مروری بر مصالح نوین هوشمند و کاربرد آن‌ها در ساختمان

سیده مریم مجتبوی[۱]، بهناز بنانژاد مشهدی[*۲]

۱- استادیار گروه معماری، موسسه آموزش عالی فردوس، مشهد، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری داخلی، موسسه آموزش عالی فردوس، مشهد، ایران

[*]نویسنده مسئول: **Behnazbananezhad.bb@gmail.com**

خلاصه

ساختمان‌ها و زندگی در آن‌ها در طول دو دهۀ گذشته بسیار متحول شده است. توسعۀ مواد و مصالح هوشمند و روش‌های ساخت ابداعی، به عنوان کلید طلایی، دستیابی به ساختمان‌هایی با کارایی بالاتر و صرفۀ اقتصادی بهتر و سازگار با محیط‌زیست را امکان‌پذیر ساخته است. مصالح هوشمند در صورت قرارگرفتن در معرض تغییرات فیزیکی و شیمیایی قادر به تغییر ویژگی‌های خود هستند. در واقع خاصیت تغییرپذیری و تطبیق با پیرامون این امکان را برای مصالح هوشمند فراهم کرده تا بتوانند رنگ، شکل ظاهری و خواص خود را در واکنش به تاثیرات محیطی تغییر دهند و با آن ها سازگار شوند. مصالح ساختمانی نوین موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی، صرفه‌جویی در هزینه، افزایش طول عمر و ... می‌شوند. هدف از این پژوهش معرفی مصالح هوشمند و بررسی عملکرد آنها در ساختمان است. در این راستا، سؤالات زیر مطرح می‌گردد: -ساخت‌وساز هوشمند چه مزایایی دارد؟ هوشمندسازی در ساختمان از چه طریقی انجام می‌شود؟ این پژوهش با مروری بر انواع مصالح هوشمند موجود، بینشی جدید در مورد روش‌ها و تکنیک‌های نوآورانه در صنعت ساخت‌وساز ارائه می‌کند. مواد و مصالح مورد بحث در این پژوهش بخش کوچکی از گزینه‌های موجود برای استفاده در این صنعت هستند.

کلمات کلیدی: مصالح نوین، مصالح هوشمند، تغییرپذیری، ساخت و ساز هوشمند.

[*] **Corresponding author: بهناز بنانژاد مشهدی**
Email: Behnazbananezhad.bb@gmail.com

۱. مقدمه

پیش‌بینی و آینده‌نگری همواره مورد توجه مهندسان و پژوهش‌گرانی بوده است که به تحقق و تولید ابزارهایی برای استفاده از آنها در آینده می‌پردازند. با مرور تاریخ معماری قرن گذشته در زمینهٔ آینده نگری، خواهیم دید که این آینده عموماً به وسیلهٔ مصالح و تکنولوژی‌هایی که در دوران ساخته خواهد شد، تعریف می‌گردد (ظفرمندی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۵۱).

ساختمان‌ها و زندگی در آن‌ها در طول دو دههٔ گذشته بسیار تغییر کرده است. در واقع می‌توان گفت که به جز تعداد کمی از ساختمان‌های موجود، ساختمان‌های کنونی از آن نوع زیستگاه‌ها نیستند که به حال حاضر تعلق داشته باشند. با توسعه در زمینهٔ مصالح، فرآورده‌ها و روش‌های ساخت ابداعی، حرکت به سوی ساختمان‌هایی با کارایی بالاتر و صرفهٔ اقتصادی بهتر و سازگار با محیط‌زیست امری ضروری می‌نماید. ما در آستانهٔ نسل بعدی ساختمان‌ها ایستاده‌ایم. ساختمان‌هایی با درجات مختلفی از تکنولوژی بالا که در رفتار خود از طریق استفاده هوشمندانه از مواد، محصولات و ساخت‌وساز سازگار عملکردی، شدیدا بوم‌شناختی هستند و قادر به واکنش به تغییرات در محیط اطراف مستقیم یا غیر مستقیم خود هستند و خود را متناسب با آن تنظیم می‌کنند. جریان‌های انرژی و ماده را می‌توان از طریق استفاده از مواد هوشمند بهینه‌سازی کرد، چرا که اکثر این مواد و محصولات انرژی و ماده را به طور غیر مستقیم یا مستقیم از محیط‌زیست می‌گیرند. در حال حاضر استفاده از مواد هوشمند برای اتوماسیون بیشتر، برای مواد و محصولات فشرده در واکنش به حسگرها و فعال‌کننده‌ها و همچنین افزایش تقاضای جهانی برای منابع انرژی گران‌قیمت و مواد خام ضروری است (Ritter, ۲۰۰۷: ۸).

