

# Betonun kendi kendine öngerme yapmayı öğrenmesi



Empa araştırmacıları Mateusz Wyrzykowski ve Volha Semianiuk, laboratuvar teknisyeni Sebastiano Valvo'nun da yardımıyla kendi liğinden gerilimli CFRP betonun yeni olanaklarını keşfediyor.

## Maliyet ve malzemedan tasarruf

Dünya çapında her yıl yaklaşık olarak on milyar ton beton üretiliyor. Bu miktar, diğer bütün yapı malzemelerinin toplamından daha fazla. Karşılaştırmak gerekirse, oldukça sık kullanılan metal ve asfalt yıllık olarak yaklaşık 1,5 milyar ton miktarda üretiliyor. Bir ton beton üretmek için gerekli olan enerji ve bununla gelen emisyon diğer yapı malzemelerine nazaran düşük olsa da üretilen miktar itibarıyla, beton üretimi çevresel etki olarak önemli bir rol oynuyor.

Sorunun ana kaynağı, betonun bağlayıcı maddesi olan çimento. Dünyanın birincil enerjisinin yüzde üçünden biraz azı, yıllık ihtiyaç duyulan dört milyar ton çimentonun üretimi

için kullanılıyor. Çimento üretimi aynı zamanda küresel karbon emisyonunun yüzde sekizinden sorumlu. Tahminler, gelişmekte olan ülkelerdeki artan talep nedeniyle yıllık beton ve çimento üretiminin 2050'ye kadar %50 artabileceğini gösteriyor. Çok fazla avantaj sunan betonu başka bir alternatifle değiştirmek, oldukça zor. Yapılan hesaplamalar, üretim ve etkili kullanımdan yıkım ve geri dönüşüme, betonun daha sürdürülebilir kullanımının çevre ve toplum üzerinde büyük etkileri olabileceğini gösteriyor.

