پنجره‌های هوشمند برای خانه‌های مدرن

فناوری‌های نوین آهنگ مصرف انرژی را در ساختمان‌ها بهینه می‌کنند

گردآوری و ترجمه: عبدالله مصطفایی

در مقاله چند سال پیش روزنامه «شرق» مورخ ۱۳۹۰/۷/۲۶ با عنوان «همنوایی چسب و شیشه» بیان شد که صنعت ساختمان‌سازی ازجمله اموری است که در دل خود رشته‌های مختلفی را جای داده و ازاین‌رو رونق یا رکود آن تأثیر زیادی بر شاخص‌های اقتصادی دارد. در گذشته استحکام ساختمان یکه‌تاز شاخص‌های تأثیرگذار بوده؛ ولی رفته‌رفته پارامترهای معماری و زیبایی‌شناختی نیز به مقام‌های بالای ارزش‌گذاری دست یافتند و در این زمینه شیشه، نقش مهمی در این عرصه داشته است. هرچند انسان‌ها از هزاران سال پیش با شیشه سروکار داشته‌اند؛ ولی در گذشته نه‌چندان دور مهم‌ترین کاربرد شیشه برای پنجره‌ها بوده؛ اما از دیگر کاربردهای آن می‌توان به جداسازی غیرفعال بخش‌های مختلف ساختمان نیز اشاره کرد. درحال‌حاضر نیز شیشه به‌عنوان مصالحی برای نمای ساختمان‌ها درآمده است؛ ولی به‌تازگی از آن به‌عنوان ابزاری برای ایجاد آرامش و نیز کاهش مصرف انرژی در ساختمان استفاده می‌شود که در این مقاله به آن پرداخته شده است. جالب آن است که پژوهش‌ها از موضوع پنجره و شیشه فراتر رفته و محققان به دنبال آن هستند که با کشیدن یک فیلم پوششی بر روی ساختمان‌ها بهره‌وری انرژی را در آنها برای فصول گرم و فصول سرد افزایش دهند که این موضوع امیدواری‌های بسیاری را ایجاد کرده است. اگر در اینترنت به دنبال موضوع پنجره‌های هوشمند (Smart Windows) یا دینامیک (Dynamic Glazing) بگردید یا سری به کتاب ساختمان‌های هوشمند نوشته مارکو کاسینی بزنید، درخواهید یافت که مفهوم نوظهور «پنجره آینده» بیشتر به‌عنوان یک دستگاه چندمنظوره در دیوار است تا صرفا یک قطعه ایستا از شیشه روکش‌شده. این سیستم‌ها شامل پنجره‌های قابل تغییر و سیستم‌های سایه‌بان هستند که دارای ویژگی‌های نوری و حرارتی متغیری هستند که می‌توانند در پاسخ به شرایط آب‌وهوایی و ترجیحات ساکنان تغییر کنند. با مدیریت فعال روشنایی و سرمایش، پنجره‌های هوشمند می‌توانند بارهای الکتریکی را کاهش دهند، مزایای روشنایی روز را افزایش دهند، آسایش ساکنان را بهبود بخشند و به طور بالقوه بهره‌وری را در خانه‌ها افزایش بخشند. پنجره‌های هوشمند به علت تطبیق با شرایط محیطی به این نام خوانده می‌شوند. این پنجره‌ها بر پایه مواد هوشمند طراحی شده‌اند؛ یعنی در پاسخ به شرایط محیطی یا در پاسخ به یک جریان الکتریکی، خواص این پنجره‌ها مثل انتقال تابش تغییرپذیر است. به‌علاوه پنجره‌های دینامیک می‌توانند با کاهش هزینه‌های گرمایش و سرمایش وضعیت کنونی را دگرگون کنند. پنجره ایدئال پنجره‌ای با ویژگی‌های نوری است که بتواند به‌راحتی در پاسخ به شرایط آب‌وهوایی در حال تغییر یا ترجیحات ساکنان سازگار شود. دو نوع اساسی از پنجره‌های قابل تعویض وجود دارد: دستگاه‌های غیرفعال که مستقیما به یک متغیر محیطی مانند سطح نور یا دما پاسخ می‌دهند و دستگاه‌های فعالی که می‌توانند مستقیما در پاسخ به هر متغیری مانند ترجیحات سرنشینان یا نیازهای سیستم گرمایش و سرمایش کنترل شوند. دستگاه‌های غیرفعال (پاسیو) اصلی فتوکرومیک و ترموکرومیک هستند. دستگاه‌های فعال (اکتیو) شامل کریستال مایع، ذرات معلق و الکتروکرومیک هستند که در ادامه به موضوع مواد هوشمند با قابلیت تغییر رنگ پرداخته می‌شود.

