

## Karbondioksiti Emen Beton

Concrete4Change adlı şirketin geliştirdiği yeni nesil beton atmosferdeki karbondioksiti emiyor ve sera gazı salımını büyük ölçüde azaltıyor.

### Concrete that absorbs carbon dioxide

The new generation concrete developed by a company called Concrete4Change absorbs carbon dioxide in the atmosphere and reduces greenhouse gas emissions to a substantial extent.

The top priority of Dr. Michael Wise, Head of the company's Technology Department, and his team is to transform concrete, which is the most basic product of the construction industry and which is used in the construction of our homes and workplaces, into an environmentally friendly material by altering its structure. It is because 8% of the world's CO<sub>2</sub> emissions are released during the production of cement that is the main component of concrete.

meye, sektördeki maliyetleri düşürmeye ve binaların ömrünü uzatmaya yardımcı olacak."

Wise geliştirdikleri yeni nesil betonun, binaların dayanıklılığını artırdığını ve enjekte edilen karbondioksiti de kalıcı olarak mineralize ettiğini (taşlaştırdığını) belirtiyor. Bunun yanında yeni teknolojide eski betonlara eş değer dayanımda beton üretmek için daha az kaynak kullanılıyor.

"Geliştirdiğimiz beton yaygınlaşırsa, inşaat sektörünün açığa çıkardığı emisyon oranı %50 oranda düşebilir.

Dr. Michael Wise

Concrete4Change Teknoloji Departmanı Başkanı"

Şirketin Teknoloji Bölümü Başkanı Dr. Michael Wise ve ekibinin en büyük önceliği hepimizin ev ve iş yerlerinin inşaatında kullanılan, inşaat endüstrisinin en temel ürünü olan betonun yapısını değiştirerek, onu çevre dostu bir madde hâline dönüştürmek. Zira dünyadaki CO<sub>2</sub> salımının %8'i betonun ana bileşeni olan çimentonun üretimi esnasında açığa çıkıyor.

Peki, atmosferdeki sera gazlarını emen bir beton geliştirmek mümkün mü?

Dr. Michael Wise bu soruya şöyle cevap veriyor:

"Teknolojimiz, inşaat sektörünün açığa çıkardığı CO<sub>2</sub> emisyonlarını geri dönüştür-

Dr. Michael Wise bu teknolojinin inşaat sektöründe açığa çıkan ve küresel emisyonların ortalama %4'üne eş değer olan iki milyar ton CO<sub>2</sub>'i azaltma potansiyeline sahip olduğunu ifade ediyor. Bu oran şu andaki inşaat sektörünün sebep olduğu emisyon oranının yaklaşık %50'sine denk geliyor.

Geliştirdikleri ürünün ev, iş yeri, gökdelen, fabrika gibi birçok inşaat alanında kullanılabildiğini ifade eden Wise, "Bu betonun tek farkı daha ucuz ve dayanıklı olması." diye konuştu.



Japonya'nın Chiba şehrinden bir kare. Beton bloklar inşaatların vazgeçilmez yapı taşları.

Her canlının hayat kaynağı olan suyu saymazsak çimento ve sudan oluşan beton, kütle bakımından dünyada en çok kullanılan madde konumunda yer alıyor.

Dünyadaki su kaynaklarının en az %10'u çimentoyla birlikte karıştırılarak beton yapımında kullanılıyor. Bunun yanında sadece kömür, petrol ve doğal gaz kullanımı betonun ortaya çıkardığı CO<sub>2</sub> gazından daha fazla atmosferi kirletiyor.

Betonun kullanılmadığı bir ev, bina ya da yapı neredeyse hiç yok. Ahşaptan ya da farklı maddelerden yapılan yeni inşaatların büyük çoğunluğunda bina temelleri yine betonarme olarak yapılıyor.

Kısaca beton hayatımızın her yerinde var. Betonun hayatımızı kolaylaştırdığı yadsınamaz bir gerçek.

Binaları taş, ahşap, cam, toprak, kerpiç gibi doğal malzeme-

lerden yapmak oldukça maliyetli. Beton ise ucuz ve kullanımı oldukça kolaydır. Bu sebeple insanlar binalar yapmaya ve “çimento su karışımı” kullanmaya devam ediyor.