مصالح ساختمانی دوست‌دار محیط‌زیست سبب بالا رفتن ارزش پروژه‌های ساختمانی و کاهش اثرات سوء بر محیط‌زیست می‌گردند. مصالح ساختمانی زیست محیطی معمولاً سبب افزایش بهره‌وری استفاده از منابع انرژی، آب و حفاظت از منابع طبیعی و نیز تأمین بهداشت و سلامت افراد ساکن در ساختمان را به همراه دارد (پاچناری و موسوی داودی، ۱۴۰۰: ۱). امروزه بشر با چالش‌هایی مانند کاهش منابع طبیعی، شرایط آب و هوایی شدید و بلایای طبیعی و همچنین تغییرات جمعیتی و اجتماعی مانند جمعیت بیش از حد شهری مواجه است که به طور مستقیم بر نحوهٔ زندگی مردم در خانه‌ها و شهرها تأثیر می‌گذارد. برای این کار، یک استراتژی پاسخ کلیدی مناسب ممکن است اجرای مواد هوشمند در ساختمان‌های ساخته‌شده باشد. انواع زیادی از این مواد در حال حاضر به خوبی شناخته‌شده و در زمینه‌های مختلفی از جمله هوافضا، خودرو، بهداشت و درمان، مصرف‌کننده به کار گرفته می‌شوند. در زمینهٔ ساخت‌وساز ساختمان، فناوری‌های مختلف مواد هوشمند در حال حاضر در دسترس هستند و به طور معمول به عنوان مثال، مبدل‌های پیزوالکتریک برای مدیریت سلامت سازه استفاده می‌شوند (Sobczyk, ۲۰۲۱: ۳۷۹).

استفاده از انواع مصالح ساختمانی سنتی برای عایق‌سازی می‌باشد اما در شرایطی که ایده‌های جدید در فناوری هوشمندسازی ساختمان‌ها به‌درستی انجام شود، تمام موارد فوق را به‌خوبی پوشش خواهد داد. استفاده از مواد هوشمند می‌تواند در میزان بهره‌وری انرژی خانه‌های هوشمند و همچنین در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر پیش‌رفت قابل‌توجهی به وجود آورد. این فناوری با در نظر گرفتن موازنهٔ زیبایی‌شناسی همراه با محدودیت‌های معماری، بدون آسیب زدن به عملکرد ساختمان همه جوانب را در نظر می‌گیرد. این مواد علاوه بر معماری زیبا، وزن ساختمان را کاهش می‌دهند. همچنین می‌توان از این مواد در لوله‌کشی خانه‌های هوشمند استفاده نمود و پل‌های حرارتی را کاهش داد. خاصیت خود تمیز شوندگی و ضد انعکاس بودن برای دست‌یابی به حداکثر درخشانی از دیگر مزایای انواع مصالح ساختمانی هوشمند است به همین دلیل ضروری است که از مواد و مصالح هوشمند در ساختمان استفاده کرد.

هدف از این پژوهش، معرفی مصالح هوشمند و عملکرد آنها در ساختمان‌ها است.

سوالات: ساخت‌وساز هوشمند چه مزایایی دارد؟ هوشمندسازی در ساختمان از چه طریقی انجام می‌شود؟

۲. پیشینه تحقیق

در ارتباط با مواد و مصالح هوشمند پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است که به مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود:

در پژوهشی که توسط ثبات ثانی و مهمان نواز در سال ۱۳۹۷ باعنوان «همنشینی بامبو و تکنولوژی شیشه های هوشمند گامی به سوی معماری همساز با طبیعت» انجام شد، دریافتند که استفاده از اکو موادها که به سه دسته تقسیم می‌شوند (دستهٔ اول از ضایعات مواد موجود، مواد دو ریز و محصولات فرعی کارخانجات، برای تولید مصالحی مانند بتن و ملات، استفاده می کند، دستهٔ دوم منابع طبیعی نامحدود، مانند پروتئین‌ها و بامبوها و دستهٔ سوم با بهبودبخشی از خواص مواد با افزودن مواد پلیمری به منابع موجود) و نیز کاربرد تکنولوژی‌های هوشمند به حفظ منابع و انرژی از نقطه‌نظر کاهش مصرف منابع و کاهش تولید آلاینده‌ها و در نتیجه کاهش فشار صنعت ساختمان بر محیط‌زیست می‌انجامد.

