



مروری بر ایجاد پوشش و اصلاح سطحی مصالح ساختمانی با نانومواد

مهدی منتظری پور^۱

استادیار مهندسی مواد، دپارتمان مهندسی مواد و شیمی، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، قزوین، ایران

montazeri.pour@bzte.ac.ir

آیدا قاسمی مدانی

دانشجوی کارشناسی، دپارتمان مهندسی مواد و شیمی، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، قزوین، ایران

aidaghasemi24081379@gmail.com

علی کسمایی

دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، قزوین، ایران

kasmaei.ali2000@gmail.com

حامد نیرومند

استادیار مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، قزوین، ایران

niroumand@bzte.ac.ir

چکیده

مصالح ساختمانی و موادی که در پیرامون انسان وجود دارند در گذر زمان دستخوش تغییرات فیزیکی و شیمیایی می شوند که منجر به فرسودگی و تخریب آنها می گردد. امروزه فناوری نانو به کمک انسان آمده و پیشرفت های چشمگیری در این زمینه داشته است. پوشش های سطحی نانومواد موجب جلوگیری از چسبندگی گرد و غبار و نفوذ ذرات و آلاینده ها به درون سطوح مصالح ساختمانی و پاکسازی آسان تر سطوح شده و باعث ایجاد خواص آبگریزی و روغن گریزی، فوتوکاتالیستی، مقاومت در برابر اشعه ی ماوراء بنفش، جلوگیری از رشد باکتری ها و ... گردیده است. از طرفی دیگر با بهره گیری از نانومواد، امکان تنفس به مصالح ساختمانی داده می شود؛ زیرا این امر از شوره زدگی سطوح جلوگیری می کند. بدین ترتیب استفاده از نانو آجرها، باعث بهبود کیفیت سطحی مصالح، مقاومت در برابر پدیده های جوی و افزایش استحکام شده است. در این تحقیق با مروری بر مطالعات انجام شده توسط محققین پیشین، گزارشی از عملکرد و کاربرد نانومواد از قبیل نانوذرات تیتانیا و اکسید روی به عنوان پوشش های سطحی آورده شده است.

واژه های کلیدی: پوشش های سطحی، نانومواد، خواص آبگریزی، شوره زدگی سطح، نانو آجر

^۱ - نویسنده مسئول



۱- مقدمه

تولید کنندگان را برای استفاده از نانو پوشش های چند منظوره در محصولاتشان ترغیب می کنند.

۲- خواص نانو پوشش ها

وقتی که سطوح با لایه هایی از نانو مواد پوشش دهی می شوند، خواص مختلفی به دست می آورند که شامل جلوگیری از رشد باکتری ها، مقاومت در برابر مواد شیمیایی مضر و خواص ضد گرفتگی (معروف به ضدنوشتار) می شود. برخی دیگر از خواص مهم در ادامه شرح داده شده است (Ji et al., 2017).

۲-۱- مقاومت در برابر اشعه ی ماوراء بنفش

پوشش های نانو به طور موثری می توانند موجب مسدود شدن تابش اشعه های ماوراء بنفش شوند. موادی مانند پلیمرها و کامپوزیت ها در برابر اثرات مضر اشعه های ماوراء بنفش حساسیت ویژه ای داشته و در نهایت دچار ترک خوردگی، پوسته پوسته شدن، زرد شدن، از دست دادن مقاومت مکانیکی و در نتیجه خرابی می شوند؛ که پوشش های نانو ساختار از رخ دادن این موضوع جلوگیری می کنند. ذرات دی اکسید تیتانیم و اکسیدروی در برابر اشعه ی ماوراء بنفش که یکی از عوامل اصلی هواز دگی تاسیسات و تجهیزات در فضای باز است، از خود مقاومت نشان می دهند. لایه نانو به دلیل دارا بودن این ذرات مقداری از نور ماوراء بنفش را فیلتر کرده و از رسیدن آن به سطح نانو پوشش دهی شده جلوگیری می کند. این فرایند لایه نشانی نانو مواد روی سطح در حفاظت از آجرها نیز بسیار موثر است (Boostani and Modirrousta, 2016).

۲-۲- مقاومت در برابر مواردی مانند خراش، تغییر رنگ، اکسیداسیون و فرسایش

در طی سالیان گذشته، علاقه فزاینده ای به کاربرد نانو مواد در صنعت ساختمان عمدتاً به دلیل ویژگی های مثبت اثبات شده از جمله خواص حرارتی، رفتار رطوبتی، بهره وری انرژی، بهبود کیفیت هوا، خود تمیز شوندگی و اثرات ضد باکتریایی وجود داشته است. اصطلاح نانو پوشش به فیلم های نازک نانومقیاس (یعنی با ضخامت چند ده تا چند صد نانومتر) اشاره دارد که به منظور ایجاد یا بهبود ویژگی های مواد در نمای ساختمان مانند محافظت از خوردگی، محافظت در برابر آب و یخ، کاهش اصطکاک، خواص ضدباکتری و ضدخزه، خود تمیز شوندگی، مقاومت گرمایی و... بر روی سطح اعمال می شود. به طور معمول در نماهای آجری، ماسه سنگی و بتنی، آلودگی ها به سرعت جذب می شوند و در ظاهر آن ها تغییرات نامطلوبی را ایجاد خواهد کرد. در چنین شرایطی استفاده از تمیزکننده هایی با قدرت پاک کنندگی قوی نیز کارساز نمی باشد. اما در صورت استفاده از پوشش نانو، علاوه بر جلوگیری از نفوذ مواد، به سطح اجازه داده می شود تا تنفس کند. بدین ترتیب رنگ و ساختار اصلی آن حفظ خواهد شد، ضمن اینکه آنها همچنین عملکرد بالایی را در ارتباط با بهره وری انرژی، کاهش انتشار CO₂ و بهبود کیفیت هوا نشان می دهند (Ji et al., 2017).

با توجه به ویژگی هایی که عملکرد سطوح پوشش داده شده را بهبود می بخشد، نانو پوشش ها به طور گسترده ای بر روی طیف وسیعی از مواد، محصولات و ساختارها با هدف افزایش سهولت مصرف، افزایش طول عمر و کاهش مصرف انرژی استفاده می شوند (Liu et al., 2021). این گونه پوشش ها مزایای قابل توجهی برای کاربرد در زمینه هایی از جمله هواپضا، پزشکی، دریایی، مهندسی عمران و... ارائه می دهند که

خودتمیز شوندگی از خود نشان دهند. این موضوع باعث کاهش هزینه و صرفه جویی در زمان می شود. در شکل (۱) نمونه شیشه‌ی ضد مه نشان داده شده است که برای ساخت آن از پوشش نانوذرات دی اکسید تیتانیم استفاده می شود. این شیشه‌ها دارای خاصیت خودتمیز شوندگی و ضد لکه هستند که مشکل تمیز کاری پنجره‌ها به خصوص در ساختمان‌های بلند را از میان برمی دارد. فناوری نانو به صورت پوشش‌های نانویی مورد استفاده قرار می گیرد (Bilgin et al., 2012).