İstatistiklere göre her 10 saniyede bir dünyadaki inşaat sektörü 19 bin metre küp beton kullanıyor. 2050 yılında bu rakamın 1990'lara kıyasla yaklaşık 4 kat daha fazla olacağı tahmin ediliyor. Betonun ömrü binalarda ortalama 100 yıla, yol ve kaplamalarda ise 50 yıla kadar sürüyor.

Bir ton betonun geri dönüştürülmesi 6,5 ton suyun kullanılmasının ve 900 kilogram CO<sub>2</sub> gazının atmosfere karışmasının önüne geçiyor.

Dünyada daha çevre dostu inşaat malzemesi üretmek için önemli çalışmalar da yok değil. 2020'de yapılan bir araştırmaya göre, “geri dönüşüm özelliği olan beton” geleneksel betondan çok daha iyi sonuçlar veriyor ve adı üzerinde geri dönüştürülerek defalarca kullanılabilir.

Geri dönüştürülmüş endüstriyel lifler İtalya'da doğaya zarar

So, is it possible to develop concrete absorbing greenhouse gases in the atmosphere?

Dr. Michael Wise answers this question as follows: “Our technology will help recycle CO<sub>2</sub> emissions released by the construction sector, reduce the costs in the sector, and extend the life of buildings.”

Wise states that the new generation concrete they developed increases the durability of buildings and permanently mineralizes (petrifies) injected carbon dioxide. Moreover, less resources are used to produce concrete with the equivalent strength to conventional concrete in the new technology.

vermeyen “yeşil çimento” üretiminde test ediliyor. Bunun yanında Belçika'da geliştirilen kendi kendini onaran beton da, sektörde merakla beklenen yenilikler arasında...

Concrete4Change'in karbondioksit emen beton ürünü İngiltere'de düzenlenen Climate Challenge Cup yarışmasının “sıfır emisyon” kategorisinde birincilik ödülü aldı. The Young Foundation adlı sivil toplum örgütü tarafından düzenlenen organizasyon, küresel ısınma ve iklim krizi sorununa çözüm sunan projelere destek veren bir kuruluş.

Dr. Michael Wise geliştirdikleri ürünü hızlı bir şekilde seri üretime geçirerek ticari

bir değere dönüştürmeleri gerektiğini belirtiyor ve ekliyor: “Dünyanın hayatta kalabilmesi için bu çözüm yöntemini kullanmamız gerekiyor.”

**Kaynak:** <https://tr.euronews.com/green/2021/11/29/karbondioksiti-emen-beton-inaaat-sektorunun-kuresel-s-nmaya-katk-s-n-azaltabilir-mi>



## Makine Öğrenimi ile Daha Sürdürülebilir Beton

MIT-IBM Watson AI Lab araştırmacıları, çevresel ayak izini ve maliyeti azaltmak için yapay zekâ kullanan, yan ürünleri geri dönüştüren ve performansı artıran beton karışımlar tasarlamayı hedefliyor.



*Yapay zekâ kullanılarak çimentonun yeniden formüle edilmesi, üretimiyle ilişkili karbon emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir.*

Bir yapı malzemesi olarak beton, zamana karşı dayanıklıdır.

Kullanımı erken uygarlıklara kadar uzanır ve bugün dünyadaki en popüler kompozit seçimidir ancak bu yaygın kullanım, oldukça büyük sorunlara neden oluyor. Ana bileşeni olan çimentonun üretimi, küresel antropojenik CO<sub>2</sub> emisyonlarının %8-9'una ve önümüzdeki yıllarda artması beklenen enerji tüketiminin %2-3 artmasına neden oluyor. ABD hükümetinin, eskiyen altyapısını yeniden canlandırılarak yükseltecek tasarısı, sera gazı emisyonlarının minimumda tutulmasını da içeriyor. MIT Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümünden Esther Harold E. Edgerton, Elsa Olivetti ve MIT-IBM Watson AI Lab araştırma bilimcisi ve yöneticisi Jie Chen, yapay zekânın yeni tasarımlar geliştirerek ve formüle ederek bu ihtiyacı karşılamaya yardımcı olabileceğini düşünüyor. Yapay zekâ ile geliştirilmiş tasarımların, üretim yan ürünlerini

yeniden kullanması, karbon emisyonlarını oldukça azaltması ve bunların yanı sıra, malzeme performansını iyileştirmesi bekleniyor. Olivetti'nin araştırması, malzemelerin çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğini geliştirirken, Chen, malzeme reformülasyonuna uygulayabileceği makine öğrenimi ve hesaplama tekniklerini geliştiriyor ve optimize ediyor. Olivetti ve Chen, toplum, iklim ve ekonomi yararına betonu daha sürdürülebilir hâle getirmek için bir MIT-IBM Watson Yapay Zekâ Laboratuvarı projesi için bir araya geldi.