مواد هوشمند با قابلیت تغییر رنگ

دسته‌ای از مواد هوشمند وجود دارند که با تغییر محرک‌هایی مانند نور و حرارت تغییر رنگ می‌دهند که با عنوان مواد کروماتیک شناخته می‌شوند. دسته‌بندی آنها متفاوت بوده و کاربردهای مختلفی از پزشکی تا صنایع هوایی دارند. یکی از مهم‌ترین دسته‌های مواد هوشمند مواد تغییر رنگ‌دهنده هستند. درواقع این مواد که در معرض شرایط مختلف تغییر رنگ می‌دهند، کروموژنیک یا کروموتروپیک هستند و پدیده تغییر رنگ بر اثر محرک خارجی کروموتروپیزم خوانده می‌شوند. محرک تغییر رنگ می‌تواند نور، حرارت، تنش مکانیکی یا ماده شیمیایی باشد. در برخی موارد تغییر رنگ موقت و بازگشت‌پذیر است و در برخی دیگر از این مواد، تغییر رنگ دائمی است. در ادامه توضیح مختصری درباره هریک از این مواد ارائه می‌شود.

◆ **مواد فتوکرومیک (PC):** فتوکرومیسم واکنش بازگشت‌پذیری بین دو ماده با ضریب جذب‌های متفاوت است که با دریافت امواج الکترومغناطیسی انجام می‌شود. لغت فتوکرومیسم از Phos یونانی به معنی نور و Chroma یونانی به معنی رنگ‌گرفته شده است. اولین گزارش فتوکرومیسم در سال ۱۸۶۷ توسط Fritzsche ارائه شد. در آزمایش Fritzsche پس از رنگ‌زدایی از محلول نارنجی‌رنگ tetracene، رنگ محلول در نور خورشید به حالت اول بازگشت. تغییر رنگ لنزهای فتوکرومیک واکنشی نفوذی-حرارتی است؛ یعنی انرژی فعال‌سازی واکنش از محیط گرفته می‌شود؛ بنابراین دمای محیط تأثیر درخورتوجهی در بازگشت به حالت شفاف دارد. در نتیجه این لنزها در دمای بالا نمی‌توانند کاملا تیره شوند. از سوی دیگر در دمای پایین برگشت‌پذیری واکنش مختل می‌شود و زمان درخورتوجهی برای برگشت لنز به حالت شفاف طول می‌کشد. مواد فتوکرومیک در پاسخ به شدت نور شفافیت خود را تغییر می‌دهند. مواد فتوکرومیک در عینک‌هایی استفاده شده است که از شفاف در نور کم داخل خانه به تاریکی در روشنایی بیرون تغییر می‌کنند. فتوکرومیک ممکن است در ارتباط با نور روز مفید باشد؛ چون اجازه می‌دهد تا نور کافی برای اهداف روشنایی عبور کند؛ درحالی‌که نور اضافی خورشید را که باعث ایجاد تابش خیره‌کننده و بارگذاری بیش از حد سیستم خنک‌کننده شده، از بین می‌برد.