ابوطالب طی تحقیقی در سال ۱۳۹۵ با عنوان «کاربرد مصالح هوشمند در طراحی ساختمان‌های آینده با محوریت معماری پایدار» به این نتیجه رسیدند که مصالح هوشمند معمولاً به عنوان بخشی منطقی از خط سیر توسعهٔ مصالح به سوی بازدهی خاص‌تر می‌باشند. با عرضهٔ مواد هوشمند، توانمندی‌ها و امکانات نو در اختیار مهندسان و طراحان قرار خواهد گرفت. این مصالح می‌توانند سبب بهبود روش‌های طراحی و ساخت ساختمان‌ها شوند. استفاده از این مصالح عمر بنا را از ۵۱ سال به ۱۱۰ سال افزایش داده و سبب صرفه‌جویی در هزینه‌های نگه‌داری است که به مراتب بیشتر از هزینه‌های ساخت می‌باشد و همچنین بهره‌گیری از این عناصر می‌تواند سبب کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی و نزدیک شدن جامعه به سوی معیارهای پایداری گردد. تحقیق و پژوهش بر روی مواد جدید افق‌های جدیدی را فراروی طراحان معمار و سازه قرار می‌دهد. هوشمندسازی وبه طور خاص استفاده از مواد و مصالح هوشمند که نسبت به مسائل محیطی واکنش نشان می‌دهند موجب صرفه جویی، تسهیل در تعمیر و نگهداری بناها، عمر مفید بیشتر ساختمان‌ها، طراحی سازه‌هایی با امنیت بیشتر و ایجاد آسایش و اطمینان برای ساکنان ساختمان‌ها و طراحی‌های خلاقانه‌تر معماری می شود.

ویسی در سال ۱۳۹۵ در پژوهشی با عنوان «مصالح هوشمند، تحولی در معماری پایدار» دریافت که ساختمان‌های هوشمند این قابلیت را دارند که با تغییر شرایط محیطی نسبت به تغییرات عکس‌العمل نشان داده و امنیت و آرامش را در برای ساکنین ساختمان فراهم آورند. استفاده از فناوری هایی از این دست، نیاز به انرژی کمتر و استفادهٔ کمتر از مواد شوینده و شیمیایی دارند و خود گامی در جهت تحقق اهداف معماری پایدار و پایداری زیست‌محیطی خواهد بود.

گرجی مهلبانی و حاج ابوطالبی در پژوهش خود در سال ۱۳۸۸ با عنوان «مصالح هوشمند و نقش آن در معماری» به این نتیجه رسیدند که مصالح هوشمند تقریباً توانی پایان‌ناپذیر دارنـد، آن‌ها می‌توانند در واکنش به محیط پیرامون خود چنان تغییر کنند که مصالح طبیعی (غیر هوشمند) قادر به آن نیستند. آن‌ها قادرند تحولی مثبت در معماری، ساخت‌وساز و روش زندگی ایجاد کنند، مثل رنگ دیواری کـه 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 می‌دهـد. مصالح هوشمند می‌توانند طبق دستور رنگ عوض کنند یا در طول روز به تولید الکتریسیته می‌پردازد.

۳. مبانی نظری

۳-۱. هوشمندسازی در معماری ساختمان

یکی از مرتبط‌ترین حوزه‌های تکنولوژی اینترنت اشیاء ، ساخت‌وساز هوشمند است. در پی تکامل تکنولوژی اینترنت اشیاء و بهره‌گیری از آن در ساختمان‌سازی، معماری هوشمند با بهره‌وری از سیستم مدیریت انرژی شکل می‌گیرد (Kumar, ۲۰۲۱: ۲۰۷). امیدوارکننده‌ترین کاربرد هوشمندسازی در سیستم‌های انرژی شهری، ظهور ساختمان‌های هوشمند است. مفهوم ساختمان‌های هوشمند با هدف ترویج انعطاف‌پذیری انرژی، تولید انرژی تجدید پذیر و تعامل کاربر توسط دستورالعمل عملکرد انرژی معرفی شده‌است (Al Dakheel et al, ۲۰۲۰: ۱). ساختمان‌های هوشمند با بهره‌گیری از هوش مصنوعی و استفاده از حسگرها می‌تواند از طریق کنترل بهتر، مصرف انرژی را کاهش داده، ورود به عصر جدید بهره‌وری از انرژی را نوید دهد (Farzaneh et al, ۲۰۲۱: ۱).