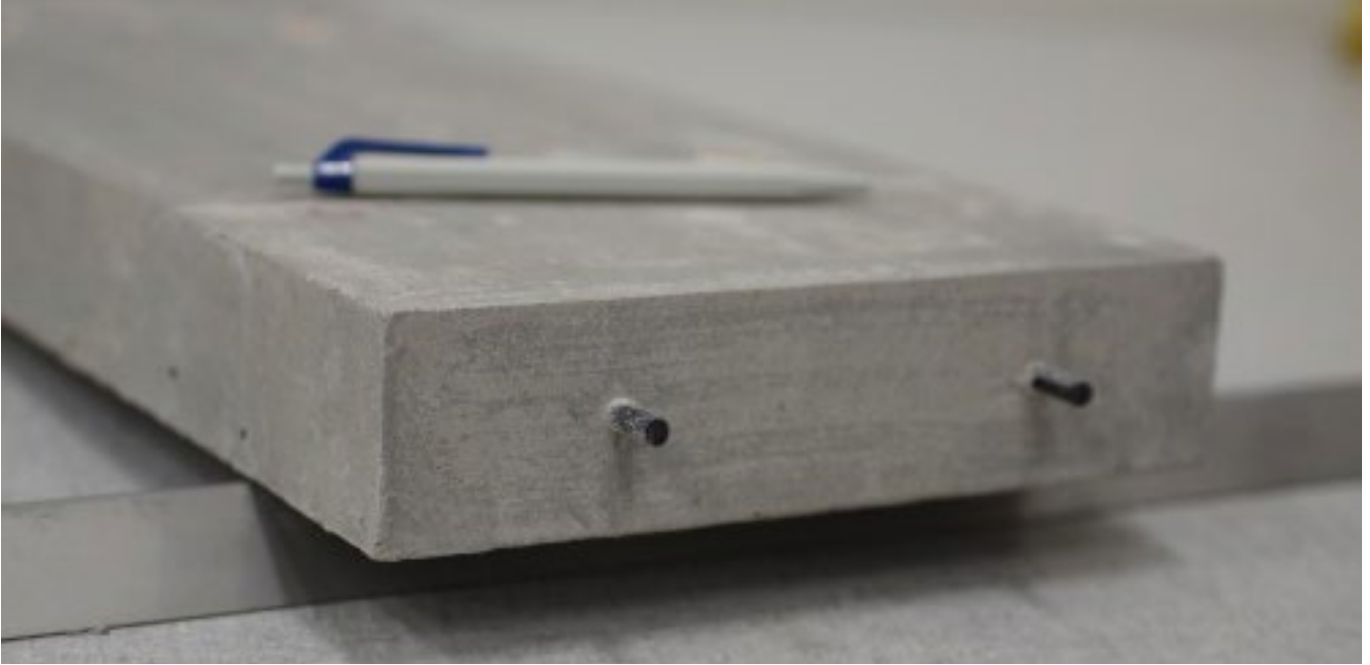
## Avrupa ve ABD'de Patent

Empa bilim insanları, malzeme tasarrufu adına betonu daha ince kesitlerde, fakat daha dayanıklı ve stabil hâle getirmek için yön-

## When Concrete learns to pre-stress itself

Cost-effective and material-saving  
The coronavirus crisis "has opened the eyes of everyone who works in an office that we can work remotely".

More than ten billion tonnes of concrete are produced and used worldwide every year. This is more than all other building materials combined.



Karbon lif donatılı plastik (CFRP) kullanılan, kendiliğinden öngermeli şekilde elde edilmiş kiriş.

temler geliştiriyorlar. Giovanni Terrasi, Pietro Lura ve Mateusz Wyrzykowski önderliğindeki ekip tam da bunu başaran kendiliğinden öngermeli beton için Avrupa ve ABD patentini yakın zamanda aldı. Öngermeli beton; kiriş, köprü veya konsol kiriş gibi yük taşıma kapasitesi fazla olan yapı ve elemanlarda kullanılır. Geleneksel öngerme teknolojisinde, genellikle çelikten yapılan donatı veya öngerme kablosu beton dökülmeden önce yapı elemanının her iki tarafına bağlanır, gerilir ve beton sertleştikten sonra bırakılır. Öngerme kablosunda oluşan kuvvetler betonda basınç gerilmesi yaratır. Yapı elemanı, içindeki öngermeli donatı sayesinde birlikte davranış gösterir, böylelikle çok daha stabil hâle gelir. Buradaki problem çeliğin korozyona karşı hassas olmasıdır. Bu nedenle çeliğin etrafını saran beton örtüsü belli bir kalınlıkta olmalıdır.

#### **Metal Yerine Karbon Lifi**

1990'ların başında, çelik donatıların yerini karbon lif donatılı polimerler (CFRP) almaya başladı. CFRP'ler korozyona dayanıklı olduğundan, benzer yapısal özelliklere sahip ama nispeten çok daha ince beton elemanlar üretmek mümkün hâle geldi. Wyrzykowski, yük taşıma kapasitesi daha yüksek fakat daha da ince yapılar elde etmek için CFRP donatılarını öngermeli hâle getirmenin zorluğunun altını çiziyor. CFRP donatılarının bağlanmasının metale nazaran çok daha karmaşık olmasının yanı sıra,

böyle bir uygulama için oldukça pahalı olan öngerme yatakları da gerekli. Bu nedenle yüksek performanslı, ön germeli CFRP beton hâlâ yaygın olarak kullanılamıyor.

#### **Beton Genişliyor**

Empa ekibi, beton bu işi kendi başına yaptırarak, beton elemanın iki tarafına uygulanan ankrajı tamamen kaldırmayı başardı. Özel bir formül sayesinde beton sertleştikçe genişliyor. Bu genişleme sayesinde içerisinde bulunan CFRP donatıları çekme gerilmesine zorlayan beton, kendi kendine öngerme uyguluyor. Yapılan testler, kendiliğinden öngermeli CFRP betonun yük taşıma kapasitesinin geleneksel öngermeli betona yakın olduğunu, öngerme yapılmamış CFRP betona göre üç kat fazla yük taşıyabildiğini gösteriyor.

