

Yangına dayanıklı biyo-betonda bakterilerin canlılığının modellenmesi

Araştırmacılar, yangın sırasında yüksek sıcaklıklara maruz kalan kendi kendini onaran betonda kapsüllenmiş bakterilerin hayatta kalmasını doğru bir şekilde tahmin eden bir ısı transfer modeli geliştirdiler ve doğruladılar.



Çalışma: Yangına dayanıklı kendi kendini onaran betonda bakterilerin hayatta kalmasına dair doğrulanmış termal model.

Scientific Reports'ta yayınlanan çalışma, çok katmanlı kapsüllemenin termal özelliklerini, radyal ısı difüzyonunu ve bakteri inaktivasyon eşiklerini içeren bir tahmin çerçevesi sunmaktadır. Modelin tahminleri, 200-800 °C aralığındaki yangın koşullarını temsil eden deneysel veriler ile doğrulanmıştır.

Arka Plan

Mikrobiyal kendi kendini onaran beton, bakterileri kullanarak kalsiyum karbonat çökmesi yoluyla çatlakları kapatarak altyapının hizmet ömrünü uzatmak için sürdürülebilir bir yol sunar. Bu sistem genellikle bakterilerin ve besin kaynağının (örneğin kalsiyum laktat) beton matrisi içine gömülmesi ile

Modeling Bacterial Viability in Fire-Resistant Bio-Concrete

Researchers have developed and validated a heat transfer model that accurately predicts the survival of encapsulated bacteria in self-healing concrete exposed to high temperatures during fires.

sağlanır. Böylece çatlak oluştuğunda kendiliğinden onarım gerçekleşebilir ancak gerçek uygulamalarda bu malzemelerin yangın gibi yüksek sıcaklık içeren ekstrem koşullarda da güvenilir şekilde performans göstermesi gerekir. Yangınlar beton ve iç yapısını ciddi şekilde bozarak bakterilerin hayatta kalmasını ve dolayısıyla betonun kendi kendini onarma kapasitesini sınırlar. Bu durum, bakteriyel kendi kendini onaran sistemlerin uygulanmasındaki temel zorluklardan biridir.

Daha önceki çalışmalar, bakteriyel sporların ısıya maruz kalma sonrası hayatta kalma olasılığını değerlendirmiş olsa da, çoğunda ısı maruziyeti parametrelerine dayalı

olarak hayatta kalma oranını tahmin edebilecek bir öngörü modeli bulunmamaktadır. Bu çalışma, yangın maruziyet süresi, malzeme özellikleri ve kapsülleme tasarımını bakteriyel hayatta kalma sonuçlarıyla ilişkilendiren, geçerliliği kanıtlanmış bir geçici ısı transferi modeli sunarak bu ihtiyacı karşılamaktadır.

Yöntemler

Araştırma ekibi, yüksek sıcaklıklara maruz kalan beton içinde kapsüllenmiş bakterilerde ısı transferini simüle eden hesaplamalı bir model geliştirmiştir. Amaç, iç sıcaklık 70 °C kritik eşiğini aşmadan bakterilerin ne kadar süre hayatta kalabileceğini belirlemektir.

Modeli doğrulamak için ekip, karbon fiber kabuklarla kapsüllenmiş, çimento hamuru ile kaplanmış ve beton numunelerine gömülmüş *Bacillus subtilis* sporlarını içeren deneysel verileri kullanmıştır.. Numuneler 200, 400, 600 ve 800 °C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta, her biri 1 saat süreyle fırın ortamında ısıtılarak yangın senaryoları simüle edilmiştir.

Isıtma işleminden sonra, çatlamayı en aza indirmek için numuneler fırında 24 saat boyunca kademeli olarak soğutulmuş, ardından hayatta kalma oranlarını değerlendirmek için standart yayılma plakası yöntemi kullanılarak mekanik testler ve mikrobiyal canlılık analizleri yapılmıştır.

