

Akıllı Camlar

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Binlerce yıldır üretiliyor olsalar da camlar hâlâ bilimsel çalışmalara konu oluyor. Son zamanların en aktif araştırma alanlarında biri de çevreden gelen uyarılara tepki veren ve belirli görevlerde yüksek performans gösterebilen akıllı camlar.

Akıllı Pencereler

Akıllı camların en bilinen uygulama alanı akıllı pencereler. İçlerinden geçen ışığı kontrol edecek biçimde tasarlanan bu camlar, kapalı mekânları yazın serin, kışın sıcak tutmak amacıyla üretiliyor. Böylece hem daha konforlu bir yaşam ortamı oluşturmak hem de binaların enerji verimliliğini artırmak hedefleniyor.

Akıllı pencere camlarını aktif ve pasif olarak ikiye ayırabiliriz. Aktif camların içinden geçmesine müsaade ettiği ışığın miktarını

ya da türünü değiştirmek için insan müdahalesi gerekiyor. Bu camlara örnek olarak elektrokromik camlar verilebilir. Voltaj uygulandığında rengi ya da geçirgenliği değişen bu camlar sadece binalarda değil, elektronik ekranlarda ve araba camlarında da kullanılabiliyor. Bu tür akıllı camların bir dezavantajı rengini ya da geçirgenliğini değiştirmek için uygulanacak voltajın insan eliyle kontrol edilen bir anahtar tarafından kumanda edilmesi. Ayrıca bu camları eski binaların pencerelerinde kullanabilmek için önce pencere çerçevelerinin değiştirilmesi ve duvarlara yeni elektrik hatları döşenmesi gerekiyor.

Pasif olarak adlandırılan akıllı pencere camlarına ise termokromik camlar örnek verilebilir. Sıcaklık değişimlerine tepki veren bu camların içinden geçen ışığı kontrol etmek için herhangi bir insan müdahalesi gerekmiyor. Termokromik camların üretiminde kullanılan en yaygın yöntem camın üzerini ortam sıcaklığına tepki vererek faz değiştiren bir malzemeyle kaplamak. Sıcaklık değiştikçe kaplama malzemesinin geçirgenliği artıyor ya da azalıyor. Böylece camın içinden geçebilen ışığın miktarı ve türü, ortam sıcaklığına göre değişiyor.



Transparan haldeki akıllı pencere camı



Opak haldeki akıllı pencere camı

Güneş Gözeleri

Güneş gözeleri Güneş'ten aldığı enerjiyle elektrik üreten aletlerdir. Ancak güneş ışığının tamamı güneş gözeleri için iyi değildir. Bu aletler güneş ışığındaki görünür ve kızılötesi ışıklardan aldıkları enerjiyle elektrik üretir. Güneş ışığındaki morötesi ışınlar ise güneş panelleri için zararlıdır. Örneğin organik güneş gözelerinde bulunan yarıiletken polimerler, morötesi ışıktan zarar görür. Bu durum gözenin elektriksel direncinin artmasına ve verimliliğinin düşmesine yol açar.

Morötesi ışınlar silikon bazlı güneş gözeleri için de zararlıdır. Bu tür güneş gözelerinde, güneş ışığına duyarlı bileşenler koruyucu polimer katmanların arasına yerleştirilir. Ayrıca sistemin üstü ışığı geçiren koruyucu bir camla kaplanır. Polimer katmanlarının temel görevi içeri su sızmasını engellemektir. Ancak morötesi ışıktan zarar gören koruyucu katmanlar zamanla aşınır ve içeriye sızan sular elektrotlara zarar verir.

Geçmişte güneş panellerini daha verimli hâle getirmeye çalışan araştırmacılar cam kaplamaların ışık geçirgenliğini artırmaya çalışırdı. Ancak bu yaklaşım aynı zamanda daha fazla morötesi ışığın da içeri girmesi anlamına geldiği için gözelerin kullanım ömrünü azaltırdı.

