ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

سال سوم. شماره ۱۸. فروردین ۱۴۰۱

نقش فوتونیک و مواد پیشرفته در شهرسازی و خانه‌های هوشمند

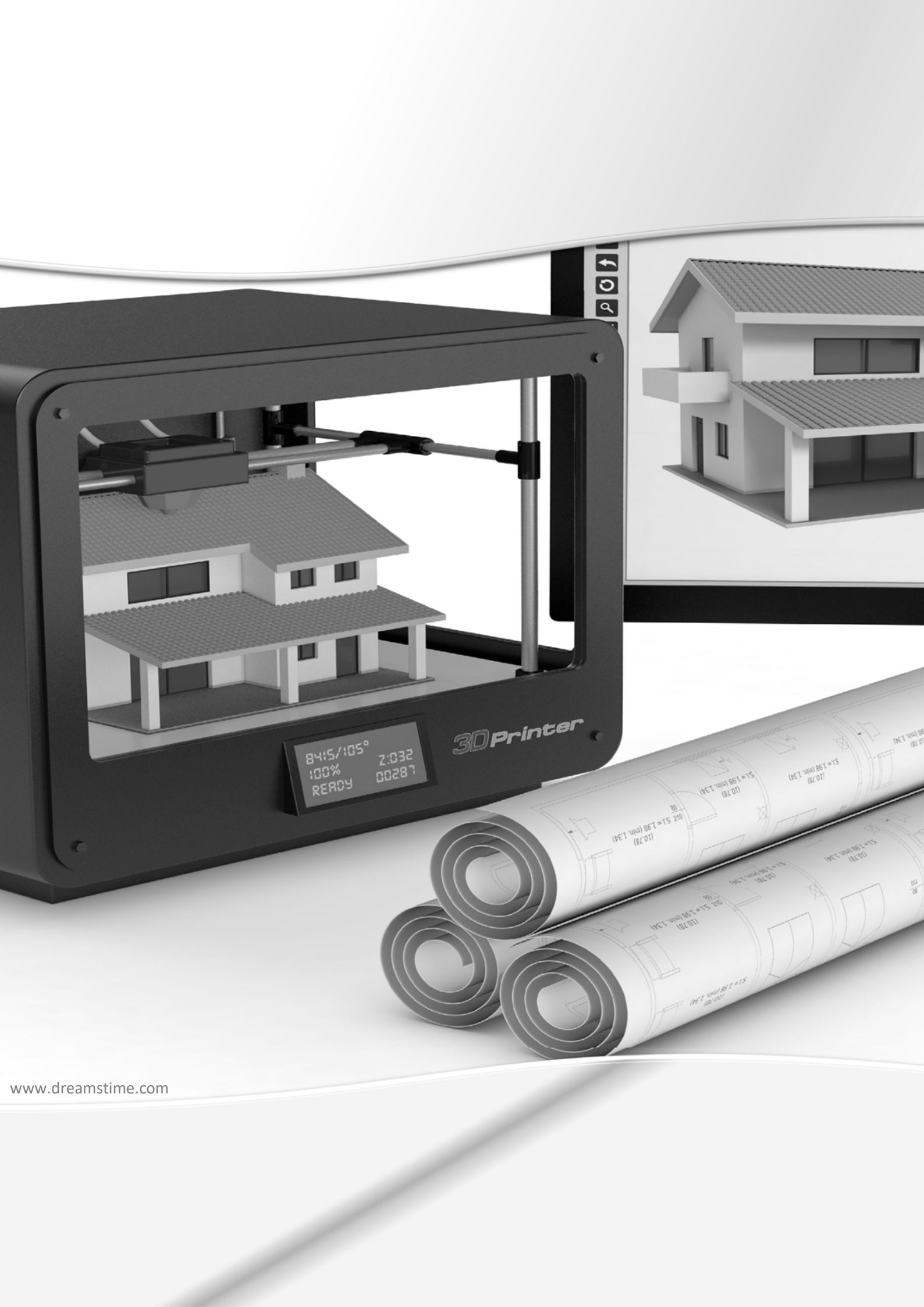
ریاست جمهوری
معاونت علمی و فناوری
ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر
مواد پیشرفته و ساخت

عایق‌های حرارتی
مانع اتلاف انرژی
در خانه‌ها

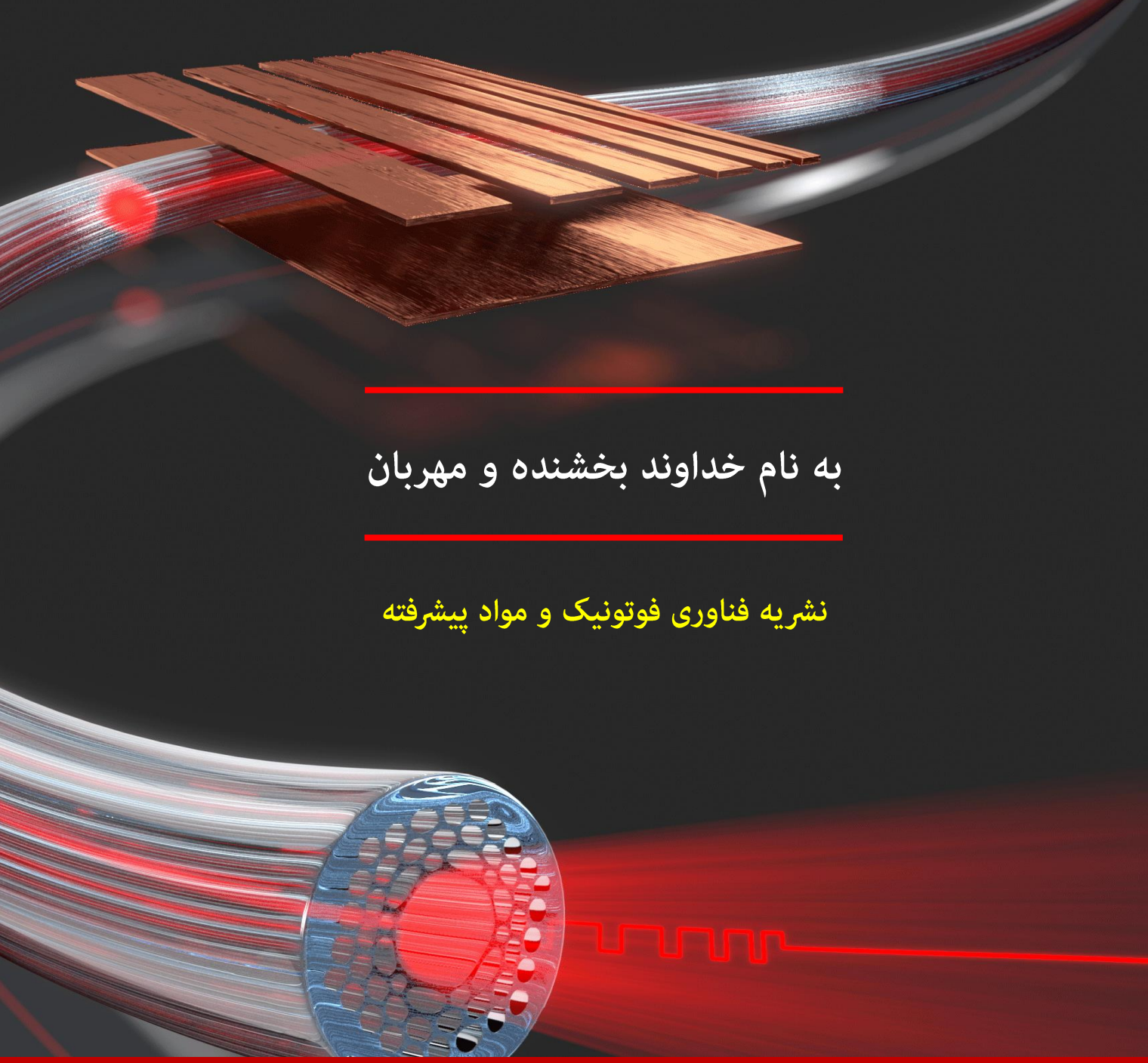
مواد کروموژیک
در فناوری
پنجره‌های هوشمند

افزودنی‌های بتن
و بهبود خواص
سازه‌های بتنی

طبقه‌بندی
مصالح ساختمانی
با اسکن سه‌بعدی



www.dreamstime.com



به نام خداوند بخشنده و مهربان

نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

ریاست جمهوری
معاونت علمی و فناوری
ستاد توسعه فناوری
فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت

پژوهشکده علوم کاربردی
دانشگاه خوارزمی

نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

صاحب امتیاز: ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت

مدیر مسئول و سردبیر: محمدحسین مجلس‌آرا

جانشین سردبیر: بابک عفافی

ویراستار و ناظر علمی: علی کاظم‌پور، سید مرتضی احمدی

تحریریه: مسعود ابراری، علی کاظم‌پور، سید مرتضی احمدی

زهره آیاره، بابک عفافی

گروه مشاورین: سیامک میرزازاده، مریم بهرامی کهیش‌نژاد
سید حسین نکومنش‌فرد، سید محمد قریشی
پشتیبانی: کیومرث مهدی‌نیا گتابی

تارنما: pam.isti.ir ; asrc.khu.ac.ir
کانال نشریه: t.me/PAM_Tech
صفحه اینستاگرام: https://instagram.com/pam_tech_
صفحه کانال آپارات: https://www.aparat.com/PAM_Tech
پست الکترونیک سردبیر: deputy@pam.isti.ir
پست الکترونیک جانشین سردبیر: babak.efafi@gmail.com

تلفن: ۰۲۱۲۲۱۸۳۱۱۳
نشانی: تهران، خیابان زعفرانیه، خیابان شهید سرلشکر فلاحی، کوچه شیرکوه، پلاک ۱۱،
ساختمان شماره دو معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری

سخن سردبیر

امروزه فناوری‌های نوین نقش مهمی را در پیشرفت و ارتقا صنایع مختلف بر عهده دارند. یکی از این صنایع، حوزه مربوط به شهرسازی و ساختمان‌های هوشمند است که در حال حاضر بازار مالی گسترده‌ای را به خود اختصاص داده است. به طوری که مطابق با جدیدترین گزارش بانک جهانی، ارزش بازار جهانی محصولات فوتونیکی این حوزه در سال اخیر بالغ بر ۸۰۰ میلیارد دلار و ارزش بازار جهانی مواد پیشرفته مورد استفاده در صنایع ساختمانی بالغ بر ۱۷ میلیارد دلار بوده است که رقم بسیار هنگفتی است! این حجم از سرمایه‌گذاری گسترده برای توسعه محصولات این حوزه نشان از تقاضای گسترده و بازار مصرف بسیار بزرگ این محصولات را دارد. در واقع هوشمندسازی زندگی که در گرو هوشمندسازی ساختمان‌ها و زیرساخت‌های شهری است، جز با ورود فناوری‌های فوتونیک شامل حسگرهای نوری و همچنین مواد پیشرفته مورد استفاده در مصالح ساختمانی، میسر نمی‌شود. امروزه کنترل هوشمند و جلوگیری از اتلاف منابع انرژی مورد نیاز ساختمان‌ها به کمک فناوری‌های فوتونیکی تسهیل شده است و مواد پیشرفته به کار رفته در ساخت و تولید مصالح ساختمانی شهری به این مهم کمک شایانی نموده است. به عنوان مثال سلول‌های خورشیدی فوتوولتائیک در قالب نیروگاه‌های کوچک بر پشت‌بام خانه‌ها در حال تولید برق ارزان از منابع پاک هستند، یا شیشه‌های ترموکرومیک و فوتوکرومیک و عایق‌های حرارتی به واسطه مواد هوشمند مورد استفاده تاثیر چشم‌گیری در جلوگیری از هدر رفت انرژی ایفا می‌کنند. همچنین مصالح ساختمانی سبک و ارزان قیمت با استحکام بسیار بیشتر از بتن معمولی به مرور جایگزین مصالح سنتی می‌شوند و به کمک چاپگرهای غول پیکر، برج‌های بلند در زمان بسیار کوتاهی با مقاومت بسیار بالا و طراحی چشم نواز ساخته می‌شوند و امنیت ساختمان‌های پیشرفته به واسطه حسگرهای بسیار دقیق فوتونیکی تامین می‌شود که همه این پیشرفت‌ها مدیون توسعه فناوری‌های نوین است. لذا نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته، بر خود لازم می‌داند گامی هرچند کوچک در راستای معرفی فناوری‌های برتر جهان بردارد و زیرساخت‌ها و امکانات موجود در داخل کشور را با هدف ارتقا کیفیت محصولات حوزه فناوری‌های فوتونیک و مواد پیشرفته مورد استفاده در صنایع شهرسازی، تجزیه و تحلیل نماید. امید است با تلاش هرچه بیشتر صنعتگران و افزایش دانش فنی تولیدکنندگان از پیشرفت‌های اخیر این حوزه، محصولاتی با کیفیت، مطابق با آخرین استانداردهای جهانی، شایسته اعتماد ستودنی هم‌میهنان عزیزمان تولید شود که به این ترتیب بتوانیم همگام با کشورهای پیشرفته دنیا به بهره‌وری حداکثری در زمینه ساخت محصولات مرتبط با این حوزه دست‌یابیم و سهم قابل توجهی از بازار گسترده جهانی این محصولات را به دست آوریم.

فهرست مطالب

اخبار فناوری

اخبار فناوری داخلی---------- ۱۰
عایق‌های حرارتی از هدر رفت انرژی در خانه‌ها جلوگیری می‌کنند
طراحی و اجرای ویدئو مپینگ، نمود و نمایش سازه‌ها را برجسته‌تر می‌کند
قابلیت‌های منحصر به فرد رنگ‌های نانو
اولین آرامستان خورشیدی در دنیا؛ ایده خلاقانه یک محقق تویسرکانی
اخبار فناوری خارجی---------- ۱۴
اولین دستیار آشپزی با تکیه بر حسگرهای تصویر پرداز گرمایی در خدمت خانه‌های هوشمند
نقشه برداری هوایی از شهرهای کرواسی با فناوری‌های اسکن لیزری پیشرفته
طراحی و ساخت سامانه روشنایی برای ساختمان هوشمند؛ سریع و کم مصرف
بهبود ویژگی‌های بتن با کامپوزیت بتن-گرافن
اخبار علمی---------- ۱۸
نسل امروزین آسفالت‌های شهری با تکیه بر مواد پیشرفته
کاوش کف‌پوش‌های سه کاخ در تخت جمشیدبا ابزار نوری

دورنما

سلول‌های خورشیدی مجتمع شده با ساختمان---------- ۲۲
موانع موجود در پذیرش BIPV
چشم‌انداز بازار جهانی BIPV

آموزش کاربردی

مواد کروموژنیک در فناوری پنجره‌های هوشمند---------- ۳۴
مـــواد فـــوتوکرومـــیک
مـــواد ترمـــوکرومـــیک

از علم تا ثروت

افزودنی‌های بتن و بهبود خواص سازه‌های بتنی---------- ۴۲
معرفی شرکت دانش‌بنیان صنایع شیمی ساختمان آبادگران
افـــزودنی‌های بتـــن، ژل میکروسیلیس
مواد فوق‌روان‌کننده و کاهنده آب
نظارت بر سازه‌ها و خطوط انتقال انرژی---------- ۵۲
معرفی شرکت دانش‌بنیان فرهیختگان حامی علم‌وصنعت
نظارت با حسگر فیبر نوری توزیعی
پایش خطوط انتقال با استفاده از فیبر نوری

نوآورانه

فناوری فوتونیک در شهرهای هوشمند---------- ۵۶
مواد هوشمند
حسگرهای هوشمند

دروازه‌های علم

کاربردهای مواد پیشرفته در صنعت ساختمان---------- ۶۶
مصالح ساختمانی با سیمان
عایق حرارتی و کاهش صدا، تنظیم دما
حفاظت در برابر آتش
طبقه‌بندی خودکار مصالح ساختمانی با استفاده از اسکن سه‌بعدی زمینی---------- ۷۷
کنترل همبستگی بین سامانه‌های ماکروسکوپیکی
استفاده از روش‌های بینایی و یادگیری ماشین

اخبار فناوری

اخبار داخلی

- عایق های حرارتی از هدررفت انرژی درخانه ها جلوگیری می کنند
- طراحی و اجرای ویدئومپینگ، نمودونمایش سازه ها را برجسته‌تر می کند

اخبار خارجی

- اولین دستیار آشپزی با تکیه بر حسگرهای تصویرپرداز گرمایی در خدمت خانه های هوشمند
- نقشه برداری هوایی از شهرهای کرواسی با فناوری های اسکن لیزری پیشرفته
- بهبود ویژگی های بتن با کامپوزیت بتن - گرافن

اخبار علمی

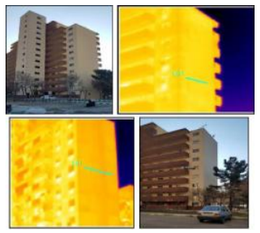
- نسل امروزین آسفالت های شهری با تکیه بر مواد پیشرفته
- کاوش کف پوش های ۳ کاخ درتخت جمشید با ابزار نوری نتایج جدیدی به‌دست می دهد

اخبار داخلی

عایق‌های حرارتی از هدر رفت انرژی در خانه‌ها جلوگیری می‌کنند

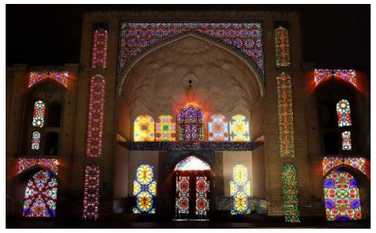
به قلم مسعود ابراری
Masoud.Abrari@gmial.com

شرکت دانش بنیان اطلس پوشش محافظ اخیرا موفق به ساخت و تولید عایق‌های حرارتی بر پایه مواد پیشرفته شده است. عایق‌های حرارتی علاوه بر قابلیت ضد حریق بودن خود می‌توانند به عنوان لایه‌ای برای جلوگیری هدر رفت انرژی در نمای بیرونی ساختمان نیز به کار آیند و موجب اصلاح الگوی مصرف انرژی شوند. این پوشش‌ها در سازه‌هایی همچون پل‌ها، تونل‌ها، یا آرماتورهای میلگردی در بتن‌ها که دارای عناصر فلزی هستند نیز کاربرد عمده‌ای خواهند داشت. پوشش‌های حرارتی این شرکت بر پایه نانومواد با دو رویکرد مختلف از هدر رفت انرژی جلوگیری می‌کند؛ حضور رنگدانه‌های مقاوم در برابر حرارت که دارای ضریب انتقال حرارت پایینی هستند و از انتقال گرما جلوگیری می‌کنند و همچنین استفاده از نانو مواد برای به دام انداختن هوا در میان آن‌ها که باعث کاهش ضریب انتقال حرارت پوشش می‌شود. از آنجا که هوا در ابعاد بسیار کوچک به دام می‌افتد، این پوشش حرارتی با ضخامت بسیار کم نیز می‌تواند عملکرد قابل قبولی داشته باشد. به دلیل پایه آب بودن این پوشش استفاده از آن نسبت به پوشش‌های حلال پایه ساده‌تر است و علاوه بر این، نسبت به عایق‌های معمولی مانند فایبر گلاس و پلی استایرن مشکلات زیست محیطی کمتری دارد. این پوشش‌ها علاوه بر فلزات، بر روی سطوح دیگر از قبیل بتن، چوب، گچ، سیمان نیز چسبندگی زیادی دارند و قابل نشاندن هستند. علاوه بر این، این پوشش‌ها ضد رطوبت هستند و در برابر نفوذ نم و باران از خود مقاومت نشان می‌دهند، به این دلیل حتی در نمای بیرونی ساختمان‌ها نیز قابل اجرا هستند. همچنین این پوشش به سادگی با آب و صابون قابل شستشو است و در برابر رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها از خود مقاومت نشان می‌دهد. همچنین می‌تواند به صورت بیرنگ و شفاف، بسته به جنس سطح زیرین استفاده شود. این شرکت اشاره می‌کند که اکثر پوشش‌های موجود در بازار کاربرد صنعتی دارند، اما محصول پوشش حرارتی این شرکت کاربرد ساختمانی دارد و می‌تواند در نمای ساختمان ضمن عایق حرارتی بودن استفاده شود. مقرون به صرفه بودن و جلوگیری از هدر رفت انرژی را مهم‌ترین ویژگی این محصول می‌توان دانست.



تصویربرداری حرارتی از دیوارهای یک مجموعه آپارتمانی با عایق حرارتی و بدون عایق حرارتی مشخص می‌کند که دمای میانگین دیوارها بین ۲ تا ۵ درجه سانتی گراد در دیوارهایی که مسلح به عایق حرارتی هستند پایین‌تر است. به این معنی که از اتلاف انرژی در این دیوارها به خوبی جلوگیری شده است.

طراحی و اجرای ویدئومپینگ، نمود و نمایش سازه‌ها را برجسته‌تر می‌کند

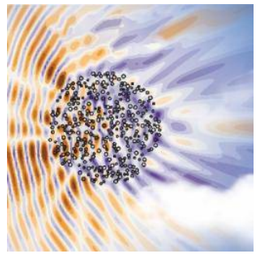


ویدئو مپینگ یا پروجکشن مپینگ یک فناوری نوین در زمینه مشترک نور و معماری به حساب می‌آید که این روزها توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است. در این فناوری ترکیبی از نور و تصویر می‌تواند حجم‌ها، سطوح نامتعارف و یا یک سازه را به یک نمایشگر ویدئویی تبدیل کند. این فناوری می‌تواند با نمایش طرح‌های سه بعدی روی سطوح مختلف که گاهی با موسیقی متناسب با سازه عجین می‌شود به زیبایی سازه و یا معرفی هر چه بهتر آن کمک کند.

از فعالان این حوزه تخصصی نوپا در ایران موسسه دانش بنیان کلید طلایی است که در سال‌های اخیر با تشکیل تیم حرفه‌ای از جوانان متخصص اقدام به طراحی و اجرای ویدئومپینگ‌های خلاقانه‌ای کرده است. از جمله این طراحی و اجراها می‌توان به نورپردازی در مجموعه میراث جهانی کاخ گلستان در فروردین ۱۴۰۱، عمارت عالی قاپو در قزوین و برج آزادی اشاره کرد. یک ویژگی خاص این روش این است که می‌توان برای هر سازه و یا اثر معماری مورد نظر، یک طراحی منحصر به فرد انجام داد و نور پردازی و تصویرنگاری را طوری طراحی و سازماندهی کرد که معرف ویژگی‌های آن سازه باشد و یا از لحاظ فضایی و سه بعدی کاملا هماهنگ با پستی و بلندی‌های آن باشد. این خاصیت به زیبایی بیشتر سازه یا حجم کمک می‌کند و ویژگی‌های آن را برجسته‌تر می‌نماید.

سعید مقدم، مدیر عامل این موسسه اشاره می‌کند، گرچه سخت افزار این فناوری ساخت داخل نیست اما طراحی و تولید محتوا که بخش مهم اثر هستند محصول خلاقیت و نوآوری مهندسان و هنرمندان داخلی است. در این فناوری، تصاویر به صورت دو بعدی و یا سه بعدی توسط نرم افزار طراحی و توسط سخت افزار بر روی سطوح اجرا می‌شود. هنرمندان با طراحی داستانی و یک سناریوی خاص می‌توانند توهمات نوری و حرکتی را با ایجاد عمق، طوری به کار گیرند که مخاطب را جذب اثر کرده و یا به معرفی برند و محصول خاصی بپردازند.

اخبار داخلی



سطح موثر نانوذرات موجود در رنگ‌های پیشرفته در تماس با پلیمرهای به کار رفته در آن باعث ناهمخوانی امپدانسی می‌شود. سطوح موثر در نانوذرات بسیار بیشتر از مواد توده‌ای است و بازتاب و پراش از این سطوح به دلیل این ناهمخوانی امپدانسی باعث می‌شود این رنگ‌ها امواج رادیویی را مسدود کنند. به این ترتیب برای محافظت از آلودگی امواج الکترومغناطیسی و یا جلوگیری از نشت سیگنال‌های WiFi می‌توان از این رنگ‌ها استفاده کرد.

قابلیت‌های منحصربه‌فرد رنگ‌های نانو

نمای بیرونی ساختمان‌ها، سازه‌های عمرانی و شهری به دلیل در معرض قرار گرفتن دائمی با هوا که شامل گرد و غبار و دود هستند، همواره در خطر اضمحلال و نابودی است. رنگ‌های سنتی پس از مدتی عملکرد خود را از می‌دهند و دچار پوسیدگی می‌شوند. در این میان رنگ‌های مبتنی بر مواد پیشرفته را می‌توان نامزد بسیار مناسبی برای جایگزینی با این رنگ‌ها معرفی کرد.

شرکت دانش بنیان رنگین نانو ساختار با ارائه پوشش‌های مبتنی بر مواد پیشرفته اخیرا اقدام به ساخت رنگ‌های نانوساختار کرده است. این رنگ‌ها به دلیل داشتن ذرات در ابعاد نانو، دارای خاصیت ضد میکروبی هستند و قابلیت از بین بردن انواع باکتری‌های مضر خانواده‌ی ایکولای و استافیلوکوکوس‌ها را دارند. به این ترتیب علاوه بر نمای ساختمانی می‌توانند در نمای داخلی بیمارستان‌ها، مدارس، ساختمان‌های تجاری و مسکونی نیز به کار آیند.

علاوه بر این، رنگ‌های نانوی ساختمانی را می‌توان با استفاده از محلول‌های آبگریز به صورت پوشش‌های هیدروفوبیک و یا ضد آب استفاده کرد. در ساختمان‌هایی که دائما در معرض رطوبت و باران هستند این رنگ می‌تواند به افزایش پایداری نما کمک بسیاری کند. پرکنندگی و پوشش دهی این رنگ‌ها نسبت به رنگ‌های سنتی بیشتر است و به راحتی با غلطک بر روی انواع سطوح رنگ آمیزی می‌شوند.

دکتر مهدی رحمانی، مدیرعامل این شرکت تاکید می‌کند که "عمده تمرکز ما بر روی خواص ضد میکروبی پوشش‌های ساخته شده است به گونه‌ای که رنگ‌ها و پوشش‌ها خاصیت ضد میکروبی دائمی داشته باشند". این رنگ‌ها همچنین غیر قابل اشتعال هستند و برای رنگ آمیزی نیاز به تینر و یا حلال آلی ندارند. در رنگ‌هایی که از پایه مواد نانو TiO_2 استفاده می‌شود به دلیل گاف انرژی 3.2 الکترون ولتی این ماده، خاصیت فوتوکاتالیستی و محافظت در برابر نور فرابنفش تقویت می‌شود. همچنین رنگ‌های مبتنی بر نانوذرات نقره دارای خواص آنتی باکتریال خوبی هستند. استفاده از نانو ذرات SiO_2 باعث بالا رفتن سختی سطح و مقاومت رنگ در برابر خراش و خوردگی می‌شود. علاوه بر این‌ها، بسته به اینکه چه نوع ماده‌ای در ساختار رنگ استفاده شود، رنگ می‌تواند دارای خاصیت‌های عایق حرارتی، انعطاف پذیری بالا روی انواع سطوح مختلف، ضد انعکاسی، خود ترمیم شوندگی و یا سد کننده امواج رادیویی باشد.

اولین آرامستان خورشیدی در دنیا؛ ایده خلاقانه یک محقق تویسرکانی

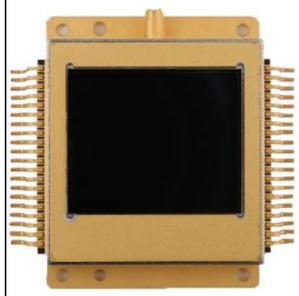
یک محقق ایرانی به تازگی ایده‌ای خلاقانه را به نام آرامستان خورشیدی به مرزهای عمل کشانده است. به گزارش خبرگزاری فارس، علیرضا تیموری تحصیل کرده رشته برق با استفاده از صفحات خورشیدی بر روی سنگ مزار، امیدوار است به تولید برق و تامین انرژی شهرهای کوچک بپردازد. این محقق انگیزه خود را رفع کمبود برق در کشور و قطعی مداوم برق در شهری همچون تویسرکان می‌داند.

این طرح به تازگی به عنوان اختراع به نام این محقق ثبت شده است. یک نمونه اجرا شده از این طرح دارای ابعاد ۱/۶۰ cm در ۷۰ cm است که توانی معادل ۲۸۰ W تولید می‌کند. این محقق با اشاره به قیمت گزاف سنگ‌های مزار امروزی که کاربردی جز شناسایی متوفی ندارند، خاطر نشان کرد که قیمت تمام شده یک سنگ مزار خورشیدی از سنگ‌های معمول نازل‌تر است و با این ایده نه تنها هزینه دفن کمتر است بلکه می‌توان در تولید برق نیز اثر بخش بود. نکته قابل توجه آرامستان‌ها دسترسی به شبکه سراسری برق است که می‌تواند این طرح را کارآمدتر و کم هزینه‌تر سازد. در مقایسه با نیروگاه‌های خورشیدی، آرامستان خورشیدی می‌تواند هزینه‌های کمتری داشته باشد زیرا نیاز به هزینه‌هایی چون خرید زمین نیروگاه ندارد. این در حالی است که آرامستان‌ها زمین‌های بسیار وسیعی دارند. همچنین، یک آرامستان همواره زیر نور خورشید قرار دارد و به ندرت ساختمان بلندی در کنار آن احداث می‌شود تا جلوی نور خورشید را بگیرد.

این محقق همچنان اشاره می‌کند که مردم از آرامستان‌ها محافظت می‌کنند و هزینه تعمیر و نگهداری آن با سهولت بیشتری رفع و رجوع می‌شود. صفحات خورشیدی هر چند وقت یکبار نیاز به شستشو و غبار روبی دارند، که این امر با توجه به فرهنگ زیارت قبور در ایران توسط خانواده متوفی شدنی است. وی می‌افزاید، این پروژه تهدیدی برای مراکز فروشنده سنگ مزار نخواهد بود؛ این مشکل به سادگی قابل حل است؛ تنها با برگزاری یک دوره آموزشی مختصر می‌توان آموزش‌های لازم را به این مراکز داد تا در مدت کوتاهی آماده خدمات رسانی به مردم باشند.

رئیس سازمان آرامستان‌های شهرداری بروجرد پس از مطلع شدن از ایده این محقق به خبرنگار ایمنا اعلام کرد که قصد دارد این طرح را عملی کند. ایشان یک قطعه ۵۰۰ تا ۶۰۰ مزاری را به نام "خورشید تابان" در آرامستان بروجرد برای اجرای این طرح در نظر گرفته است.

