کاربرد مصالح هوشمند در عرصه معماری نوین[1]

فاطمه امانی‌نژاد جونقانی*: دانشجوی کارشناسی ارشد موسسه آموزش عالی دانشگاه علامه فیض کاشانی کاشان- ایران
f.amaninejad@yahoo.com
محمدرضا عطایی همدانی: استادیار و عضو هیأت علمی گروه معماری واحد کاشان دانشگاه آزاد اسلامی کاشان- ایران
M.ataeehamedani@iaukashan.ac.ir

چکیده:

بسیاری از معماران اکنون درحال تصور سطوح ساختمان، دیوارها و نماهای ایجادشده توسط مصالح هوشمند می‌باشندکه شاید بااین مصالح بطور اتوماتیک طراحی خود را بهینه‌سازی کنند و از یک جعبه بی‌روح تبدیل به یک موجود تعاملی شوند. باتوجه به ویژگی‌های مصالح هوشمند چگونه می‌توانیم آنها را دسته بندی‌کنیم؟مواد هوشمند موادی هستند که جریلنات محیطی را حس نموده، اطلاعات را پردازش‌می‌کنند و طبق آن بر محیط اثرمی‌گذارند. به عبارتی دارای توانایی‌ذاتی در جهت پاسخگویی سریع به محیط هستند. مواد هوشمند دارای خواص تغییرپذیری و همچنین قادر به برگشت‌پذیری از همان تغییر می‌باشند. منظور از مواد هوشمند موادی است که در یک یا چند ویژگی‌خود-شیمیایی، مکانیکی، الکتریکی، مغناطیسی یا گرمایی-دچار تغییر می‌شوند که این تغییردر واکنش مستقیم به محرک‌های خارجی در محیط اطراف است. تغییرات مستقیم و بازگشت پذیرهستند و احتیاجی به سیستم کنترل‌خارجی برای اعمال این تغییرات نیست. چگونه می‌توان با به کارگیری ویژگی‌های مصالح هوشمند آنها را دسته بندی کرد؟با توجه به این ویژگی‌ها می‌توانیم مصالح هوشمند را به سه دسته تقسیم‌کنیم‌که درذیل ذکرشده‌است. ولی ازلحاظ طبقه‌بندی می‌توانیم موادهوشمند را به دوگروه‌اصلی طبقه‌بندی‌کرد. نوع اول شامل موادی هستند که خصوصیت خود را تغییر می‌دهند و نوع دوم شامل موادی می‌باشند که در تبادل انرژی فعالند که در بخش مصالح هوشمند کامل به آن پراخته شده‌است. پژوهش حاضردردوگام انجام‌شده است؛**گام اول:** دسته‌بندی مطالب با راهبرد استدلال منطقی **گام دوم:** کشف نمونه‌ها و بررسی نمونه‌ها که با روش موردپژوهی انجام شده‌است. مصالح هوشمند را براساس سه ویژگی به سه دسته تقسیم‌می‌شوند: الف) مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر خواص درونی‌ب) مصالح هوشمند دارای قابلیت مبادله انرژی‌ج) مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر و مبادله مواد درونی. هیدروسرامیک نمونه‌ای ازمصالح هوشمند است که ترکیبی از هیدروژل با مواد پشتیبان می‌باشدکه به رطوبت و گرما پاسخ می‌دهد و دما را۵۱ یا۶درجه کاهش‌می‌دهد و همچنین پنل‌های فتوولتاییک، شیشه‌های هوشمند و...که نقش بسیار مهمی در تأمین انرژی ساختمان دارند. چرا که این مصالح به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم از محیط پیرامون انرژی ساختمان را جذب می‌کنند و این یعنی کاهش استفاده از انرژی‌های فسیلی و در نتیجه پایداری ساختمان و بهینه‌سازی مصرف انرژی.

واژه‌گان کلیدی: مصالح هوشمند و معماری‌نوین، مصالح و فرآوردۀ نوین، طبقه‌بندی مصالح هوشمند، انرژی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول با عنوان «طراحی مجتمع مسکونی براساس اصول مصالح گزینی بارویکرد معماری پایدار در کاشان» به راهنمایی دکتر محمدرضا عطایی همدانی می‌باشد.[1]

مقدمه:

ساختمان و زندگی در آن در طول دودهه گذشته دستخوش تغییرات فراوانی بوده‌است. در واقع می‌توان بدین‌گونه بیان‌کرد که در روزگارکنونی جمعیت رو به افزایش و زندگی شهری، همراه با مصرف بی‌رویه انرژی و آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسان، معضلی بزرگ در حفظ محیط زیست بوده‌است، لذا معماری نیز از جمله جریان‌های مهم در عصرحاضر است که در سه حوزه اقتصادی، اجتماعی و محیطی مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد.

با توجه به رشد روزافزون جمعیت در دهه‌های اخیر نیاز به مسکن و ساختمان‌سازی افزایش یافته‌است. تخریب و تعمیر و ساخت و سازهای ساختمانی علاوه بر دربرداشتن هزینه‌های هنگفت، تأثیرات بسزایی را در محیط‌زیست و مصرف انرژی را داراست. علاوه بر آن نخاله‌ها و پسماندهای ساختمانی به یک معضل بزرگ در اکثر کشورهای جهان تبدیل شده‌است زیرا این نخاله‌ها اگر از مصالح ترکیبی باشند تبدیل‌ناپذیر بوده و محل جمع‌آوری این پسماندها غیرقابل استفاده می‌شود، با توجه به گرم شدن تدریجی زمین و افزایش روز افزون تولید گازهای گلخانه‌ای و به خطر افتادن محیط‌زیست، بهره‌گیری ازسیستم‌های ساخت جدید و استفاده از مصالح پایدار امری ضروری است. از طرفی انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها که از طریق سوزاندن سوخت‌های فسیلی تأمین می‌گردد نقش مؤثری در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. تقریباً ۵۰ درصد از همه منابع مصرفی کره زمین در حوزه ساختمانی به‌کارمی‌رود، از این‌رو می‌توان گفت توجه به معماری پایدار از اهمیت بسیاری برخوردار بوده (رسول زاده، ۱۳۹۰) و در پاسخ به نگرانی‌های رو به رشد در ارتباط با تغییرات آب و هوایی و محیط‌زیست، طراحی پایدار ساختمان‌ها به طور فزاینده‌ای توسط صاحبان صنعت ساختمان و کاربران تقاضا می‌شود(Niknam & Karshenas,2015). معماری پایدار نوعی سبک خاص از معماری نیست اما رعایت اصول پایداری یک امر اساسی در معماری است که می‌تواند در راستای رسیدن به اهداف توسعه پایدار در زمینه معماری مفید باشد.

چند سال اخیر با نسل جدیدی از ساختمان‌ها مشخص شده‌است: ساختمان‌هایی با درجات مختلف از تکنولوژی پیشرفته، که از طریق کاربرد هوشمندانه مصالح، تولیدات و سازه‌های کاربردی واکنش اکولوژیکی دارند که به تغییرات محیط اطراف خود مستقیم یا غیرمستقیم واکنش نشان می‌دهند و خود را متناسب با آن تنظیم می‌کنند.

این امر وظایف جدیدی را برای طراحان و برنامه ریزان این ساختمان‌ها ایجاد می‌کند که باید بدانند، فرآیند طراحی مستلزم دانش و ادغام بسیاری از پارامترهای متعلق به این مصالح و تکنولوژی‌های جدید "هوشمند" برای حل مشکلات دیرینه در طراحی ساختمان است. مواد هوشمند، به موادی اطلاق می‌گردد که تحت تحریکات خارجی، رفتار نامتعارفی نسبت به مواد مشابه از خود بروز می‌دهند و به صورت خود به خودی نسبت به محیط اطرافشان واکنش نشان‌داده و تغییراتی در آنها پدید می‌آید. این مواد قادر به ایجاد تغییرات مثبت در معماری، ساخت‌وساز و شیوهٔ زندگی هستند.

هواپیماهای هوشمند – خانه‌های هوشمند - منسوجات حافظه‌دار – ریزماشین‌ها - ساختارهای خود مونتاژشونده – رنگ‌هایی با قابلیت تغییررنگ - نانو سیستم‌ها. واژگان دنیای مصالح از سال ۱۹۹۲، زمانی که اولین "مصالح هوشمند" ظهورکرد، به طرز چشمگیری تغییرکرده‌است(آدینگتون و شودک،۲۰۰۵).

به عنوان مثال"نانوتکنولوژی به ایجاد، بررسی و به‌کارگیری ساختارها، مواد مولکولی، سطح مشترک داخلی یا سطوح با حداقل یک بعد قطعی یا با مقاومت‌های تولید (معمولاً) اجزای کمتر از ۱۰۰ نانومتر، منجر به نتایجی با قابلیت‌ها و خواص جدید برای بهبود محصولات یا توسعه محصولات و کاربردهای جدید می‌شود". ماده‌ای که از آن نانوذرات ساخته‌شده‌است، چیز عجیبی نیست. نمونه‌هایی از نانوذرات مورد استفاده عبارتند از دی‌اکسید تیتانیوم[1]و زئولیت (نوع۱- قابلیت تغییرخواص،مواد هوشمند چسب نوری). کاربرد دی‌اکسیدتیتانیوم درفضاهای داخلی و خارجی برای خود تمیزکردن، تصفیه هوا استفاده می‌شود. در زمینه‌ای مشابه، غشاهایی با منافذی در مقیاس نانومتر در حال حاضر در حال توسعه هستند تا به عنوان بخشی از نماها با قابلیت تمیزکردن هوای آلودهٔ شهر استفاده‌شوند.