شکل (۱). رفتار شیشه نانو پوشش دهی شده در برابر قطرات باران

نانو پوشش شیشه، پوشش‌های نامرئی نانو است که بر روی شیشه قرار می گیرد که با استفاده از خواص این نانو پوشش‌ها، می توان کاربردها و قابلیت‌های جدیدی به شیشه افزود. همانطور که رنگ، فلز آهن را در برابر خوردگی حفاظت می کند می توان با استفاده از پوشش‌های سطحی بر روی شیشه آن را در برابر یکسری آسیب‌ها محافظت کرد. پوشش‌های نانو دارای خصوصیتی مانند خاصیت آسان تمیز شوندگی، محافظت در برابر اشعه‌ی فرابنفش خورشید، جلوگیری از جذب عمقی آلودگی‌ها روی سطح و مقاومت در برابر ساییده شدن هنگام باران‌های اسیدی و عبور ریزگردها از روی سطح هستند.

مقاومت در برابر خوردگی، توانایی جلوگیری از خرابی محیط با واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی است. همه مصالح می توانند در یک شرایط خاص دچار خوردگی شوند، اما زمانی که از یک نانو پوشش بر روی آنها استفاده شود، از خوردگی به طور چشمگیری جلوگیری می شود. همچنین با استفاده از نانو پوشش‌ها می توان به سطوح کمک کرد تا خاصیت ضدخس داشته باشند (Ergün, 2011).

۲-۳- خود تمیز کنندگی، دفع آلودگی و آب با نانو پوشش‌ها

سطح تنها تقسیم فیزیکی بین یک شیء و محیط اطراف آن نیست، بلکه یک سطح طیف وسیعی از توابع و عملکردهایی را تعریف می کند که نقش مهمی در طراحی محصول دارد. سطوح از نظر نانو بودن بدین گونه در نظر گرفته می شوند که به راحتی قابل لمس هستند و ظاهر خوبشان را تا آنجا که ممکن است حفظ می کنند، به راحتی قابل نگهداری هستند و توسط آلودگی، لکه‌های آب و یا اثر انگشت خراب نمی شوند.

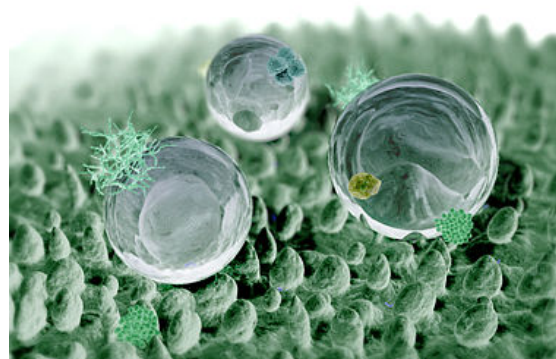
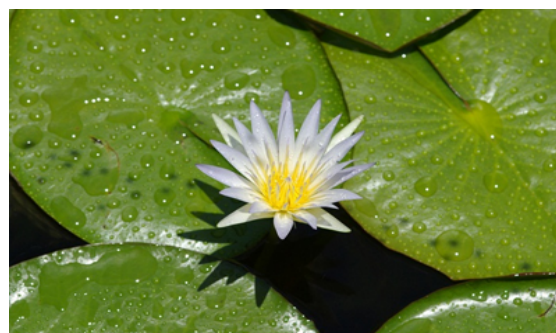
مواد با پوشش صنعتی اغلب از عهده‌ی تست‌های ناشی از نیاز روز افزون مواد امروزی بر نمی آیند. هر چند در سال‌های اخیر، پیشرفت‌هایی جهت استفاده از روش‌های شناخته شده‌ی نانو تکنولوژی ایجاد شده است که در این راستا، پوشش‌های نانو به منظور محافظت از ساختمان‌ها در برابر آلودگی توسعه یافته‌اند (Lu et al., 2015).

۲-۴- آبگریزی و روغن گریزی

از نفوذ لکه‌ها به سطح با استفاده از خواص آبگریزی و روغن گریزی جلوگیری می شود و از چسبیدن رسوبات آهکی، لکه‌های روغن و گرد و غبار بر روی سطح جلوگیری می کند. برای نمونه سطوح در معرض باران می توانند خواص

۲-۴-۱- پوشش‌های آبگریز و اثر لوتوس یا نیلوفر آبی

آبگریزی، در این زمینه به دفع آب اشاره دارد. سطوحی که با نانو پوشش داده می‌شوند آبگریز می‌شوند. به این ترتیب سطوح نانو شده مایعات را دفع می‌کنند که باعث می‌شود به راحتی تمیز شوند و بدون لکه باقی بمانند. سطوح خود تمیزشونده آبگریز اولین بار با کشف ریزساختار برگ گل نیلوفر آبی که برخلاف ظاهر صافش، دارای سطحی زبر در مقیاس میکرو و نانو است، مورد توجه قرار گرفت. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، در این گیاه آب به محض تماس با سطح به شکل قطعات کروی تجمع یافته و با لغزش از روی سطح ذرات آلودگی و گرد و خاک را با خود از روی سطح می‌زداید.



شکل (۲). سطوح زبر و خاصیت آبگریزی در برگ‌های گیاه نیلوفر آبی در بزرگنمایی‌های متفاوت

بنابراین سطوح خود تمیزشونده آبگریز با مکانیزم مشابه با برگ‌های گل نیلوفر آبی، علاوه بر دفع آب از روی سطح خود، توانایی دفع آلودگی‌ها شامل ذرات جامد، مایعات آلی و آلودگی‌های زیستی را نیز دارد. از آنجا که ساختار سطحی نانو پوشش‌ها از ساختار طبیعی این گیاهان الهام گرفته شده است، خاصیت دفع آب و تمیز کردن آسان سطوح نانو شده به عنوان اثر نیلوفر آبی یا اثر لوتوس شناخته می‌شود که در شکل (۲) این اثر نشان داده شده است (Bhushan and Jung, 2008; Simpson et al., 2015). این ویژگی آبگریزی که در گیاهان دیگر مانند گندم و ذرت نیز مشاهده می‌شود، به تمیز ماندن برگ‌ها و گلبرگ‌ها کمک می‌کند.

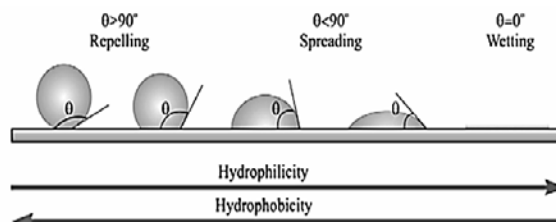
نانو پوشش‌ها را می‌توان برای این منظور روی سطوح مختلف، از جمله منسوجات، شیشه سرامیک، فلز، چوب، آجر، سنگ، بتن و مواد طبیعی معدنی استفاده کرد. همچنین می‌توانیم با این نانو پوشش‌ها، نمای ساختمان‌ها، آلاچیق‌ها، وسایل چوبی، سطوح وسایل نقلیه، عرشه قایق‌ها و بسیاری از سطوح دیگر را که در زندگی روزمره از آن‌ها استفاده می‌کنیم، آبگریز و ضد آب کنیم.

۲-۴-۲- مفهوم پوشش آبگریز

در پوشش‌های آبگریز، قطرات آب روی سطح از طریق لغزش و غلتیدن حرکت می‌کنند و در مسیر خود سطح را کاملاً تمیز می‌کنند. سطوحی که دارای زاویه‌ی تماس آب بیش از ۱۵۰ درجه و زاویه‌ی لغزش کمتر از ۵ درجه هستند به عنوان سطوح فوق آبگریز شناخته می‌شوند (Zhang et al., 2014). شمایکی از مفهوم آبگریزی در شکل (۳) نشان داده شده است.