Wyrzykowski, çok daha az malzeme ile daha sağlam yapılar inşa etmeyi mümkün kılan yeni teknolojinin hafif yapı alanında yeni olanaklar sunacağını belirtti. Empa araştırmacısı aynı zamanda yeni uygulama alanları öngörüyor: "İnce beton döşemeler veya kavisli beton kabuk elemanlar gibi birçok yapı için aynı anda birden fazla yönde kolayca öngerilim yapabiliriz." Empa, yeni uygulamaları ortakları ile iş birliği içinde geliştirmeye devam ediyor.

**Kaynak:** [www.newswise.com/articles/when-concrete-learns-to-pre-stress-itself?ta=home](http://www.newswise.com/articles/when-concrete-learns-to-pre-stress-itself?ta=home)

By way of comparison, steel and asphalt – both of which are also used very abundantly – are each produced at around 1.5 billion tonnes annually. Even though the energy required to produce one tonne of concrete and the emissions that go with it are lower than for other building materials, the huge quantities are responsible for a significant environmental impact.

# Çimento Harcında Nanopartikül Kullanmanın Faydaları



Global olarak yılda yaklaşık 3 milyar ton çimento üretiliyor (Guillaume, 2014) ve bunun çoğunu, gelişmekte olan ülkelerin gittikçe büyüyen ekonomileriyle beraber durmaksızın artan talepleri oluşturuyor.

İnşaat faaliyetlerinin yanı sıra doğal afetler ve savaşlar birçok altyapının tahrip olmasına yol açarak, harç ve beton gibi çimento ve çimento bazlı malzemelere olan talebi sürekli olarak artırıyor.

Harç, malzemenin dayanıklılığını artırmak için ince kum, su, kireç ve çimento karışımından oluşur. Genellikle tuğla, beton bloklar ve taş gibi diğer yaygın duvar yapı malzemelerini bir arada tutan bir hamur olarak kullanılır.

Harcın birçok avantajı olmasına rağmen depreme daha az dayanıklı ve gevrek olmakla birlikte düşük çekme dayanımına sahiptir. Bu dezavantajlar, bilim insanlarını nanopartikül kullanımı da dâhil olmak üzere birçok alternatif çözüm aramaya itiyor.

## The Advantages of using Nanoparticles in Cement Mortar

In addition to the construction activities, natural disasters such as earthquakes and wars lead to the destruction of many infrastructures, increasing the constant demand for cement and cement-based materials such as mortar and concrete.

## Nanopartiküller Çimento Harcını Daha Dayanıklı Hâle Getiriyor

Richard Feynman'ın 1959 yılında Amerikan Fizik Derneği toplantısında sunduğu "Dipte Çok Boş Yer Var" isimli ünlü konferansından bu yana nanoteknoloji, maddeyi 1 ve 100 nanometre boyutunda incelemek adına tamamen evrildi.

Nanopartiküller, geniş yüzey alanı, yüksek fonksiyonel yoğunluk, olağanüstü yüzey

etkisi ve yüksek birim şekil değiştirme direnci gibi (Mohajeri, vd., 2019) ayırt edici özellikleri ile, çeşitli uygulamalarda oldukça önemli bir rol üstleniyor. Malzeme özelliklerini geliştirdikleri ve yenilikçi uygulamaları mümkün kıldıkları düşünülüyor.

Geçtiğimiz on yılda birçok araştırmacı, üstün özelliklere sahip çimento bazlı malzemeler üretmek için inşaat sektöründe nanopartiküllerin kullanımını araştırdı.

Çimentoya metal oksit nanopartiküllerin eklenmesinin iyon geçirgenliğini azaltarak malzemenin mukavemetini ve dayanıklılığını artırdığı kanıtlandı (Al-Rifaie & Ahmed, 2016).

