



نقش مواد و مصالح هوشمند در بهبود فضای داخلی معماری

- الهه نجفی مهیاری^{۱*}، سیدکیانوش لاری بقال^۲، حمیدرضا فرشچی^۳، امیرحسین صادقیپور^۴
 ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تکنولوژی معماری، دانشگاه کاشان، Email: e.mahyari@gmail.com
 ۲- دکترای معماری، مدرس دانشگاه کاشان، Email: SK.larry@iaud.ac.ir
 ۳- دکترای معماری، عضو هیات علمی دانشگاه کاشان، Email: farshchi@kashanu.ac.ir
 ۴- دکترای عمران، عضو هیات علمی دانشگاه کاشان، Email: sadeghpour@kashanu.ac.ir

چکیده

مواد و مصالح هوشمند مصالحی هستند که می‌توانند با عملکردی هوشمندانه در مقابل تغییرات محیط، مانند موجودات زنده، خود را با شرایط محیطی منطبق سازند. برخی از این مواد، در پاسخ به تغییرات محیطی، دچار تغییر در یک یا چند ویژگی خود مانند شکل، رنگ و شفافیت می‌شوند که این تغییرات می‌تواند شرایط مناسب تری را برای استفاده کنندگان فراهم کند. علاوه بر آن تنوع و جذابیت های بصری را برای کاربران به همراه داشته باشد. لازمه دست یافتن به چنین فضای معماری، بکار گرفتن دوباره تکنولوژی در راستای کاربرد مصالح هوشمند و متریاال های نوین است. مصالح هوشمند که مصالحی پویا هستند، پاسخگوی نیازهای کاربران قرن بیست و یکم می‌باشند. استفاده از این مواد و مصالح انسان را قادر به طراحی محیط های ساده اما جذاب و متنوع می‌کنند که علاوه بر واکنش نشان دادن به تغییرات محیطی، نیازهای دیگری از جمله کنترل نور، کنترل دید، کنترل دما، آگاه نمودن کاربران، زیبایی و... را فراهم می‌سازند. در این مقاله ابتدا به معرفی مصالح هوشمند پرداخته و سپس با معرفی برخی از این مصالح نوین مانند شیشه‌ها و پارچه های هوشمند، نمونه هایی از چگونگی استفاده از این مصالح در فضاهای معماری و ساختمان با تاکید بر فضاهای داخلی ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مواد و مصالح هوشمند، معماری، شیشه هوشمند، پارچه هوشمند، پنجره هوشمند

۱- مقدمه

مواد و مصالح هوشمند به عنوان موادی که آگاهانه به محیط شان واکنش نشان می‌دهند حاصل پیشرفت منطقی توسعه مصالح به سمت عملکردی تخصصی تر هستند. در طی قرن ها شخص می باید خواص مصالحی مانند چوب یا سنگ را می پذیرفت و طراحی با توجه به محدودیت های مصالح انجام می شد. این در حالی است که در قرن بیستم شخص می تواند در مواجهه با یک نیاز تعریف شده ی ویژه ، خواص ماده ای با کارایی بالا را انتخاب و طراحی نماید. مصالح هوشمند حتی دقت بیشتری را ممکن می‌سازند، چرا که خواص آنها متغیر است و می‌توانند به نیازهای موقت و زودگذر نیز پاسخ دهند. [۱]
 مواد و مصالح ساختمانی رایج ، به دلیل تمایل به مقاومت در برابر نیروهای ساختمانی، ایستا هستند در حالی که مصالح هوشمند پویا می‌باشند، چرا که رفتار آنها در واکنش به میادین انرژی تعریف میگردد. واژه هوشمند امروزه به صورت گسترده ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. بسیاری از مردم ،واژگانی مانند «تعاملی» ، « هوشمند» و « هوشیار» را در رابطه با مواد و سیستم ها به جای هم به کار می‌برند که در اینجا به تفکیک آنها می‌پردازیم. [۴]

سه عبارت تعاملی، هوشیار و هوشمند عبارت های مصطلح برای توصیف سیستم ها و محیط هایی هستند که رفتار پاسخگو یا ادراکی دارند.



