisinin beşikten mezara analizi – de dahil olmak üzere bir ekolojik anlayış yerleştirilmekteydi.

Autodesk, 3 boyutlu baskının bir fırsat yarattığının, fakat aynı zamanda bir problem oluşturduğunun farkındaydı.

3 boyutlu yazıcılar artık daha da küçülmekte ve ucuzlamaktaydı; kullanım kolaylığına ve artan bir popüleriteye sahipti. Çevrimiçi gruplar ve yerel imalatçılardan oluşan ve büyümekte olan bir ima-

¹ Mechanical Engineering - The Magazine of ASME dergisinin 138. sayısında (Ekim 2016) yayımlanan yazı, Dilan Pamuk tarafından dilimize çevrilmiştir.

² New York'un Rochester kentinden bir teknoloji yazarı.



lat hareketi büyük bir istekle bu teknolojiye uyum sağladı. Şimdi ticari uygulamalar başlıyor. Destekleyiciler, yakında herkesin neredeyse her şeyi her yerde üretebileceğini söylüyorlar.

Aditif imalat, imalatı daha sürdürülebilir yapmaktadır. Çünkü, geleneksel eksiltmeli (subtractive) yöntemlerden çok daha az israf oluşturmaktadır, yerel olarak üretilen ürünlerin tedarik zincirlerini kısaltmaktadır, yakıt kullanımını ve taşımadan kaynaklanan karbon kirliliğini azaltmaktadır. Diğer taraftan, aditif imalat da yeni sorunlara sebep olmaktadır.

Biyomimikri Enstitüsünün kurucusu ve Biyomimikri (Biomimicry) kitabının yazarı Janine Benyus, “3 boyutlu baskının biyolojik olarak parçalanamayan plastik nesnelere ve atıkların tüketimini hızlandırdığını” yazdı. Çünkü 3 boyutlu yazıcılar yüksek sıcaklıkta çalışıyorlar ve çok fazla enerji tüketiyorlar: 3 boyutlu bir ev yazıcısı bir masaüstü bilgisayar kadar çok enerji tüketmektedir. Bu durum yerel enerji ağları üzerinde yüksek etkiye neden olmaktadır. Dahası, Janine Benyus, 3 boyutlu yazıcıların tedarik zincirindeki toksinler ve polimer reçinelerindeki kimyasalları içermesi nedeniyle gerek insan sağlığı, gerekse de çevre açısından tehlikeler oluşturduğunu söylemektedir.

Autodesk, 3 boyutlu yazıcısı Ember’ı 2014 yılında piyasaya sürdüğünde, kalça, diz veya kalp içine nakledilebile-

cek, kendi plastik nesnelere üretmek üzere tasarlanmış bir cihaz ürettiğinin farkında olduğu kadar yürümeye yeni başlayan çocukların bu nesnelere eline alabileceğinin ve hatta ağızlarına götürülebileceğinin ya da akarsular gibi temiz su kaynaklarını çevreleyen kanallara atılabileceğinin de farkına varmıştı.

Autodesk’in sürdürülebilir tasarım programının yöneticisi Dawn Danby, aditif imalat dünyasına çok fazla yatırım yapmaya başladıklarında, özellikle de ilk zamanlarda, bu endüstriyi nasıl daha sürdürülebilir kılacakları ve desteklemeye nasıl devam edeceklerine ilişkin çok sayıda soru ile karşılaştıklarını hatırlıyor.

Autodesk, plastik atıkların ve toksik maddelerin çoğalmasını zamanla önleyerek 3 boyutlu baskıyı daha sürdürülebilir kılacak mıydı? Danby ve arka-

daşları bunu başarmak için çabalamaya karar verdiler.