کاهش هزینه‌های مالی و اقتصادی، در اولویت قرار داده‌اند. امروزه انرژی به‌عنوان یکی از شاخصه‌های اصلی برای میزان پیشرفت جوامع شناخته شده است. انرژی در سال‌های اخیر به علت پدیده‌هایی که ((بحران جهانی انرژی)) نام گرفته، اهمیت زیادی را کسب کرده است. از دیرباز وجود مکان مناسب از نظر راحتی، آسایش و همچنین زیبایی مورد توجه انسان بوده است. اکنون چالش پیش‌روی معماران عبارت‌است از طراحی و اعتلای ساختمان‌هایی با انرژی پایین، به طریقی که هم به لحاظ اقتصادی و هزینه کارآمد باشد و هم به لحاظ زیست محیطی کم‌ترین آسیب را به منابع طبیعی و محیط پیرامون وارد کند. بنابراین لازم است ضمن فراگیری اصول استفاده از تکنولوژی‌های روز، به احداث ساختمان‌هایی متناسب با شرایط اقلیمی منطقه با توجه به معماری بومی پرداخت و میزان مصرف انرژی را به حداقل ممکن کاهش داد (Hanus and Harris, 2013).

استفاده از نانو پوشش‌ها در جلوگیری از هدر رفتن انرژی در ساختمان‌ها و کاهش مصرف انرژی تاثیر قابل توجهی دارد. استفاده از نانو پوشش‌ها بر روی آجرها و نماهای ساختمانی برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها و ذخیره انرژی تاثیرگذار خواهند بود. زیرا نانو پوشش‌ها پایداری حرارتی در خانه را افزایش می‌دهند و هم در فصل زمستان و هم فصل تابستان باعث متعادل بودن دمای منزل می‌شوند. همچنین استفاده از نانو پوشش‌ها در نمای خارجی ساختمان‌ها علاوه بر حفظ زیبایی، نمای ساختمان را در مقابل آلودگی، کثیفی، دوده، گرد و غبار، باران اسیدی و فرسایش محافظت می‌کند (Ali and Kharofa, 2021; Hanus and Harris, 2013).



شکل (۳). شماتیکی از شکل قطرات آب و زاویه تماس آب با سطوح جامد (Vazirinasab et al., 2018).

۲-۴-۳- اهمیت آبگریز کردن سطوح با استفاده از نانو پوشش‌های آبگریز

وجود رطوبت و نشت آب به زیرساخت‌های مختلف قطعات ساختمانی و صنعتی مسئله‌ای شناخته شده است که می‌تواند مشکل ساز باشد. رسوخ در مصالح ساختمانی و نشت آب به علت خلل و فرج‌های داخلی و ترک‌های ریز مسأله‌ای مشخص و رایج است. بیشتر مصالح ساختمانی مانند آجر، سنگ، گچ، بتن و سیمان دارای تخلخل‌های بسیار ریز و گروه‌های هیدروکسیل در سطح خود هستند. این گروه‌های هیدروکسیل به دلیل شباهت با ساختار آب و ویژگی آب‌دوستی جاذب آب بوده؛ بنابراین به راحتی خیس شده و آب در سطح آن‌ها نفوذ می‌کند. بنابراین به منظور جلوگیری از رشد ترک‌ها، پوسته پوسته شدن سطوح ساختمانی و ایجاد قارچ در اثر رطوبت، آبگریز کردن این سطوح دارای اهمیت بسیاری است. همچنین جلوگیری از تضعیف مقاومت مصالح ساختمانی بتنی مسئله بسیار مهمی است (Lu et al., Bilgin et al., 2012; 2015).

۲-۴-۴- دلایل استفاده از نانو پوشش‌های آبگریز کننده برای مصالح ساختمانی

بهینه‌سازی مصرف انرژی، در دنیای امروز یکی از موضوعاتی است که اکثر کشورها برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و

۳- خسارات در سطح مصالح ساختمانی یا نمای ساختمان‌ها

خسارات ناشی از جذب رطوبت در مصالح ساختمانی را می‌توان به صورت ذیل ذکر نمود:

(۱) شوره‌زدگی و پوسته پوسته شدن سطح

(۲) حملات قارچ‌ها، کپک‌ها و جلبک‌ها

(۳) پوسته شدن رنگ

(۴) نفوذ و نشست رطوبت به درون دیوارها

(۵) کثیف شدن زود هنگام سطح

(۶) ترک‌های ناشی از تورم و انقباض

(۷) یخ‌زدگی و ذوب شدن پیایی آب در مصالح

(۸) کربونیزاسیون، باران‌های اسیدی، سولفات‌ها شدن، خوردگی شیمیایی

(۹) خوردگی آهن آلات به کار رفته در اسکلت ساختمان

(۱۰) آلودگی هوا خصوصاً در شهرهای بزرگ و کثیف کردن چهره ساختمان‌های شهر

(۱۱) دشواری شست و شوی نمای ساختمان‌ها و در برخی موارد غیرممکن بودن این امر

(۱۲) فرسودگی، کثیفی و رنگ پریدگی نماهای برخی از ساختمان‌ها در شهر

۳-۱- شوره

یکی از عوامل اصلی فرسودگی مصالح ساختمانی متخلخل، هوازدهی نمکی است. شوره‌زدگی یک پدیده نفوذ نمک است که بر روی انواع زیادی از مواد رخ می‌دهد. این نقص در مورد مصالح ساختمانی، به‌ویژه آجرهای رسی پخته شده از اهمیت بالایی برخوردار است که تصویری از آن در شکل (۴) دیده می‌شود. شوره‌زدگی در طول چرخه‌های خشک کردن به دلیل محیط مواد آسیب‌دیده رخ می‌دهد و اغلب به صورت رسوب سطحی نازک نمک دیده می‌شود. آب محلول با نمک (گرفته شده از محیط آلوده، از ملات یا خود مواد شیمیایی آجرهای رسی محلول) به داخل مواد متخلخل نفوذ می‌کند. در طی فرآیند خشک کردن، آب تبخیر شده و این نمک‌ها را در حین رسیدن به سطح رسوب می‌کنند. بنابراین، بسته به اتصالات بین منافذ در داخل مواد آسیب‌دیده، می‌توان شوره‌زدگی را به عنوان یک فرآیند سه بعدی مشاهده کرد.



شکل (۴). نمایی از شوره (سفیدک) بر روی آجر

نمک‌های رسوب شده در زیر سطح می‌توانند متبلور شوند و رشد کنند. فشار ضمنی می‌تواند آسیب‌های دائمی مانند ترک ایجاد کند.

شوره‌زدگی معمولاً سفید رنگ است. با این حال، برخی از ترکیبات شیمیایی ممکن است رسوبات سبز یا قهوه‌ای ایجاد



۳-۱-۱- شوره زدگی گچ بر روی آجر سفالی

شوره زدگی گچ به صورت یک رسوب مه آلود بسیار نازک، اغلب نیمه شفاف و سفید روی سطح آجرهای سفالی رخ می دهد. همچنین ممکن است در سطح اتصالات ملات رخ دهد، اما به سختی در این بستر خاکستری قابل تشخیص است. به طور معمول در همه موارد با بررسی، این نوع شوره زدگی در زمان قابل توجهی پس از ساخت بنا، از چند ماه تا چند سال، ظاهر شده و به تدریج شدت بیشتری می یابد. این نوع شوره زدگی بسیار پایدار است و به سختی حذف می شود. در تمام موارد بررسی شده، تنها گچ به عنوان نمک موجود در شوره زدگی شناسایی شده است.