شکل ۱: سیستم تاسیسات الکتریکی در یک نمایشگاه نمونه ای از رفتار تعاملی [۴]

۱- عبارت تعاملی انواع واکنش های فیزیکی ، نوری ، صوتی یا هر واکنش مستقیم دیگری را به محرک شامل می شود. مثلا زمانیکه بیننده به پانل های شیشه ای ماسه پاشی شده نزدیک می شود انیمیشن به تصویر کشیده شده به آرامی حرکت می کند. [۴]

۲- اصطلاح هوشیار به سیستم هایی بر می گردد که بر پایه سیستم های الکترونیکی و رایانه ای طراحی می شوند. غالبا موادی را هوشیار تلقی می کنند که در پاسخ به محرک های محیطی مانند تغییرات دما، مکانیکی یا شیمیایی ویژگی های خود را تغییر می دهند. مانند کمک فنرها یا ضربه گیرهای خودکار.

۳- سیستم ها و محیط های هوشمند در ابتدا به شناخت و نیازهای انسانها در یک فضای خاص مبادرت نموده سپس کاری را که افراد حاضر در فضا به آن نیازمندند تامین می کنند. ساختارها و مواد هوشمند، پدیده هایی هستند که رویدادهای محیطی را حس می کنند، اطلاعات حسی را مورد پردازش قرار می دهند و سپس بر محیط اثر می گذارند. [۴]

۲- رفتارهای هوشمندانه قابل انتظار از مصالح در فضای داخلی معماری

انواع رفتارهای هوشمندانه مصالح شامل موارد زیر است:

۱. تغییر رنگ مانند صندلی حرارتی
۲. تغییر شکل
۳. تغییر شفافیت

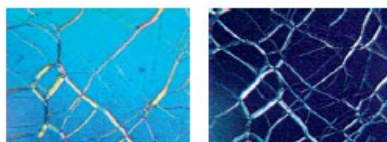
۲-۱ تغییر رنگ

مواد ترموکرومیک و فتوکرومیک جزو این دسته مواد هستند که عامل محرک بیرونی یا نوعی انرژی بیرونی سبب تغییر رنگ ماده می شود. این دسته شامل مواد زیر است: [۲]

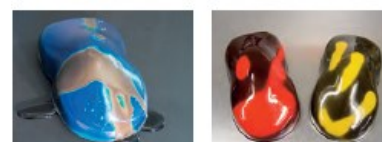
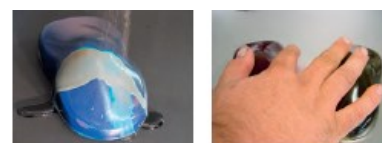
- مواد ترموکرومیک : که در واکنش به دمای محیط پیرامونی تغییر می کنند که این تغییر، فرایندی برگشت پذیر است. [۲]



شکل ۲: صندلی حرارتی که در آن برای نمایش مکان و زمان اثر بدن بر روی سطح از رنگ ترموکرومیک استفاده شده است. [۲]



شکل ۳: مواد ترموکرومیک در کفسازی داخلی [۲]



شکل ۴: مواد هوشمند ترموکرومیک [۲]

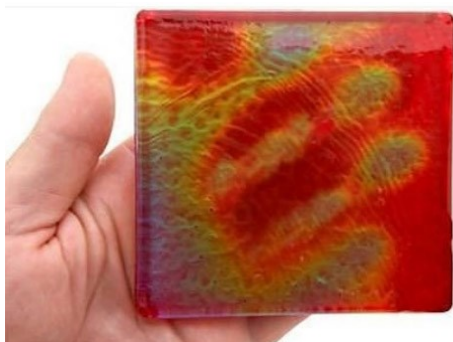


شکل ۵: استفاده از مواد هوشمند ترموکرومیک در تجهیزات آشپزخانه [۲]

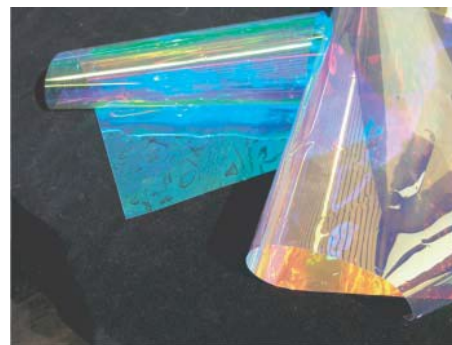
از جمله مصالحی که می‌توان در این حوزه در فضاهای داخلی معماری مورد استفاده قرار داد، کاشی‌های حرارتی و فیلم‌های رنگ تاب است.

