مصالح هوشمند و نقش آن در معماری

دکتر یوسف گرجی مهلبانی* / الناز حاج ابوطالبی**

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۰٤/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۰۷/۲۳

چکیده:

ساختمان‌ها و زندگی در آنها در طول دو دهه گذشته بسیار تغییر کرده است. در واقع می‌توان گفت که به‌جز تعداد کمی از استثناهای موجود، ساختمان‌های کنونی از آن نوع زیستگاهها نیستند که به حال حاضر تعلق داشته باشند. با توسعه در زمینه مصالح، فرآورده‌ها و روش‌های ساخت ابداعی، حرکت به سوی ساختمان‌هایی با کارایی بالاتر و صرفه اقتصادی بهتر و سازگار با محیط زیست امری ضروری می‌نماید. ما در حال حاضر در آستانه نسل بعدی ساختمان‌ها هستیم؛ ساختمان‌هایی با درجات متعددی از تکنولوژی جدید (Hi-Tech) که کاملاً رفتار اکولوژیکی دارند و قادرند با بهره گیری هوشمندانه از مصالح سازگار و عملکرد مناسب، در برابر تغییرات مستقیم و غیر مستقیم پیرامون خود واکنش نشان دهند و خود را با شرایط مناسب تطبیق دهند. این نوآوریها وظایف جدیدی را برای طراحان و معماران ایجاد می‌کند که از قافله پرسرعت تکنولوژی عقب نمانده و آنها را درطرح‌های خود بکار گیرند. لذا در این مقاله، معرفی مصالح هوشمند و عملکرد آنها و مهمتر از آن نحوه بکارگیری و رفتار آنها در پروژه های ساختمانی هدف اصلی می باشد که در کشورهای پیشرفته به اجرا درآمده اند. امید است که شناخت مصالح هوشمند به صورت عملی ما معماران را در بکارگیری این مصالح که مهمترین مزیت آنها بهینه سازی و مدیریت هوشمند انرژی است، ترغیب نماید.

واژه‌های کلیدی: مصالح هوشمند و معماری، مصالح و فرآوردهٔ نوین، فن آوری نوین معماری.

مقدمه

پیش‌بینی و آینده‌نگری همواره مورد توجه مهندسان و پژوهشگرانی بوده است که به تحقیق و تولید ابزارهایی برای استفاده از آنها در آینده می‌پردازند. همانهایی که به ما می‌گویند آینده به چه صورت می‌باشد. اگر به طور خلاصه به مرور تاریخ معماری قرن گذشته در زمینه آینده‌نگری بپردازیم، خواهیم دید که این آینده عموماً بوسیله مصالح و تکنولوژی هایی که در آن دوران ساخته خواهد شد، تعریف می شود. در واقع با ظهور مدرنیسم بود که نوعی تلاش همه

* استادیار گروه معماری، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
** کارشناس ارشد معماری، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

سویه برای اندیشیدن و تفکر در مورد سرنوشت آینده معماری صورت پذیرفت. در ۱۹۱٤ میلادی یک گروه از معماران جوان ایتالیایی «بیانیه معماری فوتوریست» را منتشر کردند که این بیانیه اعلام می‌داشت «معماری فوتوریست، معماری پیش اندیشی، بی‌پروایی و بی پیرایه گی است، معماری بتن مسلح، آهن، شیشه و تمام مصالحی است که جایگزین بهتری برای چوب، سنگ و آجر باشند طوری‌که قابلیت بالایی از انعطاف پذیری و سبکی را فراهم آورند ....»

در واقع بتن محبوب ترین مصالح دوران مدرنیسم بود چرا که دارای مزایای بسیاری نسبت به مصالح گذشته و همچنین بسیار مقرون به صرفه بود. از این رو مورد حمایت عموم معماران اوایل قرن ۲۰میلادی واقع شد. در ۱۹۲۰ میلادی لوکوربوزیه با توجه خاصی که به تکنولوژی داشت، خانه آینده را به عنوان «ماشینی برای زندگی» تعریف نمود و ۹ سال بعد باکمینستر فولر طرح «ماشین زندگی» او را منتشر نمود. هر دو طراح برای بیان ایده‌های خود از صنعت نوپای اتومبیل و هواپیما الهام گرفتند. همچنان که قرن ۲۰ میلادی به پیش می‌رفت نگاه ابزاری به مصالح و تکنولوژی های جدید جایگزین نگاه سمبلیک موجود شد. چنانچه در سال ۱۹۳٤ میلادی زمانی که آلومینیوم در ساخت موزه هنرهای مدرن آلمان استفاده شد، مقصود اصلی ارائه و نمایش پتانسیل‌های موجود در این مصالح بود که هم به عنوان مصالح نما و هم در سیستم سازه‌ای بنا به کار برده شد. از آن پس ساخت خانه‌ها و بناهایی که آخرین محصولات کمپانی‌های تولید و ساخت مصالح ساختمانی را به نمایش می‌گذاشت، رونق گرفت. دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹٦۰ میلادی پایان دورانی بود که مصالح و بنا با هم یکی بودند. این زمان دوره انتقال و تغییر از عصر صنعتی به عصر اطلاعات بود.

بنابراین مشاهده می‌شود که همواره رابطه تنگاتنگ و نوعی پیوند تاریخی ناگشودنی بین مصالح ساخت و معماری وجود داشته است تا اینکه در قرن بیستم، نقش مصالح و تکنولوژی‌ها در معماری اهمیت بیشتری یافت. می‌توان گفت هم اکنون و در آغاز قرن ۲۱ میلادی استفاده از مصالح با توجه به رفتارها و خصوصیات پایه‌ای آنها انتخاب می‌شود نه به دلیل عملکرد و چگونگی اجرای آنها. امروزه با دید آینده نگری که به معماری و سیستم‌های ساخت از سوی معماران وجود دارد به زودی شاهد توسعه و گسترش مصالح هوشمند در حیطه دانش معماری در کشور خواهیم بود کما اینکه بکارگیری این مصالح با توجه به پتانسیل‌هایی که دارند در بسیاری از کشورها از حد تحقیق و پژوهش فراتر رفته و استفاده از مصالح هوشمند در ساختمانها عملی گشته است. پس شناخت و پی بردن به مشخصه‌های مصالح و کاربرد آنها در دنیای امروز امری اجتناب ناپذیر می‌نماید.