**S: Betonun hangi uygulamaları var ve hangi özellikleri onu tercih edilen bir yapı malzemesi yapar?**

**Olivetti:** Beton, yıllık 30 milyar ton tüketimiyle küresel olarak en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bu, bir sonraki en çok üretilen yapı malzemesi olan çelikten 20 kat fazladır ve kullanımının ölçeği, çimento bileşeninden dolayı küresel sera gazı (GHG) emisyonlarının yaklaşık %5-8'i gibi önemli çevresel etkilere yol açmaktadır. Yerel olarak üretilebilir, çok çeşitli yapısal uygulamalara sahiptir ve uygun maliyetlidir. Beton, ince ve kaba agrega, su çimento (bağlayıcı) ve diğer katkı maddelerinin bir karışımıdır.

### Q&A: More-sustainable concrete with machine learning

MIT-IBM Watson AI Lab researchers aim to design concrete mixtures that use AI to shrink environmental footprint and cost, while recycling by-products and increasing performance. As a building material, concrete withstands the test of time. Its use dates back to early civilizations, and today it is the most popular composite choice in the world. However, it's not without its faults. Production of its key ingredient, cement, contributes 8-9 percent of the global anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions and 2-3 percent of energy consumption, which is only projected to increase in the coming years.

**S: Neden sürdürülebilir değil? Bu projeye hangi araştırma problemlerini çözmeye çalışıyorsunuz?**

**Olivetti:** Bilim insanları, çimento ham maddesini ısıtmak için alternatif yakıtların kullanılması, enerji ve malzeme verimliliğinin artırılması ve üretim tesislerinde karbon tutulması da dâhil olmak üzere bu malzemenin etkisini azaltmak için çeşitli yollar üzerinde çalışıyor. Bunların arasında çimento bağlayıcılarını yeniden gözden geçirmek, önemli bir fırsat olarak ortaya çıkıyor.

Çimento, beton kütlelerinin %10'unu oluştururken, sera gazı ayak izinin %80'ini oluşturuyor. Bu etki, imalatta gerekli kimyasal reaksiyonu ısıtmak ve çalıştırmak için yakılan yakıttan kaynaklanır, ancak kimyasal reaksiyonun kendisi de kireç taşının kalsi-

nasyonundan dolayı CO<sub>2</sub> salmaktadır. Bu nedenle, çimento bileşenlerinin (geleneksel olarak Portland çimentosu veya OPC) atık ve yan ürünlerden elde edilen alternatif malzemelerle kısmen değiştirilmesi, GHG ayak izini azaltabilir, ancak bu alternatiflerin kullanımı doğal olarak daha sürdürülebilir değildir, çünkü atıklar uzun mesafeler kat etmek zorunda kalabilir, bu da yakıt emisyonların ve maliyetin artmasına neden olur veya ön arıtma süreçleri gerektirebilir. Alternatif malzemeleri kullanmanın en uygun yolu koşullara bağlı olacaktır, ancak ölçeğin büyük olması nedeniyle, ihtiyaç duyulan devasa beton hacimlerini hesaba katan çözümlere de ihtiyacımız var. Bu proje, çimento ve betonun sera gazı etkisini azaltacak yeni beton karışımları geliştirmeye, deneme-yanılma süreçlerinden daha öngörülü olanlara doğru ilerlemeye yardımcı oluyor.

**Chen:** İklim değişikliğiyle mücadele etmek ve çevremizi daha iyi hâle getirmek istiyorsak, daha az sera gazı salımını sağlamak için kullanabileceğimiz alternatif maddeler veya bir reformülasyon var mı diye araştırıyoruz. Makine öğrenimini de kullanarak, bu proje ile daha iyi bir yanıt bulabileceğimizi ümit ediyoruz.