الف - کاشی‌های حرارتی : این کاشی‌ها نسبت به دما واکنش می‌دهند و با توجه به پتانسیل بالای حرارتی خود، رنگ خود را در دما تغییر می‌دهد. این کاشی‌ها را می‌توان در آشپزخانه، حمام و ... به کار برد و از طیف رنگی ایجاد شده جهت تنوع فضایی استفاده کرد.

ب - فیلم‌های رنگ تاب: در فیلم‌های رنگ تاب، رنگ ساطع شده یا نور بازتابش یافته به جایگاه ناظر بستگی دارد و ناظر در مکان‌های مختلف رنگ‌های متفاوتی می‌بیند. [۱]

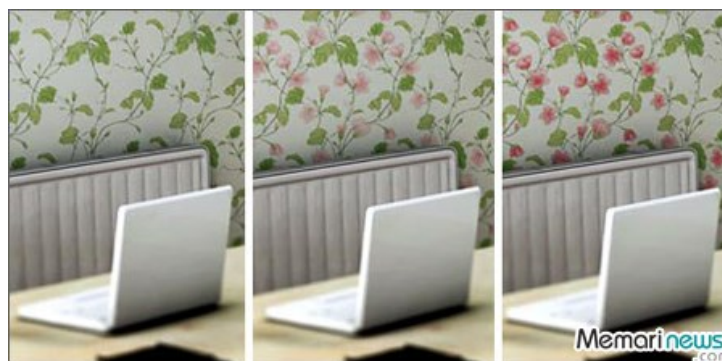


شکل ۷: کاشی حرارتی ترموکرومیک مناسب فضای داخلی



شکل ۶: مواد هوشمند ترموکرومیک [۱]

- **مواد فتوکرومیک:** این مواد در واکنش به انرژی تشعشعی تغییر رنگ می‌دهند. از این دسته می‌توان به مصالح پوششی دیوار و کاغذ دیواری‌هایی اشاره کرد که تحت تاثیر انرژی تابشی تغییر رنگ می‌دهند. در شکل مقابل نمونه‌ای از این نوع کاغذ دیواری که می‌تواند جذابیت‌های در فضای داخلی داشته باشد، مشاهده می‌شود. [۲]



شکل ۸ و ۹: انواع کاغذ دیواری‌های هوشمند فتوکرومیک [۲]

۲-۲ تغییر شکل

- **اروژل ها :** از جمله مصالح هوشمندی که تغییر شکل می دهند، اروژل ها هستند. اروژل به عنوان یکی از مصالح آرمانی جدید برای معماران به وجود آمده است . این ماده در حالی که نور را عبور می دهد ، عایق خوبی است ، بسیار سبک است و در عین حال می تواند شکل خود را حفظ کند. (پس از تغییر شکل دوباره به حالت اولیه باز می گردد. چگالی اروژل تنها سه برابر هواست ولی می تواند بارهای سنگینی را تحمل کند و یک عایق بسیار خوب به شمار می رود. [۱]

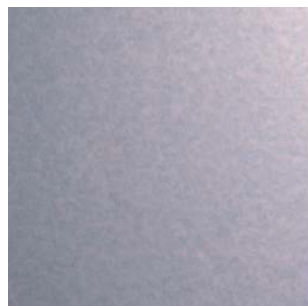


شکل ۱۰: نمونه ای از مواد حافظه شکلی [۲]