در ساختمان هوشمند، امکان اطلاع یافتن از وضعیت کلیهٔ وسایل الکتریکی و کنترل آنها وجود دارد. مثلاً پس از اتمام کار ماشین لباسشویی، هشداری مبنی بر اتمام کار به اطلاع می‌رسد. در شرایط بحرانی از جمله آتش‌سوزی، آب‌گرفتگی و سرقت، ساختمان هوشمند اخطارهایی اعلام می‌کند که می‌تواند سهم به‌سزایی در پیش‌گیری از وقوع خرابی یا به حداقل رسیدن آسیب‌های احتمالی ایفا نماید (مفیدی، ۱۳۹۶: ۱۵۴). در یک ساختمان هوشمند، تجهیزات نقش به‌سزایی را ایفا می‌کنند که می‌توان موارد زیر را نام برد:

۳-۲. مصالح هوشمند

مصالح هوشمند اغلب به صورت مصالح قابل تطبیق یا باهوش توصیف می‌شوند. در حالی که بیشتر مصالح هوشمند که امروزه شناخته شده‌اند نیز به علت ویژگی آنها برای اصلاح خودشان ممکن است به صورت مصالح قابل تطبیق توصیف شوند. گاهی ممکن است که محصولات یا مصالح مختلف با خواص هوشمند با هم ترکیب شوند تا رفتارهای پیچیده‌ای ایجاد شوند (ظفرمندی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۵۴).

۳-۳. ساخت هوشمند

ساخت‌وساز هوشمند چیزی مشابه با تکنولوژی اسمارت نیست، اگرچه به راحتی می‌توان این دو را با هم اشتباه گرفت. ساخت‌وساز هوشمند، در حالی که از تکنولوژی استفاده می‌کند، شامل طراحی ساختمان، ساخت‌وساز و عملیات است که از طریق مشارکت جمعی باعث استفادهٔ کامل از فن‌آوری‌های دیجیتال و تکنیک‌های تولید صنعتی برای بهبود بهره‌وری، به حداقل رساندن کل هزینه زندگی، بهبود پایداری و به حداکثر رساندن مزایای کاربر می‌شود. این روش کار نه تنها می‌تواند صنعت مسکن را تغییر دهد، بلکه می‌تواند مزایای یک خانه را برای ساکنان به حداکثر برساند و به آن‌ها کیفیت زندگی بهتری بدهد (Ajaz Ul Haq & Dongapure, ۲۰۲۲: ۶۲۳).

۳-۴. مواد هوشمند

مواد هوشمند به عنوان کلید طلایی توسعهٔ مواد قرن بیست ویکم در بسیاری از زمینه‌ها برای کاربرد ایده‌ها بوده است از جمله صرفه‌جویی در راندمان مصالح، کارایی هزینه، امکان‌سنجی کاربرد، در دسترس بودن، ویژگی‌های بومی، طول عمر و غیره. یک ماده تنها زمانی هوشمند تلقی می‌شود که چیزی برای ارتقاء کیفیت ساختمان داشته باشد. سازه‌های هوشمند و فناوری‌های مصالح، ابزاری برای اشتراک‌گذاری دانش هستند در مورد این‌که چگونه مصالح ساختمانی مختلف

می‌توانند تولید و سود را با استفاده از فن‌آوری‌های پیش‌رفته ارتباطات، همکاری و مدیریت به طور قابل توجهی افزایش دهند (Ajaz Ul Haq & Dongapure, ۲۰۲۲: ٦٢٣). از جمله مواد هوشمند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

بتن عبوردهنده نور روز: بتن، ماده‌ای است که از ترکیب سیمان، سنگ‌دانه و آب به وجود می‌آید، با توجه به کاربرد گستردهٔ بتن در صنعت ساختمان‌سازی، مهندسین عمران و معماری همواره در اندیشهٔ آن بوده‌اند که با استفاده از فن‌آوری‌های جدید، از این مادهٔ پر مصرف در صنعت ساخت و ساز محصولات جدیدی را تولید کنند. یکی از این نوآوری‌ها، ساخت بتن عبوردهندهٔ نور می‌باشد که با ترکیب بتن و الیاف نوری تولید شده است (لوک زاده و دشتی رحمت آبادی، ۱۴۰۱: ۱). این بتن، با ترکیب ۹۶ درصد بتن معمولی و۴ درصد الیاف نوری ساخته می‌شود که به عنوان یک نوع مادهٔ ساختمانی جدید با ویژگی‌های جالب و قابلیت‌های خاص شناخته می‌شود. در ضمن این بتن در سال‌های اخیر پیش‌رفت چشم‌گیری در زمینهٔ تهیه و استفاده از آن صورت گرفته است. به دلیل این‌که این بتن روش خاصی برای ساخت دارد، هزینهٔ تولید این نوع بتن در مقایسه با بتن معمولی خیلی زیاد است ولی زمان مورد نیاز برای تولید این بتن از بتن معمولی کمتر است. این بتن ظرفیت های زیادی در ایجاد فضاهای دلربا، چشم‌نواز و خیره کننده توأم با کاهش مصرف انرژی الکتریکی دارد. بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان، انتقال نور از یک طرف به طرف دیگر، زیبایی ظاهری، کاربرد در تزئینات و دکوراسیون داخلی از مزایای این نوع بتن نسبت به بتن معمولی است. بتن شفاف نه تنها نور طبیعی بلکه انرژی حرارتی تولید شده از نور خورشید را انتقال می‌دهد .این بلوک‌ها می‌تواند منجر به کاهش زیاد در مقدار الکتریسیته استفاده شده برای نور ساختمان‌ها و بهینه‌سازی انرژی شوند (لطفی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲) در تصویر ۱ و ۲ نمونه‌ای از این بتن دیده می‌شود.

