فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۹، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲
صفحات ۳۱-۴۶
Print ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

بررسی خاصیت فوتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم به همراه نانوسیلیس در بتن خودپاک کننده

نوراله حسین بیکی
کارشناسی ارشد مهندسی عمران ، گرایش سازه موسسه آموزش عالی آیندگان ، تنکابن ، مازندران ، ایران

چکیده

توسعه پایدار بتن باعث صرفه‌جویی منابع طبیعی و انرژی و همچنین حفاظت از محیط زیست با کاهش مواد زائد می‌شود. آلودگی‌های طبیعی و صنعتی مثلNOx، مونوکسیدکربن، VOCها، کلروفنول‌ها و آلدهیدهای ناشی از اتومبیل‌ها و پساب‌های صنعتی، در اثر فوتوکاتالیزر و به کمک کاتالیزر بسیار فعال نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تجزیه می‌شوند. تاثیر استفاده از سیلیکافیوم و دی‌اکسید تیتانیوم برای بهبود خواص محیط زیستی پوشش‌های بتنی، در شهرهای در معرض آلودگی زیاد از نظر نظافت و تمیزشوندگی سطح بتن جهت توسعه پایدار ضروری است. با کمک روش آزمایشگاهی به بررسی تاثیر استفاده از دی اکسید تیتانیوم در افزایش یا کاهش مقاومت فشاری و خمشی و درصد جذب آب قطعات بتنی برای کاربرد در نماهای بتنی پرداخته شد. استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم باعث افزایش سرعت هیدراتاسیون و کاهش زمان گیرش همچنین باعث افزایش فشاری بتن شد. افزودن TiO_2باعث افزایش مقاومت فشاری و خمشی و کاهش درصد جذب آب نمونه‌ها داشت. آزمایش رنگ سطح بتونی نمونه با ۲٫۵٪ دی اکسید تیتانیوم پس از ۲۴ ساعت نشان می دهد که TiO2 از پتانسیل بسیار خوبی برای بهبود نظافت کامپوزیت‌های سیمانی برخوردار است. کاهش ۶٫۵٪ بین طرح اختلاط‌های حاوی یک درصد نانوسیلیس و ۳درصد نانوسیلیس، تأثیر مثبت TiO_2در جذب آب را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: دی اکسید تیتانیوم، خاصیت خودتمیزشوندگی، نانوسیلیس.

مقدمه

امروزه بتن‌های حاوی نانوذرات به طور گسترده‌ای در صنعت ساخت و ساز به ویژه صنعت نماسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله به موارد فنی بتن‌های حاوی نانو مواد و خصوصیات آنها پرداخته شده است. ذرات نانو با توجه به ابعادشان می‌توانند نقش پرکننده حفرات را بازی کنند. همچنین می‌توانند با تشکیل نانوکریستال‌ها مشخصات بتن را ارتقا بخشند. در این مقاله بتن خود پاک کننده معرفی می‌شوند. در نهایت به موارد کاربرد بتن‌های خودتمیزکننده با بهره‌گیری از تکنولوژی روز دنیا و با رعایت آیین‌نامه ایران و استانداردهای جهانی در بتن پرداخته خواهد شد.

بیان مسئله

شکوفایی جمعیت و روند شهری شدن، هجومی از انواع آلاینده‌ها و مواد سمی خطرناک را برای شهرنشینان سراسر جهان به همراه آورده است و از این رو دانشمندان همواره در پی یافتن راهکارهای جدیدی – از اختراع تا تولید مبدل‌های کاتالیستی گرفته تا به کارگیری سوخت‌های جانشین برای کاهش انتشار آلاینده‌ها - توام با ایجاد شرایطی بهتر برای زندگی جوامع ساکن در شهرهای بزرگ بوده‌اند. تازه‌ترین اختراع دنیای معماری را دانشمندان سوئدی و فنلاندی به جهان معرفی کرده‌اند[۱].