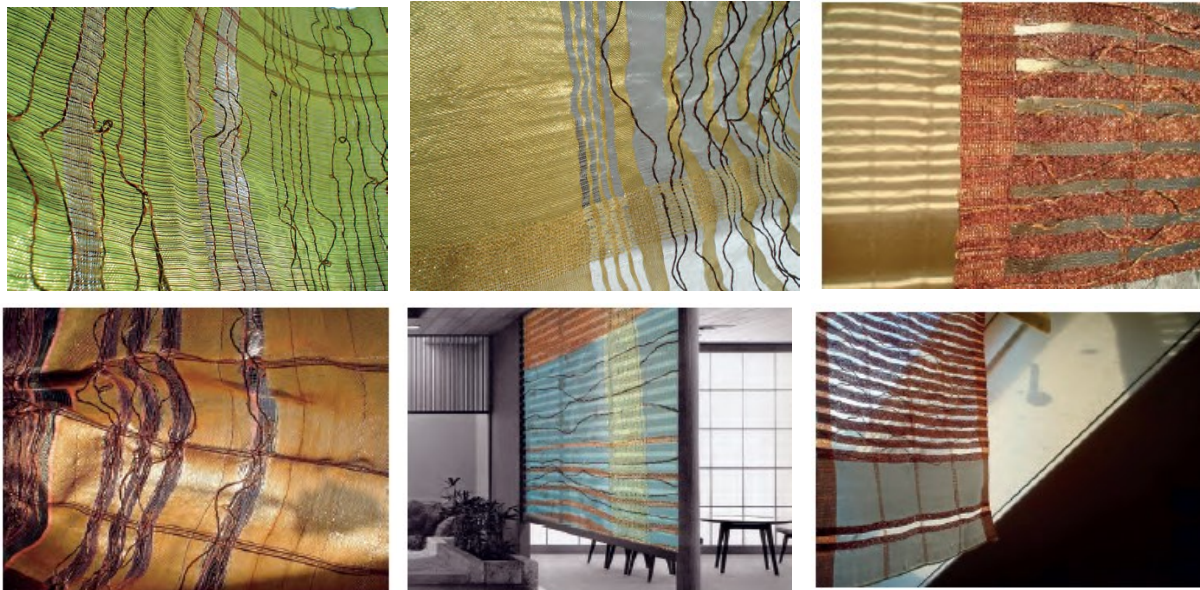


شکل ۱۱: اروژل های تغییر شکل دهنده [۴]

- **مواد حافظه شکلی :** در مواد حافظه ی شکلی با ورود انرژی گرمایی ریز ساختار ماده به واسطه ی یک تغییر فاز کریستالی دگرگون می سازد. این تغییر ، امکان پیدایش شکل های متعددی را مطابق با محرک های محیطی فراهم می کند. [۱]
- از جمله مواد حافظه شکلی که در فضای داخلی معماری کاربرد دارد، پارچه های هوشمند است. یکی از عناصری که همواره در طراحی و مبلمان داخلی مورد قرار می گیرد ، پارچه هایی است که در بخش های مختلف فضا مانند مبلمان، پرده و ... کاربرد دارد. شاید نمایش حضور قبلی یک شخص در یک موقعیت خاص یا بر روی یک مبلمان برای کاربران جذاب باشد. همچنین پارچه های هوشمند مورد استفاده در پرده ها که با جذب انرژی محیط تغییراتی را در خود ایجاد می کند، از جمله کاربرد این پارچه های هوشمند است.



شکل ۱۱: استفاده از مواد هوشمند تغییر رنگ دهنده (ترموکرومیک) در پارچه های مورد استفاده در مبلمان داخلی [۱]



شکل ۱۲: استفاده از مواد هوشمند با حافظه شکلی در پرده‌ها و پارچه‌های مورد استفاده در مبلمان داخلی [۲]

۲-۳ تغییر شفافیت

- شیشه الکتروکرومیک: به تغییر رنگ بازگشت پذیر ماده که بر اثر اعمال جریان الکتریکی یا پتانسیل ایجاد می‌شود، عموماً الکتروکرومیسم گفته می‌شود. به عنوان نمونه می‌توان به پنجره‌ی الکتروکرومیک اشاره نمود که به صورت الکترونیکی، تیره و روشن می‌شود. ولتاژی کم، موجب تیره شدن شیشه می‌شود و با بالعکس کردن ولتاژ، شیشه روشن می‌شود. در نمونه‌ی مقابل با اعمال ولتاژ، شیشه تیره تر می‌شود. معکوس ساختن جهت ولتاژ، یون‌ها را از لایه‌ی الکتروکرومیک در جهت مخالف خارج می‌سازد (از طریق لایه‌ی هدایت کننده به سمت لایه‌ی ذخیره)، در نتیجه موجب روشن تر شدن شیشه می‌شود. این فرآیند به نسبت آهسته انجام می‌گیرد و به جریانی ثابت نیاز دارد. لایه‌های تشکیل دهنده‌ی اجزاء الکتروکرومیک می‌توانند نسبتاً نازک باشند و از پیش به صورت آماده بین مصالح شیشه‌ای سنتی جای داده شوند. شرکت‌های بسیاری محصولات ساختند که این اجزاء را در سیستم‌هایی به کوچکی یک پنجره تا بزرگی دیوار نمای یک ساختمان جای داده‌اند. در کاربرد رایج، شفافیت و ته رنگ نسبی شیشه‌های الکتروکرومیک را می‌توان به صورت الکتریکی تنظیم نمود. با این وجود، باید به این نکته اشاره کرد که برای نگاه داشتن شیشه در وضعیت تاریک، باید ولتاژ را در پنجره ثابت نگاه داشت. این موضوع به دلایل زیادی یک نقطه ضعف به شمار رود. [۱]