◆ **مواد ترموکرومیک (TC):** خانواده‌ای دیگر از مواد تغییر رنگ دهنده مواد ترموکرومیک هستند که با دریافت انرژی به صورت حرارت، خواص نوری خود را تغییر داده و تغییر رنگ می‌دهند. مواد مختلفی ازجمله پلیمرها، برخی نیمه‌رساناها و کریستال‌های مایع می‌توانند خواص ترموکرومیک داشته باشند. تغییر رنگ می‌تواند یکباره یا تدریجی، دائمی یا موقت باشد. دامنه تغییر رنگ مواد ترموکرومیک با روش‌های مختلفی تغییرپذیر است. مواد ترموکرومیک بر اثر تغییرات دمای محیط اطراف تغییر رنگ می‌دهند. علت تغییر رنگ این مواد وجود واکنشی تعادلی بین دو ماده، دو فاز یا دو ساختار مختلف است که در یک بازه دمایی با یکدیگر در حال تعادل‌اند. با تغییر دما واکنش به سوی یکی از این دو حرکت کرده و آن را غالب می‌سازد و در نتیجه رنگ ماده تغییر می‌کند.

◆ **نحوه عملکرد مواد ترموکرومیک در پنجره‌ها:** مواد ترموکرومیک برای استفاده در پنجره‌های رنگی متغیر می‌توانند با تغییر شدت نور خورشید سازگار شوند تا بار حرارتی در ساختمان‌ها کاهش یابد. در پنجره‌ها لایه‌های ترموکرومیک انتقال را به طور مداوم در محدوده دما تغییر می‌دهند؛ بنابراین نه‌تنها بار گرمایی را کاهش می‌دهند (به‌ویژه در زمان اوج تقاضا)، بلکه نور روز را به حداکثر می‌رسانند. هرچند لایه‌های ترموکرومیک به تغییر دمای بیرون یا محیط حساس هستند؛ اما به میزان درخورتوجهی به میزان تغییر نور مستقیم خورشید روی پنجره‌ها پاسخ می‌دهند. پنجره‌های ترموکرومیک پاسخ‌گو به نور خورشید، از انرژی خورشید برای رنگ‌آمیزی پنجره‌ها و مسدودکردن انرژی خورشید استفاده می‌کنند که در غیراین‌صورت به‌عنوان بار حرارتی در ساختمان تمام می‌شد. لایه‌های ترموکرومیک علاوه بر به حداقل رساندن افزایش گرما و به حداکثر رساندن نور روز، به کاهش تابش خیره‌کننده و محوشدن صدا کمک کرده و ایمنی را افزایش می‌دهند.

◆ **مواد مکانوکرومیک (MC):** این مواد با اعمال نیروی مکانیکی تغییر رنگ داده یا میزان شفافیت آنها تغییر می‌کند. این مواد همچنین به نام پیزوکرومیک نیز شناخته می‌شوند. تغییر در این مواد می‌تواند با مالش، خردشدن و پرس‌شدن ایجاد شود. ایده استفاده از این مواد در ساخت طناب‌هایی که با مستهلک‌شدن تغییر رنگ می‌دهند، در سال ۱۹۹۷ مطرح شد. کاربردهای زیاد دیگری نیز برای این مواد پیشنهاد شده است که بیشتر حول پیش‌بینی شکست و تخریب بر اثر افزایش نیرو هستند. بیشتر این موارد در صنایع هوا-فضا بوده‌اند که هزینه بازرسی و تعمیرات دوره‌ای آن بالاست.