مهندسان و محققان شرکت اسکانسا که دفتر مرکزی آن در شهر استهکلم، پایتخت سوئد قرار دارد، فعالیت پژوهشی اخیر خود را در چارچوب بخشی از یک پروژه سوئدی – فنلاندی به ارزش یک میلیون و هفتصد هزار دلار انجام داده اند. این پروژه به منظور تولید سیمان کاتالیستی و ترکیبات بتنی جدید با پوشش اکسید تیتانیوم برای پوشش و نمای ساختمانها طراحی و اجرا شد. اکسید تیتانیوم ترکیب شیمیایی ویژه‌ای است که اغلب در رنگ‌های سفید و خمیر دندان‌ها مورد استفاده قرار می-گیرد. به گفته شیمیدان‌ها، این ماده دارای خواص و ویژگی‌های منحصر به فردی است، به طوری که هنگام قرارگیری در معرض اشعه ماورای بنفش نور خورشید، به یک ماده به شدت فعال و واکنش‌پذیر تبدیل می‌شود. پژوهشگران سوئدی تصریح می‌کنند که این ویژگی دی اکسید تیتانیم سبب می‌شود تابش اشعه ماورای بنفش به آن، موجب ایجاد یک واکنش کاتالیک شود که نتیجه این روند، تخریب مولکول‌های انواع آلاینده‌ها از جمله اکسیدهای نیتروژن خواهد بود[۱].

محصولات جانبی به وجود آمده، در پی وقوع این واکنش شیمیایی که فرآیند فتوکاتالیز نام دارد، بی خطر هستند. در واقع نوع محصولات جانبی ایجاد شده در جریان این واکنش، بستگی به نوع ترکیباتی دارد که در جریان آن وارد شده و در واکنش شرکت دارند، به طوری‌که مولکول‌های کربن‌دار ترکیبات آلی درگیر در این واکنش به دی اکسید کربن و آب تبدیل می‌شوند، درحالی که از مولکول‌های انواع اکسیدهای نیتروژن، سرانجام نمک‌های نیتراته برجای خواهد ماند[۱].

تاکنون چندین ساختمان مدرن از جمله مارونوچی بیلدینگ در توکیوی ژاپن از اکسید تیتانیم و آجرهای فتوکاتالیک پوشانده شده‌اند تا نقش مهم و برجسته خود را در پاکیزگی شهری و کاهش آلاینده‌های پایتخت ژاپن را ایفا کنند. مهندسان سوئدی تاکید می کنند که جلوگیری از تغییر رنگ و شفافیت نما و ظاهر ساختمان‌ها که در اثر وقوع واکنش‌های شیمیایی گوناگون میان انواع آلاینده‌ها و سطح مصالح ساختمانی صورت می‌گیرد، از دیگر ویژگی‌ها و فوایدی به شمار می‌رود که استفاده از این مواد جدید در پی خواهد داشت. همچنین پژوهشگران برای آزمایش ترکیبات جدید خود، ۷۵ هزار متر مربع از سطح خیابان-های اطراف شهر میلان ایتالیا را با سیمان فتوکاتالیک پوشانده‌اند که نتیجه این آزمایش‌ها بسیار موفقیت‌آمیز بوده است. به گفته آنان، در نتیجه انجام این آزمایش در حومه شهر میلان، سطح اکسید نیتروژن تا بیش از ۶۰ درصد کاهش یافته است که البته این امر تا اندازه‌ای نیز به شرایط آب و هوایی منطقه بستگی دارد. همچنین انجام تجربه مشابهی در فرانسه، سبب کاهش غلظت نیتروژن به میزان ۲۰ تا ۶۰ درصد بر سطوح دیوارهای مجهز به سیمان فتوکاتالیک در مقایسه با دیوارهای حاوی مصالح معمولی شده است. بر اساس این گزارش، ارایه نتایج بسیار درخشان و قابل توجه در این زمینه، سرانجام اتحادیه اروپا را برای سرمایه گذاری در این عرصه تشویق کرد و این اتحادیه در سال ۲۰۰۸، مبلغ ۲ میلیارد و ۲۷۰ میلیون دلار را برای پیشبرد پروژه تولید مصالح ساختمانی هوشمند به منظور کاهش غلظت اکسیدهای نیتروژن و مواد سمی دیگری همچون بنزن‌ها در شهرها اختصاص داد[۱].