İncelenen nanopartiküller arasında nano-SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karbon nanotüpler, karbon nanofiberler, grafen ve grafit oksit bulunuyor (Ramakrishna & Sundararajan, 2019). Bununla birlikte, nano-SiO<sub>2</sub>, boyutu ve puzolanik reaksiyonu nedeniyle en sık tercih edilen nanopartikül olarak kabul ediliyor (Wang, Zhang ve Gao, 2018).

Çimento harcının dayanımı, kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jelleri gibi trikalsiyum silikat (C<sub>3</sub>S) ve dikalsiyum silikatın (C<sub>2</sub>S) hidratasyonundan elde edilen hidrate ürünün homojen dağılımı ve yoğunluğu ile ilişkilidir.

Nanopartiküller, hidratasyon reaksiyonunu aktive ederek ve çimento hamurunun yapısında bulunan mikro boşlukları doldurarak betonun mukavemetini ve dayanıklılığını artırır. Bu durum, betonun porozitesini azaltarak harcın dayanımını ve mekanik özelliklerini geliştirmektedir (Ramakrishna & Sundararajan, 2019).

### **Nanopartikül İçeren Çimento Harcının Özellikleri**

Cavazos ve diğerleri (Cavazos, vd., 2017), çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) ve haloysit nanotüp (HNT) kullanılan çimento harcının mekanik özelliklerini araştırdı.

Normal çimento harcı ile karşılaştırıldığında, %0,1 yoğunlukta MWCNT'lerin eklenmesi basınç dayanımını %56 artırırken, %0,1 yoğunlukta HNT'ler eklendiğinde %31 miktarda bir artış gözlemlendi.

MWCNT Nanopartiküllerin topaklaşması nedeniyle, düşük konsantrasyonlarda kullanımın daha etkili olduğu sonucuna varıldı. %0,5 konsantrasyonlu MWCNT nanopartikül kullanımı, basınç dayanımında %15 ve çekme dayanımında %36'lık artış sağladı (Kumar, Kolay, Malla ve Mishra, 2015).

Bir başka araştırma grubu da (Farzadnia, Ali, Demirboğa ve Anwar, 2013) %3 konsantrasyonlu HNT kullanımının basınç dayanımını %24 artırdığını kanıtladı.

*Mortar is cement mixed with fine sand, water and lime to improve the durability of the product. It is generally used as a paste that holds together other common materials of masonry construction, including bricks, concrete blocks and stone.*

*Although mortar has many advantages, it is less resistant to earthquakes, brittle, and has low tensile strength. These drawbacks have led scientists to investigate multiple alternative solutions, including the use of nanoparticles.*

TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin 0°C, 5°C ve 10°C'lik farklı sıcaklıklarda çimento harcı üzerindeki etkisinin fiziksel ve mekanik özellikleri analiz edildi ve 20°C'lik ortam sıcaklığı ile karşılaştırıldı (Wang, Zhang ve Gao, 2018). Sonuç olarak, araştırmacılar ağırlıkça %2 TiO<sub>2</sub> nanopartikül oranının, düşük sıcaklığın çimento harcının priz süresini olumsuz etkilemesine rağmen, genel olarak çimento harcının hidratasyon sürecini hızlandırabilecek optimum konsantrasyon seviyesi olduğunu gözlemledi.

Düşük sıcaklıklarda hidratasyon hızının azalması nedeniyle hidratasyon ürünlerinin de oluşumu yavaşlamaktadır (Wang, Zhang ve Gao, 2018). Bu durum matriste boşluklara sebep olmakla beraber yoğun bir mikro yapı oluşumu için ilave süre gereksinimine neden

olur. Geniş yüzey alanı / hacim oranına sahip nanopartiküller, daha fazla hidratasyon ürününün oluşması için uygun bir ortam sağlar (Wang, Zhang ve Gao, 2018).

### **Çimentoda Nanopartikül Kullanımı ile Çevresel Etkiler Azaltılabilir**

Nanopartikül kullanımı, beton üretiminden kaynaklanan çevresel etkiyi azaltmak için etkili bir çözüm olarak ortaya çıkıyor.