◆ **مواد الکتروکرومیک (EC):** این مواد با اعمال بار الکتریکی یا قرارگرفتن در میدان الکتریکی تغییر رنگ می‌دهند. پدیده الکتروکرومیزم در سال ۱۹۵۳ کشف شد. تغییر رنگ ماده تری‌اکسید تنگستن بر اثر اعمال میدان الکتریکی عامل کشف این پدیده بود. تغییر رنگ به دلیل قرارگرفتن در میدان الکتریکی بیشتر در اکسید فلزات واسط مانند تنگستن، مولیبدن، تیتانیوم، کبالت، نیکل و... اتفاق می‌افتد. کاربرد دیگر مواد الکتروکرومیک در برچسب‌های ضد جعل در اسکناس‌ها و شیشه‌های هوشمند است. پنجره‌های الکتروکرومیک هوشمند با جریان الکتریسیته، شفاف یا تار می‌شوند. این شیشه‌ها معمولا به صورت چندلایه ساخته می‌شوند. امیدوارکننده‌ترین فناوری پنجره‌های تعویض‌شونده امروزه پنجره‌های الکتروکرومیک (EC) است. پشته فیلم نازک الکتروکرومیک روی یک بستر شیشه‌ای قرار می‌گیرد و معمولا ضخامت آن حدود یک میکرون است. این پشته شامل پوشش‌های اکسید فلزی سرامیکی با سه لایه الکتروکرومیک است که بین دو هادی الکتریکی شفاف قرار گرفته‌اند. هنگامی که ولتاژی بین هادی‌های الکتریکی شفاف اعمال می‌شود، یک میدان الکتریکی توزیع‌شده ایجاد می‌شود. این میدان یون‌های رنگی مختلف (معمولا لیتیوم یا هیدروژن) را به صورت برگشت‌پذیر بین لایه ذخیره یونی از طریق هادی یونی (الکترولیت) و به داخل فیلم الکتروکرومیک حرکت می‌دهد. تأثیر این موضوع آن است که بدون تخریب در دید، لعاب بین حالت روشن و شفاف آبی مایل به خاکستری تغییر می‌کند؛ یعنی از نظر ظاهری شبیه به عینک آفتابی فتوکرومیک می‌شود.

◆ **گازوکرومیک:** پنجره‌های گازوکرومیک اثری مشابه پنجره‌های الکتروکرومیک ایجاد می‌کنند؛ اما برای رنگ‌آمیزی پنجره، هیدروژن رقیق‌شده (زیر حد احتراق ۳ درصد) در یک واحد شیشه‌ای عایق وارد حفره می‌شود. قرارگرفتن در معرض اکسیژن پنجره را به حالت شفاف اولیه بازمی‌گرداند. جزء فعال نوری یک لایه متخلخل و ستونی از اکسید تنگستن با ضخامت کمتر از یک میکرون است. این امر نیاز به الکترودهای شفاف یا لایه رسانای یونی را از بین می‌برد. تغییرات در ضخامت لایه و غلظت هیدروژن می‌تواند بر عمق و سرعت رنگ تأثیر بگذارد.

◆ **دستگاه کریستال مایع (PDLC):** نوعی از فناوری نمایشگر کریستال مایع که در ساعت‌های مچی استفاده می‌شود، اکنون به‌عنوان حافظ حریم خصوصی برای پنجره‌های جدید عمل می‌کند. یک لایه بسیار نازک از کریستال‌های مایع بین دو رسانای الکتریکی شفاف روی فیلم‌های پلاستیکی نازک قرار می‌گیرد و کل امولسیون یا بسته (که دستگاه کریستال مایع پراکنده پلیمری یا PDLC نامیده می‌شود) بین دو لایه شیشه لمینت می‌شود. هنگامی که برق خاموش است، کریستال‌های مایع در حالت تصادفی و نامرتب هستند. آنها نور را پراکنده می‌کنند و شیشه به‌عنوان یک لایه نیمه‌شفاف ظاهر می‌شود که دید مستقیم را مخفی می‌کند و حریم خصوصی را حفظ می‌کند. این ماده بیشتر نور خورشید را در حالت پراکنده منتقل می‌کند؛ بنابراین ضریب افزایش گرمای آن بالا باقی می‌ماند.

◆ **ویندوز دستگاه ذرات معلق (SPD):** این فیلم با کنترل الکتریکی از یک لایه نازک و مایع مانند استفاده می‌کند که در آن ذرات میکروسکوپی متعددی معلق هستند. در حالت بدون نیرو، ذرات به طور تصادفی جهت‌گیری می‌کنند و تا حدی مانع از انتقال و عبور نور خورشید می‌شوند. هادی‌های الکتریکی شفاف اجازه می‌دهند که یک میدان الکتریکی روی فیلم ذرات پراکنده اعمال شود، ذرات را در یک راستا قرار داده و ضریب عبور را افزایش می‌دهد.

◆ **مواد کِموکرومیک:** این مواد با قرارگرفتن در معرض دیگر مواد شیمیایی تغییر رنگ می‌دهند. اما چیزی که مواد کِموکرومیک را متمایز می‌سازد بازگشت‌پذیری واکنش است. رایج‌ترین کاربرد این مواد حسگرهای مواد شیمیایی است.