۳-۱-۲- شوره زدگی سولفات ها بر روی آجر رسی

شوره زدگی سولفات ها اغلب به صورت رسوبی شدید، سفید و کرکی بر روی سطح آجرهای سفالی و گاهی نیز روی درزهای ملات رخ می دهد. در تمام موارد بررسی شده، در حین ساخت و ساز ساختمان ها ظاهر شده اند. ملات هیچ کمک اساسی به ایجاد این نوع شوره زدگی نمی کند. شناسایی کانی های موجود در شوره زدگی با پراش پرتو اشعه ایکس (XRD) نشان داده است که این سولفات های قلیایی به راحتی قابل حل هستند.

۳-۱-۳- شوره زدگی حاصل از شستشوی آهک موجود روی سنگ

شوره زدگی و شستشوی آهک معمولاً روی سنگ متشکل از آجر یا بلوک با جذب آب کم اتفاق می افتد. در هنگام خیس شدن، قطرات باران از سطوح آجری جاری می شوند و باعث خیس شدن بیش از حد درزهای ملات می شوند. این امر انحلال آهک را در آب منفذی درزهای ملات تسهیل می کند و از کربناته شدن این آهک جلوگیری می کند زیرا CO_2 هوا

کنند. شوره زدگی بسته به پارامترهای متفاوت می تواند جنبه های مختلفی داشته باشد. به طور خاص، تبلور می تواند بر روی سطح آجر رخ دهد و اشکال تصادفی "پوسته" را ایجاد می کند.

ضخامت منطقه نقطه شروع به عنوان نسبتی از اندازه آجر می باشد. این موضوع می تواند به میزان تخلخل باز مرتبط باشد. تخلخل باز نشان دهنده مقدار تخلخلی است که مستقیماً به سطح مرتبط است. در مقابل آن، تخلخل بسته است که فقط در داخل ماده بدون هیچ گونه ارتباطی با سطح وجود دارد. شکل (متوسط قطر) و عمق منافذ باز بر سرعت تبخیر تاثیر می گذارند.

علاوه بر این، وابسته به نمک های موجود در هوا (مثلاً در محیط های آلوده)، ممکن است برخی از نقاط شروع در قسمت های قابل مشاهده آجر باشند. با این حال، تعیین کمیت کامل این پدیده بسیار دشوار است زیرا باید ترکیب دقیق هوا مشخص شود.

فرآیند رشد شوره زدگی به دو مرحله تقسیم می شود. اولین مرحله به این گونه است که در مواد واقعی، منافذ به هم متصل می شوند و آب منافذ را به طور هم زمان طی می کند. در هر حفره قابل نفوذ، آب به دلیل نیروهای موئینگی مسیر اصلی خود را ادامه می دهد، اما می تواند مسیرهای جدیدی را نیز طی کند. در مرحله خیس شدن، آب از طریق منافذ نفوذ می کند و نمک را به همراه می آورد. در مرحله خشک شدن، تبخیر آب نمک ها را در مسیر رسیدن به سطح رسوب می دهد (Shahidi et al., 2005).

بسته به نوع نمک تشکیل دهنده شوره زدگی چندین نوع از شوره زدگی وجود دارد که وابسته به لحظه وقوع شوره و نوع ماده بستری که روی آن قرار گرفته است، می باشد و در بخش های ذیل به چند نوع مهم آن اشاره می گردد.



سطوحی مانند کاشی و شیشه در مقاوم سازی مصالح نقش آفرینی می کنند.

۲. اکسیدروی با محافظت در برابر نور ماوراء بنفش مانع از تأثیرات مضر آن می شود.

۳. اکسید آلومینیم از ایجاد قارچ و کپک و بوی بد جلوگیری می کند و خاصیت مقاومت در برابر خراش را در سطوح ایجاد می کند (Ji et al., 2017).

برخی دیگر از خواص نانومواد در جدول (۱) خلاصه شده است.

جدول (۱). خواص برخی از نانومواد به کار رفته در پوشش ها (David et al., 2020)

خواص	نانومواد
محافظت در برابر میکروارگانیسم ها	CuO و Ag و Au
محافظت در برابر اشعه ماوراء بنفش، آب گریزی، محافظت در برابر میکروارگانیسم ها	MgO
محافظت در برابر اشعه ماوراء بنفش، محافظت در برابر میکروارگانیسم ها	FeO
مقاومت در برابر آتش، خود تمیز شوندگی، آب گریزی، مقاومت در برابر خراش	SiO ₂
حفاظت ضد فرسودگی، مقاومت مکانیکی، آب گریزی	هیدروکسی آپاتیت / طلا

نمی تواند به ساختار ملات اشباع نفوذ کند. در نتیجه، آهک به شکل محلول خود برای مدت طولانی تری در دسترس خواهد بود. بررسی مطالعات موردی نشان داده است که پتانسیل شورزدگی و شستشوی آهک همیشه وجود دارد، حتی اگر تمام اقدامات احتیاطی (محافظت در برابر خیس شدن) در حین ساخت انجام شود. در مراحل اولیه (قبل از اینکه کربناسیون اتفاق بیفتد)، این نوع شورزدگی و شستشو از آهک را می توان به سادگی حذف کرد.

۳-۱-۴- شورزدگی سولفات ها بر روی بلوک های بتنی

شورزدگی سولفات بر روی سایه های مختلف بلوک های بنایی بتنی قرمز و زرد قابل مشاهده می باشد، در حالی که بلوک های خاکستری غیر رنگی که همان رنگ مخلوط اولیه بتن را نشان می دهند، بدون رنگدانه، دیده نمی شوند. شورزدگی از نوع شوره کرکی بوده و با باران طبیعی به خوبی شسته می شود (Brocken and Nijland, 2004).

۴- نقش ذرات نانو در صنعت ساختمان

نانوذرات دی اکسید تیتانیم (TiO_2)، اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و اکسیدروی (ZnO) به عنوان پوششی نهایی بر روی مصالح اعمال می شوند تا بتوانند ویژگی های کارآمدی را برای آن ها فراهم نمایند (Li et al., 2019).

این ذرات با ایفای نقش های زیر مصالح را در مقابل عوامل متعددی مقاوم می کنند (David et al., 2020).

۱. دی اکسید تیتانیم به دلیل توانایی در شکست آلودگی ها و مقاومت در برابر نفوذ آن ها در مواد، محافظت در برابر نور ماوراء بنفش و همچنین جلوگیری از نشست آب باران بر روی



۵-آجر

آجر یکی از مصالح ساختمانی است که به صورت بلوک‌هایی از جنس خاک رس و مواد دیگر ساخته شده است و در بنایی برای ساخت دیوارها و سایر بخش‌های سازه‌ی در حال ساخت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای چیدن و اتصال آجرها به یکدیگر از ملات استفاده می‌شود. آجرها در ساختمان‌سازی به دلیل مقاومت بالا و مقاومت در برابر آتش و اندازه خاص آن‌ها بسیار معروف و پرکاربرد هستند. اما نقطه ضعف دیوارها و سازه‌های آجری و آجرنما اینست که به دلیل ایجاد شوره با گذشت زمان بر روی آن‌ها از زیبایی و خاصیت آن‌ها کاسته می‌شود (Akadiri and Olomolaiye, 2012).