انسان‌گرایی توجه به محیط‌زیست بهره‌گیری از مواد قابل بازیافت و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر از اصول کلی معماری پایدار است. یکی از اصول مهمی که در معماری پایدار بایستی مورد توجه قرار بگیرد استفاده از مصالح مناسب است که عدم توجه به ویژگی یکی از اجزای تشکیل‌دهنده بناها باید به بهترین نحو پیرو اهداف طراحی پایدار باشند. امروزه با توسعه فنون در زمینه مصالح و روش‌های ساخت، بناهایی با کارایی بالاتر صرف اقتصادی بهتر و همچنین سازگار با محیط‌زیست ساخته شده‌اند. پیشرفت تکنولوژی منجر به ارائه مصالح نوینی به جامعه مهندسی و معماری شده‌است.

بر این اساس هدف این تحقیق بکارگیری متغیرهای مؤثر بر انتخاب مواد و مصالح ساختمانی مناسب و شیوه‌های ساخت و سازی که با دیدگاه‌های پایداری شکل گرفته‌اند به این شرح مورد توجه بوده‌است:

۱) دستیابی به اصولی برای انتخاب مصالح مناسب در معماری پایدار.

۲) بکارگیری شیوه‌های طراحی مناسب برای به حداقل رساندن و افزایش کارامدی مواد مصرفی و مصالح.

۳) استفاده از مواد و مصالح ساختمانی که میزان مصرف انرژی در تولید و بکارگیری آنها به حداقل رسیده.

۴) تاکید بر مصرف مصالح ساختمانی که پس از گذراندن عمر مفید قابل بازیافت یا استفاده مجدد باشد(خاتمی،فلاح۱۳۸۹)

۵) استفاده از روش‌های اجرایی بهینه که موجب اتلاف کمتر مصالح ساختمانی گردد.

پیشینه پژوهش:

آدینگتون و شودک(۲۰۰۵) در کتاب خود هواپیماهای هوشمند – خانه‌های هوشمند - منسوجات حافظه‌دار – ریزماشین‌ها - ساختارهای خود مونتاژشونده – رنگ‌هایی با قابلیت تغییررنگ - نانو سیستم‌ها مورد بررسی قرار می‌دهند و بیان می‌دارد که واژگان دنیای مصالح از سال ۱۹۹۲، زمانی که اولین "مصالح هوشمند" ظهورکرد، به طرز چشمگیری تغییرکرده‌است.

جانی و قاسمی (۱۳۹۲) در تحقیقی چنین بیان‌کردند که اخیراً دنیای ساختمان دستخوش دو دوره در مصالح شده‌است: دوره پلاستیک و دوره کامپوزیت. در میان این دو دوره یک دوره جدید، پیشرفت و توسعه پیدا کرده‌است که دوره مصالح هوشمند می‌باشد.

گلستانی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی چنین بیان‌کردند که مصالح هوشمند با تعریف مصالح مهندسی‌شده که نسبت به محیط پیرامون خود عکس‌العمل هوشمندانه دارند، تبدیل به یکی از موضوعات داغ دنیای فناوری قرن بیست و یکم شدند. این مصالح با آینده معماری نوین در ارتباط‌اند و در بسیاری از جنبه‌های زندگی روزمره نیز از آن‌ها استفاده می‌کنیم. مصالح هوشمند معمولاً به عنوان بخشی از خط سیر توسعه مصالح به سوی بازدهی خاص‌تر می‌باشند.

افرا و قنبری (۱۳۹۲) در تحقیقی چنین بیان‌کردند که مصـــرف انرژی در چند دهه اخیر به طور قابل‌توجه‌ای افزایش یافته‌اســـت. جدیدترین ایده برای حفظ انرژی استفاده از تجهیزات و سیستمهای جدید می‌باشد که به صورت هوشمند انرژی مصرفی ساختمان را مدیریت می‌کند. ساختمان‌های هوشمند مجموعه‌ای از تکنولوژی‌ها و سرویس‌ها در شبکه خانگی برای بهبود کیفیت زندگی است. استفاده از سیستم مدیریت هوشمند علاوه بر کاهش مصرف انرژی، سبب ایجاد شرایط مناسب و ایده‌آل و افزایش آسایش ساکنین ساختمان نیز می‌گردد.

جدول۱- پیشینه پژوهش،نویسنده، کتاب و توضیحات مربوطه(ماخذ:نگارندگان)

نویسنده	سال	عنوان کتاب/مقاله	توضیح
ادینگتون، میشل – شودک، دانیل	۲۰۰۵	مواد هوشمند و فناوری‌های جدید برای حرفه‌های معماری و طراحی	انواع مواد هوشمند و طبقه‌بندی آنها و نحوه عملکرد آنها و تکنولوژی‌های جدید در صنعت معماری و طراحی را بررسی می‌کند.
ریتر، اکسل	۲۰۰۷	مصالح هوشمند در معماری، معماری داخلی و طراحی	در مورد انواع مواد هوشمند و طبقه‌بندی و نمونه‌های کاربردی آنها در معماری و طراحی داخلی می‌باشد.
محمدجواد مهدوی نژاد۱، محمدرضا بمانیان۲، ندا خاکسار۳، غزل ابوالوردی۴	۲۰۱۱	انتخاب انواع کارآمد پنجره‌های هوشمند در مناطق گرمسیری با توجه به مزایا و بهره وری آنها	در مورد عملکردهای متنوع انواع پنجره‌های هوشمند و طبقه‌بندی و نمونه‌های کاربردی آنها را در مناطق گرمسیری بررسی می‌کند.
یحیی س عبدالله، هدی ع.س .العلوان	۲۰۱۹	سیستم‌های مواد هوشمند و سازگاری در معماری	در مورد سیستم طبقه‌بندی مصالح هوشمند و معماری تطبیقی وسیستم طبقه‌بندی ساختمان‌های مدرن می‌باشد.
امیر ویسی	۱۳۹۵	مصالح هوشمند ، تحولی در معماری پایدار	در مورد ساختمان هوشمند و خصوصیات و طبقه‌بندی و انواع و کاربرد مصالح هوشمند می‌باشد.

در این مقاله مصالح هوشمند مختلفی از جمله مواد ترموکرومیک که در بتن، شیشه و رنگ‌ها کاربرد دارد و در مقابل حرارت از خود واکنش نشان می‌دهد و آجرهای هیدروژل که در برابر گرما، مانند دستگاه خنک‌کننده تبخیری عمل می‌کند و میزان دما را ۵تا۶ درجه کاهش می‌دهد. کامپوزیت‌های فیبرکربن ترموپلاستیکی نوع دیگری از مصالح هوشمند هست که به استحکام ساختمان کمک می کند که در آن فیبرکربن با الیاف شیشه پوشانده شده است و به رزین ترموپلاستیکی آغشته شده و به شکل طناب پیچ خورده و استحکام آن ۱۰ برابر آهن می‌باشد. در این تحقیق با بررسی کاربرد مصالح هوشمند و نقش مؤثر آنها می‌توانیم آینده‌ای روشن‌تر در زمینه طراحی و معماری و ساخت و ساز فراهم کنیم.

روش‌شناسی تحقیق:

نگرش کلی حاکم بر پژوهش حاضر برساختی تفسیری است که در پارادایم پسا اثبات‌گرایی ایجاد شده‌است و از لحاظ به‌کارگیری از نوع کاربردی و با روش‌شناسی کیفی است. این پژوهش در دوگام انجام شده‌است.

-**گام اول:** دسته بندی مطالب با راهبرد استدلال منطقی

-**گام دوم:** کشف نمونه‌ها و بررسی نمونه‌ها که با روش موردپژوهی انجام شده‌است.

روش تحلیل اطلاعات به صورت استقرایی(جزء به کل) می‌باشد. روش گردآوری اطلاعات در گام اول به صورت اسنادی و در گام دوم مشاهدهٔ میدانی می‌باشد.

مبانی نظری:

مصالح هوشمند:ویژگی‌ها، واکنش‌ها و کاربردها

به عنوان مثال، مصالح، تولیدات و سازه‌های حساس و واکنش‌پذیر به دلایل پایداری و جذب انرژی نسبت به تأثیرات مختلف برای کمک به واکنش دینامیکی ساختمان موردنیاز هستند. مصالح و تولیدات متغیر قادرند خواص خود را تغییردهند یا خواص خود را تحت تأثیرات خارجی مانند تأثیر نور، دما، نیرو ویا اعمال میدان الکتریکی تغییردهند.

این تأثیرات ممکن است به‌طور مستقیم بدون تبدیل در محیط‌های انرژی (نورانی، حرارتی و صوتی) یا به‌طور غیرمستقیم با تبدیل در سیستم‌ها (تولید انرژی، تجهیزات مکانیکی) منجر به تغییرات شود(اکسل ریتر، ۲۰۰۷). مصالح هوشمند را می‌توان در دو نوع اصلی تعریف کرد: تغییر خواص، تبادل انرژی همانطور که در طبقه‌بندی بر اساس کاربرد نشان دادیم.