در سال‌های اخیر مطالعات بر روی نانوذرات سیلیس متمرکز شده، با این هدف که بتوان با استفاده از این ماده، مشخصات بتن را بیش از پیش افزایش داد. افزودن نانوسیلیس به بتن موجب افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی، کاهش زمان گیرش و کاهش نفوذپذیری آب درون بتن و همچنین مقاومت بالاتر در برابر حمله‌های شیمیایی می‌شود. آزمایشاتی که بر روی نانو سیلیس انجام شده، نشان داده‌اند که این ذرات نه‌تنها برای محیط زیست مشکل‌ساز نیستند بلکه نتایج بهتری در مقایسه با میکروسیلیس ارائه می‌کنند [۲]. تحقیقات نشان داده است که اضافه کردن نانوسیلیس بیشتر از میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت در بتن می‌شود [۳]. نانو سیلیس مخلوط شده با بتن در درازمدت باعث حفظ سلامت کارگران، بتن و محیط زیست می‌شود. نانوسیلیس همچنین می‌تواند باعث کاهش مصرف سیمان، بهبود کیفیت بتن و افزایش کارایی آن شود [۲،۴،۵]. اضافه کردن ۱۰ درصد نانوسیلیس باعث افزایش ۲۶ درصدی مقاومت فشاری بتن گردید در حالی که همین مقدار میکروسیلیس افزایش ۱۵ درصدی مقاومت فشاری بتن در را در بر داشت [۷]. حتی اضافه کردن مقدار اندک ۰/۲۵ درصدی نانو سیلیس باعث ۱۰ درصد افزایش مقاومت فشاری و ۲۵ درصد افزایش مقاومت خمشی می‌گردد [۶].

اهمیت و ضرورت تحقیق

اکسیدهای نیتروژن در فرآیند احتراق سوخت‌های فسیلی منتشر می‌شوند و به هنگام ترکیب شدن با برخی ترکیبات آلی فرار موجود در هوا، دوده خطرناکی را در شهرها به وجود می آورند. کارشناسان بهداشتی همواره هشدار می‌دهند قرار گرفتن در معرض غلظت بالایی از اکسیدهای نیتروژن، مشکلات تنفسی بسیار خطرناک و حادی را برای شهروندان ایجاد می‌کند، البته بررسی‌ها نشان داده است که این آلاینده‌ها به راحتی و با بارش یک باران از هوا حذف می‌شوند. واکنش کاتالیتیک ایجاد شده در مصالح ساختمانی جدید خواص مهمی دارد، به طوری که واکنش‌پذیر شدن و فعالیت شیمیایی شدید این مواد در مجاورت اشعه فرابنفش، می‌تواند از چسبیدن باکتری‌ها و کثیفی‌ها بر روی دیوارها و ساختمان‌ها جلوگیری کند و سبب می‌شود تا این آلودگی‌ها با بارش یک باران، به آسانی از روی دیوارها شسته و پاک می‌شوند. بتن خودپاک کننده حاوی دی اکسید تیتانیوم دارای خاصیت افزایش درصد جذب آب همراه می باشد. استفاده از نانوسیلیس به همراه دی اکسید تیتانیوم می تواند این نقص را برطرف نماید.

