

بررسی پدیده کثیفی پوشش‌های ساختمانی از منظر ظاهر رنگی

بیبا صدیقیان^۱، راضیه جعفری^{۲*}، مرتضی نصیری^۳، محمد مهدویان احدی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۵۱۳۳۵-۱۹۹۶.

۲- استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴.

۳- استادیار، دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۵۱۳۳۵-۱۹۹۶.

۴- دانشیار، گروه پوشش‌های سطح و خوردگی، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴.

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۱۶ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۹/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۰۸ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۹/۰۹/۳۰

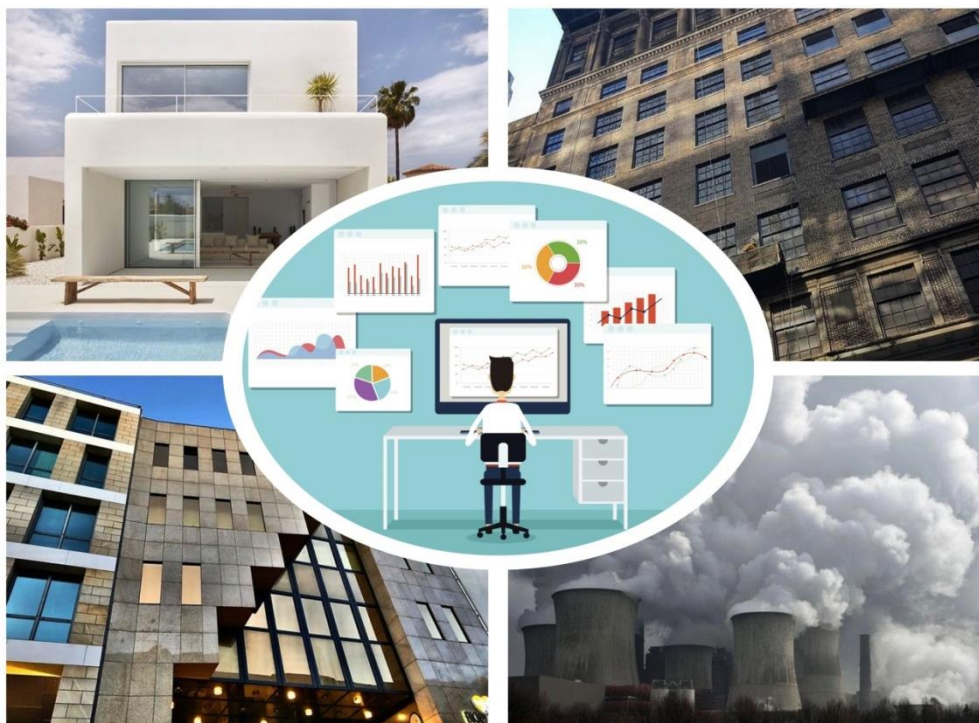
چکیده

نمای ساختمان‌ها در زیبا نمودن جلوه شهر، از اهمیت بالایی برخوردار است؛ به همین دلیل باید به زیباسازی و پاک‌نمودن آن‌ها از آلودگی توجه خاصی مبذول داشت. گسترش بی‌رویه شهرها در جهان، عامل اصلی پدید آمدن مشکلات جدی زیست‌محیطی و آلودگی در شهرها می‌باشد. در صنعت ساخت و ساز، آلودگی‌های شیمیایی، قارچی و باکتریایی و ذرات معلق در هوا از جمله موارد عمده آلودگی‌های زیست‌محیطی به شمار می‌روند که به صورت مستقیم بر روی نمای ساختمان تاثیر می‌گذارند. در این مقاله به ارزیابی و بررسی پوشش‌های مختلف به کار رفته بر روی نمای ساختمان، نظیر، پوشش‌های ضدباکتری و ضدقارچ، پوشش‌های خودتمیزشونده و پوشش‌های آب‌گریز، جهت طولانی کردن عمر ظاهر رنگی و افزایش مقاومت در برابر کثیفی نما پرداخته می‌شود. همچنین روش‌های مختلف اندازه‌گیری کثیفی پوشش‌ها بررسی شده است. روش‌های رنگ‌سنجی جهت ارزیابی و اندازه‌گیری کثیفی نمونه‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از این اندازه‌گیری، انتخاب پوشش مناسب با مقاومت در برابر کثیفی ایده‌آل، برای به کار بردن در مصارف مختلف جهت حفظ تمیزی و جلوگیری از تغییر رنگ پوشش‌ها در گذر زمان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

نمای ساختمان، ظاهر رنگی، اختلاف رنگ، چرک‌پذیری.

چکیده تصویری





Investigation of Dirt Pickup of Facade Coating from the Color Appearance View Point

Bitra Sedighian¹, Razieh Jafari^{2*}, Morteza Nasiri¹, Mohammad Mahdavian³

1- Department of Polymer Engineering, Sahand University of Technology, P.O. Box: 51335-1996, Tabriz, Iran.

2- Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

3- Surface Coating and Corrosion Department, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 16765-654, Tehran, Iran

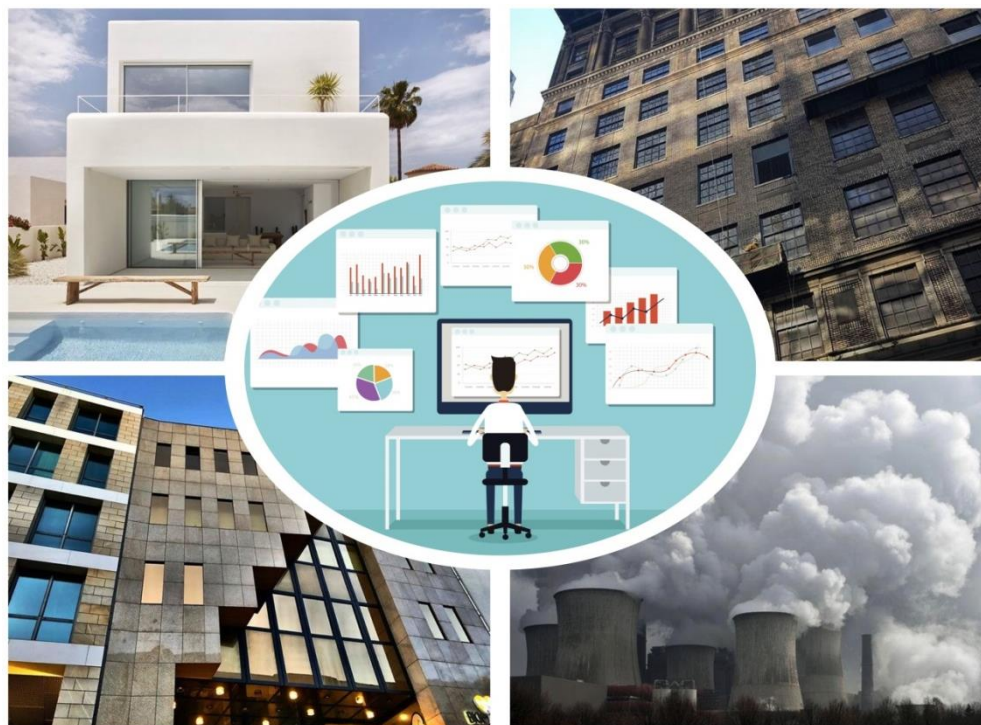
Abstract

Buildings façade is one of the most significant factors to make the city concinnity; for this reason, special attention should be paid to aesthetics and cleaning them from pollution. The uncontrolled expansion of urban population growth in the world is the main cause of serious environmental problems and pollution in cities. In the construction industry, chemical, fungal and bacterial contaminants and also airborne particles are major environmental pollutants that directly affect on the building façade. This article review the various coatings used on the building facade, such as antibacterial and antifungal coatings, self-cleaning coatings and hydrophobic coatings, for increasing the age of color appearance and dirt resistance of the façade. Furthermore, various methods of measuring dirt-pickup of coatings have been investigated. Colorimetric methods are used to evaluate and measure dirt-pickup of the samples. The purpose of measurement is to select a suitable coating with ideal dirt resistance, to be used in various applications to maintain cleanliness and prevent discoloration of coatings over time.

Keywords

Building Facade, Color appearance, Color difference, Dirt-pickup.