مصالح هوشمند دارای کنش "فعال" ذاتی است که باعث می‌شود مناسب چندین گروه باشد. به عنوان مثال: شیشه الکتروکرومیک به‌طور همزمان یک مصالح شیشه‌ای، یک پنجره، یک سیستم دیوار حائل، یک سیستم کنترل روشنایی یا یک سیستم سایه خودکار است. ارتباط زیادی با تکنولوژی‌های جدید دارد (D. Michelle Addington & Daniel L. Schodek,۲۰۰۵)، پیشرفت های اخیر درزمینه تحقیقات مصالح اکنون اجازه می‌دهد تا به کاربردهای تجاری و عملی

در دنیای واقعی دست بیابیم. امروزه مصالحی مانند مصالح تغییر فاز دهنده، شیشه های الکتروکرومیک و پوشش‌های مبتنی بر فناوری نانو در دسترس هستند و وظیفه ماست که شکاف بین این سطح مصالح را تا کاربردهای معماری و مهندسی ساختمان در مقیاس بزرگ گسترش دهیم.

جدای از آن چالش دیگر این است که ایده «سیستم‌های استاتیک» را پشت سر بگذاریم و سیستم‌هایی را توسعه‌دهیم که دارای خواص دینامیکی هستند و به تغییرات خارجی محیط زیست واکنش نشان می‌دهند(Dr.-ing. P. Teuffel,۲۰۰۹).

ویژگی‌ها و طبقه‌بندی مصالح هوشمند:

به‌طورکلی مصالح ساختمانی را می‌توان به سه دسته مصالح غیرهوشمند، مصالح نیمه‌هوشمند و مصالح هوشمند تقسیم‌بندی کرد.

۱. **مصالح غیرهوشمند:** در برابر تغییرات محیط اطراف واکنش نداشته و قابلیت انطباق‌پذیری با محیط را ندارند.

۲. **مصالح نیمه‌هوشمند:** در برخی موارد در واکنش به محیط اطراف به صورت محدود می‌تواند تغییرکنند.

۳. **مصالح هوشمند:** محیط اطراف خود را به خوبی درک‌کرده و با توجه به آن می‌توانند به صورت بازگشت‌پذیر در خصوصیاتی چون رنگ، شکل، فرم و انرژی درونی تغییرکنند. به همین دلیل به آنها مصالح انعطاف‌پذیر یا تطبیق‌پذیر نیز گفته می‌شود که می‌توانند انرژی را به صورت نور، گرما، هیدروژن، الکتریسیته و حرارت ذخیره‌کنند. این مصالح در کنار مزایای بسیار، معایبی نیز دارند ازجمله اینکه هزینه‌های اجرایی آنها زیاد و قابلیت دسترسی کم است. دشواری مدیریت این مصالح برای عدم تأثیرگذاری برقسمتهای دیگر سیستم و برهم نزدن تعادل آنها از معایب دیگر این نوع مصالح است(عباسی سجاد، صادق پور سعیده، انتظار ریحانی ناصر, ۱۳۹۵) (مولوی مریم، میر رضایی سحر, ۱۳۹۷).

وجه تمایز مصالح هوشمند نسبت به مصالح دیگر:

-سرعت: آنها به موقع از خود واکنش نشان می‌دهند

-موقتی بودن: آنها به بیش از یک رویداد محیطی واکنش نشان می‌دهند

-خود بکاراندازی: هوشمندی مواد و مصالح بیشتر درونی است تا بیرونی

-گزینشگری: واکنش آنها صریح و قابل پیش‌بینی است

-هدفمندی: واکنش نسبت به رویداد فعال کننده ، موضعی رخ می‌دهد.

محرکهای تاثیرگذار برمصالح هوشمند:

-نور و اشعه UV: بخش فرابنفش و مرئی اشعه الکترومغناطیسی

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

-فشار: اختلاف فشار ایجادشده در یک ناحیه

-میدان الکتریکی: میدان ایجاد شده پیرامون یک بار الکتریکی

-میدان مغناطیسی: میدان ایجاد شده پیرامون یک آهن ربا یا یک بارالکتریکی متحرک

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

یافته ها:

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 ... طبقه‌بندی می‌شوند. اما در طبقه‌بندی مصالح هوشمند علاوه بر در نظرداشتن مشخصه‌های فوق، خواص دیگری که به طور ویژه به تمیز دادن مصالح هوشمند از مصالح سنتی مربوط می‌شود نیز لحاظ شده‌است. در واقع طبقه‌بندی پیشنهادی مصالح هوشمند برپایه سه خاصیت زیر ارائه شده‌اند (مرتضوی، ۱۳۸۸):

الف) مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر خواص درونی

ب) مصالح هوشمند دارای قابلیت مبادله انرژی

ج) مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر و مبادله مواد درونی

۱- مصالح هوشمند با قابلیت تغییر خواص درونی

۱-۱-مصالح هوشمندتغییر شکل دهنده

این گروه از مصالح هوشمند که دارای قابلیت تغییر خواص درونی خود هستند در پاسخ به محرکات خارجی تغییراتی در شکل و ابعاد خود ایجاد می‌کنند که این تغییرات بستگی به نوع توزیع و آرایش ترکیبات تحریک‌پذیر درونی آنها دارد. ازپرکاربردترین مصالح تغییر شکل‌دهنده، مصالح **دما واکنشی**[۲]و **شیمی واکنشی**[۳] ، **الکترو واکنشی**[۴] ، **پیزوالکتریک**[۵] است. نحوه عملکرد مصالح دما واکنشی بستگی به تغییرات دمای محیط بیرونی دارد. مصالح دما واکنشی نیز دارای انواع مختلفی هستند ازجمله مصالح منبسط شونده[۶] می‌باشد.

۱-۱-۱-مصالح هوشمند دما واکنشی:

این نوع از مصالح هوشمند که زیر مجموعه مصالح هوشمند تغییر شکل‌دهنده می‌باشند، نوعی ویژگی ذاتی دارند که آنها را قادر می‌سازد تا در برابر تغییرات دمای محیط پیرامون به طور برگشت‌پذیر واکنش نشان‌دهند. تغییرات دمایی ممکن است تأثیر غیرفعال داشته‌باشد به‌طوری که مصالح به طور مداوم وضعیت دمای

داخلی خود را با وضعیت طبیعی پیرامونش از طریق پوسته بیرونی تنظیم‌کند و اگر تأثیرات آن به نوبه خود انواع و اقسام متنوعی از متریال‌ها را شامل می‌شوند اما تعداد محدودی از آنها در معماری کاربرد دارند.

۱-۱-۲-مصالح منبسط شونده:

با نام اختصاری(TEM) نمونه‌ای از مصالح دما واکنشی هستند که دارای ضریب انبساط گرمائی‌اند. مهمترین کاربرد آنها در معماری در ترموستات‌های گرمایشی برای سرویس‌های خدماتی ساختمان و همچنین به عنوان محرک‌های ویژه‌ای در گلخانه‌ها و در سیستم تهویه اتوماتیک اتاق‌های ساختمان(اجزای مشخص سیستم در دماهای مشخصی باز یا بسته می‌شوند تا فرآیند تهویه اتفاق بیفتد) می‌باشد. کاربرد دیگر آنها در نمای ساختمان‌ها برای کنترل و مدیریت انرژی در (TEM) می‌باشد. ازجمله استفاده مورد آخر را می‌توان در برج های دوقلوی البحر در ابوظبی پایتخت امارات متحده عربی مشاهده‌کرد(خدایاری و همکاران، ۱۳۹۵).

تصاویر۱و۲- برج های دوقلوی البحر در ابوظبی و فناوری هوشمند به کار رفته در نما https://www.zoomit.ir

۱-۲-مصالح هوشمند تغییر رنگ دهنده:

همانطور که از نامشان مشخص است آنها قادرند رنگ یا مشخصه‌های بصری خود را در پاسخ به یک یا چندین محرک خارجی به صورت برگشت‌پذیرتغییر دهند. این مصالح با توجه به محرک انگیزننده خود انواع مختلفی را شامل می‌شوند ولی تعدادی از آنها که در کاربردهای معمارانه بسیار مورد توجه‌اند شامل مصالح فتوکرومیک، ترموکرومیک و الکتروکرومیک می‌باشند.

مواد فتوکرومیک[۷]: در حال حاضر بسیار مورد توجه معماران PC به نام اختصاری« مصالح فتوکرومیک» یا اشعه الکترومغناطیسی با تغییر رنگ از خود (IR) نور، (UV) قراردارند. این مصالح با قرارگیری در برابر اشعه مرئی واکنش نشان می‌دهند. مواد فتوکرومیک انرژی تابشی را در ناحیه ماوراءبنفش مولکول به حالت اولیه خود بازمی‌گرداند. این مواد از این نظر که در ترکیب با شیشه‌های معمولی به کار می‌رود و به هیچ تجهیزات الکتریکی خاصی نیاز ندارد، بسیار مناسب هستند.

مواد ترموکرومیک[۸]: این مواد می‌توانند طوری تنظیم‌شوند که حرارت را از ۲۵- تا ۲۵۰+ درجه فارنهایت (۳۰- تا ۱۲۰+ درجه سانتیگراد) را درک کرده و نسبت به آنها واکنش نشان‌دهند. درمعماری و طراحی داخلی همیشه این تمایل وجود داشته‌است که حضور قبلی یک فرد در مکانی خاص و یا حتی روی مبلمان، نشان داده‌شود. مواد ترموکرومیک این قابلیت را به طراحان بخشیده است. از مواد ترموکرومیک می‌توان رنگ‌هایی ساخت که برای نقاشی داخل فضاها استفاده‌شده و در اثر تغییر دما دورنگ یا حتی بیشتر را از خود نشان می‌دهند. این رنگ‌ها برای سطوح فلزی، چوبی، پلاستیکی و چرمی مناسب هستند. می‌توان این رنگها را برای دمای خاصی تنظیم نمود.