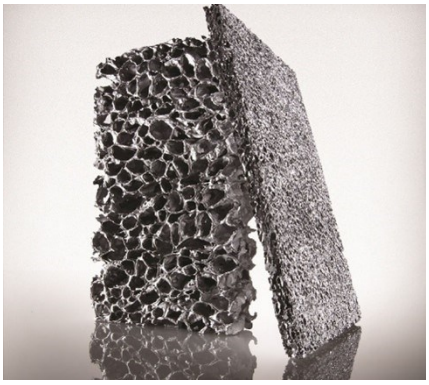
تصویر۱: پاویلیون ایتالیا (luhar et al, ۲۰۲۱)

تصویر۲ بتن شفاف (Ajaz Ul Haq & Dongapure, ۲۰۲۲)

بتن هوادهی شده: بلوک‌های سبک بتنی هوادار اتوکلاو شده با توجه به مزایای زیادی که دارند، استفاده از آنها روز به روز بیشتر می‌شود (وطنی اسکوی و ملاولی، ۱۳۹۴: ۲۳). بتن سبک اتوکلاوشده بتنی است که شامل سیمان، آهک، آب و ماسه ریزدانه باشد (Chusid, ۱۹۹۹). این بتن به علت وزن مخصوص کم (یک سوم تا یک ششم بتن معمولی) دارای خواص عایق حرارتی مناسب بوده و همچنین باعث کاهش وزن مخصوص ساختمان نیز می‌گردد (Schober, ۲۰۰۵). در تصویر ۳ نمونه‌ای از بتن هوادهی شده نمایش داده شده است.

تصویر۳ بتن هوادهی شده (Ajaz Ul Haq & Dongapure, ۲۰۲۲)

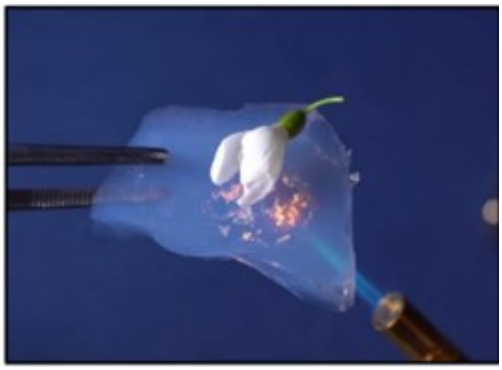
فوم آلومینیوم: فوم‌های فلزی به دلیل داشتن خصوصیات زیادی که دارند از جمله: وزن سبک، نسبت مقاومت و سختی به وزن بالا، چگالی پایین، درجه بالای همگنی، ضربه‌گیری مکانیکی خوب، کاهندهٔ خوب هدایت الکتریکی و حرارتی کاربردهای زیادی دارد. فوم آلومینیوم به طور معمول برخی از خصوصیات بدنی مواد پایه خود را حفظ می‌کند .فوم ساخته شده از فلز غیرقابل اشتعال و نسوز است و به طور کلی می‌تواند به عنوان مادهٔ پایهٔ قابل بازیافت باشد. ضریب انبساط حرارتی آن مشابه است در حالی که هدایت حرارتی کاهش می‌یابد (خلیلی جم و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۸۰). در تصویر ۴ نمونه‌ای از فوم آلومینیوم دیده می‌شود.