اخبارخارجی



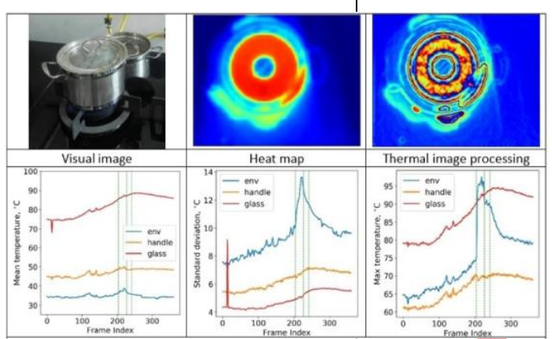
سنسورهای IR امروزی که نیازی به خنک سازی ندارند، به صورت گسترده از آرایه‌های صفحه کانونی (FPA) ساخته می‌شوند. در این سامانه آرایه‌ای از چندین میلیون فوتودتکتور در صفحه کانونی قرار می‌گیرند تا خوانش و پردازش اطلاعات نوری سریع‌تر و با نوفه کمتر انجام بگیرد.

اولین دستیار آشپزی با تکیه بر حسگرهای تصویرپرداز گرمایی در خدمت خانه‌های هوشمند

امروزه طراحی خانه‌های هوشمند به یکی از داغ ترین موضوعات مهندسی مدیریت ساخت در معماری تبدیل شده است. خانه‌های هوشمند مجموعه‌ای از نرم افزارها و سخت افزارهایی است که به منظور نظارت و کنترل یکپارچه ساختمان نصب می‌شود تا مدیریت مصرف انرژی کارآمدتر باشد. حسگرهای معمول به کار رفته در ساختمان‌ها از جمله حسگرهای تشخیص دما، رطوبت، شرایط نوری، تشخیص حرکت و گاز به طور کلی یک ویژگی مشترک دارند؛ همه آن‌ها نقطه‌ای هستند و وضوح مکانی ندارند. برای مثال حسگرهای دما تنها دمایی را گزارش می‌کنند که میانگین دمای اتاق در یک نقطه است.

در مقابل، حسگرهای تصویرنگاری دیداری وضوح فضایی بالایی دارند که توسط میلیون‌ها آشکارساز به دست می‌آید. بر این اساس می‌توان به تجزیه و تحلیل اطلاعات بدون ساختار پرداخت و کارآمدی خانه هوشمند را چندین برابر کرد. امروزه حسگرهای تصویرنگاری حرارتی با هدف جلوگیری از خطرات آتش سوزی و راهنمای آشپزها در آشپزخانه، می‌توانند به افزایش ایمنی ساختمان و سطح رفاه خانه‌های هوشمند کمک کند. تقریبا ٤٩ % آتش سوزی‌های خانگی در کشور آمریکا به علت پخت و پز است. حتی با وجود حسگر دود این آتش سوزی‌ها ادامه دارد، زیرا در هنگام تشخیص دود دیگر برای مهار آتش دیر شده است.

Cooksy-Pro اولین محصول دستیار آشپزی هوشمند در دنیا است که توسط شرکت کوکسی طراحی شده است. این حسگر با ادغام در هود آشپزخانه می‌تواند به نظارت و کنترل دمای اجاق و محیط اطراف بپردازد. علاوه بر این پردازش سریع و تحویل به موقع اطلاعات در حسگرهای حرارتی امری ضروری است. شرکت Arrow Electronics با تکیه بر هوش مصنوعی (STM) X-CUBE AI سنجش‌های حرارتی را قابل اعتمادتر و مقرون به صرفه‌تر کرده است. در این فناوری یک غربال‌گری سریع و دقیق از دمای محیط انجام می‌شود. این سامانه از ٤ جز تشکیل شده است؛ یک حسگر ToF، که فاصله دقیق را تا ٤٠٠ سانتی متر مشخص می‌کند، حسگر حرارتی STM که دمای محیط را تشخیص می‌دهد و به صورت دینامیکی تفاوت‌های دمایی را جبران می‌کند تا امکان اندازه‌گیری پیچیده را با سرعت بالا فراهم کند، یک حسگر حرارتی مادون قرمز موج بلند که توسط شرکت Meridian Innovation، ساخته شده است و یک پردازنده دو هسته‌ای با پهنای فرکانسی ٤٨٠ MHz. همچنین با استفاده از یادگیری عمیق هوش مصنوعی یک فرآیند کاهش نوفه تصویری نیز در این سامانه گنجانده شده است که بر روی یک شبکه عصبی پیچیده (CNN) اجرا می‌شود. این بسته هوش مصنوعی بر روی یک میکرو کنترلر اجرا می‌شود و می‌تواند فاصله اجسام و همچنین حضور انسان‌ها را تشخیص دهد و تصاویر را با فرمت حرارتی و یا RGB نمایش دهد.



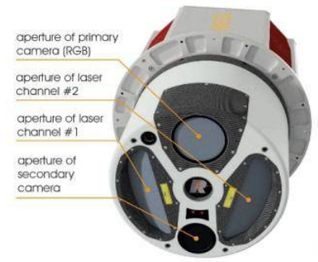
نقشه‌برداری هوایی از شهرهای کرواسی با فناوری‌های اسکن لیزری پیشرفته

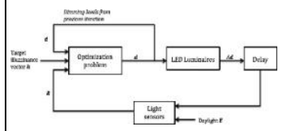
روش‌های تصویر نگاری با کمک اسکن لیزری گام‌های بزرگی را در زمینه معماری شهری برداشته است و به سرعت در حال پیشرفت است. حسگرهای هوابرد یکپارچه که در آن‌ها تصاویر و داده‌های لیدار مکمل یکدیگر می‌شوند فرصت‌های نوینی را در موقعیت‌های پیچیده همچون نقشه برداری شهری فراهم می‌کند. برنامه ریزی شهری نوین مستلزم اطلاعات جغرافیایی هر چه دقیق‌تر است. ارتوفتوگرافی زمانی متضمن نقشه نگاری شهری بود، اما امروزه مهندسان به جزئیات بیشتری نیاز دارند.

در پروژه‌ای که اخیرا توسط Eurosense انجام شده است، دو شهر نمادین دوبرونیک و اسپلیت در کرواسی با استفاده از فناوری جدیدی که حسگر هوابرد یکپارچه نامیده می‌شود نقشه برداری شده‌اند. این شهرها با داشتن بافت‌های سنتی و پیچیده و اختلاف ارتفاعات محلی بالغ بر ۱۰۰۰ متر و ساختار بسیار متراکم دشواری‌های نقشه برداری هوایی را دوچندان می‌کنند.

در این پروژه از دو اسکنر لیزری بسیار پیشرفته RIEGL VQ-1560II و VQ-1560i-DW که دارای قابلیت دیجیتالی کردن شکل موج و پردازش شکل موج برخط هستند استفاده شده است. هر دو حسگر از طراحی کانال لیزری دوگانه بهره می‌برند که چگالی نقاط بالا را امکان پذیر می‌کند. هر دو کانال لیزری VQ-1560II دارای طول موج ١٠٦٤ nm است در حالی که حسگر VQ-1560i-DW دارای دو طول موج ١٠٦٤ nm و ٥٣٢ nm است. علاوه بر این یک سامانه ناوبری و یک سامانه مدیریت پرواز و دو دوربین دیجیتال ۱۰۰ و ۱۵۰ مگا پیکسلی این اسکنرها را تکمیل می‌کنند. تصاویر با دقت نمونه برداری ۱۰ cm و چگالی نقاط لیزری ۲۴/۵ نقطه بر متر مربع تهیه شده‌اند. چگالی این نقاط در مناطق متراکم شهری تا ۹۰ نقطه بر متر مربع می‌رسد.

علاوه بر این، از ویژگی‌های منحصر به فرد این پروژه استفاده از لیزر ٥٣٢ nm است که می‌تواند به عمق آب نفوذ کند و تصاویری از بستر دریا ارائه دهد. در برخی مناطق تا عمق ۱۲ متری بستر حاشیه ساحلی به خوبی نقشه برداری شده است.





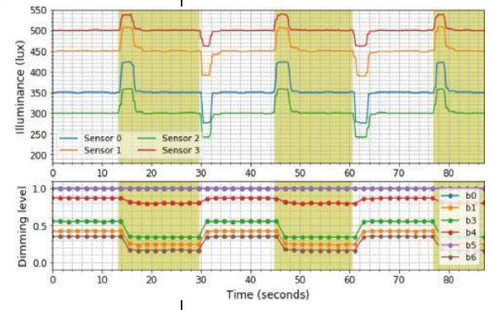
به دلیل خطاهای موجود در نورسنجی، خود کالیبره شدن حسگرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این فناوری کمک می‌کند میزان تلفات انرژی کمتر شود و همچنین زمان پاسخ به تغیرات محیطی کوتاه‌تر باشد. این سامانه قادر است در کمتر از ۲ ثانیه به تغیرات نوری محیط پاسخ دهد. همچنین حضور یا غیاب نفرات در اتاق را در کمتر از ۳۵۰ میلی ثانیه تشخیص می‌دهد.

طراحی و ساخت سامانه روشنایی برای ساختمان هوشمند؛ سریع و کم‌مصرف

کنترل انرژی مصرف شده در ساختمان‌ها از اساسی‌ترین اهداف طراحی خانه‌های هوشمند به حساب می‌آیند. انرژی مصرف شده سامانه‌های روشنایی در ساختمان‌های اداری بخش قابل توجهی از انرژی کل ساختمان را تشکیل می‌دهد. بهینه کردن و یا به حداقل رساندن این انرژی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که مهندسان طراحی داخلی ساختمان با آن مواجه هستند.

به تازگی محققان دانشگاه واترلو کانادا در همکاری مشترک با دانشگاه کمبریج موفق به طراحی و ساخت یک سامانه نورپردازی هوشمند با قابلیت خود کالیبره شدن هوشمند شدند. این گروه مدعی هستند که این سامانه به طور خودکار به تغیرات نور روز و همچنین پر و یا خالی بودن اطاق از نفرات واکنش می‌دهد و می‌تواند مصرف انرژی را تا حدود ۴۰ % در مقایسه با سامانه‌های روشنایی LED معمولی کاهش دهد. به طور همزمان این سامانه روشنایی میزان روشنایی محیط و حضور نفرات در محیط را از حسگرهای واقع در نقاط کاری (work stations) مشخص دریافت می‌کند و با استفاده از یک فرآیند خود کالیبره شونده، رابطه بین میزان روشنایی هر لامپ و روشنایی دریافت شده هر نقطه کاری را تخمین می‌زند. سپس با استفاده از یک الگوریتم کنترل تطبیقی، روشنایی

مورد نظر در لامپ‌ها را با توجه به نوسانات نوری محیط و یا آنچه دلخواه افراد است کنترل می‌کند. در این فرآیند با استفاده از محاسبات دوره‌ای مجدد به صورت لحظه‌ای تصحیحات مصرف انرژی چنان صورت می‌گیرد که توان مصرفی به بهینه‌ترین حالت ممکن خود درآید. این گروه بر اساس شبیه سازی‌های گسترده خود بر روی این سامانه و جمع آوری اطلاعات نور در طول روز و میزان حضور افراد در محیط اتاق به مدت ۷ ماه نشان دادند که مصرف انرژی را می‌توان تا حدود ۴۰ % کاهش داد. علاوه بر این، محققان مدعی شده‌اند که این سامانه با سرعت زیادی به تغیرات نور روز، حضور نفرات و ترجیحات کاربران پاسخ می‌دهد. نتایج این طراحی و پژوهش به صورت مقاله‌ای در مجله Energy and Buildings در ماه مارس ۲۰۲۲ به چاپ رسیده است.



بهبود ویژگی‌های بتن با کامپوزیت بتن-گرافن

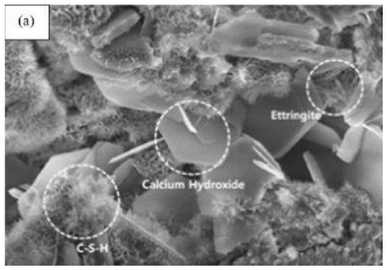
شهر نشینی فزاینده و الزامات مقرراتی جدید مهندسی ساختمان‌ها در سراسر جهان، رویارویی با چالش‌های زیرساختی نوینی را باعث شده است. پاسخ به این چالش‌ها باعث توسعه مواد پیشرفته شده و ساخت و ساز نوین نانو مهندسی را به ارمغان آورده است. ترکیب مواد و ساخت کامپوزیت‌های پیشرفته، خواص ساختاری و مکانیکی جدیدی به سیمان و بتن داده است.

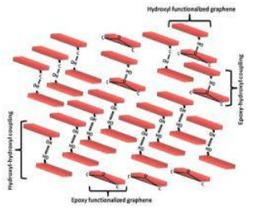
بتن به عنوان پرکاربرد ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته می‌شود. این ماده به دلیل استحکام و دوام طولانی مدت، سال‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. علیرغم ویژگی‌های منحصر به فرد بتن، بخش صنعتی به دلیل نیاز به حداقل رساندن انتشار دی اکسید کربن جهانی، با واکنش‌های شدید استفاده از بتن مواجه است.

تحقیقات اخیر محققان نشان می‌دهد که به شرط ترکیب بتن با مواد پیشرفته می‌توان ویژگی‌های مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی آن را بهبود بخشید. بتن ساخته شده از سیمان معمولی استحکام فشاری بسیار خوبی دارد. با این حال، استحکام کششی ضعیف آن را می‌توان با کامپوزیت‌های گرافن-بتن به مراتب تقویت کرد و آن را منعطف‌تر کرد. این ترکیب گرافن می‌تواند طول عمر ساختمان‌ها را با کاهش ترک‌ها و خوردگی افزایش دهد.

در روشی که این محققین پیشنهاد می‌کنند، به آب اجازه داده می‌شود تا مستقیما در مخلوط بتن جایگزین شود. این فرآیند شامل تشکیل سوسپانسیون‌های گرافن در آب با سورفکتانت سدیم کلات است که منجر به تشکیل گرافن عاملدار (FG) می‌شود. سپس گرافن عاملدار با استفاده از میکسر در بتن مخلوط می‌شود تا کامپوزیت پیشرفته گرافن-بتن شکل بگیرد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که گرافن نه تنها مقاومت فشاری بتن بلکه مقاومت خمشی را نیز افزایش می‌دهد.

کامپوزیت بتن-گرافن به مثابه یک مانع آب عمل می‌کند که از خوردگی میلگردهای فولادی جلوگیری می‌کند و همچنین ظرفیت گرمایی این ماده را افزایش می‌دهد. همچنین مشخص شد که سازه‌های بتن مسلح با گرافن تاثیر مثبتی بر محیط زیست می‌گذارند، زیرا به طور قابل توجهی انتشار دی اکسید کربن را کاهش می‌دهند. نتایج این تحقیقات به صورت مقاله‌ای در Materials Today: Proceedings در سال ۲۰۲۲ به چاپ رسیده است





افزایش نسبت‌های ترکیبی در بتن با مواد رایج امروزی به منظور افزایش مقاومت و عملکرد مناسب آن امکان پذیر نیست. از این رو گرافن اکساید که دارای سطح ویژه بسیار زیادی است می‌تواند با نسبت‌های بسیار کم به بتن اضافه شود و خواص آن را بهبود بخشد. وجود گروه‌های عاملی اکسیژن دار در گرافن باعث حلالیت بالای آن در آب می‌شود که می‌تواند در فرایند هیدراسیون بتن به راحتی با آن ترکیب شود و کامپوزیت گرافن-بتن را به وجود آورد. این قابلیت در سایر نانوذرات به سختی قابل دسترسی است.

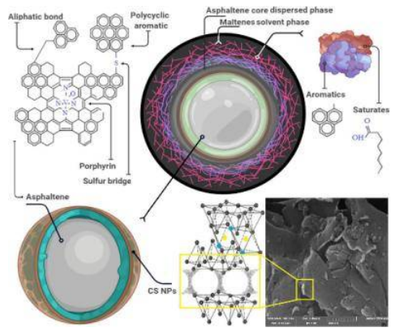
نسل امروزین آسفالت‌های شهری با تکیه بر مواد پیشرفته

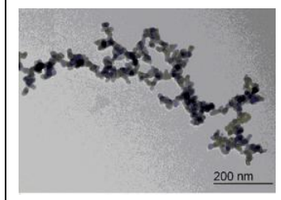
پژوهشگران دانشگاه سوانسی با همکاری دانشگاه فنی براونشوایگ به تازگی موفق به ساخت یک منسجم کننده آسفالت نوین و سازگار با محیط زیست شده‌اند. این محصول گونه‌ای جدید از افزودنی‌های آسفالت مخلوط گرم (WMA) است که مصرف انرژی را به صورت قابل توجهی کاهش می‌دهد و همزمان گازهای گلخانه‌ای را در طول فرآیند ساخت آسفالت کاهش می‌دهد.

محققان در این پژوهش با استفاده از مواد پیشرفته ترکیبی رس/اروزیل یک راهبرد ضد پیری برای وقفه در زوال آسفالت پیشنهاد کرده‌اند. دکتر سجاد کیانی از محققان این پژوهش می‌گوید: "منسجم کننده‌های معمول آسفالت به دلیل گرما، نور خورشید و آب مستعد پیری هستند که تاثیر مخربی بر کیفیت روسازی و کاهش دوام آسفالت دارد. ما دریافتیم که افزودن ذرات تقویت شده با مواد معدنی نه تنها اکسیداسیون و پیری آسفالت را کاهش می‌دهد، بلکه باعث بهبود طول عمر روسازی جاده‌ها و کاهش انتشار آلاینده‌های مرتبط با آسفالت می‌شود".

آزمایش‌های رئولوژی منسجم کننده آسفالت نشان می‌دهد که افزودن ۰/۲ تا ۰/۳ درصد وزنی رس/اروزیل، مقاومت رئولوژیکی آسفات را پس از پیری کوتاه‌مدت و طولانی‌مدت به حداکثر می‌رساند. رسل/اروزیل به عنوان یک سپر در برابر اکسید شدن و تخریب حرارتی عمل می‌کند. لایه‌های رسی مقاومت حرارتی بالایی دارند و از تجزیه پیوندهای شیمیایی جلوگیری می‌کنند و در نتیجه پیری منسجم کننده را به تاخیر می‌اندازند. در مقایسه با آسفالت معمولی، فناوری WMA با افزودنی‌های نوین می‌تواند تولید کربن را با کاهش CO_2 تا ۱۵ % کاهش دهند زیرا در دمایی تا ۴۰ درجه سانتی گراد پایین‌تر از آسفالت معمولی تولید می‌شوند. همچنین این فناوری می‌تواند بر محدودیت‌های ناشی از حساسیت به رطوبت غلبه کند. آب گریز بودن نمونه‌های تولید شده باعث می‌شود رطوبت و قطرات آب به آسفالت نفوذ نکنند و پایداری این نوع آسفالت در برابر نفوذ رطوبت به مراتب بالاتر رود.

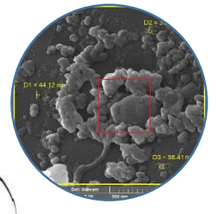
محقق ارشد این پژوهش دکتر گشتاسپ چراغیان از دانشگاه فنی براونشوایگ می‌گوید: "کامپوزیت پیشرفته ما یک ماده مقرون به صرفه و غیر سمی است که می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر پایداری آسفالت مخلوط گرم داشته باشد". نتایج این پژوهش در ماه مارس ۲۰۲۲ در نشریه Nanotechnology Reviews به چاپ رسیده است.

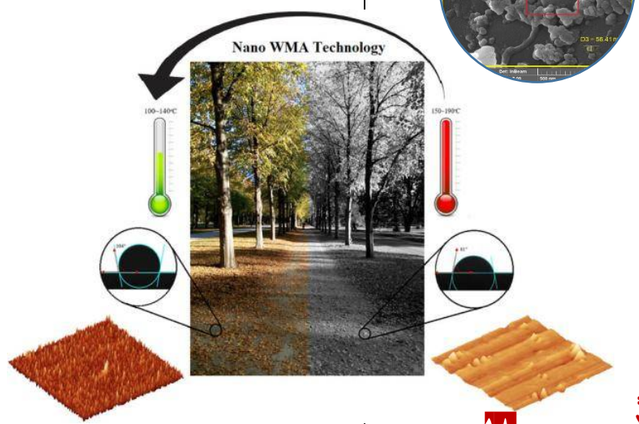




اروزیل یا fumed silica، که با عنوان سیلیکای پیروژنیک نیز شناخته می‌شود، شامل ذرات میکروسکوپی SiO_2 آمورف است، که دارای ساختار سه بعدی به خصوصی است.

ذرات سیلیکای پیروژنیک معمولا به صورت زنجیره‌هایی باز و به هم پیوسته است، از این رو چگالی آن بسیار پایین است و از سطح ویژه بسیار بالایی (m^2/g ۵۰-۶۰۰) برخوردار است. ساختار سه بعدی این ماده باعث افزایش چسبندگی در کاربری‌هایی همچون منسجم کننده‌ها دارد.





کاوش کف‌پوش‌های سه کاخ در تخت جمشید با ابزار نوری نتایج جدیدی به دست می‌دهد

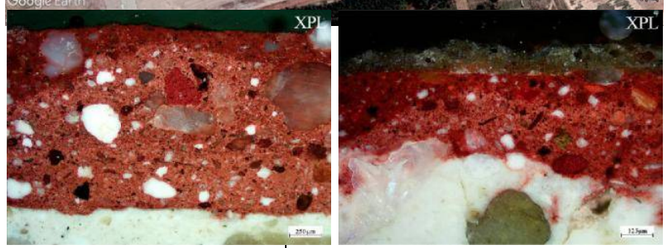
گروهی از محققین دانشگاه هنر اصفهان با همکاری پژوهشکده میراث فرهنگی و گردشگری تهران به بررسی مجدد گچ کاری‌های کفپوش واقع در کاخ‌های تخت جمشید پرداخته‌اند. در این پژوهش سه کاخ تخت جمشید یعنی کاخ خزانه، تچر و کاخی شبیه آپادانا که در حفاری‌های بخش جنوبی کشف شده، توسط روش‌های نوری مورد بررسی قرار گرفت.

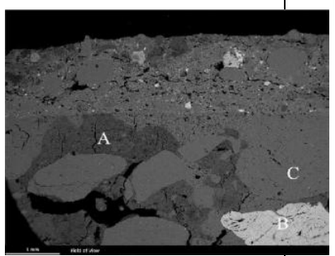
جنبه‌های چشمگیری از هنرهای تزئینی در معماری تخمت جمشید دیده می‌شود. از جمله این آذین‌ها می‌توان به کاربری رنگ‌های مختلف در نقش برجسته‌های سنگی، گچ کاری‌ها و تزئین کفپوش با رنگ سرخ در بخش‌های مختلف بناهای تخت جمشید اشاره کرد.

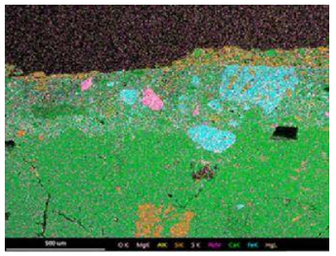
در این پژوهش با استناد به روش‌های طیف سنجی نشری پلاسمای جفت شده القایی، میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی، XRD و EDS مشخص شده است که گچ کاری‌های کف کاخ‌ها از دو لایه مجزا تشکیل شده است؛ یک لایه سفید داخلی ضخیم ۲ سانتی متری که ترکیبی است از کلسیت و تکه‌های کوچک سنگ و یک لایه خارجی سرخ رنگ و نازک به ضخامت‌های مختلف (در کاخ‌های مختلف) بین ۰/۲ تا ۱/۵ میلی‌متر، که متشکل از کلسیت و هماتیت است.

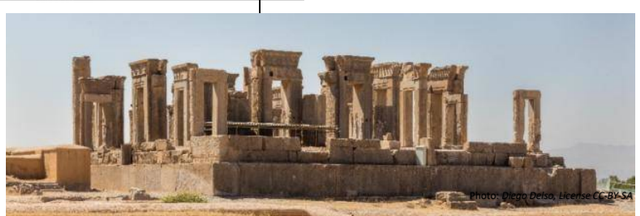
نکته قابل توجه در لایه سرخ رنگ این کف پوش در کاخ تچر وجود شنگرف و یا سینابر (HgS) به عنوان رنگدانه در ترکیب با هماتیت است، در حالی که در دو کاخ دیگر، تنها از هماتیت در کفپوش‌ها استفاده شده است.

پیش از این کاوش‌های بسیاری در تخت جمشید انجام شده است. این گروه نتیجه مطالعات پیشین را تایید می‌کند، اما با تکیه بر مستندات آنالیزهای نوری، اشاره می‌کند نتایجی که استودولسکی سالیان پیش گرفته است چندان صحیح نیست. نتایج این پژوهش در آوریل سال ۲۰۲۲ در نشریه Studies in Conservation به چاپ رسیده است.









دورنما

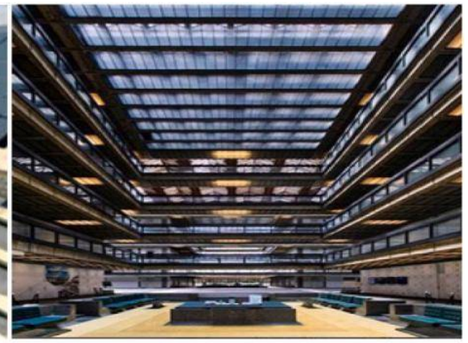
سلول‌های خورشیدی مجتمع شده با ساختمان (BIPV)

افزایش روز افزون نیاز بشر به انرژی از یک سو و اهمیت یافتن حفظ محیط زیست و جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای از سوی دیگر، نیاز به یافتن منابع جایگزینی را برای سوخت‌های فسیلی ایجاد کرده‌است. بهره‌گیری از انرژی خورشیدی یکی از راهکارهای برون رفت از وضعیت فعلی انرژی جهانی است. برخلاف سایر منابع انرژی که معمولا فاصله زیادی بین محل تولید و مصرف آن‌ها وجود دارد و همچنین بر خلاف تصوری که در مورد انرژی خورشیدی رایج است، این انرژی قابلیت تولید و استفاده در یک مکان واحد را دارد. اگر این استفاده از انرژی خورشیدی و تولید انرژی الکتریکی بدون ایجاد تغییر در روال فعلی زندگی افراد باشد، با استقبال گسترده‌ای روبرو خواهد شد. پنل‌های خورشیدی مجتمع شده با ساختمان، تجهیزاتی هستند که این امکان را فراهم می‌کنند. فرض کنید سرامیک نصب شده روی نمای خانه یا عایق نصب شده روی پشت بام منزل علاوه بر انجام وظیفه خود، به تولید برق نیز مشغول باشند! در دورنمای این شماره از نشریه فوتونیک و مواد پیشرفته به بررسی فناوری‌ها و بعد اقتصادی این خانواده از پنل‌های خورشیدی خواهیم پرداخت.

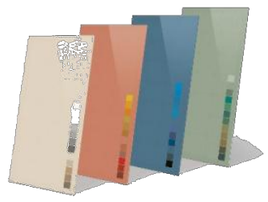
سلول‌های خورشیدی مجتمع شده با ساختمان (BIPV)

به قلم سید مرتضی احمدی
seyedmortezaahmadi@gmail.com

هنگامی که از انرژی خورشیدی صحبت می‌شود، فکر ما به صورت ناخودآگاه به سمت پنل‌های خورشیدی نصب شده در بیابان‌ها و پارک‌های خورشیدی بزرگ می‌رود. این‌گونه استفاده از پنل‌های خورشیدی در کنار مزایای بسیار، دارای معایبی نیز هستند. از جمله این که در فواصل دور از نقاط مصرف قرار داشته و نیازمند احداث خطوط برق رسانی طولانی بوده که با هزینه و اتلاف انرژی نیز همراه است. همچنین، تولید توان در مقیاس گسترده به وسیله انرژی خورشیدی در صورتی که هوا ابری شود، پایداری شبکه را با مشکل مواجه کرده و نیازمند جبران‌سازی‌های هزینه‌بر است و توصیه می‌شود که پنل‌های خورشیدی به صورت پراکنده نصب گردند. در تلاش‌های دیگری که برای بهره‌گیری از فناوری فوتوولتائیک در نزدیکی منازل و مکان‌های مصرف انجام شده است، این پنل‌ها را به روی پشت بام منازل انتقال داده‌اند. این خلاقیت با اینکه مشکلات حالت اول استفاده از پنل‌های خورشیدی را حل می‌کند، اما از زیبایی ساختمان‌ها و پشت بام‌های منازل کاسته است که این موضوع برای بسیاری از افراد قابل توجیه نیست و این افراد ترجیح می‌دهند که برای حفظ زیبایی منازل خود از استفاده از پنل‌های خورشیدی در پشت بام صرف نظر کنند. حال چه می‌شد اگر می‌توانستیم پنل‌های خورشیدی را به صورت مصالح ساختمانی و بدون تغییر در وضعیت زیباشناسی ساختمان به کار ببریم؟ خوشبختانه این فکر قبلا به ذهن پژوهشگران رسیده است و پنل‌های خورشیدی مجتمع‌شده با ساختمانی (BIPV) تولید کرده‌اند که حتی راهی بازار نیز شده است. از BIPVها به عنوان کاشی‌ها، پرده‌ها و شیشه‌هایی که پنل خورشیدی در ساختار آن‌ها نهفته است، در پشت بام‌ها و نماهای ساختمان استفاده می‌شود که دارای استانداردهای مصالح ساختمانی نیز هستند و تولید برق پاک را در کنار زیبایی و استحکام بنا به صورت همزمان به ارمغان می‌آورند. در ادامه به بررسی دقیق‌تر و دورنمای BIPVها خواهیم پرداخت.



تولید انرژی‌های تجدیدپذیر توجه جهانی را به خود جلب کرده است تا موضوع تغییرات اقلیمی و سایر عوامل موثر مانند کاهش مداوم منابع انرژی سنتی، آلودگی محیط زیست، رشد مصرف برق و نیاز به برق رسانی به مناطق روستایی را پاسخگو باشد. در میان انواع مختلف منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی (PV) به دلیل فراوانی تابش خورشیدی، بازدهی رو به افزایش سلول‌های خورشیدی و هزینه تعمیر و نگهداری پایین دارای بیشترین پتانسیل تامین برق بشر هستند. بر طبق آمار آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، ظرفیت تولید برق فوتوولتائیک جهان در سال ۲۰۲۰ از ٦٤٧ هزار مگاوات عبور کرده‌است. با این وجود، فضای مورد نیاز برای پارک‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ و محدودیت‌های تملک زمین، رشد تاسیسات فوتوولتائیک را به ویژه در مناطق شهری تا حد زیادی کاهش می‌دهد.