◆ **مواد بیوکرومیک:** این مواد در مجاورت مواد زیستی خاصی تغییر رنگ می‌دهند. این مواد که معمولا مصنوعی هستند با آنزیم‌های خاصی در مواد زیستی خاص مانند تومورها و یا میکروب‌ها واکنش داده و در نتیجه تغییر رنگ می‌دهند. از این مواد در تشخیص بیماری‌ها به‌وفور استفاده می‌شود.

تقسیم‌بندی انواع پنجره‌های هوشمند

اکنون فناوری‌هایی مانند الکتروکرومیک برای بازارهای مسکونی و تجاری در دسترس هستند. با وجود اینکه فناوری‌های گوناگونی برای پنجره‌های دینامیک وجود داشته است ولی هنوز بعضی از آنها به بازار عمومی راه پیدا نکرده است. البته فناوری‌های پیشین به صنعت‌هایی چون هواپیماسازی، راه پیدا کرده است. در شیشه‌ای که در بعضی هواپیماها به کار رفته است از موادی مانند «اکسید تنگستن» بهره گرفته شده است که در واکنش به الکتریسیته، تغییر رنگ می‌دهد. ولی این روش کاستی‌هایی دارد: مواد مصرفی گران است، رنگ آبی تولید می‌کند، بیشتر از ۲۰ دقیقه زمان می‌برد تا تغییر رنگ بدهد و با گذشت زمان درصد ماتشوندگی آن کمتر و کمتر می‌شود.

هزینه پنجره هوشمند

در تحقیقی بیان شده است که هزینه شیشه‌های معمولی در آمریکا حدود ۱۰ تا ۱۵ دلار بازای هر فوت‌مربع است و این در حالی است که هزینه پنجره‌های هوشمند بالغ بر ۵۰ تا صد دلار بازای هر فوت‌مربع خواهد شد.

یکی از پژوهش‌های قبلی

در سال ۱۳۹۶ اعلام شد در پژوهشی که پژوهشگران دانشگاه استنفورد انجام داده‌اند پنجره‌هایی ساخته شده است که می‌توانند در عرض یک دقیقه خود را با نور تابیده‌شده هماهنگ کرده و از شفاف به مات یا برعکس تغییر کنند. در نمونه‌هایی که از این پنجره ساخته شده است، شیشه‌های رسانایی قرار دارد که سطح آن از یون‌های فلزی پوشیده شده است و در واکنش به جریان الکتریسیته می‌توانند مات شده و جلوی گذر نور را بگیرند. پروفسور «مایکل مک‌گهی» از دانشکده علوم مهندسی مواد دانشگاه استنفورد که نویسنده اصلی این پژوهش نیز هست، می‌گوید: «کاری که ما انجام دادیم از آنچه در فناوری‌های پیشین بوده، به‌کلی متفاوت است. نمونه‌ای که مک‌گهی و همکارانش ساخته‌اند این‌گونه کار می‌کند: مس و فلزات دیگری که در محلول وجود دارد در واکنش به الکتریسیته بر روی «لایه نازک و شفافی از اکسید قلع ایندیوم که با ذره‌های نانوی پلاتین، تغییر یافته است» حرکت می‌کند و با ماتکردن شیشه از گذر نور پیشگیری می‌کند. هنگامی که شیشه شفاف است در حدود ۸۰ درصد از نور را از خود گذر می‌دهد و هنگامی که به‌کلی مات شده باشد تنها پنج درصد از نور را از خود گذر می‌دهد. پژوهشگران دست‌کم ۵۵۰۰ بار این نمونه ساخته‌شده را مات و سپس شفاف کرده‌اند و هیچ تغییری در میزان ماتشدن آن مشاهده نشده است. این نشان می‌دهد که این توانایی در این شیشه ماندگار است. برای رساندن به تولید انبوه، هنوز باید کارهای بیشتری به انجام برسد زیرا در نمونه‌های ساخته‌شده حداکثر اندازه شیشه تا ۲۵ سانتی‌مترمربع بوده است. به گفته مک‌گهی پژوهشگران می‌خواهند با تکرار الکترودها بر این مشکل غلبه کنند و با ارزان‌سازی فناوری، بهای تمام‌شده آن را به نصف آنچه تاکنون در بازار بوده، برسانند. مک‌گهی می‌گوید: «ما از کاری که می‌کنیم هیجان‌زده‌ایم زیرا فناوری شیشه‌های دینامیک می‌تواند هزینه گرمایش و سرمایش را تا ۲۰ درصد پایین بیاورد و همچنین عینک‌های آفتابی را نیز دگرگون کند. این زمینه بااهمیت، مورد توجه و بررسی بسیاری از پژوهش‌های دانشگاه‌هاست و فرصت‌های بسیاری در آن نهفته است و اینها انگیزه ما را برای این کار افزایش می‌دهد».