تصویر۴ فوم آلومینیوم (Ajaz Ul Haq & Dongapure, ۲۰۲۲)

ایروژل: جلوگیری از اتلاف انرژی یکی از چالش‌های پیش رو برای بهبود سطح کیفیت زندگی است. امروزه آبر عایق‌های چند لایه در انواع مختلف، با توجه به نوع ساخت و مواد به کار رفته در آن، کاربردهای فراوانی در صنایع مختلف از جمله صنایع هوا فضا، پتروشیمی، ساختمان و ... دارند. ایروژل‌های نانوساختار به عنوان جداکننده در ساخت عایق استفاده می‌شوند که در آنها هدایت حرارت جابه‌جایی بسیار ناچیز خواهد بود، چرا که در ساختارهایی با حفرات نانومتری، فضایی که گاز در آن قرار دارد از پویش آزاد متوسط گازها کمتر بوده و عملاً از جابه‌جایی گاز جلوگیری کرده یا این که درون آنها خلأ ایجاد می‌شود تا انتقال حرارت جابه جایی کاملاً حذف شود. ایروژل دارای کم‌ترین ضریب هدایت حرارتی است. کم‌ترین میزان هدایت حرارتی که ایروژل می‌تواند داشته باشد، معادل هدایت حرارتی گاز هوا، ۰،۰۲۱ W/MKاست. در برخی کاربردها، هدایت حرارتی بسیار کم‌تری مورد نیاز است (ولی‌پور گودرزی و بهرامیان، ۱۳۹۷: ۴). در تصویر ۵ و ۶ نمونه‌ای از ایروژل آورده شده است.

تصویر۵ ایروژل (Researchgate.net)



تصویر۶ ایروژل (Ajaz Ul Haq & Dongapure, ۲۰۲۲)

بتن خودتمیزشونده: بتن‌های نسل جدید را به گونه‌ای فتوکاتالیک طراحی می‌کنند تا عوامل واکنش‌گر و ملزومات واکنش‌های شیمیایی منجر به تجزیهٔ و نابودی بسیاری از مواد آلی و غیر آلی و آلاینده‌های محیطی را فراهم کنند (خاکپور، ۱۳۹۷: ۱). این بتن دارای رنگ سفید و درخشندگی خاصی است که سفیدی و درخشندگی خود را به طور مؤثری حفظ می‌کند. این درحالی است که سازه‌های ساخته شده با بتن معمولی فاقد چنین ویژگی هستند .در فرآیند تولید بتن خودتمیزشونده و آلاینده‌زا، ذرات دی اکسید تیتانیوم در فرم آناتاز (یکی از سه فرم معدنی دی اکسید تیتانیوم) مخلوط شده و زمینه‌ساز شکل‌گیری فرآیند فتوکاتالیک می‌شوند که سرانجام منجر به اکسید شدن و تجزیهٔ کثیفی‌ها و دیگر مواد آلایندهٔ نشسته بر سطح بتن و تبدیل آنها به مواد بنیادین غیرآلاینده می‌شوند. پس از تجزیه آلودگی‌ها، بر اثر ریزش باران یا آب حاصل از شستشو، به دلیل خاصیت آب‌دوستی سطح بتن، لایه‌های نازک از مولکول‌های آب تشکیل داده و مواد برجای مانده از تجزیهٔ آلودگی‌ها را شسته و با خود می‌برند. هم اکنون محصولات خودتمیزکننده و ضدآلایندل بتنی توسط شرکت‌های مختلف برای استفاده در نمای ساختمان‌ها و کفپوش‌های جاده‌ها تولید می‌شود. محققان همچنین نشان داده‌اند که استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم علاوه بر خاصیت خود تمیزکنندگی، باعث افزایش سرعت هیدراسیون و هم‌چنین باعث افزایش مقاومت خمشی و فشاری بتن نیز می‌شوند. (حمیدوند و حقایق، ۱۳۹۴: ۶) در تصویر ۷ و ۸ نمونه‌ای از این بتن در ساختمان و کف‌پوش دیده می‌شود.

تصویر۷ نمای کلیسایDives ساخته شده از بتن خودتمیزشونده (رئیس قاسمی و پرهیزکار، ۱۳۸۸:

تصویر۸ نمای نمونه ی کاربرد بتن خود تمیز شونده به عنوان کفپوش , در سطح شهر (حمیدوند و حقایق، ۱۳۹۴ : ۷)

۴. روش تحقیق

روش این پژوهش از لحاظ ماهیت، کیفی و از لحاظ هدف کاربردی است. با مرور مبانی نظری و پیشینه تحقیق در حوزهٔ هوشمندسازی و مواد و مصالح، اطلاعات از طریق مطالعات کتابخانه‌ای-اسنادی جمع‌آوری شده است.

