

Beton ve çimentoyu daha iklim dostu hâle getirebilecek yeni bir malzeme



Ağırlığının yarısı kadar karbondioksit tutan bu malzeme, sera gazını hapsederken beton ve diğer inşaat malzemelerinde kumun yerini alabilir.

Yenilikçi bir süreç, CO₂'i karbonu hapseden katı ve dayanıklı malzemelere dönüştürüyor. Northwestern Üniversitesi'ndeki bilim insanları, deniz suyu, elektrik ve karbondioksit (CO₂) kullanarak yeni bir karbon negatif yapı malzemesi geliştirdiler.

İklim ısınmaya devam ederken, dünya çapındaki araştırmacılar atmosferden CO₂ yakalayıp yer altında depolamanın yollarını arıyor. Bu yöntem çeşitli iklim avantajları sunsa da atmosferdeki CO₂'in potansiyel değerinden tam olarak yararlanamıyor.

Northwestern'in yeni yaklaşımı, CO₂'i kalıcı olarak hapsederek onu beton, çimento, alçı ve boya üretiminde kullanılabilen faydalı malzemelere dönüştürerek bu sorunu çözüyor. Bu süreç aynı zamanda ulaşım da dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalara sahip temiz bir yakıt olan hidrojen gazı da üretiyor.

Çalışmaya liderlik eden Northwestern'dan Alessandro Rotta Loria, "Deniz suyunu kullanarak karbon negatif inşaat malzemeleri üretmemizi sağlayan yeni bir yaklaşım geliştirdik. Çimento, beton, boya ve alçılar genellikle kalsiyum ve magnezyum bazlı minerallerden oluşur veya bunlardan türetilir; bu mineraller genellikle agregalardan, yani kum gibi maddelerden elde edilir. Şu anda kum, dağlardan, nehir yataklarından, kıyılardan ve okyanus tabanından madencilik yoluyla elde ediliyor. Biz kum kaynağına alternatif bir yaklaşım geliştirdik ve toprağı kazarak değil, elektrik ve CO₂ kullanarak deniz suyunda kum benzeri malzemeler geliştiriyoruz." dedi.

Deniz kabuğundan ilham alan bilim

Rotta Loria, Northwestern Üniversitesi McCormick Mühendislik Fakültesinde İnşaat ve Çevre Mühendisliği alanında Louis Berger Yardımcı Doçenti olarak görev yapmaktadır.

Yeni çalışma, Rotta Loria'nın laboratuvarında betonda uzun süreli CO₂ depolamak ve deniz suyunu elektrikleştirerek deniz tabanını çimentolamak için kullanılan önceki çalışmalara dayanıyor. Şimdi, laboratuvarında deniz suyuna elektrik uygularken CO₂ enjekte ederek bu iki projeden edindiği bilgilerden yararlanıyor.

Rotta Loria, "Araştırma grubumuz, inşaat ve endüstriyel süreçleri yenilemek için elektrikten yararlanmaya çalışıyor ayrıca deniz suyunu kullanmayı seviyoruz çünkü doğal olarak bol bulunan bir kaynak. Tatlı su gibi kıt değil." diyor.

Karbon negatif malzemeyi üretmek için araştırmacılar, deniz suyuna elektrotlar yerleştirip elektrik akımı uygulayarak başladılar. Düşük elektrik akımı, su moleküllerini hidrojen gazı ve hidroksit iyonlarına ayırabiliyor. Araştırmacılar, elektrik

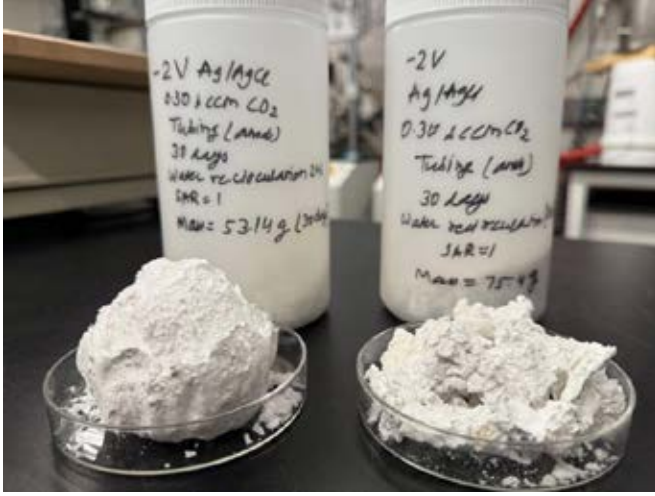
akımını açık tutarken deniz suyundan CO₂ gazı geçirdiler. Bu işlem, suyun kimyasal bileşimini değiştirerek bikarbonat iyonlarının konsantrasyonunu artırdı.