Sonuçlar ve Tartışma

Sonlu farklar yöntemi ve bakteriyel inaktivasyon kinetiğini içeren model, deneysel sonuçlarla yüksek düzeyde uyum göstermiştir. Bakteri canlılık tahminleri, basınç dayanımı verileri ve termal görüntüleme sonuçlarıyla özellikle beton çekirdek bölgelerinde örtüşmüştür. Yangın sonrası lokalize kalsiyum karbonat oluşumu, modelin doğruluğunu ve bakterilerin yeniden aktif hale gelebilme potansiyelini doğrulamıştır.

Özellikle, kapsülleme malzemesi olarak karbon fiberin kullanılması, tüm yangın senaryolarında bakterilerin hayatta kalma süresini önemli ölçüde artırmıştır. Çalışmada 200 °C'de 19,5 saate kadar, 800 °C'de ise yaklaşık 4 saate kadar canlılık rapor edilmiştir. Bu performans, karbon fiberin mükemmel termal stabilitesine bağlanmaktadır. Buna karşılık jelatin bazlı kapsüllemeler 200 °C'nin üzerinde bakteriler sporlarını

Published in *Scientific Reports*, the study introduces a predictive framework that incorporates thermal properties of multi-layer encapsulation, radial heat diffusion, and bacterial inactivation thresholds. The model's predictions were verified using experimental data across fire-relevant temperatures ranging from 200 to 800 °C.

Background

Microbial self-healing concrete offers a sustainable way to extend the service life of infrastructure by using bacteria to seal cracks through calcium carbonate precipitation. This is typically achieved by embedding bacteria and a nutrient source - such as calcium lactate - into the concrete matrix, enabling autonomous repair when cracks form. However, for real-world applications, these materials must perform reliably under extreme conditions, including high-temperature fire events. Fires can severely damage concrete and its internal structure, making bacterial survival - and thus self-healing - difficult. This remains one of the key challenges to implementing bacteria-based self-healing systems in practice.

koruyamamış ve ihmal edilebilir canlılık süreleri göstermiştir.

Karbon fiber ayrıca hem ısı yalıtımı hem de yapısal güçlendirme avantajı sağlamıştır. 600 °C'de karbon fiber kullanılan numuneler başlangıç dayanımının %40-45'ini korurken, jelatin bazlı numunelerde bu oran %25'in altına düşmüştür. Bu numuneler ayrıca ısıya maruz kaldıktan sonra daha iyi bir mikroyapısal bütünlük sergilemiş; bu da onları yangın sonrası kendi kendine onarım açısından daha uygun hâle getirmiştir.

Öte yandan, jelatin bazlı kapsülleme sistemleri erken ayrışma, zayıf adrens ve boşluk oluşumu nedeniyle düşük performans göstermiştir; bunların tümü çatlak yayılmasını hızlandırmış ve bakteriyel canlılığı azaltmıştır.

Kapsüllemenin geometrisi de önemli bir rol oynamıştır. 1,75 ile 2,0 mm arasındaki koruyucu tabakalar ısı transferini etkili bir şekilde yavaşlatmış ve 600 °C'de iç

sıcaklıkları beş saate kadar ölümcül seviyelerin altında tutmuştur. Buna karşılık, daha ince tabakalar ısının hızla nüfuz etmesine izin vererek hayatta kalma süresini keskin bir şekilde azaltmıştır.

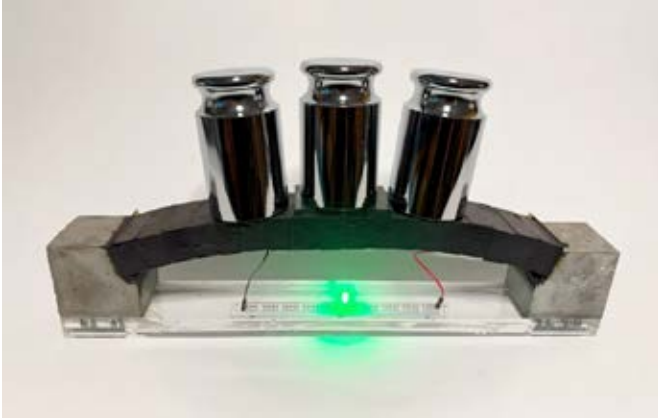
Sonuç

Bu çalışma, ısı transferi simülasyonlarını deneysel gözlemlerle birleştirerek, yangına maruz kalan kendi kendini onaran betonda bakteriyel canlılığı tahmin edebilen doğrulanmış bir model sunmaktadır. Çalışma, karbon fiber kabuklar ile çimento hamuru ile kaplanmış jelatin kapsüller olmak üzere iki kapsülleme yöntemini karşılaştırarak, kapsülleme tasarımı, termal koruma ve mikrobiyal canlılık arasındaki etkileşime dair önemli bilgiler sağlamaktadır.