Graphical abstract



۱- مقدمه

سیمای شهری تمام عناصر و عوامل شهری است که دیده می شوند و چشم قادر به تماشای آن می باشد و در ذهن و خاطره انسان شکل می گیرند. آنچه در این بین به لحاظ دیداری بسیار حائز اهمیت می باشد، هماهنگی و یکپارچگی ساختاری مجموعه ساختمان ها و مکان هایی است که محیط شهری را می سازند [۱]. طبق این تعریف زیبایی نمای ساختمان ها از منظر ظاهر رنگی و حفظ تمیزی سطح آن ها نقش به سزایی در زیبایی محیط شهری ایفا می کنند.

در دانش و هنر طراحی شهری بحث زیبایی شناسی به معنای مجموعه عواملی است که حظ استفاده کنندگان از فضای شهری را موجب می گردد. یکی از مهم ترین بخش ها که دارای قلمروی زیبایی شناسی دیداری است، ساختمان و نمای آن می باشد. قلمرویی که در ذهن بیننده جای دارد و حاصل تبدیل عرصه عینی کالبد به عرصه ذهنی است. نمای ساختمان همچون پیراهنی است که ویژگی کالبدی و دیداری یک ساختمان را نمایش می دهد. این نما ضمن آن که منحصر به فرد است باید با بدنه ای که کلیت بدنه یک خیابان را تشکیل می دهد هماهنگ باشد. مجموعه نماهای ساختمانی کلیتی به نام نمای شهری را تشکیل می دهند. مهم ترین شاخص های زیبایی شناسانه در طراحی نمای ساختمان عبارتند از رنگ، وزن، ریتم، هارمونی، هماهنگی، تقارن، تعادل، همگونی، همخوانی و استحکام دیداری [۲].

به دلیل اهمیت نمای ساختمان در بحث زیبایی شناسی فضای شهری، تمیزی و ظاهر رنگ آن اهمیت فراوان می یابد. از طرفی، توسعه شهرنشینی، رشد جمعیت و کارخانجات صنعتی و غیره سبب افزایش آلودگی ها و مزاحمت های دیداری در فضای شهری گردیده است و باعث شده نمای ساختمان ها، به سرعت دچار تغییر رنگ شوند و تیره و کثیف گردند. نمای ساختمان، مستقیماً تحت تأثیر آب و هوا است. آلودگی هوا از طریق روش طبیعی (بارش، باد، درجه حرارت بالا و پایین، تابش خورشیدی) و فرآیندهای پیچیده شیمیایی و زیستی بر روی ظاهر نما تاثیر می گذارد [۳]. تغییر رنگ در نمای خارجی ساختمان غالباً به دلایل مختلفی از قبیل کربناسیون^۱، خوردگی، ترک خوردگی، رسوب خاک و کثیفی، اثرات زیستی و موارد دیگر به دفعات مشاهده می شود. رایج ترین نمونه تغییر رنگ در نمای بیرونی ساختمان، تیرگی و سیاه شدن است که به عنوان از بین برنده زیبایی در نظر گرفته می شود و از نظر درک دیداری، پیامدهای اجتماعی مهمی برای ساختمان دارد. این سطوح سیاه شده باعث مزاحمت های دیداری می شود. تیرگی نمای خارجی (مخصوصاً نما با پوشش روشن)، نهایتاً به جایی می رسد که از نظر زیبایی شناسی غیرقابل قبول می باشد. اثر بصری نماهای آلوده در معرض قضاوت افراد بر اساس حس زیبایی شناختی، انتظارات و تجربیات شخص، قرار می گیرد. انباشت آلودگی در ساختمان ها لزوماً به طور یکسان روی سطح ایجاد نمی شود. روند و میزان مختلف سیاه شدن ساختمان، می تواند در تصمیم گیری در مورد تمیز کردن ساختمان موثر باشد [۴]. فرآیندهای سنتی

تمیز کردن نما، خطرناک و پرهزینه است و دشواری های زیادی در پی دارد [۵]. بنابراین، در راستای تسهیل حفظ رنگ و تمیزی نما، راهکارهای جدیدی برای کاهش چرخه تمیز کردن دنبال می شود. به منظور ایجاد راهکار مناسب جهت تداوم تمیزی و افزایش مقاوت در برابر کثیفی رنگ بکار رفته در نمای ساختمان، نخست باید عوامل آلوده کننده را مشخص نمود. بخش بعدی مروری اجمالی بر این عوامل است.

۲- عوامل آلودگی نمای ساختمان

آلودگی هوا به دلیل تأثیر مستقیم آن بر اکوسیستم ها و سلامت انسان یکی از مهم ترین چالش های زیست محیطی در نظر گرفته می شود [۶]. این نوع از آلودگی بر روی سطوح مختلف می چسبد و زیبایی و ظاهر رنگ آن ها را تحت الشعاع قرار می دهد. آلودگی هوا به چند دسته تقسیم می شود که در ادامه به صورت مختصر به آلاینده های اولیه هوا و منابع آن ها اشاره شده است [۷].

۲-۱- عوامل آلوده کننده شیمیایی

آلودگی هوا ترکیبی پیچیده از ذرات، بخارات و گازهای ساطع شده از منابع طبیعی و انسانی است و همچنین از طریق فرآیندهای تبدیل فتوشیمیایی تشکیل می شود. در مناطق شهری، آلاینده های هوا از انتشار احتراق ترکیبی از ذرات ساطع شده، اکسیدهای کربن، گوگرد و ازن، ترکیبات آلی فرار و محصولات واکنش ثانویه مانند ازن، دی اکسید نیتروژن و آئروسول های آلی ثانویه تشکیل شده است [۸].

به طور کلی آلودگی شیمیایی ناشی از گازهای مونوکسید کربن (CO)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، اکسیدهای گوگرد (SO_x)، ماده ذرات (PM) و ترکیبات آلی فرار (VOC) است. منابع طبیعی و انسانی تولید آلودگی در جدول ۱ آورده شده است [۷].

۲-۲- عوامل آلوده کننده اسیدی

از جمله مهم ترین اثرات مخرب اسیدی که به نمای ظاهری ساختمان آسیب می زند آلودگی های اسیدی حاصل از باران های اسیدی است. باران تمیز به دلیل وجود دی اکسید کربن در هوا، در حد کمی اسیدی است؛ چراکه آب بعد از واکنش با این گاز، اسید کربنیک تولید می کند که البته اسید ضعیفی به شمار می رود. اما در هوای آلوده به دلیل وجود اکسیدهای نیتروژن و گوگرد یا سولفور، اسیدهای قوی تری به وجود می آیند. این اسیدها به ترتیب اسید نیتریک و اسید سولفوریک هستند. اصلی ترین منبع تولید این آلودگی ها خودروها، تاسیسات صنعتی و نیروگاه ها می باشند [۹، ۱۰].

در دهه های ۷۰ و ۸۰ میلادی، نگرانی عمومی از تأثیر باران اسیدی اغلب بر آسیب احتمالی آن به آثار هنری در فضای باز متمرکز بود که شامل جزئیات مجسمه ها و ساختمان ها بود. در حقیقت، یک دانشمند برجسته در زمینه حفاظت از سنگ در سال ۱۹۷۳ پیش بینی کرد که از بین رفتن میراث فرهنگی تا پایان هزاره به صورت تصاعدی افزایش می یابد [۱۱].

¹ Carbonation

جدول ۱- عوامل آلوده‌کننده شیمیایی و منابع طبیعی و انسانی آن‌ها [۷].