Sadeghi-Nik ve araştırma ekibi (Sadeghi-Nik, Berenjian, Bahari, Safaei & Dehestani, 2017), harcın içindeki çimentoyu ağırlıkça %1, 2 ve 3 oranlarında nano-montmorillonite ve nano-Titanyum (nano-MT) parçacıkları ile ikame ederek mukavemeti artırmak ve çevresel etkiyi azaltmak amacıyla deneysel çalışma gerçekleştirdi

Elde edilen sonuçlara göre, ağırlıkça %1'e kadar nano-MT eklenmiş çimento kullanımının mikro yapı ve mekanik özellikleri geliştirmekle beraber sera gazı emisyonunu azalttığı gözlemlendi.

Araştırma, nanopartiküllerin çimento harcı özelliklerini genel olarak iyileştirdiğini ve yapısal kullanımda mukavemeti artırdığını ortaya koyuyor.

**Kaynak:** [www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5506](http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5506)

# COVID Sonrası Dönem ve 3D Beton Yazıcı İhtiyacı

Gelecek, 3D olarak basılacak.

“Yeni normal” olarak adlandırdığımız salgın sonrası düzen, inşaat sektörü de dâhil olmak üzere, hayatın bütün alanlarında insanları alternatif yollar aramaya itiyor. Lem Bingley, ön saflarda yer alan uzmanlar ile inşaatın dijital dönüşümünü masaya yatırdı. COVID-19 krizi ofiste çalışan herkesin “uzaktan çalışma” konusunda gözünü açtı.

Paul Mullett, bu tarz düşüncelerin ne kadar yaygınlaştığına dikkat çekti. Robert Bird Grup’ta Mühendislik ve Teknoloji Yöneticisi olarak görev yapan Mullett aynı zamanda, inşaat sektöründe bu imkâna sahip az sayıda insanın bulunduğunu da belirtti.

Sektörün insan gücüne olan bağımlılığını vurgulayan Mullett, yeni normale uyum sağladıkça, hacimsel modüler, düz modüler veya diğer endüstriyel inşaat biçimlerine yönelik ilginin oldukça artacağını öne sürdü.

“Diğer” kategorisinde yer alan 3D beton baskı, dijital bir tasarıma göre birçok ince katmanın robotik olarak bir araya

## Why post-virus construction needs 3D-printed concrete

The future will be printed in 3D. Lem Bingley talks to the experts at the forefront of construction’s digital transformation amid a global pandemic that has emphasised the need to find different ways of doing things

The coronavirus crisis “has opened the eyes of everyone who works in an office that we can work remotely”.

getirilmesini içeren bir katmanlı imalât yaklaşımıdır. Katmanlar yerleştikçe, malzeme özellikleri kalıba dökülmüş beton ile benzerlik gösteren bir yapı hâlini alır.

Hâlihazırda sektörün küçük bir bölümünü kapsasa da geliştirilmesinde çalışan uzmanlar 3D beton yazıcının büyük bir potansiyel taşıdığını dile getirdi. 3D beton yazıcıların özellikle ağır iş gücüne olan ihtiyaç konusunda büyük değişikliklere yol açması bekleniyor.

Geçtiğimiz yılın nisan ayında Robert Bird Grup, yerel ortakları arasında Dubai Amerikan Üniversitesi, Arabtec Yapım ve 3DVinci Creations’un bulunduğu Dubai 3D Baskı ve Dijital İnşaat Merkezinin bir üyesi oldu. Merkezin kurulma amaçları arasında bu yeni

teknoloji hakkında bilgi eksikliklerini gidermek, neleri yapıp yapamayacağı hakkında ilgilileri bilgilendirmek yer alıyor.

Mullett, 3D beton baskısını sektörün ana sınavı olarak nitelendirdi.