BIPVها، سلول‌های خورشیدی هستند که بدون تخریب پارامترهای زیبایی‌شناسی بر روی مصالح ساختمانی سوار شده و مستقیما در فرایند ساخت، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

دورنما
۲۳
فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
شماره هجدهم فروردین ۱۴۰۱

رویکردهای تبدیل انرژی خورشیدی، فناوری فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان (BIPV) رویکردی برای اتصال ماژول‌های خوشبختانه، در این زمینه، با توجه به تطبیق‌پذیر بودن سایر فوتوولتائیک به سطوح موجود بدون ایجاد اختلال در عملکرد اصلی سطوح است که می‌تواند پشت بام‌های بزرگ و نمای ساختمان را به محل نصب تجهیزات فوتوولتائیک تبدیل کند.

نوع دیگری از تجهیزات فوتوولتائیک ساختمانی که از آن‌ها با نام سامانه‌های فوتوولتائیک پیوست شده به ساختمان (BAPV) یاد می‌شود نیز وجود دارند. در این نوع از تجهیزات، بر خلاف BIPV که سلول‌های خورشیدی به صورت مجتمع شده بر روی مصالح ساختمانی استفاده می‌شوند، ماژول‌های فوتوولتائیک بدون در نظر گرفتن کاربرد دوگانه بر روی ساختمان نصب خواهند شد. سامانه‌های BIPV همچنین می‌توانند از طریق مقاوم‌سازی (بازسازی) با ساختمان‌های موجود ادغام شوند که این امر یک رویکرد خلاقانه و عملیاتی بوده که خودکفایی الکتریکی در ساختمان‌ها را با تولید انرژی پاک و بدون به خطر انداختن ظاهر زیبایی‌شناسی فراهم می‌کند. بنابراین، BIPV به عنوان یک فناوری کم کربن بسیار امیدوار کننده عمل کرده که از جنبه‌های مختلفی مانند کاهش هزینه مالی، استقلال الکتریکی، عایق حرارتی و مقاومت در برابر شرایط آب و هوایی دارای مزیت است. در نتیجه، ظرفیت نصب شده جهانی سامانه‌های BIPV نرخ رشد سالانه ۱۸,۷ درصد در سال ۲۰۱۹ را به خود اختصاص داد که به تولید برق ۱۱۵۲,۳ مگاواتی انجامید.

جدای از تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، BIPV به توسعه ساختمان‌های پایدار کمک می‌کند که نقش مهمی در کاهش رشد انتشار CO_2 و گرم شدن کره زمین دارند. طبق گزارش آژانس بین المللی انرژی (IEA)، بخش ساختمان، بدون در نظر گرفتن انتشارات حاصل از تولید مصالح ساختمانی، ۳۶ درصد از مصرف انرژی و ۳۹ درصد از انتشار CO_2 مرتبط با انرژی را به خود اختصاص می‌دهد . بنابراین، کاهش انتشار CO_2 در طول مراحل طراحی و ساخت ساختمان، اهمیت بسیار زیادی در جو ایجاد شده برای جلوگیری کاهش ۲ درجه‌ای دمای دارد. در این زمینه پژوهشگران بین‌المللی، مطالعات در مورد طراحی انرژی ساختمان برای مبارزه با گرمایش جهانی را ادغام کردند و شاخص انتشار CO_2 را به عنوان عامل اصلی برای ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان ارائه داده‌اند. در این چارچوب، تهویه طبیعی و استراتژی‌های بیومیمیک را به ترتیب برای دستیابی به انتشار کربن کم/صفر در ساختمان‌ها مورد بحث قرار دادند. به طور خاص انتشار کربن عملیاتی ساختمان‌های مبتنی بر BIPV را ارزیابی کرده‌اند و نشان داده‌اند که استفاده از فوتوولتائیک مجتمع شده با ساختمان، انتشار کربن را تا ۵۰٪ کاهش می‌دهد. توجه داشته باشید که گزینه‌های دیگر برای طرح‌های کاهش CO_2 در خارج از محیط ساختمان عبارتند از:

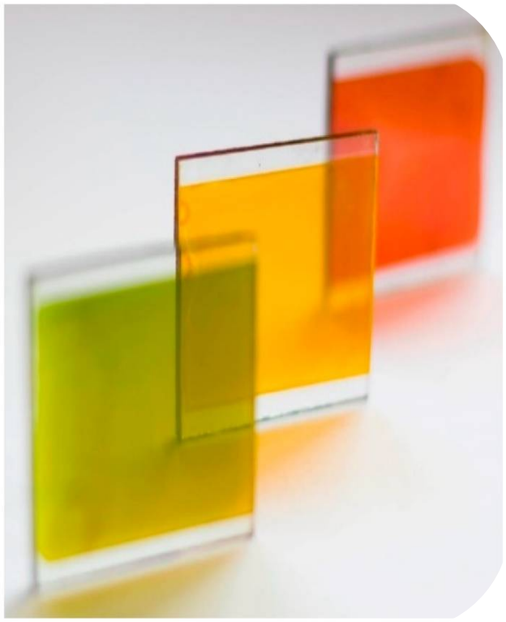
(الف) تولید انرژی هیدروژنی پاک، (ب) فرمولاسیون سوخت‌های مبتنی بر هیدروکربن، (ج) جمع‌کننده‌ها و سامانه‌های حرارتی فوتوولتائیک متمرکز و (د) ایستگاه‌های شارژ وسایل نقلیه الکتریکی مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر. در رابطه با عملکرد انرژی ساختمان، از منابع بالا مشخص است که صرف نظر از اقلیم یا شکل شهری، BIPV یک روش مقرون به صرفه برای کاهش انتشار کربن در سطح جهانی به ویژه در سبد برق مناطق پرمصرف است. بنابراین، پیش‌بینی می‌شود که BIPV نقش مهمی در دستیابی به انرژی پایدار جهانی ایفا کند، که یکی از موانع استراتژیک ساختمانی برای اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد (UN) است.

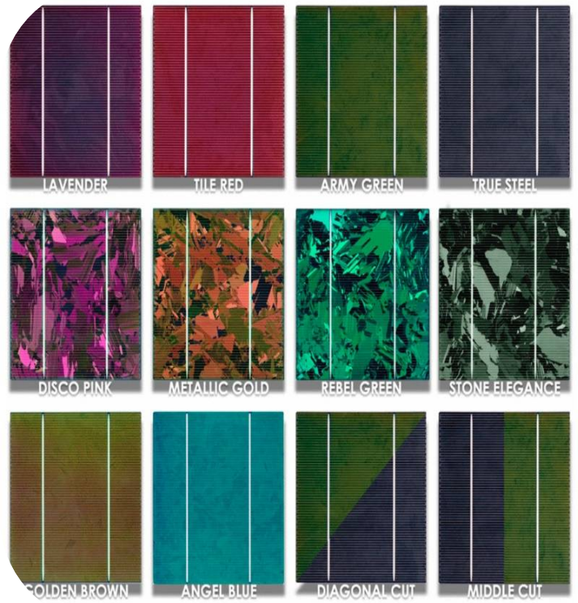
پیشرفت‌های اخیر در فنآوری‌های BIPV، باعث شده است که این فناوری‌ها به جای اینکه صرفاً بخشی جدایی‌ناپذیر از سازه باشند، شکل قابل قبول و دلپسندی از لحاظ زیبایی‌شناختی معماری به خود بگیرند. BIPVها عموماً به عنوان کاربردهای ساختمانی مانند نما، سامانه‌های پنجره‌بندی، عناصر سایه بان بالکن‌ها، بادگیرها، نورگیرها، و انواع دیگر سقف‌ها (چه سقف‌های شیب دار یا تخت) یکپارچه می‌شوند. در این میان، بخش غالب سامانه‌های BIPV در حال حاضر تأسیسات سقفی هستند، در حالی که فقط ۲۰٪ مربوط به سایر فناوری‌ها است. با این حال، انتظار می‌رود که BIPVهای استفاده شده در نمای ساختمان به طور خاص در چند سال آینده توجه قابل توجهی را به خود جلب کند. به طور کلی، در مقایسه با پنل‌های PV معمولی، BIPVها دارای جنبه‌های ارزشمند زیر هستند که راه را برای ساختمان‌های با انرژی بهینه هموار می‌کنند:

(الف) به طور همزمان به عنوان پوشش ساختمان و همچنین تولیدکننده‌های انرژی پاک عمل می‌کنند و مصالح ساختمانی می‌توانند اضافه برق مصرفی را جبران نمایند، (ب) پشتیبانی/ حفظ علایق معماری، (ج) فراهم کردن مناطق وسیع برای استقرار، (د) با تولید و استفاده از انرژی در محل، تلفات انتقال برق را به حداقل می‌رساند، و (ر) کاهش هزینه‌های مالی با جایگزینی اجزای سقف و نمای معمولی. از طرف دیگر، طراحی و بهینه‌سازی سامانه‌های BIPV برای عملکرد و قابلیت اطمینان بالا، وظایف چالش‌برانگیزی است زیرا نیازمند بررسی‌های متعددی بوده که اصولاً به جنبه‌های الکتریکی، مکانیکی، حرارتی، نوری و ایمنی مربوط می‌شود.

در نتیجه، زمینه BIPV در سال‌های اخیر شاهد ابتکارات تحقیقاتی گسترده‌ای برای افزایش عملکرد و قابلیت اطمینان بوده است. به طور کلی فناوری‌های BIPV را می‌توان به سه دسته اصلی طبقه‌بندی کرد: ۱) فناوری فوتوولتائیک - اشاره به مواد و خواص آن دارد که برای ساخت ماژول‌های BIPV استفاده می‌شود، ۲) نوع کاربرد - نشان‌دهنده نوع ادغام با ساختمان‌ها و ۳) رویکرد طراحی - نشان دهنده قابلیت‌های عملکردی محصولات BIPV است.

دورنما





فناوری‌های فوتوولتائیک

پیشرفت‌ها در فناوری‌های فتوولتائیک مورد استفاده برای ساخت ماژول‌های BIPV در سه نسل تکامل می‌یابند: نسل اول سیلیکون مات، نسل دوم لایه‌های نازک شفاف/نیمه شفاف، و نسل سوم در حال ظهور که شامل فتوولتائیک آلی، سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ (DSSC) و انواع پروسکایت است. فناوری نسل اول شامل ساختارهای سیلیکونی تک کریستالی یا پلی کریستالی با ضخامت متوسط ۰٫۲ تا ۰٫۵ میلیمتر است، در حالی که فناوری لایه نازک از موادی مانند سیلیکون آمورف (a-Si)، مس-ایندیوم سلناید (CIS)، مس-ایندیوم-گالیوم سلناید (CIGS) و کادمیوم-تلوراید (Cd-Te) استفاده می‌کند که ضخامت لایه کمتری را در محدوده ۱۰۰-۱۰ میکرومتر تشکیل می‌دهند.

اگرچه فناوری‌های نسل دوم در مقایسه با نسل اول سیلیکون کریستالی (۱۰ تا ۱۹ درصد) کارایی کمتری دارند (٦ تا ۱۰ درصد)، اما به دلیل ساده بودن و همچنین فرآیند ساخت کم هزینه، تقاضای قابل توجهی در بازار در سال‌های اخیر به دست آورده اند. به طور مشابه، فناوری‌های نسل سوم BIPV نیز با فرآیندهای تولید بسیار مقرون به صرفه همراه هستند. علاوه بر این، توانایی تولید انرژی نسبتاً بیشتر حتی در هنگام روشنایی پراکنده، DSSC را به یک گزینه فناوری جالب تبدیل می‌کند، در حالی که عواملی مانند سمی بودن مواد و پایداری محدود از جمله چالش‌هایی هستند که به‌طور فشرده روی سلول‌های خورشیدی پروسکایتی مورد تحقیق قرار گیرند. به طور کلی، انعطاف‌پذیری نسبتاً بالا، شفافیت قابل تنظیم و تنوع رنگی از مزایای

نسل سوم BIPVها هستند و در طیف گسترده‌ای از کاربردها از جمله کاشی‌های سقف، نماها و شیشه‌های خورشیدی استفاده می‌شوند.

انواع کاربرد

دو حوزه کاربردی کلیدی BIPV ها سقف و نما هستند. در کنار تولید انرژی الکتریکی، ماژول‌های BIPV که در سقف‌های ساختمان ادغام می‌شوند باید از عملکردهای حیاتی پوشش ساختمان مانند مقاومت در برابر آب، مقاومت در برابر آتش، دوام، مقاومت در برابر باد و میرایی صوتی خوب پشتیبانی کنند. اگرچه کاربردهای BIPV یکپارچه با سقف بسیار محبوب هستند، اما ابتکارات برای دستیابی به ساختمان‌های با انرژی کارآمد و مقررات ساختمان با انرژی صفر (ZEB) استفاده از BIPV ها را در بخش‌های نما نیز الزامی می‌کند. برای این منظور، فناوری‌های لایه نازک که دارای انعطاف‌پذیری و شفافیت قابل تنظیم هستند، به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، بسیاری از انواع سقف (سایبان، سقف سرد، نورگیر، و سقف‌های پیش ساخته چند منظوره) و کاربردهای نما (نمای بارانی، نمای پرده‌ای، نمای پیش ساخته چند منظوره، دو پوسته، و نماهای جانبی) تجاری شده‌اند تا با اهداف عملکردی مختلف مطابقت داشته باشند. با این پیشرفت‌های حاصل شده اخیر، گزینه‌های سفارشی‌سازی زیادی نیز وجود دارد: مانند ماژول‌هایی که شیشه‌های رنگی، ویفرها و ماژول‌های شفاف BIPV دارند. بنابراین، پذیرش سریع سامانه‌های BIPV در سال‌های آینده با بهبود چشمگیر زیبایی‌شناسی ساختمان پیش‌بینی می‌شود.

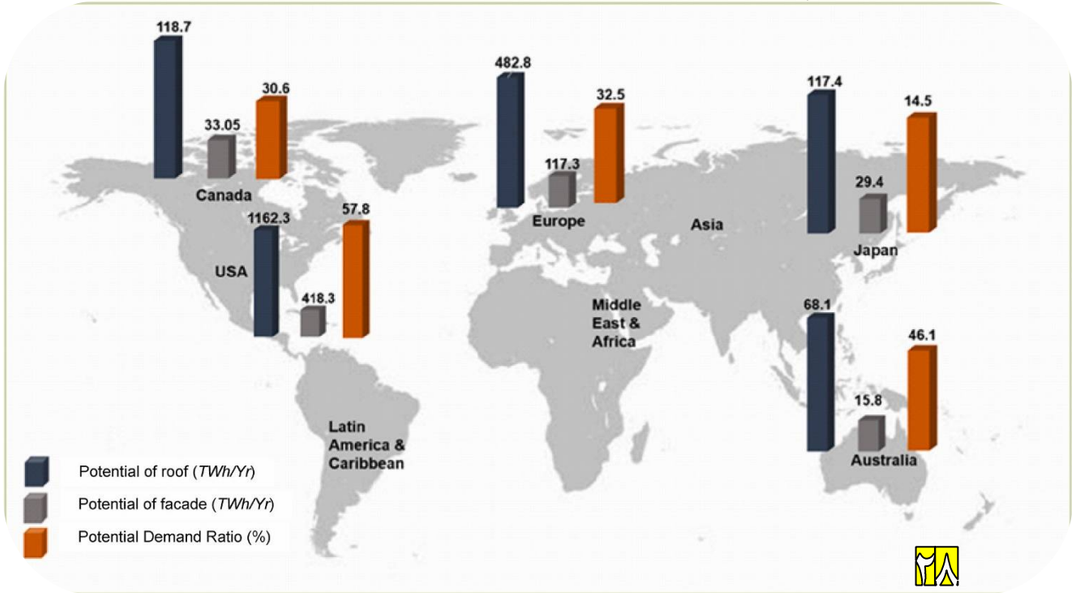
رویکردهای طراحی

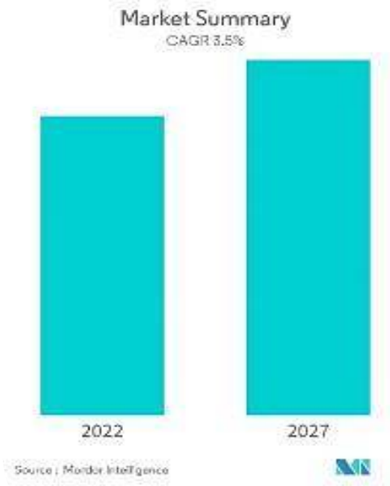
پیشرفت‌های فناورانه تجهیزات فوتوولتائیک در زمینه معماری، رویکردهای طراحی را متحول کرده و چالش‌های جدیدی را در این زمینه مطرح می‌کند. این صنعت تعداد زیادی از محصولات BIPV را با نام‌ها و طرح‌های مختلف بازار در دسترس قرار می‌دهد که برای کاربردهای ساختمانی به منظور برآوردن نیازهای مختلف مناسب است.

عملکرد چندمنظوره، مقرون به صرفه بودن، سفارشی‌سازی انبوه و سایر پارادایم‌ها از جمله عوامل کلیدی طراحی هستند که نفوذ رو به رشد BIPVها را تایید می‌کنند. بازار BIPV کنونی شامل طرح‌های نوآورانه مختلفی مانند فویل‌ها، ماژول‌های منحنی، کاشی‌ها، شیشه‌های خورشیدی و غیره است که اغلب پیش ساخته شده و سپس در محل نصب می‌شوند. با این حال، یکی از عوامل مهمی که باید در هنگام طراحی و نصب سامانه‌های BIPV در نظر گرفته شود، استراتژی کنترل توزیع دما است زیرا کارایی پنل‌های فوتوولتائیک، به ویژه ماژول‌های سیلیکونی کریستالی در دماهای بالا کاهش می‌یابد. بنابراین، مدیریت حرارتی مناسب به یک نیاز ضروری تبدیل می‌شود که می‌توان با استفاده از چندین استراتژی مانند تهویه طبیعی، سامانه خنک‌کننده مبتنی بر هوا و تکنیک‌های مربوط به مواد تغییر فاز به دست آورد. توجه داشته باشید که در مقایسه با محصولات سیلیکونی، فناوری‌های لایه نازک عملکرد بهتری را در زمینه فوق ارائه می‌دهند.

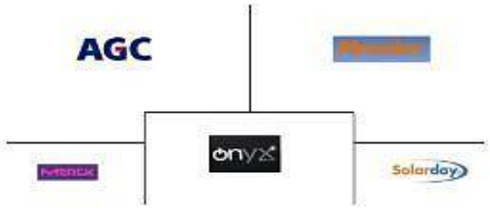
موانع موجود در پذیرش BIPV

بررسی‌ها شش مانع مهم را گزارش می‌کنند: ۱) موانع منابع انسانی - فقدان تخصص و خدمات در طراحی، نصب و نگهداری سامانه‌های BIPV، ۲) موانع اطلاعات فنی - اطلاعات ناکافی در مورد فناوری‌های BIPV باعث شده است که معماران تمایلی به در نظر گرفتن امکان استفاده از ساختمان‌ها برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نداشته باشند، ۳) موانع اقتصادی - سرمایه‌گذاری اولیه و دوره بازپرداخت طولانی، ٤) سیاست‌ها و استانداردها - استانداردهای موجود در BIPV (EN 50583، IEC 61730، UL 1703، و IEC 61215) همه جنبه‌های پیاده‌سازی مانند ایمنی آتش، حفاظت و غیره، و همچنین، سیاست‌های زیست محیطی ضعیف، اولویت کم BIPV در برنامه‌ریزی شهری، و چارچوب اجرایی ضعیف را پوشش نمی‌دهند، ٥) عدم قطعیت‌های اقلیمی - عدم وجود مدل‌های دقیق تابش خورشیدی و پیش‌بینی آب و هوای محیط برای برنامه‌ریزی سامانه BIPV و ٦) کارایی - با افزایش دمای ماژول عملیاتی، بازده





Study Period:	2019-2027
Base Year:	2021
Fastest Growing Market:	Asia Pacific
Largest Market:	Europe
CAGR:	>3.5 %

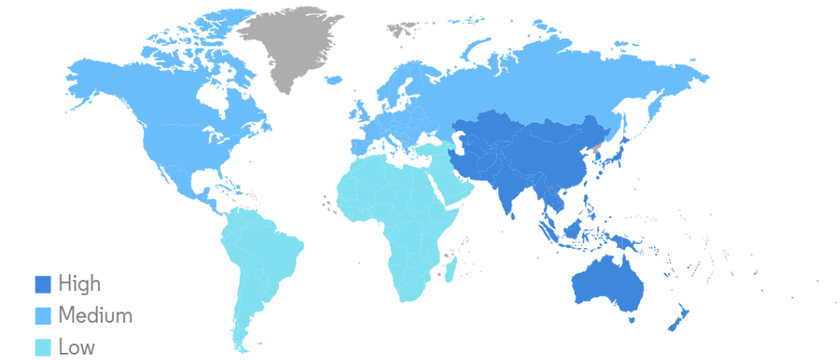


انرژی ماژول‌های BIPV کاهش می‌یابد. خوشبختانه، فشار فزاینده‌ای که توسط سیاست گذاران برای تشویق انرژی‌های تجدیدپذیر توزیع شده و افزایش عملکرد انرژی ساختمان‌ها اعمال می‌شود، فرصت‌های روشنی را برای BIPV فراهم می‌کند.

چشم‌انداز بازار جهانی BIPV

در طول سال‌ها، انرژی فتوولتائیک خورشیدی همراه با نیروی باد، سهم عمده‌ای در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر جهانی داشته‌اند. آخرین پیش‌بینی بازار آژانس بین‌المللی انرژی تخمین می‌زند که ظرفیت انرژی خورشیدی جهانی تا سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب شش و هجده برابر بیشتر شود (۲۸٤۰ گیگاوات بیشینه تا سال ۲۰۳۰ و ۸۵۱۹ گیگاوات بیشینه تا سال ۲۰۵۰)، که تقریباً ٤۰ درصد آن به تولید برق پراکنده از جمله فناوری‌های BIPV نسبت داده می‌شود. بنابراین، با توسعه تدریجی پروژه‌های مقیاس کاربردی، انتظار می‌رود BIPV به دلیل سیاست‌های گذار انرژی بهتر و طرح‌های حمایتی دولت به سرعت رشد کند. در نتیجه، BIPV همچنان یک بازار آینده‌نگر است که نشان دهنده سهم آن در فوتوولتائیک و همچنین بازارهای ساخت و ساز و ساختمان است. با توجه به اندازه بازار جهانی BIPV، اروپا، همراه با ژاپن، از لحاظ تاریخی بازار کلیدی برای سهامداران بوده است. با این حال، آمارها اکنون به سرعت در حال تغییر هستند زیرا ایالات متحده آمریکا و چندین کشور آسیایی دیگر با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژیکی اخیر، انگیزه پذیرش BIPV را به دست آورده‌اند. صنعت جهانی BIPV با اندازه بازار ۱۲,۷ میلیارد دلار (سال ۲۰۲۰) با نرخ رشد مرکب سالانه (CAGR) برابر با ۱۷,۸ درصد تا سال ۲۰۲۷ تخمین زده می‌شود. در حالی که پیش‌بینی می‌شود بخش BIPV کریستالی تا ۱۷,۵ درصد CAGR رشد کند، CAGR پیش‌بینی‌شده برای بخش لایه نازک ۲۰ درصد به طراحی نازک، دوام، سبک وزنی و ویژگی‌های انعطاف‌پذیر آن مربوط است. به طور قابل‌توجه، تخمین زده می‌شود که آسیا و اقیانوسیه سریع‌ترین بازار منطقه‌ای در حال رشد با

Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Market - Growth Rate by Region, 2022-2027



Source: Mordor Intelligence

CAGR برابر با ۲۶,۴ درصدی را داشته باشند و آمریکای شمالی سهم قابل‌توجهی را به خود اختصاص داده است و ایالات متحده آمریکا و کانادا سهم عمده‌ای دارند. بنابراین، BIPV به گسترش خود ادامه خواهد داد.

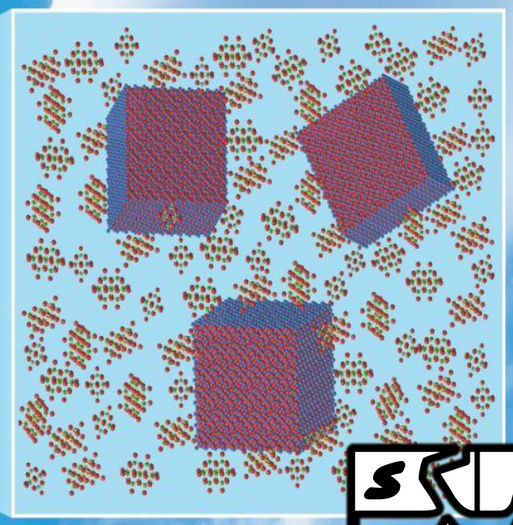
روندهای اصلی بازار

پیش بینی می‌شود که سلول‌های خورشیدی سیلیکون کریستالی به احاطه خود بر بازار ادامه دهند:

- اغلب پنل‌های خورشیدی نصب شده بر پشت بام و نماهای ساختمان از جنس سیلیکون بلوری هستند. این سلول‌ها، شیشه‌های ضخیمی هستند که در هر متر مربع بیش از ۱۱۰ وات برق تولید می‌کنند که از سایر انواع سلول خورشیدی بیشتر است.
- بر اساس گزارش موسسه فرانهوفر آلمان، پنل‌های تک کریستالی در سال ۲۰۲۰ سهمی بالغ بر ۸۰ درصد تولید جهانی را به خود اختصاص دادند که از تمامی فناوری‌های خورشیدی بسیار بیشتر است.
- در سال ۲۰۲۱، شرکت اسپانیایی Onyx که یکی از بزرگترین تولیدکنندگان BIPV در جهان است، کار ساخت نمای خورشیدی عظیمی را برای بانک استرلینگ نیجریه آغاز کرد که در آن بیش از ۳۲۵۰ ماژول خورشیدی به عنوان نمای ساختمان به کار خواهند رفت.
- در دسامبر ۲۰۲۱، شرکت ایتالیایی تولیدکننده پنل‌های خورشیدی Solarday، پنل‌های خورشیدی با فناوری PERC تولید کرد که در رنگ‌های قرمز، سبز، طلایی و خاکستری موجود هستند و بازدهی تبدیل انرژی بالغ بر ۱۷,۹۸ درصد دارند. همچنین ضریب دمایی این پنل‌های خورشیدی ۰,۳۹ درصد به ازای هر درجه سلیسیوس است که

مقداری فوق‌العاده محسوب می‌شود. این پنل‌ها علاوه بر دارا بودن بازدهی بالا، با رنگ‌های متنوع خود بر زیبایی ساختمان‌ها نیز خواهند افزود.

- این پیشرفت‌ها، تاثیر به سزایی در توسعه بازار BIPVهای مبتنی بر سیلیکون بلوری خواهد داشت. فناوری BIPV به کشور عزیز ما نیز وارد شده و در برخی از ساختمان‌ها نیز به کار گرفته شده‌است. همچنین تاکنون مقالات علمی بسیاری نیز از سوی پژوهشگران کشور در این زمینه به انتشار رسیده است. با توجه به ماهیت خلاقانه فناوری‌های BIPV از یک سو و پتانسیل عظیم اقتصادی این صنعت، سرمایه‌گذاری روی آن می‌تواند بسیار ثمربخش باشد و حتی در سطح جهانی مطرح گردد.



مواد کرومیک

در فناوری پنجره‌های هوشمند

فوتو کرومیک

ترمو کرومیک

مواد کروموژنیک

در فناوری پنجره‌های هوشمند

فوتوکرومیک

ترموکرومیک

به قلم علی کاظم‌پور

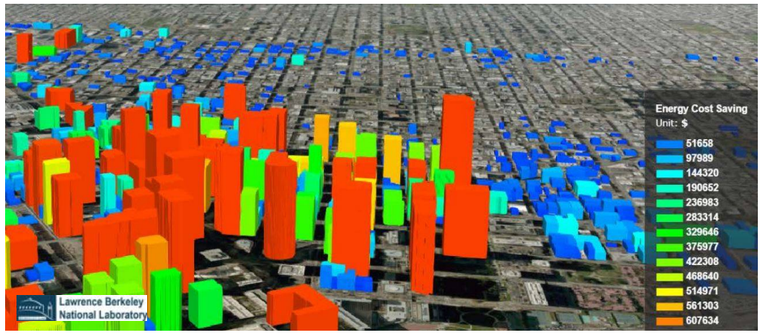
kazempoorali.a@gmail.com

در سال‌های اخیر، آگاهی بشر از گرم شدن کره زمین که خود عامل اصلی آن است، بسیار افزایش پیدا کرده است. این چالش بزرگ، گروه‌های تحقیقاتی را در سرتاسر جهان وادار به یافتن راه‌حل‌های مبتنی بر فناوری‌های نوین جهت حفظ کره خاکی و منابع ارزشمند آن کرده است.

تأثیر قابل توجهی که بخش ساخت‌وساز بر مصرف جهانی انرژی اولیه و در عین حال بر انتشار دی‌اکسید کربن و گازهای گلخانه‌ای دارد، در مطالعات فراوانی مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس آمارهای جهانی، در توسعه‌یافته‌ترین کشورها حدود ۴۰% از انرژی اولیه به‌دست آمده از منابع و معادن کره زمین برای ساختمان‌های مسکونی و تجاری استفاده می‌شود. حال باید ببینیم این میزان انرژی استفاده شده را چگونه می‌توان کاهش داد، به طوری که بهره‌وری و کارایی لازم نیز حفظ شود و یا حتی ارتقاء پیدا کند.

از دیرباز در مهندسی ساختمان و معماری، از پنجره‌ها، درب‌ها و سقف‌ها جهت ورود نور و کنترل دمای محیط خانه‌ها استفاده شده است. در واقع پنجره‌ها نقش بسیار مهمی در این زمینه دارند. با این حال، بیشترین تلفات انرژی نیز از درب‌ها و پنجره‌های ساختمان رخ می‌دهد. طبق مطالعات محققان مؤسسه فناوری ماساچوست در کمبریج، هر متر مربع از یک پنجره در تابستان، حدود ۵۰۰ وات انرژی به ساختمان منتقل می‌کند؛ چیزی معادل با گرمای تولید شده توسط ۵ لامپ ۱۰۰ وات!

پیشرفت‌های دهه اخیر در حوزه مواد پیشرفته، خواص شگفت‌انگیزی را در دسترس قرار داده است که به ما اجازه می‌دهد تا سامانه‌ها، دستگاه‌ها و اجزائی را طراحی کنیم که قادر به کاهش تلفات انرژی و هزینه‌های موجود در معماری ساختمان هستند. هوشمندسازی مواد مختلف با کارکردهای گوناگون، در واقع یک دنیای شگفت‌انگیز است که در حال حاضر فناوران، آن را بهترین گزینه جهت ساخت و بهینه‌سازی عملکرد اجزای ساختمان‌ها به ویژه پنجره‌ها، درب‌ها و حتی سقف ساختمان‌ها می‌دانند.