عوامل آلوده کننده شیمیایی	منابع طبیعی تولید آلودگی	منابع انسانی تولید آلودگی
مونوکسید کربن (CO)	فوران‌های آتشفشانی، آتش‌سوزی جنگل‌ها، واکنش‌های فتوشیمیایی موجود در مناطق گرمسیری، پوسیدگی مواد آلی	اگزوز وسایل نقلیه موتوری، تأسیسات تولید برق و سایر فرآیندهای احتراق ناقص
اکسیدهای نیتروژن (NO _x)	طوفان رعد و برق و فرآیندهای پوسیدگی زیستی	احتراق سوخت‌های فسیلی در تأسیسات برقی، عملیات دمای بالا، آلودگی ناشی از اگزوز وسایل نقلیه موتوری
اکسیدهای گوگرد (SO _x)	فرآیندهای پوسیدگی بیولوژیکی، فوران آتشفشانی	سوختن سوخت (زغال‌سنگ و روغن) حاوی گوگرد، ذوب فلز، فرآیندهای صنعتی
ماده ذرات (PM)	گرده، باکتری و قارچ، گرد و غبار، خاکستر دوده	تولید برق، فرآیندهای صنعتی، احتراق سوخت‌های فسیلی، دفع زباله
ترکیبات آلی فرار (VOC)	از درختان و گیاهان دیگر هیدروکربن (terpenes) ساطع می‌گردد	استفاده از حلال، اگزوز وسایل نقلیه، فرآیندهای صنعتی

بیماری‌های آلرژیک و باکتریایی، بیماری‌های تنفسی، خس خس مکرر سینه، درماتیت آتوپیک و عفونت‌ها در انسان گردند [۱۴، ۱۳]. یکی از مهم‌ترین عواملی که به دلیل اسید و لیکتیک و خوردگی اکسایشی-کاهش‌ی مواد، نهایتاً منجر به تشکیل پوسته‌های آسیب رسان در سطح نما به ویژه نماهای سنگی می‌شود، آلودگی با مواد میکروبی است [۱۵]. با شناخت عوامل آلوده‌کننده نمای ساختمانی، گام بعدی یافتن راهکارهایی برای دوری از ایجاد کثیفی سطح است. یکی از عمده‌ترین این راهکارها، کاربرد پوشش‌های مناسب است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

۳- پوشش‌های مناسب برای افزایش مقاومت سطح در برابر کثیفی

یکی از راه‌های محافظت در برابر آلودگی و کثیفی و افزایش مقاومت شیمیایی خصوصاً در بحث ابنیه، اعمال پوشش‌های مناسب و یا استفاده از یک روکش رنگی بسیار مقاوم در برابر کثیفی می‌باشد. استفاده از چنین پوشش‌هایی مستلزم آن است که ترکیبات شیمیایی به کار رفته در رنگ و یا رزین کاربردی، برای طبیعت و محیط‌زیست ضرری نداشته باشد و ظاهر نما را تغییر ندهد [۱۶]. این پوشش‌ها غالباً ترکیباتی شامل رزین‌های پلیمری از نوع رزین‌های اکریلیک آب پایه هستند [۱۷]. در ادامه به بررسی برخی از روش‌ها و پوشش‌هایی که به عنوان روکش روی سطح نما، جهت بالا بردن مقاومت سطح در برابر کثیفی اعمال می‌گردند اشاره می‌شود.

۳-۱- پوشش‌های ضدباکتری و قارچ

به منظور اعمال پوشش‌هایی با خاصیت ضدباکتری و قارچ، ویژگی‌هایی نظیر دوست‌دار محیط‌زیست بودن و مقاومت در برابر گونه‌های میکروبی جدید نیز لحاظ می‌گردند. این پوشش‌ها همچنین می‌بایست اثر مضر بر ظاهر سنگ نما نداشته و در برابر پرتوهای فرابنفش مقاوم باشند [۱۵]. وزن مولکولی تأثیر مهمی در عملکرد ضد باکتریایی دارد. کولپلیمرهایی

کاهش pH و حضور آلومینیم در آب‌های سطحی هر دو نتیجه باران اسیدی است. باران اسیدی می‌تواند سبب تخریب ساختمان‌ها، به‌ویژه بناها و گنجه‌های تاریخی گردد و با گذشت زمان می‌تواند برخی سطوح ساختمان‌های قدیمی و مجسمه‌های تاریخی را از بین ببرد. این امر به دلیل واکنش دادن ترکیبات کلسیمی با اسید سولفوریک است. اسید همچنین منجر به تخریب لایه رویی محافظ تجهیزات فلزی و زنگ‌زدن آن‌ها می‌گردد. در اثر باران‌های اسیدی رویه‌های سنگی ساختمان‌ها، پل‌ها، سدها و غیره ساییده شده و به مرور زمان موجبات نابودی آن‌ها فراهم می‌گردد. از جمله آسیب‌های ناشی از باران اسیدی می‌توان به تغییر شکل رویه ساختمان‌های مشهوری چون پارتنون (آتن)، مجسمه آزادی (نیویورک)، کلیسای سن پول (لندن)، تاج محل (هندوستان)، بنای تریان (رم) و کلیسای قدیمی کلن (آلمان) در اثر سایش شیمیایی، اشاره کرد. دلیل این اتفاق، واکنش اسیدهای ناشی از غبار و باران اسیدی با آهک موجود در رویه این بناهاست. این واکنش‌های شیمیایی سنگ‌های آهکی نماها را تبدیل به پودر نموده و از ضخامت آن‌ها می‌کاهد. مثال بارز آن کاهش بیش از ۸ میلی‌متری ضخامت مجسمه مرمری آبراهام لینکلن در واشینگتن است [۱۲].

۳-۲- عوامل آلوده‌کننده قارچی و باکتریایی

یکی دیگر از عوامل آلودگی و کثیفی ساختمانی (چه فضای داخلی و چه فضای خارجی و نما) آلودگی‌های قارچی و باکتریایی هستند. هاگ‌های قارچی در هوا و فضای باز به میزان زیادی وجود دارند و برخلاف هاگ‌های قارچی در فضاهای داخلی، با اصلاح سطح پوشش ساختمان و روش‌های دیگر قابل کنترل هستند. ایجاد قارچ‌ها غالباً مربوط به رابطه هم‌زیستی آن‌ها با ماده آلی محیطی در فضای باز است و جلوگیری از ایجاد آن‌ها به راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد. قرار گرفتن در معرض هاگ‌های قارچی، احتمال آسیب به ریه و اثرات سوء و جبران ناپذیری را در پی دارد. این اثرات بر روی ریه ممکن است علائم آشکاری نداشته باشد اما در دراز مدت ممکن است سبب ایجاد بیماری‌های مزمن نظیر

ویژگی‌های خوب در کاربردهای مختلف مورد توجه قرار می‌گیرند. اضافه کردن پلی سیلوکسان در ترکیب ذرات پلیمری خواص آب‌گریزی و خواص مکانیکی ترکیب را بهبود می‌بخشد. همچنین استفاده از این ترکیبات در پوشش رنگ‌های مورد استفاده در نمای خارجی سبب بهبود خواص رنگ نظیر افزایش مقاومت چرک‌پذیری و مقاومت در برابر آب و هوا نیز می‌گردد [۲۳]. همچنین به کار بردن نانو ذرات سیلیکا در فرمول‌بندی رنگ سبب افزایش مقاومت در برابر نفوذ آب و گرد و غبار می‌گردد که این ویژگی سبب ایجاد خاصیت خودتمیزشوندگی در رنگ می‌شود [۲۴]. همان‌گونه که پیشتر اشاره شد یکی از راه‌های افزایش مقاومت در برابر چرک‌پذیری، کاربرد پوشش‌های مقاوم بوده که به برخی از مهم‌ترین پوشش‌های مورد استفاده در نمای ساختمان جهت بهبود خواص و افزایش مقاومت سطوح در برابر کثیفی و تغییر رنگ نمای انبیه پرداخته شد. بدیهی است یکی از راه‌های کنترل کیفیت پوشش به کار رفته به لحاظ مقاومت در برابر کثیفی، اندازه‌گیری میزان چرک‌پذیری آن است. با توجه به موضوع مقاله حاضر، در ادامه به چند تحقیق انجام شده در خصوص اندازه‌گیری میزان کثیفی ظاهر پوشش‌های بکار رفته مبتنی بر روش‌های رنگ‌سنجی و تغییر ظاهر رنگی پرداخته می‌شود.