۵-۱- استفاده از پوشش‌های آبریز نانو بر روی آجرها

می‌توان با استفاده از پوشش ضدآب و بی‌رنگ نانو بر روی نمای آجری ساختمان، از جذب آب توسط آجر جلوگیری کرد. زمانی که رطوبت به آجر نفوذ نکند، راهی برای نمک‌های داخل بافت آن وجود ندارد که به سطح بیایند. بنابراین از ایجاد شوره آجر و پیامدهای ناخوشایند آن جلوگیری می‌شود.

۵-۲- محلول ضد شوره آجر

این محلول از تکنولوژی نانو ذرات ساخته شده است و می‌تواند روی نمای آجری ساختمان اعمال شود. محلول با نفوذ به منافذ آجر از شوره زدن و تخریب آن جلوگیری می‌کند.

در مطالب ذکر شده دیدیم که فناوری نانو در صنعت ساختمان و بهبود کیفیت مصالحی مانند آجر تأثیرات چشمگیری داشته

است. در ادامه به کاربرد پوشش نانو آجر در افزایش مقاومت و ماندگاری آجر و افزودن ویژگی‌های برجسته دیگر می‌پردازیم.

صنعت ساختمان از صنایع مهم و تأثیرگذار است که همواره در مباحث مربوط به بهینه‌سازی مصرف انرژی، بخش مهمی را به خود اختصاص می‌دهد. از این رو برنامه‌های بسیاری برای این بخش اثربخش در جهت بهبود مداوم، افزایش عملکرد اجزای ساختمانی، بهره‌وری و ایمنی ساختمان‌ها و سهولت نگهداری توسعه داده شده است. نماهای آجری معمولاً بخش قابل توجهی از میزان انرژی مصرفی توسط ساختمان‌ها را به هدر می‌دهد. بخش ساختمان بیش از هر صنعت دیگری با مواد مصالح سر و کار دارد و در آن توجه به مصالح پایدار که کمترین میزان صدمه به محیط زیست را وارد می‌کند از نکاتی است که در آن حساسیت بسیاری به خرج می‌دهند. به همین دلیل انتخاب مصالح مناسب و سازگار با محیط زیست مانند آجر از مسائل مهمی است که نظرات بسیاری را در این حوزه به خود جلب کرده است.

مهم‌ترین کاربرد فناوری نانو در صنعت ساختمان غالباً به بهینه‌سازی مواد و مصالح مرتبط می‌گردد و استفاده از آن چشم‌انداز مهم برای آیندگان محسوب می‌شود. از این رو سرمایه‌گذاری و توجه به تکنولوژی نانو در صنعت ساختمان از اهمیت بالایی برخوردار است و ساختمان‌ها باید به سمتی بروند که بتوانند با به کارگیری تکنولوژی‌های نوین مانند نانو، میزان بازدهی را بالا برده و به تبع آن، میزان هدر رفت انرژی کاهش یابد.

به طور کلی افزودن ذرات نانو به مصالح باعث قوی‌تر شدن، دوام بیشتر، خود ترمیمی، تصفیه کردن هوا، مقاومت در برابر آتش و فشرده‌سازی سریع خواهد شد. همچنین دستیابی به ویژگی خود نظافتی که بسیاری از هزینه‌ها را شامل می‌شود، در



; Hanus and Harris, and Olomolaiye, 2012
(2013).

بسیاری از مصالح ساختمانی با استفاده از پوشش های نانو محقق
می گردد (Temga et al., Kuda and Yadav, 2022);
(2019).

۶- مزایای فناوری نانو آجر

در شهرهای پرجمعیت و آلوده، نمای ساختمان ها با هر جنس و
طرح، در معرض انواع آلودگی ها قرار دارد. نماهای آجری به
دلیل وجود خلل و فرج موجود در سطح آجر و امکان
جای گیری انواع ذرات و گرد و غبار در آنها، هرچند وقت
یک بار نیازمند نظافت می باشند. اما برای جلوگیری از این کار و
پیشگیری از ایجاد انواع آلودگی ها در عمق آنها، تنها یک راه
در پیش است که « نانو کردن آجر » نام دارد.

لایه نانو با ایجاد پیوندی قوی با آجر، جهت مقاومت در برابر
پدیده های جوی مانند باران و برف، نقش یک سپر را ایفا
می کند و مانع از نفوذ آب به اعماق آن می شود. ذرات نانو یک
شبکه سازگار از مولکول ها را بر روی آجر ایجاد می کنند و
نتایج مطلوبی حاصل می شود (Papadaki et al., 2018).

۶-۱- تأثیر نانو آجر در آبگریز کردن سطوح

آبگریز بودن یکی از مهم ترین دلایلی است که امروزه افراد از
پوشش نانو بر روی آجرها استفاده می کنند. می توان گفت که
آجر یک ماده زنده است و به دلیل متخلخل بودن سطح آن،
ذرات آب به سرعت در آن نفوذ می کنند. پس از گذشت زمان
و بانجام عمل تبخیر، نمک های محلول در آب بر سطح آجر
رسوب می بندند و ظاهر ناخوشایندی را بر روی آجر پدید
می آورند.

برای جلوگیری از این مشکل ذرات نانو به صورتی در حفرات
آجر نفوذ می کنند که اجازه ورود هیچ ذره دیگری مانند آب
و گرد و غبار را به آن نمی دهد. به همین دلیل باران در هنگام
برخورد با آجری که با لایه نانو پوشانده شده است، به سرعت

۵-۳- پوشش نانو آجر

ویژگی های خاص منحصر به فرد آجر باعث شده که استفاده از
آن در سازه ها، طراحی های داخلی و نمای ساختمان ها به طور
گسترده مورد توجه قرار بگیرد. این متریال جذاب از گذشته
تاکنون در دوام و ماندگاری سرآمد بوده اما در صورت جذب
آب، آلودگی و سایش کمتر، متحمل رطوبت و آسیب کمتری
می گردد و این امر، طول عمر بیشتر آجر را در پی دارد.

در چند سال اخیر امری که برای بسیاری از مصالح ساختمانی
مانند آجر دارای اهمیت شده، استفاده از تکنولوژی نانو در آنها
است. این فناوری به شکل لایه ای پوششی به صورت محلول
بر سطح آجر پاشیده می شود و تا حدود ۵ سال به خوبی می تواند
از آن محافظت کند. پوشش نانو آجر حدود ۷ الی ۸ ساعت
طول می کشد، تا به طور کامل گیرش و پوشش دهی شود. پس
از روکش شدن، قطرات آب تشکیل می شوند. عملکرد این
روکش به دلیل اثر نانو ذرات معدنی غیر آلی که در ماتریس مایع
گنجانده شده است، قوی می باشد؛ یعنی حاوی نانو ذرات
کاربردی به صورت پراکنده شده در مایع است. مایع به کار رفته
در پراکندگی پوشش در سطح به عنوان حامل عمل می کند. در
طول دوره پخت ((۷ الی ۸ ساعت))، نانو ذرات در سطح جمع
می شوند و با سطح پیوند می خورند. پوشش مایع در طول دوره
پخت تبخیر می شود و فقط نانو ذرات تشکیل می شوند که یک
لایه نازک یکنواخت ۵۰ تا ۶۰ نانومتر از سطح را تشکیل
می دهند. پوشش ایجاد شده از نظر نوری خنثی است و باعث
می شود کاملاً شفاف باشد و در حالی که بر روی سطح آجر
اعمال می شود، رنگ سطح بدون تغییر باقی می ماند (Akadiri



۶-۵- دوام و ماندگاری

واضح است که همه‌ی مزیت‌های بالا منجر به یک نتیجه کلی می‌شود و آن دوام و ماندگاری نانو آجر است.