Scientists Develop New Material That Could Make Concrete and Cement More Climate-Friendly

An innovative process converts CO₂ into solid, durable materials that trap carbon.

Using seawater, electricity, and carbon dioxide (CO₂), scientists at Northwestern University have developed a new carbon-negative building material.

As the climate continues to warm, researchers around the world are searching for ways to capture CO₂ from the atmosphere and store it underground. While this method offers several climate benefits, it does not fully capitalize on the potential value of atmospheric CO₂.



Ağırlığının yarısı kadar karbondioksit tutan bu malzeme, sera gazını hapsederken beton ve diğer inşaat malzemelerinde kumun yerini alabilir.

Son olarak, hidroksit iyonları ve bikarbonat iyonları, deniz suyunda doğal olarak bulunan kalsiyum ve magnezyum gibi diğer çözülmüş iyonlarla reaksiyona girdi. Bu reaksiyon, kalsiyum karbonat ve magnezyum hidroksit de dâhil olmak üzere katı mineraller üretti. Kalsiyum karbonat doğrudan bir karbon yutağı görevi görürken, magnezyum hidroksit, CO₂ ile daha fazla etkileşime girerek karbonu hapseder.

Rotta Loria, bu süreci, çözülmüş iyonları kalsiyum karbonata dönüştürmek için metabolik enerjiyi kullanan mercan ve yumuşakçaların kabuklarını oluşturmak için kullandıkları tekniğe benzetiyor. Araştırmacılar, süreci başlatmak için metabolik enerji yerine elektrik enerjisi kullanarak, CO₂ enjeksiyonuyla mineralizasyonu artırdılar.

Çifte Keşif

Araştırmacılar, deneyler yoluyla iki önemli keşifte bulundular. Mineralleri kuma dönüştürdüler, ancak aynı zamanda deneysel faktörleri kontrol ederek bu malzemelerin bileşimini de değiştirebildiler. Bunlar arasında elektrik voltajı ve akımı, CO₂ enjeksiyonunun akış hızı, zamanlaması, süresi ve reaktördeki deniz suyu devridaiminin akış hızı, zamanlaması ve süresi de vardı.

Koşullara bağlı olarak ortaya çıkan maddeler, daha pullu ve daha gözenekli veya daha yoğun ve daha serttir, ancak her zaman esas olarak kalsiyum karbonat ve/veya magnezyum hidroksitten oluşurlar. Araştırmacılar, malzemeleri bir elekt-

rot etrafında veya doğrudan çözelti içinde büyütebilirler.

Rotta Loria, "Bu malzemeleri ürettiğimizde, kimyasal bileşim, boyut, şekil ve gözeneklilik gibi özelliklerini tamamen kontrol edebileceğimizi gösterdik. Bu bize farklı uygulamalara uygun malzemeler geliştirme konusunda biraz esneklik sağlıyor." dedi.

Bu malzemeler, betonda kum ve/veya çakıl yerine kullanılabilir ve her yerde bulunan bu yapı malzemesinin %60-70'ini oluşturan önemli bir bileşendir. Bir diğer alan ise inşa edilmiş çevrede temel kaplama malzemeleri olan çimento, sıva ve boya üretiminde kullanılabilir.

Yapılarda karbon depolama

Mineral oranına bağlı olarak, malzeme ağırlığının yarısından fazlasını CO₂ olarak tutabilir. Örneğin, yarı kalsiyum karbonat ve yarı magnezyum hidroksitten oluşan bu malzemenin 1 tonu, yarım tondan fazla CO₂ depolama kapasitesine sahiptir.

Rotta Loria, ayrıca malzemenin kum veya toz yerine kullanılması durumunda beton veya çimentonun mukavemetini zayıflatmayacağını da belirtiyor.

Rotta Loria, endüstrinin ekosistemleri ve deniz yaşamını rahatsız etmemek için bu tekniği doğrudan okyanusa değil, son derece ölçeklenebilir, modüler reaktörlerde uygulayabileceğini öngörüyor. "Bu yaklaşım, su kaynaklarının ve su atıklarının kimyasının tam kontrolünü sağlayacak ve bunlar yalnızca yeterli arıtma ve çevresel

doğrulamalardan sonra açık deniz suyuna yeniden enjekte edilecek." diyor.