۴- اندازه‌گیری کثیفی مبتنی بر رنگ‌سنجی

در این بخش پژوهش‌هایی که بر ظاهر رنگی پوشش‌های اکریلیکی مورد استفاده در نمای ساختمانی انجام شده و تغییر رنگ آن‌ها در اثر ایجاد آلودگی را بررسی نموده به اختصار توضیح داده می‌شوند. بدیهی است کاربرد روابط معرف اندازه‌گیری رنگ و مشخصه‌های رنگی به منظور بررسی و سنجش میزان تغییر رنگ ایجاد شده بسیار حائز اهمیت است که در ادامه بدان‌ها پرداخته خواهد شد. زوانی [۲۵]، در مقاله خود سازوکار چرک‌پذیری فیلم‌های لاتکس را اندازه‌گیری نمود. برای این منظور پراکنه کثیفی^۲ (محلولی که با استفاده از کربن سیاه، مواد پاک‌کننده و آب تهیه می‌شود) را روی نیمی از نمونه‌ها اعمال کرد و سپس مقادیر بازتاب را قبل و بعد از اعمال کثیفی با استفاده از رابطه ۱ اندازه‌گیری نمود.

$$X = [(A-B)/(A-C)] \times 100 \quad (1)$$

در رابطه ۱، X مقاومت در برابر کثیفی، A مقدار بازتاب قبل از اعمال آلودگی، B مقدار بازتاب بعد از اعمال آلودگی و C مقدار بازتاب خاکستر سوخت^۳ می‌باشد.

خاکستر سوخت، محصول احتراق زغال سنگ است. این خاکستر در حقیقت ذراتی است که از دیگ‌های بخار زغال سنگ به همراه گازهای دودکش خارج می‌شوند. در این روش جهت اندازه‌گیری میزان کثیفی بر روی پوشش‌های اعمالی روی صفحات خارجی، از استاندارد ASTM D 3719-95 استفاده شد. مقاومت چرک‌پذیری بالای

که دارای وزن مولکولی بالاتری هستند، از خواص ضد میکروبی بهتری در محلول برخوردار هستند، در حالی که وقتی روی سطح به عنوان پوشش اعمال می‌شوند، کوپلیمرهایی با وزن مولکولی پایین عملکرد ضدباکتریایی بیشتری دارند. پوشش‌هایی با خواص ضدباکتریایی بدلیل وزن مولکولی‌شان، پایداری شستشو بسیار خوبی دارند [۱۸].

پوشش ضد میکروبی (پلی دی متیل سلوکسان) با نانو ذرات نقره یک پوشش عالی با خاصیت ضد میکروبی و ضد عفونی‌کننده سطوح می‌باشد. همچنین استفاده از نانوذرات نقره در پوشش دی اکسید تیتانیم خواص ضد میکروبی خوبی از خود نشان داده است. فیلم‌های نازک دی اکسید تیتانیم (آناناز) با استفاده از روش پوشش غوطه‌وری سل-ژل روی سطح سیلیکون تهیه گردیدند. آزمایشات ضدباکتریایی انجام شده بر روی TiO₂ تحت پوشش نانوذرات نقره نشان داد که افزایش تراکم نانوذرات، باعث مهار رشد باکتری‌ها می‌شود [۱۹].

افزودن نقره (Ag) به ترکیب شیمیایی مواد، آن‌ها را به موادی پر کاربرد تبدیل می‌کند و به عنوان مواد افزودنی ضد میکروبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تحقیق انجام شده به وسیله آرچه و همکارانش، از روش سل ژل برای بدست آوردن مواد بر پایه سیلیس و زیرکونیا با نقره استفاده شد. بیشتر مواد جامد آزمایش شده فعالیت ضدقارچی را در بالاترین غلظت مورد استفاده نشان دادند و حضور نقره باعث افزایش درصد مهار شد. مخلوط اکسیدهای نقره همراه با ماده افزودنی^۱ باعث بهبود خواص ضدقارچی ترکیب نسبت به مخلوط اکسیدهای خالص نقره (سیلیس یا زیرکونیم) می‌شوند [۲۰].

۳-۲- پوشش‌های خودتمیزشونده

در این روش به جای استفاده از روش‌های سخت و پرهزینه برای تمیز کردن کل پوشش ساختمان، می‌توان با بکار بردن پوشش خودتمیزشونده، به حفظ تمیزی نمای ساختمان برای مدت زمان طولانی، کمک کرد. رنگدانه دی اکسید تیتانیم به عنوان روکشی در نظر گرفته شده است که در هنگام نورپردازی با پرتو فرابنفش، دارای خاصیت کاتالیزور نوری بالا می‌گردد. مخلوط رنگ TiO₂ به دلیل ایجاد یک لایه فیلم با دارا بودن ویژگی‌های عالی نظیر چسبندگی، پایداری، پشت‌پوشی، و همچنین قابلیت برگشت‌پذیری (پاک‌شدن از سطح بعد از اعمال) به عنوان پوشش خودتمیزشونده مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین مخلوط رنگ TiO₂ خاصیت خوبی برای جذب آب نشان داده و به عنوان یک ماده آب‌گیر عمل می‌کند. بر این اساس، اضافه کردن TiO₂ ضمن نقاشی نمای ساختمان می‌تواند یک روش اقتصادی برای کاهش آلودگی به ویژه در کشورهای در حال توسعه محسوب شود [۲۱، ۲۲].

۳-۳- پوشش‌های آب‌گریز

روکش‌های پلی اکریلیک سیلوکسان به دلیل دوام بالا و دارا بودن

² Dirt dispersion

³ Fly ash

¹ Additive

مقاله

فیلم‌های لاتکس سبب کاهش چسبندگی خاکستر سوخت به فیلم و در نتیجه حفظ ظاهر رنگی نمونه می‌گردد.

گارسیا و همکارانش [۲۶]، به بررسی مناسب بودن و ماندگاری محصول ضدگرافیتی برای استفاده در مصالح متخلخل میراث فرهنگی پرداختند. در این راستا به اندازه‌گیری رنگ از طریق دستگاه رنگ‌سنج با استفاده از استاندارد EN 15886: 2010 و همچنین اندازه‌گیری زاویه تماس سطح پوشش پرداختند. مختصات رنگ $L^* a^* b^*$ را بر اساس سیستم CIELAB (1976) اندازه‌گیری و با این مقادیر اختلاف رنگ کل (ΔE) محاسبه گردید. مقدار اختلاف رنگ می‌تواند جهت محاسبه و در نتیجه بررسی میزان تغییر رنگ، بعد از اعمال پوشش مقاوم در برابر نوشتن^۱ بر روی مصالح میراث فرهنگی استفاده گردد. با اندازه‌گیری زاویه تماس مشخص می‌شود که پس از مدت زمان فرسودگی^۲، خواص آب‌گریزی مواد حفظ می‌گردد یا خیر.

$$FI = \sqrt{(FD)^2 + (TR)^2} \quad (2)$$

نتایج حاصل از اندازه‌گیری های پردازش تصویر دیجیتال با استفاده از EDGE، گزارش می‌شود. مقادیر بالاتر از ابعاد فراکتال^۳ منجر به افزایش زبری یا بی‌نظمی پروفیل نمونه می‌شود که مقادیر ضریب شکل (شاخص زبری EDGE) بالاتر باشد. این موضوع نقش مستقیمی در مقادیر تراکم شکست ندارد، اما مقادیر شاخص ضریب شکست طبق رابطه ۲ به طور قطع و مستقیم تحت تأثیر قرار می‌گیرند.

خانجانی و همکارانش [۲۹]، در مقاله خود به اندازه‌گیری مقاومت چرک‌پذیری در فیلم های لاتکس پرداختند. این آزمایش با استفاده از استاندارد ASTM D3719 انجام شد. جهت انجام این آزمایش پراکنه کثیفی آماده‌سازی شده را روی قسمتی از فیلم لاتکس اعمال کردند و بعد از مدتی قطعه با آب باران شبیه‌سازی شده شستشو داده شد. مختصات رنگ در هر دو بخش آلوده و غیرآلوده در صفحه با استفاده از دستگاه طیف‌سنج اندازه‌گیری گردید. مقاومت چرک‌پذیری توسط اندازه‌گیری، با استفاده از روش‌های رنگ‌سنجی انجام شده بر روی نمونه‌ها، قبل و بعد از آلودگی، مورد بررسی قرار گرفت. Acronal T290D یک کاپلیمر آکریلیک استایرن تجاری است به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. AS-0 به عنوان یک آکریلیک، و AS-S 72/28 به عنوان یک ترکیب بهینه در این ارزیابی استفاده شدند. داده‌های مختصات رنگ به دست آمده از اندازه‌گیری‌های رنگی براساس سیستم CIE 1976 $L^* a^* b^*$ و فرمول‌های اختلاف رنگ (هندسه ۴/۵) درجه در جدول شماره ۲ خلاصه شده است. کلمه آلوده^۴ در جدول ۲ مخفف نمونه‌ها پس از شستشو با آب و خشک شدن در دمای محیط است.