مواد الکتروکرومیک[۹]: الکتروکرومیک‌ها با به‌کار بردن جریان الکتریکی، به طور موقتی رنگ خود را در برابر تابش نور تغییر می‌دهند. جریان الکتریسیته با ایجاد واکنش شیمیایی سبب تغییر خصوصیات مواد می‌گردد و موجب می‌شود که آنها نور را جذب یا منعکس نمایند. زمانی که نور خورشید به شیشه‌ها می‌تابد، جریان الکتریکی برقرارشده و موجب می‌شود تا یونهای هیدروژن یا لیتیم از لایه ذخیره یونی به سمت لایه هدایت یونی حرکت‌کرده و به لایه الکتروکرومیکی برگردد. بنابراین ویژگی‌های بصری لایه الکتروکرومیک را تغییرداده و باعث می‌شود که آن، طول موج های خاصی از نور مرئی را جذب نموده و شیشه تیره‌شود. قطع جریان الکتریکی موجب می‌شود فرآیند در جهت عکس عمل‌کند و شیشه مجدداً روشن‌شود.

۲-مصالح هوشمند دارای قابلیت مبادله انرژی:

زمانی‌که وضعیت انرژی یک ماده با وضعیت انرژی محیط اطرافش معادل باشد، ماده در حالت تعادل قراردارد: هیچ انرژی‌ای مبادله نمی‌شود. اگر یک ماده در حالت انرژی متفاوتی باشد، پتانسیلی برای تبادل انرژی پدید می‌آید. به طور مثال زمانی که تابش خورشید به یک ماده فتوولتائیک می‌تابد، انرژی فتون جذب شده یا به بیان دقیق‌تر توسط اتم‌های ماده جذب می‌شود. از آنجائیکه انرژی باید در حالت تعادل حفظ شود، این انرژی اضافی در اتم‌ها، آنها را مجبور به حرکت به سطوح بالاتری از انرژی می‌نماید. از آنجائیکه این اتم‌ها قادر به ماندن در این تراز نمی‌باشند باید میزان معادل این انرژی دریافت‌شده را از خود آزاد نمایند. فتوولتائیک‌ها و مواد مشابه قادر به نگه داشتن این انرژی آزاد شده هستند و از این رو الکتریسیته تولید می‌نمایند. باید توجه نمود که همه مواد- معمولی یا هوشمند- باید انرژی را در حالت تعادل حفظ کنند و از زمانی که انرژی وارد شود یا افزایش یابد، سطح انرژی ماده افزایش خواهدیافت، مصالح هوشمند تبادل‌کننده انرژی، در بازیابی‌کردن این انرژی، خصوصیات بهتری را از خود نشان می‌دهند. اکثر این مواد هوشمند، با قابلیت تبادل دو سویه هستند یعنی انرژی ورودی و خروجی آنها قابل تبدیل به یکدیگر می‌باشند.

۱-۲- مصالح هوشمندساطع‌کننده نور:

مولکول‌های این گونه مواد به هنگام دریافت انرژی روشنایی یا قرارگرفتن در میدان الکتریکی برانگیخته می‌شوند، و از خود نور تولید می‌کنند. این برانگیختگی موقتی بوده و مولکول‌ها قسمتی از انرژی با سطح بالاتر دریافتی را به صورت نور مرئی در محیط انتشار می‌دهند. نمونه‌ای از این فناوری را می‌توان در به کارگیری سلول‌های خورشیدی مشاهده‌کرد.

در طول روز این سلول‌ها با قرارگرفتن در مقابل انرژی‌خورشیدی انرژی با سطح بالاتر جذب می‌کنند درنتیجه مولکول‌ها برانگیخته‌شده و باعث ایجاد یک جریان الکتریکی می‌شوند که توسط سیستم‌های مخصوص این جریان به صورت انرژی‌الکتریکی ذخیره‌شده و در شب هنگام می‌توان برای تولید روشنایی از این آن استفاده‌کرد(خدایاری و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۲-مصالح هوشمند ذخیره‌کننده انرژی:

این مصالح می‌توانند انرژی را چه به صورت نمایان و چه به صورت نهانی در خود ذخیره نمایند، بنابراین قادر به ذخیره‌سازی انرژی به صورتهای مختلفی می‌باشند.که ذخیره انرژی به شکل حرارت(گرما)، نور، هیدروژن یا الکتریسیته می‌باشند.

قابل ذکر است این مصالح قابلیت برگشت‌پذیری دارند. از پرکاربردترین آن‌ها می‌توان به مصالح تغییر حالت‌دهنده اشاره‌کرد. این مصالح به عنوان یک تنظیم کنندهٔ دمای محیط عمل می‌کنند و به وسیلهٔ تغییر حالت، انرژی را در خود ذخیره‌کرده یا انرژی ذخیره شده را آزاد می‌کنند. شیشه‌های هوشمند نمونه‌ای از این مصالح است که لایه‌ای از مایع کریستال بین آن قرارگرفته‌است. این مایع در درجه حرارت بالا با جذب انرژی به مایع تبدیل‌شده و هنگامی که درجه حرارت پایین بیاید با آزادکردن این انرژی کریستاله می‌شود (به حالت جامد درمی‌آید) و باعث تنظیم دما می‌شود(عباسی و همکاران، ۱۳۹۵).

از نمونه های دیگر این مصالح، مصالح خود پاک شونده نام دارد که در برابر اشعه ماورای بنفش به شدت فعالیت‌پذیر و واکنش‌دهنده می‌شود. ازاین مصالح بیشتر در نمای ساختمان استفاده می‌شود تا با قرار گرفتن در برابر نور خورشید و اشعه‌ماورای بنفش فعال و واکنش‌پذیر شود؛ در این صورت آلودگی‌ها به نمای ساختمان نمی‌چسبند و با یک باران به سهولت شسته شده و نمای ساختمان تمیز می‌شود(خدایاری و همکاران،۱۳۹۳).

۲-۳- مصالح هوشمند تولید کننده الکتریسیته:

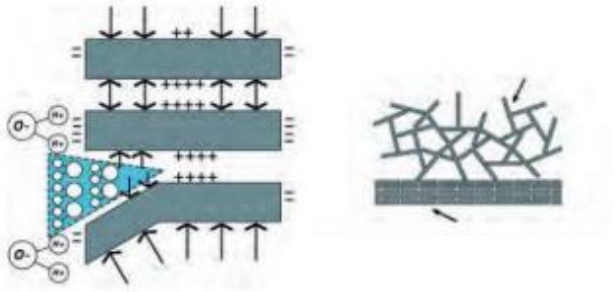
مصالح هوشمند تولید کننده الکتریسته، توانایی تولید جریان الکتریسیته در واکنش به محرک‌هایی نظیر **نور، تغییرات دمایی، فشار** و... را دارند. از میان این دسته از مصالح هوشمند تنها به مصالح هوشمند تولید کننده الکتریسیته توسط محرک نور پرداخته می‌شود، چرا که کاربرد وسیع‌تری در عرصه معماری دارند. ویژگی‌ذاتی این دسته از مواد آنها را قادرمی‌سازد که به نور واکنش نشان‌دهند و جریان الکتریکی تولیدکنند. نمونه‌های مورد توجه در حیطه معماری عبارتند از:

- سلولهای خورشیدی رنگی
- سلولهای خورشیدی سیلیکونی
- سلولهای خورشیدی ارگانیک

- مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییرو مبادله مواد درونی:

این مصالح دارای ترکیبات قابل بازگشت می‌باشند که می‌توانند مواد را در فرم مولکول و به شکل‌گاز، یا مایع یا جامد با فرآیندهای مختلف فیزیکی یا شیمیایی، در خود محصور و یا اینکه آزادکنند. عملکرد این مصالح به صورتی است که با قرارگرفتن در برابر انواع گاز، بخارآب، آب و یا حتی محلول‌های آبدار، با چسباندن آنها به سطح داخلی خود و یا با اضافه‌کردن آنها به حجم خود واکنش نشان‌دهند.

این مصالح با خصوصیات ذکر شده به طور عمده می‌توانند در نمای‌خارجی و یا داخلی ساختمانها استفاده شوند و معروفترین آنها مواد و مصالحی هستند که خود به خود تمیز می‌شوند و همچنین پوشش‌ها و لایه‌هایی هستند که با قرارگرفتن روی سطوح ساختمان آلاینده‌های موجود در هوا را بی‌اثرکرده و از بین‌می‌برند. بطور کلی این متریال‌ها با انجام فرآیندهای درونی خاص خود می‌توانند خصوصیات و ویژگی‌های زیر را از خود نشان‌دهند: ضدآب نمودن نما، تمیز نمودن خود نما، بالابردن کیفیت هوای فضای داخل، از بین‌بردن آلودگی هوای‌اطراف، جاذب صدا، ایجاد بوی معطر در فضا می‌باشد. که از مهمترین فرآورده‌های معدنی مورداستفاده بنتونیت[۱۰]نمونه‌ای از مصالح ضدآب در این دسته از مصالح ساختمانی‌است. شکل زیر نحوه رفتار این متریال در تماس با مولکول آب را نشان می‌دهد.