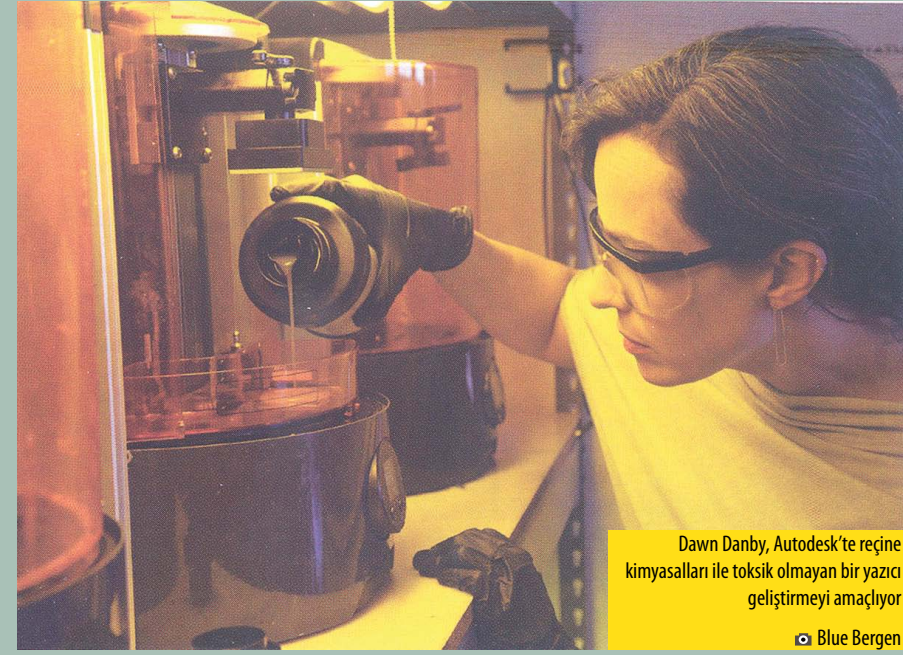
Daha Doğa Dostu Çözümler

Autodesk, 3 boyutlu yazıcıların enerji tüketimini nasıl azaltacağını ve atıkları engellemek için paketleme miktarını nasıl azaltacağını bilen personele sahipti; fakat, kimyasal ve toksikler konusunda, yazıcının hammadde olarak kullandığı çeşitli reçineleri geliştirecek ve onları doğru bir şekilde değerlendirecek uzman personel eksikliği yaşamaktaydı.

Danby, bu alanda onlara yardım etmesi için Berkeley Yeşil Kimya Merkezi (BCGC – Berkeley Center For Green Chemistry) yöneticisi Tom McKeag’a ulaştı. McKeag, bir peyzaj mimarı ve eğitimcisiydi. Ne bir bilim adamı ne de mühendis olduğunu düşünüyordu; ancak, kendisini ürün tasarımı ve imalatı konusunda eğitmeyi başarmıştı. Çözüm



“3 Boyutlu yazıcılar çok fazla çeşitliliğe sahip girift plastik parçalar oluşturabilir; ancak, o plastikler imha edilme zamanı geldiğinde nereye gönderilecekler?”



“Aditif imalat dünyasına çok fazla yatırım yapmaya başladığımızda, özellikle de ilk zamanlarda, bu endüstriyi nasıl daha sürdürülebilir kılabileceğimizi ve nasıl desteklemeye devam edeceğimize ilişkin çok sayıda soru ile karşılaştık”

Dawn Danby, Autodesk Sürdürülebilir Tasarım Programı Yöneticisi

geliştirirken doğayı bir model olarak kullanan tasarımcıların, biyolojik esinlenmeli tasarımlarını güçlü bir şekilde destekleyen bir uzmandı.

Tom McKeag, kimya merkezlerinin bulunduğu Bekeley’deki Kaliforniya Üniversitesi’nde 2008 yılından bugüne, biyolojik esinlenmeli tasarımlar ve benzer diğer konularda eğitimler vermektedir. Üç yıldan beri de Biyomimikri Enstitüsü’nin Yönetim Kurulu’nda görev almakta ve biyolojik esinlenmeli tasarım dergisi “3 ayda bir yayımlanan Zigo” dergisinde editörlük yapmaktadır.

McKeag, 2015’ten beri gerçek dünya sorunlarına sürdürülebilir çözümler geliştirmek için kimya, mühendislik ve çevre sağlığı biliminden yararlanan konusunu kapsayan Doğa Dostu Çözümler adlı proje temelli bir disiplinlerarası alanda ortak eğitmenlik (co-

teaching) yapmakta ve öğrenciler yetiştirmektedir.

Ortak olarak ders anlattığı diğer eğitmen olan U. C. Berkeley Halk Sağlığı Okulu’ndan Megan Schwartzman, sınıfta her yıl, sponsor firmalar tarafından ortaya konan problemleri çözme görevini üstlenmiştir. Genel Kaplamalar firması, sınıftan, sprey köpük yalıtımı konusunda daha güvenli formülasyonlar bulmalarını ve Yedinci Nesil Firması kişisel bakım ürünleri için geliştirilmiş koruyucuları talep etti. Levi ise onlardan kırıksız Dockers ürününün bitirme işlemi için daha temiz alternatifler geliştirmeleri talebinde bulundu.

Danby, Autodesk’in “güvenlik ve sürdürülebilirlik alanlarında çıtayı yükseltirken malzemelerde daha fazla yenilik yaratmaya çalıştığını” söylüyor ve ekliyor: “Daha doğa dostu maddeler bulmak istiyoruz; ancak, bunların tam

olarak ne olduğunu da henüz bilmiyoruz” diyor.