رنگ داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های رنگی بر اساس سیستم ۱۹۷۶ CIE و رابطه‌های اختلاف رنگ به دست می‌آید. با توجه به شفافیت فیلم‌ها و تأثیرات بهتر در داده‌های مختصات رنگ‌ها، اندازه‌گیری رنگ بر روی پلیت‌های واقع روی صفحات سفید انجام می‌شود. $L^* a^* b^*$ به ترتیب معرف روشنایی رنگ، قرمز-سبزی و زرد-آبی هستند. اختلاف روشنایی (ΔL) و اختلاف رنگ (ΔE) قبل و بعد از اعمال کثیفی مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین جهت ارزیابی میزان جذب آب (AW) فیلم‌های آکریلیک، ابتدا فیلم‌هایی از پوشش‌های مختلف را تهیه کرده و فیلم نمونه در وزن تعیین شده در آب (۲۰ °C) قرار گرفته و بعد از ۱۴ روز با دقت وزن آن اندازه‌گیری می‌شود. وزن فیلم های خشک شده نیز ثبت شده و جذب آب با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌گردد [۲۹].

بامز و همکارانش [۲۷]، به اندازه‌گیری مشخصه‌های مختلف رنگی برای شناسایی اختلاف رنگ سطوح رنگ پریده سنگ (در اثر اکسیداسیون)، از قسمت‌های سالم پرداختند. برای این منظور مشخصه‌های کمی رنگ سنگ مرمر طبیعی را با بکارگیری روش‌های میکروسکوپی اندازه‌گیری نمودند. بررسی نوری با یک میکروسکوپ Reichert-Jung انجام شد. تخلخل و ترک‌ها، با مقاطع نازک در زیر نور فلورسنت تجزیه و تحلیل شدند. جهت انجام این تحقیق، نمونه‌های سنگ مرمر توسط رزین اپوکسی دارای اثر فلورسنت تحت شرایط خلاء محصور شدند. این آزمون توسط استاندارد EN 12407 انجام شد. جهت ثبت تغییرات کمی رنگ، مقادیر کالیبره شده RGB (قرمز-سبز-آبی) بدست آمده را به سیستم CIELAB (1976) تبدیل کردند، که امکان محاسبه تفاوت بین دو رنگ (ΔE) را می‌دهد.

موروپولو و همکارانش [۲۸]، با استفاده از تصاویر اسکن الکترونی-میکروسکوپ دیجیتالی به کمک برنامه‌های اختصاصی رایانه‌ای، که توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده تهیه شده است، به بررسی تأثیر تمیزی نما بر اساس شاخص‌های ارزیابی ریزساختار پیشنهادی در شهر فیلادلفیا پرداختند. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ابزاری ارزشمند و متداول برای مطالعه سطح سنگ قبل و بعد از تمیز کردن است که از طریق آن می‌توان اطلاعات مهم توپوگرافی و ترکیبی را استخراج کرد. پردازش دیجیتالی تصاویر به دست آمده از SEM ممکن است خواص میکرو ساختار مانند تخلخل یا زبری سطح را تعیین کند. تصاویر SEM همراه با طیف‌سنجی پرتو ایکس پراکندگی انرژی (EDS)، برای شناسایی مواد معدنی، شیمیایی و بافت نمونه‌های حاصل از سطوح مرمر، که پوسته‌های خاکستری سیاه را نشان می‌دهند، به کار گرفته شده است. سطح مرمر برای مدت طولانی در معرض آب و هوا قرار داشت. این نوع پوسیدگی بر روی سطح مرمر نتیجه تشکیل سنگ گچ به دلیل حمله آلاینده‌های جوی گوگرد است. نتایج این آزمون تا عمق ۱۰۰

³ Fractal

⁴ Contaminated

¹ Anti-graffiti

² Aging

جدول ۲- داده های مختصات رنگ به دست آمده از اندازه‌گیری‌های رنگی براساس سیستم $L^* a^* b^*$ CIE 1976 و رابطه‌های اختلاف رنگ (هندسه ۰/۴۵) [۲۹].

نمونه	L^*	a^*	b^*	ΔL	ΔE
T290D	۸۴/۴	-۴/۷۵	۰/۶۰	۴/۰۵	۴/۱۴
Contaminated T290D	۸۰/۳۷	-۴/۳۹	۱/۳۷		
AS-0	۷۸/۶۹	-۳/۸۶	۳/۸۰	۳/۳۵	۳/۵۲
Contaminated AS-0	۷۵/۳۴	-۳/۵۰	۴/۸۲		
AS-S 72/28	۷۶/۵۸	-۴/۵۷	۳/۷۷	۰/۶۰	۰/۷۱
Contaminated AS-S 72/28	۷۵/۹۶	-۴/۵۱	۳/۳۴		

L^* -روشنایی، a^* - مولفه رنگی سبز/قرمز، b^* - مولفه رنگی زرد/آبی

کارخانه ماشین آزمون مواد Jingke، تیانجین، چین) به پیروی از استاندارد ملی چینی GB / T 9780-2005 (روش آزمون تعیین مقاومت کثیفی فیلم‌ها در رنگ‌ها و پوشش‌های معماری) مورد آزمایش قرار گرفت. این استاندارد متداول‌ترین روش در آسیا و به احتمال زیاد تنها استاندارد موجود برای مقاومت در برابر گرد و غبار پوشش‌ها است. آن‌ها با مطالعات و بررسی‌های خود، به این نتیجه رسیدند که انباشت گرد و غبار باعث افزایش جذب سطح پوشش خارجی مخازن ذخیره روغن می‌شود و در نتیجه ضایعات سالانه تبخیر روغن را افزایش می‌دهد و در نتیجه رنگ مخازن را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد؛ بنابراین، برای کاهش بیشترین میزان افت تبخیر روغن از مخازن ذخیره‌سازی، پوشش خنک‌کننده ضدخوردگی، باید از مقاومت کثیفی بسیار خوبی برخوردار باشد. نمونه‌های لایه پرایمر، روکش میانی و روکش بالایی به دست آمده از سه دسته تولیدی مختلف روی صفحات فولادی کربنی، در اندازه‌های $۱۵ \times ۷ \times ۰/۶$ سانتی‌متری پاشش شد. ضخامت هر لایه تقریباً ۱۰۰ میلی‌متر بود. نمونه‌های آزمایش به دست آمده توسط حروف و علامت‌های S1، S2 و S3 مشخص شدند. سپس پنج دوره آزمایش بر روی این نمونه‌ها مطابق با الزامات استاندارد ملی چین / GB / T 9780-2005 انجام شد. ضریب بازتاب پس از پنج چرخه از این نمونه‌ها در جدول ۴ خلاصه شده است.

تأثیر تجمع محلول خاکستر گرافیتی استاندارد مشخص است. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، ضریب بازتاب برای S1، S2 و S3 به ترتیب ۹/۴، ۷/۰ و ۸/۵ است. پس از شستشو با یک برس و یک محلول صابون ۰/۵٪، اثر کاهش دمای پوشش تقریباً به طور کامل در خطای آزمایشی ترمیم شد. این مشاهدات مطابق با شکل ۴ است. ظاهراً، انباشت کثیفی بر عملکرد خنک‌کننده پوشش خنک‌کننده ضدخوردگی تأثیر می‌گذارد، اما اثرات آن با شستشوی پوشش با یک محلول صابون ملایم کاملاً از بین می‌رود [۳۱]. این مقادیر به مراتب کوچک‌تر از مقدار مشخص شده توسط استاندارد هستند، که نشان می‌دهد. پوشش خنک‌کننده ضدخوردگی تولید شده از مقاومت کثیفی بسیار خوبی برخوردار است. بالا بودن مقاومت کثیفی پوشش، به دلیل بالا بودن دمای انتقال شیشه‌ای لاتکس و PVC است. به دلیل خاصیت غیرچسبنده بودن سطح پوشش، توانایی آلاینده‌ها برای چسبیدن به پوشش کاهش می‌یابد.

$$AW(\%) = (w_1 - w_2) / w_2 \times 100 \quad (۳)$$

که در آن W_1 اندازه فیلم قبل از خشک‌شدن و W_2 اندازه فیلم بعد از خشک‌شدن است.