۶-۶- مقاومت در برابر رشد و گسترش قارچ، خزه، باکتری و جلبک

به دلیل اینکه با نانومواد امکان چسبیدن ذرات خارجی به سطح آجر به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد، امکان ایجاد جلبک با این لایه محافظتی به حداقل می‌رسد.

۶-۷- عدم امکان نوشتن بر روی آجر

اتفاق ناخوشایندی که بر روی نماها به وفور دیده می‌شود، نوشتن بر روی آن‌ها است. این آجرها خاصیت ضدنوشتاری دارند و نگرانی افراد را در این مورد رفع می‌کنند. پوشش‌های ضدگرافیتی با چشم غیر مسلح قابل دیدن نیستند. دو نوع مختلف پوشش ضدگرافیتی وجود دارد. یکی پوشش‌های از بین رونده، که رنگ بر روی یک سطح می‌تواند اعمال شود اما پس از استفاده، نقاشی موجود بر روی دیوار به مرور از بین می‌رود. دسته‌ی دیگر، پوشش‌های دائمی است که از ابتدا، از چسبیدن رنگ گرافیتی به سطح جلوگیری می‌کنند.

۶-۸- تغییر نکردن ساختار فیزیکی و شیمیایی

همه ویژگی‌های خاصی که از عملکرد نانومواد بر روی آجر پدید می‌آیند بر روی ظاهر آن تغییر نمی‌گذارند. درواقع پوشش نانو آجر به عنوان محافظی نامرئی عمل می‌کند و با وجود آنکه به جای ماندن بر روی سطح، به عمق آجر نفوذ می‌کند، اثری بر ساختار درون ماده نمی‌گذارد.

غلطانده می‌شود. درواقع ذرات نانو با افزایش زاویه تماس با استفاده از پوششی که ایجاد می‌کند، قطرات آب را به حالت کره تغییر داده و از چسبندگی سطح بین قطرات آب و سطح آجر جلوگیری می‌کند. همچنین کلوئید حاوی ذرات نانو با ایجاد پوششی آبگریز بر سطح آجر، از اثرات مخرب مانند تغییر رنگ جلوگیری می‌کنند. نتیجه دیگری که از آبگریز بودن به وسیله‌ی نانو آجر فراهم می‌شود، عدم یخ‌زدگی و پوسته پوسته شدن به دلیل عدم جذب آب است. به طور کلی نانومواد قابلیت نفوذپذیری آجر را کاهش می‌دهند (Akadiri and Zhang et al., 2014; Olomolaiye, 2012).

۶-۲- یکنواختی میکروسکوپی

پوشش نانو با ایجاد سطحی یکنواخت بر روی آجر تمامی خلل و فرج روی آن را پر می‌کند و با این کار مانع از ورود هر ذره‌ای می‌گردد؛ که به معنای دفع آلودگی نیز می‌باشد. اما نکته مثبتی که در این باره می‌توان اشاره کرد، علی‌رغم وجود پوشش نانو بر روی آجر همچنان می‌تواند مانند موجودی زنده تنفس کند.

۶-۳- مقاومت در برابر مواد شیمیایی، روغن و نمک

از مزایای این لایه بر روی آجر این است که آن‌را در برابر مواد شیمیایی و ذره‌های چربی و نمک مصون می‌دارد.

۶-۴- کاهش هزینه‌های مربوط به نظافت و نگهداری

با پوشش نانو آجر دیگر نیازی به نظافت و نگهداری با فاصله‌های زمانی کوتاه نمی‌باشد. حتی در صورتی که نیاز به نظافت باشد، بدون نیاز به محلول و یا مایع شست‌وشوی خاصی، تنها با آب می‌توان آن را تمیز کرد.

۷- تفاوت نانو مواد و رزین در سطح آجر

رزین ها که در دسته بندی مواد شیمیایی در گروه پلیمرها قرار می گیرند، از دو منبع طبیعی و مصنوعی قابل دسترس هستند و به دو فرم نیمه جامد و مایع یافت می شوند که دارای خواص و کاربردهای گوناگون در صنایع می باشند. رزین ها دارای انواع گوناگونی می باشند که پرکاربردترین آن ها رزین اپوکسی است. اصطلاح اپوکسی به گروه یا خانواده ای از مواد شیمیایی گفته می شود که در آن پیوند یک اتم اکسیژن با دو اتم کربن وجود داشته باشد. رزین اپوکسی که در محل مورد استفاده قرار می گیرد از اختلاط دو بخش رزین و سخت کننده (هاردنر) حاصل می شوند که باعث به وجود آمدن خصوصیات منحصر به فردی برای این ماده می شود. امروزه خانواده بزرگ رزین اپوکسی دارای بالاترین کارایی ها در بین رزین های موجود در صنعت است. رزین اپوکسی عموماً در مقاومت های شیمیایی و از لحاظ از هم پاشیدگی های ناشی از عوامل محیطی و خواص مکانیکی بهتر از انواع رزین های دیگر می باشد. همچنین رزین اپوکسی یک ماده ضد خوردگی مقرون به صرفه است که دارای بسیاری از ویژگی های مفید از جمله خواص تقویت کننده، خاصیت چسبندگی، مقاوم در برابر آب است و به صورت یک مهر و موم ضد هوا بر روی سطوح عمل می کند و احتمال نشت آن کمتر است که همین امر موجب استفاده تقریباً انحصاری رزین های اپوکسی در قطعات سازه های هوایی گردیده است. از طرف دیگر، به دلیل چسبندگی بالای این رزین ها و مقاومتشان در برابر از هم پاشیدگی ناشی از تماس با آب از آن ها به عنوان رزین ایده آل برای استفاده در سازه های پیشرفته، صنایع دفاعی، نفت و گاز، صنایع ساختمانی و مقاوم سازی، خودرو سازی و... استفاده می شود.

اگرچه رزین از خاصیت ضد آب بودن برخوردار است اما استفاده از آن برای ضد آب بودن در دیواره های خارجی توصیه نمی شود. رزین سطح کار را براق می کند و جلا می دهد، اما تنفس زیر کار را از بین می برد. این موارد بیشتر برای سنگ های مصنوعی و یا سطوحی که جذب آب ندارد استفاده می شود یا سطوحی که نیاز به براقیت دارند، اما مناسب آجرها به ویژه آجر نماها نمی باشد؛ چرا که باعث افزایش شوره زدن بر روی سطح آجر می شود. به همین دلیل، در مناطقی که آجر با آب و هوای مرطوب سروکار دارد، قبل از اجرای آجر نما، می توان از نانو آجرها استفاده کرد.

۸- مایع نانو ضد آب

یکی دیگر از برجسته ترین تکنولوژی های نانو فناوری که برای سطوح آجر و نمای ساختمان استفاده می شود مایع نانو ضد آب است. مایع نانو، پتانسیل کامل حفاظت از نمای ساختمان در برابر شرایط نامطلوب محیطی را دارد.