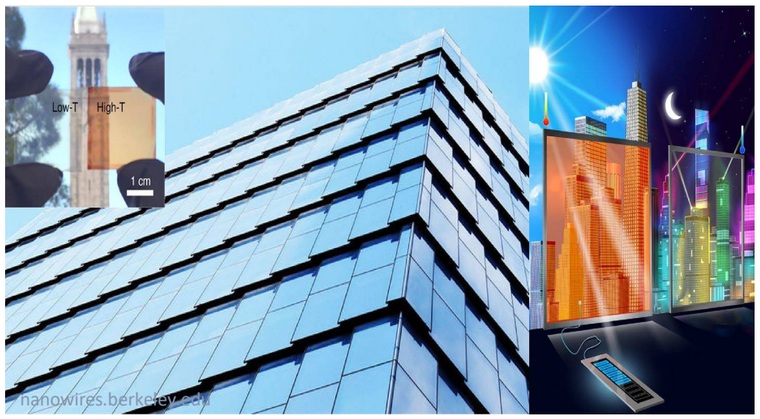


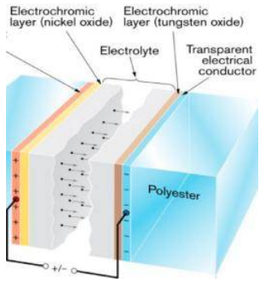
سازوکار کلی مواد هوشمند مختلف که در ساخت پنجره‌ها و درب‌ها استفاده می‌شوند، یکسان است. این مواد دارای خواص تطبیقی هستند که با اعمال یک محرک خارجی تغییر می‌کنند. در میان این مواد هوشمند، مواد «کروموژن» گزینه مناسبی هستند که با وجود رشد فناوری در این زمینه، تحقیقات و توسعه آن هنوز ادامه دارد.

در میان مواد کروموژنیک، مواد الکتروکرومیک (EC)، فوتوکرومیک (PC) و ترموکرومیک (TC)، برای استفاده در ساختمان‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. البته کروموژنیک‌ها دسته وسیعی از مواد را در بر می‌گیرند که امروزه به صورت تجاری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. در جدول صفحه بعد برخی از این مواد معرفی شده‌اند. خواص طیفی جذبی، عبوری و بازتابی همه این مواد با اعمال یک محرک خارجی خاص، در طول‌موج‌های مختلف مربوط به خود، تغییر می‌کند. در نتیجه، نام‌گذاری مواد کروموژنیک با توجه به محرک فیزیکی مورد نظر صورت گرفته است که باعث فعال شدن سازوکار شیمیایی، فیزیکی و یا نوری آن‌ها می‌شود.

در مواد و دستگاه‌های الکتروکرومیک، محرک خارجی با ولتاژ اعمال شده توسط یک مدار خارجی به سامانه عمل می‌کند. اما در مواد دیگر، محرک خارجی یک عامل طبیعی مانند نور است. مواد فوتوکرومیک تحت تأثیر تابش نور با طول موج‌های دقیق و خاصی، سازوکار نوری خود را تغییر می‌دهند.

همچنین، مواد ترموکرومیک رفتار نوری خود را با رسیدن به یک دمای بحرانی دقیق تغییر می‌دهند. امروزه توجه محققان و فناوران به طراحی موادی معطوف شده است که قادر به کنترل و بهینه‌سازی شار انرژی، از طریق یک لعاب ساده روی شیشه‌های معمولی باشند و نیازی به دستگاه یا عامل خارجی نداشته باشند.





مواد الکتروکرومیک امروزه به طور گسترده به عنوان یک ابزار بهینه‌سازی انرژی و یا حتی زیبایی و کاربری آسان‌تر نسبت به سایر پوشش‌ها، در ساختمان‌ها استفاده می‌شوند. مهم‌ترین استفاده این مواد در پنجره‌های هوشمند است. با این حال، پنجره‌ها و درب‌ها هنوز به عنوان نقطه ضعف ترمودینامیکی نمای ساختمان در نظر گرفته می‌شوند.

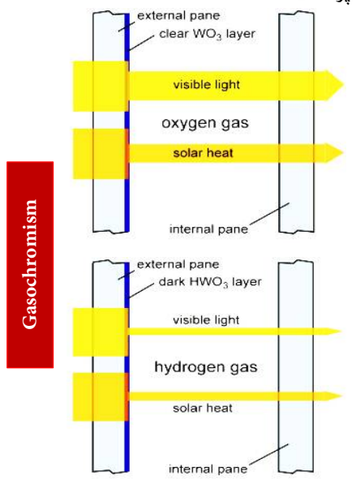
چالش بزرگی که همه محققان و فناوران با آن دست‌وپنجه نرم می‌کنند، تولید شیشه هوشمندی است که در تغییرات دمایی و تغییرات شدت و زاویه تابش نور بتواند به طور خودکار و گزینشی عمل کرده و نه تنها در هر ساعت از شبانه‌روز بلکه در هر فصل سرد و گرم با شرایط رطوبتی و گرمایی متفاوت، به خوبی عمل کند.

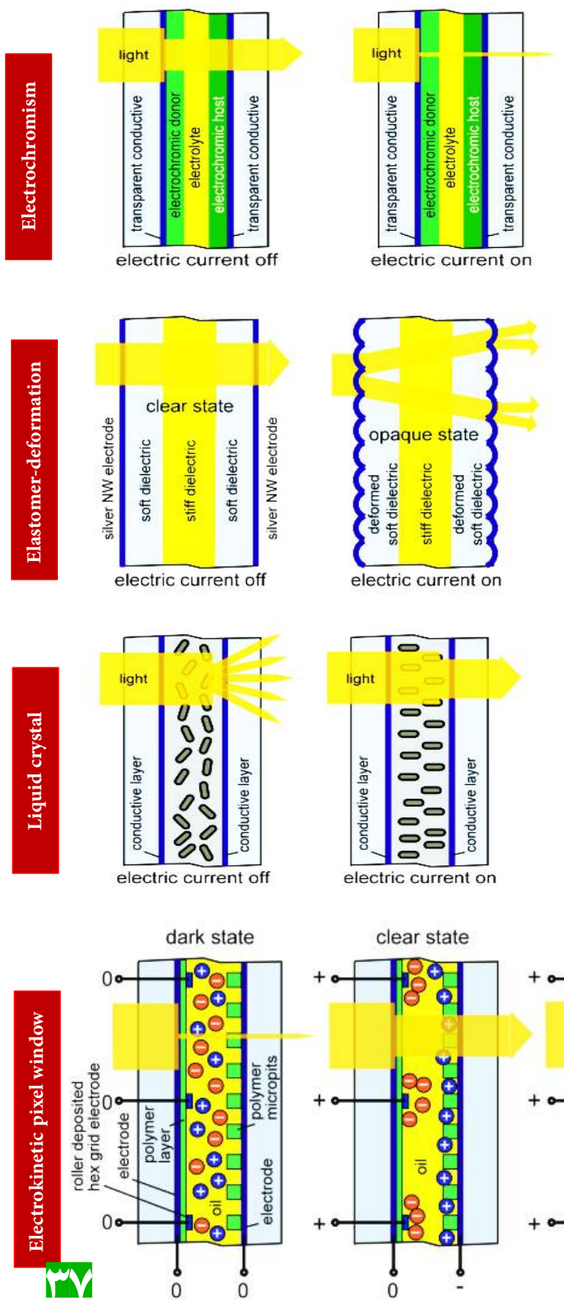
در واقع محققان به دنبال راهی برای کاهش پیچیدگی و هزینه‌های ساخت پنجره‌های الکتروکرومیک هستند تا نیازی به یک سامانه خارجی مجزا جهت اعمال محرک خارجی نداشته باشد و فقط تحت تأثیر محرک طبیعی مانند نور یا دما باشد.

پنجره‌ها امکان نفوذ طیف وسیعی از تابش نوری و حرارتی از جمله طول موج‌های مرئی و مادون قرمز را با چندین روش انتقال حرارتی (رسانایی، همرفت و تابش) بین شیشه، گازهای اطراف و آسمان فراهم می‌کنند. از یک سو اگر بهره استفاده از گرمای خورشید در زمستان مورد نظر باشد، پنجره‌ها نقش بسزایی در کاهش مصرف انرژی وسایل گرمایشی خواهند داشت. اما از سوی دیگر، همان پنجره‌ها در تابستان باعث افزایش مصرف انرژی جهت خنک‌سازی محیط ساختمان می‌شوند. به همین دلیل، لعاب کروموژنیک، با خواص طیفی تطبیقی یا قابل تنظیم به طور خودکار، می‌تواند ابزار بسیار مفیدی برای کاهش مصرف انرژی در همه فصل‌ها باشد. در واقع مزیت این مواد، تطبیق دادن خصوصیات نوری و گرمایی خود با تغییرات محرک خارجی است. مزیتی که مواد الکتروکرومیک فاقد آن هستند.

از طرفی مواد الکتروکرومیک، تنها در صورتی کارایی لازم را دارند که در ساختار دستگاه پیچیده‌تری قرار داده شوند. این ساختار شامل یک یا دو بستر شفاف و رسانا، یک الکترولیت و یک یا دو ماده الکتروکرومیک آلی یا معدنی با رفتار مکمل است. اما مواد ترموکرومیک و فوتوکرومیک، اجازه هیچ نوع کنترلی بر ویژگی‌های خود توسط کاربران را نمی‌دهند. البته در طراحی ساخت آن‌ها می‌توان این امکان را فراهم کرد. واضح به نظر می‌رسد که این تفاوت‌ها می‌تواند در یافتن کاربردهای بالقوه این مواد در داخل ساختمان‌ها یا در زمینه‌های دیگر بسیار مفید باشد. لعاب‌های کروموژنیک قابلیت واکنش سریع، وضوح رنگی بالا و فرآیندهای کاملاً برگشت‌پذیر نوری را دارند .در ادامه با توجه به اهمیت مواد فوتوکرومیک و ترموکرومیک در معماری و ساخت‌ساز، به بررسی دقیق‌تر سازوکار این مواد خواهیم پرداخت.

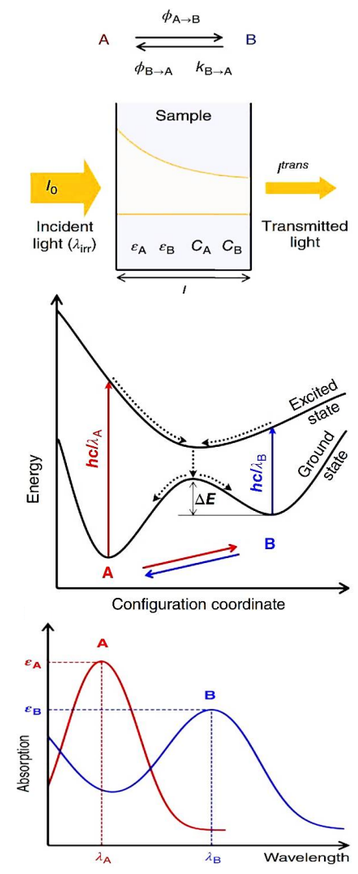
سازوکار فرآیند تغییر	انواع شیشه کروموژنیک
تغییر عبور نور متناسب با شدت نور فرابنفش، مرئی و مادون قرمز	Photochromism
تغییر رنگ با افزودن یون	Ionochromism
تغییر رنگ در مواجهه متناوب با گازهای مختلف	Acidichromism
کنترل میزان گرمای خورشیدی با تغییرات دمای محیط	Thermochromism
تغییر پراکندگی نور وابسته به دما	Thermotropism
خواص نوری به واکنش با هیدروژن بستگی دارد	Chemochromism
تغییر در عبور نور به علت برهم‌کنش با گاز هیدروژن رقیق شده	Gasochromism
تغییر رنگ به دلیل تغییر pH محلول	Halochromism
تغییر رنگ با تغییر سازوکار انتقال بار الکتریکی	Solvatochromism
تغییر رنگ با نفوذ یا جابجایی ترکیبات مایع در داخل ساختار متخلخل	Hygrochromism
تغییر رنگ در پاسخ به اغتشاش مکانیکی	Mechanochromism
تغییر طول موج بازتاب انتخابی محدوده مرئی در اثر فشار	Piezochromism
مات شدن به دلیل تغییر شکل هندسی هنگام اعمال ولتاژ الکتریکی	Elastomer-deformation
تغییر در شفافیت و رنگ به علت عبور جریان الکتریکی	Electrochromism
تغییر رنگ مستقل نسبت طول موج مرئی و مادون قرمز	Nanocrystal in-glass composites
شفاف تحت ولتاژ الکتریکی، مات بدون ولتاژ الکتریکی	Liquid crystal
تعدیل عبور نور و رنگ نور ورودی به طور مستقل با تأثیر ولتاژ الکتریکی	Electrokinetic pixel window





مـــواد فـــوتوکرومـــیک

مواد فوتوکرومیک در اواسط قرن نوزدهم توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرد و مطالعات جدی‌تر بر روی این مواد در قرن بیستم افزایش چشم‌گیری داشت. اولین محصولات تجاری وابسته به فوتوکرومیک‌ها، عدسی‌های چشمی مبتنی بر بلورهای هالیدنقره بودند که در نور خورشید رنگ آن‌ها تیره می‌شد. امروزه فوتوکرومیک اساس یک فناوری کاربردی است که به یک تجارت میلیون دلاری جهانی تبدیل شده است و درک عمیق دانش این پدیده برای رشد فناوری و صنایع وابسته به آن نیازی اساسی است. تلفیق مواد فوتوکرومیک با فناوری پلیمر، یکی از روش‌های امیدوارکننده در بسیاری از صنایع از جمله صنعت معماری و ساختمان‌سازی است که برای توسعه آن نیاز به دانش عمیق در حوزه شیمی و مواد فوتونیکی دارد. عمده مواد فوتوکرومیک را می‌توان در دو دسته آلی و معدنی جای داد.



رایج‌ترین الگوی معرفی شده به منظور توصیف سازوکار اتمی مواد فوتوکرومیک، یک واکنش ساده دو طرفه بین دو گونه مولکولی A و B است. اگرچه گاهی اوقات ممکن است گونه‌های دیگر را نیز درگیر کند، اما در ساده‌ترین حالت، واکنش تک‌مولکولی فرض می‌شود. ترازهای انرژی مولکول A و B توسط یک سد پتانسیل (ΔE) از هم جدا می‌شوند. اگر این مانع کم باشد، B ناپایدار است و می‌تواند خود به خود به A برگردد. در سامانه‌های معمولی فوتوکرومیک، مولکول A با جذب فوتون در یک طول موج خاص (λ_A) مانند UV، تحریک شده و از حالت پایه به حالت برانگیخته خود می‌رود. ضریب جذب A در این طول موج، ε_A است. مولکول برانگیخته شده A با احتمال ϕ_{AB} (بازده کوانتومی)، می‌تواند به حالت B برود که معادل با تغییر رنگ اولیه است. از سوی دیگر، مولکول B با یک الگوی مشابه به A برمی گردد، مشروط بر اینکه B در λ_B با جذب فوتون برانگیخته شده و با یک بازدهی کوانتومی مشخص دوباره به حالت A بازگردد. موقعیت طیفی نوارهای جذب نه‌تنها رنگ نور مورد نیاز برای القای واکنش، بلکه رنگ خود مولکول را نیز نشان می‌دهند. به طور کلی دو نوع ماده فوتوکرومیک وجود دارد؛ نوع T و نوع P. نوع T به مواردی اشاره دارد که می‌توانند از نظر حرارتی تغییر رنگ دهند. یعنی این مواد پس از تحریک نوری و تغییر حالت A به B، در غیاب نور نیز می‌توانند واکنش بازگشتی حالت B به A را انجام دهند. در واقع عکس‌العمل بازگشتی حرارتی (K_{BA}) در این مواد قابل مقایسه با عکس‌العمل فوتوشیمیایی است. آزوبنزن‌ها، اسپیروپیران‌ها، اسپیروکسازین‌ها و نفتوپیران‌ها از این دسته هستند.

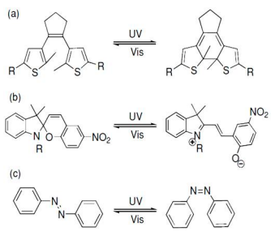
در مقابل، فوتوکرومیک‌های نوع P از نظر حرارتی برگشت‌ناپذیر هستند. یعنی تمام فرآیندهای تغییر رنگ آن‌ها در واکنش‌های رفت و برگشت فقط توسط نور کنترل می‌شود و عکس‌العمل بازگشتی حرارتی در آن‌ها ناچیز است. در حالی که ترکیبات فوتوکرومیک بسیار زیاد هستند، محققان علمی بیشتر مشتاق بررسی مواد نوع P مقاوم در برابر حرارت هستند؛ اما در حال حاضر فوتوکرومیک‌های نوع T (بیشتر اسپیروکسازین‌ها و نفتوپیران‌ها) پیشتاز حوزه فناوری هستند و استفاده می‌شوند.

طیف وسیعی از مواد آلی و معدنی شناخته شده است که خاصیت فوتوکرومیک از خود نشان می‌دهند. بسیاری از مولکول‌های آلی از طریق شکستن پیوندها، انتقال در اطراف پیوندهای دوگانه و یا تغییر ساختار فضایی ماکرومولکول‌ها تغییر شکل می‌دهند. این فرآیند می‌تواند شامل باز و بسته شدن حلقه‌ها، انتقال بارهای الکتریکی مانند انتقال درون‌مولکولی پروتون و یا حتی تحریک حالت‌های کوانتومی اسپینی در برخی کمپلکس‌های فلزی نیز باشد که نیاز به دانش عمیق فوتونیک، کوانتوم و شیمی دارد.

اگر یک پیوند منفرد (هترولیتیک) در ترکیباتی مانند اسپیروپیران‌ها، تری‌آریل‌متان و پلی‌متین شکسته شود که منجر به تغییر رنگ شود، با اولین تحریک نوری که شرایط بازگشت را فراهم کند، در زمان کوتاهی سامانه به حالت اولیه خود برمی‌گردد. در واقع هرچه اختلاف انرژی بین نوارهای اتمی دو حالت (شکاف نوار انرژی) بیشتر باشد، تغییر رنگ پایدارتر است و کندتر صورت می‌گیرد.

ایزومریزاسیون تحت تابش نور یا همان تغییر آرایش اتم‌ها نیز سازوکار دیگری است که موجب تغییر رنگ و خواص نوری ترکیباتی مانند اسیدیوروکانیک، رنگ‌های ایندیگو و سیانین می‌شود. این مواد فوتوکرومیک‌های پایداری هستندکه برای کاربردهای فناوری مورد توجه است. برخی از مواد معدنی که دارای شکاف‌های باند بزرگ هستند، فوتوکرومیک‌های فراپایدارتری از خود نشان می‌دهند. اغلب تغییر رنگ‌ها در این مواد به علت وجود عیوبی مانند مراکز F یا ناخالصی‌ها هستند.

ترکیبات اسپیروکسازین، توانایی تغییر رنگ خوب و مقاومت در برابر عوامل محیطی دارند. به طور کلی، اسپیروکسازین‌ها مواد بی‌رنگی هستند که با نورگیری مناسب به شکل رنگی تبدیل می‌شوند. در واقع، تابش نور باعث ایجاد شکاف پیوند بین اسپیروکربن و اگزازین می‌شود و یک سامانه مزدوج ایجاد می‌کند که قادر به جذب فوتون‌های مرئی است. هنگامی که تابش خاموش می‌شود، مولکول‌ها به حالت اولیه خود برمی‌گردند. پیوند کربن-اکسیژن اصلاح می‌شود و سامانه به تدریج به حالت بی‌رنگ خود باز می‌گردد. تلفیق این مواد در داخل ماتریس‌های میزبان شفاف مانند پلیمرها، نه تنها به پوشش زیرلایه شیشه کمک می‌کند، بلکه خواص فیزیکی و شیمیایی آن را نیز بهبود می‌دهد و موجب افزایش طول عمر مواد فوتوکرومیک در برابر حرارت، ضربه و رطوبت می‌شود.



(a) spiropyran
(b) spiropyran
(c) azobenzene

Scholarly Community Encyclopedia

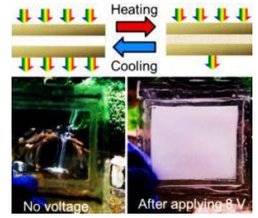
آموزش کاربردی

میزان تغییر رنگ مواد فوتوکرومیک نوع P که عکس‌العمل حرارتی بازگشتی در آن‌ها ناچیز است:

$$\alpha_B(\lambda_{irr}) = \frac{\varepsilon_A(\lambda_{irr})\varphi_{A\to B}}{\varepsilon_A(\lambda_{irr})\varphi_{A\to B} + \varepsilon_B(\lambda_{irr})\varphi_{B\to A}}$$

میزان تغییر رنگ مواد فوتوکرومیک نوع T که عکس‌العمل حرارتی بازگشتی در آن‌ها قابل قیاس با عکس‌العمل فوتوشیمیایی است:

$$\alpha_B(\lambda_{irr}) = \frac{1}{1 + \frac{k_{B\to A}}{\ln 10 \times l_0(\lambda_{irr}) l' \varepsilon_A(\lambda_{irr})\varphi_{A\to B}}}$$



در مقایسه با پنجره‌های هوشمند فوتوترموکرومیک، پنجره‌های الکتروترموکرومیک یک تنظیم فعال را اضافه می‌کنند که می‌تواند به طور مستقل شفافیت پنجره‌ها را تنظیم کند. انتخاب مواد گرمایش الکتریکی و ساختار لایه گرمایش الکتریکی، پیچیدگی این پنجره‌ها را بالا می‌برد.

مـــواد ترمـــوکرومـــیک

پنجره‌های هوشمند ترموکرومیک می‌توانند به طور خودکار تابش خورشید را با توجه به دمای محیط کنترل کنند. در مقایسه با پنجره‌های هوشمند فوتوکرومیک و الکتروکرومیک، پنجره‌های ترموکرومیک به دلیل ساختار ساده، هزینه آماده‌سازی کم و پاسخ فعال به تحریک دمای خارجی، تا به امروز کاربرد تجاری بیشتری داشته‌اند. با این حال، زمانی که دمای خارجی کمتر از آستانه سوئیچینگ یا همان دمای بحرانی باشد، تغییر عملکرد نوری مواد ترموکرومیک دشوار است. از این رو مواد فوتوکرومیک قابلیت ربودن گوی سبقت از آن‌ها را دارند.

مواد ترموکرومیک را می‌توان برای تغییر عملکرد نوری خود، با اثرات فوتوترمال یا الکتروترمال در دمای اتاق هدایت کرد. رویکرد اول در توسعه پنجره‌های ترموکرومیک، روش‌های ترکیب مواد فوتوترمال با مواد ترموکرومیک است (photo-driven) و رویکرد دوم استفاده از الکترودهای گرمایش با مساحت زیاد و هزینه کم است (electro-driven).

بر اساس این دو رویکرد، عمده مواد استفاده شده در ساخت پنجره‌های ترموکرومیک، شامل کامپوزیت‌های مبتنی بر دی‌اکسید وانادیوم (VO_2)، هیدروژل‌ها و بلورهای مایع است. در اینجا از رویکرد الکتروترمال صرف نظر می‌کنیم و در ادامه به توصیف رویکرد مبتنی بر نور یا همان فوتوترموکرومیک می‌پردازیم.

پنجره‌های فوتوترموکرومیک

پنجره‌های هوشمند ترموکرومیک مبتنی بر اثر فوتوترمال می‌توانند به طور فعال خواص نوری خود را در پاسخ به تغییرات شدت تابش نور و دما تنظیم کنند. این یک روش کاملاً غیرفعال برای مدولاسیون نور است. این پنجره‌ها در مقایسه با پاسخ واحد پنجره‌های هوشمند ترموکرومیک سنتی، واکنش دوگانه نور و گرما را درک می‌کنند. این پنجره‌ها می‌توانند به تحریک در مناطق با تابش نور قوی و دمای پایین، پاسخ دهند و با تنظیم نور خورشید، دامنه کاربرد پنجره‌های هوشمند ترموکرومیک را بیشتر گسترش دهند.

پنجره‌های فوتوترموکرومیک مبتنی بر VO_2

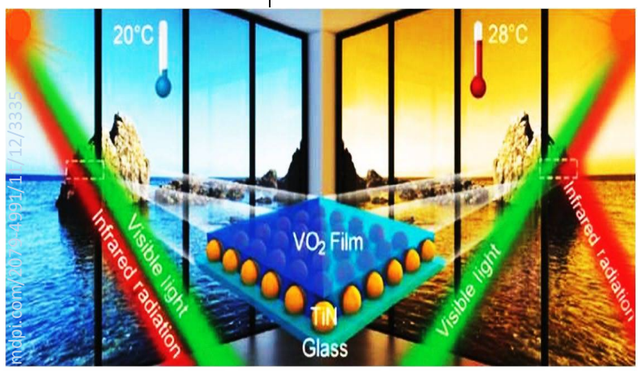
VO_2 پرمصرف‌ترین ماده معدنی ترموکرومیک است و به جهت گذار فاز فلز به عایق در پنجره‌های هوشمند استفاده می‌شود. این گذار فاز با تغییرات قابل توجهی در خواص الکتریکی، نوری و مغناطیسی آن همراه است. گذار فاز فلز به عایق و برعکس، به دلیل تغییر ساختار از فاز نیمه‌رسانای مونوکلینیک به ساختار روتیل چهاروجهی فلزی در دمای بالاتر از ۶۸ درجه سانتیگراد است. این گذار فاز تنها دلیل قدرتمند VO_2 جهت استفاده در پنجره‌های ترموکرومیک است. اما چالش‌هایی مانند دمای گذار فاز بالا و ویژگی‌های نوری ضعیف، عملکرد آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

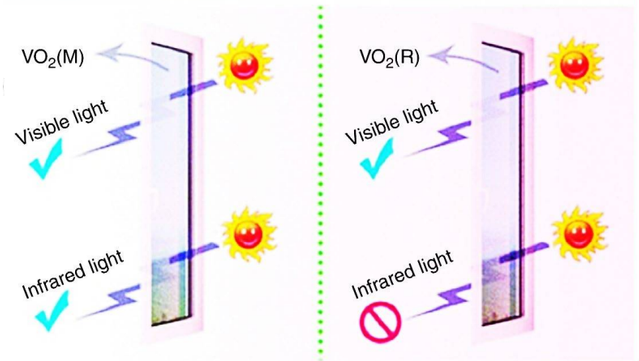
به منظور نزدیک شدن به کاربردهای عملی، فناوران معمولا دمای گذار فاز VO_2 را از طریق عناصر ناخالصی کاهش می‌دهند. اما این امر منجر به کاهش خواص مطلوب نوری آن می‌شود. با این حال، با ترکیب VO_2 با مواد فوتوترمال و استفاده از تبدیل فوتوترمال، نور خورشید به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود و VO_2 می‌تواند عملکرد نوری را در دمای اتاق تغییر دهد. مواد فوتوترمال زیادی وجود دارند که قابلیت ترکیب با VO_2 را دارند. معروف‌ترین آن‌ها کاتیون‌های با ظرفیت بالا مانند W^{+6} است که دمای گذار را تا سطح دمای اتاق پایین می‌آورد.

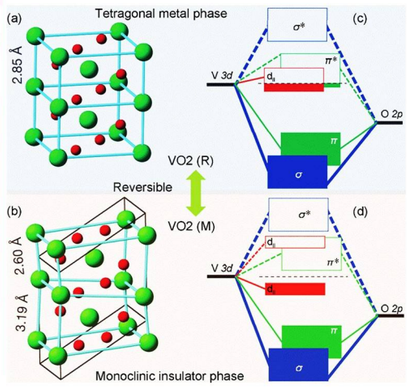
روش‌های متنوعی از لحاظ مهندسی ساختار مولکولی تا ساختار لایه‌ای پنجره جهت بازدهی بیشتر وجود دارد. به طور مثال یک لایه ترکیبی از PbS (سولفید سرب) و VO_2 می‌تواند نور UV-Vis-NIR را از طریق برهم‌کنش فوتون با فونون‌های PbS جذب کند و به انرژی گرمایی تبدیل کند. بنابراین VO_2 با بالا رفتن دما در ساختار پنجره، گذار فاز می‌دهد.

نانوذرات پلاسمونیک نیز با ضریب جذب قوی، گزینه مناسب دیگری هستند که به منظور تسهیل اثر فوتوترمال استفاده شده‌اند. به طور مثال پوشش‌های هوشمند VO_2/NiT برای کاربردهای دمای اتاق و هیپریداسیون VO_2 با نانوذرات پلاسمونیک قلع گزارش شده‌اند.

گذار فاز VO_2 با جذب قوی پلاسما در ناحیه مادون قرمز نزدیک، توسط نانوآرایه پلاسمونیک TiN تسریع می‌شود. نکته بسیار مهم این است که عبور نور مرئی نباید مختل شود چرا که کارایی پنجره هوشمند را پایین می‌آورد.







پنجره‌های فوتوترموکرومیک مبتنی بر هیدروژل

هیدروژل‌های با دمای بحرانی پایین، دارای طیف وسیعی از خواص شیمیایی و فیزیکی قابل تنظیم هستند که برای استفاده در پنجره‌های هوشمند مناسب هستند. هیدروژل‌ها می‌توانند به طور برگشت‌پذیری از طریق گذار فاز آب‌دوست به آب‌گریز (و برعکس)، شفاف و یا مات شوند و به تغییرات دمای محیط پاسخ دهند. در دماهای پایین، هیدروژل‌ها به دلیل تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های آب‌دوست و مولکول‌های آب، حالت شفافی از خود نشان می‌دهند. هنگامی که دما به دمای بحرانی می‌رسد، گروه آب‌گریز به دلیل شکستن پیوند هیدروژنی به حالت مات یا رنگی تبدیل می‌شود.

هیدروژل‌ها مواد محبوبی برای پنجره‌های هوشمند ترموکرومیک مبتنی بر فوتوترمال هستند. ترکیب هیدروژل‌ها با اکسید گرافن (GO)، اکسید قلع دوپ شده با آنتیموان (ATO) و سایر مواد با جذب بالا می‌تواند گذار فاز هیدروژل‌ها را تحریک کند.