**S: Tarihin bu noktasında bu sorunun ele alınması neden önemli?**

**Olivetti:** Sera gazı emisyonlarını mümkün olduğunca hızlı bir şekilde ele almak acil bir ihtiyaç ve bunu yapmanın yolu tüm endüstri alanları için her zaman kolay değildir. Ulaşım ve elektrik üretimi için bu sektörleri karbondan arındırmak adına belirlenmiş yollar var. Bunlara gereken zamanda ulaşmak için çok daha agresif hareket etmemiz gerekiyor.

Ayrıca, bunu başarmak için teknolojik yaklaşımlara daha çok ihtiyacımız var, ancak endüstriyel malzeme üretimi gibi karbondan arındırılması zor sektörler için süreçlerin planlanması oldukça zor.

**S: Daha iyi beton üretmek için bu sorunu nasıl çözmeyi planlıyorsunuz?**

**Olivetti:** Amaç, dayanım ve dayanıklılık gibi performans kriterlerini karşılayan karışımlarla, ekonomik ve çevresel etkileri

de dengeleyen karışımları bir araya getirmek. Bunun yolu, endüstriyel atıkların katkılı çimento ve betonlarda kullanılmasından geçiyor. Bunu yapmak için, bileşen malzemelerin cam ve mineral reaktivitesini anlamamız gerekir. Reaktivite, yalnızca çimento sistemlerinde olası kullanım sınırını belirlemekle kalmaz, aynı zamanda betonda işlenebilirliği ve nihai olarak beton dayanıklılığını ve yaşam döngüsü CO<sub>2</sub> emisyonlarını kontrol eden dayanım ve boşluk yapısının gelişimini de kontrol eder.

**Chen:** Çimento bileşeninin bir kısmını değiştirmek için atık malzemelerin kullanımını araştırıyoruz. Atık malzemeler

oldukça yaygın ve uygun maliyetli, böylelikle daha sürdürülebilir ve ekonomik bir süreç elde edeceğimizi düşünüyoruz. Çimento kullanımındaki azalma nedeniyle, beton da daha az karbondioksit üretecektir. Diğer hedeflere ulaşırken dayanıklı betonlar yapan doğru beton karışımlarını bulmak çok zor bir problemdir. Makine öğrenimi bize sorunu çözmek için tahmine dayalı modelleme, belirsizlik ölçümü ve optimizasyonun ilerlemesini keşfetme fırsatı veriyor. Yaptığımız şey, bir cevap bulmak için derin öğrenmenin yanı sıra çok amaçlı optimizasyon tekniklerini kullanarak önümüzdeki seçenekleri keşfetmektir. Bu çabaların gerçekleştirilmesi artık daha mümkün.

**S: Bunun için ne tür yapay zekâ ve hesaplama teknikleri kullanıyorsunuz?**

**Olivetti:** Doğal dil işleme yoluyla literatürden tek tek somut bileşenler, karışım oranları ve somut performans hakkında veri toplamak için yapay zekâ tekniklerini kullanıyoruz.

Beton karışımlarının tasarımını optimize etmek için endüstriden ve yüksek verimli atomistik modelleme ve deneylerden elde edilen verileri de ekliyoruz. Daha sonra bu bilgiyi, düşük CO<sub>2</sub>'li beton için çimento malzemelerine alternatif olarak kullanılacak olası atık ve yan ürün malzemelerinin reaktivitesi hakkında fikir geliştirmek için kullanıyoruz. Beton bileşenlerle ilgili genel bilgileri de dâhil ederek, ortaya çıkan beton performans tahminlerinin mevcut yapay zekâ modellerinden daha güvenilir olması bekleniyor.

---

With aging United States infrastructure, the federal government recently passed a milestone bill to revitalize and upgrade it, along with a push to reduce greenhouse gas emissions where possible, putting concrete in the crosshairs for modernization, too. Elsa Olivetti, the Esther and Harold E. Edgerton Associate Professor in the MIT Department of Materials Science and Engineering, and Jie Chen, MIT-IBM Watson AI Lab research scientist and manager, think artificial intelligence can help meet this need by designing and formulating new, more sustainable concrete mixtures, with lower costs and carbon dioxide emissions, while improving material performance and reusing manufacturing byproducts in the material itself. Olivetti's research improves environmental and economic sustainability of materials, and Chen develops and optimizes machine learning and computational techniques, which he can apply to materials reformulation. Olivetti and Chen, along with their collaborators, have recently teamed up for an MIT-IBM Watson AI Lab project to make concrete more sustainable for the benefit of society, the climate, and the economy.