شکل ۱۳ و ۱۴: در و پنجره‌های هوشمند الکتروکرومیک در فضای داخلی معماری [۷]



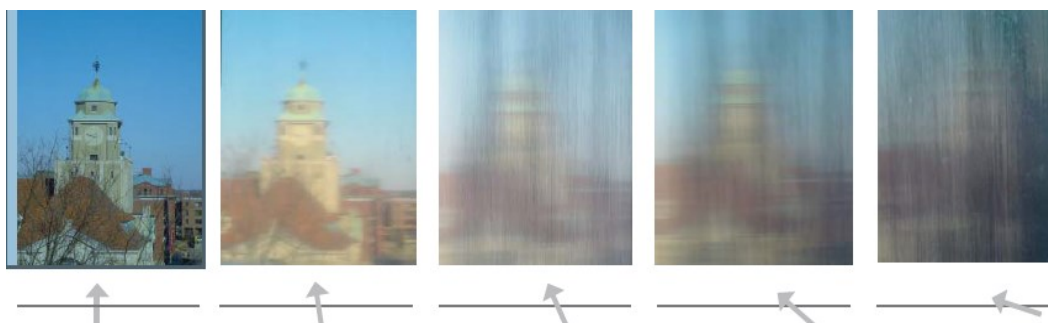
امروزه در فروشگاه عرضه لباس، در اتاق های تعویض لباس از این نوع شیشه استفاده شده است. با این سیستم می توان میلیون ها دلار در گرمایش و سرمایش و نور پردازی فضاها صرفه جویی کرد. در حال حاضر پنجره های هوشمند در برخی ساختمان ها به کار گرفته می شوند. این پنجره ها مصرف انرژی را کاهش می دهند؛ برای این کار، پنجره ها سرمای درون خانه را حفظ کرده و مقدار نور ورودی به داخل را کنترل می کنند. یکی از موارد مصرف این پنجره ها در موزه ها است؛ جایی که ورود بیش از حد نور خورشید می تواند موجب آسیب دیدن اشیاء قیمتی شود.

پنجره های هوشمند در چند سال اخیر توسعه خیره کننده ای داشته است. به تازگی ایده دیگری برای ساخت نسل جدیدی از پنجره های هوشمند الکتروکرومیک ارائه شده است. این شیشه های هوشمند علاوه بر کنترل نور می توانند دما را نیز کنترل کنند. مثلا در هوای بسیار گرم تابستان میزان شفافیت این شیشه ها به صورت اتوماتیک کم شده و موجب می شود که مقدار کمی نور به داخل محیط وارد شود و مانع از گرم شدن بیش از حد هوا در داخل اتاق می شوند که میزان نور و حرارت وارده به اتاق را تعدیل می کند و هزینه های مربوط به سیستم تهویه هوا در منازل به شدت کاهش می یابد. در زمستانها نیز که تابش نور خورشید از شدت کمتری برخوردار می شود، ضمن عبور دادن نور از خود و راه یافتن حرارت نسبی خورشیدی به داخل فضاهای بسته، نقش چشمگیری در کاهش مصرف انرژی ایفا می کند. [۷]

مهمترین وجه تمایز میان فرآورده های جدید و نمونه های قدیمی تر، در این است که در فرآورده های جدید، تنها فشار دادن یک دکمه برای ایجاد تغییر در میزان انتقال نور از شیشه و تغییر از وضعیتی به وضعیت دیگر کافی است و مانند نمونه های قدیمی، نیازی به برقراری دائم جریان الکتریکی یعنی تا هنگامی که بخواهیم شیشه تیره بماند، نیست. به این معنا با فشار دادن یک کلید شیشه از حالت شفاف خارج شده و با فشار دکمه دیگر به وضعیت قبلی باز میگردد. محققان این راه حل را در حالی ارائه کردند که پنجره های فعلی که در برابر تغییر شدت تابش نور خورشید تیره و روشن می شوند، نه تنها با هزینه سرسام آوری به تولید می رسند، بلکه در طولانی مدت بازده مناسبی ندارند. همچنین در فرایند ساخت این نوع پنجره ها از مواد سمی استفاده می شود که می تواند خطرات قابل توجهی برای طبیعت و حتی انسان به همراه داشته باشند. [۶]