به عنوان یک نتیجه کلی، افزایش زاویه تماس با آب و کاهش جذب آب باعث بهبود خواص مقاومت کثیفی می‌شود [۳۰] و پوشش‌های لاتکس اکریلیک / PDMS بهینه شده در مقایسه با فیلم‌های اکریلیک اصلاح‌نشده، کثیفی بسیار کمتری را جذب می‌کنند [۲۹].

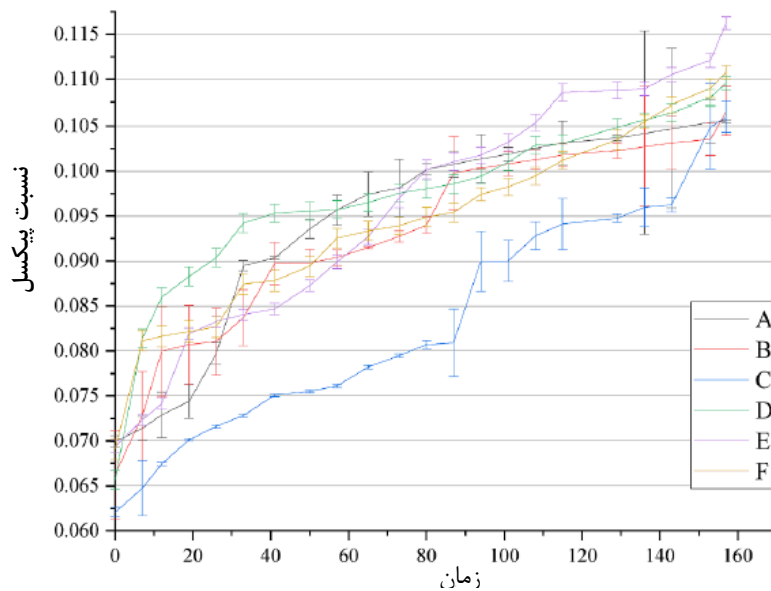
آسومون و همکارانش [۵]، اثر کثیفی و تغییر رنگ حاصل از رشد زیستی جلبک و خزّه بر روی نمای ساختمان‌ها در مناطق گرمسیر را مورد بررسی قرار دادند. شش سیستم کاربردی نما، با حروف اختصاری (A to F) برای این مطالعه انتخاب شد. حروف اختصاری و ویژگی این مواد در جدول شماره ۳ آمده است. این مواد، از این جهت که، پوشش‌های مقاوم در برابر رشد زیستی بودند، جهت اعمال روی سطوح‌هایی با بسترهای متفاوت (گرانیتی، بتونی و آلومینیمی) انتخاب شدند. به منظور بررسی میزان تغییر رنگ زمینه‌ها در سطح نما از روش پردازش تصویر دیجیتال استفاده شد. در این روش، یک نسبت پیکسل از یک سطح در بین روز n تا n است، که تفاوت آن حاکی از رشد زیستی روی سطح مورد مطالعه قرار گرفت. این روند برای همه تصاویر تکرار شد تا روند رشد زیستی در تمام سطوح را مشخص کند. شکل‌های ۱، ۲ و ۳ کمیت مشاهده چشمی^۱ برای بسترهای گرانیتی، بتونی و آلومینیمی را نشان می‌دهد. در نتیجه، روش پیشنهادی هنگام استفاده در سطوح غیریکنواخت مانند بسترهای گرانیتی دارای محدودیت‌هایی است که با مقادیر نسبتاً کوچک نسبت پیکسل و تغییر رنگ در اثر روند نسبتاً نامنظم رشد زیستی مشاهده شده است.

ژانگ و همکارانش [۳۱]، یک مطالعه آزمایشگاهی بر روی یک پوشش خنک‌کننده ضدخوردگی مخازن ذخیره روغن انجام دادند و میزان کثیفی حاصل از روغن را اندازه‌گیری نمودند. مقاومت کثیفی پوشش خنک‌کننده ضدخوردگی، توسط آزمون گر مقاومت کثیفی (QFS،

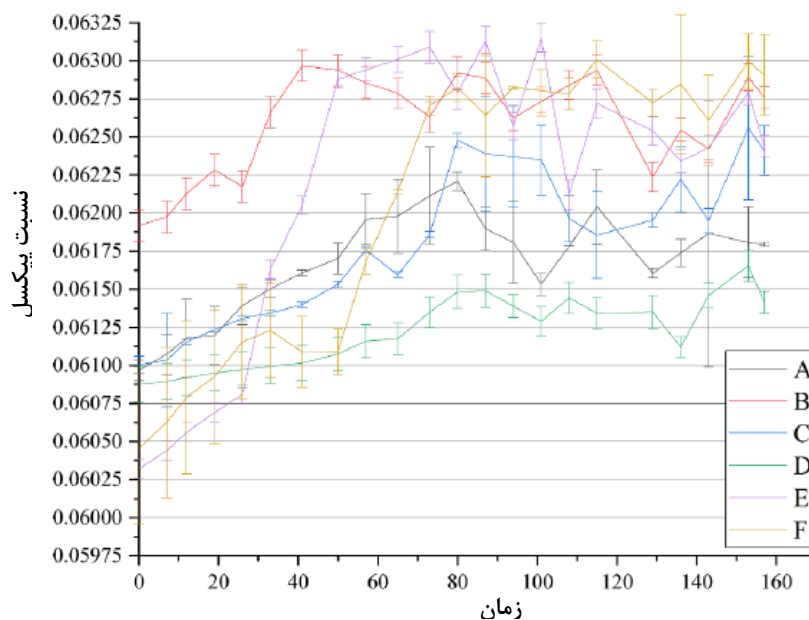
¹ Visual observation
² Cool coating

جدول ۳- حروف اختصاری و ویژگی سیستم کاربردی نما [۵].

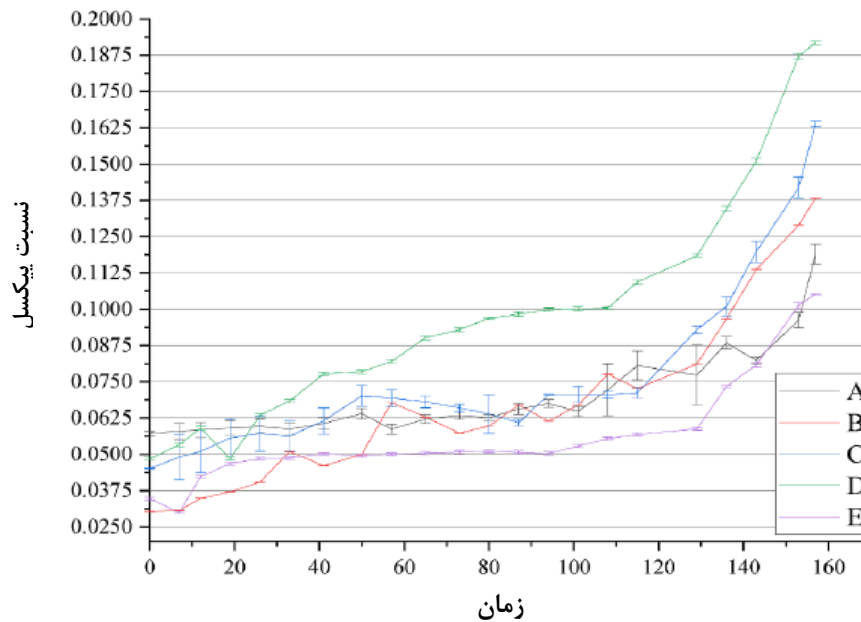
حروف اختصاری	ویژگی‌ها
A	محلول پوشش خود ضد عفونی کننده، فوق آب‌گریز، خود تمیز کننده، خواص چسبندگی کم، پیوند فوق العاده با دوام با سطح، محافظت طبیعی در برابر جلبک‌ها و قارچ‌ها
B	ضد جلبک / ضد میکروبی،
C	اثر تمیز کننده با دوام بسیار بالا و موثر در برابر جلبک‌ها و قارچ‌ها (زیست کش)
D	اثرات آب‌گریز / اولئوفوبیک، مقاوم در برابر زنگ‌زدگی، جلوگیری از رشد جلبک‌ها، جلوگیری از خوردگی
E	پوشش آب‌گریز، خود تمیز کننده نمای بیرونی، کاهش گرد و غبار و کاهش میل به انباشت کثیفی
F	فوق آب‌گریز، کاهنده سمیت باکتریایی، قارچی و جلبک، قارچ کش



شکل ۱- کمیت مشاهده چشمی بر اساس طبقه‌بندی‌های مبتنی برای بستر بتن [۵].