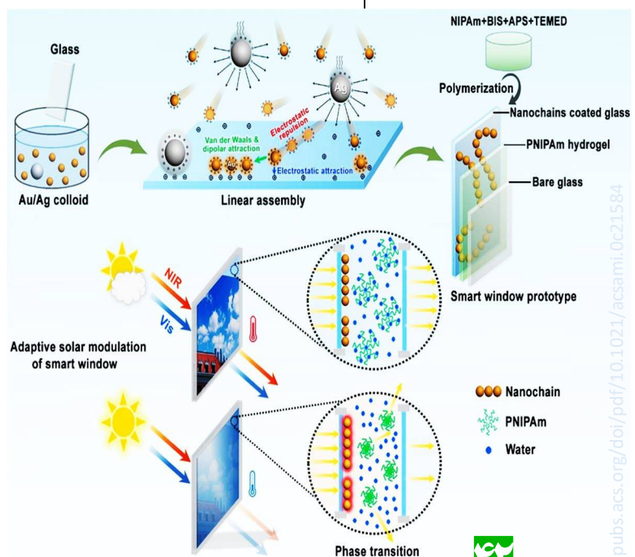
مواد فوتوترمال مانند GO و Cs_xWO_3، عمدتاً ویژگی‌های جذب بالا برای تبدیل انرژی نور به انرژی گرمایی دارند. در برخی مواد دیگر مانند AuNRs و Cu_7S_4 (آنیلیت)، اثر تشدید پلاسمون سطحی محلی برای تبدیل انرژی نور جذب شده به انرژی جنبشی تشدید الکترون رخ می‌دهد. این انرژی از طریق پراکندگی شبکه الکترون‌ها به انرژی ارتعاشی شبکه تبدیل می‌شود و انرژی گرمایی ارتعاش شبکه به محیط اطراف منتقل شده و در نتیجه دمای مناسب جهت گذار فاز هیدروژل به دست می‌آید.

در مقایسه با VO_2، هیدروژل‌ها به راحتی آماده می‌شوند و دمای بحرانی پایین دارند. به طور مثال دمای بحرانی محلول PNIPAM تنها ۳۲ درجه سانتیگراد است. با این حال، میزان عبور نور مرئی از هیدروژل‌ها در دمای بالا کم است. هنگام انتخاب مواد فوتوترمال، لازم است تأثیر آن بر عبور نور مرئی از پنجره‌ها را در نظر گرفت و از موادی که بر ناحیه نور مرئی تأثیر می گذارند صرف نظر کرد.

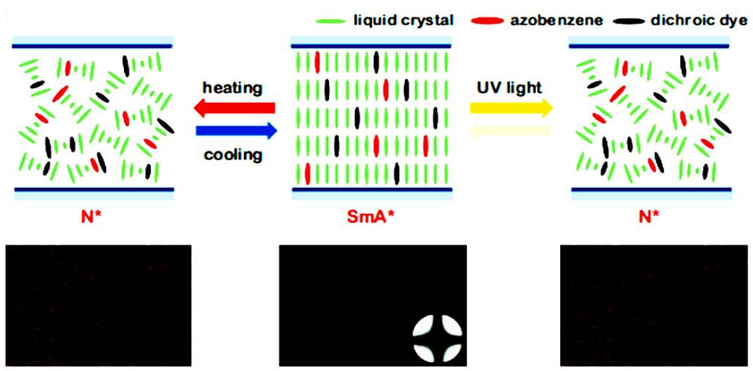
پنجره‌های فوتوترموکرومیک مبتنی بر بلور مایع

دسته سوم از مواد مهم ترموکرومیک، بلورهای مایع هستند که از لحاظ ترمودینامیکی بین حالت جامد بلوری و حالت مایع همسانگرد قرار دارند. این مواد می‌توانند به طور هم‌زمان ناهمسانگردی بلورها و ویژگی‌های جریان مایعات را نشان دهند. بلورهای مایع ترموکرومیک می‌توانند آرایش و جهت مولکول‌های ناهمسانگرد را در پاسخ به تحریک توسط دما و ولتاژ، به طور هم‌زمان تغییر دهند. مواد بلوری مایع/پلیمر دارای واکنش‌پذیری چندگانه و خواص مکانیکی خوبی هستند که باعث می‌شود به طور گسترده در پنجره‌های هوشمند مورد استفاده قرار گیرند.

این مواد در دمای پایین، شفافیت بالایی از خود نشان می‌دهند و به دلیل پراکندگی نور شدید در



pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsami.0c21584



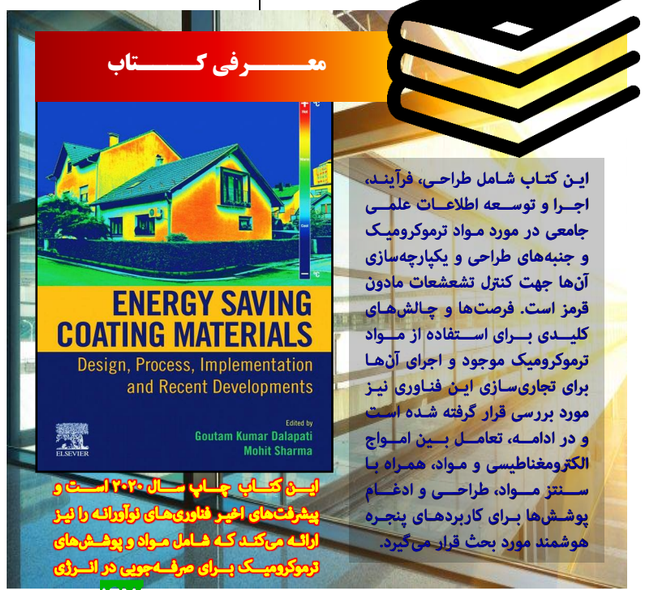
دمای بالا، مات می‌شوند. از طریق ترکیب بلور مایع با مواد فوتوترمال مانند Cs_xWO_3 در بستر پلیمری، یک فیلم هوشمند انعطاف پذیر با مقاومت مکانیکی عالی به دست می‌آید که در کاربرد واقعی، عبور نور مرئی و نور مادون قرمز را می‌توان کنترل کرد. ۹۵% تابش مادون قرمز نزدیک در محدوده ۸۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر را می‌توان با بلورهای مایع فوتوترموکرومیک محافظت کرد.

همچنین بلورهای مایع اغلب با رنگ‌های «آزو» ترکیب می‌شوند تا در محدوده طیفی UV نیز کارایی داشته باشند. رنگ آزو یک ماده فوتوکرومیک فرابنفش است که می‌تواند شکل مولکولی خود را در صورت تابش نور تغییر دهد. تحت تابش اشعه فرابنفش، هم ترازی جهت مولکول‌های بلور مایع را می‌توان با فوتوایزومریزاسیون مولکول‌های آزوبنزن القا کرد و در نتیجه گذار فاز آن را هدایت کرد.

تحقیق و توسعه مواد جاذب نور تک‌باند تا مواد جاذب نور چندباند، عملکرد نوری پنجره‌های هوشمند را تا حد زیادی بهبود بخشیده است. در حال حاضر، تحقیقات روی پنجره‌های هوشمند ترموکرومیک مبتنی بر مواد فوتوترمال هنوز در مرحله مقدماتی است.

در آینده لازم است که ترکیب مواد مختلف فوتوترمال برای بهبود بیشتر عملکرد نوری و دوام پنجره‌های هوشمند و تحقق تولید صنعتی در مقیاس بزرگ، مورد بررسی قرار گیرد. تاکنون، بیشتر تحقیقات هنوز بر روی عملکرد فوتوترمال و عملکرد نوری دستگاه‌های کامپوزیتی متمرکز است. در حالی که تحقیقات کمتری در مورد دوام و عملکرد مکانیکی آن‌ها انجام شده است و نیاز به توجه بیشتری جهت تولید پنجره‌های هوشمند کاملا بهینه دارد.

معرفی کتاب



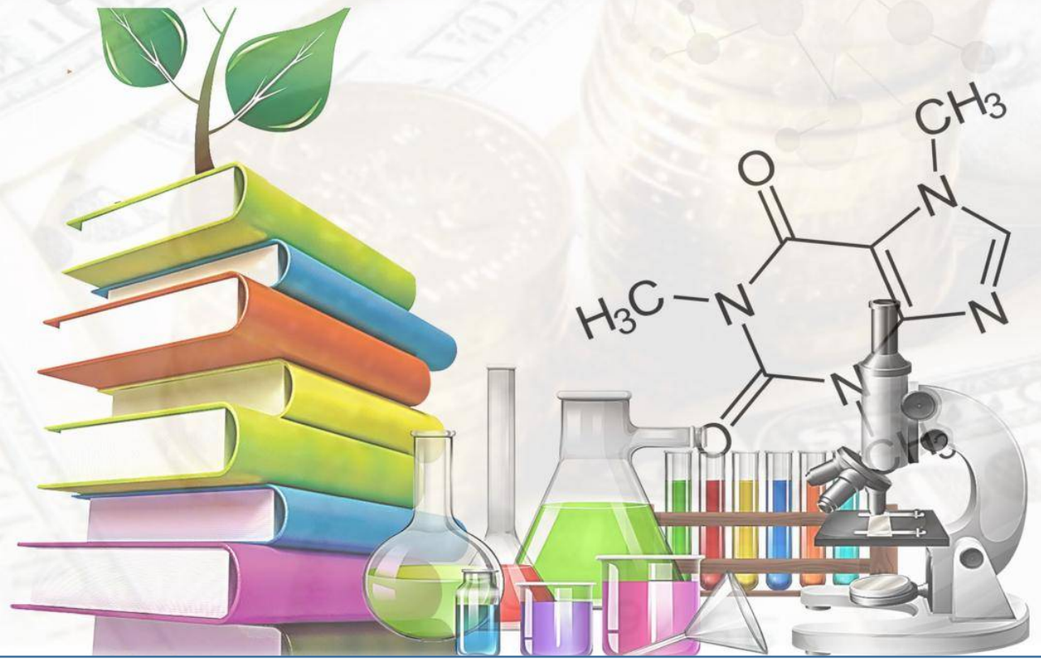
این کتاب شامل طراحی، فرآیند، اجرا و توسعه اطلاعات علمی جامعی در مورد مواد ترموکرومیک و جنبه‌های طراحی و یکپارچه‌سازی آن‌ها جهت کنترل تشعشعات مادون قرمز است. فرصت‌ها و چالش‌های کلیدی برای استفاده از مواد ترموکرومیک موجود و اجرای آن‌ها برای تجاری‌سازی این فناوری نیز مورد بررسی قرار گرفته شده است و در ادامه، تعامل بین امواج الکترومغناطیسی و مواد، همراه با سنتز مواد، طراحی و ادغام پوشش‌ها برای کاربردهای پنجره هوشمند مورد بحث قرار می‌گیرد.

افزودنی های بتن
و بهبود خواص سازه های بتنی

معرفی شرکت دانش بنیان صنایع شیمی ساختمان آبادگران

نظارت بر سازه ها و خطوط انتقال انرژی
با حسگر فیبر نوری توزیعی

معرفی شرکت دانش بنیان فرهیختگان حامی علم و صنعت



افزودنی‌های بتن و بهبود خواص سازه‌های بتنی

معرفی شرکت دانش‌بنیان صنایع شیمی ساختمان آبادگران

به قلم علی کاظم‌پور
kazempoorali.a@gmail.com

با توسعه روزافزون دانش و فناوری، صنعت شیمی ساختمان نیز با نوآوری و پیشرفت در مصالح ساختمانی همراه بوده است. در حوزه طراحی و ساخت‌وساز، فناوران علم شیمی و مواد برای درک نیازهای در حال تحول صنعت ساختمان به معماران، طراحان و متخصصان ساختمان‌های پایدار متکی هستند. این می‌تواند شامل قیمت و عملکرد، آرایش شیمیایی، روند زیبایی شناسی، محتوای بازیافتی و حفظ محیط زیست باشد.

بتن همواره یکی از مواد اصلی و پرکاربرد در ساخت‌ساز بوده است و همواره فناوران در تلاش بوده‌اند تا با بهبود خواص آن، علاوه بر کاهش مصرف آب و ملاحظات زیست‌محیطی، کارایی آن را نیز بالا ببرند. در سال‌های اخیر مواد افزودنی بتن توسط طراحان و مجریان برای مقاصد سازه‌ای و دکوراتیو افزایش چشم‌گیری داشته است. برهمین اساس این مواد طراحی و تولید گشته تا با بهبود ویژگی‌ها و خواص بتن تازه و سخت‌شده به کاهش هزینه‌های ساخت و اجرا در پروژه‌های عمرانی کمک کند.

شرکت «صنایع شیمی ساختمان آبادگران» در سال ۱۳۶۲ شمسی با اخذ مجوز از وزارت صنایع و معادن استان تهران با فعالیت در حوزه افزودنی‌ها و ملزومات بتن تأسیس شد. طبق گفته « عنایت‌اله محرابی» جانشین مدیر عامل این شرکت، با گسترش مجموعه تحقیق و توسعه، و با ۱۱ محصول دانش‌بنیان در سال ۹۴، مجوز دانش‌بنیان برای شرکت صادر شد. همچنین ایشان طراحی و تحقیق خودکفا را در اقتصاد مجموعه دانش‌بنیان بسیار مؤثر دانسته و از لحاظ اقتصادی، اساس تولید را بر جذب سفارش بیان می‌کند که موتور محرک آن بازاریابی و تجاری‌سازی محصول است.

اکنون این شرکت دانش‌بنیان، با ظرفیت تولید واقعی سالانه ۶۵۰۰۰ تن و تولید بیش از ۱۵۰ نوع ماده شیمیایی دانش‌بنیان، گروه صنعتی پیشرو در صنعت شیمیایی ساختمان کشور محسوب می‌شود.

سیر رشد شرکت آبادگران از بدو تأسیس تا کنون، یک نکته کلیدی دارد و آن هم پیوند ناگسستنی به دانش و توسعه محصولات در حوزه شیمی است. این روند با اضافه شدن سالانه یک یا چند گونه مواد شیمیایی جدید که نتیجه هم‌سوسازی فعالیت‌های پژوهشی با صنایع وابسته به توسعه و عمران کشور بوده است، همچنان ادامه دارد.

محوریت قراردادن امور علمی و پژوهشی در سند چشم‌انداز و فرایندهای اجرائی شرکت، باعث شده همواره بخش قابل توجهی از درآمد کل گروه به توسعه فیزیکی و تجهیزات مرکز علمی، امور تحقیقاتی و صنعتی‌سازی مواد فناورانه اختصاص یابد. بخش اعظم این هزینه‌ها صرف تجهیز آزمایشگاه‌های مصالح، آزمایشگاه نانو، پلیمر و شیمی این شرکت شده است تا به‌روزترین امکانات تحقیقاتی و آزمایشگاهی فراهم شده و بستر خلق دانش و تبدیل آن به فناوری تحکیم یابد.

قطعا دانش و تحقیق به خودی خود دلیل رشد یک شرکت دانش‌بنیان نخواهد بود و ارتباط مؤثر واحدهای تحقیق و توسعه با تولید تجاری لازم و ضروری است. آزمایشگاه‌های شیمی و نانوفناوری شرکت آبادگران به نحوی هوشمندانه، ارتباط صنعتی خود را با خطوط تولید انبوه حفظ کرده‌اند. این ارتباط از طریق تجهیز واحدهای مقدماتی شیمیایی و بهره جستن از مجموعه روش‌های کارآمد و نوین مدیریت علمی و تولیدی، روز به روز گسترده‌تر شده و بازدهی آن را امروزه در خروجی این شرکت می‌توان مشاهده کرد. علاوه بر تولید انبوه و خلق ثروت افزوده ناشی از محصولات با کارکرد مطلوب، در حال حاضر امکان طراحی و تولید مواد شیمیایی اختصاصی با نیازسنجی صنعتی مشتریان و به صورت کاملاً به‌هنگام و سفارشی (Customized Production) در مدت زمان بسیار کوتاهی فراهم آمده است که از نتایج مطلوب دیگر سرمایه‌گذاری مالی و انسانی این شرکت در بخش تحقیق و توسعه است که ارتباط مطلوبی با خط تولید دارد.

همچنین ارائه مقالات علمی، ثبت اختراعات و سایر فعالیت‌های پژوهشی باعث شده است تا محققین این شرکت به صورت مستمر در جشنواره‌ها و همایش‌های برجسته شرکت کرده و علاوه بر کسب تجارب جدید ارتباط مؤثری با سایر مراکز مرتبط داشته باشند. از جمله این ارتباطات می‌توان از پژوهش‌های مشترک با دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه‌ها نام برد.

در آزمایشگاه‌های آکرودیته، به صورت کلی تمامی بخش‌های فنی و ساختاری یک محصول از جنبه‌های مختلف بررسی می‌شوند تا محصول با دریافت استانداردهای مورد نیاز وارد بازار شود. این فرایند با کاهش خطاها و رفع نواقص محصولات، مدام باعث ارتقاء کیفی محصولات شده و با اخذ گواهی‌های لازم موجب جلب اعتماد مشتریان و افزایش فروش خواهد شد.

اخذ گواهینامه‌های بین‌المللی مدیریت کیفیت، تعاملات سازنده و نزدیک با سازمان ملی استاندارد ایران به عنوان آزمایشگاه آکرودیته (اعتبارسنجی) در زمینه مواد افزودنی بتن، بتن آماده، سنگ‌دانه، سیمان و چسب‌های کاشی نیز پله دیگری است که شرکت ساختمان آبادگران در راه تولید ارزش افزوده و خلق ثروت بیشتر، آن را طی کرده است. همچنین اخذ مجوز گروه پژوهشی از وزارت علوم که منجر به ارتباط نزدیک‌تر این شرکت با پارک‌های علم و فناوری کشور و پردیس‌های دانشگاهی شده است، رشد علمی و در نهایت تولید محصولات با ارزش مبتنی بر فناوری‌های نوین را تسریع کرده است. بدون شک شرکتی با چند دهه فعالیت منظم و برنامه‌ریزی شده، چشم‌انداز روشنی خواهد داشت. پروژه‌های سنتز مواد شیمیایی با فناوری‌های فوق پیشرفته، به عنوان یکی از اهداف کلان شرکت ساختمان آبادگران در آینده است. این شرکت برای ورود به بازارهای خارجی نیازمند ابزارهای نوین و هوشمند جهت گسترش خط تولید خود است. بدین منظور ارتقاء سطح خطوط تولید به فناوری خودکار رباتیک در دستور کار آینده شرکت قرار گرفته است.

واحد بهره برداری و تولید شرکت صنایع شیمی ساختمان آبادگران با توجه به رویکردهای زیست‌محیطی گروه و تأمین شرایط ایمن برای منابع انسانی به ۷ بخش تقسیم می‌شود:

۱) سالن‌های پودری با خطوط تمام اتوماتیک مجهز به سامانه‌های تهویه و تصفیه هوای صنعتی
۲) سالن تولید ترکیبات مایع و ژل‌ها: مجهز به سامانه‌های کنترل و مانیتورینگ فرآیند
۳) سالن تولید مخلوط‌های رزینی: مجهز به «Turbo Disperser» با توان‌های متعدد و «Extruder» بسته‌بندی
۴) سالن پلیمر: مجهز به راکتورهای فرایندی آب‌پایه و حلال‌پایه در خلاء و تحت فشار
۵) سالن پایلت: مجهز به انواع راکتورهای نیمه‌صنعتی با ظرفیت‌های مختلف جهت سنتز و مقیاس ترکیبات رزینی
۶) سالن چاپ: مجهز به خطوط کارآمد چاپ انواع گالن و سطل در ابعاد مختلف
۷) سالن تولید نوارهای آب‌بند: تولید انواع آب‌بند از عرض ۱۵ تا ۵۰ سانتیمتر با ضخامت و شکل مقاطع متنوع

محصولات شرکت ساختمان آبادگران بسیار متنوع است. در ادامه به معرفی چند محصول مهم این شرکت خواهیم پرداخت. برای کسب اطلاعات بیشتر نیز می‌توانید به تارنمای شرکت به آدرس www.abadgarangroup.net مراجعه فرمایید.

بر اساس تعریف، مواد افزودنی بتن به موادی اطلاق می‌شود که به منظور تنظیم و اصلاح خواص بتن تازه و سخت‌شده استفاده می‌شوند. به طور کلی با استفاده مناسب از افزودنی‌ها می‌توان به بهبود شاخص‌های مکانیکی و دوام، سهولت و سرعت در اجرا و در نهایت کاهش هزینه‌های تمام‌شده دست یافت. در بسیاری از استانداردها و آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی نیز لزوم مصرف افزودنی بتن اثبات شده است، به طوری که امروزه نقش افزودنی‌های بتن در راستای ارتقاء کیفیت و کارایی بتن آشکار است.

مصرف افزودنی بتن در پروژه‌های عمرانی براساس نوع و کاربرد افزودنی و شرایط محیطی و اجرایی بتن می‌تواند متغیر بوده و براساس استانداردهای داخلی و خارجی حداکثر درصد مواد افزودنی بتن مورد مصرف دارای محدودیت است که این موضوع، تولید افزودنی بتن با کیفیت و میزان مصرف آن را حائز اهمیت می‌کند.

شرکت ساختمان آبادگران، محصولات متنوعی در دسته افزودنی‌های بتن تولید نموده است که هرکدام ویژگی‌ها و کاربرد خاص خود را دارند. روان‌کننده‌های بتن و میکروژل سیلیس از مهم‌ترین این افزودنی‌ها هستد که در شرکت ساختمان آبادگران تولید می‌شود. محصولات بسیار دیگری نیز در این شرکت تولید شده است.

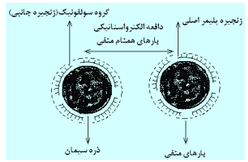
مواد فوق روان‌کننده و کاهنده آب

مواد فوق روان‌کننده از جمله افزودنی‌هایی هستند که به منظور بهبود مقاومت در ترکیباتی نظیر دوغاب سیمان، ملات و بتن استفاده می‌شوند. این مواد پلیمرهایی هستند که می‌توانند با کاهش میزان آب مصرفی، به عنوان مواد پخش‌کننده عمل کنند که در این صورت باعث جدایش ذرات شن و ماسه می‌شوند و بتن را روان می‌کنند. بنابراین میزان مصرف فوق روان‌کننده نباید بیش از محدوده پذیرش استاندارد باشد چرا که می‌تواند منجر به جدایی ذرات و از بین رفتن چسبندگی لازم بتن شود.

درصنایع ساختمان‌سازی اغلب مواد فوق روان‌کننده رایج پلیمری شامل مشتقات پلی‌آمین‌سولفونات و لیگنین‌سولفونات هستند که عمدتا مشکلاتی از قبیل اثرگذاری ضعیف در حفظ روانی بتن دارند و جزء نسل اول روان‌کننده‌ها محسوب می‌شوند.

در شرکت صنایع شیمی ساختمان آبادگران، ترکیبات فوق روان‌کننده نسبت به سایر فوق روان‌کننده‌ها از اثر پخش ذرات سیمان و حفظ کارایی بالاتری برخوردار هستند و این امر میزان آب مورد نیاز برای ترکیبات سیمانی را بدون تاثیر منفی بر کارایی مخلوط کاهش می‌دهد. میزان کاهش آب تا ۳۰% به دست آمده است.

از مهم‌ترین معایب روان‌سازهای نسل اول می‌توان به میزان مصرف بسیار زیاد در هر متر مکعب بتن (در مقایسه با روان سازهای نسل بعد)، محدودیت استفاده در شرایط سرما، هوازایی و در برخی موارد کاهش مقاومت بتن اشاره نمود.

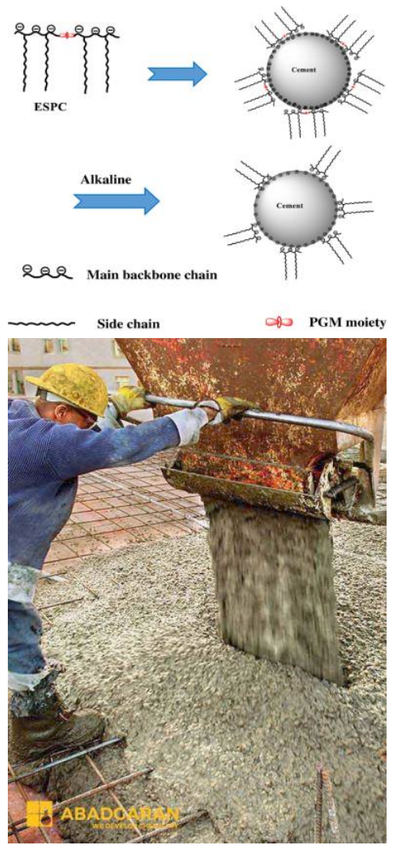


تاثیر اصلی و ساختار این فوق روان کننده‌ها با افزایش بار منفی ذرات سیمان اتفاق می‌افتد که بر اثر دافعه الکترواستاتیکی همدیگر را دفع می‌کنند و باعث پراکندگی ذرات سیمان می‌گردند. این پراکندگی فاصله ذرات بسیار ریز سیمان را از یکدیگر بیشتر می‌کند و سطح بیشتری از ذرات را در معرض رطوبت و آب موجود در مخلوط قرار می‌دهد.

سازوکار اثر مواد فوق روان‌کننده بر پایه جذب و پخش ذرات سیمان در مخلوط‌های آب و سیمان است که اساس کار همه آن‌ها باردار کردن ذرات ریز سیمان و در نتیجه فاصله گرفتن آن‌ها به علت بار الکتریکی هم‌نام است.

دومین نسل از روان‌کننده‌ها در اواسط دهه ۱۹۶۰ میلادی که به فوق روان‌کننده‌ها و یا کاهنده‌های قوی آب نیز شناخته می‌شوند، اغلب بر پایه مونومرهای ملامین‌سولفونات‌ها و نفتالین‌سولفونات‌ها تولید شدند. میزان مصرف بالای آن‌ها برای دست‌یابی به یک روانی مناسب و همچنین عدم حفظ کارایی برای مدت‌زمان‌های طولانی و عدم کاربرد در شرایط آب و هوایی گرم از محدودیت‌های این نسل از روان‌کننده‌های بتن به شمار می‌رود.

سومین نسل از روان‌کننده‌های بتن، فوق روان‌کننده‌هایی هستند که بر پایه پلی‌کربوکسیلات اتر تولید شدند. آن‌ها به دلیل مزایای فراوانی که داشتند به سرعت پا به عرصه رقابت نهاده و با استقبال فراوانی در صنعت بتن مواجه شدند. ساختار مولکولی این نوع فوق روان‌کننده با مواد قبلی به طور واضحی تفاوت‌های زیادی دارد. در این مواد بر روی زنجیره پلیمر اصلی، علاوه بر گروه‌های کربوکسیل، زنجیره بلند جانبی نیز وجود دارد که بعد از پراکندگی ذرات سیمان از یکدیگر مانع بسیار خوبی برای دور نگه داشتن آن‌ها است. در نتیجه سطح بیشتری از ذرات را در معرض آب موجود در محیط قرار می‌دهد.



فوق روان‌کننده‌های پلی‌کربوکسیلاته مانند فوق روان‌کننده نفتالینه، در هنگام مخلوط شدن در سطح ذرات سیمان جذب می‌شوند و عامل باردار کردن ذرات، این جذب شدن در هنگام هیدراسیون است. در اینجا گروه‌های کربوکسیل عامل باردار کردن ذرات سیمان و پراکندگی آن‌ها می‌شود و تفاوت اصلی این نوع فوق روان‌کننده بتن به دلیل وجود زنجیره‌های جانبی بلند است. کارایی بالای این ترکیبات در حضور کربوکسیلات‌ها حاصل می‌شود. این فوق روان‌کننده‌ها تا میزان ۳۰% قابلیت کاهش مصرف آب را دارند که بیشتر از روان‌کننده‌های نسل اول و دوم است. قیمت مقرون به صرفه‌تر و حباب‌زایی کم‌تر (در مقایسه با روان کننده‌های نسل اول)، از دیگر مزیت‌های این مواد هستند. دیگر افزودنی‌های بتن شرکت ساختمان آبادگران، می‌توان افزودنی‌های زودگیر و دیرگیرکننده‌های بتن، ضدیخ بتن و ملات و حباب هوا ساز را نام برد.

ژل میکروسیلیس

استنشاق پودر میکروسیلیس توسط نیروهای انسانی که در فرآیند ساخت بتن فعالیت می‌کنند همواره از دغدغه‌های زیست‌محیطی و ایمنی کارخانه‌های ساخت بتن بوده است. علاوه بر این تعدد مواد افزودنی بتن و حفظ نسبت و زمان صحیح افزودن آن‌ها به بتن نیز باید تحت کنترل نگه داشته شود. به همین علت ژل میکروسلیس مناسب‌تر از پودر آن است.

به همین علت محصولاتی تحت عنوان ژل میکروسیلیس در شرکت ساختمان آبادگران طراحی و تولید گردید. افزایش مقاومت به مرور زمان بر اساس تداوم آب‌گیری سیمان و کاهش درصد تخلخل و فضای خالی بین مواد در مرحله ایجاد چسبندگی رخ می‌دهد. میکروسیلیس موجود در بتن، با هیدروکسیدکلسیم ناشی از هیدراسیون سیمان ترکیب شده و ترکیبی مانند ژل می‌سازد. این ترکیب، عامل اصلی افزایش مقاومت بتن و کاهش تخلخل ذرات تشکیل دهنده در بتن است.

بلورهای بزرگ هیدروکسیدکلسیم در فصل مشترک سنگ‌دانه و خمیر، مانع افزایش مقاومت می‌شود که میکروسیلیس تحت واکنش با هیدروکسید کلسیم آن را به اجزاء مقاومی به نام سیلیکات کلسیم‌هیدراته تبدیل می‌کند و بدین ترتیب باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود.

سه گونه دیگر ژل میکروسیلیس تولید شده در شرکت ساختمان آبادگران، پاورژل، سوپرژل و مزوکریت هستند. این ژل‌ها مواد کاهنده آب و روان‌ساز بتن هستند که بر حسب شرایط محیطی محل ساخت و بتن‌ریزی، نوع مصالح مصرفی و مشخصات بتن تازه و سخت‌شده مورد مصرف قرار می‌گیرند.

محصول POWER GEL صنایع شیمی ساختمان آبادگران یک ماده میکروسیلیس ژل شده با داشتن خاصیت فوق روان‌کنندگی و فوق کاهنگی آب، امکان ساخت بتن‌هایی با نسبت آب به سیمان پایین‌تر و دوام و مقاومت بسیار بالاتر را به وجود آورده است.

ماده MEZUKRET به صورت ترکیب با فوق روان‌کننده پلیمری، ماده ضد آب و بهبود دهنده‌های رئولوژی بتن طراحی شده است. حضور مؤثر مواد فوق روان‌کننده در این ترکیب، به بهترین شکل به اختلاط و توزیع یکنواخت ذرات پودری در بتن کمک کرده و از بروز پدیده‌های نامطلوبی در بتن همچون جداشدگی و آب انداختگی جلوگیری به‌عمل می‌آورد.