Bununla birlikte, modelin mevcut kapsamı, ISO 834 yangın eğrisi koşulları altında karbon fiber veya jelatin ile kapsülenmiş *Bacillus subtilis* sporları ile sınırlıdır. Diğer mikrobiyal ajanlara, kapsülleme stratejilerine veya yangın senaryolarına daha geniş bir uygulanabilirlik, gelecekteki çalışmalar için bir yön olmaya devam etmektedir.

Kaynak: www.azobuild.com/news.aspx?newsID=23872

Beton "pil" 10 kat daha fazla güç depoluyor



Elektron iletken karbon beton (ec^3) tabanlı bir kemer yapısı, çift işlevsellik için süper kapasitör elektrotlarını entegre ediyor. Prototip, hem yapısal yük taşıma hem de bir LED'i çalıştırma yeteneğini gösteriyor; ışığın yoğunluğu uygulanan yüke göre değişiyor ve süper kapasitör aracılığıyla gerçek zamanlı yapısal sağlık izleme potansiyelini vurguluyor.

Çimento, su, ultra ince karbon siyahı (nanometre parçacıklarıyla) ve elektrolitlerin birleştirilmesiyle yapılan elektron iletken karbon beton, (ec^3 , "e-c-küp" olarak telaffuz edilir) betonun içinde iletken bir "nano ağ" oluşturarak duvarlar, kaldırımlar ve köprüler gibi günlük yapıların elektrik enerjisini depolamasını ve serbest bırakmasını sağlayabilir. Başka bir deyişle, etrafımızdaki beton bir gün devasa "piller" görevi görebilir.

MIT (Massachusetts Institute of Technology) araştırmacılarının bildirdiğine göre, optimize edilmiş elektrolitler ve üretim süreçleri, en yeni ec^3 süper kapasitörlerinin enerji depolama kapasitesini on kat artırdı.

Concrete 'battery' now packs 10 times the power

An electron-conducting carbon concrete (ec^3)-based arch structure integrates supercapacitor electrodes for dual functionality. The prototype demonstrates both structural load bearing and the ability to power an LED, with the light's intensity varying under applied load, highlighting the potential for real-time structural health monitoring via the supercapacitor.

Concrete already builds our world, and now it's one step closer to powering it, too. Made by combining cement, water, ultra-fine carbon black (with nanoscale particles), and electrolytes, electron-conducting carbon concrete (ec^3 , pronounced "e-e-cubed") creates a conductive "nanonetwork" inside concrete that could enable everyday structures like walls, sidewalks, and bridges to store and release electrical energy. In other words, the concrete around us could one day double as giant "batteries."

2023 yılında, ortalama bir evin günlük ihtiyaçlarını karşılayacak kadar enerji depolamak için yaklaşık 45 metreküp ec^3 gerekiyordu, bu da tipik bir bodrum katında kullanılan beton miktarına yaklaşık olarak eşitti. Şimdi, geliştirilmiş elektrolit sayesinde aynı görev yaklaşık 5 metreküp, yani tipik bir bodrum duvarının hacmiyle gerçekleştirilebiliyor.

Yeni çalışmanın baş yazarı, MIT Elektron İletken Karbon Çimento Bazlı Malzemeler Merkezi (EC^3 Hub) eş direktörü ve MIT İnşaat ve Çevre Mühendisliği (CEE) doçenti Admir Masic, "Betonun sürdürülebilirliğinin anahtarı, enerji depolama, kendi kendini onarma ve karbon tutma gibi işlevleri entegre eden "çok işlevli beton"un geliştirilmesidir. Beton zaten dün-

yanın en çok kullanılan inşaat malzemesidir, öyleyse neden bu ölçekten yararlanarak başka faydalar yaratmayalım?" diyor.