۵. یافته‌ها

مرور پیشینه و مبانی نظری مربوط به موضوع نشان داد که مواد و مصالح هوشمند باعث صرفه‌جویی در راندمان مصالح، کارایی هزینه، امکان‌سنجی کاربرد، در دسترس بودن، ویژگی‌های بومی و طول عمر می‌شوند.

جدول ۱- انواع مصالح هوشمند و عملکرد آنها در معماری

مصالح هوشمند	عملکرد	تصویر
بتن عبور دهندهٔ نور	بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان، انتقال نور از یک طرف به طرف دیگر، زیبایی ظاهری، کاربرد در تزئینات و دکوراسیون داخلی	
بتن هوادهی شده	دارای خواص عایق حرارتی مناسب به علت وزن مخصوص کم	
فوم آلومینیوم	کاهنده هدایت الکتریکی و حرارتی	
ایروژل	جداکننده در ساخت عایق و کاهنده هدایت حرارت	
بتن خودتمیزشونده	اکسید شدن و تجزیهٔ کثیفی‌ها و دیگر مواد آلایندهٔ نشسته بر سطح بتن و تبدیل آنها به مواد بنیادین غیرآلاینده، استفاده در نمای ساختمان‌ها و کفپوش‌های جاده‌ها،	

۶. نتیجه‌گیری

ساخت‌وساز هوشمند باعث بهبود بهره‌وری، به حداقل رساندن کل هزینه زندگی، بهبود پایداری و به حداکثر رساندن مزایای کاربر می‌شود. این روش کار نه تنها می‌تواند صنعت مسکن را تغییر دهد، بلکه می‌تواند باعث بهبود کیفیت زندگی شود. هوشمندسازی در ساختمان از طریق روش‌های مختلف انجام می‌شود که یکی از این روش‌ها استفاده از مواد و مصالح

هوشمند می‌باشد. از جمله این مصالح «بتن عبور دهندۀ نور روز»، «بتن هوادهی شده»، «فوم آلومینیوم»، «ایروژل» و «بتن خودتمیزشونده» می‌باشد. بتن عبوردهنده نور روز باعث ایجاد فضای چشم‌نواز و زیبا می‌شود.همچنین مصرف انرژی الکتریسیته را کاهش می‌دهد. بتن هوادهی شده به عنوان عایق حرارت در ساختمان استفاده می‌شود. فوم آلومینیوم به دلیل وزن سبک، نسبت مقاومت و سختی به وزن بالا، چگالی پایین، درجه بالای همگنی، ضربه‌گیری مکانیکی خوب کاربردهای زیاد دارد. ایروژل دارای ضریب حرارت پایینی می‌باشد و در ساخت عایق کاربرد دارد. از بتن خود تمیزشونده نیز در نمای ساختمان‌ها و کفپوش‌های جاده‌ها استفاده می‌شود. همچنین استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم علاوه بر خاصیت خود تمیزکنندگی، سرعت هیدراسیون و مقاومت خمشی و فشاری بتن را زیاد می‌کند.

۷. منابع

منابع فارسی:

ابوطالب، نرگس (۱۳۹۵)، کاربرد مصالح هوشمند در طراحی ساختمان های آینده با محوریت معماری پایدار، کنفرانس بین المللی پژوهش در مهندسی،علوم و تکنولوژی، ۳، ۱۳۹۵، ۱-۱۲

پاچناری و موسوی داوودی، سیده مائده و سیدعلی (۱۴۰۰)، مطالعه و بررسی نقش تاثیر مصالح هوشمند سبز در معماری سبز پایدار، سیزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی ،معماری،عمران ومحیط زیست، ۱۳، ۱۴۰۰، ۱-۱۳

ثبات ثانی و مهمان نواز، ناصر و فروغ (۱۳۹۷)، همنشینی بامبو و تکنولوژی شیشه‌های هوشمند گامی به سوی معماری همساز با طبیعت (مطالعه موردی: طراحی بوفه دانشکده معماری، هنر و شهرسازی ارومیه)، مجله نخبگان علوم و مهندسی، ۳، ۱۳۹۷، ۴۵-۵۳

حمیدوند و حقایق، حمیدرضا و علی (۱۳۹۴)، نقش بتن های خود تمیز شونده حاوی نانو اکسید تیتانیوم در شهر سازی نوین، کنفرانس بین المللی معماری، شهرسازی، مهندسی عمران هنر، ۱۷، ۱۳۹۴

خاکپور، شهریار (۱۳۹۷)، بتن خودتمیزشونده، دومین کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی، ۱۳۹۷، ۱-۱۰