از جمله مزایای دیگر MEZUKRET می‌توان به افزایش مقاومت فشاری بتن، جلوگیری از نفوذ یون کلر و سایر یون‌های مخرب شیمیایی به داخل بتن، بهبود خواص رئولوژی بتن، سازگاری با انواع سیمان‌های پرتلند، سهولت پمپاژ و کاهش استهلاک تجهیزات بتن‌ریزی اشاره نمود.

ماده دیگر مکمل بتن، سوپرژل است که بهبوددهنده خواص رئولوژیک در حالت خمیری و ارتقاء دهنده دوام و پایایی بتن و سازه‌های بتنی، کاهش مقادیر جذب آب و نفوذپذیری است. مواد اصلی سازنده این ترکیب شامل دوده سیلیسی و کاهنده قوی آب بتن با بنیان پلی‌کربوکسیلات و مواد بهبود دهنده رئولوژی و مقاومت بتن است.

میکروسیلیس یا دوده سیلیس، ماده‌ای با ذرات بسیار ریز است که ذرات آن ۵۰ تا ۱۰۰ برابر از ذرات سیمان کوچک‌تر است و چسبندگی بین سیمان و سنگ‌دانه را تا حد قابل قبولی افزایش می‌دهد. میکروسیلیس در ساخت بتن با مقاومت بالا کاربرد دارد و از فلز سیلیس به میزان ۸۰ تا ۸۵ درصد و سایر آلیاژها مانند آلومینیوم‌اکسید، کلسیم‌اکسید و منیزیم‌اکسید تشکیل شده و معمولا به رنگ سفید یا خاکستری است.

نظارت بر سازه‌ها و خطوط انتقال انرژی

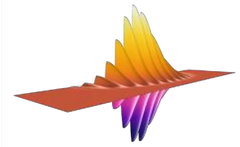
یکی از عوامل مهم در توسعه شهرها، شناسایی معایب ساختارها است. از نقشه‌برداری‌های پیشرفته به کمک فناوری لیدار گرفته تا حسگرهای کوچک مختلفی که در ساختمان‌ها کاربرد دارند. در این میان مواردی وجود دارد که برای شناسایی آن‌ها نیاز به اندازه‌گیری‌های غیرتماسی داریم. به عنوان مثال برای شناسایی عیب‌های خطوط انتقال گاز شهری و یا سلامت سازه‌ها، معمولا مشکلات زیادی وجود دارد که علاوه بر خطرات جانی، موجب تخریب فضای شهری و افزایش هزینه‌ها می‌شود. شناسایی به موقع عیوب، می‌تواند در بسیاری از هزینه‌های تکراری و جلوگیری از خطرات کمک کند. برای رفع چنین مشکلاتی راه‌حل‌های زیادی مبتنی بر فناوری‌های نوری وجود دارد که در ایران بسیار اندک به آن پرداخته شده است. در ادامه با شرکت دانش‌بنیان فرهیختگان حامی علم‌وصنعت آشنا می‌شویم که در این زمینه محصول ارزشمندی مبتنی بر فیبر نوری را طراحی و تولید کرده است.

شرکت دانش‌بنیان فرهیختگان حامی علم‌وصنعت متشکل از اعضای هیأت علمی و فارغ‌التحصیلان نخبه دانشگاه‌های برتر تهران و کشور است. این مجموعه با تکیه بر دانش و تجربه خود و با همکاری با دیگر متخصصان و کارشناسان مطرح کشور، در راستای پیوند دانشگاه و صنعت در جهت تولید فناورانه تلاش می‌کند.

هدف کلی این مجموعه بالابردن سطح خدمات فنی‌مهندسی در زمینه‌های مختلف فناوری پیشرفته به ویژه فوتونیک و لیزر است.

این شرکت دارای چهار گروه لیزر و اپتیک، الکترونیک، مکانیک و نرم‌افزار است که جهت انجام طرح‌های بین رشته‌ای و مکمل گرد هم جمع آمده‌اند. گروه اپتیک و فوتونیک این شرکت دانش‌بنیان در حوزه های اپتیک و لیزر، کوانتوم و شناسایی‌های اپتیکی فعالیت می‌کند.

محصولاتی چون دستگاه عدد تصادفی کوانتومی و سامانه پایش مرزی از مهم‌ترین زمینه‌های کاری این گروه است. یکی از محصولات مهم این گروه، سامانه پایش سراسری فیبر نوری با نام «حارس» است. این سامانه یک نوع حسگر تشخیص نفوذ امنیتی است که جهت حفاظت از مناطق حساس و مرزها، پایش خطوط انتقال انرژی، کنترل خطوط ریلی و مانیتورینگ سلامت سازه‌ها کاربرد دارد.



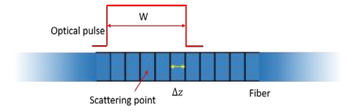
فناوری به کار گرفته شده در این سامانه مانند یک میکروفون مداوم عمل کرده و موجب شده این سامانه قابلیت عملکرد در محدوده فرکانس بسیار گسترده‌ای (در محدوده ۳ هرتز تا ۵۰۰ کیلوهرتز) را داشته باشد.

یکی از چالش‌های جدی در خطوط انتقال انرژی در صنعت و شهرها، مانند خطوط انتقال گاز و سازه‌های حساس شهری مانند برج‌ها، پل‌ها و سدها، اطمینان از صحت عملکرد زیرساخت‌ها در برابر نشتی و فشار است که در صورت بروز حادثه عواقب جانی و مالی بسیار به دنبال دارد. جهت دستیابی به راهکار مناسب در برابر این چالش می‌بایست با کمک فناوری‌های به‌روز، از سامانه‌ای جهت نظارت دائمی و در طول شبکه انتقال انرژی استفاده کرد. عموما جهت سنجش میزان نشت خطوط انتقال انرژی از سامانه‌های کنترل حجم ورودی و خروجی لوله‌ها استفاده می‌شود، اما این سامانه‌ها تنها قادر به تخمین میزان هدر رفت منابع انرژی بوده و موقعیت نشت را مشخص نمی‌کنند.

یکی از راهکارهای جدید و مقرون‌به‌صرفه به منظور نظارت کامل و بدون فاصله بر سازه‌ها و نقاط حساس، استفاده از سامانه پایش خطوط انتقال با استفاده از فیبر نوری توزیع شده به عنوان راه‌حلی مناسب جهت پیشگیری و اصلاح رویدادهای غیرمنتظره می‌باشد. این سامانه با تشخیص انواع رخدادهای ایجاد شده در طول خطوط لوله و سازه‌ها از قبیل نشت، شکستگی، تداخل شخص ثالث و فشار زیاد، قادر خواهد بود تا موقعیت دقیق این رویدادها را مشخص کرده و کمک می‌کند تا با تشخیص به موقع، از وارد آمدن خسارت‌های جبران‌ناپذیر جلوگیری به عمل آید.

فناوری به کار رفته در این سامانه بر اساس تحلیل نور بازگشتی لیزر در طول فیبر نوری تک مد (SMF) و محاسبه میزان لرزش و فشار وارده بر فیبر در نقاط مختلف آن است.

عملکرد این سامانه براساس محاسبه میزان لرزش‌های وارده بر فیبر نوری از طریق اندازه‌گیری مقدار توان بازگشتی پالس‌های لیزری است. نور بازگشتی در طول فیبر بر اثر پراکندگی رایلی به عقب بازگشته و به کمک تحلیل به روشOTDR



فازی، طرح‌های متوالی بازگشتی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در حالت پایدار، توان دریافتی در قسمت گیرنده نسبت به زمان دارای طرح ثابتی است. با اعمال فشار و یا ایجاد ارتعاش در بخشی از فیبر نوری، توان، قطبش و یا فاز نور بازگشتی تغییر کرده و در نهایت نمودار طرح دریافتی در نقطه مورد نظر تغییر خواهد کرد. با اعمال الگوریتم‌های حذف نویز و استفاده از الگوهای پردازشی مناسب و از طریق مقایسه طرح‌های متوالی، تغییرات سیگنال بازگشتی در مکان ارتعاش و یا فشار وارده بر فیبر ثبت می‌شود.

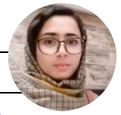
موقعیت نفوذ ایجاد شده از طریق محاسبه زمان رفت و برگشت پالس و امواج بازتابی مشخص می‌شود. همچنین با استفاده از فرکانس ارتعاشات وارده بر فیبرنوری، نوع تهاجم صورت گرفته دسته‌بندی شده و در اختیار کاربر قرار خواهد گرفت تا اقدامات لازم و به موقع صورت گیرد.

نوآورانه

فناوری فوتونیک
در شهرهای هوشمند

مواد هوشمند

حسگرهای هوشمند



به قلم زهره آیاره
z.ayareh@yahoo.com

شهرهای هوشمند

با افزایش رو به رشد جمعیت جهانی و پیشرفت فناوری‌های مدرن، مردم بیشتر به سمت شهرنشینی و زندگی مدرن متمایل شده‌اند. افزایش جمعیت شهرها در کنار پیشرفت فناوری باعث شده است که مدیریت شهرنشینی به سمت مدیریت هوشمند سوق داده شود. رویکرد شهر هوشمند، سریع‌ترین شکل در حال رشد شهرنشینی در سراسر جهان است که برای مدیریت جمعیت به سامانه‌های انرژی پایدار نیاز دارد. با توجه به پیش‌بینی رشد جمعیت، شهرها مستلزم افزایش تقاضای منابع برای ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و تامین انرژی هستند. بدین صورت که دولت‌مردان در شهرهای سراسر جهان به چالش کشیده شده‌اند، زیرا تقاضا برای استفاده از فناوری‌های جدید جهت مدیریت و کنترل شهر هوشمند افزایش یافته است و یکی از این فناوری‌ها که در ادامه به آن می‌پردازیم فناوری فوتونیک است. طبقه‌بندی شهر هوشمند تاکنون در بسیاری از موارد، فناوری‌محور بوده و گسترش، بهبود و یکپارچه‌سازی فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات را در مقابل تلاش برای هوشمندسازی یک شهر قرار می‌دهد. با توجه به طیف گسترده‌ای از اصطلاحات و ایده‌های مرتبط با مفهوم شهر هوشمند، ۶ طبقه‌بندی برای آن ارائه شده است که در شکل زیر از آن‌ها نام برده شده است.

معماری باستانی که به طراحی و ساخت سازه‌ها به‌ویژه برای انطباق فعالیت‌های انسانی می‌پردازد، در چند سال گذشته با توجه به هوشمندسازی، با گسترش مفهومی قابل توجهی مواجه شده است. اصطلاح جامع «معماری هوشمند» بیانگر سطح جدیدی در طراحی و ساخت مرتبط با اطلاعات و ارتباطات هوشمند است. مزیت کلیدی سامانه‌های هوشمند، از ظرفیت آن‌ها برای ارائه ساختارهای ارتباطی و بازخورد مناسب ناشی می‌شود که قادر است، شرایط در حال تغییر محیط‌های فضایی را حس کند و پاسخ مناسب به تغییرات را اعمال و کنترل کند. این عملکرد منجر به کاربردهای کلیدی شده است. راه‌حل‌های اندکی در معماری وجود دارد که هوشمندی را به عنوان یک ویژگی ذاتی و یکپارچه سازه‌ها و اجزای فیزیکی درک کند. به طور انحصاری از اصطلاح معماری هوشمند برای سازه‌ها یا اجزای ساختمانی استفاده می‌کنند که در آن‌ها هوشمندی عمیقاً در سطح ساختار مواد اعمال می‌شود، یعنی موادی که دارای عناصر محرک یا حسی هستند که کنترل فعال و سریع پارامترهای کلیدی معماری را ممکن می‌سازد.

مواد هوشمند

استفاده از فوتونیک در همه ابعاد شهر هوشمند تاثیرگذار است و تحلیل ما در این مقاله بر روی استفاده از مواد هوشمند و حسگرهای هوشمند در معماری شهرهای هوشمند است. مواد هوشمند موادی هستند که می‌توانند تغییرات محیطی را حس کنند یا بر اساس آن‌ها واکنش مناسب را اعمال کنند. با توجه به پیشرفت این فناوری، طیف وسیعی از این مواد در حال حاضر به خوبی شناخته شده‌اند و در بسیاری از زمینه‌ها از جمله هوافضا، معماری، دستگاه‌های الکترونیکی، فوتونیکی و قطعات نوری کاربرد فراوان دارند.

طبق تعریف مواد هوشمند، ما به دسته‌بندی مختصری از موادی می‌پردازیم که اغلب به عنوان مواد هوشمند یا فعال شناخته می‌شوند. این مواد را می‌توان به عنوان موادی دسته‌بندی کرد که به یک محرک غیرمکانیکی (مثلاً الکتریکی، مغناطیسی یا حرارتی) با یک پاسخ مکانیکی (تغییر شکل یا تنش مکانیکی) واکنش نشان می‌دهند و یا پاسخی غیرمکانیکی بر روی یک محرک نشان می‌دهد.

بنابراین می‌توان از آن‌ها به عنوان محرک یا حسگر استفاده کرد. همچنین مواد هوشمندی وجود دارند که به یک محرک غیرمکانیکی، یک پاسخ غیرمکانیکی دیگر نشان می‌دهند. به منظور مشاهده کلی مواد هوشمند موجود، آن‌ها را در یک دسته‌بندی قرار می‌دهیم که شامل ترکیبات و مواد مختلفی است.

پیش‌بینی می‌شود که رشد جمعیت شهری در کشورهای توسعه‌یافته (۰/۵%) از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۳۰، کمتر از رشد جمعیت در کشورهای کمتر توسعه‌یافته (۲/۳%) باشد، اما یک تغییر کلی مهاجرت از مناطق روستایی به شهری خواهد بود. حدود ۵ میلیارد از جمعیت جهان (۸/۴ میلیارد نفر) تا سال ۲۰۳۰ در شهرها زندگی خواهند کرد.

به طور گسترده کاربردهای عمده فعلی فوتونیک در شهرهای هوشمند به عنوان روشنایی، حسگرها، ارتباطات و پردازش سیگنال طبقه بندی می‌شوند.

دسته‌بندی مواد هوشمند عبارت است از:

۱) مواد هوشمند با قابلیت تغییر شکل (مواد هوشمند الکتریسیته، مواد هوشمند مغناطیسی/مغناطیسی الاستیک، مواد هوشمند پیزوالکتریک، پلیمرهای الکتریسیته، سیالات الکترومغناطیسی)

۲) مواد هوشمند با تغییر خواص نوری (مواد هوشمند فوتوکرومیک، مواد هوشمند ترموکرومیک و ترموتروپیک، مواد هوشمند الکتروکرومیک و الکترواپتیکی)

۳) مواد هوشمند ساطع‌کننده نور (مواد هوشمند فوتولومینسانس، مواد هوشمند الکترولومینسانس)

شهرها به‌عنوان سامانه‌های پیچیده و سازگاری رفتار می‌کنند که هم نیازمند فناوری و هم الهام‌بخش آن هستند. فوتونیک در حوزه‌ی فناوری اطلاعات و ارتباطات که شهرها را هوشمندتر می‌کند، نقش بسزایی دارد.

فوتونیک در مقیاس نانو که به نام نانوفوتونیک نیز شناخته می‌شود، فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند روشنایی هوشمند، آرایه‌های حسگر هوشمند برای نظارت بر مصرف منابع، ارتباطات نوری هوشمند و سامانه‌های پردازش سیگنال را برای بهبود کیفیت زندگی ساکنان شهر ارائه می‌دهد.

فوتونیک فناوری‌هایی را ارائه می‌دهد که رشد شبکه‌های اجتماعی، اینترنت اشیا (IOT) و نگهداری از زیرساخت‌ها را در میان سایر کاربردها ممکن می‌سازد. از سوی دیگر می‌توان اشاره کرد که شهرهای هوشمند برنامه‌هایی برای فناوری فوتونیک ایجاد می‌کند که باعث پیشرفت نسل‌های آینده‌ی مواد، دستگاه‌ها، مدارها و سامانه‌ها می‌شوند. به طور هم‌زمان، داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط آرایه‌های حسگر در شهرهای هوشمند نه تنها برای استفاده فوری مورد استفاده قرار می‌گیرند بلکه در اختیار محققانی قرار می‌گیرند که پدیده‌هایی که نیاز به تجزیه و تحلیل دارند را مطالعه و پیش‌بینی کنند.

در این مقاله بر فناوری در شهر هوشمند تمرکز شده است. در زمینه شهرهای هوشمند، حسگرهای فوتونیکی، آرایه‌های فازی داده‌های محیط را فعال می‌کنند. در حالی که فناوری‌های ارتباطی، اتصال پهنای باند بالا را بین تمام اجزای شهر هوشمند امکان‌پذیر می‌سازند. این امر توسط یک مؤسسه آمریکایی به نام Manufacturing for Integrated Photonics نشان داده شده است.

حوزه‌های کاربردی فوتونیک شامل ارتباطات دیجیتال در مراکز داده، بین مراکز داده و کاربران نهایی، فرکانس رادیویی آنالوگ (RF) و ارتباط مایکروویو با لینک‌های فیبر نوری، سنجش شیمیایی و بیوشیمیایی در ابعاد یک تراشه و تشخیص نور و محدوده (LIDAR) است. به طور کلی، دو کاربرد کلیدی اول به عنوان ارتباطات و پردازش سیگنال و دو مورد آخر به عنوان روش سنجش طبقه بندی می‌شوند. در نهایت، از طریق تجزیه و تحلیل، تصمیم‌گیری‌ها نیز هم توسط

انسان‌ها و هم ماشین‌هایی گرفته می‌شود که بر روی محیط عمل می‌کنند (محیط را تحت تاثیر خود قرار می‌دهند) و یک حلقه بازخورد برای سنجش و تحریک محیط ایجاد می‌کنند. در ادامه نمونه‌هایی از حسگرهای هوشمند که در تعیین کیفیت آب و هوا در شهرهای هوشمند نقش موثری دارند و سیستم‌های ارتباطاتی این حسگرها را بررسی می‌کنیم.

حسگرهای هوشمند

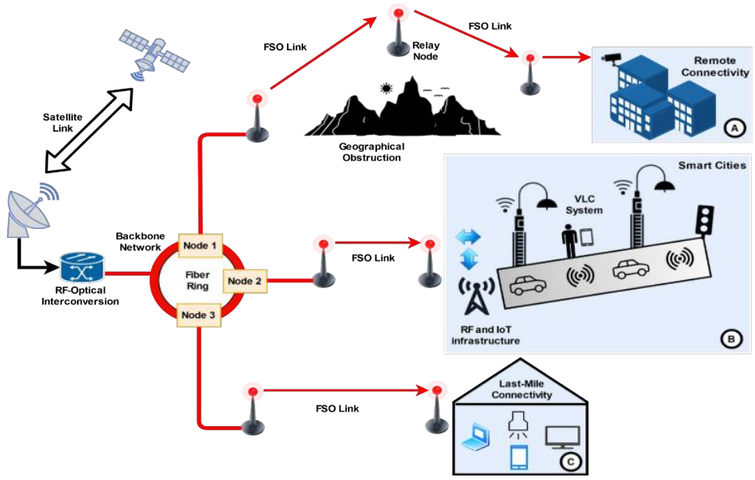
رشد سریع مناطق شهری تأثیر مستقیمی بر محیط زیست دارد که به نوبه خود بر سلامت و رفاه ساکنان شهری تأثیر می‌گذارد. دو عنصر مهم که برای انسان و به طور کلی زندگی ضروری هستند آب و هوا است. حسگرهای مبتنی بر فوتونیک، نقش اساسی در نظارت و کنترل آلودگی آب و هوا دارند. تعدادی حسگر بر اساس اثرات نوری برای نظارت بر کیفیت آب و هوا بررسی شده است. در محیط شهری، تعیین کیفیت آب و هوا اولین گام در جهت بهبود کیفیت زندگی ساکنان است. فاکتورهای کلیدی جو شامل ذرات معلق، ازن سطح زمین، کربن مونواکسید، ترکیبات نیتروژنی و سرب است. از پارامترهای کلیدی آب نیز می‌توان شوری، pH، کلر، فلزات سنگین و باکتری‌ها را نام برد. اکنون ضروری است قبل از بحث در مورد شبکه‌های حسگرهای نوری هوشمند، مروری کوتاه بر فناوری‌های فوتونیک برای سنجش آلاینده‌ها در آب و هوا ارائه کنیم. پارامترهای مهم برای ارزیابی عملکرد یک حسگر هوشمند، حساسیت، انتخاب‌پذیری، زمان پاسخ، برگشت‌پذیری، مقدار اطلاعات جمع آوری شده، مصرف برق و هزینه نهایی آن است.

حساسیت، به حداقل مقدار ماده قابل تشخیص در حجم معینی از گاز یا آب اشاره دارد. انتخاب‌پذیری، توانایی حسگر برای شناسایی یک عنصر، مولکول یا ترکیب خاص در میان یک مخلوط گازی یا مایع است. زمان پاسخ، در مواردی که تشخیص و نظارت فوق سریع اجباری است، می‌تواند بسیار مهم باشد. همچنین، زمان پاسخ و مقدار اطلاعات جمع‌آوری‌شده تأثیر مستقیمی بر پهنای باند ارتباطی دارد که برای شبکه‌ای از حسگرها و محرک‌ها مهم است.

برگشت‌پذیری به این اشاره دارد که آیا ماده، پس از سنجیده شدن، می‌تواند به شکل پیش از سنجش خود بازگردد یا خیر. پارامتر مصرف برق و هزینه حسگر نیز، اگر تعداد زیادی از آن‌ها در سراسر شهر اجرا شود اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند.

۷ شهر هوشمند برتر جهان:
نیویورک (ایالات متحده آمریکا)
سنگاپور (جمهوری سنگاپور)
لندن (انگلستان)
بارسلونا (اسپانیا)
اسلو (نروژ)
تورنتو (کانادا)
توکیو (ژاپن)

یکی از بزرگترین معضلات این روزهای کشور مشکل افزایش ریزگردها در آسمان است. به دلیل تاثیر مخرب این ریزگردها بر سلامت بدن، حسگرهای گرد و خاک برای سنجش میزان ریزگردها بسیار ضروری است.

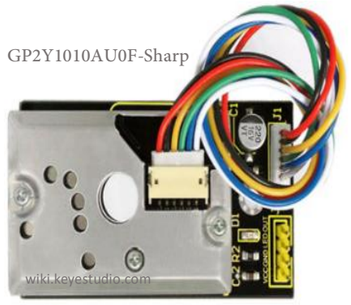


مزایای حسگرهای مبتنی بر پاسخ نوری مواد، حساسیت بالا، انتخاب‌پذیری بالا، پایداری بالا، طول عمر زیاد، زمان پاسخ کوتاه برای تشخیص فوق سریع و استحکام در برابر عوامل محیطی هستند.

تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی عمدتاً شامل تکنیک‌های مبتنی بر طیف‌سنجی جذب و انتشار است. طیف جذب گازهای خاص را می‌توان در پایگاه داده به نام HITRAN یافت. برخی از تکنیک‌های مبتنی بر طیف‌سنجی جذبی شامل طیف‌سنجی جذب نوری دیفرانسیل (DOAS)، طیف‌سنجی جذب لیزر دیود قابل تنظیم (TDLAS)، تشخیص نور و محدوده، رامان لیدار، دیفرانسیل لیدار (DIAL) و طیف‌سنجی جذب درون حفره‌ای (ICAS) هستند. این روش‌ها معمولاً حجیم و گران هستند. علاوه بر این، بیشتر این تکنیک‌ها از طول موج‌های بلند استفاده می‌کنند که برای عملیات به ده‌ها متر فضای باز نیاز دارند. برای کاربرد در سنجش شهر هوشمند، اجزای نوری باید کوچک شوند تا در مقیاس کوچک به حد نانومقیاس نزدیک شوند و در نتیجه منجر به سامانه‌های طیف‌سنجی جذبی فشرده شوند. طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه، یک تکنیک قدرتمند با کاربرد در پایش محیطی، از جمله آلودگی در نیروگاه‌ها، پتروشیمی‌ها و نیروگاه‌های گاز طبیعی، سایت‌های کشاورزی و صنعتی، و تشخیص گازهای تولید شده در شعله‌های آتش است. مرکز بنیاد ملی علوم فناوری‌های مادون قرمز میانی برای سلامت و محیط زیست (MIRTHE)، از لیزرهای آبشار کوانتومی (QCLs) برای نظارت بر کیفیت هوا، از جمله گازهای متان، آمونیاک استفاده کرده است. به عنوان مثال، کیفیت هوای پکن قبل، حین و بعد از بازی‌های المپیک ۲۰۰۸ اندازه گیری شد. همچنین این لیزرها تشخیص نشت گاز طبیعی و حسگرهای سنجش راه دور در هواپیما و فضاپیما را امکان پذیر می‌کنند. این نوع اندازه‌گیری‌ها به طول مسیر نوری زیادی نیاز دارند.

بنابراین، این فناوری در حال حاضر برای فواصل بین ساختمانی در یک شهر مفید است ولی برای در مقیاس درون ساختمانی کاربرد ندارد. در مقیاس درون ساختمانی، سنجش گازها توسط فناوری‌های فوتونیکی تجاری‌سازی شده است و فناوری‌های تجاری موجود عبارتند از حسگرهای گرد و غبار نوری و آشکارسازهای ذرات خطرناک که اندازه دستگاه به اندازه کف دست است.

ذرات معلق در هوا براساس اندازه به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند؛ ذرات با حداکثر قطر ۱۰ میکرومتر، ذرات با حداکثر قطر ۲/۵ میکرومتر و ذرات فوق ریز با قطر کمتر از ۰/۱ میکرومتر. با توجه به اینکه ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرومتر مستعد ایجاد مشکلات در محیط‌های شهری هستند. شرکت‌های تولید این نوع حسگرها پارامتر مورد سنجش را اندازه ۲/۵ میکرومتر در نظر گرفته‌اند. اولین نسل حسگر نوری گرد و غبار، حسگر GP2Y1010AU0F است که در سال ۲۰۰۲ توسط شرکت Sharp تولید شده است. این حسگر، از یک دیود ساطع کننده نور مادون قرمز و یک فوتوترانزیستور برای شناسایی نور پراکنده شده از گرد و غبار موجود در هوا استفاده کرده است.



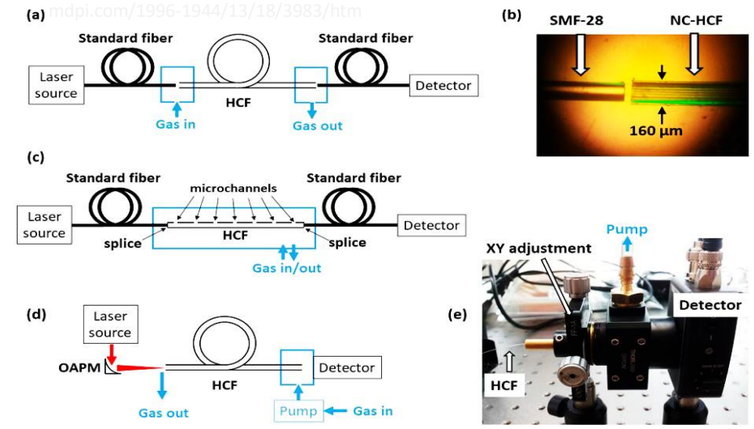
حساسیت حسگر ۰/۱ میلی‌گرم بر مترمکعب است و ذرات با حداقل اندازه ۲/۵ میکرومتر را شناسایی می‌کند این شرکت در نسل‌های بعدی حسگر گرد و غبار با مقایسه حسگر خود با حسگر شرکت‌های متفاوت از جمله شرکت‌های Mouser Electronics، Mansfield، TX و USA حسگر جدید و بهینه شده GP2Y1010 را تولید کرده است که در این حسگر نوری، سامانه نوری مثل LED و خازن خارجی بهینه شده است.

نویز حسگر تا ۱۰ برابر کاهش داشته و حساسیت افزایش یافته که معادل ۳/۱ میکروگرم بر مترمکعب است. در نتیجه می‌تواند ذرات با حداقل اندازه ۱ میکرومتر را اندازه‌گیری کند. در سال ۲۰۱۶ شرکت میتسوبیشی الکتریک، ادعا کرده است که یک طراحی منحصر به فرد برای حسگر سنجش کیفیت هوا شامل آینه دو طرفه، قادر است تقریباً دو برابر بیشتر از طرح‌های معمولی آینه یک طرفه برای تشخیص ذرات کوچک، نور پراکنده شده از ذرات را جمع‌آوری کند. سپس یک الگوی اختصاصی قادر است بین گرد و غبار بر اساس تفاوت‌های مربوطه در ویژگی‌های نوری نور پراکنده شده از آن‌ها، تمایز قائل شود. نمونه اولیه حسگر کیفیت هوا مبتنی بر دیود لیزر، عدسی کروی، آینه جمع‌آوری نور، آشکارساز نور و کنترل‌کننده جریان هوا است. طبق ادعای این شرکت سازنده، این حسگر می‌تواند اندازه ذرات تا قطر ۰/۳ میکرومتر را تشخیص دهد. ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرومتر توسط فرآیندهای احتراق مختلف، از جمله فرآیندهای احتراق در وسایل نقلیه موتوری، نیروگاه‌ها، و مشعل‌های چوبی مسکونی تولید می‌شود.

علاوه بر این دستگاه، امروزه حسگرهای فوتونیکی به طور قابل توجهی از ظهور فناوری نیمرسانای اکسید-فلز مکمل (CMOS) بهره‌مند شده‌اند و ادغام حسگرها روی تراشه را به سمت ساخت آن‌ها در مقیاس میکرو و نانو سوق داده‌اند.

ظهور حسگرهای CMOS نه تنها برای اهداف یکپارچه‌سازی و استفاده در اندازه‌های کوچک، بلکه به دلیل مزایای غیر قابل مقایسه مربوط به حساسیت بالا، پاسخ با سرعت بالا، ایمنی الکترومغناطیسی و هزینه کم بسیارجذاب و پرکاربرد است. این مدل حسگرها اندازه‌ی بسیار کوچک دارند و قابل استفاده در تلفن‌های همراه هستند و همچنین در مکان‌های خیلی تمیز مانند موزه و اتاق‌های جراحی استفاده می‌شود. دستگاه‌های یکپارچه متعددی با کارایی بالا برای تشخیص مواد شیمیایی، بیوشیمیایی و گاز ساخته شده‌اند. اخیرا این حسگرها بر اساس توپولوژی‌های مختلفی تولید شده‌اند و برپایه‌ی تشخیص تغییرات ضریب شکست موضعی کار می‌کنند، از جمله آن‌ها تشدید کننده‌های فاکتور فوتونی دو بعدی و تشدید پلاسمون‌های سطحی را می‌توان نام برد.