مایع نانو ضد آب یک لایه بسیار نازک از ذرات میکروسکوپی برای پر کردن همه منافذ مواد و ضد آب کردن آن ها است. این محصول با ساختار نانو و به صورت مایع ساخته شده است تا سطح نهایی ماده را ضد آب کند. ضد آب کردن نما باعث افزایش طول عمر و دوام مصالح ساختمانی می شود. نانوماده ضد آب می تواند سایش، خوردگی، آلودگی، شوره و بسیاری از خطرات دیگر را از نما دور کند (El-Samny, 2008; Simpson et al., 2015).

۸-۱- اهمیت استفاده از مایع نانو ضد آب

مایع نانو ضد آب یکی از جدیدترین راه حل های آب بندی نمای ساختمان است. این فناوری از ذرات با اندازه ابعاد نانو ایجاد شده است که برای نفوذ به کوچک ترین ترک ها و فضاها برای



ایجاد یک پوشش با دوام استفاده می‌شوند. همچنین نانو مواد ضد آب با آب‌بندی کامل ترک‌ها و شکستگی‌ها از هرگونه ورود مواد از محیط خارج جلوگیری می‌کنند. نکته مهم این است که نانو مواد ضد آب می‌توانند به جلوگیری از اثرات بارش باران، عناصر آلاینده، سرمازدگی و اشکال مختلف قارچ یا عوامل نفوذی نیز کمک کنند (El-Samny, 2008).

۸-۲- چگونگی عملکرد مایع نانو ضد آب

مایع نانو، یک لایه ضد آب روی نما ایجاد می‌کند. این امر باعث می‌شود آب یا رطوبت سطحی، از منافذ به دام بیفتد، تبخیر شوند و در نتیجه با خشک نگه داشتن بستر از شوره آجر یا مشکلات ناشی از آب (ترک خوردن و سرمازدگی) جلوگیری کند. نانو ذرات در برابر تنش‌های ناشی از نوسانات شدید دما، اشعه‌ی ماوراء بنفش و شرایط آب و هوایی مقاوم هستند (El-Samny, 2008).

۸-۳- مزایای مایع نانو ضد آب

مزایای مایع نانو را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

(۱) محافظت در برابر اشعه‌ی فرابنفش

(۲) دوام و کیفیت بالا

(۳) خشک شدن سریع

(۴) مقاومت در برابر خوردگی

(۵) سازگار با محیط زیست

(۶) مقاوم در برابر رطوبت و گازهای جوی

(۷) عدم تغییر رنگ نما

(۸) آب‌بند کننده نما

(۹) امنیت بالا و غیر قابل اشتعال بودن

(۱۰) ممانعت از ایجاد ترک یا شکستگی در مصالح نما

(۱۱) ضد آب و قابل تنفس

(۱۲) صرفه‌جویی در هزینه نظافت

(۱۳) افزایش طول عمر مصالح نما

(۱۴) کمک به حفظ زیبایی

(۱۵) قابل استفاده برای نمای آجری، سنگی، شیشه‌ای، سیمانی و بتنی

۹- عایق رطوبتی نانو

باتوجه به عایق‌های رطوبتی مختلف مورد استفاده در صنعت ساختمان‌سازی، عایق رطوبتی نانو، به عنوان مصالحی مدرن شناخته می‌شود که برای ساخت این عایق‌ها نیز از فناوری نانو استفاده شده است. این عایق‌های رطوبتی نانو نوعی محلول نانوسیلیکون است که بر پایه سیلان-سیلوکسان می‌باشد (Zheng et al., 2016).

از جمله ویژگی‌های عایق رطوبتی نانو عبارتند از:

(۱) بر روی سطوح مرطوب قابلیت اجرایی شدن دارند.

(۲) بعد از بارش باران می‌تواند خود را تمیز و از رطوبت پاک کند.

(۳) قابل شست‌وشو می‌باشد.



مواد آلی، اشعه UV، گذر زمان و... همگی از جمله عواملی هستند که مصالح این سازه‌ها را فرسوده ساخته و از عمر مفید آنها می‌کاهد (David et al., 2020).

عایق کردن سطح این ساختمان‌ها رایج‌ترین راه مقابله با این آسیب است. اما بسیاری از عایق‌های پلیمری و رزین‌های مختلف فراوری شده پس از اجرا و اعمال، تنفس طبیعی سطح را تغییر داده و خود موجب بروز مشکلات جدید می‌شود. در این موارد مصالح زیرین امکان تنفس از میان چنین پوشش‌هایی را نخواهند داشت. از این رو بخار آب در هنگام خروج در داخل مصالح محبوس شده و عدم تبادل هوا در مصالح یا همان تنفس سطح به‌خصوص در مصالحی مانند آجر، خشت، کاه گل و سنگ که عمده مواد سازنده ساختمان‌های تاریخی هستند، باعث پوک شدن و فرسایش و تخریب سریع‌تر بنا می‌شود. دلیل آن بروز میعان در داخل مصالح است. امروزه استفاده از فناوری نانو در حفاظت آثار میراث فرهنگی در زمینه‌های مختلفی نمود پیدا کرده است. از جمله استفاده از فناوری نانو، در مرمت نقاشی‌های دیواری ساختمان‌های تاریخی است. در سال‌های اخیر کاربرد فناوری نانو در بخش‌های مختلف صنایع ساختمان در حال افزایش است. کاربرد نانوپوشش‌ها در آبگریزی سطوح مصالح می‌تواند ویژگی‌های منحصر به فردی را ایجاد نماید. نانوپوشش‌های اعمال شده ویژگی‌های مختلفی از جمله خواص ضدسایشی و ضدفرسایشی و عایق‌کنندگی نسبت به رطوبت دارند (David et al., 2020).

۱۱- نتیجه‌گیری

نانوپوشش‌های ساخته شده از نانومواد علاوه بر آبگریز کردن سطوح، به وسیله‌ی کاهش تمایل مولکول‌های سطح نسبت به جذب مولکول‌های آب، امکان تنفس را به مصالح ساختمانی می‌دهند و دارای خاصیت مقاومت در برابر نفوذ گرد و غبار و

(۴) علاوه بر عایق رطوبت، یک نوع عایق حرارتی و برودتی نیز می‌باشد.

(۵) قابلیت تصفیه‌کنندگی هوا را دارد.

(۶) عمر آن طولانی است و مقاومت بالایی در حین اجرا دارند.

(۷) در برابر اشعه‌ها و تابش‌های مضر خورشید مقاوم است.

(۸) موجب جلوگیری از نفوذ گرد و غبار و آلودگی در نمای ساختمان می‌شود.

۱۰- افزایش عمر آثار باستانی کاه‌گلی، آجری و گچی با استفاده از نانومواد آبگریز

آثار هنری گذشتگان، حاصل مفاهیم معنوی در عصر خود بوده و در دنیای امروز شاهد گویا و زنده از آنچه در گذشته واقع شده است، می‌باشد. این آثار برای بشریت میراث عمومی و مشترک محسوب می‌شوند و بازشناسی ارزش این آثار عبارت از احساس مسئولیت در مورد حفظ و نگهداری آن‌ها برای نسل‌های آینده خواهد بود و به‌جا است که عین واقعیت هنری و زیبایی آثار هنری به آیندگان انتقال داده شود. از این رو مرمت و نگهداری اماکن و میراث فرهنگی با استفاده از علوم و فناوری‌های نوین امری ضروری است (Baglioni et al., 2013).