تصویر۳- نحوه رفتار بنتونیت در تماس با مولکول آب(Addington & Schodek,۲۰۰۵)

ویژگی‌های مصالح هوشمند:

در این بخش دو گروه کلی مواد هوشمند مذکور را با عناوین مواد نوع اول و نوع دوم مشخص می‌نماییم.

-**نوع اول:** این مواد در واکنش به تغییر شرایط در محیط پیرامونی‌شان، یکی از خواص خود (شیمیایی، مکانیکی، بصری، الکتریکی، مغناطیسی یا گرمایی) را تغییر می‌دهند و برای این کار به نظارت خارجی نیازی ندارند.

-**نوع دوم:** این مواد یا ابزار، برای تاثیرگذاردن بر وضعیت نهایی مطلوب، حالت انرژی را از یک شکل به شکلی دیگر تغییر می‌دهند مهندسان و طرحان در استفاده متداول خود از این مواد، معمولا با آن به صورت‌کلی به عنوان یکی از محصولات این گروه و یک ماده هوشمند برخورد می‌کنند. علت این امر عمدتاً نحوه استفاده عملی از این مواد می‌باشند.

جدول شماره۲: نمونه های مواد هوشمند نوع اول و دوم متفاوت نسبت به محرک‌های ورودی و خروجی(Addington & Schodek, 2005)

نوع ماده هوشمند	ورودی	خروجی
مصالح هوشمند نوع۱- با قابلیت تغییرخواص		
ترموکرومیک ها	اختلاف دما	تغییر رنگ
فوتوکرومیک ها	تابش(نور)	تغییر رنگ
مکانوکرومیک ها	تغییر شکل	تغییر رنگ
کموکرومیک ها	تراکم شیمیایی	تغییر رنگ
الکتروکرومیک ها	اختلاف پتانسیل الکتریکی	تغییر رنگ
کریستال های مایع	اختلاف پتانسیل الکتریکی	تغییر رنگ
ذرات معلق	اختلاف پتانسیل الکتریکی	تغییر رنگ
الکترورئولوژیکال	اختلاف پتانسیل الکتریکی	سختی/چسبندگی
مگنتورئولوژیکال	اختلاف پتانسیل الکتریکی	سختی/چسبندگی
مصالح هوشمند نوع۲- با قابلیت مبادله انرژی(یک طرفه)		
الکترولومینست ها	اختلاف پتانسیل	نور
فوتولومینست ها	تابش	نور
کمولومونیست ها	تراکم شیمیایی	نور
ترمولومونیست ها	اختلاف دما	نور
دیودهای مینر	اختلاف پتانسیل الکتریکی	نور
فتوولتائیک ها		
مصالح هوشمند نوع۲- با قابلیت مبادله انرژی (دوطرفه)		
پیزوالکتریک	تغییر شکل	اختلاف پتانسیل الکتریکی
پیروالکتریک	اختلاف دما	اختلاف پتانسیل الکتریکی
ترموالکتریک	اختلاف دما	اختلاف پتانسیل الکتریکی
الکترواستریکتیو	اختلاف پتانسیل الکتریکی	تغییر شکل
مگنتواستریکتیو	میدان مغناطیسی	تغییر شکل

جدول شماره ۳- چند نمونه ازکاربرد رایج مصالح هوشمند درساختمان(ماخذ: نگارندگان)

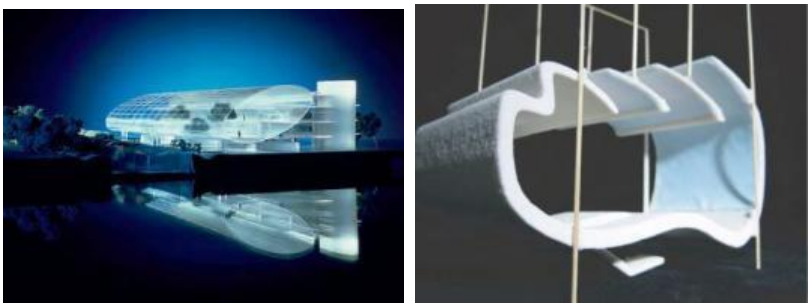
	انواع مصالح هوشمند	ورودی	کاربرد در ساختمان
مصالح هوشمند نوع۱- با قابلیت تغییر خواص:			
با قابلیت تغییر رنگ و ویژگی های دیداری[11]	ترموکرومیک	حرارت	رنگ ترموکرومیک بتن ترموکرومیک شیشه ترموکرومیک
	فتوکرومیک	نور	پنجره‌های سقفی، پنجره‌های دیواری
	ترموکروپیک	حرارت	پنجره‌های سقفی، پنجره‌های دیواری
	الکتروکرومیک	تغییر پتانسیل الکتریکی	پنجره
	کریستال مایع	تغییر پتانسیل الکتریکی	پنجره و پارتیشن‌های داخلی (سطوح تخت)
	ذرات معلق	تغییر پتانسیل الکتریکی	پنجره و پارتیشن‌های داخلی(سطوح منحنی)
با قابلیت تغییر سختی [12]	الکترورئولوژیکال	تغییر پتانسیل الکتریکی	سازه بنا(پی و...) و سازه های کابلی
	مگنتورئولوژیکال	تغییر پتانسیل الکتریکی	سازه بنا(پی و...) و سازه های کابلی
با قابلیت تغییر چسبندگی[13]	مصالح خود تمیز شونده	نور	نمای ساختمان
	شیشه خود تمیز شونده	نور	پنجره ساختمان
مصالح هوشمند نوع۲- با قابلیت مبادله انرژی (یک طرفه)			
با قابلیت انتشار نور[14]	الکترولومینسنت	تغییر پتانسیل الکتریکی	پارتیشن های داخلی
	فتولومینسنت	نور	پرده های جداکننده
تولیدکننده برق[15]	فتوولتائیک	نور	تأمین کننده برق ساختمان وقابل استفاده در ترکیب با پنجره الکترکرومیک

کاربرد مصالح هوشمند در معماری نوین:

-**مواد ترموکرومیک**، گرما را کسب‌کرده و با تغییر فاز یا تغییرشیمیایی که به صورت تغییر رنگ حاصل می‌شود واکنش نشان‌می‌دهد. از مواد ترموکرومیک در صنعت معماری می‌توان در تولید رنگ، کاغذ دیواری و بتن و شیشه و.... استفاده‌کرد.

تصاویر۴و۵و۶: کاربرد شیشه ترموکرومیک و ساعت دیجیتال در بتن ترموکرومیک و رنگ ترموکرومیک(Ritter,2007)

-**مواد فتوکرومیک** در اثرجذب انرژی تابشی، تغییر در ساختار شیمیایی‌شان ایجاد می‌شود و به ساختاری متفاوت با میزان جذب متفاوت تبدیل می‌شوند(Addington & Schodeck, 2005).
شیشه‌های فتوکرومیک نه تنها ورود نور را متعادل می‌کنند، بلکه می‌توانند مانعی در برابر شدت نور زیاد به حساب آیند. نمونه‌های از پنل‌داخلی از جنس الیاف فتوکرومیک ساخته‌شده که این نوع پنل‌ها به محض اینکه در معرض نور خورشید قراربگیرند، از رنگ سفید در حالت پایه به رنگ آبی تغییر رنگ می‌دهند.



تصاویر۷و۸: پنل‌های فتوکرومیکی(Addington & Schodeck, 2005)،شیشه‌های فتوکرومیک در نمای‌موزه مونیخ(Ritter,2007)

-**پنجره‌های ترموتروپیک** با تابش آفتاب مات می‌شوند و با تغییرفاز مانعی در برابر اشعه گرمائی خورشید به حساب می‌آیند(Addington & Schodeck, 2005).
البته این رویداد کاهش دید را به همراه خواهدداشت. پنجره‌های ترموتروپیک کاربرد گسترده‌ایی در مناطق گرم دارند چرا که میزان انتقال‌گرمای‌خورشید را بین ۵۰ تا ۷۵ درصد بسته به نوع ماده ترموتروپیک – پلیمر باشد یا هیدروژل- تغییر می‌دهند(Resch, 2009) .

تصویر۹: پنجره ترموتروپیک بدون هیچ دیدی به خارج، کاهش تابش خیره کننده به طور انحصاری(Mahdavinejad, Bemanian, Khaksar, Abolvardi, 2011)

-**شیشه‌های الکتروکرومیک** متشکل از پوشش‌های چندلایه و یا لایه‌ای مخصوص متشکل از کریستال‌های کوچک کره‌ای مایع در محفظه‌هایی پلیمری منعطف می‌باشند که بین دولایه از شیشه قرارگرفته‌اند. این لایه از تری‌اکسید تنگستن یا اکسید نیکل تشکیل‌شده که به تغییر ولتاژ ایجاد شده واکنش می‌دهد.

تصویر۱۰- شیشه‌های الکتروکرومیک(Ritter,2007)

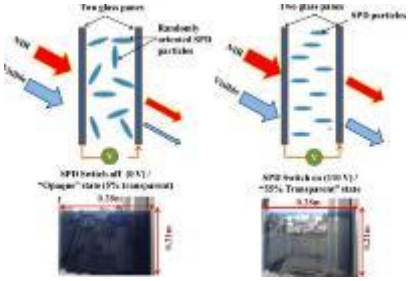
-**شیشه الکترو-اپتیک** پوشش بیرونی دیواره از جنس شیشه خاکستری می‌باشد ولی سطح داخلی از یک شیشه ایمن چندلایه تشکیل‌شده که بوسیله ریل آلومینیومی به صورت افقی قطع شده‌است و در آن دو ردیف ال ای دی سفید قرارگرفته‌است.