---

**Chen:** Nihai hedef, çeşitli faktörlerle optimize eden beton üretimi için karışıma hangi bileşenlerin ve her birinin ne kadarının katılacağını belirlemektir. Dayanım, maliyet, çevresel etki, performans, vb. hedeflerinin her biri için, belirli modellere ihtiyacımız var: Betonun performansını tahmin etmek (örneğin, ne kadar dayanır ve ne kadar ağırlığa dayanır?), maliyeti tahmin etmek ve ne kadar karbondioksit emisyonu olacağını tahmin etmek için bir modele ihtiyacımız var. Bu modelleri literatürden, endüstriden ve laboratuvar deneylerinden gelen verileri kullanarak oluşturmamız gerekecek. Beton dayanımını tahmin etmek için Gauss proses modellerini araştırıyoruz. Bu model bize bir belirsizlik tahmini de verebilir. Böyle bir model hesaplamak için kullanılacak başka model parametrelerine ihtiyaç duyar. Aynı zamanda, insan deneyimden edinilen bilgileri yerleştirebildiğimiz sinir ağı modellerini de keşfediyoruz. Bazı modeller çok katmanlı algılar kadar basitken, bazıları grafik sinir ağları gibi daha karmaşıktır. Buradaki amaç, yalnızca doğru değil aynı zamanda sağlam bir model yakalamaktır.

Giriş verileri anlamsızdır/karışıktır ve modelin verileri anlamlandırması gerekir. Böylece çok amaçlı optimizasyon için tahminler doğru ve güvenilir olacaktır.

### **S: Maliyet-fayda nasıl dengeleniyor?**

**Chen:** Düşündüğümüz çoklu hedefler her zaman tutarlı değil ve bazen birbirleriyle çelişiyor. Amaç, hedeflerimiz için değerlerin bir veya birkaçından ödün vermeden aynı anda yürüterek senaryoları belirlemektir. Örneğin, maliyeti daha da azaltmak istiyorsanız, muhtemelen performanstan veya çevresel etkiden ödün vermeniz gerekir. Sonunda sonuçları karar mercine ileticeğiz ve onlar da sonuçlara bakıp seçenekleri değerlendirecekler. Örneğin, sera gazında önemli bir azalma oluşturulduğunda çıkan yüksek bir maliyeti tolere edebilirler. Bir başka örnek, maliyetlerde büyük oynamalar olmasa da beton performansı yüksek ölçüde değişiyorsa, örneğin ikiye veya üçe katlanıyorsa, bu kesinlikle olumlu bir sonuçtur.

### **S: Bu işte ne tür zorluklarla karşılaşılıyorsunuz?**

**Chen:** Endüstriden ya da literatürden aldığımız veriler çok karışık beton ölçümleri, nerede ve ne zaman alındığına bağlı olarak çok değişebiliyor. Bunları farklı kaynaklardan entegre ettiğimizde de önemli miktarda eksik veriler ortaya çıkıyor. Bu nedenle, makine öğrenimi modelleri oluşturup eğitmek için

**Q:** What applications does concrete have, and what properties make it a preferred building material?

**Olivetti:** Concrete is the dominant building material globally with an annual consumption of 30 billion metric tons. That is over 20 times the next most produced material, steel, and the scale of its use leads to considerable environmental impact, approximately 5-8 percent of global greenhouse gas (GHG) emissions. It can be made locally, has a broad range of structural applications, and is cost-effective. Concrete is a mixture of fine and coarse aggregate, water, cement binder (the glue), and other additives.

verileri düzenleyerek kullanılabilir hâle getirmek çok çaba gerektiriyor. Ayrıca, tahmine dayalı modelleme ve belirsizlik tahminimizde, eksik özelliklerin yerine geçen atama tekniklerinin yanı sıra, eksik özellikleri tolere eden modelleri de keşfediyoruz.

### **S: Bu çalışmayla ne elde etmeyi umuyorsunuz?**

**Chen:** Sonuç olarak, üreticilere ve karar mercilerine bir ya da birkaç beton karışım tasarımı öneriyoruz. Bunun hem inşaat sektörü hem de Dünyamızı koruma çabası için çok değerli bilgiler sağlayacağını umuyoruz.