پژوهش جدید

همان‌گونه که می‌دانید تأمین آسایش در فضاهای داخلی ساختمان‌ها انرژی زیادی می‌طلبد. حدود نیمی از انرژی مصرفی آمریکایی‌ها در خانه‌هایشان صرف گرمایش و سرمایش آن می‌شود که بخش قابل توجهی از قبض‌های آب و برق و نیز انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد. اگرچه بسیاری از ساختمان‌ها برای حفظ دمای ایدئال دارای دیوارهایی پوشیده با عایق هستند ولی سایر ساختمان‌ها به‌ویژه ساختمان‌های قدیمی به‌طور نگران‌کننده‌ای از لحاظ انرژی ناکارآمد هستند. دانشمندان ده‌ها سال است که برای حل این مشکل روی راه‌حل‌هایی با تکنولوژی‌های بالاتر کار می‌کنند. اکنون دانشمندان رشته مواد، یک فیلم با قابلیت تغییر رنگ ساخته‌اند که می‌تواند بین حالت گرمایش و سرمایش جابه‌جا شود و تغییر وضعیت دهد. این فیلم که از یک کارت اعتباری نازک‌تر است با انرژی بسیار کمی کار می‌کند و می‌تواند روزی حتی ناکارآمدترین ساختمان‌ها از لحاظ انرژی را در بر بگیرد تا به بازتابش گرمای ناخواسته در تابستان و به دام انداختن آن در زمستان کمک کند. این یافته‌ها اخیرا در نشریه Nature Sustainability منتشر شده است. آقای «یائو ژای»، مهندس مکانیک در دانشگاه میسوری است که در این تحقیق شرکت نداشته است. او می‌گوید: «این یک نتیجه واقعا چشمگیر است». دستگاه‌های جدید از یک پدیده طبیعی به نام خنک‌کردن تشعشعی بهره می‌برند که باعث می‌شود دمای هوای بیرون از خانه در شب کاهش پیدا کند و به‌طور کلی به خنک‌شدن زمین نیز کمک کند. همه چیز اطراف ما، از جمله بدن ما و ساختمان‌های ما، دائما گرما را به شکل تشعشعات مادون قرمز متوسط خارج می‌کنند. این امواج الکترومغناطیسی ازجمله امواجی هستند که فرکانس کمتری نسبت به نوری دارند که با چشمان‌تان می‌بینید. آقای «پو چون هسو»، مهندس مولکولی در دانشگاه شیکاگو و نویسنده ارشد این مطالعه می‌گوید: «مردم می‌توانند از یک دوربین حرارتی استفاده کنند، اشیا را ببینند، انسان‌ها را ببینند، ساختمان‌ها را ببینند، به این معنی که آنها ۲۴ساعته انرژی ساطع می‌کنند. اگر یک دوربین حرارتی را از مدار زمین به سمت زمین نشانه بگیرید، می‌توانید گرمای تابش‌شده از سیاره به خلأ سرد فضا را نیز مشاهده کنید. اتمسفر ما به‌طور اتفاقی در مقایسه با سایر طول‌موج‌های نور به امواج مادون قرمز متوسط بیشتر اجازه می‌دهد تا به فضای بیرون از زمین بازتابش کند». «پیتر برمل»، مهندس برق در دانشگاه پردو که در جریان این پژوهش جدید نقشی نداشته است، توضیح می‌دهد که اگرچه بیشتر این گرما از زمین خارج می‌شود، اما قسمتی از آن هنوز توسط گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر به دام می‌افتند که این به اندازه‌ای است که تعادل حرارتی سیاره را از بین می‌برد و باعث افزایش دما می‌شود. با افزایش دمای جهان، دانشمندان در حال توسعه راه‌حل‌هایی برای به حداکثر رساندن گرمای آزادشده از طریق خنک‌کننده تابشی هستند. ازجمله این تکنیک‌ها، فیلم‌هایی هستند که می‌توانند در اطراف سازه‌ها پیچیده شوند تا گرمای بیشتری از خود ساطع کنند. اما بسیاری از مناطق جهان زمستان‌های تلخ و تابستان‌های توفانی را تجربه می‌کنند. برمل می‌گوید: «شما نمی‌خواهید چیزی داشته باشید که خیلی سریع خانه‌تان را خنک می‌کند، وقتی که دما زیر صفر است». این معضل الهام‌بخش پوشش‌های جدید بوده است که می‌توانند با استفاده از اندکی الکتریسیته بین انتشار گرمای زیاد و کم، تغییر وضعیت دهند. البته در حال حاضر دستگاه‌های قابل تنظیم مشابهی برای نور مرئی وجود دارند که اصطلاحا پنجره‌های دینامیک یا پویا نامیده