مصالح و فرآورده‌های نوین

در حال حاضر طیف وسیعی از فرآورده‌ها و مصالح، در دسترس قرار گرفته‌اند و یا اینکه در حال عرضه به بازار هستند. برخی از آنها به طور خاص برای استفاده در زمینه معماری تولید شده و برخی نیز برای کاربردهای دیگری مثل صنعت منسوجات، اتومبیل سازی و ... در نظر گرفته شده‌اند. اما نکته اصلی اینجاست که چگونه این مصالح نوین در دسترس معماران و طراحان قرار گیرد!! اگر برای معماران این امکان فراهم آید که بتوانند تمام این

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

مصالح و فرآورده‌ها را مستقیما یا به شکل اصلاح شده در پروژه‌های خود به کار گیرند، آنگاه سیل عظیمی از امکانات تازه و جالب برای طراحی ساختمانها و روشهای ساخت را به دنبال خواهد داشت. معماران خلاق می‌توانند مصالح و فرآورده‌های نوین را برای کاربردهای خاص معماری توسعه دهند و قادر خواهند بود صنعت تازه‌ای را در معماری بر پایه مصالح نوین پدید آورند و در نتیجه، معماران بیش از آنکه طراح ساختمان باشند، مجری، تولیدکننده و سازنده آن نیز خواهند بود (Addington& Schodek، 2005).

مصالحی را که در ذیل به توضیح آنها می‌پردازیم، مصالح و مواد خامی هستند که دارای پتانسیل‌های خاص و کاربردی در زمینه معماری و ساخت و ساز می‌باشند. این فهرست با توجه به ویژگی‌ها، ساختار و خصوصیات درونی این مواد تهیه شده است (itter,2007).

۱- مصالح بازیافتی: این مصالح اساساً از مواد دست دوم و زباله‌های تمیز، تهیه می‌شوند. برای تهیه مصالح بازیافتی، قسمت‌های ارزشمند مصالح دست دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی به هر حال فرآورده حاصله معمولاً کیفیت پایین‌تری نسبت به مصالح اصلی دارد. امروزه استفاده از مصالح بازیافتی با توجه به اصول معماری پایدار بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تصاویر زیر نمونه‌های استفاده از این مصالح را در یک پروژه مسکونی در کشور ژاپن نشان می‌دهد.

۲- مصالح تجزیه‌پذیر زیستی: ترکیبات تشکیل دهنده این مصالح به گونه‌ای است که پس از پایان عمر و مدفون شدن در زیر خاک به طور کلی توسط جانوران میکروسکوپی موجود در خاک تجزیه می شوند. بنابراین





تصاویر۱و۲: کاشی‌های بازیافت شده از شیشه و متریال‌های زائد (Roaf , 2007).
مجموعه مسکونی میساوا، ژاپن - نخستین نمونه جهانی ساختمانهای صفر- انرژی

تهدیدی برای آلودگی محیط زیست محسوب نمی‌شوند.

۳- زیست مواد: شامل پلاستیک‌ها و مصالح دیگری است که از منابع تجدیدپذیر ساخته می شوند. تحقیقی که در حال حاضر بر روی این مواد بسیار مورد توجه است، استفاده از باکتری خاصی است که گاز Co_2 مصرف می کند و قادر به متلاشی نمودن این پلاستیک هاست.

٤- مصالح تغییر ناپذیر: مصالحی هستند که تاثیرات فیزیکی و شیمیایی بر آنها اثر ندارد. مثالی از این نوع مصالح، آلیاژ فولاد می باشد.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

۵- مصالح هوشمند: این مصالح که بحث اصلی مقاله پیش‌رو هستند، مواد و فرآورده‌هایی هستند که خاصیت تغییرپذیری دارند و قادرند مشخصه‌های ظاهری و یا درونی خود را در پاسخ به تاثیرات فیزیکی و شیمیایی به صورت برگشت‌پذیر تغییر دهند.

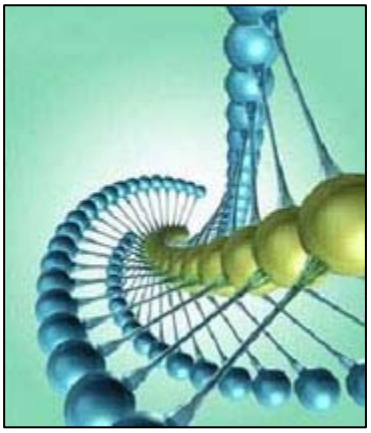
۶- مصالح هیبرید یا پیوندی: این مصالح با تلفیق حداقل دو ترکیب متفاوت ساخته می‌شوند. مثل تلفیق ترکیبات طبیعی و مصنوعی.

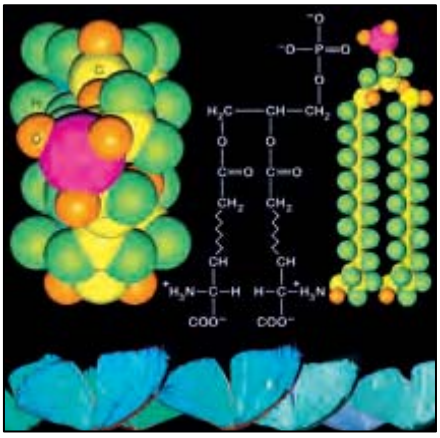
۷- مصالح با ساختار فسیل واره: این‌ها نوعی مصالح مرکب با لایه‌های ملحق شده تدریجی می‌باشند. این مصالح نتیجه یک تغییر پیوسته در ویژگی‌های مصالح است. مثالی از این نوع مصالح نفت خام می‌باشد که از قرار گرفتن لایه‌های متعدد در طول سالیان متمادی ایجاد می‌شود.

۸- نانو متریال(مصالح نانو): مصالحی هستند که از موادی با مقیاس نانو(یک میلیاردم) ساخته می‌شوند و نقاط اشتراک زیادی با مصالح هوشمند دارند. مواد با ساختار نانو به عنوان پوشش نهایی در ساخت فرآورده‌ها به کار می‌روند. به‌عنوان مثال در پوشش‌های هوشمند ضد خوردگی، تصفیه کننده هوا، تمیز کننده سطوح و پوشش‌های زیست فعال کاربرد دارند (تورانی، ۱۳۸۷).

مصالح هوشمند

مصالح هوشمند یک اصطلاح جدید برای مصالح و فرآورده هایی است که توانایی درک و پردازش رویدادهای محیطی را داشته و نسبت به آن واکنش مناسب نشان می‌دهند. به بیان دیگر این مصالح قابلیت تغییرپذیری داشته و قادرند شکل، فرم، رنگ و انرژی درونی خود را به طرز برگشت پذیر در پاسخ به تاثیرات فیزیکی و یا شیمیایی محیط اطراف تغییر دهند. اگر مصالح را به سه گروه مصالح غیر هوشمند، نیمه هوشمند و هوشمند طبقه بندی کنیم، گروه اول یعنی مصالح غیر هوشمند ویژگی خاص بالا را ندارند، نیمه هوشمندها تنها قادرند در پاسخ به تاثیرات محیطی شکل و فرم خود را برای یک بار یا





تصاویر ۳ و ٤: مصالح نانو مقیاس یک میلیاردم (10^{-9}).
ماخذ: سایت اینترنتی http://www.architectmagazine.com

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

مدت زمان اندکی تغییر دهند اما در مصالح هوشمند این تغییرات تکرارپذیر و قابل برگشت خواهد بود (Ritter, 2007).