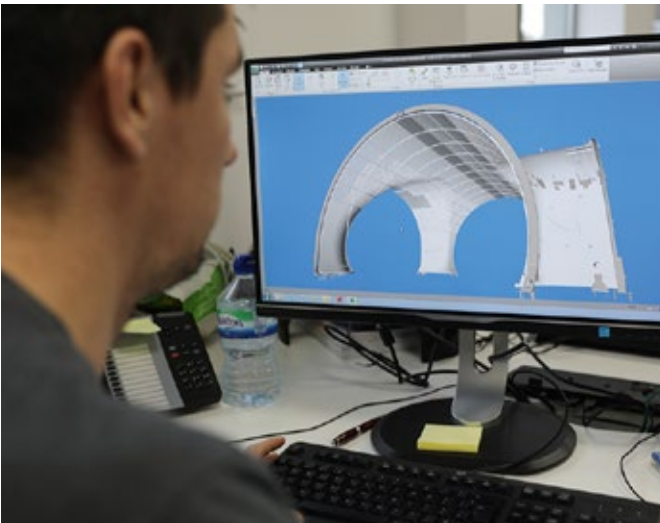
Sektörün an itibarıyla teknolojik çıkmazlarla baş ettiğinin altını çizen Mullett, “Eğer bu teknolojiden doğru şekilde faydalanamazsak, sektör olarak nasıl ilerleyebiliriz?” sorusunu yöneltti.

“Her müteahhit, danışman, çalışma standartları belli bir düzen üzerine göre işliyor. 3D baskı, tasarım, malzeme, metot ve hatta kullandığımız üretim tesisi de dâhil olmak üzere birçok alanda alışkanlıklarımıza ters düşüyor.”

## Gelecek Otomatikleşiyor

Holland’a’da bulunan BAM Infra şirketinin İnovasyon Uzmanı Jeroen Nuijten benzer düşüncelerini dile getirdi. Salgının iş gücüne olan bağımlılığımızı ortaya çıkardığını vurgulayan Nuijten, uygulama sürecinde artan robot kullanımının bu bağımlılığı önemli ölçüde azaltabileceğini belirtti.

“İş gücü ve barınma ihtiyacı ve iklim değişikliği de düşünülürse sektörde, endüstri veya ülke olarak bu yola yönelmenin sayısız nedeni var.” şeklinde ekledi.



And, speaking to Construction News via video conference from his home in Dubai, Paul Mullett observes how commonplace this kind of link has become lately.

But the director of engineering and technology at consultant Robert Bird Group says it has also revealed how few people in construction can do the same.

BAM, Eindhoven Teknik Üniversitesi bünyesinde bulunan bir araştırma kurulu aracılığıyla 3D beton baskı üzerine çalışmaya başladı. 2017'de başlayan projenin sonucunda, bisikletçiler ve yayaların kullanımı için 8 metre uzunluğunda bir köprü inşa edildi.

Bu süreçten çok şey öğrendiğini belirten Nuijten, geleneksel yapı tekniklerine kıyaslandığında malzemenin %40 tasarruf ettiklerini belirtti. Bunun yanı sıra, inşa sürecini çok daha hızlı gerçekleştirebildiklerini ekledi.

2019 yılında bir şirket ile ortaklık kuran

BAM, baskı çalışmalarını üniversite kampüsünden kendi ticari fabrikasına taşıdı. Nuijten, şirketin daha büyük bir köprü projesinin yanı sıra konut ve ulaşım sektörlerinde yer alan projeler için gerekli bileşenlerin baskısının yapıldığını ve bazılarının hâlihazırda İngiltere'de kullanımda olduğunu belirtti.

### Fayda Sağlayacak Büyük Projeler Geliyor

BAM, Heathrow havaalanının genişletilmesi gibi büyük çaplı projelerde bu teknolojinin rol oynayacağını öngörüyor. Nuijten şu anda ellerindeki teknolojiyi sektörün diğer kısımlarına ve farklı sektörlerle nasıl uyarlayabileceklerini araştırdıklarını söyledi. Köprü'nün inşasında yalnızca gerekli olduğu noktada dayanım sağlayan beton baskının malzeme tasarrufuna izin verdiğini de vurguladı. "Köprü'nün içine bakacak olursanız, içinde boşluklar bulunuyor." Köprü açıklığını oluşturan parçalar boş "kuleler" şeklinde basıldı. Açıklığı oluşturan bileşenler, sahada 90 derece döndürülen ve yatay olarak uzanmak için birbirine bağlanan, boşluklardan geçen ardından çelik kablolarla basınç altında kalan içi boş «kuleler» olarak basılır.