Geliştirilmiş enerji yoğunluğu, ec^3 içindeki nanokarbon siyahı ağının nasıl işlev gördüğü ve elektrolitlerle nasıl etkileşimde bulunduğu konusunda daha derin bir anlayış sayesinde mümkün oldu.

EC^3 malzemesinin ince katmanlarının ardışık olarak uzaklaştırılması için odaklanmış iyon ışınları kullanılarak ve ardından her dilimin taramalı elektron mikroskobu ile yüksek çözünürlüklü görüntülenmesiyle (FIB-SEM tomografisi adı verilen bir teknik), EC^3 Hub ve MIT Beton Sürdürülebilirlik Merkezi'ndeki ekip, iletken nano ağ şimdiye kadarki en yüksek çözünürlükte yeniden oluşturmayı başardı. Bu yaklaşım, ekibin ağın esasen ec^3 gözeneklerini çevreleyen fraktal benzeri bir "ağ" olduğunu keşfetmesini sağladı; bu da elektrolitin içeri sızmasına ve akımın sistemden akmasına olanak tanıyor.

Masic, "Bu malzemelerin nano ölçekte nasıl 'bir araya geldiğini' anlamak, bu yeni işlevselliklere ulaşmanın anahtarıdır." diye ekliyor.

Nano ağ yapısı hakkındaki yeni anlayışlarıyla donanmış ekip, enerji depolama yoğunluğunu nasıl etkilediklerini görmek için farklı elektrolitler ve konsantrasyonlarıyla deneyler yaptı.

İlk yazar ve EC³ Hub araştırma bilimcisi Damian Stefaniuk, "ec³ için uygun aday olabilecek çok çeşitli elektrolitler bulduk. Buna deniz suyu bile dâhil; bu da onu kıyı ve deniz uygulamalarında, belki de açık deniz rüzgâr çiftlikleri için destek yapıları olarak kullanmak için iyi bir malzeme haline getirebilir." dedi.

Aynı zamanda, ekip elektrolitleri karışıma ekleme yöntemini de basitleştirdi. ec³ elektrotlarını kürleyip ardından elektrolite batırmak yerine, elektroliti doğrudan karışım suyuna eklediler. Elektrolit penetrasyonu artık bir sınırlama olmadığı için ekip daha fazla enerji depolayan daha kalın elektrotlar üretebildi.

Ekip, özellikle dezenfektanlar gibi günlük ürünlerde bulunan kuaterner amonyum tuzlarını, endüstride sıklıkla kullanılan berrak, iletken bir sıvı olan asetonitril ile birleştiren organik elektrolitlere geçtiklerinde en iyi performansı elde ettiler. Bu ec³ versiyonunun bir metreküpü (yaklaşık bir buzdolabı büyüklüğünde) 2 kilowatt-saatten fazla enerji depolayabiliyor. Bu, gerçek bir buzdolabını bir gün boyunca çalıştırmaya yetecek kadar enerji demek oluyor.

Piller daha yüksek enerji yoğunluğuna sahipken, ec³ prensip olarak döşemelerden ve duvarlardan kubbelere ve tonozlara kadar çok çeşitli mimari unsurlara doğrudan entegre edilebilir ve yapının kendisi kadar uzun süre dayanabilir.

Masic, "Antik Romalılar beton yapımında büyük ilerlemeler kaydettiler. Pantheon gibi devasa yapılar bugün bile takviye olmadan ayakta duruyor. Malzeme bilimini mimari vizyonla birleştirme ruhunu sürdürürsek, ec³ gibi çok fonksiyonlu betonlarla yeni bir mimari devrimin eşiğinde olabiliriz." diyor.

Ekip, Roma mimarisinden ilham alarak, yapısal formun nasıl kullanılabileceğini göstermek amacıyla minyatür bir ec³ kemerini inşa etti.

Enerji depolama sistemleri birlikte çalışabilir. 9 volt ile çalışan kemer, kendi ağırlığını ve ek yükü taşıırken bir LED ışığı da besliyordu, ancak kemer üzerindeki yük arttığında benzersiz bir şey oldu: Işık titredi. Bu muhtemelen stresin elektrik kontaktlarını veya yük dağılımını etkileme biçiminden kaynaklanıyor.