مصالح هوشمند تحت عنوان مصالح "انعطاف پذیر" و "تطبیق پذیر" نیز شناخته می شوند و این به دلیل ویژگی خاص آنها در تنظیم نمودن خود با شرایط محیطی می باشد (Addington& Schodek، 2005).

متغیرهای تاثیرگذار شیمیایی و فیزیکی که در زیر معرفی شده‌اند، محرک‌هایی هستند که مصالح هوشمند در برابر آنها از خود عکس العمل نشان می‌دهند (Ritter, 2007):

۱- **نور، اشعه UV**: بخش فرابنفش و مرئی اشعه الکترومغناطیسی.

۲- **دما**: تغییرات دمایی که یک سیستم فیزیکی مثل بدن انسان ایجاد می‌نماید.

۳- **فشار**: اختلاف فشار ایجاد شده در یک ناحیه.

٤- **میدان الکتریکی**: میدان ایجاد شده پیرامون یک بار الکتریکی.

٥- **میدان مغناطیسی**: میدان ایجاد شده پیرامون یک آهن ربا یا یک بار الکتریکی متحرک.

٦- **محیط شیمیایی**: حضور یک عنصر یا ترکیب شیمیایی خاص مثل آب.

طبقه‌بندی مصالح هوشمند

به طور کلی مصالح ساختمانی موجود اعم از سنتی، طبیعی و مصنوعی با توجه به خصوصیات آنها، از جمله: نمود ظاهری، بافت، ترکیب شیمیایی، خواص مکانیکی و فیزیکی، اثر محیطی و ... طبقه بندی می‌شوند. اما در طبقه بندی مصالح هوشمند علاوه بر در نظر داشتن مشخصه‌های فوق، خواص دیگری که به طور ویژه به تمیز دادن مصالح هوشمند از مصالح سنتی مربوط می شود نیز لحاظ شده است. در واقع طبقه بندی پیشنهادی مصالح هوشمند بر پایه سه خاصیت زیر ارائه شده اند(Ritter, 2007):

۱- مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر خواص درونی:

مصالح هوشمند تغییر شکل دهنده

مصالح هوشمند تغییر رنگ دهنده

مصالح هوشمند تغییر پیوند دهنده

۲- مصالح هوشمند دارای قابلیت مبادله انرژی:

مصالح هوشمند ساطع کننده نور

مصالح هوشمند تولید کننده الکتریسیته

مصالح هوشمند ذخیره کننده انرژی

۳-مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر و مبادله مواد درونی:

اما آنچه که در سیستم طبقه بندی مصالح هوشمند اهمیت دارد این است که با توجه به مباحث مطرح در زمینه توسعه پایدار که دغدغه اصلی قرن پیش روست، هر یک از این مصالح چه عملکردهایی از لحاظ تعامل با محیط زیست، دوام و پایداری، امکان بازیافت مجدد، زیبایی و مطلوبیت و ... دارند؟ (Atkins, 2004). بنابراین در ادامه با معرفی مصالحی که در هر یک از گروه‌های ذکر شده جای می‌گیرد به ارائه پروژه های موفق و خلاق در استفاده از مصالح هوشمند می پردازیم.

مصالح هوشمند تغییر شکل دهنده

این گروه از مصالح هوشمند که دارای قابلیت تغییر خواص درونی خود هستند در پاسخ به

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

محرکات خارجی تغییراتی در شکل و ابعاد خود ایجاد می کنند که این تغییرات بستگی به نوع توزیع و آرایش ترکیبات تحریک پذیر درونی آنها دارد. هم اکنون مصالح زیادی با ویژگی فوق در دسترس است اما از پرکاربردترین آنها می توان به مصالح هوشمند دما واکنشی (Thermostrictive)، پیزوالکتریک (Piezoelectric)، الکترو واکنشی (Electroactive) و شیمی واکنشی (Chemostrictive) اشاره نمود که در حال حاضر بیشترین توجه را در زمینه معماری به خود معطوف نموده اند.

- **مصالح هوشمند دما واکنشی:** این نوع از مصالح هوشمند که زیر مجموعه مصالح هوشمند تغییر شکل دهنده می‌باشند، نوعی ویژگی ذاتی دارند که آنها را قادر می‌سازد تا در برابر تغییرات دمای محیط پیرامون به طور برگشت پذیر واکنش نشان دهند. تغییرات دمایی ممکن است تاثیر غیر فعال داشته باشد به طوری‌که مصالح به طور مداوم وضعیت دمای داخلی خود را با وضعیت طبیعی پیرامونش از طریق پوسته بیرونی تنظیم کند و اگر تاثیرات آن به صورت فعال باشد، نوعی گرمایش فعال با بکار بردن یک میدان الکتریکی از طریق تماس ایجاد می‌شود.

مصالح دما واکنشی به نوبه خود انواع و اقسام متنوعی از متریالها را شامل می‌شوند اما تعداد محدودی از آنها در معماری کاربرد دارند. در زیر نمونه‌ای از آنها و کاربرد آن در یک پروژه ساختمانی ارائه می‌شود.

مصالح منبسط شونده (Thermal Expansion Material) با نام اختصاری (TEM) نمونه ای از مصالح دما واکنشی هستند که دارای ضریب انبساط گرمایی‌اند. گرماسنج ها از اولین سیستم هایی بودند که با بکارگیری چنین مصالحی ساخته شد. اما مهمترین کاربرد آنها در معماری در ترموستات‌های گرمایشی برای سرویس‌های خدماتی ساختمان و همچنین به عنوان محرکهای ویژه‌ای در گلخانه‌ها و در نمای ساختمانها برای کنترل و مدیریت انرژی به کار می‌روند. کاربرد دیگر آنها در سیستم تهویه اتاق های ساختمان می‌باشد. با وجود اینکه مصالح منبسط شونده (TEM) در دهه‌های اخیر به عنوان اجزای ترموستات‌ها بکار می‌رفته‌اند اما استفاده از آنها برای تهویه اتوماتیک ساختمان مربوط به چند سال اخیر می‌شود. طرز کار این سیستم نیز به گونه‌ای است که در دماهای مشخص سیستم باز یا بسته می شود تا شرایط تهویه مناسب فضا را فراهم سازد. آنها همچنین می‌توانند با بالا بردن یا پایین آوردن بخشهایی از پوشش بام به صورت اتوماتیک، به عنوان اجزای سیستم تهویه در نمای ساختمانها طراحی شوند (Ritter,2007).