McKeag’ın bazı fikirleri vardı ve ona kimin yardım edebileceğini de biliyordu: Biyomimikri Enstitüsü yönetim kurulu üyesi Beth Rattner. Onunla irtibat kurdu.

1998 yılında Janine Benyus tarafından kurulan Biyomimikri Enstitüsü, yaşamın gezegenimizde gelişen sayısız sorunu çözerken milyarlarca yıl boyunca evrimleştiği önermesi üzerine çalışmaktadır ve Benyus doğa ve onun işleyişi hakkında çalışmalar yaparken daha çok şey öğreneceğimize inanıyor.

Doğa sık sık zekice bir mekanizmayı işletmektedir. Tasarımcılardan bazıları bu yeni teknoloji modasına uyum sağlamaktadır. Örneğin John Dabiri ve onun Stanford’daki ekibi, rüzgar tübinlerinin performanslarını geliştirmekle beraber, onları daha sıkı paketlemenin de bir yolunu geliştirdiler. Bunu, hareket eden cisimlerin önündeki sıvı kitlesi olan burgaçları (vorteks) kendilerini itmek için kullanan balıkları örnek alacak şekilde yaptılar. EvoLogics adlı firma ise tsunamileri haber vermek için denizaltı basınç sensörlerinden gelen sinyalleri saptayan bir su altı modeminde yunusların ıslık seslerinden esinlenmekteydi. Benzer çokça örnek bulunmaktadır.

“Biyomimikri gerçek anlamda bir teknoloji ya da biyoloji değildir: O, biyolojinin teknolojisidir” diye yazmış Benyus. Ve devam etmiş: “O, örümcek gibi ağlar örebilmek ya da bir yaprak gibi Güneş’in enerjisini yakalayabilmektir.”

McKeag Berkeley’de, kimya ve ilişkili biyolojik literatür üzerine Doğa Dostu Çözümler Sınıfı’nda ders veren Rattner ile işbirliği yapmaktadır. Biyomimikri Enstitüsü de bir yardım kuruluşu olarak sınıfa destek olmakta ve “Doğa dostu” 3 boyutlu baskı maddesi (reçine) için kriterler geliştirme üzerine daha önceden eğitim alan Justin Bours adlı lisans öğrencisine burs vermektedir.

Bir Model Olarak Doğa

McKeag, Bours ile bir kimyager ve Berkeley Yeşil Kimya Merkezi'nin (BCGC) eski yöneticisi olan Marty Mulvihill'den oluşan bir ekip kurdu ve çalışmalarını başlattı.

Nasıl bir biyomimetrik yaklaşımın yazıcılarda kullanılan reçineleri geliştirebileceğini öğrenebilmek amacıyla bilimsel literatürü taradılar ve 2015 Yılı Nisan ayında, Sınıf'ın araştırmalarına rehberlik etmesi için 11 Biyolojik esinlenmeli tasarım prensibini tanımlayan bir rapor yayımladılar.

McKeag, daha sonra Doğa Dostu Çözümler Sınıfı'nı güvenlik ve sürdürülebilirlik konularını değerlendirmek için bir çerçeve oluşturmaya davet etti. Sınıf, dört kriter geliştirdi.

“Biyomimikri gerçek anlamda bir teknoloji ya da biyoloji değildir.

O, biyolojinin teknolojisidir”

Jenine Benyus, Biyomimikri Enstitüsü'nün Kurucusu

Öğrenciler ilk olarak, hammaddelerin içeriklerinin yerel kaynaklı olup olmayacağını ve yetiştirilip yetiştirilemeyeceğini sorguladılar. Doğada, bitkiler ve hayvanlar, besin zincirlerinde veya çevrelerinde çok az sayıda hazır gıda maddeleri bulabilmektedir. Örneğin ormandaki ötücü kuşu (songbird) göz kamaştırıcı çeşitli renklere sahiptir. Hammaddelerini dünyanın farklı noktalarından sağlayan günümüz üreticilerinden farklı olarak pek çok kuş, belirli dalga boylarında ışınlar saçan nanoyapılar oluşturmak ve karakteristik renklerdeki türlerin oluşmasını sağlayan bir maddeyi sentezleyebilmek için gıdalar kullanmaktadır.