Masic, "Burada bir tür kendi kendini izleme kapasitesi olabilir. Bir ec³ kemerini mimari ölçekte düşünürsek, yüksek rüzgârlar gibi bir stres faktöründen etkilendiğinde çıkışı dalgalanabilir. Bunu, bir yapının ne zaman ve ne ölçüde stres altında olduğunu gösteren bir sinyal olarak kullanabilir veya genel sağlığını gerçek zamanlı olarak izleyebiliriz." diye öngörüyor.

Ec³ teknolojisindeki son gelişmeler, onu gerçek dünya ölçeklenebilirliğine bir adım daha yaklaştırıyor. Isı iletkenliği özellikleri nedeniyle Japonya'nın Sapporo kentinde kaldırım döşemelerini ısıtmak için zaten kullanılmıştı, tuzlamaya potansiyel bir alternatif oluşturuyor.

Stefaniuk, "Bu daha yüksek enerji yoğunlukları ve daha geniş bir uygulama alanında gösterilen değerle, artık kalıcı enerji sorunlarının geniş bir yelpazesini ele almamıza yardımcı

olabilecek güçlü ve esnek bir araca sahibiz. En büyük motivasyonlarımızdan biri, yenilenebilir enerji geçişini mümkün kılmaya yardımcı olmaktır. Örneğin, güneş enerjisi verimlilik açısından çok yol kat etti, ancak yalnızca yeterli güneş ışığı olduğunda enerji üretebilir. Dolayısıyla, soru şu oluyor: Gece veya bulutlu günlerde enerji ihtiyaçları nasıl karşılanacak?" diyor.

EC³ Hub eş direktörü ve CEE profesörü Franz-Josef Ulm, "Cevap, enerjiyi depolamanın ve serbest bırakmanın bir yoluna ihtiyacınız olmasıdır. Bu genellikle, kıt veya zararlı malzemelere dayanan bir pil anlamına geliyordu. EC³'ün, binalarımızın ve altyapımızın enerji depolama ihtiyaçlarımızı karşılamasına olanak tanıyan uygulanabilir bir alternatif olduğuna inanıyoruz." dedi.

Ekip, elektrikli araçları şarj edebilecek park alanları ve yolların yanı sıra tamamen şebekeden bağımsız çalışabilen evler gibi uygulamalar üzerinde çalışıyor.

Cornell Üniversitesinde tasarım teknolojisi ve malzeme bilimi ve mühendisliği doçenti ve eski bir EC³ Hub araştırmacısı olan James Weaver, makalenin ortak yazarlarından biri olarak şunları söylüyor: "Bizi en çok heyecanlandıran şey, beton gibi kadim bir malzemeyi alıp tamamen yeni bir şey yapabileceğini göstermiş olmamız. Modern nanobilimi, uygarlığın kadim bir yapı taşıyla birleştirerek sadece yaşamlarımızı desteklemekle kalmayıp, onlara güç veren bir altyapıya kapı açıyoruz." dedi.

Cornell Üniversitesinde tasarım teknolojisi ve malzeme bilimi ve mühendisliği doçenti ve eski bir EC³ Hub araştırmacısı olan James Weaver, makalenin ortak yazarlarından biri olarak şunları söylüyor: "Bizi en çok heyecanlandıran şey, beton gibi kadim bir malzemeyi alıp tamamen yeni bir şey yapabileceğini göstermiş olmamız. Modern nanobilimi, uygarlığın kadim bir yapı taşıyla birleştirerek sadece yaşamlarımızı desteklemekle kalmayıp, onlara güç veren bir altyapıya kapı açıyoruz." dedi.

Kaynak: https://techxplore.com/news/2025-10-concrete-battery-power.html#google_vignette

As MIT researchers report in a new PNAS paper, optimized electrolytes and manufacturing processes have increased the energy storage capacity of the latest ec³ supercapacitors by an order of magnitude. In 2023, storing enough energy to meet the daily needs of the average home would have required about 45 cubic meters of ec³, roughly the amount of concrete used in a typical basement.

Duvara tırmanan robotlar ile tesis bacalarında tahribatsız testler



Wall-climbing robots carry out non-destructive testing on EDF chimneys

A Birmingham robotics firm has demonstrated that wall-climbing robots can carry out non-destructive testing (NDT) on tall concrete structures, after a series of trials on a 200m tall chimney at an EDF facility.