**Olivetti:** CO<sub>2</sub> ayak izini azaltmak için atık malzemelerden yararlanılan çimentolar tasarlamak adına sağlam bir yol geliştirmek istiyoruz. Kimse israfı sevmez, bu yüzden bunun büyük ölçüde ölçeklenebilir olmasını istiyorsak, ham madde olarak tek bir tedarik noktasına güvenemeyiz. Ham madde değişiklikleriyle geçiş yapmak için esnek ve sağlam olmalıyız ve bunun için daha kapsayıcı bir anlayışa ihtiyacımız var. Yerel, dinamik ve esnek alternatifler geliştirme yaklaşımımız, bu atıkları neyin reaktif hâle getirdiğini öğrenmekten geçiyor, bu nedenle kullanımlarını nasıl optimize edeceğimizi ve bunu mümkün olduğunca geniş bir şekilde nasıl yapacağımızı biliyoruz. Bunu, çeşitli konularda 5 milyondan fazla metin ve patent hakkındaki literatürden otomatik olarak veri çıkarmak için grubumla geliştirdiğimiz yazılım aracılığıyla, tahmine dayalı model geliştirme yoluyla yapıyoruz. Yeni çimentoların nihai etkisini tahmin eden yöntemler tasarlamak için IBM ile iş birliği içindeyiz. Başarılı olursak, her yerde bulunan bu malzemenin emisyonlarını azaltabiliriz ve karbon emisyonlarını azaltma hedeflerine ulaşmada üzerimize düşeni yapabiliriz.

Bu projeye dâhil olan diğer araştırmacılar arasında MIT Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri Bölümünde X-Window Konsorsiyumu Kariyer Geliştirme Doçenti Stefanie Jegelka; IBM baş araştırmacısı Richard Goodwin; MIT-IBM Watson AI Lab araştırma personeli üyesi Soumya Ghosh; ve Kristen Severson bulunuyor. Ortak çalışanlar arasında MIT-IBM Watson AI Lab ve IBM Research'ün eski araştırma personeli üyesi ve MIT Climate & Sustainability Consortium Jeremy Gregory İcra Direktörü Nghia Hoang da yer aldı.

Araştırma, MIT-IBM Watson AI Lab tarafından desteklenmektedir.

**Kaynak:** <https://news.mit.edu/2021/more-sustainable-concrete-machine-learning-1207>

## 3 Boyutlu Yazıcıyla Geri Dönüştürülmüş Camdan Yapılan Betonlar



3 boyutlu baskı beton, mimaride ve inşaat sektöründe bir değişikliğe yol açabilir. Mevcut teknolojilerin üzerinde çalıştığı yeni şekiller ve formlar üretmek için kullanılabilirliğinden, binaları inşa etmek için hâla kullanımda olan asırlık süreçleri ve prosedürleri, daha düşük maliyetler ve zaman tasarrufu sağlayacak şekilde değiştirebilir.

Bununla birlikte, betonun önemli bir çevresel etkisi vardır. Şu anda dünyanın beton ihtiyacını karşılamak için büyük miktarlarda doğal kum kullanılıyor ve bu da çevreye büyük maliyet oluşturuyor. Genel olarak, inşaat sektörü sürdürülebilirlikle mücadele ediyor ve dünyadaki katı atık sahası çöplerinin yaklaşık %35'ini oluşturuyor.

Yeni araştırmamız, bu etkiyi azaltmanın

### Future cities could be 3D printed - using concrete made with recycled glass

3D printed concrete may lead to a shift in architecture and construction. Because it can be used to produce new shapes and forms that current technologies struggle with, it may change the centuries-old processes and procedures that are still used to construct buildings, resulting in lower costs and saved time.

However, concrete has a significant environmental impact. Vast quantities of natural sand are currently used to meet the world's insatiable appetite for concrete, at great cost to the environment. In general, the construction industry struggles with sustainability. It creates around 35% of all landfill waste globally.

bir yolu olduğunu gösteriyor. 3 boyutlu baskı için betonun bir bileşeni olarak geri dönüştürülmüş cam kullanmayı denedik.