برای ادغام اصول مختلف فوتونیک با ساختار سیالات میکرومکانیکی، یک پردازنده تعبیه شده برای توسعه یک حسگر کاملاً خودمختار ضایعات سایش برای نظارت درون خطی سیالات صنعتی و شهری لازم است. میکروسکوپ بدون لنز، روشنایی استروبوسکوپی، تصویرگر CMOS و فناوری‌های بینایی ماشین تعبیه‌شده، برای ایجاد یک راه حل حسگر ادغام شده‌اند که قادر است تعداد و اندازه ذرات میکرومتری معلق در جریان پیوسته یک سیال را تشخیص داده و کمیت کند.



سامانه‌های سنجش و نظارت برای شهرهای هوشمند، یک چرخه عملیاتی پیوسته را ارائه می‌دهند که شامل سنجش، ارتباط، تصمیم‌گیری و سنجش نهایی است. الزامات شهر هوشمند، الهام‌بخش توسعه فناوری‌های فوتونیکی پیشرفته مانند آشکارسازها و حسگرها، منابع نور، تعدیل‌کننده‌ها و شتاب‌دهنده‌های سخت‌افزار نوری است که سرعت بی‌سابقه‌ای را برای ارتباطات و تصمیم‌گیری ارائه می‌کنند. در حالی که انرژی کم را در یک فضای کوچک مصرف می‌کنند.

فوتونیک مفهوم جدیدی را برای سنجش، یعنی ترکیب یا همجوشی حسگر (sensor fusion)، به ارمغان می‌آورد. در فرایند پردازش داده‌ها، به ترکیب داده‌های حسگری از منابع مختلف برای کاهش عدم قطعیت در داده‌های به دست آمده، همجوشی حسگر می‌گویند. در اینجا، این مفهوم را به حسگری تعمیم می‌دهیم که به طور هم‌زمان ویژگی‌های مختلف یک محیط مورد نظر را بررسی می‌کند. آرایه‌ای متشکل از پنج نانولیزر نیمه‌هادی، که یکی از آن‌ها با تمام ابعاد فضایی کمتر از ۱ میکرومتر، در فاصله ۱ میکرومتر از دیگری قرار گرفته‌اند. بدین صورت می‌توانند تابش نور را در پنج طول‌موج مختلف در گام آرایه‌ای ۱۰ میکرومتر ارائه دهند. اگر یک لیزر نیمه هادی بایاس معکوس شود، می‌تواند به عنوان آشکارساز نور نیز عمل کند.

برای بررسی یک محیط، باید آن را بین این دو آرایه نانولیزر نیمه‌هادی قرار داد. بدین صورت می‌توان پنج ویژگی مختلف محیط را تشخیص داد که در آن هر ویژگی با یک طول‌موج نشان داده می‌شود. پیشرفت‌های اخیر برای افزایش کارایی این نانولیزرهای نیمه‌هادی که در دمای اتاق کار می‌کنند، این فناوری را در دسترس قرار داده است. شبکه‌های فیبر نوری در حال حاضر برای عملکرد شهرها ضروری هستند و ارتباط دو طرفه بین ساکنان، مشاغل و سایر نقاط جهان را فراهم می‌کنند. مواد هوشمند در ساخت حسگرهای هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرند و در نهایت برای اتصال بین حسگرهای هوشمند موجود در شهر و دیگر ارتباطات نیاز به این شبکه‌های فیبر نوری است و این نوع شبکه‌های هوشمند در صورت بروز خطا یا خرابی در شبکه، خود را اصلاح می‌کنند. سرویس فیبر تا خانه (Fiber-to-the-home) یا FTTH، آخرین بخش یک شبکه فیبر نوری است و به یکی از اجزای حیاتی شهرهای هوشمند تبدیل شده است. از آنجایی که یک شهر هوشمند دارای شبکه گسترده‌ای از گره‌های حسگر و محرک است، ارتباطات سریع و کارآمد بین گره‌ها برای عملکرد

یک دستگاه مولتی‌پلکسر (Multiplexer) چندین سیگنال نوری را از طریق فیبر نوری پردازش می‌کند. بدین صورت میزان اطلاعات قابل انتقال در شبکه را افزایش می‌دهد.

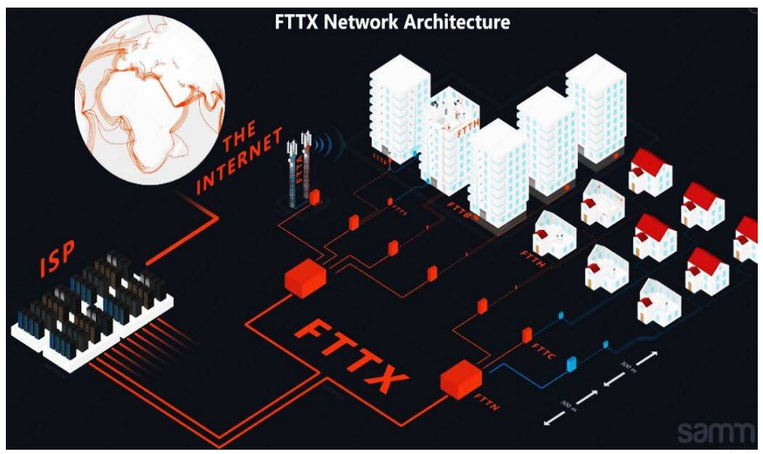
موثر ضروری است. در حال حاضر FTTH سریع‌ترین پیوندهای ارتباطی قابل تصور را فراهم می‌کند و انتظار می‌رود که با ارتباط بی‌سیم و پلتفرم‌های سیار گسترش بیشتری پیدا کند.

پس از شناسایی این کانال ارتباطی موثر، ضروری است که جایگزینی آن‌ها با زیرساخت‌های مسی موجود جهت ارتباطات از راه دور با فیبرهای نوری، ارائه پهنای باند بسیار بالاتر و ایجاد خدمات اینترنتی قوی‌تر برای مصرف‌کننده بررسی و انجام شود. بعد از ظهور فیبرهای نوری، یک شبکه نوری فعال قابل تصور است که آن را حسگر فیبر نوری می‌نامند. در آینده‌ی نزدیک، همه حسگرها توسط فیبرهای نوری با استفاده از همان پروتکل‌ها و زیرساخت‌های کابل فیبر نوری که قبلاً در سامانه‌های ارتباطی استفاده شده است، به هم متصل می‌شوند.

در حسگرهای فیبر نوری اطلاعات فرکانس‌های مختلف (به عنوان مثال ویژگی‌های اندازه‌گیری شده آب یا هوا) با استفاده از دستگاه مولتی‌پلکسر متصل به شبکه فیبر نوری، به یک گره مرکزی منتقل می‌شوند. جایی که اطلاعات برای طبقه‌بندی و استفاده در یک فرآیند تصمیم‌گیری دی‌مولتی پلکس می‌شوند.

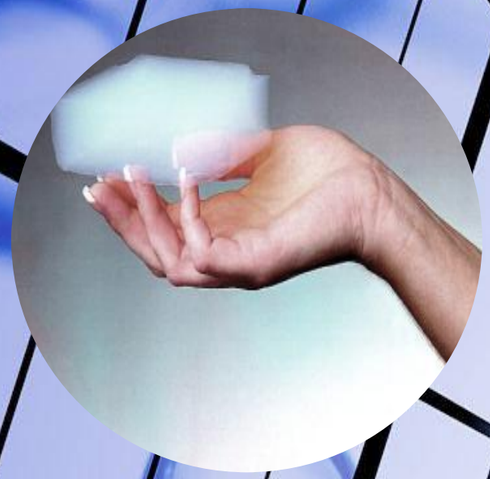
دستگاه‌های مولتی‌پلکسر و دی‌مولتی‌پلکسرها، منابع لیزری کارآمد برای فرستنده‌ها، آشکارسازهای کارآمد و حساس برای گیرنده‌ها، سوئیچ‌ها و مسیریاب‌های سریع بر اساس فرآیند نوری غیرخطی و سایر فناوری‌های فوتونیک، برای افزایش پهنای باند و کاهش مصرف انرژی مورد نیاز هستند.

به دلیل افزایش تعداد حسگرها در شهرهای هوشمند، ارتباطات سریع و پردازش داده‌ها برای تصمیم‌گیری سریع بسیار ضروری است. در این صورت است که، تمام فناوری‌های فوتونیکی که برای اتصالات نوری سریع، قوی و کم‌مصرف در مراکز داده توسعه یافته‌اند، می‌توانند در شبکه حسگرهای فیبر نوری اعمال شوند. امروزه به دلیل توسعه روزافزون فناوری‌های هوشمند در جهت داشتن زندگی راحت‌تر در شهرها، شاهد افزایش شهرهای هوشمند در سراسر جهان خصوصا در کشورهای توسعه یافته هستیم.



پروژه بهره‌گیری از فناوری FTTH به صورت پایلوت و براي اولين بار در ايران توسط شركت مخابرات استان تهران با هماهنگی پیمانکار مورد تایید، در مجتمع تجاري و اداري آرتمیس فرمانیه اجرا و به بهره برداری رسید.

کاربردهای مواد پیشرفته در صنعت ساختمان



طبقه‌بندی خودکار مصالح ساختمانی با استفاده از اسکن سه‌بعدی زمینی

کاربردهای مواد پیشرفته در صنعت ساختمان

به قلم سید مرتضی احمدی
seyedmortezaahmadi@gmail.com

فناوری‌های مواد پیشرفته و نانومواد فرصت‌های جدید جالبی را در صنعت ساخت و ساز و معماری ارائه می‌دهند، به عنوان مثال باعث توسعه مصالح ساختمانی بسیار بادوام، با عمر طولانی و در عین حال بسیار سبک وزن می‌شوند. مواد عایق جدید با عایق‌سازی بسیار بالا در حال حاضر در بازار موجود هستند، بهینه‌سازی حرارتی ساختمان هایی را که عایق‌کاری معمولی در آنها میسر نیست، امکان پذیر می‌کنند و می توانند به بهبود بهره‌وری انرژی کمک نمایند. طیف گسترده‌ای از روش‌ها برای اصلاح سطوح مختلف مانند شیش، سنگ، چوب و فلز نیز موجود هستند. هدف مواد پیشرفته بهبود عملکرد و همچنین افزایش طول عمر مواد است. پوشش‌های سطحی نوید حفظ منابعی مانند آب، انرژی و مواد پاک کننده را می‌دهند.

اگرچه در بخش تحقیقات شاهد رشد توانمندی مواد پیشرفته در صنعت ساختمان هستیم، اما واقعیت نشان می‌دهد که این محصولات در صنعت ساخت‌وساز همچنان نقش فرعی ایفا می‌کنند و در حال حاضر صرفاً بازارهای خاصی را به خود اختصاص داده‌اند. صنعت ساختمان یک صنعت محافظه کارانه محسوب شده و نوآوری‌ها اغلب برای ورود به بازار با مشکل مواجه می‌شوند.

یکی از دلایل اصلی این امر، اقیمت‌های بالای مواد پیشرفته است. در حال حاضر، این مواد به دلیل فناوری تولید مورد نیاز، هنوز به طور قابل ملاحظه‌ای گران‌تر از مصالح فعلی هستند. مصالح ساختمانی عموماً در مقادیر عمده استفاده می‌شوند، به این معنی که تفاوت‌های قیمتی کوچک می‌تواند هزینه‌های کلی را با در نظر گرفتن حجم کل یک ساختمان یا سازه‌های دیگر به شدت افزایش دهد. علاوه بر این، ابتدا باید عملکرد فنی محصولات جدید نشان داده شود. در ساختمان‌ها، بازه‌های زمانی محاسبه شده در محدوده ۲۰ تا ۳۰ سال است و اجرای پوششی با دوام تنها ۱ تا ۳ سال را دشوار می‌کند. تجربه طولانی‌مدت و عملی با بسیاری از محصولات مواد پیشرفته هنوز وجود ندارد و ما درباره عمر محصول آنها اطلاعات کمی داریم. بر این اساس، صنعت ساخت و ساز در حال حاضر ترجیح می‌دهد به محصولات ثابت و معمولی تکیه کند. وضعیت دانش ما در مورد کاربردها و محصولات فناوری‌های مواد پیشرفته و نانومواد، در دسترس بودن و عملکرد آنها در صنعت ساختمان در حال حاضر بسیار محدود است.

همه محصولات مواد پیشرفته در واقع حاوی نانو مواد نیستند. اغلب، اصطلاح "نانو" صرفاً به ساختارهایی در محدوده اندازه نانو اشاره دارد، به عنوان مثال اندازه منافذ یک ماده خاص، یا به اندازه ساختارهایی که هنگام سخت شدن ملات تشکیل می‌شوند. استفاده از نام "نانو" در ادعاهای محصول و تبلیغات در سال‌های اخیر دوباره رو به کاهش بوده است. این موضوع به دلیل آن است که اطلاعات در مورد خطرات بالقوه زیست محیطی یا سلامتی نانومواد، به ویژه از طریق رسانه‌ها، منجر به الگوهای خرید محتاطانه‌تر شده است.

دروازه‌های علم این شماره از نشریه فوتونیک و مواد پیشرفته، مروری بر کاربردها و محصولات نانوتکنولوژی در صنعت ساخت‌وساز ارائه می‌کند و بر روی مسئله خطرات بالقوه زیست‌محیطی و سلامتی که این محصولات ممکن است به همراه داشته باشند، تمرکز می‌کند.

زمینه‌های کاربرد و محصولات

کاربرد مواد پیشرفته در صنعت ساختمان در حال حاضر در چهار بخش متمرکز شده‌اند: (۱) مصالح ساختمانی مبتنی بر سیمان، (۲) کاهش صدا و عایق حرارتی یا تنظیم دما، (۳) پوشش های سطحی برای بهبود عملکرد مواد مختلف، و همچنین (۴) حفاظت در برابر آتش.

۱. مصالح ساختمانی با سیمان

الف. بتن با عملکرد فوق العاده بالا (UHPC)

بتن نوعی سنگ مصنوعی است که از سیمان، سنگدانه و آب ساخته می شود. سالانه بیش از ده میلیارد تن بتن در سرتاسر جهان تولید می‌شود که از نظر حجمی، آن را به بزرگ‌ترین کالای تولید شده توسط انسان و تا حد زیادی مهم‌ترین مصالح ساختمانی در صنعت ساخت‌وساز تبدیل می‌کند. استحکام بتن را می‌توان به سوزن‌های کوچک کریستالی (هیدرات‌های سیلیکات کلسیم) نسبت داد، که در طول فرآیند سخت شدن به طور جامد با یکدیگر پیوند می‌خورند. میکروسکوپ‌های الکترونی را می توان برای به تصویر کشیدن و مطالعه ساختارها تا مقیاس نانو، از جمله تجزیه و تحلیل همبستگی بین نانوساختار یک ماده ساختمانی و خواص آن، استفاده کرد.

پل Gärtnerplatzbrücke، اولین پلی که با استفاده از بتن UHCP در سال ۲۰۰۷ در آلمان افتتاح شد.

کلیسای جوبیلی در شهر رم ایتالیا که با استفاده از بتن فوتوکاتالیستی و خودتمیزشونده ساخته شده‌است.

این امکان بهینه سازی هدف‌گرا مصالح ساختمانی را برای یک کاربرد خاص فراهم می کند. در طول چند سال گذشته، این منجر به پیشرفت‌های جدید و پیشرفت‌های مادی شده است.

چسباننده‌های مبتنی بر مواد پیشرفته می‌توانند به بتن به عنوان مصالح ساختمانی معمولی، خواص جدیدی از نظر کارایی، استحکام و دوام ببخشند. افزودن نانوذرات دی اکسید سیلیکون منافذ بتن را پر می‌کند و آن را متراکم‌تر و سخت‌تر می‌نماید. بتن UHCP همچنین حاوی الیاف فولادی است که استحکام کششی را بهبود می‌بخشد. این نوع بتن به مقاومت فشاری فولاد و بیش از ۲۰۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع می‌رسد. افزودنی‌های پلیمری (به عنوان مثال رزین‌های مصنوعی) به مایع شدن و تثبیت سوسپانسیون سیمانی کمک می‌کنند که برای توسعه بتن‌های خود تراکم استفاده می‌شود. استحکام و چگالی بالای UHCP ساختارهای سبک و ظریفی مانند پل‌ها را امکان پذیر می‌کند.

ب. ملاتی برای تعمیر بتن

تأثیرات خارجی، به عنوان مثال هوای مرطوب، یخبندان، باد و باران، نمک همراه با افزایش سن و بارهای سنگین، با ایجاد ترک و همچنین بریدگی و پوسته پوسته شدن در سطح، به سازه‌های بتنی آسیب می‌رساند. این‌ها صنعت ساخت و ساز را با هزینه‌های بالایی مواجه می‌کند. ملات‌های تعمیری جدید که با فناوری‌های مواد پیشرفته ساخته شده‌اند، دارای ویژگی‌های فنی بهبود یافته‌ای مانند چگالی بیشتر، مقاومت کششی، خمشی و فشاری و همچنین مقاومت در برابر یخزدگی هستند. همچنین گفته می شود که آنها به حداقل رساندن آسیب به بتن کمک می‌کنند. علاوه بر این، وزن کم و کارایی ساده، مزایای بیشتری را برای کاربر نوید می‌دهد.

ج. محصولات و پوشش‌های بتن فعال فوتوکاتالیستی

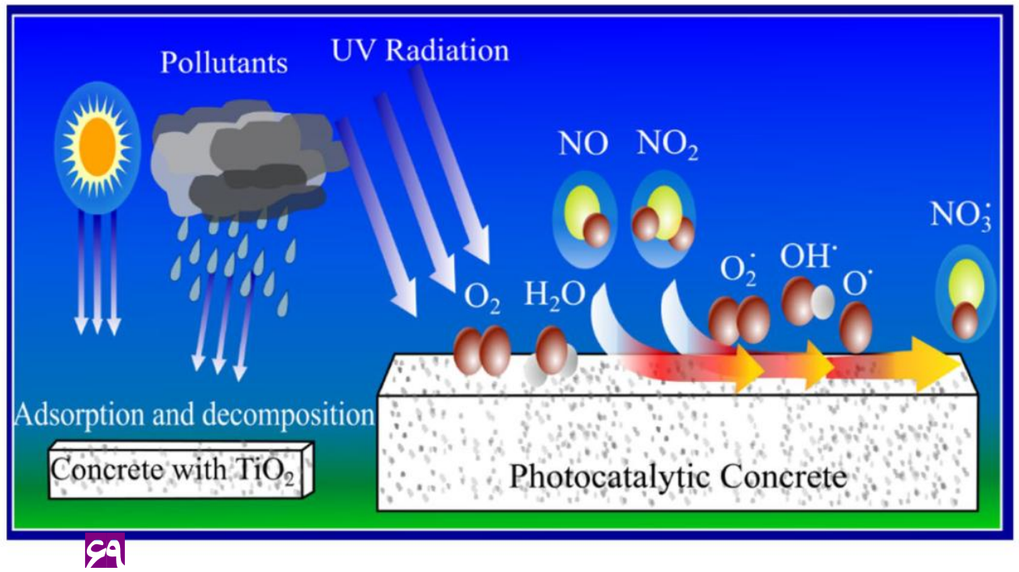
دی اکسید تیتانیوم در مقیاس نانو تحت تأثیر نور (UV) و آب (رطوبت)، واکنش‌های شیمیایی را تسریع می‌کند. این ماده، رادیکال‌های اکسیژنی تولید کرده که مواد آلی را تجزیه می‌کنند. این فرآیند که به عنوان فوتوکاتالیز شناخته می‌شود، در صنعت ساختمان و معماری برای ایجاد مصالح ساختمانی "خود تمیز شونده" و برای تجزیه آلاینده‌های هوا استفاده می‌گردد. هنگامی که روی سیمان کار می‌شود یا به صورت لایه‌ای روی بتن اعمال شود، فعالیت فئتوکاتالیستی TiO_2 به تجزیه کثیفی‌های متشکل از مواد آلی کمک می‌کند که پس از بارندگی شسته می‌شود . از نظر بیرونی، ساختمان‌ها ظاهر اولیه خود را برای مدت طولانی‌تری حفظ می‌کنند.

تصفیه هوا حوزه دیگری از کاربرد محصولات بتن فعال فوتوکاتالیستی است. در کلان شهرها، سطوح بالای اکسیدهای نیتروژن ناشی از تردد وسایل نقلیه یک مشکل بزرگ محسوب می‌شود. محصولات بتنی مانند سقف و سنگ فرش با فوتوکاتالیستی TiO_2 برای بهبود کیفیت هوا با تبدیل اکسیدهای نیتروژن از هوای اطراف به نیترات طراحی شده‌اند. یکی دیگر از کاربردهای بالقوه در دیوارها یا سطوح جاده‌ای است که سر و صدا را کاهش می‌دهند.

در حال حاضر، سیمان ویژه با نانو TiO_2 هنوز به طور قابل توجهی گرانتر از سیمان معمولی است. بنابراین، بررسی دقیق هزینه‌ها و مزایا و همچنین مطالعات بیشتر در مورد محصولات جانبی بالقوه خطرناک فرآیند تخریب فوتوکاتالیستی، مورد نیاز است. بر اساس داده‌های موجود در حال حاضر، جلوگیری از انتشار آلاینده‌ها در منبع موثرتر از محصولات یا پوشش‌های گران قیمت بتن فوتوکاتالیستی است.

د. تثبیت زمین در راهسازی

به منظور محافظت از جاده از آسیب یخبندان، بستر جاده باید به درستی آماده شود.برای این منظور پلیمرهای جدیدی با دی اکسید سیلیکون در مقیاس نانو، که با سیمان مخلوط می‌شود، برای افزایش دوام جاده‌ها طراحی شده‌اند و در عین حال نوید کارایی بهتر را می‌دهند.



همانند UHCP، نانوذرات SiO_2 فضاهای بین ذرات بتن را پر می‌کنند و یک ماتریس بتنی یکنواخت و متراکم را ایجاد می‌نمایند. علاوه بر این، پلیمرهای موجود در ساختار بتن نیز دافع آب هستند. این موضوع باعث کاهش ظرفیت جذب آب در پی جاده و بهبود مقاومت در برابر سرما می‌شود. این افزودنی‌های جدید مزایای بیشتری را نوید می‌دهند: مواد موجود در محل (ماسه، خاک رس یا خاک حفاری شده) را می‌توان برای تولید بستر جاده مورد استفاده قرار داد، که به موجب آن حمل و نقل کمتری برای مواد اولیه مورد نیاز است. فرآیند گیرش عوامل اتصال (به عنوان مثال سیمان) و افزودنی پلیمری را می‌توان با استفاده از آب شیرین و آب شور انجام داد و فرآوری آن حتی در دماهای زیر ۱۰- درجه سانتی گراد نیز امکان پذیر است. به گفته سازنده، این ساختارهای پلیمری برای آب‌بندی نیز مناسب هستند.

۲. عایق حرارتی و کاهش صدا، تنظیم دما

یکی از بزرگترین چالش‌ها در بخش ساخت و ساز، بهینه‌سازی حرارتی ساختمان‌های مسکونی و صنعتی موجود است. در اینجا، استفاده از مواد عایق جدید مبتنی بر فناوری‌های پیشرفته می‌تواند سهم مهمی داشته باشد. افزایش جهانی مصرف انرژی به یک چالش تبدیل شده‌است. در حدود ۳۰ درصد انرژی خانوارها، برای گرمایش فضا استفاده می شود. این موضوع نشان‌دهنده پتانسیل بزرگی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی است.

نوآوری‌های مواد پیشرفته، ساختمان‌هایی را که عایق کاری معمولی به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر در آن‌ها امکان‌پذیر نیست (مثلاً در ساختمان‌های قدیمی‌تر با نمای کلاسیک) عایق‌بندی می‌کند و در نتیجه به مقادیر عایق بسیار خوبی دست می‌یابند:

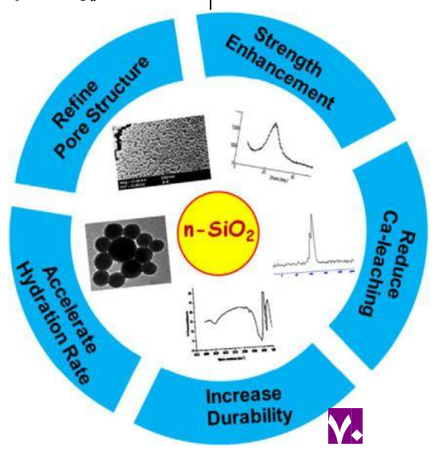
آ. ایروژل

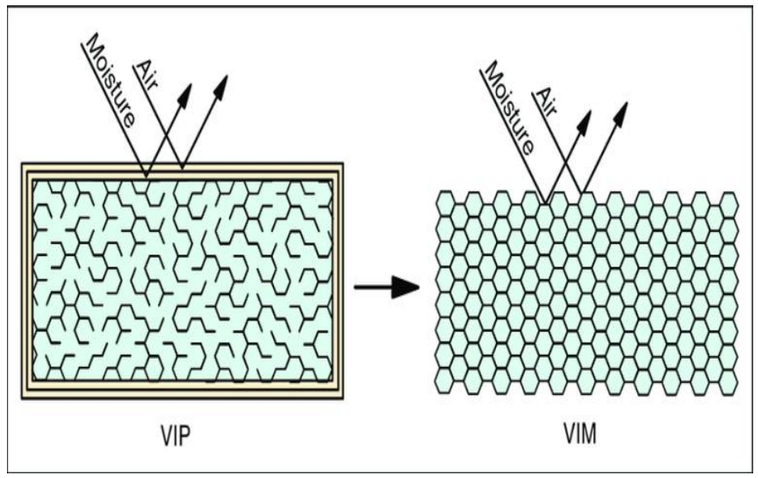
ایروژل یک ماده مخصوص سبک وزن است که به عنوان مثال می تواند از سیلیس تولید شود. ژل در یک فرآیند خاص خشک شده و نوعی فوم جامد به دست می‌آید که از بیش از ۹۵ درصد هوا تشکیل شده است. چنین ایروژل‌های سیلیسی برای اولین بار در دهه ۱۹۳۰ تولید شدند. منافذ این ماده تنها چند نانومتر است که

نام تجاری Nanogel را توضیح می‌دهد. رسانایی حرارتی یک ماده با منافذ در مقیاس نانو حداقل است زیرا تنها تعداد کمی از مولکول‌های گاز در منافذ فضای حرکت دارند، بنابراین انتقال حرارت از یک ذره گاز به ذره دیگر کاهش می‌یابد. ایروژل دارای ۱۵ مورد در کتاب رکوردهای گینس است که از جمله آنها می‌توان به عنوان‌های "بهترین عایق" و "سبک ترین جامد" اشاره نمود. از ترکیب ایروژل و پشم سنگ، به اصطلاح Aerowolle تولید می‌شود که در تخته گچ نازک برای عایق کاری داخلی گنجانده شده است. ایروژل را می‌توان بین دو شیشه پنجره نیز پر کرد. چنین لعاب‌هایی با موفقیت تابش مادون قرمز و همچنین نویز را مسدود می‌کنند. با این وجود، ایروژل شفاف نیست و جلوه "شیشه نیمه شفاف" ایجاد می‌کند.

ب. پنل‌های عایق خلاء (VIP)

هسته این پنل‌های عایق ویژه از سیلیس، گرافیت یا کاربید سیلیکون در خلاء تشکیل شده است و توسط یک ورق چند لایه متراکم و پایدار ساخته شده از مواد مصنوعی و آلومینیوم احاطه می‌شود. با حذف هوای رسانای گرما، این صفحات تنها با ضخامت ۲-۴ سانتی متر به مقادیر عایق‌بندی بالایی دست می‌یابند که با مواد عایق معمولی مانند پنل‌های پلی استایرن به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر قابل مقایسه است. چنین VIP هایی را می‌توان هم در داخل و هم





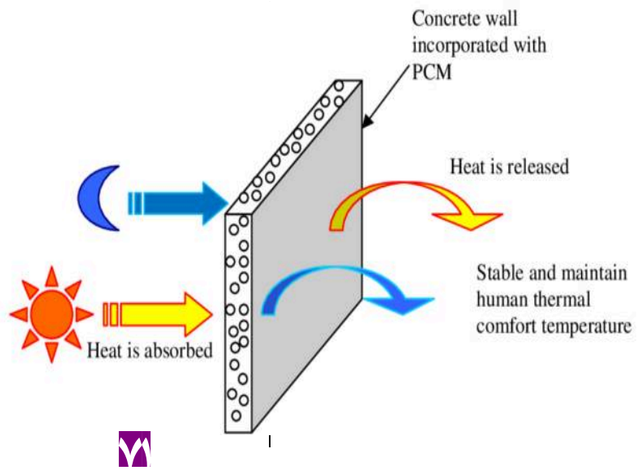
در فضای باز، به عنوان مثال برای دیوارها، پشت بام‌ها و تراس‌ها، بلکه در واحدهای خنک کننده استفاده کرد. با این حال، VIPها نسبتا حساس هستند زیرا آسیب مکانیکی می‌تواند خلاء را از بین ببرد. این امر برش را به اندازه دلخواه غیرممکن می‌کند، همچنین هزینه‌ها هنوز بالا هستند.

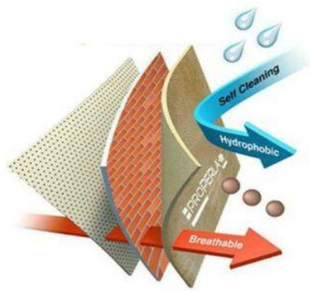
ج. تنظیم دما با استفاده از مواد تغییر فازی (PCM)

در تابستان، دمای بسیار بالایی را می‌توان در زیر شیروانی یا ساختمان‌هایی که با استفاده از فناوری سبک وزن ساخته شده‌اند، بدست آورد. این را می‌توان با گچ کاری، آجر، بتن یا پنل‌های سفالی با PCM ترکیب شده که بر اساس موم‌های پارافین تولید می‌شود، میسر ساخت. در این روش، گوی‌های پارافینی با قطر در مقیاس میکرو یا نانومتر در یک پوشش پایدار از پلاستیک یا شیشه اکریلیک محصور می‌شوند. هنگامی که موم در دماهای بالاتر ذوب می‌شود، انرژی گرمایی را از محیط اطراف استخراج کرده و اگرچه فاز از جامد به مایع تغییر می‌کند، وقتی دما دوباره کاهش یابد، مثلاً در شب، موم دوباره جامد می‌شود و این انرژی گرمایی را پس می‌دهد. مصالح ساختمانی با PCM برای تنظیم دما در فضاهای داخلی مناسب هستند و به طور بهینه حتی می‌توانند به طور کامل نیاز به تهویه مطبوع را جایگزین کنند.