در پروژه زیر مصالح دما واکنشی به عنوان محرکهای دمایی با فنون معماری و سازه بنا تلفیق شده‌اند.

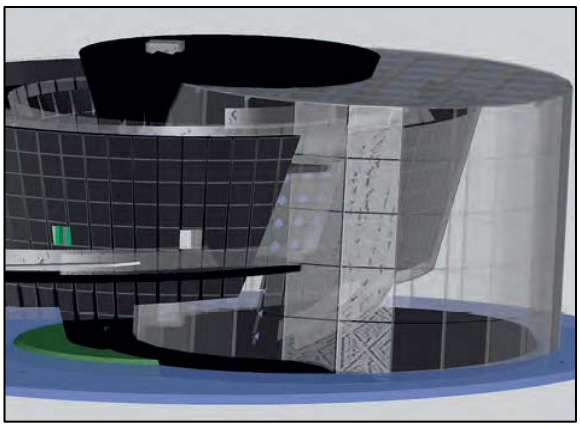
پروژه مرکز اسناد

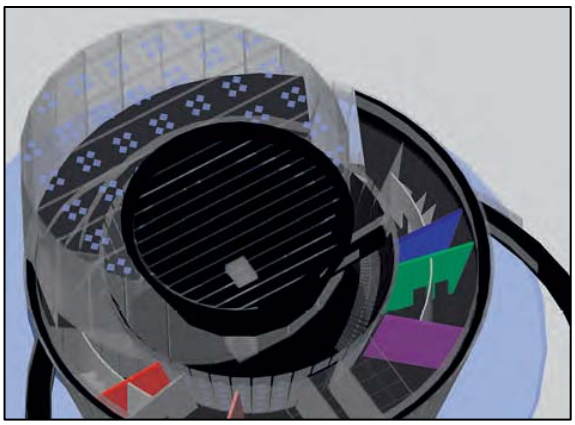
Axel Ritter, Germany
Kinetic facade for a documentation and meeting centre on the former
SS Special Camp/Concentration Camp at Hinzert | Germany (2004)

استفاده از مصالح هوشمند تغییر شکل دهنده: مصالح منبسط شونده (TEM) با ترمیستور PTC

استفاده از مصالح هوشمند تولید کننده الکتریسیته: لایه باریکی از سلولهای خورشیدی

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]



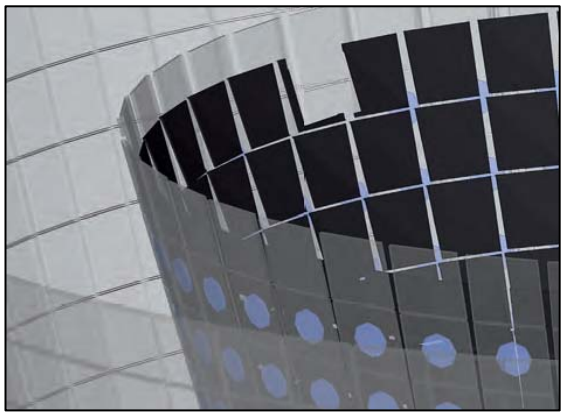


تصاویر ۵ و٦: پروژه مرکز اسناد، دید به مجموعه (Ritter, 2007)

در سال ۲۰۰٤ میلادی یک مسابقه معماری برای طراحی و روش ساخت مرکز گردهمایی و اسناد در محل کمپ سابق در شهر هینزرت آلمان برگزار شد. ایده معمار برای طراحی این بنا فرم مدور موجود در طرح پیشین این بنا بوده است که از آن به عنوان عنصر پایه طراحی و اصل ساختاری متحرک خود استفاده نمود. طرح او متشکل از یک ساختار بر پایه چهار حلقه می‌باشد که هر یک، دیگری را در برگرفته و در حجم کلی بصورت مخروط شکسته می باشند.

دو حلقه بیرونی متعلق به کتابخانه و سالن کنفرانس می‌باشد و استوانه شیشه‌ای که این حلقه‌ها را قطع می‌کند، از سه طبقه تشکیل شده که سالنهای گالری را در خود جای می‌دهد. فضای باز بین این حلقه‌ها به عنوان سرسرا و محل اجتماع بازدیدکنندگان عمل می‌کند.

دیوارهایی که این سرسرا را شکل می‌دهند ساختاری مدور با نمای شیشه ای بدون قاب دارند که دارای یک روکش فلزی از قسمت خارجی است. این نما حالت متحرک و پویا دارد و می‌تواند مقادیر متغیری از نور خورشید را به داخل ساختمان بفرستد. این نما به پانل‌های دوگانه‌ای تقسیم شد. که بر روی یک محور قادر به چرخش براساس زوایای متغیر هستند (زاویای چرخش بستگی به زاویه تابش خورشید دارد). استفاده از لایه نازک سلولهای خورشیدی در کنار مصالح دما واکنشی(TEM)، این امکان را فراهم می‌کند تا به صورت خودکار میزان اشعه نور ورودی به ساختمان کنترل شود. برای محدود نمودن تاثیرات انرژی گرمایی و برای اطمینان از اینکه اشعه نور تنها محرک کنترل کننده می‌باشد، اجزای TEM به این سیستم عایق گرمایی، اضافه شده‌اند. همزمان



تصویر ۷: پروژه مرکز اسناد، ورقه های مستقر در نما برای جذب انرژی خورشیدی، (Ritter, 2007)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

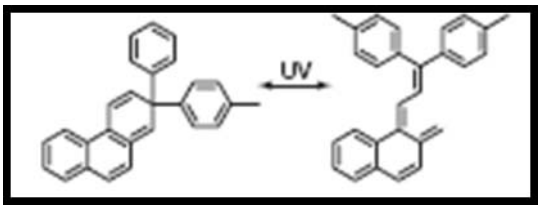
ورقه‌های مستقر در گوشه‌های نما (تصویر ۷) نیز به سمت بخش بیرونی که بیشترین میزان تابش وجود دارد حرکت نموده و سلولهای خورشیدی و کلکتورهای موجود در بام، ایده انرژی محوری این پروژه را تکمیل می نمایند.