اهداف تحقیق

در این مقاله به تعدادی از کاربردهای نانو فناوری در بتن می‌پردازیم. ذرات نانو با توجه به ابعادشان می‌توانند نقش پرکننده حفرات را بازی کنند. همچنین می‌توانند با تشکیل نانوکریستال‌ها مشخصات بتن را ارتقا بخشند. نانوسیلیس از جمله افزودنی‌های پرمصرف امروزی است. در ادامه بتن خود پاک کننده با استفاده از درصدهایی از دی اکسید تیتانیوم و نانوسیلیس مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در بیشتر مقالات پیشین بدون درنظرگرفتن افزودن نانوسیلیس گزارش کردند تا ۲ درصد دی اکسید تیتانیوم بررسی شده است ولی برای درصدهای بالاتر دی اکسید تیتانیوم به دلیل احتمال درصد جذب آب بیشتر کمتر رایج بود. به عنوان نوآوری تحقیق از ۵ درصد دی اکسید تیتانیوم برای افزایش خاصیت خودتمیزشوندگی به همراه ۳ درصد نانوسیلیس برای جبران خطر افزایش درصد جذب آب نمونه ها می باشد. درصد نانوسیلیس هم مطابق مقالات پیشین برای یک تا ۳ درصد گزارش شده است که در این تحقیق از درصدهای یک و ۲ درصد نانوسیلیس هم استفاده شده است.

هدف ویژه: بررسی درصد مناسب افزودن نانوسیلیس به بتن حاوی دی اکسید تیتانیوم

سؤالات تحقیق

بتن حاوی نانوذرات دی اکسید تیتانیم و نانوسیلیس دارای چه ویژگی هایی از نظر مقاومت خمشی و فشاری و درصد جذب آب و خاصیت خودتمیزکنندگی در بتن می باشد؟ نمونه حاوی نانوسیلیس، قدرت بیشتری از نظر مقاومت فشاری و کاهش درصد جذب آب با افزودن TiO_2را نشان خواهند داد؟

تاثیر افزایش درصد دی اکسید تیتانیوم در کاهش رنگ ناشی از آلودگی محیطی نظیر دوده در سطح نمای بتنی بررسی شود آیا اثر کاهنده دارد/

با توجه به آبدوست بودن دی اکسید تیتانیوم با افزایش درصد دی اکسید تیتانیوم آیا درصد جذب آب نمونه ها از حد استاندارد بیشتر می شوند؟

آیا با افزایش درصدهای یک، دو و ۳ درصد نانوسیلیس خاصیت درصد جذب آب نمونه ها در حد قابل قبول کنترل می شوند؟

مقاومت فشاری نمونه ها به دلیل نحوه اجرای پنل های بتنی نمای اکسپوز حائز اهمیت می باشند. درصد بهینه استفاده از دی اکسید تیتانیوم به همراه نانوسیلیس کدام است؟

فرضیات تحقیق

استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم باعث افزایش سرعت هیدراتاسیون و کاهش زمان گیرش همچنین باعث افزایش فشاری بتن خواهد شد.

افزودن TiO_2 تاثیر معنی داری بر مقاومت فشاری و خمشی خواهد داشت.

نمونه حاوی نانوسیلیس، قدرت بیشتری از نظر مقاومت فشاری و کاهش درصد جذب آب با افزودن TiO2 را نشان خواهند داد.

از آنجا که مطابق با عنوان مقاله کاربرد بتن خودتمیزشونده برای نمای بتنی هست که به صورت پانل های پیش ساخته اکسپوز و قطعات سبک نمای بتنی هست مقاومت خمشی و کششی نسبت به مقاومت فشاری اهمیت کمتری دارند.

روش تحقیق

آزمون مقاومت خمشی:

این آزمایش بر اساس روش ASTM C348 انجام خواهد شد. نمونه ها با ابعاد ۴۰ * ۴۰ * ۱۶۰ میلی متر ساخته شده و در سن ۲۸ روزگی بارگیری خمشی انجام گرفت[۱۹].

آزمون مقاومت فشاری:

این آزمون مطابق با ASTM C109 انجام خواهد شد[۲۰]. نمونه های مکعبی با ابعاد ۵۰ میلیمتر ساخته شده و به مدت ۷ و ۲۸ روز در معرض بارگیری فشاری قرار گرفتند.