İkinci olarak, materyalin bir fonksiyonunu uygulamak için nanoyapı da dahil herhangi bir yapı kullanıp kullanmadığını düşündüler. Humboldt mürekkepbalığını düşünün. Lastiksi vücudunun

uç kısmı insanlığın bildiği mineralsiz en sert materyal olan bir gagaya dönüşür; fakat hem vücudu hem de bu gaga ucu aynı kimyasal bileşenlerden, ancak farklı oranlarda bileşimlerinden meydana gelir. Eğer tek bir reçine materyali, uygulamasına ve yazıcıda işleme biçimine göre farklı özellikler gösterebilseydi, üç boyutlu baskı için önemli bir fırsat sunabilirdi.

Sınıf aynı zamanda reçinenin küçük bir bileşen dizisinden elde edilip edilmediğini de göz önünde bulundurdu. Doğada, yalnızca 20 aminoasit birleşerek vücutta 100.000'den fazla farklı protein oluşturuyor. Doğanın izinden gidildiğinde, bir araya gelerek farklı materyaller ya da malzeme özellikleri ortaya çıkarabilecek monomer denilen küçük, bir dizi güvenli kimyasal yapıtaş keşfetmek mümkün müdür? Cevabı

bulmak için Berkeley araştırmacı öğrencileri farklı işleme koşulları altında farklı materyaller üretmeye programlanmış “çok görevli monomerler” gibi alternatifler keşfettiler.

Sınıf son olarak, üç boyutlu baskıyla yapılan ürünlerin geri dönüştürülüp dönüştürülmeyeceğini, doğanın atıklarını bir organizma ya da biyolojik işlemi nasıl bir başkası için besine ya da hammaddeye dönüştürdüğünü düşündüler. Dawn Danby'nin de belirttiği gibi, “eğer 3 boyutlu yazıcılar hâlâ kullanılabilir ömürlerinin sonunda geri dönüştürülemeyen petrol tabanlı ürünler gerektiriyorsa, beklenen potansiyellerine erişememişler demektir.”

Önce Güvenlik

Sınıf daha sonra, kimyanın hem insan sağlığı hem de çevre için faydalı olması

gerektiği prensibiyle hareket ederek varolan 3 boyutlu baskı materyalleri üzerinde bir tehlike/risk değerlendirmesi yaptı.

Öğrenciler 3 boyutlu yazıcıların yaygın olarak altı reçine türü kullandıklarını buldular: Akriyat, tiyol, alken, vinil eter, epoksit ve okseton. Bunlar arasında en yaygın olanı Ember yazıcısının kullandığı akrilatlardır; çünkü 3 boyutlu yazıcılarda iyi çalışır ve sıvılardan katı nesne elde etmek için en güvenli malzemedir. Yine de akrilatlar mükemmelliğe yakın bile değerlerdir. Reçinenin katılaşarak plastiğe dönüşmesini sağlayan monomer ve oligomerler yapıları itibarıyla oldukça reaktif ve bu da işlenmemiş akrilatın sıvı boya gibi doğa için tehlikeli olabileceği anlamına gelmektedir. SLA yazıcıları reçinenin yüzde 20-yüzde 30'luk kısmını işlemeden atık olarak bırakmaya eğilimlidir.

Sınıf gruplara ayrılarak çalıştı. Farklı gruplar ana reçineyi değiştirerek veya farklı başlatma mekanizmaları kullanarak fotobaşlatıcıyı kaldırmayı önerdi. Yazıcının kendisinde bir değişimi değil yalnızca materyallerin değişimini hesaba katıyorlardı.

TPO adı verilen bir kimyasal olan fotobaşlatıcı, ışığa tepki vererek polimer ve plastik oluşturmak üzere akrilat monomerlerini ve oligomerlerini katalize eder. Ancak bu madde, hayvanların üremesine ve tatlısu ortamına zarar verdiği bilinen reaktif bir kimyasaldır. Bu sebepten dolayı sınıf, McKeag, Mulvihill ve Bours'un optimal aktivatör adını verdikleri, bir kimyasal yerine ışığı veya başka bir çevresel faktörü reaksiyonu katalize etmek için kullanan bir prensibi takip ettiler.

Vitamin B2 olarak da bilinen riboflavin ve körinin tatlandırılmasında kullanılan keskin bir baharatın, zerdeçalın temel bileşimi olan kürkümün bir karışımını kullanmayı önerdiler. Sınıfın yaptığı kaynak araştırması bunların polimerleşme reaksiyonlarında fotobaşla-

“Eğer 3 boyutlu yazıcılar hâlâ kullanılabilir ömürlerinin sonunda geri dönüştürülemeyen petrol tabanlı ürünler gerektiriyorsa, beklenen potansiyellerine erişememişler demektir”

Dawn Danby

tıcılar olarak kullanımını açıklıyordu. Her ikisi de yenilebilir olduğundan, şu anki fotobaşlatıcıdan muhtemelen daha güvenli oldukları düşünülecektir.