Günümüzde güneş gözeleri için akıllı camlar geliştirmeye çalışan araştırmacılar var. Bu camlar üzerlerine düşen güneş ışığındaki morötesi ışığı soğururken görünür ve kızılötesi ışığın içlerinden geçmesine izin veriyor. Böylece gözenin verimliliğini düşürmeden morötesi ışıktan zarar görmesini engellemek mümkün oluyor. Hatta bu akıllı camların bazıları morötesi ışıktan aldıkları enerjinin bir kısmını bir süre sonra görünür ışık hâlinde yayıyor ve bu enerji de göze tarafından elektriğe dönüştürülebiliyor. Böylece

gözenin sadece kullanım ömrü değil, verimliliği de artıyor. Morötesi ışığı görünür ışığa dönüştüren akıllı camların kullanıldığı gözelerin standart camların kullanıldığı gözelerle kıyasla %8 daha verimli olduğunu gösteren çalışmalar var.

Biyoaktif Camlar

Tedavi amacıyla kullanılan metal ve plastik implantlarla ilgili önemli bir sorun, vücudun bu malzemeleri reddetmesidir. Bu soruna çare bulmaya çalışan biyomedikal mühendisi Larry Hench, 1969'da biyocam 45S5'i geliştirdi. Vücuttaki dokularla canlı bağlar kurabilen sentetik malzemelerin ilk örneği olan bu biyoaktif cam; kütlece %45 SiO₂, %24,5 CaO, %24,5 Na₂O ve %6 P₂O₅ içeriyordu. Kemiklerdeki hasarları tedavi etmek için kullanılan bu malzemenin iki önemli özelliği var. Birincisi, biyocam 45S5'in yapısı kemiklerde bulunan bir mineral olan hidroksiapatite (Ca₅(PO₄)₃OH) benzediği için vücut tarafından reddedilmiyor. İkincisi, bu malzemenin çözünürken saldıgı iyonlar hücreleri uyarak yeni kemik üretimini tetikliyor.

Biyoaktif camların en yaygın kullanım biçimi, toz hâlindeki malzemeden üretilen macunun hasarlı bölgenin içine aktarılması. Ayrıca daha büyük hasarların



Volker Steger / SPL

Kemikleri onarmak için kullanılan, biyocamdan üretilmiş bir ortopedik çivi

tedavisi için 3 boyutlu yazıcılarla yapı iskeleti benzeri malzemelerin üretilmesi üzerine de araştırmalar yapılıyor. Hatta bazı çalışmalar, bu yapılardaki gözeneklerin büyüklüğünü değiştirerek kemik iliğindeki hücrelerin ya kemik ya da kıkırdak doku üretmesinin sağlanabileceğini gösteriyor.

Biyoaktif camlar kronik yaraların tedavisinde de kullanılıyor. Örneğin pamuk benzeri biyoaktif camların diyabetik ayak ülserini iyileştirebileceğini gösteren araştırmalar var.

Günümüzde biyoaktif camların en yaygın kullanım alanı ise diş hassasiyeti tedavisi. Diş hassasiyetinin nedeni, dişin merkezindeki sinir boşluğu ile ağız boşluğunu birbirine bağlayan ince kanallardır. Diş hassasiyetini tedavi etmenin yolu da bu kanalcıkları tıkamaktan geçer. Günümüzde biyoaktif cam içeren diş macunları bulunuyor. Bu macunlardaki biyocamlar hücreleri uyararak kanalların doğal bir biçimde kapanmasını sağlıyor.

Kendini Temizleyen Antibakteriyel Camlar

Güvelerin ışığı ve sesi çok düşük oranda yansıtan kanatları vardır. Bu kanatlar güvelerin kendilerini avcı hayvanlardan gizlemesine yardımcı olur.

Günümüzde güve kanatlarının yapısından esinlenilerek optik ve akustik kamuflaj malzemeleri üretmek için araştırmalar yapılıyor. Bilimsel çalışmalar, yüzeyinde yüksekliği nanometrelerle ölçülen ufak konilerin bulunduğu camların üzerlerine düşen ışığın sadece %3'ünü yansıttığını gösteriyor. Standart camlarda ise bu oran %7 civarında. Yüzeyi konilerle kaplı camların önemli bir özelliği de süperhidrofobik olmaları. Camın üzerine düşen su ve yağ damlaları, yüzeydeki konilerin arasına hapsolan hava nedeniyle dağılmadan yuvarlanarak akıp gidiyor. Ayrıca bu sırada yüzeydeki toz ve kir zerrecikleri de topluyorlar. Bu durum cama kendi kendini temizleme özelliği kazandırıyor. Bu camların bir başka önemli özelliği de antibakteriyel olmaları. Sivri uçlu konilerin hücre zarlarını delmesi, yüzeyin üzerindeki bakterilerin ölmesine neden oluyor. *Staphylococcus* bakterileriyle yapılan deneylerde, yüzeyin üzerine bırakılan bakterilerin %80'inin öldüğü gözlemlendi. Standart camlarda ise bu oran sadece %10.