مواد و مصالح به‌کار رفته در ساختمان‌های تاریخی به‌علت ساختار و بافت فیزیکی متخلخل خود، جذب آب بالایی دارند. جذب آب، زمینه لازم برای پدید آمدن آسیب‌های بعدی از قبیل فرسایش، ترک و پوسیدگی بیشتر آنها را ایجاد می‌کند. جذب رطوبت، فرسودگی مصالح و کثیفی را افزایش داده و آسیب‌های مختلف و تخریب بیشتر را باعث می‌شود. بخار آب، نور خورشید، عوامل جوی، گرد و خاک، آلودگی‌های



5. Bilgin, N., Yeprem, H.A., Arslan, S., Bilgin, A., Günay, E., Marşoglu, M., (2012) 'Use of waste marble powder in brick industry', Construction and Building Materials 29, 449-457.

6. Boostani, H., Modirrousta, S., (2016) 'Review of Nanocoatings for Building Application', Procedia Engineering 145, 1541-1548.

7. Brocken, H., Nijland, T., 2004. White efflorescence on brick masonry: towards prediction of efflorescence risk, 13th international brick/block masonry conference, Amsterdam.

8. David, M.E., Ion, R.-M., Grigorescu, R.M., Iancu, L., Andrei, E.R., (2020) 'Nanomaterials Used in Conservation and Restoration of Cultural Heritage: An Up-to-Date Overview', Materials 13, 2064.

9. El-Samny, M., 2008. Nanoarchitecture Nanotechnology and Architecture. University Of Alexandria. Yüksek Lisans Tezi, 105s, Mısır.

10. Ergün, A., (2011) 'Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete', Construction and Building Materials 25, 806-812.

11. Hanus, M.J., Harris, A.T., (2013) 'Nanotechnology innovations for the construction industry', Progress in Materials Science 58, 1056-1102.

12. Ji, Y., Rong, X., Zhong, H., Wang, Y., Wang, S., Lu, L., (2017) 'Making Marble Powder Waste Profitable by Using Nano-TiO₂ Surface Modification for Air Quality Improvement Applications', Journal of Nanomaterials 2017, 6501793.

آلودگی ها هستند. سطح را کاملاً ضد آب کرده و بدین ترتیب اثر لکه موادی مانند چای، قهوه، ماژیک و چسب های تبلیغاتی را کاملاً می توان از روی سطح پاک کرد. این خواص می تواند به راحتی در تمیز و جدید نگه داشتن کلیه ی سطوح از جمله نانو آجرها بسیار مفید باشد که این امر باعث طولانی تر شدن عمر رنگ ها و سازه های ساختمانی از جمله سازه های تاریخی مختلف و عدم شوره زدگی سطوح خواهد شد.

۱۲- تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حمایت شرکت دانش بنیان اصلاح خاک آسیا (Asian Soil Improvement) از این تحقیق تشکر و قدردانی می گردد.

۱۳- مراجع

1. Akadiri, P.O., Olomolaiye, P.O., (2012) 'Development of sustainable assessment criteria for building materials selection', Engineering, Construction and Architectural Management 19, 666-687.

2. Ali, R.A., Kharofa, O.H., (2021) 'The impact of nanomaterials on sustainable architectural applications smart concrete as a model', Materials Today: Proceedings 42, 3010-3017.

3. Baglioni, P., Chelazzi, D., Giorgi, R., Poggi, G., (2013) 'Colloid and Materials Science for the Conservation of Cultural Heritage: Cleaning, Consolidation, and Deacidification', Langmuir 29, 5110-5122.

4. Bhushan, B., Jung, Y.C., (2008) 'Wetting, adhesion and friction of superhydrophobic and hydrophilic leaves and fabricated micro/nanopatterned surfaces', Journal of Physics: Condensed Matter 20, 225010.



Basin, Central Africa', Applied Clay Science 171, 118-132.

21. Vazirinasab, E., Jafari, R., Momen, G., (2018) 'Application of superhydrophobic coatings as a corrosion barrier: A review', Surface and Coatings Technology 341, 40-56.

22. Zhang, L., Zhao, N., Xu, J., (2014) 'Fabrication and application of superhydrophilic surfaces: a review', Journal of Adhesion Science and Technology 28, 769-790.

23. Zheng, D.-D., Ji, T., Wang, C.-Q., Sun, C.-J., Lin, X.-J., Hossain, K.M.A., (2016) 'Effect of the combination of fly ash and silica fume on water resistance of Magnesium-Potassium Phosphate Cement', Construction and Building Materials 106, 415-421.

13. Kuda, A., Yadav, M., (2022) 'Opportunities and challenges of using nanomaterials and nanotechnology in architecture: An overview', Materials Today: Proceedings 65, 2102-2111.

14. Li, T., Zeng, S., Ji, Y., Shen, B., Wang, Z., Zhong, H., Wang, S., (2019) 'Waterproof aerated bricks from stone powder waste through nano-TiO₂ structured hydrophobic surface modification', Applied Sciences 9, 2619.

15. Liu, H., Jiang, T., Wang, F., Ou, J., Li, W., (2021) 'Thermochromic superhydrophobic coatings for building energy conservation', Energy and Buildings 251, 111374.

16. Lu, Y., Sathasivam, S., Song, J., Crick, C.R., Carmalt, C.J., Parkin, I.P., (2015) 'Robust self-cleaning surfaces that function when exposed to either air or oil', Science 347, 1132-1135.

17. Papadaki, D., Kiriakidis, G., Tsoutsos, T., (2018) Chapter 11 - Applications of nanotechnology in construction industry, in: Barhoum, A., Hamdy Makhoulouf, A.S. (Eds.), Fundamentals of Nanoparticles. Elsevier, pp. 343-370.

18. Shahidi, S., Merillou, S., Ghazanfarpour, D., (2005) Phenomenological Simulation of Efflorescence in Brick Constructions, in: Poulin, P., Galin, E. (Eds.), Eurographics Workshop on Natural Phenomena. The Eurographics Association.

19. Simpson, J.T., Hunter, S.R., Aytug, T., (2015) 'Superhydrophobic materials and coatings: a review', Reports on Progress in Physics 78, 086501.

20. Temga, J.P., Mache, J.R., Madi, A.B., Nguetnkam, J.P., Bitom, D.L., (2019) 'Ceramics applications of clay in Lake Chad



A Review on the Production of Coating and Surface Modification of Building Materials with the Nanomaterials

Mehdi Montazeri-Pour¹, Aida Ghasemi-Madani¹, Ali Kasmaei², Hamed Niroumand²

¹Department of Chemical and Materials Engineering, Buein Zahra Technical University, Qazvin, Iran

²Department of Civil Engineering, Buein Zahra Technical University, Qazvin, Iran

Abstract

Building materials and materials that exist around humans undergo physical and chemical changes over time, which lead to their wear and deterioration. Today, nanotechnology has come to help humans and has made significant progress in this field. Surface coatings by nanomaterials prevent the adhesion of dust and the penetration of particles and pollutants into the surfaces of building materials and make it easier to clean the surfaces and create hydrophobic and oil-repellent properties, photocatalytic, resistance to ultraviolet rays, preventing the growth of bacteria and etc. On the other hand, by using nanomaterials, construction materials are allowed to breathe; because this prevents the surfaces from efflorescence. Thus, the use of nano-bricks has improved the surface quality of materials, resistance to atmospheric phenomena, and increased strength. In this research, with a review of the studies conducted by previous researchers, a report on the performance and application of nanomaterials such as titania and zinc oxide nanoparticles as surface coatings is given.

Keywords: Surface coatings, nanomaterials, hydrophobic properties, efflorescence, nano-bricks