مصالح هوشمند تغییر رنگ دهنده

همانطور که از اسم این مصالح پیداست آنها قادرند رنگ یا مشخصه های بصری خود را در پاسخ به یک یا چندین محرک خارجی به صورت برگشت پذیر تغییر دهند. این مصالح با توجه به محرک انگیزاننده خود انواع مختلفی را شامل می شوند ولی تعدادی از آنها که در کاربردهای معمارانه بسیار مورد توجه اند شامل مصالح فتوکرومیک، ترموکرومیک و الکتروکرومیک می‌باشند (Addington& Schodek، 2005) که در زیر توضیح مختصری راجع به آنها داده می شود.

«**مصالح فتوکرومیک**» (Photochromic Material) با نام اختصاری PC در حال حاضر بسیار مورد توجه معماران قرار دارند. این مصالح با قرارگیری در برابر نور (اشعه مرئی، UV (Ultraviolet)، نور IR (Infrared) یا اشعه الکترومغناطیسی) با تغییر رنگ از خود واکنش نشان می دهند.

هم اکنون مصالح فتوکرومیک یا PCها بصورت رنگ دانه‌های فتوکرومیک، شیشه‌های فتوکرومیک و پلاستیکها یا پلیمرهای فتوکرومیک در دسترس هستند (Myer,2002). از میان اولین پروژه‌هایی که در آنها از مصالح PC در پوشش ساختمان استفاده شده بود می‌توان «طرح ورودی موزه هنرهای مدرن مونیخ» را نام برد که دو معمار آلمانی در مسابقه‌ای در سال ۱۹۹۲ میلادی از این مصالح استفاده نمودند. از آن زمان به بعد

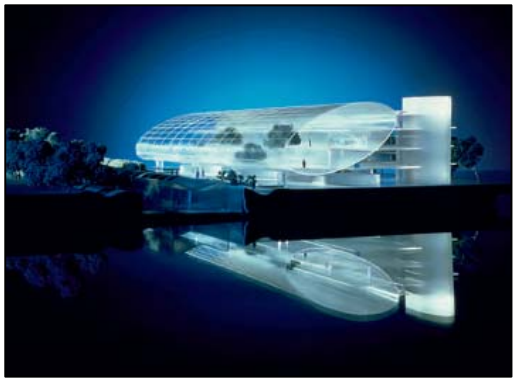


تصویر۸: تغییرساختار ملکولی مصالح فتوکرومیک در برابر اشعه نور (Addington& Schodek، 2005)



تصویر۹: پنجره های ساخته شده از شیشه های فتوکروم (Addington& Schodek،2005)

استفاده از این مصالح در معماری و در پوشش نمای بناها باب شد. هر چند که در ابتدا بکارگیری این مصالح بخاطر جنبه زیبایی آنها بود (بخاطر طیف رنگی که در برابر نور ایجاد می نمودند). اما پژوهشگران تحقیقات بسیاری بر روی این مصالح



تصویر ۱۰: موزه هنرهای مدرن مونیخ، استفاده از شیشه‌های فتوکرومیک در پوشش نما (Ritter, 2007)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

انجام دادند تا بتوانند از این فرآورده بـرای عملکردهـای دیگری مثل کاهش میزان مصرف انـرژی و یـا تغییـرات دمایی این پوشش‌ها استفاده نمایند (Ritter, 2007).

کـاربرد مـصالح **الکتروکرومیـک** نیـز در معمـاری شیشه‌های الکترواپتیکال می‌باشند. مصالح الکترواپتیکـال با قرارگیری در معرض اشعه خورشید مشخـصه بـصری یعنی میزان شفافیت خـود را تغییـر مـی‌دهنـد. در حـال حاضر بزرگترین پوشش الکترواپتیکال در جهان در یـک نمای ساختمان در توکیو در سـال ۲۰۰٤ مـیلادی بکـار برده شد که به توضیح آن می‌پردازیم.

اداره مرکزی کمپانی شانل

Peter Marino Associates, USA
High rise facade | Tokyo, Japan (2004)
استفاده از مصالح هوشمند تغییـر رنـگ دهنـده:
شیشه‌های الکترواپتیکال
استفاده از مصالح هوشمند سـاطع کننـده نـور:
سیستم لامپهای LED

این پروژه در سال ۲۰۰٤ میلادی در توکیو اجـرا شده و تنها نمونه در نوع خود در جهان می باشد. این بنای ۱۰ طبقه شامل ۱۳۰۰ مترمربع مرکز خریـد، یـک سالن کنسرت و یک رستوران می باشد. نکتـه جالـب توجه در این پروژه نمای آن اسـت کـه در واقـع ۹۱۰ مترمربع از نمای این بنای بلنـد ٥٦ متـری در معـرض دید است و بخاطر سیـستم طراحـی خـاص آن قـادر است نماهای متفاوتی از خود در طول شـبانه روز بـه نمایش بگذارد. ایـن نمـا از چنـدین لایـه عملکـردی تشکیل شـده، در جـدار بیرونـی آن از نـوعی شیـشه خاکستری استفاده شده که با اتصال بـه قابهـای آهنـی ضد زنگ کناری و سازه لوزی شکل لانه زنبوری، بـه بنا ظاهری آراسته و زیبا می دهد.

قشر بعدی یک لایه فضای خالی است و بعـد از آن لایه قابل تنظیم الکترواپتیک تعبیه شده اسـت و در نهایت جدار داخلی بناست که از یک نـوع شیـشه بـا لایـه ایمنـی از دو طـرف تـشکیل شـده و یـک ریـل آلومینیومی افقی از مقابل آن عبور می کند که بر روی





تصاویر ۱۱و ۱۲: نمای ساختمان در شب و روز (Ritter, 2007)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]



تصویر۱۳: نما از داخل ساختمان (Ritter, 2007)



تصویر۱٤: نما مانند یک پرده سینما (Ritter, 2007)

آن دو ردیف لامپهای LED سفید جایگذاری شده. در این سیستم در طول روز شیشه الکترواپتیک و به دنبال آن کل نما حالت شفاف دارند. منظری که در داخل بنا ایجاد می شود غیرقابل تصور است. در طول شب شیشه حالت مات به خود گرفته و نما یک پوشش نمایشی مانند یک پرده سینما ایجاد می‌کند. در این نما می‌توان تصاویر را بخوبی پرده نمایشی سینما مشاهده نمود.