Nuijten, içi boş açıklık sayesinde ağırlığın azalmasının başka alanlarda tasarruf veya karbon emisyonundaki azalma da dâhil olmak üzere birçok pozitif sonuç doğurabileceğini açıkladı. "Kalıp kullanmıyoruz" şeklinde ekledi. "Kalıp bir kez kullanılan bir şey, bu noktada da tasarruf ediyoruz."



Daha büyük olan köprü projesi için, BAM köprü açıklığı için gerekli parçaların yanı sıra ankraj bloklarını da üretecek. Royal Bam Grup'ta Dijital İnşa Yöneticisi olarak bulunan Mark Taylor, taban yatağını dökmek için uçlara kalıcı kalıp basacaklarını belirtti.

“Köprünün belli kısımlarını kafes donatı ile kaplayacağız, böylece dış kısmı robot tarafından basıldığı için dışarıdan bakan birine tamamen aynı görünecek. Yapısal bütünlüğü sağlamak adına bazı bölümlerde geleneksel donatı i ve kütle betonu da kullanacağız.”

Taylor, 3D basılmış betonun katmanlı yapısının altında oldukça homojen bir yapıya sahip olduğunu açıkladı. “Bütün doğrultularda kesme kapasitesi aynı. Baskıyı katmanlı yapmamız sebebiyle, insanlar bazen yapının katmanlarından ayrılacağını düşünebiliyor. Fakat testlerin de kanıtladığı gibi, yekpare olarak dökülen beton bir elemandan herhangi bir farkı yok.”

### 3D Olanakları

BAM tarafından geliştirilen teknik, ilave dayanım ve esneklik için lif donatılı beton kullanımına açık olmakla beraber her katmana çelikkablo da eklenebilir. Nuijten, kabloların katmanların tam ortasına yerleştirmenin bir yolunu geliştirdiklerini belirtti.

“Yüksek verim elde edebilmek için, beton içine donatı yerleştirmenin ve kaplamanın özel yollarını geliştirdik.”

Nuijten aynı zamanda, dijital kontrollü 3D basım teknolojilerinin üretken veya parametrik tasarım teknolojilerinin de yardımıyla, başka bir yolla yapımı imkânsız olan oldukça verimli yapılar ortaya çıkarmaya olanak sağladığının altını çizdi.

“İstedığınız herhangi bir şekli bastırabilirsiniz. Parametrik tasarım en uygun çözümleri tasarlamanıza olanak sağlıyor. Optimal çözümü ek ücret olmadan tasarlamanıza imkân tanıyan bu iki özellik bir araya geldiğinde oldukça etkili.”

“Süreç bizim için gittikçe ilginçleşiyor. Artık karmaşık olan kısım yaratma süreci değil -yazıcı her şeyi yapabiliyor- ondan ziyade, sahada basılan parçaları nasıl bir araya getireceğimize kafamızı meşgul ediyor, adeta büyük bir yapbozu çözmek gibi..” şeklinde ekledi.

Taylor, firmanın ilk yaptığı mütevazı köprüsünün ötesinde, inşaatta kullanılabilecek birçok uygulamanın ortaya çıkacağını öngörüyor: “İnşaat sektörü köprüler, deniz yapıları ve nehir korumalarında kullanılmak üzere birçok yerde beton elemanlar kullanıyor. Bu durum için karbon ayak izimizi de azaltacak, daha inovatif çözümler bulmak mümkün.”

“En başarılı projeler aslında geleneksel yöntemleri katmanlı imalât yöntemleriyle değiştirdiklerimiz değil, en başından düşünmeye başladığımız, problemleri çözmek adına müşteri ile beraber çalıştığımız projeler.” şeklinde ekledi.