د. پنجره‌های الکتروکرومیک

پنجره‌های الکتروکرومیک از دو شیشه (صفحه ساندویچ) با روکش شفاف و رسانای الکتریکی تشکیل شده‌اند. فضای میانی شامل یک لایه سل-ژل از تری اکسید تنگستن است. اعمال جریان الکتریکی کوچک (حداکثر ۳ ولت) این پوشش نانوساختار را به رنگ آبی در می‌آورد و عبور نور خورشید را از صفحه چند لایه کاهش می‌دهد. نور و گرمای ورودی به اتاق را می‌توان به صورت جداگانه با چنین صفحات الکتروکرومیک کنترل کرد. زمان تغییر رنگ به اندازه پنجره‌ها بستگی دارد و می‌تواند بین سه تا پنج دقیقه باشد که ممکن است یک نقطه ضعف در نظر گرفته شود. برخلاف شیشه‌های پنجره الکتروکرومیک معمولی، نیازی به منبع تغذیه دائمی نیست.





۳. پوشش های سطحی

در حال حاضر و در بخش ساخت و ساز، انبوهی از محصولات مبتنی بر فناوری نانو که می‌توانند سطوح مختلف را کاربردی کنند، در بازار وجود دارند. تمرکز بیشتر بر روی کثیفی و ضد آب سازی همراه با پوشش‌های "خود تمیز شونده" است. این‌ها شامل رنگ‌های نما، شیشه‌های پنجره، کاشی‌های سقف، محافظت از سطح مصالح ساختمانی در برابر نفوذ آب، خزه‌ها، جلبک‌ها یا کپک‌ها، و پوشش‌های "ضد گرافیتی" یا "ضد اثر انگشت" می‌شود.

۴. حفاظت در برابر آتش

شیشه‌های ویژه مقاوم در برابر آتش شامل دو صفحه شیشه‌ای با لایه‌ای به ضخامت ۳ میلی‌متر از SiO_2 نانومقیاس است که در صورت آتش‌سوزی کف می‌کند. چنین شیشه‌هایی می‌توانند در برابر آتش مداوم بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد تا ۱۲۰ دقیقه مقاومت کنند. همچنین بسیار سبک و نازک نیز هستند. خود پوشش به سختی قابل مشاهده است. علاوه بر کاربرد در ساختمان‌ها، این شیشه‌ها برای پنجره‌ها و دریچه‌های کشتی نیز استفاده می‌شوند. با استفاده از نانو SiO_2، ساندویچ پنل‌های سبک وزن از کاه و کنف، مانند آن‌هایی که در ساخت نمایشگاه‌های تجاری استفاده می‌شوند را می‌توان پوشش داد و در برابر آتش مقاوم کرد. با وجود پوشش شیشه مانند، پنل‌ها قابل پخش در محیط هستند و در پایان عمر مفید خود، می‌توان آنها را به طور معمول خرد کرد و دور انداخت.

ذرات سیلیکات نانوساختار (اصطلاحاً "نانو رس") را می‌توان در پلاستیک‌ها گنجاند تا خواص ضد شعله و مقاومت حرارتی آنها را بهینه کند. چنین مواد نانوکامپوزیتی برای مثال در تولید عایق کابل یا پوشش‌ها (مانند جعبه فیوز، سوکت‌ها) در تکمیل داخلی استفاده می‌شوند.

۵. برنامه‌های کاربردی در حال توسعه

نانولوله‌های کربنی (CNTs) به دلیل خواص ویژه خود در توسعه بتن مسلح مورد توجه ویژه هستند. افزودن تنها ۱% وزنی CNT ها می‌تواند

خواص مکانیکی را بهبود بخشد. به طور خاص، CNT های چند جداره می‌توانند مقاومت فشاری و کششی را افزایش دهند. چالش‌های فنی هنوز در ادغام یکنواخت نانولوله‌های کربنی در ماتریس بتن (انباشتگی نانولوله‌های کربنی، اتصال ضعیف نانولوله‌های کربنی با ماتریس) باقی مانده است. تاکنون، این مشکلات به همراه هزینه‌های بالای تولید مداوم و خطرات سلامتی غیرقابل پیش بینی نانولوله‌های کربنی مانع از معرفی یک محصول بتنی با CNT شده است. حسگرهایی که مبتنی بر فناوری نانو هستند دستگاه‌های نانو الکترومکانیکی، نیز در دست تحقیق و توسعه هستند. این دستگاه‌ها می‌توانند در بتن کاشته شده و در کنترل کیفیت و نظارت بر دوام کمک کنند.

جنبه‌های بهداشتی

هم کارگران و هم کاربران نهایی ممکن است هنگام استفاده از یک محصول ساختمانی با مواد جدید در تماس باشند و بنابراین باید در برابر خطرات سلامتی بالقوه محافظت شوند. این امر در بخش حمایت از کارکنان توسط مقررات قانونی و اقدامات مربوط به مدیریت ریسک در مشاغل یا شرکت‌ها تضمین شده است. با این حال، به خصوص در مورد مصرف کنندگان نهایی، اطلاعاتی در مورد اینکه کدام ماده در چه شکل و غلظتی در یک محصول وجود دارد، اغلب وجود ندارد. طبق دستورالعمل اتحادیه اروپا در مورد طبقه بندی، برچسب گذاری و بسته بندی مواد و مخلوط‌ها تولیدکنندگان موظف نیستند به مشتریان خود اطلاع دهند که محصول آن‌ها حاوی چه موادی است. یک راه حل می‌تواند برگه داده ایمنی مواد (MSDS) باشد، اما در مورد محصولاتی که با MSDS ارائه می‌شوند، تصمیم‌گیری در مورد اینکه آیا چنین اطلاعات بهداشتی و ایمنی در مورد مواد گنجانده شده شامل می‌شود یا خیر، به عهده سازنده است. بر این اساس، انتقال اطلاعات در طول کل زنجیره ارزش - از سازنده یک محصول حاوی مواد پیشرفته تا کاربر نهایی - به طور کلی ارائه نمی‌شود.

با توجه به دانش کنونی ما، اگر یک ماده به طور دائم در یک ماتریس، مانند بتن یا در یک ماده عایق، چسبیده باشد تا زمانی که محصول به همان صورت باقی بماند، احتمال قرار گرفتن در معرض آن ماده بسیار کم است یا وجود ندارد. با این حال، حتی در مورد دوم مطالعات نشان می‌دهد که تراشیدن مواد نانوکامپوزیتی با کاغذ سنباده منجر به آزاد شدن اجزای نانوذرات نمی‌شود و خطری ندارد.

یک مطالعه دیگر نشان داد که حفاری در بتن حاوی یک افزودنی، منجر به غلظت نانوذرات بالاتر در هوای محیط، نسبت به بتن معمولی می‌شود. متأسفانه، ابزارهای اندازه‌گیری اندازه ذرات موجود در حال حاضر فقط می‌توانند تعداد ذرات در واحد حجم هوا را تعیین کنند: هیچ مشخصه‌ای از ذرات ممکن نیست و بنابراین ترکیب و منبع غلظت ذرات اندازه‌گیری شده را نمی‌توان تعیین کرد. گمان می‌شود که موتور مته به دلیل شدت حفاری بالاتر، نانوذرات بیشتری را هنگام نفوذ به بتن‌های متراکم‌تر و سخت‌تر ساطع می‌کند. به هر حال، عملکرد وسایل برقی و واحدهای گرمایش، و همچنین فرآیندهای احتراق، احتمالاً غلظت بیشتری از نانوذرات را آزاد می‌کنند. هنگامی که یک پوشش نانو در محل ساخت و ساز پاشیده می شود یا ملات مخلوط می شود، کارگران با استنشاق گرد و غبار یا قطرات کوچک مایع (آئروسل‌ها) در معرض تهدید بالقوه سلامتی قرار می‌گیرند.

این مطالعه همچنین قرار گرفتن در معرض محل کار را هنگام دست زدن به مواد گرد و غبار و مایع مورد بررسی قرار داد. اختلاط ملات منجر به اوج گیری غلظت نانوذرات کوتاه مدت در هوا شد. با این حال، این مقادیر به شرایط آب و هوایی وابسته بودند: غلظت‌های قابل توجهی کمتر تحت بادهای شدید اندازه گیری شد. غلظت نانوذرات تا حدودی بالاتر هنگام پاشش یک پوشش حاوی نانو TiO_2 ثبت شد. اگرچه این موضوع به طور بالقوه می تواند به انتشار گازهای خروجی موتور دستگاه دریل نیز نسبت داده شود. نتایج مطالعات فوق در محل کار منجر به این نتیجه می شود که سهم ماشین آلات مورد استفاده (ماشین‌های اختلاط، مته، موتورهای دیزل و غیره) - و همچنین دود سیگار - بیشتر از مواد مورد استفاده در غلظت نانوذرات در هوای محیط نقش دارند.

مزایا و تهدیدات زیست محیطی

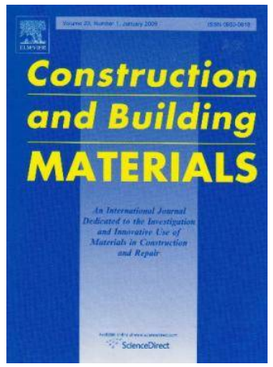
مزیت‌های زیست محیطی محصولات ساختمانی حاوی مواد نانو یا محصولات مبتنی بر فناوری مواد پیشرفته به ویژه در بخش‌های صرفه‌جویی در انرژی و حفظ منابع مورد انتظار است. عایق‌های جدید می‌توانند به کاهش تقاضای انرژی برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌های مسکونی و فضاهای اداری کمک کنند و همچنین می‌توانند در مواردی که عایق کاری معمولی امکان‌پذیر نیست، استفاده شوند. پوشش‌های ویژه می‌توانند طول عمر مواد را افزایش دهند یا مانند پوشش‌های «خود تمیز شونده»، به کاهش تلاش برای تمیز کردن و در نتیجه کاهش تقاضا برای انرژی، آب و مواد پاک‌کننده کمک کنند. با این حال، برای اکثر "محصولات ساختمانی مواد پیشرفته"، هیچ تحلیل چرخه عمر جامع یا ارزیابی مقایسه ای تعادل زیست محیطی (در مقابل مصالح ساختمانی معمولی) در دسترس نیست.

از آنجایی که "محصولات ساختمانی مبتنی بر مواد پیشرفته" در حال حاضر تنها نقش فرعی را در بازار ایفا می‌کنند، به نظر می‌رسد تهدید زیست محیطی فعلی از طریق این مواد کم باشد. با این وجود، تقریباً هیچ داده‌ای در مورد قرار گرفتن در معرض این مواد در دسترس نیست، به طوری که در حال حاضر نمی توان ارزیابی ریسک جامعی برای این مواد انجام داد. پسماندها و فاضلاب منابع بالقوه اصلی ورودی به محیط زیست هستند. در مورد محصولات ساختمانی، این تخلیه زباله ساختمان با مواد پیشرفته یا دفع نادرست رنگ‌ها یا لاک‌ها از طریق سیستم فاضلاب است. مطالعات نشان داده است که نانوذرات TiO_2 از رنگ‌های نما می‌توانند خارج شده و وارد محیط شوند. تا به امروز، هیچ مقررات خاصی بر دفع یا بازیافت محصولات ساختمانی حاوی مواد جدید حاکم نیست. برای برخی از نانومواد، به عنوان مثال نانو TiO_2 یا نانو نقره، مطالعات آزمایشگاهی اثرات سمی را در محیط نشان داده است. با این وجود، ورودی واقعی این مواد به محیط زیست و رفتار آنها در اکوسیستم‌های طبیعی تا حد زیادی ناشناخته باقی مانده است.

ساخت بتن‌های ارتقا یافته به ویژه از لحاظ استحکام مکانیکی، یکی از کاربردهای ویژه مواد پیشرفته در صنعت ساختمان است. دکتر مصطفی صمدی و تیم تحقیقاتی ایشان از دانشگاه فنی مالزی در مقاله اخیر خود که در ژورنال معتبر Construction and Building Materials منتشر شده‌است، به بررسی این بتن‌ها و همچنین جوانب زیست محیطی آن‌ها پرداخته است.

در این پژوهش بیان شده‌است که مصرف سالانه بتن بشر در حال حاضر حدود ۴,۴ میلیارد تن است و پیش بینی می‌شود که این مصرف تا سال ۲۰۵۰ از مرز ۵,۵ میلیارد تن عبور کند. جالب است بدانید که به ازای هر یک تن بتن تولید شده، یک تن دی اکسید کربن نیز وارد جو می‌شود که این موضوع زنگ خطری جدی را برای محیط زیست به صدا در آورده‌است. علاوه بر CO_2 ، SO_X و NO_X از دیگر گازهای کلخانه‌ای هستند که در فرایند تولید سیمان وارد جود می‌گردند. همچنین در تولید بتن به شیوه فعلی، میزان هنگفتی از انرژی نیز مصرف می‌شود که باید جلوی آن گرفته شود. تنها راه حل جلوگیری از این آسیب جدی محیط زیستی، استفاده از راهکارها و موادی متفاوت از وضع موجود خواهد بود که خوشبختانه این امر به وسیله فناوری نانو و مواد پیشرفته در حال انجام است. مواد پیشرفته می‌توانند به عنوان کلید عصر جدیدی از ساختمان‌ها مطرح شوند و درک بهتری از رفتار مواد ساختمانی در اختیار ما بگذارند. با پیشرفت صورت گرفته در علوم و فناوری نانو (هم در بخش تجهیزات میکروسکوپی و هم در بخش مواد)، امکان استفاده از خواص منحصر به فرد مواد نانو در بهبود ویژگی‌های بنیادی مصالح ساختمانی متداول مانند رنگ، بتن، شیشه، چوب، فلز و پلاستیک به وجود آمده است و حتی بهره‌گیری از مواد دور ریختنی مانند بقایای ذغال، پوسته برنج، نخاله‌های ساختمانی و خرده شیشه در جهت تولید مصالح ساختمانی با کیفیت میسر شده است. همچنین، مواد پیشرفته به صنایع بزرگی مانند فولاد، شیشه و سرامیک راه یافته و در کابردهای متنوعی مانند پنجره‌ها و سقف‌ها و در پزشکی و تصفیه آب نیز استفاده می‌شوند. خواص جدید به وجود آمده توسط مواد پیشرفته، ویژگی‌های بدیعی را به مواد سنتی هدیه کرده‌اند. برای مثال، این مواد منجر به ساخت بتن‌هایی با استحکام بیشتر شده‌اند و هزینه تعمیر و نگهداری آینده ساختمان‌ها را کم کرده‌اند.

گزارش‌های زیادی از محصولات متنوع که توسط مواد پیشرفته خلق شده‌اند، وجود دارد که نشان دهنده کاربرد مواد پیشرفته در حوزه‌های گوناگون است. از مواد پیشرفته برای پوشش‌دهی اجزای ساختمان مانند کف، توالت، سقف و ... برای ضد آب کردن، کاهش خوردگی، حفاظت در برابر تابش فرابنفش و ... استفاده می‌شود. همچنین، گزارش‌های زیادی از خواص ضد میکروبی پوشش‌های مواد پیشرفته و رنگ‌های جدید بر مصالح ساختمانی موجود است که به بهداشت محیط کمک می‌کند. پلاستیک‌های تقویت شده با نانولوله‌های کربنی هم خواص مکانیکی، حرارتی و الکتریکی بسیار شگفت‌انگیزی را از خود نشان داده‌اند. مواد جدیدی که خواص خودتمیزشوندگی و عایق سازی حرارتی دارند می‌توانند از شارش هوای گرم و سرد ناخواسته جلوگیری کنند و مصرف انرژی را بهینه نمایند. مواد پیشرفته توانسته‌اند با تغییرات ساده ویژگی‌های ماده، خشت‌های جدیدی بسازند که با هزینه بسیار کمتر، قابلیت استفاده در صنعت ساختمان را داشته باشد و به اقتصاد و پایداری ساختمان کمک کند. این ساختار منحصر به فرد که شامل سیلیکات و موریلونیت است، به عنوان جایگزین مناسبی برای سیمان در نظر گرفته می‌شود. کاربرد مواد پیشرفته در صنایع فولاد باعث شده است که ستون‌هایی با تحمل فشار بسیار بیشتر ساخته شوند.



این پژوهش در ژورنال
Construction and Building Materials
منتشر شده است.
doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124850

پژوهشگران این پژوهش، کاربردهای مواد پیشرفته در ساخت بتن را به صورت زیر برشمرده‌اند:

- مواد نانومتری، در نقش پر کننده حفره‌ها در ماتریس بتن عمل کرده و ساختار آن را فشرده‌تر می‌کنند.
- به دلیل نیروی الکترواستاتیتک مواد جدید افزوده شده به سیمان، فرایند خیس شدن بهتر و سریع‌تر انجام می‌شود که مکان‌های هسته‌زایی جدیدی را در سیمان ایجاد کرده و منجر به تولید خوشه‌های ژل C-S-H در آن می‌شوند.
- این مواد با پالایش ترک‌های ریز و پر کردن حفره‌ها، همگنی بتن را افزایش داده و ساخت بتن‌های مستحکم‌تر بتن‌های قبلی را میسر می‌سازند.
- به دلیل واکنش‌پذیری زیاد، نانوذرات به صورت شیمیایی با $Ca(OH)_2$ واکنش داده و دخالت آن‌ها را در ساختار سیمان افزایش می‌دهند که منجر به تقویت ساختارهای میکرومتری موجود در ماتریس بتن خواهد شد.

تطبیق‌پذیری بتن‌های جدید با محیط زیست

همان طور که گفتیم، شیوه‌های سنتی ساخت بتن با انتشار مقدار زیادی دی اکسید کربن در جو همراه هستند که در طول فرایند لعاب‌دهی، کلسیناسیون و استخراج کربن بتن به جو تزریق می‌شوند. در شرایط فعلی، تصور جهانی بدون بتن غیر ممکن است. در طول تاریخ هم که بنگریم، ساختارهای عظیم جهانی مانند خانه اپرای سیدنی، ساختمان کرایسلر منهتن، تاج محل آگرا و برج آزادی تهران بدون وجود بتن ساخته نمی‌شدند. در ساختمان‌های مدرن‌تر هم بتن نقش اساسی را بازی می‌کند. در حقیقت، این بتن است که انسان را قادر ساخته تا به ساختارهایی با این عظمت دست یابد و زندگی مدرن کنونی بدون بتن قابل تصور نیست. اما این موضوع را نیز باید در نظر داشته باشیم که صنایع تولید بتن، سالانه بیش از ۵% گازهای گلخانه‌ای وارد شده به جو زمین را به خود اختصاص می‌دهند و ناگزیر هستیم که به سمت ارتقای فناوری و مواد مورد استفاده در ساخت بتن حرکت کنیم. در حال حاضر، مواد پیشرفته و مواد نانو نیز چالش‌های مخصوص به خود را در صورت دفع نادرست به طبیعت دارند، اما در دراز مدت به دلیل پایداری بیشتر و مصرف انرژی کمتر نسبت به بتن‌های گذشته دارای مزیت محسوب می‌شوند. هدف آینده، دست یابی به مواد هوشمند و کاربردی جدیدی است که سبزتر، امن‌تر، ارزان‌تر و متسحکم‌تر باشند و این موضوعی است که تمرکز پژوهشگران این حوزه را به خود اختصاص داده است.

نتیجه‌گیری

در بخش‌های تحقیق و توسعه، تلاش‌های زیادی برای بهبود خواص مواد و معرفی محصولات جدید مبتنی بر فناوری مواد پیشرفته که می‌توانند برای صنعت ساخت‌وساز مورد علاقه باشند، انجام می‌شود .این در تضاد با رفتار متعارف صنعت ساخت و ساز است، به طوری که در واقعیت، محصولات ساختمانی مبتنی بر مواد پیشرفته هنوز نقش بسیار فرعی در این تجارت ایفا می‌کنند. تنها زمانی می‌توان انتظار پذیرش بیشتر را داشت که چنین محصولاتی در فرآیند رقابتی در دسترس قرار گیرند و رفتار فنی آن‌ها به اندازه کافی اثبات شود. تعین تهدیدات زیست محیطی و بهداشتی محصولات ساختمانی با مواد نانو مستلزم مطالعات بیشتری در شرایط واقعی است. توسعه و انطباق ابزارهای اندازه‌گیری برای تجزیه و تحلیل محیط کار و قرار گرفتن در معرض محیطی به همان اندازه مهم است.

این پژوهش در ژورنال Automation in Construction منتشر شده است.
doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103017

طبقه‌بندی خودکار مصالح ساختمانی با استفاده از اسکن سه‌بعدی زمینی

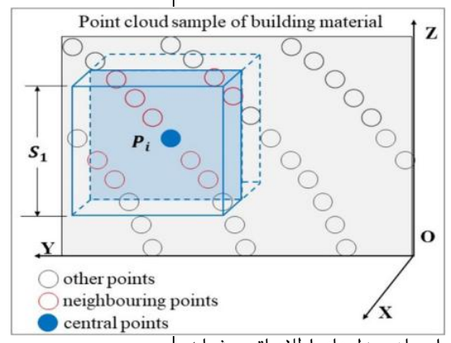
با پیشرفت علم و فناوری، شاهد آن هستیم که روز به روز درهای جدیدی بر روی انسان باز شده و امکاناتی برای او فراهم می‌شود که تا پیش از این سابقه نداشته است. یکی از این امکانات که به تازگی ایجاد شده است، امکان تشخیص جنس و طبقه‌بندی مصالح ساختمانی به صورت خودکار و با استفاده از فناوری اسکن لیزری است. تا به امروز، معماران و مهندسان برای بررسی مدلسازی ساختمان‌های موجود، تنها از داده‌های مکانی ساختمان‌ها در فضای سه‌بعدی برای تعریف آن‌ها در رایانه استفاده می‌نمودند. با روش جدید ارائه شده، این امکان به وجود آمده است که به جنس مصالح نیز توسط فناوری اسکن لیزری تعیین شوند و دست معماران و مهندسان در بررسی سازه‌ها بازتر باشد و شامل پارامترهای بیشتر و دقیق‌تری نسبت به گذشته شود.

شناسایی خودکار مصالح ساختمانی به دلیل کاربردهای فراوانش در مدیریت ساختمان و معماری، یکی از جذاب‌ترین حوزه‌های پژوهش در دهه‌های گذشته بوده است. در حال حاضر از تصاویر دو بعدی که می‌توان برخی ویژگی‌های بصری تصویر را از آن استخراج کرد، برای این کار استفاده می‌شود. در پژوهشی که اخیرا به انجام رسیده است، پژوهشگران با اضافه کردن یک لیزر که می‌تواند داده‌های اسکن لیزری هر نقطه از تصویر را به دست دهد، به نتایج بهتری دست یافته‌اند. این داده‌های لیزری نه تنها شامل اطلاعات بصری مصالح ساختمانی هستند بلکه ویژگی‌های دیگری مانند زبری سطح و بازتاب از آن را نیز در اختیار ما می‌گذارند که کار شناسایی جنس ماده را بسیار راحت‌تر می‌کند.

در دهه گذشته، طبقه بندی خودکار مواد با استفاده از آخرین دستاوردهای فناوری اطلاعات یکی از مسیرهای اصلی پژوهش در حوزه‌های معماری، مهندسی و صنعت ساخت و ساز بوده است. طبقه‌بندی خودکار مواد می‌تواند بازدهی کارهای متنوعی مانند شناسایی آسیب و مدیریت در محل مواد را افزایش دهد. علاوه بر این، مدلسازی اطلاعات ساختمان توجه زیادی را از هردو جوامع آکادمیک و صنعتی معطوف خود کرده و روز به روز با استقبال بیشتری مواجه شده است.

ایجاد مدل‌های اطلاعاتی مشابه واقعیت که نشان دهنده شرایط واقعی ساختمان باشند در کاربردهای مختلفی مانند تعمیر و نگهداری ساختمان‌های قدیمی و یا آنالیز عملکردی ساختمان‌های جدید مورد نیاز است. این مدل‌ها، نه تنها حاوی اطلاعات هندسی هستند، بلکه اطلاعات غیرهندسی المان‌های ساختمان مانند جنس مواد آن‌ها در آن وجود دارد. اطلاعات موادی برای بسیاری از کاربردهای مدلسازی ساختمان مانند ارائه سه بعدی و یا محاسبات مربوط به انرژی ساختمان ضروری هستند. بنابراین، تقاضای زیادی برای طبقه‌بندی خودکار مصالح ساختمانی وجود دارد.

استفاده از روش‌های بینایی و یادگیری ماشین، طبقه‌بندی مواد مورد استفاده در صنعت ساختمان را بسیار بهینه می‌کند. در این روش‌ها، ویژگی‌های بصری مانند رنگ، طرح و نقش و نوردهی از تصاویر استخراج شده و بر اساس آن‌ها جنس ماده تعیین می‌شود اما این روش‌ها با نقطه ضعف‌هایی نیز همراه هستند، از جمله این که شرایط نوردهی مختلف به شدت بر مشخصات ظاهری مواد تاثیر می‌گذارد و کار طبقه‌بندی را با مشکل روبرو می‌کند. همچنین، طرح و نقش ضعیف روی سطح مورد نظر و زاویه‌های دید متنوع هم بر شناسایی مواد تاثیر منفی خواهد گذاشت. استفاده از اسکن لیزری، می‌تواند این مشکلات را رفع نماید و اطلاعات زبری سطح و انعکاس از آن را نیز در اختیار بگذارد زیرا این روش، به صورت فعال عمل کرده که از نور فروسرخ استفاده می‌کند و دیگر به شرایط نوری محیط وابسته نیست. بنابراین، اسکن لیزری، پتانسیل بالایی برای دست یابی به طبقه‌بندی دقیق‌تر مواد دارد و اطلاعات بیشتری را در اختیار خواهد گذاشت که قابلیت استفاده در طراحی‌های مشابه واقعیت را دارد. این روش که به اختصار TLS نامیده می‌شود به دلیل سرعت و دقت بالایی که از خود نشان می‌دهد، تا کنون به صورت گسترده در نمایش مدل‌های مشابه واقعیت از ساختمان‌ها به کار گرفته شده‌است اما استفاده از آن برای طبقه بندی مصالح ساختمانی، کاملا جدید است.



برای انجام طبقه‌بندی مصالح ساختمانی توسط روش TLS، در مرحله اول باید ویژگی‌های تصویر استخراج شوند. TLS به ازای هر نقطه‌ای که اسکن می‌کند، مجموعه‌ای از داده‌ها شامل شدت پرتوی لیزر انعکاسی، مقادیر رنگی RGB و مختصات x-y-z را به دست می‌دهد. با استفاده از این داده‌ها می‌توان یک سری از ویژگی‌های سطح بالاتر ماده شامل بازتاب، رنگ و زبری سطح را استخراج کرد. برای به دست آوردن بازتاب ماده می‌توان از شدت نور بازتابی لیزر از سطح ماده (I_r) استفاده کرد. در میان تمامی پارامترهایی که می‌توانند روی I_r تاثیر بگذارند، ضریب بازتاب ماده ρ، تنها ویژگی ذاتی هر ماده مشخص است. به عبارت دیگر، یک ماده واحد همواره ρ ثابتی از خود نشان می‌دهد، حتی اگر سایر مقادیر موثر تغییر کنند. بنابراین می‌توان ρ را به ویژگی‌ای که جنس ماده را تعیین می‌کند، در طبقه‌بندی مصالح ساختمانی به کار بست. به طور دقیق‌تر، برای هر نقطه اسکن شده توسط لیزر، ρ در سه گام محاسبه می‌شود. در ابتدا، نقاط همسایه نقطه مورد اسکن تعیین شده و تشکیل یک ماتریس سه بعدی را می‌دهند. در مرحله دوم $\cos\theta/R^2$ نقاط همسایه تعیین شده و I_r این نقاط نیز داده لیزر برداشت می‌شوند. در نهایت یک تابع خطی بر اساس این داده‌ها رسم شده و ضرایب مورد نیاز برای محاسبه ρ تعیین می‌شوند.

TLS برای تعیین رنگ هر نقطه از یک دوربین داخلی استفاده می‌کند که می‌تواند اطلاعات رنگی را در فضای RGB بین ۰ تا ۲۵۵ ذخیره کند. این مقادیر می‌توانند به طبقه‌بندی مصالح کمک نمایند. برای تعیین زبری سطح هم از لیزری با قطر پرتوی میلیمتری استفاده می‌شود تا بی نظمی‌های موجود در سطح تشخیص داده شوند. به طور کلی هر خانواده از مصالح ساختمانی، زبری مشخصی را از خود نمایش می‌دهند و برای همین از این اطلاعات می‌توان در تخمین جنس ماده استفاده نمود. با استفاده از این داده‌ها و همچنین بهره‌گیری از الگوریتم‌های بینایی ماشین TLS می‌تواند جنس مصالح به کار رفته در ساختمان را تعیین کند. با این حال، در این مقاله چند محدودیت ذکر شده که عبارتند از:

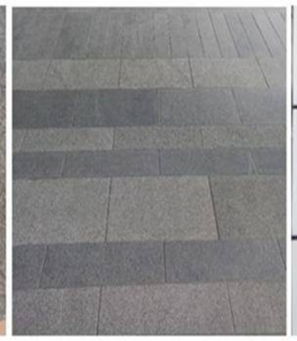
آزمایش‌های انجام شده فقط بر روی سطوح صاف و از یک جنس واحد انجام شدند که شناسایی جنس سطح را راحت‌تر می‌نمود. پیش‌بینی می‌شود که اگر نقاط همسایه دارای مواد مختلفی باشند، طبقه‌بندی جنس مصالح دشوارتر خواهد بود.

رطوبت مصالح نیز تاثیر منفی بر دقت محاسبه ρ دارد زیرا وجود آب، شدت بازتابی لیزر (I_r) را تغییر می‌دهد.

تعداد جنس‌های محدودی در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفت که شامل رایج‌ترین مواد موجود در صنعت ساختمان می‌شد، اما به پژوهش‌های بیشتری برای دست یابی به پایگاه داده جامع‌تر نیاز داریم.

Concrete (fair-faced concrete)

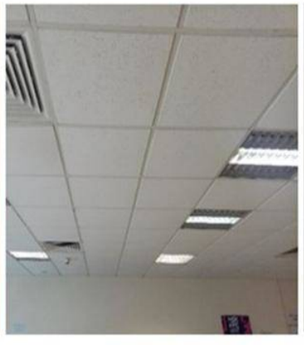
Mortar (mortar floor)


Stone (marble tile)

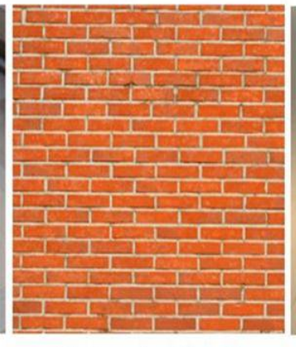
Metal (aluminam plate)

Painting (Latex painting)

Wood (Wooden floor)


Plaster (plasterboard)

Plastic (plastic floor)


Pottery (red brick)

Ceramic (ceramic tile)

دروازه‌های علم