تصاویر۱۱و۱۲- کاربرد شیشه‌های الکترو- اپتیک در نمای اداره مرکزی کمپانی شانل(Ritter,2007)

-**شیشه‌های هوشمند کریستال مایع** یکی از روش‌های ساخت شیشه‌های هوشمند است، در این سیستم کریستال‌های مایع احاطه شده توسط لایه‌های‌پلیمری و ساندویچ شده بین دو عدد لایهٔ هادی می‌باشد.

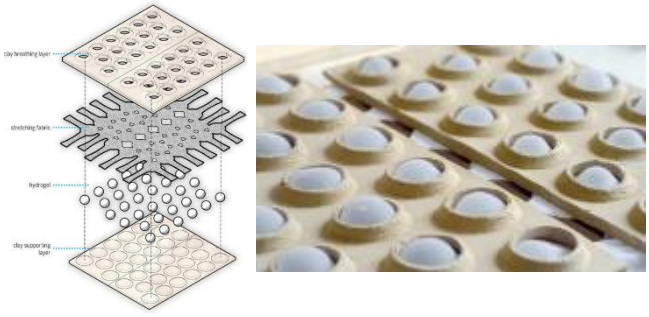
تصویر۱۳-شیشه‌های کریستال مایع(Mahdavinejad, Bemanian, Khaksar, Abolvardi, 2011)

-**پنجره‌های ذرات‌معلق** از گروه الکتروکرومیک‌ها به‌حساب می‌آیند و دارای ویژگی‌های مشابه کریستال مایع می‌باشند با این تفاوت که دید غیرمستقیم (دید از زوایای مورب) بیشتری فراهم می‌کند(Addington & Schodeck, 2005).



تصویر۱۴- نحوه عملکرد شیشه‌هایی باذرات معلقhttps://upgreengrade.ir

-**ترموهیدروژل‌ها** هیدروسرامیک به ۳ فاز مختلف تقسیم می‌شود، مواد هوشمند: هیدروژل، مواد پشتیبان: پارچه به عنوان کانال آب و سرامیک. ترکیبی از هیدروژل با مواد پشتیبان مانند مواد سرامیکی است که به رطوبت و گرما پاسخ می‌دهد. این دستگاه به عنوان یک دستگاه خنک‌کننده تبخیری عمل می‌کند که دما را ۵ یا ۶ درجه کاهش می‌دهد و از طرفی در اقلیم‌های گرم و خشک میزان رطوبت را تا ۱۵٪ افزایش می‌دهند. هوش غیرفعال باعث می‌شود عملکرد آن متناسب با گرمای محیط بیرون باشد.

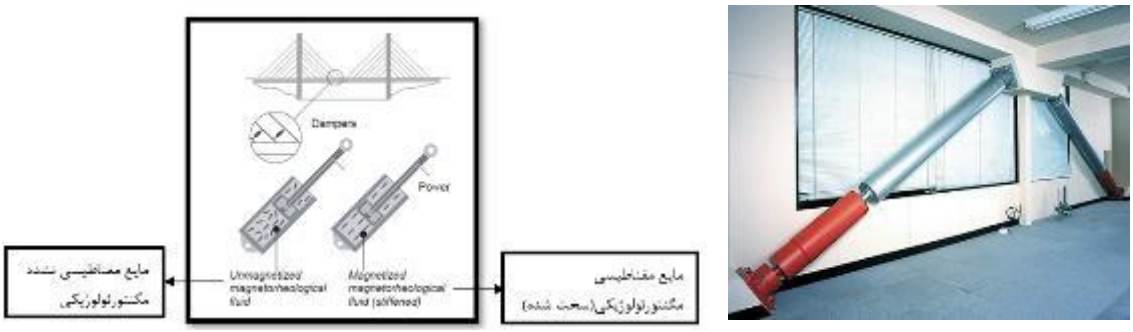


تصاویر۱۵و۱۶- لایه‌های تشکیل دهنده هیدروسرامیک https:// www.morethangreen.es

-**کامپوزیت فیبرهای کربنی ترموپلاستیکی** که به عنوان میله‌های رشته‌ای Cabkoma هم معروف هستند. که در آن فیبر کربن با الیاف شیشه پوشانده‌شده، سپس در رزین ترموپلاستیک آغشته‌شده و به شکل طناب پیچ‌خورده است. ویژگی‌های اصلی آن وزن سبک، استحکام و کیفیت ضد زنگ آن است. وزن آن به اندازه ۱/۵آهن سبک است و استحکام کششی آن ۱۰ برابر آهن است. تغییر شکل حرارتی پس از سخت‌شدن امکان‌پذیراست. با حرارت با تغییر ابعادی کم مواجه می‌شویم.

تصویر۱۷- باسازی دفترمرکزیسابق کوماتسو ماتره با استفاده از کامپوزیت های فیبرکربنی ترموپلاستیکی
Thermoplasticcarbon fiber composite CABKOMA | KOMATSU MATERE

-**مواد الکترورئولوژیکی**(ER) **و مواد مگنتورئولوژیکی** (MR) سطح چسبندگی (ER) را می‌توان با محرک‌های الکتریکی تغییرداد و سطح چسبندگی (MR) را می توان با تغییر میدان‌مغناطیسی اطراف تغییرداد. دستگاه‌های الکترورئولوژیکی درسیستم‌های مستهلک‌کننده لرزش در ساختمان‌های بلند مرتبه به کارمی رود که در حد ایده و نمونه‌های شبیه‌سازی‌شده به کار رفته است. رویکرد اخیر، سیالات مگنتورئولوژیکی برای هوشمندسازی و قابل‌کنترل‌کردن سیستم معرفی شده‌اند، که حرکت‌زمین و ساختمان را اندازه‌گیری می‌کنند.

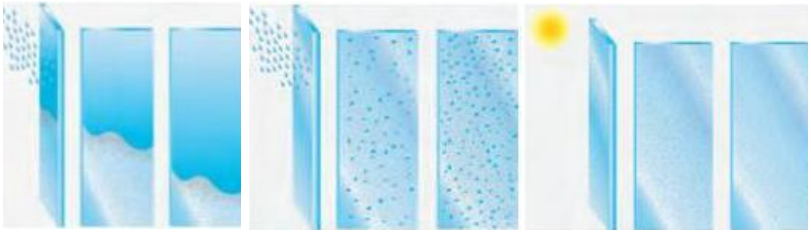


تصویر۱۸-کاربرد مواد الکترورئولوژیکال. تصویر۱۹- نحوه عملکرد سیالات مگنتورئولوژیکی(Addington & Schodek, 2005)

-**مواد خود تمیز شـونده** از موادی با قابلیت تغییر چسـبندگی در اثر واکنش به نور، تغییرات‌دمایی، میدان‌الکتریکی، مایعات نظیر آب و یا ذرات بیولوژیکی مانند باکتری به حساب می‌آیند که در سطح پایین هوشمندی قرارمی‌گیرند(نیکوخرد، ۱۳۸۸). پوشش خود تمیز شونده بر نمای سنگی بنا، تضمینی برای تمیز نگه‌داشتن ساختمان در برابر محیط آلوده و دودآلود شهر به حساب می‌آید.

تصاویر۲۰و۲۱-پوشش خود تمیز شونده در نمای آپارتمان مسکونی- تجاری، در اتریش(Ritter, 2007)

-**شیشه های خود تمیز شونده** برروی سطح آن پوششی شفاف از نوع سخت اعمال می‌شود، لایه اعمال شده برسطح شیشه، با خاصیت فتوکاتالیک(استفاده از نور برای واکنش) و خاصیت هیدروفیلیک (آب دوست)، باعث پخش و جاری شدن آب بر سطح شیشه می‌شود.

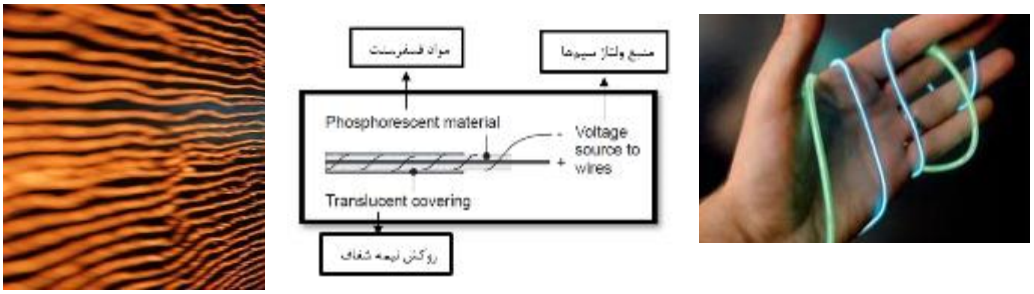


تصاویر۲۲و۲۳و۲۴- شیشه خود تمیز شونده با خاصیت فتوکاتالیک و خاصیت هیدروفیلیک(Ritter, 2007)

-**فتولومینسنس** زمانی اتفاق می‌افتد که انرژی تابشی همراه با یک منبع نور خارجی بر روی ماده اثرمی‌گذارد و نور را دوباره در سطح انرژی پایین‌تری ساطع می‌کند. فرآیند تحریک الکترونیکی مستلزم جذب فوتون می‌باشد. سیمان شب تاب(نورانی) این سیمان در طول روز نور خورشید را جذب‌کرده و در شب ساطع می‌کند و بدون نیاز به جریان برق، در زمان شب، می‌تواند در حدود ۱۲ ساعت از خود نور متساعدکند.