خلیلی جم و یزدانی و سعید، ابوالفضل و مجتبی و توحید (۱۳۹۷)، تولید فوم آلومینیوم با یک روش جدید و بررسی رفتار فشاری آن، ماهنامه مهندسی مکانیکی مدرس، ۱۸، ۱۳۹۷، ۱۸۰-۱۸۸

رئیس قاسمی و پرهیزکار، امیرمازیار و طیبه (۱۳۸۸)، نانو تکنولوژی و کاربرد نانو ذرات TiO_2 در بتن یا مالت، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۲۳، ۱۳۸۸

ظفرمندی و امیرجمشیدی و صناعی، شهرزاد و مسعود و امیر (۱۴۰۰)، کاربرد مصالح هوشمند در طراحی معماری تعاملی (نمونه موردی: بناهای هوشمند شهر تهران)، فصلنامه پژوهش‌های نوین علوم جغرافیایی، معماری و شهرسازی، ۳۲، ۱۴۰۰، ۱۵۱-۱۶۶

گرجی مهلبانی و حاج ابوطالبی، یوسف و الناز (۱۳۸۸)، مصالح هوشمند و نقش آن در معماری، مسکن و محیط روستا، ۲۸، ۱۳۸۸، ۸۸-۶۱

لطفی،مجید وهمکاران ، بتن های شفاف، شهریور ۱۳۹۲

لوک زاده و دشتی رحمت آبادی، حسین و محمدعلی (۱۴۰۱)، ویژگی ها،کاربردها و روش های تولید بتن عبور دهنده نور، شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی ،معماری،عمران ومحیط زیست، ۱۶، ۱۴۰۱، ۱-۸

مفیدی، محمدرضا (۱۳۹۶)، ساختمان هوشمند (چاپ اول)، تهران: انتشارات سیمای دانش.

وطنی اسکوی و ملاولی، اصغر و محمدمهدی (۱۳۹۴)، بررسی آزمایشگاهی مقاومت دیوارهای ساخته شده از بلوک‌های بتن سبک هوادار اتوکلاوشده AAC همراه با چسب (ملات) ویژۀ سیلکس، نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر- مهندسی عمران و محیط زیست، ۴۷، ۱۳۹۴، ۲۳-۳۱

ولی پور گودرزی و بهرامیان، بابک و احمدرضا (۱۳۹۷)، بهبود خواص حرارتی آبرعایق چندلایه بر پایه ایروژل نووالاک، فصل نامه علمی پژوهشی بین رشته ای، ۱، ۳-۱۸

ویسی، امیر (۱۳۹۵)، مصالح هوشمند، تحولی در معماری پایدار، کنفرانس بین المللی پژوهش در مهندسی، علوم و تکنولوژی، ۴، ۱۳۹۵، ۱-۲۱

منابع انگلیسی:

Al Dakheel, J., Del Pero, C., Aste, N., & Leonforte, F. (۲۰۲۰), Smart buildings features and key performance indicators: A review, Sustainable Cities and Society, ٦١,٢٠٢٠, ١٠٢٣٢٨

Chusid, M.; “Building with Autoclaved Aerated Concrete”, Masonry Construction, ١٩٩٩.

Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., & Daka, P. P. (۲۰۲۱), Artificial intelligence evolution in smart buildings for energy efficiency, Applied Sciences, ١١(٢), ٢٠٢١, ٧٦٣

Haq, M. M. A. U., & Dongapure, A. R,(۲۰۲۲), Smart Construction Materials and Techniques, International Journal of Advances in Engineering and Management, ٤, ٦٢٣-٦٢٦

Luhar, I., Luhar, S., Savva, P., Theodosiou, A., Petrou, M. F., & Nicolaides, D. (۲۰۲۱). Light transmitting concrete: a review. Buildings, ١١(١٠), ٤٨٠

Kumar, A., Sharma, S., Goyal, N., Singh, A., Cheng, X., & Singh, P. (۲۰۲۱), Secure and energy-efficient smart building architecture with emerging technology IoT, Computer Communications, ١٧٦, ٢٠٢١, ٢٠٧-٢١٧

Ritter, A (۲۰۰۷), Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design, Birkhauser

Schober, G.; “The most important aspects of microstructure influencing the strength of AAC”, in: Proceedings of ٤th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete (p.١٤٥-١٥٣), Limbachiya and Roberts ed. Taylor & Francis Group, London, ٢٠٠٥ ٢٥-٢٧٨-٩ September, ٢٠٠٥

Sobczyk, M., Wiesenhütter, S., Noennig, J. R., & Wallmersperger, T. (۲۰۲۲). Smart materials in architecture for actuator and sensor applications: A review. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, *33*(۳), ۳۷۹-۳۹۹.