### Cephe Kaplamasına Beton Çözümü

Laing O'Rourke, Londra'da bulunan Tottenham Court Road ve Liverpool Street istasyonlarının dış cephe kaplaması için patlamalara karşı dayanıklı betonu 3D beton baskısı ile üretti.

İnşaat firmasının İngiltere Altyapı Başkanı Declan McGeeney, ilk adımın tünelleri ve tünel açma yüklenicisi tarafından belirlenen diğer boşlukları taramak ve dijital olarak modellemek olduğunu açıkladı. Modelleme sayesinde şantiye dışında dökülecek gerekli kaplamanın tam şekli belirlendi. McGeeney, kalıpların mimari açıdan oldukça karmaşık olduğunu belirtti.

Avustralya'daki mühendisleriyle çalışan Laing O'Rourke, bu aşama için FreeFab adı verilen yeni bir işlem geliştirdi. Süreç, 3D yazıcının karmaşık bir kalıbın dijital modelini balmumu katmanları yaratarak fiziksel bir şekle dönüştürmesiyle başlıyor. Sonrasında yine dijital olarak yönlendirilen 5 eksenli freze makinesi, 3D yazıcıdan çıkan kademeli yüzeyi pürüzsüzleştiriyor. Dış cephe için şeklin üzerine cam lif donatılı beton (GRC) püskürtüldükten sonra beton sertleşmeye bırakılıyor. Beton sertleşince içindeki balmumu eritilerek parça tamamlanıyor.

Operasyon Direktörü David Shillito, bu yaklaşımı kullanmadan işi zamanında bitirmenin imkânsız olduğunu söyledi. “2.300 farklı kalıpla 32.000 metrekare kaplama üretmek zordundaydık. Çift kıvrımlı olan kalıplar için el ile yontacak kalifiye iş gücü bulacak olsak hâlâ arıyor olurduk.”

Shillito aynı zamanda eğer kalıpların manuel olarak yapılacağı düşünülseydi, Crossrail projesinin dökme beton cephe kaplamalarını içermeyeceğini düşündüğünü söyledi. “3D baskı tekniklerinin farkındalardı, fakat nasıl uygulayacaklarını bilmiyorlardı.”

2014 yılında Yorkshire merkezli bir GRC (cam lif donatılı beton) uzmanıyla çalışan Laing O'Rourke, sonrasında projeyi kendi bünyesine geçirmek amacıyla taşeronu satın aldı. McGeeney, an itibarıyla 60 kişiyi istihdam edebilen kârlı bir girişim olarak nitelendirdiği GRC bölümünün, şantiye dışı üretim ve dijital mühendislik felsefesinin daha geniş bir kitleye yayılmasına olanak sağladığını belirtti.

FreeFab uygulamasının zor mekânlara yerleştirilmesi gereken oldukça karmaşık şekiller içeren projelere uygun olduğunu söyleyen McGeeney, GRC kaplamanın Granfell sonrasında daha yaygın olarak tercih edilen bir seçenek hâline geleceğini ekledi. Yangın nitelikleri, sağlamlığı ve patlamaya karşı dayanıklılığı nedeniyle daha yaygın hale geldiğini belirten McGeeney, özellikle demiryolu veya havaalanı terminalleri gibi kamusal alanlara uygun olduğunu söyledi.

Shillito, GRC'nin geleneksel beton kaplamaya kıyasla önemli ölçüde ağırlık tasarrufu sağladığını ekledi. “Kalınlığın onda biri, yani malzemenin yalnızca onda birini kullanıyorsunuz. Püskürtme tabancasından kalıba doğru düşen lifler bu süreçte bir araya geçerek dayanım ve sünekliliğini artırıyor. Patlama esnasında koruma sağlamanın ana sebebi bu.”

**Kaynak:** <https://www.constructionnews.co.uk/tech/why-post-virus-construction-needs-3d-printed-concrete-16-06-2020/>