تصویر۲۵و۲۶- سیمان شب تاب(نورانی)https://aalfa.ir

-**الکترولومینسنس** منبع تحریک ولتاژ اعمال‌شده یا میدان الکتریکی می‌باشد. انرژی مورد نیاز را ولتاژ فراهم می‌کند. در واقع الکترولومینسنس به دو روش متفاوت ایجاد می‌شود: الف) میدان الکتریکی زیاد باعث حرکت الکترون‌ها از طریق فسفر می شود ب) در مواد ویژه رخ می‌دهد مثل نیمه‌رساناها، به دلیل حرکت کلی الکترون ها و منفذها مشاهده می‌کنیم. بتن منیر هم از نوری ال ای دی از تراشه های قرمز – سبز – آبی ساخته (با تکنولوژی دی ام ایکس) مبتنی بر اینترنت کنترل می‌شوند.

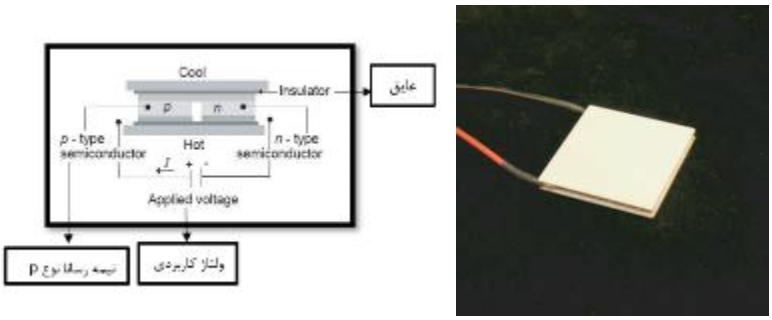


تصاویر۲۷و۲۸و۲۹- الکترولومینسنت(Addington & Schodek, 2005)بتن منیر(LUCEM, 2013)

-**فتوولتائیک** پدیده‌ایی است که در اثر تابش نور و بدون استفاده از مکانیزم‌های محرک، الکتریسته تولید می‌شود. صفحات خورشیدی به عنوان اصلی‌ترین جز سیستم الکتریکی خورشیدی، وظیفه تبدیل انرژی نوری خورشیدی به انرژی الکتریکی را برعهده دارند.

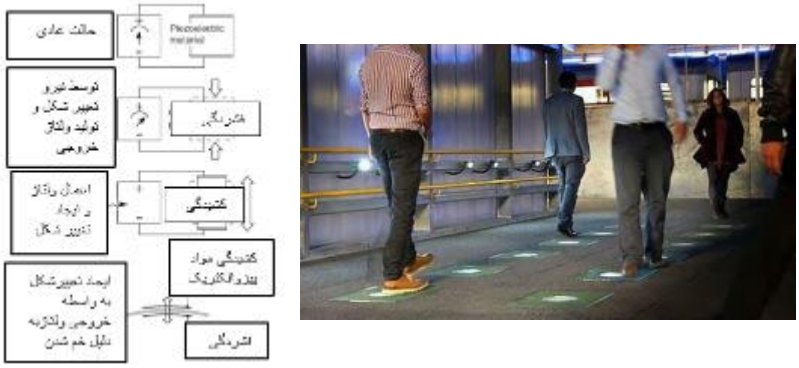
تصاویر۳۰و۳۱- استفاده از تکنولوژی سلول خورشیدی فتوولتائیک در سطوح خارجی ساختمان(Ritter,2007)

-**ترموالکتریک** یا دستگاه‌های پلتیر، شکل الکترونیکی پمپ حرارتی هستند. یک دستگاه معمولی Peltier از یک ورودی ولتاژ برای ایجاد اتصالات سرد و گرم استفاده می‌کند. بنابراین می‌توان از آنها برای گرمایش یا سرمایش استفاده‌کرد. هنگام استفاده، باید راهی برای انتقال گرمای تولیدشده از دستگاه به بیرون وجود داشته باشد. در واحدهای بزرگتر معمولاً از فن استفاده می‌شود.



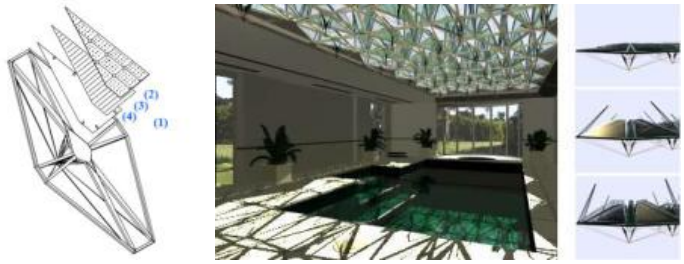
تصاویر۳۲و۳۳- نحوه عملکرد ترموالکتریک در ایجاد گرمایش و سرمایش(Addington & Schodek, 2005)

-**پیزوالکتریک** مبنای این پدیده عبارت است از تبادل متقابل و برگشت‌پذیر بین انرژیهای الکتریکی و مکانیکی این تبادل به طور طبیعی در مواد پلاریزهٔ دائمی که در آنها بخشی از مولکول‌ها بار مثبت و بخشی دیگر بار منفی دارند، ایجاد می‌شود.



تصاویر۳۴و۳۵- کاربرد تکنولوژی پیزوالکتریک در ایستگاه متروی توکیو و عملکرد پیزوالکتریک(Addington & Schodek, 2005)

-**مواد ترمواستریکتیو** در نورگیرهای متحرک، این سقف با استفاده از حسگر و فعال کننده‌های لغزشی که به پانل آلومینیومی متصل شده‌اند کنترل می‌شود. مجموعه ای ازتکیه‌گاه‌های آلومینیومی و کابل‌های کششی هر یک از پانل‌ها را به طور مجزا نگه‌می‌دارند. ایده اصلی در طراحی این سقف استفاده از نور بهینه روز و ایجاد تهویه طبیعی در داخل ساختمان است که در نتیجه باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود.



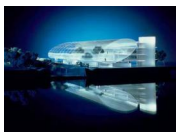
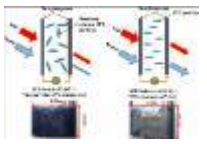
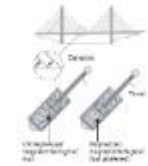
تصاویر۳۶و۳۷- مدل نورگیر سقفی متحرک با جزئیات (گلپور و همکاران۱۳۹۳)

تحلیل یافته‌ها:

در این مقاله، در مورد دسته‌بندی مصالح هوشمند و نوع و خواص و ویژگی‌ها و زمینهٔکاربردی آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد که برای سیاست‌گذران و متولیان شهری، مدیران شهری، طراحان و سازندگان به صورت موجز و قابل پیگیری در قالب جداول تحلیلی و انطباقی ارائه شده است. در این مقاله مصالح هوشمند تعریف شده و جزئیات و خواص و ویژگی‌های خاص آنها و نحوه و نوع کاربرد آنها معرفی شده است. در این مقاله از منابع به روز و معتبر و بین المللی متعددی استفاده شده است. توضیحات و تصاویر و نوع کاربرد و خواص و واکنش ورودی و خروجی در قالب جداول تحلیلی و انطباقی ارائه شده است و سپس تمامی مصالح به صورت موردی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند و با جزئیات در مورد نوع و نحوه کاربرد مصالح و مزیت کاربرد آنها آشنا می‌شویم.

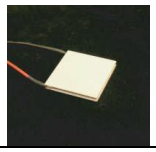
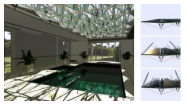
چند نمونه از پرکاربردترین مصارف مصالح هوشمند در سیستم های مختلف ساختمان که بیشتر در صنعت ساخت‌وساز کاربرد دارند- صرف‌نظر از حسگرها – ارائه‌شده‌است؛

جدول شماره۴- نمونه های کاربردی مصالح هوشمند در صنعت معماری نوین(ماخذ:نگارندگان)

	انواع مصالح هوشمند	ورودی	کاربرد در ساختمان	نمونه های کاربردی
مصالح هوشمند نوع۱- با قابلیت تغییر خواص:				
با قابلیت تغییر رنگ و ویژگی‌های دیداری	ترموکرومیک	حرارت	شیشه ترموکرومیک بتن ترموکرومیک رنگ ترموکرومیک	
	فتوکرومیک	نور	پنجره های سقفی، پنجره‌های دیواری	
	ترموتروپیک	حرارت	پنجره‌های سقفی، پنجره‌های دیواری	
	الکتروکرومیک	تغییر پتانسیل الکتریکی	پنجره	
	الکترو-اپتیک	حرارت	پنجره و نما	
	کریستال مایع	تغییر پتانسیل الکتریکی	پنجره و پارتیشن‌های داخلی (سطوح تخت)	
	ذرات معلق	تغییر پتانسیل الکتریکی	پنجره و پارتیشن‌های داخلی (سطوح منحنی)	
با قابلیت تغییر سختی	الکترورئولوژیکال	تغییر پتانسیل الکتریکی	مستهلک کننده لرزش در ساختمان‌های بلند	
	ترموهیدروژل ها	حرارت	دیوار، نما	
	کامپوزیت فیبرهای کربنی ترموپلاستیکی	حرارت	عضو کششی تقویت در برابر زلزله	
	مگنتورئولوژیکال	تغییر میدان مغناطیسی	سازه بنا(پی و...) و سازه‌های کابلی	