Birmingham merkezli bir robotik firması, elektrik santrali tesisindeki 200 metre yüksekliğinde bir bacada yapılan bir dizi denemenin ardından, duvara tırmanan robotların yüksek beton yapılar da tahribatsız testler (NDT) gerçekleştirebileceğini gösterdi.

Tırmanan robotik platformlar geliştiren HausBots, ACS'nin MIRA ultrasonik tomografi sistemini bir HausBots paletli robotuna monte etmek ve yüzey altı görüntüleme testleri programı yürütmek için EDF ve Alman NDT prob

üreticisi ACS-Solutions GmbH ile birlikte çalıştı. Şirket temsilcileri, robotun incelemeleri hızlı bir şekilde ve personeli yüksekte çalışmaya maruz bırakmadan tamamladığını söylüyor.

Denemeler, entegre sistemin dikey yüzeyden tomografik taramalar toplamak için kullanıldığı bir elektrik santrali sahasındaki büyük bir beton baca üzerinde gerçekleştirildi. HausBots'un kurucu ortağı Jack Cornes'a göre, testler bu yaklaşımın yüksek betonarme yapıların incelenmesi için "pratik, güvenli ve ölçeklenebilir bir yöntem" olduğunu ve geleneksel yöntemlere kıyasla önemli zaman tasarrufuyla tutarlı tarama çözünürlüğü sağladığını gösterdi.

Baca yüzeyleri ve köprü ayakları gibi yüksek, karmaşık dikey yapıların incelenmesinin zorlu olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir. Geleneksel teknikler halatla erişim, iskele veya mobil yükseltilmiş çalışma platformları pahalı, zaman alıcı ve potansiyel olarak tehlikeli olabilir ve toplanan veri miktarını ve kalitesini sınırlayabilir. Operatörler maliyetleri düşürmek, güvenliği artırmak ve daha sık, daha yüksek kaliteli durum verileri elde etmek için robotik ve otomatik incelemeye olan endüstri ilgisi son yıllarda artmıştır.

HausBots'un platformu, şirketin Aerogrip adını verdiği, kontrollü hava akışı ve emmeyi birleştirerek robot şasisinin altında düşük basınç oluşturan tescilli bir yapışma sistemi kullanmaktadır. Sistem, beton gibi pürüzlü ve gözenekli malzemeler de dâhil olmak üzere çeşitli dikey ve ters yüzeylere yapışacak şekilde tasarlanmıştır. Saha testleri sırasında robotun tırmanışlar ve taramalar boyunca istikrarlı yapışma sağladığı ve MIRA ünitesinin her konumda yüksek kaliteli tomografik görüntüler ürettiği bildirildi.

Ultrasonik tomografi, görsel veya insansız hava aracı incelemelerinin sağlayamadığı yüzey altı bilgileri sunarak beton kusurlarını, boşlukları veya donatı korozyonunu değerlendirmek için değerli hâle geliyor. İnsansız hava araçları dış görsel incelemeler için yaygın hâle gelirken, özellikle yüzeyin altındaki görüntüleme için dikey beton yüzeylerde doğrudan temaslı tahribatsız muayene çözümleri daha azdır.

Deneme ortakları, daha hızlı kurulumlar, geçici erişim ekipmanına olan ihtiyacın azalması ve inceleme personeli için yüksekte çalışma riskinin ortadan kaldırılması gibi operasyonel faydaları vurguladı. HausBots, uygulamanın daha sık izleme programlarına ve varlık yönetimine daha veri odaklı bir yaklaşıma kapı açtığını söyledi. EDF ve ACS-Solutions sonuçlarının bağımsız doğrulamasını yayınlamadı; sektör gözlemcileri, yeni inceleme yöntemlerinin geniş ölçekte benimsenmesinden önce genellikle daha geniş denemeler ve üçüncü taraf doğrulaması gerektiğini söylüyor.

Kaynak: www.newcivilengineer.com/latest/wall-climbing-robots-carry-out-non-destructive-testing-on-edf-chimneys-27-11-2025/