شکل ۲- کمیت مشاهده چشمی بر اساس طبقه‌بندی‌های مبتنی برای بستر گرانیت [۵].

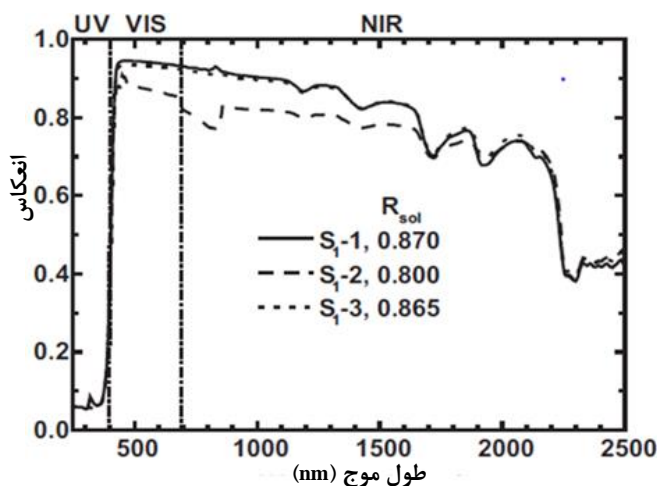


شکل ۳- کمیت مشاهده چشمی بر اساس طبقه‌بندی‌های مبتنی برای بستر آلومینیم [۵].

جدول ۴- مقاومت کثیفی نمونه‌های پوشش خنک‌کننده ضد خوردگی [۳۱].

نمونه	ضریب بازتاب اولیه	ضریب بازتاب نهایی پس از پنج چرخه آزمایش	ضریب بازتاب قطره
S1	۸۷/۵	۷۹/۲	۹/۴
S2	۸۷/۶	۸۱/۵	۷/۰
S3	۸۷/۹	۸۰/۴	۸/۵

صابون ۵٪ را نشان می‌دهد. اثر خنک‌کننده پوشش به دلیل تجمع خاکستر گرافیت استاندارد، به طور چشمگیری (۵۰٪) کاهش یافته است.



شکل ۴- منحنی‌های بازتاب طیفی برای رنگ خنک‌کننده ضد خوردگی اصلی (S1-1)، رنگ بعد از آزمون مقاومت در برابر کثیفی (S1-2) و رنگ پس از شستشو با محلول صابون (S1-3) [۳۱].

ضریب بازتاب توسط یک بازتاب‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. طیف منبع نور کاملاً متفاوت از طیف خورشیدی است. عامل مهم‌تر در ارزیابی عملکرد بلند مدت از پوشش‌های خنک‌کننده ضد خوردگی، بازتابش خورشیدی ناشی از انباشت کثیفی است. اثرات انباشت کثیفی، تقریباً با شستشوی آنها با محلول صابون از بین می‌رود [۳۱].

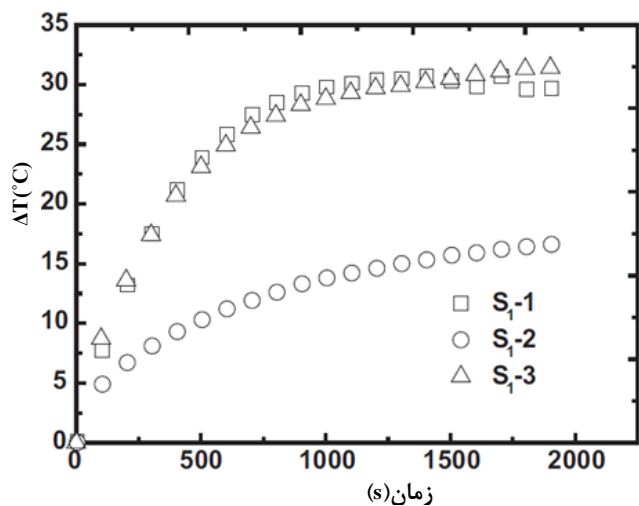
منحنی‌های بازتاب طیفی S1 در حالت اولیه، پس از آزمایش مقاومت در برابر گرد و غبار پنج چرخه و پس از شستشو با محلول صابون ۵٪، در شکل ۴ مقایسه می‌شوند. همان‌طور که انتظار می‌رود، پس از انجام آزمایش مقاومت کثیفی پنج چرخه، بازتاب اولیه خورشیدی (S1 0.87) تا حد زیادی کاهش یافته است و مقدار آن به ۰/۸ رسیده است. بازتابش خورشیدی عامل اصلی تعیین تأثیر کاهش دما پوشش‌های خنک‌کننده می‌باشد. پوشش‌های خنک‌کننده با بازتاب زیاد خورشید و انتشار گرمای زیاد مشخص می‌گردند. با این حال، پس از شستشو با محلول صابون، بازتاب خورشیدی^۱ تقریباً به مقدار اولیه خود احیا شد [۳۱].

شکل ۵ وابستگی زمانی اثر خنک‌کننده در سطح زیرین S1 در حالت اولیه، پس از آزمایش مقاومت کثیفی در پنج چرخه و بعد از شستشو با محلول

¹ Solar reflectance

مقاله

بیمارستان‌ها استفاده بیشتری دارند. از طرفی در اقلیم‌های مرطوب با بارش زیاد باران، استفاده از پوشش آب‌گریز به دلیل مقاومت خوب در برابر آب و هوا و مقاومت مکانیکی بالا کمک بیشتری در جهت جلوگیری از تخریب نما می‌کند. پوشش‌های خود تمیزشونده برای استفاده در محیط‌هایی با سطح بالای آلاینده جهت اعمال روی سطح نما به کار می‌روند. به دلیل خاصیت چسبندگی کم پوشش‌های خود تمیزشونده، آلودگی کمتری بر روی نمای ساختمان می‌نشیند و در عین حال آلودگی‌های موجود راحت‌تر از روی سطح جدا می‌شود. یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین پوشش مناسب، کیفیت پوشش مصرفی است. برای دستیابی به این منظور، لزوم انجام روش‌های اندازه‌گیری کثیفی مشخص می‌گردد. یکی از این روش‌ها، روش پردازش تصویر است که در بازه زمانی مشخص، بعد از اعمال پوشش تغییرات رشد زیستی روی سطح را نشان می‌دهد. هرچه وزن مولکولی بالاتر باشد، فعالیت ضد زیستی نیز بیشتر است. روش دیگر تهیه تصاویر اسکن الکترونی- میکروسکوپ دیجیتالی جهت بررسی تأثیر تمیزی نما بر اساس شاخص‌های ارزیابی ریز ساختار است. روش دیگر بکارگیری روش‌های میکروسکوپی برای شناسایی اختلاف رنگ سطوح رنگ پریده سنگ از قسمت‌های سالم از منظر ظاهر رنگی آن است. روش مهم و کاربردی در رنگ‌سنجی که جهت اندازه‌گیری کثیفی، علی‌الخصوص برای ارزیابی میزان کثیفی پوشش رنگ ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بررسی اندازه زاویه تماس سطح و میزان آب جذب شده و همچنین بررسی میزان تغییر رنگ (ΔE) است که طبیعتاً هرچه مقدار این عامل کمتر باشد، کیفیت رنگ بهتر و برای انتخاب در سطح نما کاربردی‌تر است.



شکل ۵- اثر کاهش دمای محیط در سطح زیرین صفحه نمونه برای سه نمونه از پوشش خنک‌کننده ضد خوردگی حاصل از دسته‌های مختلف تولید شده [۳۱].