از مزایای استفاده از شیشه هوشمند الکتروکرومیک می توان به آسایش حرارتی در زمستان و تابستان، کاهش هزینه سالانه انرژی، هزینه کمتر برای تاسیسات گرمایشی و سرمایشی، جلوگیری از ورود اشعه های مضر خورشید، تامین روشنایی مناسب برای ساختمان، کاهش هزینه مورد نیاز برای روشنایی، جلوگیری از بخار کردن شیشه در فصول سرد سال و کاهش آلودگی صوتی اشاره کرد.

- **فیلم های جهت دهنده دید در پنجره های هوشمند** : این فیلم ها اغلب فیلم های کنترل کننده ی نور نامیده می شوند که بسته به نحوه ی تنظیم میکرو کرکره ها ، بیننده تنها می تواند در جهت های خاصی از میان فیلم به آن سو بنگرد. هنگامی که بیننده جای خود را تغییر دهد، از شفافیت فیلم کاسته می شود. بنابراین بیننده ، تنها تحت شرایط خاصی می تواند شیء واقع شده در آن سوی فیلم را تشخیص دهد. بدین ترتیب می توان به فیلم هایی دست یافت که شفافیت شان در زاویه ی دید مختلف پنجره، متفاوت است و به عنوان مثال تنها در دید مستقیم یا زوایای خاصی شفاف هستند. ویژگی های قابل توجه این فیلم ها موجب شده است که از آنها در ویتترین مغازه ها و بسیاری دیگر از عرصه های نمایشی استفاده شود. تصور کنید که بر روی پیاده روی مرتفعی راه می روید و فیلمی در زیر پای شما قرار دارد. مسیر پیش رو و پشت سر شما کدر است ولی زیر پای

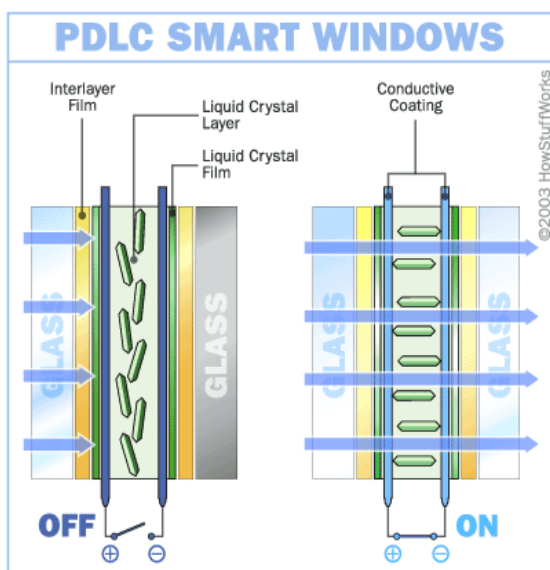


شکل ۱۵: فیلم جهت دهنده دید در پنجره هوشمند [۲]

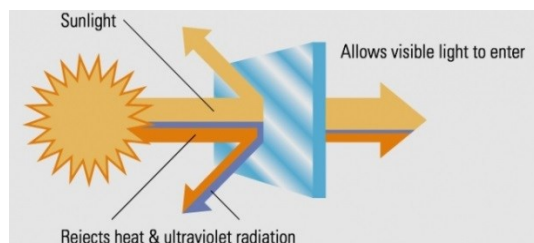
شما شفاف به نظر می‌رسد. همچنین برای کنترل نور عبوری می‌توان از همین فیلم‌ها به نحو موثری بهره برد. بنابراین این محصولات می‌توانند به عنوان کاهش دهنده‌ی نور خیره‌کننده در نمایشگرهای رایانه‌ای و دیگر عملکردها، کاربرد وسیعی داشته باشند. [۱]