Işığı Yönlendirmek

Optik disklerde verileri kaydetmek için faz değişim malzemelerinden (PCM) de yararlanılır. Bu malzemeler enerji alışverişi yaparak kolayca biri kristalli, diğeri camsı yapıdaki iki faz arasında geçiş yapar. İki ayrı faz, iki ayrı biti (0'ı ve 1'i) kodlamak için kullanılır.

Günümüze kadar PCM'lerin optik alanındaki uygulamaları büyük ölçüde veri depolama ile sınırlıydı. Bu durumun nedeni ise iki fazdan birinin genellikle opak (ışığı geçirmez) olmasıydı. Ancak yakın zamanlarda GSST olarak adlandırılan bir malzemenin geliştirilmesi bu durumu değiştirebilir. Deneyler germanyum, kalay, selenyum ve tellür içeren bu malzemenin her iki fazının da kızılötesi ışık için geçirgen olduğunu gösteriyor. Bu durumdan yararlanarak ışığı kontrol eden, yönlendiren malzemeler geliştirilebilir.

Bugün optik sistemlerde ışığı kontrol etmek için hareketli aksamlar kullanılıyor. GSST ve benzeri malzemelerle üretilcek bileşenler ise hiç hareket etmeden de ışığı kontrol edebilir. Hatta bu malzemelerle farklı fonksiyonları tek bir bileşende bir araya getirmek bile mümkün olabilir. Örneğin farklı fazların birinin lens, diğeri prizma gibi davrandığı optik bileşenler üretilir. Farklı fonksiyonların hareket etmeden çalışan tek bir bileşende toplanması sayesinde daha küçük ve daha hafif teknolojiler geliştirilebilir.



akturt / iStock



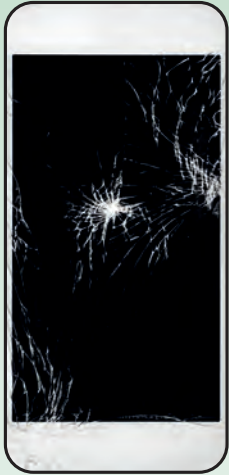
Biyoaktif cam kullanılarak
üç boyutlu üretilmiş
bir doku iskeleti



James King - Holmes / SPL

Kendini Onaran Malzemeler

Cam kırılğan bir malzemedir. Yeteri kadar büyük bir kuvvete maruz kaldığında parçalanır. Ancak çeşitli yöntemlerle camların dayanıklılığını artırmak mümkün. Bugün milyarlarca cep telefonunda ve tablette Gorilla Glass marka cam kullanılıyor. Ancak bu çizilmez ince camlar da ölümsüz değil.



Andrii Shablovskyi / iStock

Gorilla Glass camları daha dayanıklı hâle getirmeye çalışan araştırmacılar, camların üzerini kendilerini onarabilen polimerlerle kaplıyor. Bu camlar da tabii ki kırılmaz değil ancak üzerindeki koruyucu polimer kaplama zarar gördüğünde kendini onarabiliyor. Böylece ürün daha uzun ömürlü hâle geliyor. ■

Akıllı camların enerjiden sağlığa ve elektroniğe kadar pek çok uygulama alanı var. Biyoaktif camlar onlarca yıldır kullanılıyor, akıllı pencereler yavaş yavaş piyasada kendine yer bulmaya başladı, elektronik cihazlarda ışığı yönlendiren akıllı camlarsa henüz geliştirilmeyi bekliyor. Süregiden bilimsel araştırmalar sayesinde gün geçtikçe bu yüksek teknoloji ürünü camların performansı artıyor ve uygulama alanları çeşitleniyor.

Kaynak

Allen, Michael, "A novel window into 'smart' glass", *Physics World*, <https://physicsworld.com/a/a-novel-window-into-smart-glass/>, 2 Ağustos 2022.