می‌شوند و می‌توانند از شفاف به مات تغییر کنند تا مقدار نوری را که از خود عبور می‌دهند کنترل کنند. اما تا به حال، هیچ فیلمی نتوانسته همین کار را برای امواج مادون قرمز متوسط انجام دهد. مواد جدید این تحقیق در حالت خنک‌کننده شروع می‌شود. در زیر یک هادی الکتریکی فوق‌العاده نازک، یک مخزن کوچک آب با یون‌های مس محلول در آن قرار دارد. در این حالت، دستگاه به‌طور طبیعی با بازتابش گرما، داخل ساختمان را خنک می‌کند. سپس، هنگامی که به لایه هادی بار الکتریکی کوچکی اعمال می‌شود، مس محلول روی سطح آن رسوب می‌کند و لایه نازکی را بر روی مخزن تشکیل می‌دهد. از آنجایی که مس مقدار بسیار کمی از گرمای مادون قرمز متوسط جذب‌شده را منتشر می‌کند، اکنون دستگاه گرما را به دام می‌اندازد. این تغییر را می‌توان بارها و بارها معکوس کرد، این در حالی است که استفاده‌های مکرر باعث کاهش بازدهی می‌شوند یعنی مثلا پس از هزار چرخه، هر دو حالت سرمایش و گرمایش کارایی کمتری خواهند داشت. نویسندگان این پژوهش تخمین زده‌اند که اگر این فناوری در یک فیلم در خارج از ساختمان به کار رود، می‌تواند ۸،۴ درصد از انرژی مورد استفاده برای گرمایش و سرمایش صرفه‌جویی کند آن‌هم در آب و هواهایی که تغییرات شدید دما را در طول سال تجربه می‌کنند. برای این کار ساختمان نیز تغییر رنگ می‌دهد یعنی از سفید تیره در تابستان به مس فلزی در زمستان تبدیل می‌شود، اگرچه می‌توان فیلم را با رنگ خاصی پوشاند که با تشعشعات مادون قرمز متوسط تداخلی نداشته باشد. «کیائوکینگ گان»، دانشمند و مهندس مواد در دانشگاه علم و صنعت ملک عبدالله در عربستان سعودی که در این تحقیق دخالتی نداشته است، می‌گوید: «در حال حاضر این اولین قدم برای نشان‌دادن مکانیسم کار است و ما در حال حاضر شاهد پیشرفت بسیار خوبی هستیم. سیستم جدید امیدوارکننده به نظر می‌رسد، به‌ویژه در مقایسه با تلاش‌های قبلی دیگر گروه‌های تحقیقاتی که برای ایجاد یک دستگاه قابل تنظیم با استفاده از محلول‌های آب انجام شده بود. برخی از مواد در نظر گرفته‌شده برای استفاده در دستگاه‌های مشابه بسیار قابل اشتعال بودند و آشکارا برای پوشاندن ساختمان مناسب نبودند. فیلم جدید آتش نمی‌گیرد، اما این بدان معنا نیست که هنوز برای استفاده آماده است». علاوه بر از دست دادن کارایی با گذشت زمان، نقطه ضعف اصلی این دستگاه جدید هزینه بالای آن است. الکترود نازکی که لایه بیرونی فیلم را می‌پوشاند از گرافن با کیفیت بالا است. اساسا گرافن یک ارائه گران‌قیمت با ضخامت تک‌اتمی از کربن است. نازکی خارق‌العاده گرافن به حرارت اجازه می‌دهد در حالی که مواد هنوز جریان الکتریکی را هدایت می‌کنند، از آن عبور کند. برای اینکه این پوشش‌های ساختمانی اقتصادی باشند، محققان باید بتوانند به همان نتایج با مواد ارزان‌تر دست یابند و باید بتوان این مواد را در مقیاس بزرگ تولید کرد. آقای هسو و تیمش قصد دارند با گرافن با کیفیت پایین‌تر و مواد دیگر آزمایش کنند تا جایگزینی مقرون‌به‌صرفه را پیدا کنند. آنها همچنین قصد دارند فلزات ارزان‌تری مانند روی را برای جایگزینی مس امتحان کنند. ایجاد تعادل بین قیمت و عملکرد زمان‌بر است، بنابراین ممکن است در سال‌های آتی محله‌ها پر از اکوساختمان‌هایی با قابلیت تغییر رنگ نشوند، اما آقای گان می‌گوید: «این یک موضوع بسیار بسیار داغ برای تحقیق است و دلیل خوبی هم برای آن وجود دارد». همچنین آقای برمل می‌گوید: «درحالی‌که کاهش حدود ۸ درصد از مصرف انرژی ممکن است کوچک به نظر برسد، اگر در مقیاس اجتماعی به آن فکر کنید، می‌تواند بسیار تأثیرگذار باشد».