مصالح هوشمند ساطع کننده نور

مصالح و فرآورده هایی هستند که مولکول های درون آنها با تاثیر انرژی هایی مثل روشنایی یا میدان الکتریکی، برانگیخته شده و از خود نور تولید می کنند. این پدیده در واقع یک حالت موقتی برای مولکول ها می باشد که بر اثر تاثیر انرژی بالاتر اتفاق می افتد که در این زمان بخشی از انرژی جذب شده توسط مولکول ها به شکل اشعه الکترومغناطیسی مرئی ساطع می شود بدون آنکه حرارت اشعه خارج شود. از این پدیده با عنوان «تابناکی» یاد می‌کنند. از مهمترین و کاربردی‌ترین آنها در زمینه معماری، مصالح فتولومینس و الکترولومینس می باشد (Ritter, 2007).



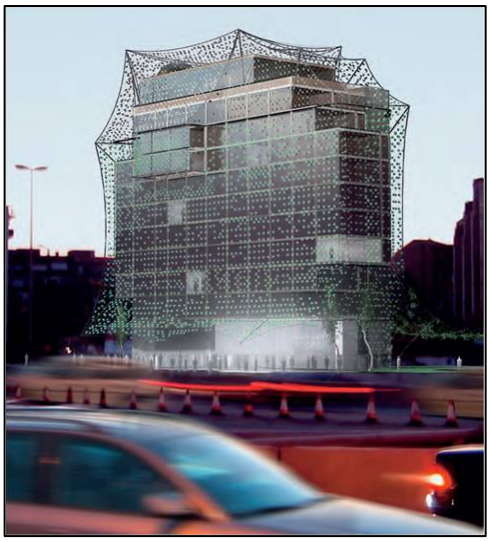
تصویر۱۵: مصالح هوشمند ساطع کننده نور (Ritter,2007).

هتل هبیتات، اسپانیا

CLOUD 9, Spain
Light-kinetic curtain-wall facade | Hotel Habitat H&R, Barcelona, Spain (2007)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

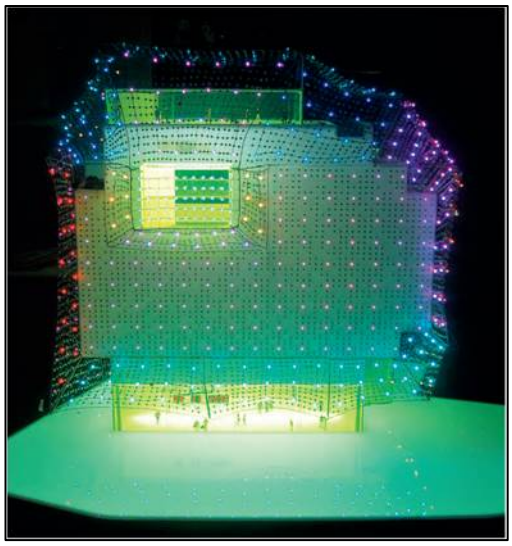
استفاده از مصالح هوشمند ساطع کننده نور: LED و سلولهای خورشیدی



تصویر۱۶: هتل هبیتات، اسپانیا (Ritter, 2007)

«اتاق شما در یک درخت» کانسپت یک هتل جدید در بارسلونا اسپانیاست که در سال ۲۰۰۷ میلادی ساخته شد. یک جنگل با برگهای مصنوعی پوسته خارجی این هتل را تشکیل می‌دهد. نمای بیرونی آن همان نمای شیشه ای مرسوم می‌باشد که توسط شبکه فلزی که بر روی آن انبوهی از برگهای مصنوعی الکترونیکی قرار دارد، پوشیده شده است. بر روی هر یک از این برگها که هر یک ۲۵ cm قطر دارند، سلولهای خورشیدی نصب شده است. انرژی الکتریکی که در طول روز توسط این سلولها تولید می‌شود موقتاً در یک مخزن ذخیره شده و در شب توسط یک پردازشگر (CPU) به سوی LED ها هدایت می شود و آنها نیز این انرژی را به صورت نور هفت رنگ از خود منتشر می کنند.

بنابراین انرژی لازم برای نورپردازی این بنای بزرگ تماماً توسط انرژی خورشیدی تامین می شود. لازم به ذکر است که میزان درخشندگی و رنگ نورهایی که تولید می شود بسته به فصل، شب و روز و شرایط انرژی موجود تغییر می کند.



تصویر۱۷: مدل نورپردازی بنا (Ritter,2007)

مصالح هوشمند ذخیره کننده انرژی

این مصالح و فرآورده ها قادرند انرژی را چه به صورت نمایان و چه نهانی در خود ذخیره نمایند، مثلاً به شکل نور، گرما، هیدروژن یا الکتریسته. قابل ذکر است که این مصالح قابلیت برگشت پذیری نیز دارند. بنابراین این مصالح قادر به ذخیره انرژی بصورتهای مختلفی می باشند. اما در این بین مصالح هوشمند ذخیره کننده حرارت (گرما) بیشتر مورد توجه بوده اند این مصالح نوعی ویژگی ذاتی دارند که آنها را قادر می‌سازد که انرژی را بصورت گرما و یا سرما (معکوس گرما) بصورت انرژی نهانی در خود ذخیره کنند (Addington& Schodek, 2005). این مصالح در معماری دارای کاربرد و مورد توجه بسیار هستند. پرکاربردترین آنها که با عنوان مصالح تغییر حالت دهنده (Phase Changing Material) با نام اختصاری PCM مشهور است، به آن دسته از

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

مصالح و فرآورده هایی اطلاق می شود که می توانند به عنوان واسطه تنظیم دما عمل کنند مثلاً به عنوان عنصر واسطه ذخیره سرما یا گرمای نهانی تنظیمات دمای داخل اتاق. مصالح PCM این ویژگی را دارند که وضعیت خود را از حالت مایع به جامد بوسیله کریستاله شدن (بلوره شدن) تغییر دهند و میزان مشخصی از انرژی گرمایی که قبلاً در درجه حرارت بالاتر ذخیره کرده بودند، از خود آزاد کنند و در حالت معکوس با تغییر وضعیت از جامد به مایع در زمان ورود انرژی گرمایی میزان حرارت یا دما را ثابت نگه دارند. ذکر این نکته ضروری است که مصالحی با ظرفیت ذخیره حرارتی بالا یا اتلاف حرارتی پایین در این دسته از مصالح هوشمند جای نمی گیرند (Ritter, 2007).

اولین استفاده کننده مصالح PCM سازمان NASA در سال ۱۹۶۰میلادی بود که از این مصالح با توجه به کاربردهای ویژه آن در پروژه های فضایی استفاده نمود. با نزدیک شدن به پایان قرن ۲۰میلادی این مصالح برای اولین بار توسط ایالات متحده و به دنبال آن یک شرکت آلمانی در ساختمان به صورت پانل و دیگر اجزای پوشش ساختمان مورد استفاده قرار گرفت (Myer, 2002).