Dünya Ekonomik Forumu'na göre, küresel CO₂ emisyonlarının %8'inden sorumlu olan çimento endüstrisi, dünyanın dördüncü en büyük karbon salıncısıdır. Beton üretimiyle birleştirildiğinde bu rakam daha da yükselmektedir. Rotta Loria, bu CO₂'in bir kısmını beton ve çimentoya geri vererek inşaat ve imalat için daha sürdürülebilir malzemeler üretmeyi öngörüyor.

Rotta Loria, "CO₂'i kaynağında hapsederek bir döngüsellik yaratabiliriz. Beton ve çimento fabrikaları kıyı şeritlerinde yer alırsa, hemen yanlarındaki okyanusu, CO₂'in temiz elektrikle inşaat sektöründe sayısız uygulamada kullanılacak malzemelere dönüştürüldüğü özel reaktörleri beslemek için kullanabiliriz. Böylece bu malzemeler gerçek anlamda karbon yutakları haline gelir." dedi.

Kaynak: scitechdaily.com/scientists-develop-new-material-that-could-make-concrete-and-cement-more-climate-friendly/

Northwestern's new approach tackles this issue by permanently locking away CO₂ and converting it into useful materials that can be used to manufacture concrete, cement, plaster, and paint. The process also produces hydrogen gas, a clean fuel with a range of applications, including transportation. The study will be published on March 19 in the journal *Advanced Sustainable Systems*.

Yapay zekâ, sürdürülebilir beton karışımlarını optimize ediyor

Araştırmacılar, mukavemet, maliyet ve sürdürülebilirliği dengeleyerek gerçek zamanlı olarak çevre dostu beton karışımları tasarlayan yeni bir yapay zekâ destekli yöntem geliştirdiler.



Scientific Reports dergisinde yayımlanan yeni bir çalışma, çevre dostu beton karışımları tasarlamak için derin sinir ağlarını (DNN'ler) çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu (MOPSO) birleştiren veri odaklı bir çerçeve sunuyor. Optimize edilmiş formülasyonlar, çimento içeriğini %25'e kadar azaltırken 50 MPa'nın üzerinde basınç dayanımları elde etti. Bu da geleneksel tasarımlara kıyasla yaklaşık %15'lik bir toplam maliyet tasarrufu anlamına geliyor.

Arka plan

Geleneksel beton karışım tasarımı genellikle deneme-yanılma yöntemlerine

AI-Powered Framework Optimizes Sustainable Concrete Mixes

Researchers have developed a novel AI-driven framework that designs eco-friendly concrete mixes by balancing strength, cost, and sustainability in real time.

A new study published in Scientific Reports introduces a data-driven framework that combines deep neural networks (DNNs) with multi-objective particle swarm optimization (MOPSO) to design environmentally conscious concrete mixes.

dayanır ve bu da özellikle dayanım, maliyet ve sürdürülebilirlik arasında denge kurarken zaman alıcı ve verimsiz olabilir. Hesaplamalı modellemedeki son gelişmelerle birlikte, daha sistematik ve veriye dayalı yaklaşımlar uygulanabilir hâle gelmiştir.

Makine öğrenimi ve özellikle derin öğrenme, bileşen oranları ve kürlenme süresi gibi girdi değişkenleri ile basınç dayanımı ve dayanıklılık gibi performans ölçütleri arasındaki karmaşık, doğrusal olmayan ilişkileri modelleme olanağı sunar. Aynı zamanda, optimizasyon algoritmaları, rekabet eden hedefler arasın-

da optimum dengeleri bularak sürdürülebilirlik endişelerini gidermek için kullanılmaktadır.

Bu çalışma, bütünlük bir yaklaşım sunmaktadır. Derin öğrenme modeli beton basınç dayanımını tahmin ederken, çok amaçlı bir optimizasyon rutini dayanımı en üst düzeye çıkarmayı, çimento içeriğini en aza indirmeyi ve genel maliyeti düşürmeyi amaçlamaktadır. Sistem, geçmiş verilerden öğrenmek için DNN'leri kullanır ve tasarım alanında verimli bir şekilde gezinmek için MOPSO'yu uygular.

Yöntemler

Önerilen metodoloji birkaç aşamadan oluşmaktadır; veri ön işleme, model geliştirme, hiperparametre ayarlama, değerlendirme ve doğrulama, çok amaçlı optimizasyon, özellik önem analizi ve gerçek zamanlı kullanım için bir grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) oluşturma.