یک جوالدوز به خودمان

رونق صنعت ساختمان در ایران از ظرفیت‌های کشور برای پیشبرد این‌گونه فعالیت‌های علمی به‌شمار می‌رود که باید بدان توجه خاص کرد. به‌علاوه با توجه به قدمت صنعت شیشه در ایران و نیز وجود مواد معدنی مختلف مورد نیاز برای این صنعت در داخل کشور از یک سو و نیز وجود آب‌وهوای متنوع در نقاط مختلف کشورمان باعث می‌شود که به‌راحتی بتوان مواد اولیه و بازار مناسبی برای نتایج این‌گونه تحقیقات چه برای پنجره‌ها و شیشه‌ها و چه برای بدنه ساختمان ایجاد کرد. موضوع بهبود بهره‌وری انرژی می‌تواند از دیگر محرک‌های انجام چنین پژوهش‌هایی در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشورمان باشد. ضمنا نباید از یاد برد که مراکز علمی کشور دارای ظرفیت‌های خوب انسانی و علمی در زمینه انجام چنین پژوهش‌هایی هستند که با هم‌افزایی آنها به‌راحتی می‌توان با ایجاد ارزش‌افزوده، صنایع جدیدی را بنیان نهاد و با نگارش یک نقشه راه برای این موضوع به نتایج مورد انتظار برای صنایع مختلف دست یافت. نهایتا اینکه یکی دیگر از پتانسیل‌های کشور می‌تواند پایین‌بودن میزان بازیافت شیشه در کشور باشد که با تمرکز بر این موضوع شاید بتوان این دورریزهای کم‌ارزش را به یک محصول استراتژیک و دانش‌بنیان برای مصرف داخلی و صادرات تبدیل کرد و از منافع حاصله بهره برد.

ScientificAmerican, 27Feb. 2023