مجتمع مسکونی، سوئیس

Dietrich Schwarz, Switzerland
Senior citizens' apartments with a latent heat-storing glass facade |
Domat/Ems, Switzerland (2004)
استفاده از مصالح هوشمند ذخیره کننده انرژی

گرمایی: شیشه های عایق سازی شده با مصالح PCM (هیدرات نمک)

مدیریت هوشمند انرژی خورشید



تصویر۱۸: نمای جنوبی مجتمع مسکونی (Ritter, 2007)

معمار سوئیسی این پروژه از مصالح PCM در چندین طرح ساختمانی استفاده نموده است. او علاوه بر ویژگی ذخیره حرارت نهانی این مصالح، توانایی آن در تغییر ظاهر شدن در نمای ساختمان را نیز مدنظر داشته است. او در یکی از پروژه های (صفر انرژی) خود از پارافین خالص به عنوان مصالح PCM در بلوک های پلاستیکی توخالی و شفاف استفاده نمود که در واقع این سیستم به عنوان المان های نما و مخازن ذخیره انرژی، در نمای جنوبی ساختمان تعبیه گردید. در حالی که او در این پروژه به جای پارافین، که ماده ای اشتعال پذیر است، هیدرات نمک را به عنوان مصالح PCM بکار برد. (هیدرات نمک گرما را در دمای ۲۶ الی ۲۸ درجه سانتیگراد در خود ذخیره می کند) این معمار طرح جدیدی از یک سیستم شیشه ای عایق و ذخیره کننده حرارت که با هیدرات نمک پر شده را طراحی نمود و آن را در نمای جنوبی این مجموعه در مساحتی حدود $۱۴۸m^2$ نصب نمود. طرز کار این سیستم به این ترتیب است که در تابستان اشعه خورشید توسط پانلهای منشوری به بیرون بازگردانده می شود و در زمستان اشعه خورشید که دارای زاویه کمتری است از

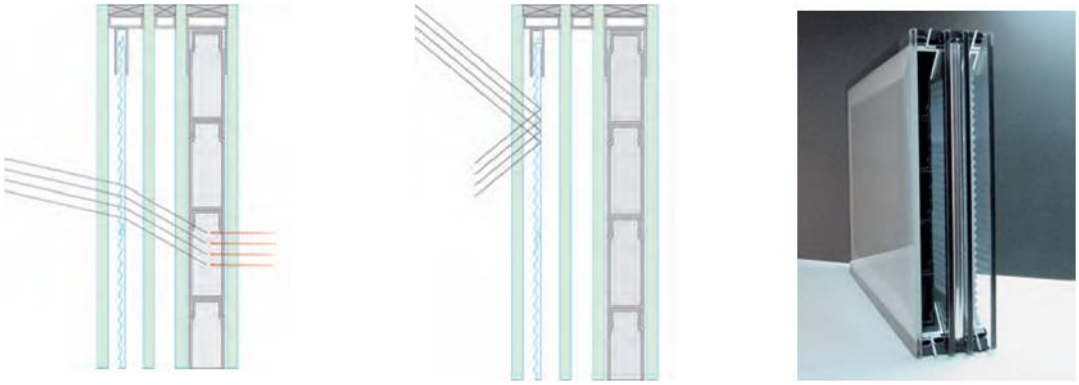
[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]




تصاویر۱۹ و ۲۰: نمای داخلی و خارجی پنجره های جنوبی (Ritter,2007)

سیستم نما عبور کرده و علاوه بـر گـرم نمـودن فـضای داخل، باعث گرم شدن پانلهای PCM نیز می‌شود. ایـن گرما هیدرات نمک را از حالت جامـد بـه مـایع تبـدیل کرده و گرمـای حاصـله بـه صـورت گرمـای نهـانی در سیستم ذخیره می‌شود. زمـانی کـه حـرارت اتـاق از ۲۶ درجه سانتیگراد پایین‌تر می‌آید مـثلاً در طـول شـب یـا روزهای ابری آنگاه هیدرات نمک متبلور شده و انـرژی گرمایی ذخیره شده خود را در اتاق آزاد می کند.

مزیت دیگر این سیستم این است که وضـعیت شـارژ بودن یا نبودن این سیـستم ذخیـره کننـده حـرارت از ظاهر بصری آن قابل مشاهده است به این ترتیـب کـه اگر نما مات به نظر برسد بنابراین هیدرات نمک شارژ نشد. یعنی ذخیره حرارتی ندارد و اما اگر نمـا حالـت شفاف یا نیمه مات داشته باشد هیدرات نمک در نمـا شارژ بوده و ذخیره حرارتی آن پر است.



تصویر۲۱: مقطع از پنجره با عایق هیدرات نمک، تابستان و زمستان (Ritter, 2007)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]



تصویر۲۲: جزئیات پنجره های نما، در وضعیت شارژ

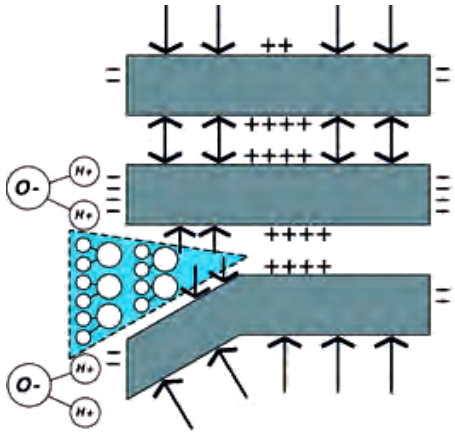


تصویر۲۳: جزئیات پنجره های نمـا، در وضـعیت غیـر شـارژ (Ritter, 2007)

مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر و مبادله مواد درونی

این مصالح دارای ترکیبات قابل بازگشت می باشند که می‌توانند مواد را در فرم مولکـول و بـه شـکل گـاز، مایع یا جامد با فرایندهای مختلف فیزیکی یا شـیمیایی، در خود محـصور و یـا اینکـه آزاد کننـد. عملکـرد ایـن مصالح به صورتی است که با قرار گرفتن در برابر انـواع گـاز، بخـار آب، آب و یـا حتـی محلولهـای آبـدار، بـا چسباندن آنها به سطح داخلی خود و یا اضافه کردن آنها به حجـم خـود واکـنش نـشان دهنـد. ایـن مـصالح بـا خصوصیات ذکر شده به طور عمده می‌تواننـد در نمـای خـارجی و یـا داخلـی سـاختمانها اسـتفاده شـوند و معروفترین آنها مواد و مصالحی هـستند کـه خودبخـود تمیز می‌شوند و همچنین پوشش‌ها و لایه‌هـایی هـستند که با قرار گـرفتن روی سـطوح سـاختمان آلاینـده‌هـای موجود در هوا را بی‌اثر کرده و از بین می‌برند. به طور کلی این متریالها با انجـام فرآینـدهای درونـی خـاص خود می‌توانند خصوصیات و ویژگـی‌هـای زیـر را از خود نشان دهند:

– ضد آب نمودن نما، تمیز نمودن خود نما، بالا بردن کیفیت هوای فضای داخل، از بین بردن آلـودگی هوای اطراف، جاذب صدا، ایجاد بوی معطر در فضا.