DNN mimarisi, bir giriş katmanı, ReLU aktivasyon fonksiyonlarına sahip birden fazla gizli katman ve basınç dayanımını tahmin eden tek bir çıktı düğümünden oluşur. Modelin hiperparametrelerini ince ayarlamak için Bayes optimizasyonu kullanıldı ve kök ortalama karesel hata (RMSE) en aza indirildi.

Modelin doğruluğu, RMSE, ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE) ve R2 gibi bir dizi metrik kullanılarak daha önce görülmemiş veriler üzerinde test edildi. Optimizasyon için DNN'nin tahminleri, bileşen kütlelerinin ağırlıklı toplamına dayalı bir maliyet fonksiyonuyla eşleştirildi ve üçüncü bir kriter çimento içeriğini açıkça en aza indirdi. Performans yöntemleri kullanılarak yapılan bir özellik önem analizi, temel performans etkenlerini belirledi. Son olarak, ekip sistemi pratik kullanım için daha erişilebilir hâle getirmek amacıyla MATLAB tabanlı bir grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) geliştirdi.

Sonuçlar ve tartışma

Eğitilen DNN, çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, süperakışkanlaştırıcı ve su gibi birincil karışım bileşenleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri etkili bir şekilde modelledi. 0,936'lık ortalama R2 ve 5,71 MPa'lık RMSE ile vurgulanan güçlü çapraz doğrulama sonuçları, modelin sağlamlığını doğruladı.

Araştırmacılar, MOPSO kullanarak gerçekçi kısıtlamalar (örneğin, toplam hacim, su-çimento oranı, malzeme sınırları) dâhilinde bir dizi uygulanabilir karışım tasarımı araştırdı. Optimize edilmiş sonuçlar, maliyet, dayanım ve sürdürülebilirlik arasında pratik dengeler sundu. Özellikle, bazı tasarımlar 50 MPa basınç dayanımını korurken çimento kullanımını %25 ve maliyetleri %15 oranında azaltmıştır.

Önemlilik analizi, çimento içeriği ve kürlenme yaşının basınç dayanımı üzerinde en etkili faktörler olduğunu, uçucu kül, süper akışkanlaştırıcı ve cüruf gibi diğer girdilerin de önemli ölçüde katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur.

Genel olarak, çerçeve, çevresel etkiyi ve maliyetleri azaltırken performans standartlarını karşılayan beton karışımları geliştirmek için güvenilir bir araç görevi görmektedir. Kullanıcı dostu bir grafiksel kullanıcı arayüzünün (GUI) eklenmesi, teori ve yerinde uygulama arasındaki boşluğu kapatarak inşaat ortamlarında daha hızlı ve veriye dayalı karar alma süreçlerini mümkün kılmaktadır.

Sonuç ve gelecek çalışmalar

Bu entegre çerçeve, DNN'lerin ve MOPSO'nun maliyet, dayanım ve çevresel faktörleri dengeleyerek sürdürülebilir, yüksek performanslı beton karışımları üretmek için nasıl birlikte çalışabileceğini göstermektedir.

Yazarlar, gelecekteki çalışmaların, ham madde kaynakları, çevre koşulları ve işlenebilirlik ve uzun vadeli dayanıklılık gibi ek performans ölçütlerindeki değişiklikleri hesaba katacak şekilde veri setinin genişletilmesini içerebileceğini öne sürmektedir.

Ayrıca, doğruluk ve optimizasyon kapsamını artırmak için gelişmiş aktivasyon fonksiyonları, hassasiyet analizi ve alternatif metasezgisel algoritmalar kullanılmaktadır.

Standart MOPSO'nun karmaşık veya yüksek boyutlu problemlerle başa çıkmakta zorlanabileceği göz önüne alındığında, gelecekteki yinelemeler, çözüm kümesindeki çeşitliliği ve sağlamlığı artırmak için ayrıştırılmaya dayalı stratejileri içerebilir.

Özetle, bu yaklaşım, yapay zekâ destekli optimizasyonun sürdürülebilir inşaat uygulamalarına entegre edilmesi için pratik ve uyarlanabilir bir yol haritası sunmaktadır.

Kaynak: www.azobuild.com/news.aspx?newsID=23802

The optimized formulations achieved compressive strengths above 50 MPa while reducing cement content by up to 25 % - translating to a total cost savings of approximately 15 % compared to conventional designs.

Background

Traditional concrete mix design often relies on trial-and-error methods, which can be time-intensive and inefficient, especially when balancing strength, cost, and sustainability. With recent advances in computational modeling, more systematic and data-informed approaches have become feasible.