با قابلیت تغییر چسبندگی	مصالح خود تمیز شونده	نور	نمای ساختمان،کف استخر	
	شیشه خود تمیز شونده	نور	پنجره ساختمان	

مصالح هوشمند نوع۲- با قابلیت مبادله انرژی (یک طرفه)				
با قابلیت انتشار نور	الکترولومینسنت	تغییر پتانسیل الکتریکی	سیمان، کابل EL	
	فتولومینسنت	نور	سیمان	
تولیدکننده برق	فتوولتائیک	نور	تأمین کننده برق ساختمان و قابل استفاده در ترکیب با پنجره الکترکرومیک	

مصالح هوشمند نوع۲- با قابلیت مبادله انرژی(دو طرفه)				
ایجاد گرمایش و سرمایش	ترموالکتریک	اختلاف دما	استفاده برای ایجاد منطقه سرد و گرم در کارکردهای خاص	
قابلیت تغییر شکل	پیزوالکتریک	اختلاف پتانسیل الکتریکی	با ایجاد نیروی مکانیکی نور تولید می کند	
قابلیت تغییر شکل	ترمواستریکتیو	اختلاف دما	سقف های متحرک هوشمند	

نتیجه‌گیری:

با توجه به سوالی که در قسمت چکیده مطرح شد می توانیم مواد هوشمند را با توجه به خواص آنها که قابلیت تغییرپذیری و برگشت پذیری و همچنین از لحاظ ویژگی‌های آنها -شیمیایی، مکانیکی، الکتریکی، مغناطیسی یا گرمایی – به سه دسته تقسیم کنیم:

الف) مصالح هوشمندی که دارای خاصیت قابلیت تغییر خواص درونی است. ب) مصالح هوشمند دارای قابلیت مبادله انرژی ج) مصالح هوشمند دارای قابلیت تغییر و مبادله مواد درونی ولی می‌توانیم مواد هوشمند را به دو گروه اصلی طبقه بندی کنیم: **نوع اول** شامل موادی هستند که خصوصیت خود را تغییر می‌دهند و **نوع دوم** شامل موادی می باشند که در تبادل انرژی فعالند.

پیشرفت های اخیر درزمینه تحقیقات مصالح اکنون فرصتی برای کاربردهای تجاری و عملی در دنیای واقعی ایجاد می‌کند. امروزه مصالحی مانند مصالح تغییر فاز دهنده، شیشه های الکتروکرومیک و پوشش های مبتنی بر فناوری نانو و سلولهای خورشیدی در دسترس هستند و وظیفه ماست که شکاف بین این سطح مصالح را تا کاربردهای معماری و مهندسی ساختمان در مقیاس بزرگ گسترش دهیم.

جدای از آن چالش دیگر این است که ایده «سیستم های استاتیک» را در معماری کنونی ایران پشت سر بگذاریم و سیستم هایی را توسعه دهیم که دارای خواص دینامیکی هستند و به تغییرات خارجی محیط زیست واکنش نشان‌می‌دهند. که در پژوهش حاضر به معرفی آنها پرداختیم امید است که در گام بعدی پژوهشگران به بررسی مسائل مالی و اقتصادی و هزینه کاربردی اینگونه مصالح بپردازند تا با ارائه این گونه معیارها انتخاب مناسب‌تری داشته باشیم و به سمت بهینه سازی و هوشمند سازی معماری ایرانی گام برداریم.

پی‌نوشت

[1] Tio2
[2] Thermostrictive
[3] Chemostrictive
[4] Electroactive
[5] Piezoelectric
[6] Thermal Expansion Material
[7] Photochromic Material
[8] thermochromic
[9] electrochromic
[10] Bentonite
[11] Chromics and optical changing
[12] Rehological
[13] Adhesive changing
[14] Light Emitting Smart Material
[15] Electricity Generating

مراجع:

۱)پورسیستانی، پوپک؛ پورسیستانی، پونه؛ اسفند۱۳۹۴.نقش مصالح نوین در راستای تحقق معماری پایدار، دومین کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در عمران، معماری و شهرسازی.

۲)مهدوی عادلی، مهدی؛ منفردزاده، منصور؛ مهر۱۳۹۵.اولویت بندی معیارهای اثر بخش در گزینش انتخاب مصالح ساختمانی پایدار با رویکرد مدیریت مصرف انرژی، کنفرانس بین المللی نوآوری در علوم و تکنولوژی.

۳)مومنی، رسول؛اسفند۱۳۹۴.تاثیر مصالح هوشمند در معماری پایدار،کنفرانس بین المللی معماری، شهرسازی،مهندسی عمران، هنر، افق های آینده محیط زیست و نگاهی به گذشته.

۴)ویسی، امیر؛شهریور۱۳۹۵.مصالح هوشمند، تحولی در معماری پایدار،چهارمین کنفرانس بین المللی پژوهش در مهندسی،علوم و تکنولوژی.

۵)وکیلی اردبیلی، علی؛ شاطری، فائزه؛ پاییز۱۳۹۵.معیارهای مؤثر بر انتخاب مصالح ساختمانی با هدف کاهش خطرهای زیست محیطی، مدیریت مخاطرات محیطی(دانش مخاطرات سابق).

۶)بابایی تفتی، مهسا؛ آصفی،الیاس؛زمستان ۱۳۹۸. نقش انتخاب مصالح پایدار در کاهش مصرف انرژی، مجله پژوهشی، دانشجویی پاراسیویل، مهندسی عمران، شهرسازی، معماری، سال اول، شماره۲

۷)اردشیری، رها؛ مفیدی شمیرانی،مجید؛تیرماه۱۳۹۶.بهبود عملکرد عناصر معماری و بازآفرینی آن در ساختارهای امروزی با استفاده از مصالح هوشمند، سومین کنفرانس سالانه بین المللی عمران، معماری، شهرسازی.

۸)عبا سی، سجاد؛ صادقپور، سعیده؛ انتظار ریحانی، نا صر؛ ۱۳۹۵ . تأثیر مصالح نوین و هو شمند در کاهش مصرف انرژی با رویکرد معماری پایدار، چهارمین کنفرانس بین المللی پژوهشهای نوین در عمران، معماری و شهرسازی.

۹)خدایاری، شیما؛ وطن خواه تربه بر، مهدی؛ ۱۳۹۳ . مصالح هوشمند، اولین همایش ملی معماری، عمران و محیط زیست شهری، همدان، انجمن ارزیابان محیط زیست هگمتانه.

۱۰)مولو، مریم؛ میررضایی،سحر؛ ۱۳۹۷ . تاثیر مصالح نوین بر کاهش مصرف انرژی ساختمان در راستای توسعه پایدار، کنفرانس ملی تحقیقات بنیادین درعمران،معماری و شهرسازی، تهران، موسسه آموزش عالی اوج.

۱۱)ر سول زاده، فرزان؛ ۱۳۹۰ . نقش مواد و مصالح ساختمانی پایدار در جذب و ذخیره انرژی های تجدید پذیر (نو) در ساختمانهای مسکونی ایران، اولین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۱۲)خضریان،علیرضا؛ زندی، مهرنوش؛بهمن ماه ۱۳۹۴.روش های کاربرد مصالح هوشمند در معماری آینده، همایش فرهنگ، گردشگری و هویت شهری، موسسه مهراندیشان ارفع.

۱۳)مرتضوی، سارا؛۱۳۸۸. معماری اکوتک، همزیستی تکنولوژی، محیط و انسان، اولین همایش ملی معماری پایدار، آموزشکده فنی و حرفه ای سما همدان.

۱۴)گرجی مهلبانی، یوسف؛ حاج ابوطالبی، الناز؛ ۱۳۸۸. مصالح هوشمند و نقش آن در معماری، فصلنامه مسکن ومحیط روستا، دوره ۲۸ ، شماره ۱۲۷، ص ۶۶ – ۸

۱۵)گلپور، مرضیه؛ قاسمی، زهرا؛ شهبازی، یاسر؛ دی ماه ۱۳۹۳.کاربرد مواد هوشمند ترمواستریکتیو در ایجاد سقف های باز و بسته شونده ی هوشمند، مجموعه مقالات اولین کنگره بین المللی افق های جدید در معماری و شهرسازی

16) Addington, Michelle – Schodek, Daniel, (2005): Smart Materials and New Technologies For the architecture anddesign professions, Architectural Press, Britain.
17) Ritter, A, (2007): Smart materials in architecture, interior architecture and design, 1st edition, Berlin, Germany, Brikhauser.
18) Mohammadjavad Mahdavinejad1, Mohammadreza Bemanian2, Neda Khaksar3, Ghazal Abolvardi4,(2011):Choosing Efficient Types of Smart Windows in Tropical Region Regarding to Their Advantages and Productivities.
19) Yahya S. Abdullah, Hoda A.S. Al-Alwan,(2019): Smart material systems and adaptiveness in architecture.
20) Resch, K. the thermotropic layers for flat plate collectors. solar energy materials and solar cells. 2009.
21)Dr. Mona Mohammed Hosni Aggour & Dr. Olfat Abd Elghany Soliman(2010):SMART MATERIALS – TOWARD A NEW ARCHITECTURE.
22)Niknam, M; Karshenas, S; 2015, Sustainable design of buildings using semantic BIM and semantic web services, Procedia engineering.

https://upgreengrade.ir
https://www.morethangreen.es
https://aalfa.ir
https://www.zoomit.ir