۵- نتیجه‌گیری

آلودگی هوا در شهرهای بزرگ و یا شهرهای در حال توسعه، علاوه بر تأثیرات مخرب بر سلامتی انسان و سایر موجودات، در دراز مدت اثرات سویی بر نمای ساختمان‌ها می‌گذارد و زیبایی نما و در نتیجه جلوه شهر را مخدوش می‌کند. برای حل این مشکل انواعی از پوشش‌ها روی نمای ساختمان اعمال می‌شود. پوشش‌های مورد استفاده، ممکن است پوشش‌های ضدباکتری و قارچ، پوشش‌های خود تمیزشونده و یا پوشش‌های آب‌گریز باشند، که با توجه به اقلیم، کاربرد ساختمان و نیز ویژگی‌های پوشش، بهترین نوع پوشش انتخاب می‌شود. به عنوان مثال پوشش‌های ضدقارچ و باکتری در نواحی با احتمال بالاتر رشد میکرو/ماکرو ارگانیسم‌ها و یا ساختمان‌های با کاربرد درمانی نظیر

۶- مراجع

۱. ج. پاکزاد، "مبانی نظری و فرایند طراحی شهری"، انتشارات شهیدی، تهران، ۱۳۸۵.
۲. م. عارف، "زیبایی شناسی طراحی شهری و اهمیت نمای ساختمان"، انجمن علمی آموزشی نو اندیشان، ۱۳۹۴، <https://www.noandishaan.com> /forums/topic/99734 -زیبایی-شناسی-طراحی-شهری-و-اهمیت-نمای-ساختمان.
۳. R. Norvaišienė, R. Miniotaitė, V. Stankevičius, "Climatic and Air Pollution Effects on Building Facades", J. Mater. Sci. 9, 102-105, 2003.
۴. I. Marie, "Perception of darkening of stone facades and the need for cleaning", Int. J. Sustain. Built Environ. 2, 65-72, 2013.
۵. A. S. Asmone, M. Yit Lin Chew, "A study on the effectiveness of biological growth resistant coatings on external building façade systems in the tropics", J. Build. Eng. 31, 101377, 2020.
۶. M. Nasiruddin Khan, "Chemical composition of wet precipitation of air pollutants: A case study in Karachi", Atmósfera. 27, 35-46, 2014.
۷. G. Hanrahan, "Air Pollutants and Associated Chemical and Photochemical Processes", Key Concepts in Environmental Chemistry, Chapter 7, Pages 215-242, 2012.
۸. H. Kikumoto, R. Ook, "A numerical study of air pollutant dispersion with bimolecular chemical reactions in an urban street canyon using large-eddy simulation", Atmos. Environ. 54, 456-464, 2012.
۹. ج. مک کورمیک، ترجمه عادل ارشقی، باران اسیدی، چاپ دوم، تهران: موسسه اطلاعات، ۱۳۷۱.
۱۰. X. Liu, C. Li, M. Meng, L. Zhai, B. Zhang, Z. Jia, Z. Gu, Q. Liu, Y. Zhang, J. Zhang, "Comparative effects of the recovery from sulfuric and nitric acid rain on the soil enzyme activities and metabolic functions of soil microbial communities", Sci. Total. Environ. 71420, 1-43, 2020.
۱۱. R. A. Livingston, "Acid rain attack on outdoor sculpture in perspective", Atmos. Environ. 146, 332-345, 2016.

22. D. Scalapone, M. Lazzari, O. Chiantore, "Acrylic protective coatings modified with titanium dioxide nanoparticles: Comparative study of stability under irradiation", *Polym. Degrad. Stab.* 97, 2136–2142, **2012**.
23. K. R. Christopher, A. Pal, G. Mirchandani, T. Dhar, "Synthesis and characterization of polystyrene acrylate/polysiloxane (PSA/PSi) core shell polymers and evaluation of their properties for high durable exterior coatings", *Prog. Org. Coat.* 77, 1063–1068, **2014**.
۲۴. آ. حاجی بابا، "مروری بر استفاده از نانوذرات سیلیکا در بهبود خواص رنگ و پوشش"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۸، ۴۴–۳۷، ۱۳۹۷.
25. L. Xuanyi, "Dirt pickup on latex paint films", *Eur. Coat. J.* 12, 1-2, **2002**.
26. O. García, K. Malaga, "Definition of the procedure to determine the suitability and durability of an anti-graffiti product for application on cultural heritage porous materials", *J. Cult. Herit.* 13, 77–82, **2012**.
27. V. Bams, S. Dewaele, "Staining of white marble", *Mater. Charact.* 58, 1052–1062, **2007**.
28. A. Moropoulou, E. T. Delegou, V. Vlahakis, E. Karaviti, "Digital processing of SEM images for the assessment of evaluation indexes of cleaning interventions on Pentelic marble surfaces", *Mater. Charact.* 58, 1063–1069, **2007**.
29. J. Khanjani, S. Pazokifard, M. J. Zohuriaan-Mehr, "Improving dirt pickup resistance in waterborne coatings using latex blends of acrylic/PDMS polymers", *Prog. Org. Coat.* 102, 151–166, **2016**.
۳۰. م. ساداتی تیله‌بن، ر. نوروزیگی، "تولید سطوح آبگریز با پوشش‌دهی اکسید قلع بر روی پایه آلومینیم: مدل‌سازی و تحلیل با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی"، نشریه علمی علوم و فناوری رنگ، ۱۳، ۲۲۲–۲۱۱، ۱۳۹۸.
31. W. Zhang, Z. Song, J. Song, Y. Shi, J. Qu, J. Qin, T. Zhang, Y. Li, H. Zhang, R. Zhang, "A systematic laboratory study on an anticorrosive cool coating of oil storage tanks for evaporation loss control and energy conservation", *Energy.* 58, 617–627, **2013**.
12. <https://www.hamshahrionline.ir/news/244736/>-مفاهیم باران-اسیدی-چیست **1392**.
13. R. Tham, B. Erbas, S. C. Dharmage, M. LK. Tang, F. Aldakheela, C. J. Lodge, P. S. Thomas, P. E. Taylor, M. Abramson, A. J. Lowe, "Outdoor fungal spores and acute respiratory effects in vulnerable individuals", *Environ. Res.* 178, 1-9, **2019**.
14. F. Mirkhond Chegini, A. Norouzian Baghani, M. Sadegh Hassanvand, A. Sorooshian, S. Golbaz, R. Bakhtiari, A. Ashouri, M. Naimi Joubani, M. Alimohammadi, "Indoor and outdoor airborne bacterial and fungal air quality in kindergartens: seasonal distribution, genera, levels, and factors influencing their concentration", *Build. Environ.* 175, 1-29, **2020**.
۱۵. ح. یاری، پ. کارد، "کاربرد پوشش‌های سطح برای حفاظت از گنجینه‌های تاریخی فرهنگی"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، ۸، ۱۴–۱، ۱۳۹۷.
16. S. A. Qureshi, A. Shafeeq, A. Ijaz, M. M. Butt, "Development and regression modeling of dirt resistive latex façade paint", *coating.* 9, 1-12, **2019**.
17. O. Chiantore, M. Lazzari, "Photo-oxidative stability of paraloid acrylic protective polymers", *Polym.* 42, 17-27, **2001**.
18. A. Chiloeches, C. Echeverría, R. Cuervo-Rodríguez, D. Plachà, F. López-Fabal, M. Fernández-García, A. Muñoz-Bonilla, "Adhesive antibacterial coatings based on copolymers bearing thiazolium cationic groups and catechol moieties as robust anchors", *Prog. Org. Coat.* 136, 1-18, **2019**.
19. I. Piwon'ski, K. Kadziola, A. Kisielewska, K. Soliwoda, M. Wolszczak, K. Lisowska, N. ska, A. Felczak, "The effect of the deposition parameters on size, distribution and antimicrobial properties of photoinduced silver nanoparticles on titania coatings", *Appl. Surf. Sci.* 257, 7076–7082, **2011**.
20. R. A. Arreche, K. Igal, N. Bellotti, C. Deyá, Patricia G. Vázquez, "Functionalized zirconia compounds as antifungal additives for hygienic waterborne coatings", *Prog. Org. Coat.* 128, 1-10, **2019**.
21. A. Mansour, H. Mansour, Salam K. Al-Dawery, "Sustainable self-cleaning treatments for architectural facades in developing countries", *Alex. Eng. J.* 57, 867-873, **2018**.