۳- پنجره هوشمند

امروزه همراه با توسعه و پیشرفت روز افزون تکنولوژی در عرصه‌های مختلف زندگی بشر، فناوری تولید شیشه و پنجره‌های هوشمند، تأثیرات شگرفی بر کیفیت فضای داخلی ساختمان‌ها داشته است. ساختمان‌هایی را تصور کنید که پنجره‌های آن مجهز به شیشه‌هایی است که با توجه به شدت تابش نور خورشید تیره و روشن می‌شوند. فناوری پنجره هوشمند می‌تواند در روزهای گرم تابستان که نور آفتاب به داخل ساختمانها وارد می‌شود و نیاز به استفاده از دستگاههای خنک‌کننده و تهویه‌کننده هوا را افزایش می‌دهد به صورت هوشمند تاریک شود و از انعکاس نور جلوگیری کند و در عوض در فصول سرد سال دوباره به حالت اول بازگردد و شفاف شود. این فناوری، تأثیر خیره‌کننده‌ای بر مدیریت مصرف انرژی، در جهت کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی در ساختمان دارد. بدین ترتیب بایستی در انتخاب مصالحی که در یک ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، توجه فراوانی نشان داد تا بتوان به نتایجی مقبول در عرصه معماری، از جنبه‌های مختلف زیبا شناختی و کاربردی، دست یافت. [۶] [۵]



شکل ۱۶: مکانیزم پنجره‌های هوشمند [۱]



شکل ۱۷: عدم اجازه ورود به نور ماورا بنفش و مادون قرمز به درون ساختمان در یک روز گرم

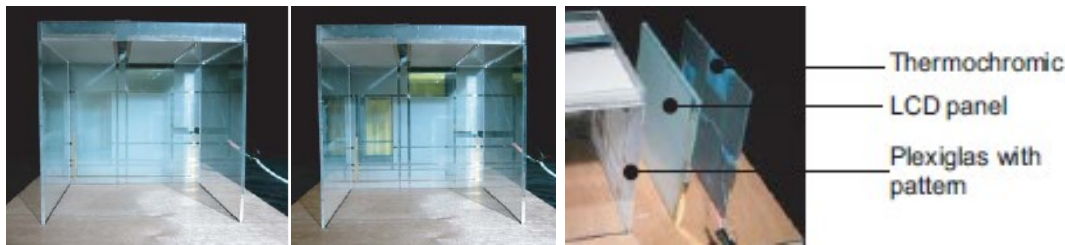
عبارت «پنجره‌ی هوشمند» برای هر سیستمی که به نظر می‌رسد سطحی تعامل‌کننده و متغیر دارد، به کار می‌رود. پنجره‌های هوشمند معمولاً یک یا چند نمونه از عملکردهای زیر را ارائه می‌دهند.

- کنترل انتقال نور: می‌توان از تغییر شفافیت (فشردگی بصری) برای مهار اشعه‌های خورشیدی تابش یافته استفاده نمود. این امر به ویژه در کنترل طول موج‌های مرئی و نزدیک به ماوراء بنفش مفید است. شیشه‌ها می‌توانند متنوع باشند و از حالتی با فشردگی بالا (مات یا نیمه شفاف) برای جلوگیری از نفوذ مستقیم نور خورشید و نورهای خیره‌کننده‌ی مربوط به آن تا حالتی با فشردگی کم (شفاف) به گونه‌ای که از شدت نور تابشی کم شود، تغییر یابند.
- کنترل انتقال حرارت: این عملکرد نیز مشابه نمونه‌ی بالا می‌باشد. ولی در اینجا طول موج‌های مورد نظر در طیف نوری تا نزدیکی مادون قرمز گسترش می‌یابند. در زمان مناسب (تابستان) می‌توان انتقال گرما از طریق تابش را کاهش و در دیگر شرایط افزایش داد.
- کنترل جذب گرما: شفافیت و هدایت گرمایی با هم متناظر هستند ولی نسبتاً از تشعشعات تابشی مستقل عمل می‌کنند. هر گاه دمای داخلی از دمای بیرون بیشتر باشد، یک جریان حرارتی دو سویه ایجاد می‌شود. انرژی تابشی به داخل انتقال می‌یابد. در حالی که انرژی حرارتی به خارج منتقل می‌شود تغییر میزان جذب شیشه، در