Beton, çimento, su ve agrega (kum ve kırma taş) karışımından yapılır. Karışımındaki agreganın %100'e kadar olan kısmını camla değiştirmeyi denedik. Basitçe söylemek gerekirse, cam kumdan üretilir, geri dönüşümü kolaydır ve herhangi bir karmaşık işleme gerek kalmadan beton yapmak için kullanılabilir.

İnşaat endüstrisinden gelen talep de, camın geri dönüştürülmesini sağlamaya yardımcı olabilir. 2018'de ABD'de camın yalnızca dörtte biri geri dönüştürüldü ve yarısından fazlası katı atık sahasına gitti.

### Daha iyi inşaat

Yerel bir geri dönüşüm şirketinden alınan kahverengi soda-kireç içecek bardağını

agrega yerine kullandık. Cam şişeler önce kırma makinesinde kırılıp, sonra kırılan parçalar yıkandı, kurutuldu, öğütüldü ve elendi. Ortaya çıkan parçacıklar bir milimetre kareden daha küçüktü.

Kırılan cam daha sonra beton üretim malzemesi olarak kullanıldı. Bu beton, bütün bir bina oluşturmak için birbirine takılabilen 3 boyutlu baskı duvar elemanları ve prefabrike yapı blokları oluşturmak için kullanıldı.



3 boyutlu baskı işlemi kullanılarak yapılan prefabrike bir bina giydirmesi.

Atık cam bir inşaat malzemesinin parçası olarak bu şekilde kullanılması durumunda, yeniden bir hayat bulabilir.

Camın varlığı sadece atık sorununu çözmekle kalmaz, aynı zamanda doğal kum içeren betondan daha üstün özelliklere sahip bir beton geliştirilmesine de katkıda bulunur.

Pencerelerde ve şişelerde bulabileceğiniz en yaygın cam türü olan soda-kireç camının termal iletkenliği, betonda yaygın olarak kullanılan kuvars kumundan üç kat daha düşüktür. Bunun anlamı, geri dönüştürülmüş cam içeren betonun daha iyi yalıtım özelliklerine sahip olmasıdır. Yaz ya da kış, soğutma ya da ısıtma için gerekli olan maliyetleri önemli ölçüde azaltabilir.

### Sürdürülebilirliği artırma

Beton karışımını bir yapı malzemesi olarak daha sürdürülebilir hâle getirmek için Portland çimentosunun bir kısmını kireç taşı tozuyla değiştirmek de dâhil olmak üzere başka değişiklikler de yaptık.

Portland çimentosu, betonun diğer bileşenleri sertleştirecek bir karışım hâlinde birbirine bağlamak için kullanılan önemli bir bileşendir. Bununla birlikte, normal Portland çimentosunun üretimi, diğer sera gazlarının yanı sıra önemli miktarlarda karbondioksitin salımına yol açar. Çimento üretim endüstrisi, çevredeki tüm karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %8'inden sorumludur.

Kireç taşı, Portland çimentosundan daha az tehlikelidir, üretim sürecinde daha az çevresel etkiye sahiptir ve baskı karışımının kalitesinde bir azalma olmadan 3 boyutlu baskı için betonda normal Portland çimentosu yerine kullanılabilir.



Bir duvar elemanının 3 boyutlu baskı katmanları.

Betonun yoğunluğunu azaltmak için, içi boş termoplastik kürelerden yapılmış hafif dolgu maddeleri de ekledik. Bu, betonun termal iletkenliğini değiştirerek, 3 boyutlu baskı için kullanılan diğer betonla karşılaştırıldığında yoğunluğu %40'a kadar azalttı. Bu da, betonun yalıtım özelliklerini daha da iyileştirdi ve gereken ham madde miktarını azalttı.

3 boyutlu baskı teknolojisini kullanarak, bir bilgisayarda basitçe bir duvar yapısı geliştirebilir, onu basit bir koda dönüştürebilir ve inşa edilmesi için 3 boyutlu bir yazıcıya gönderebiliriz. 3 boyutlu yazıcılar 24 saat çalışabilir, üretilen atık miktarını azaltabilir ve aynı zamanda inşaat işçilerinin güvenliğini de artırabilir.

Araştırmamız, ultra hafif, iyi yalıtılmış bir 3 boyutlu binanın mümkün olduğunu gösteriyor.

**Kaynak:** <https://theconversation.com/future-cities-could-be-3d-printed-using-concrete-made-with-recycled-glass-175598>