Doğa Dostu Çözümler Sınıfı öğrencilerinden bir başka grup, reaksiyonu başlatmak için farklı bir biyolojik esinlenmeli yaklaşımı önerdi: Reçinenin asitlik derecesinde bir değişim gerçekleştirmek. İstiridye ve midyeler salgıladıkları katılaştırıcı ve onların su altındaki kayalara tutunmasını sağlayan suda çözünebilir yapıyı oluşturan kalsiyum karbonat mineralizasyonu olarak da bilinen bu aşama zaten iki boyutlu litografide kullanılmaktadır ve bu yüzden kullanımının haklı bir gerekçesi bulunmaktadır.

Doğa da bileşenlerini kendisi oluşturduğu için, sınıftaki bir grup, akrilat reçineyi hintyağından elde edilen trigliseritlerle (yağlarla) değiştirmeyi önerdi. Bir başka grup ise böceklerin ve kabuklu deniz canlılarının kabuklarını oluşturmak için kullandıkları kitosanı önerdi. Daha önceki araştırmalar bu materyal değişimlerinin hem etkili hem de güvenilirdiğini, trigliseritler ile daha yumuşak maddeler üretilebileceğini göstermişti.

Sonuç olarak Autodesk, sınıfın önerilerinin birkaçının peşinden gitmeye karar verdi. Autodesk'in Ember ve yüksek hacimli üretim için çoklu robotik baskı başlıkları kullanan ve henüz piyasaya sürülmemiş olan Escher gibi yazıcılar için biyomateryal gelişimine önderlik eden kıdemli araştırma uzmanı Chris Venter, bu önerilerin arasında zerdeçal (Hint Safranı) esaslı fotobaşlatıcı, istiridye ve midyelerden türetilen bir pH temelli fotobaşlatıcı ve kitosan esaslı bir

reçinenin de bulunduğunu belirtti. Hatta şirket yeni reçine bileşimleri geliştirmeye devam etme amacıyla Bours'u tam zamanlı bir kimyager olarak kadrosuna kattı.

Biomimicry Enstitüsü'nden Rattner, “Autodesk, Greener Solutions ve diğer araştırmacılar ile birlikte acilen zararsız hammaddeler bulmalıyız” diyor.

Böylelikle 3 boyutlu baskının zarar derecesi azaltılmış olacak, zira tasarım ve üretime katılan kişilerin sayısı artmaktadır. Fakat çok daha fazlasının da başarılacağı açık bir gerçek. Rattner, “Vücudumuzun yaptığı gibi, çevre sıcaklığını ayarlama işini nasıl yapacağız?” diye soruyor. “Vücudumuz bir fırın ya da ocak kullanmadan harika seramikler yapabiliyor: Mesela dişlerimizi. Öyleyse neden bir üç boyutlu yazıcıya bunu yaptırılmayalım ki?”

Bu esnada Bours, Autodesk'te, üretici-

ler, tasarımcılar ve ürün geliştiricilerin doğru materyal seçimleri yapmalarına yardım etmek için bir çevrimiçi üç boyutlu baskı malzemeleri veritabanı geliştirebiliyordu.

Venter, Autodesk'in nihayetinde reçine satmayı bırakacağını, güvenli ve toksik olmayan reçineler geliştirme hakkında öğrendikleri her şeyi kamuya açıklayacağını söyledi. Şirket, daha güvenli olan bu reçinelerin günümüzdekilerden daha ucuz olacağını ve daha fazla insanı üç boyutlu baskıya denemeye iteceğini umuyor. Venter, gelecekte bu maddelerin “basitçe, yerel olarak -hatta belki de bir manavdan- satın alınabilecek kadar yaygın bulunan bileşenlerden” yapılabileceğini de ekledi.

Toksik reçinelerden ve plastik atıklardan üç boyutlu yazıcıların bugün üretmeye hazır oldukları reçineler kadar uzun bir yol kat edildi. Üç boyutlu baskı ve birçok diğer ürün ve çaba olmasaydı, yapımı daha az enerji, su ve zaman gerektiren, yenilenebilir, toksik olmayan ve biyoçözünür teknolojiler kullanarak “doğa problemin diğer birçok boyutunu çözerdi” diyor Rattner.

Aslına bakarsak, yalnızca doğanın rehberliğinde ilerlediğimizde de tüm sorunları yine doğa çözecektir. ■



Berkeley Yeşil Kimya Merkezi (BCGC) yöneticisi Tom McKeag (ortadaki), 2015 yılında Doğa Dostu Çözümler Sınıfı'nı bir takım oluşturma çalışması esnasında izliyor