نهایت بر میزان هدایت گرمایی کلی اثر می‌گذارد و بدین ترتیب می‌تواند تعادل را به نفع یکی از دو جهت برهم بزند. این نوع از پنجره‌ها با حفظ شرایط آب و هوایی داخل، در روزهای داغ و سوزان تابستان، مانع ورود نور خورشید به داخل شده و در زمستان با تبدیل به حالت شفاف، اجازه عبور به نور خورشید را داده و انرژی گرمایی را ذخیره می‌کند. [۱]

- **کنترل دید:** استفاده از مواد متغیر برای کنترل دید، در حال حاضر سریعترین کاربرد روبه افزایش مواد هوشمند در ساختمان می‌باشد. جدا کننده‌ها و تیغه‌هایی که از حالت شفاف تا نیمه شفاف تغییر می‌کنند به نورا اجازه ورود می‌دهند ولی در عین حال می‌توانند با تغییر شفافیت ماده، دید را کم کنند. از نمونه‌های کاربرد این مصالح در معماری ویتترین مغازه‌ها است. در واقع می‌توان در ویتترین خارجی مغازه‌ها، کالاها را به صورت انتخاب شده و شاید تنها هنگامی که مغازه باز است، در معرض دید قرار داد. یک ماده‌ی شفاف تصاویر را به صورت صحیح انتقال می‌دهد در حالی که یک ماده‌ی منکسر کننده، تصویر را تار می‌نماید.



شکل ۱۸: پنجره‌های هوشمند کنترل کننده دید [۱]

جدول ۱: پنجره‌های هوشمند و ویژگیهای آن [۱]

نوع سیستم	نتیجه‌ی بصری داخلی	نتیجه‌ی گرمای داخلی	انرژی ورودی
فوتوکرومیک	کاهش در شدت ولی همچنان شفاف	کاهش در عبور تابشی	UV تابش
ترموکرومیک	کاهش در شدت ولی همچنان شفاف	کاهش در تابش‌های عبوری	گرما (دمای بالای سطح)
الکتروکرومیک	کاهش در شدت	کاهش متناسب در تابش‌های عبوری	پالس‌های ولتاژ تا جریان

۴ - نتیجه‌گیری

مصالح هوشمند تقریباً توانی پایان ناپذیر دارند، آنها می‌توانند در واکنش به محیط پیرامون خود چنان تغییر کنند که مصالح طبیعی قادر به آن نیستند. این مصالح در سقف، کف، دیوارها، نما و در فضای داخلی معماری به کار می‌روند و با تغییراتی که ایجاد می‌کنند باعث جذابیت و بهبود فضای داخلی معماری می‌شوند. پارچه‌های هوشمند، شیشه‌ها و پنجره‌های هوشمند از این دسته‌اند که می‌توانند پاسخگوی نیازهای مختلف کاربران باشند و در کنار ویژگیهای مثبتی چون جلوگیری از اتلاف انرژی، کنترل دید، تغییر شفافیت و تغییر رنگ بر تنوع و کیفیت فضا بیفزایند. با این روند، مصالح هوشمند در آینده تاثیر چشم‌گیری بر ساختمان‌های ما خواهند گذاشت و تصور ما در رابطه با محیط ساخته شده پیرامونمان و آنچه که به عنوان معماری می‌پنداشتیم، به طرز مثبتی تغییر خواهد کرد. همچنین دستیابی به فناوری‌های نوین در خصوص مصالح هوشمند، به طراحی ساختمان‌هایی با قابلیت ماندگاری بالا در برابر شرایط اقلیمی منجر خواهد شد.



مراجع

- [۱] D. Michelle Addington and Daniel L. Schodek ,Smart material and new technologies, ۲۰۰۵
- [۲] Birkhauser, Material in architecture, ۲۰۰۷
- [۳] دهکردی ، مرتضی ، مصالح هوشمند و فناوریهای جدید، نشر خاک، ۱۳۹۰
- [۴] گلابچی، محمود و ک. تقی زاده و ا. سروش نیا، نانو فن آوری در معماری و مهندسی ساختمان، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۰
- [۵] مصلحی، محمدرضا، زندگی آن سوی پنجره های هوشمند، جام جم، شماره ۲۰۹ ، صفحه ۱
- [۶] قراول باشی، مهدیار و بهرام کرمی و عطیه سحرخیز، شیشه های هوشمند به عنوان مصالح نوین و عایق در صنعت ساختمان، اولین همایش ملی سبک ساری و عایق بندی ساختمان دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد، ۱۳۹۱
- [۷] <https://float-glass.blogfa.com/category>