تصویر۲٤: نحوه رفتار بتونیـت در تمـاس بـا مولکـول آب (Ritter, 2007)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

نمونه ای از مصالح ضد آب در این دسته بنتونیت (Bentonite) می باشد که از مهمترین فرآورده های معدنی مورد استفاده در مصالح ساختمانی است. شکل زیر نحوه رفتار این متریال در تماس با مولکول آب را نشان می دهد (Ritter, 2007).

نمونه دیگر در این دسته از مصالح هوشمند که به مصالح خود پاک شونده معروفند، دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) است. این ماده دارای خواص و ویژگی های منحصر به فردی است؛ به طوری که به هنگام قرارگیری در معرض اشعه ماورای بنفش نور خورشید، به یک ماده بشدت فعال و واکنش پذیر تبدیل می شود. واکنش پذیر شدن و فعالیت شیمیایی شدید این ماده در مجاورت اشعه ماورای بنفش، می تواند از چسبیدن باکتری ها و کثیفی ها بر روی دیوار ها و ساختمان ها جلوگیری کند و سبب می شود تا این آلودگی ها با بارش یک باران، به آسانی از روی دیوارها شسته و پاک شوند. تولید گسترده و انبوه مصالح خودپاک شونده و استفاده گسترده آن در ساختار ساختمان ها و پنجره ها در مناطق گوناگون، سبب می شود که از این پس بتوانیم در شهرهایی زندگی کنیم که از نما و سیمای بسیار تمیز، پاکیزه و درخشانی برخوردارند و نیازی به تمیز کردن نمای دیوارها و پنجره‌ها به طور دوره ای نخواهد داشت. این ویژگی مصالح خود پاک شونده از مهمترین کاربرد این مصالح در حیطه طراحی شهری می‌باشد که می‌توانند به پاکیزگی شهرهای بزرگ و کاهش آلودگی هوا در آنها کمک شایانی نمایند (Atkins, 2004). پروژه زیر نمونه‌ای از استفاده این ماده در مصالح ساختمانی می‌باشد.

آپارتمان مسکونی- تجاری، اتریش

Albert Wimmer, AN_architects, Austria
High-rise with photocatalytic self-cleaning ceramic facade | Vienna, Austria (2004)

استفاده از مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر و مبادله مواد درونی: پوشش خود پاک شونده (TiO_2)

نتیجه‌گیری

مصالح هوشمند تقریباً توانی پایان ناپذیر دارند، آنها می‌توانند در واکنش به محیط پیرامون خود چنان





تصاویر۲۵ و۲۶: دید کلی به مجموعه (Ritter, 2007)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]

تغییر کنند که مصالح طبیعی (غیر هوشمند) قادر به آن نیستند. آنها قادرند تحولی مثبت در معماری، ساخت و ساز و روش زندگی ایجاد کنند؛ مثل رنگ دیواری که خود را تمیز نگاه داشته و در صورت آسیب دیدن به تعمیر خود می‌پردازد و یا دیواری که به هنگام نشت گاز یا اتصال الکتریکی در خانه هشدار می‌دهد. مصالح هوشمند می‌توانند طبق دستور رنگ عوض کنند یا در طول روز به تولید الکتریسیته پرداخته و در شب آن را در اختیار ما قرار دهند. اما مهمترین تاثیر آنها در مقوله انرژی است که از مهمترین مباحث قرن پیش روست، با استفاده از مصالح هوشمند در ساختمان می‌توان در بهینه نمودن مصرف انرژی بهره جست، زیرا همانطور که مشاهده گردید اکثر مصالح و فرآورده‌های مورد بحث در این نوشتار به طور مستقیم و یا غیر مستقیم انرژی مورد نیاز خود را از محیط پیرامونی می‌گیرند. در واقع مصالح هوشمند قادر به تعدیل افزایش روز افزون تقاضای جهانی برای منابع انرژی گران قیمت و متریال‌های خام می‌باشند.

با اتکا به تقاضای بالای استفاده از مصالح هوشمند در آینده و تاثیر چشم‌گیری که بر ساختمان‌های ما خواهد گذاشت، تصور ما در رابطه با محیط ساخته شده پیرامونمان و آنچه که به عنوان معماری می پنداشتیم، به طرز مثبتی تغییر خواهد کرد. دستیابی به فناوری های نوین در خصوص مصالح هوشمند، توجه خاصی از سوی معماران برای طراحی ساختمان هایی با قابلیت ماندگاری بالا در برابر شرایط اقلیمی بعمل آمده است و انتظار می‌رود که تقاضا و بهره وری از مصالح هوشمند، روز به روز افزایش یابد.

منابع لاتین

- Addington, D. Michelle; Schodek, Daniel L. (2005). "Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions", Architectural Press/Elsevier: Oxford.
- Allen, P. and Todd, B. (1995) "Managing Electricity from Renewable Source"
- Atkins, Ronald L. and Partners, (2004). “Advanced Energetic Materials”, The National Academics Press, Washington, DC.
- Myer, Kutz, (2002). “Handbook of Material Selection” John Wiley & Sons, Inc., N.Y.
- Ritter, Axel, (2007). "Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design", Birkhauser, Switzerland.
- Schwartz, Mel M. (2002). “Smart Material - Encyclopedia”, A Wiley-Interscience Publication, N.Y.
- Steven V. Szokolay, (2004). "Introduction to Architectural Science; the Basis of Sustainable Design".
- Sue, Roaf, (2007). "Ecohouse", Architectural Press.

منابع فارسی

– تورانی، احمدرضا، آینده فن آوری ذرات بنیادین در معماری، معماری و ساختمان، شماره ١٦، تابستان ١٣٨٧.
– عباسعلی‌پور، سمیرا، نانو خانه‌ها، خانه‌های آینده، مجله هنرهای زیبا، شماره ٣٠، تابستان ١٣٨٦.

سایت اینترنتی

- www.buildingintelligencegroup.com
- www.coggan.com
- www.sustainableenergy.org
- www.greenbuilder .com
- www.positive-energy.com
- www.sustainableliving.com

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-01]