آزمون درصد جذب آب:

این آزمایش بر اساس روش ASTM C642 انجام خواهد شد[۲۱].

تعداد نمونه ها ۹ عدد برای ۷ روز و ۹ عدد برای ۲۸ روز و ۹ عدد برای ۹۰ روز می باشند.

به عنوان نوآوری تحقیق از ۵ درصد هم برای افزایش خاصیت خودتمیزشوندگی به همراه ۳ درصد نانوسیلیس برای جبران خطر افزایش درصد جذب آب نمونه ها می باشد. درصد نانوسیلیس هم مطابق مقالات پیشین برای یک تا ۳ درصد گزارش شده است که در این تحقیق از درصدهای یک و ۲ درصد نانوسیلیس هم استفاده شده است.

مبانی نظری:

مطالعات پیشین در مورد استفاده از نانو دی اکسید تیتانیوم در بتن

در مقاله‌ای تأثیر نانوحسگرها در تعیین خطرات زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفت. آنها دریافتند که حسگرهای نانو قادر به شناسایی فلزات سنگین و آلاینده‌های زیست محیطی هستند[۲۰].

بازیافت شیشه زباله به دلیل هزینه‌های زیاد دفع و نگرانی‌های زیست محیطی یک مشکل اساسی برای شهرداری‌ها در سراسر جهان است. بازیافت شیشه از جریان زباله جامد شهری به منظور تولید محصولات جدید شیشه‌ای به دلیل هزینه‌های زیاد، ناخالصی‌ها و رنگ مختلط محدود است. اگرچه شیشه‌های زباله بی‌رنگ به طور مؤثر بازیافت شده است، اما شیشه زباله‌های رنگی با میزان بازیافت پائین آن، بیشتر در محل‌های دفن زباله ریخته شده‌اند. با توجه به سطح بالای ناخالصی، شیشه‌های رنگی به راحتی قابل پردازش نیستند. به جای بازیافت زباله، یک کاربرد جدید برای آن پیدا شد: یک افزودنی در مصالح ساختمانی[۲۱]. در این مطالعه، خصوصیات خود تمیزشوندگی و ویژگی‌های توسعه مقاومت ملات حاوی شیشه زباله و نانومواد (nanosilica - nSiO2 و دی اکسید تیتانیوم- TiO_2)، از نظر محتوای شیشه زباله و اثربخشی نانومواد تجاری موجود مورد بررسی قرار گرفته است. شن کوارتز با نسبت ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰درصد وزن با شیشه زباله قهوه‌ای جایگزین گردید.

به منظور تعیین تاثیر سیمان حاوی دی اکسید تیتانیوم، نانوسیلیکا و وجود شیشه پسماند در ملات سیمان برای کاربرد بالقوه آن در نماهای خودتمیزشونده انجام شد.

مطالعات نشان داد که شیشه‌های زباله می‌توانند به عنوان جایگزینی موفق برای شن و ماسه عمل کنند، به خصوص وقتی که بخشی از آن با ماسه مخلوط شود. علاوه بر این، تأثیر مثبتی از نانومواد در اثر خودتمیزشوندگی و خواص مکانیکی مشاهده شد. مشاهده بصری تغییر رنگ رودامین B روی سطوح ملات سیمانی نشان داد که وجود شیشه ضایعات بر خاصیت تمیز کردن سیمان تجاری حاوی تیتانیوم تأثیر نمی گذارد. استفاده از شیشه‌های زباله در کل می‌تواند اثر منفی تقاضای بالای آب نانوسیلیس را خنثی کند. از این رو، نانوسیلیس می‌تواند با موفقیت گنجانیده شود و بدون کمک هرگونه ماده اضافی، داخل کامپوزیت‌های سیمانی قرار می‌گیرند. استفاده از نانوسیلیس به دلیل خاصیت خمیر آن و در نتیجه فشرده‌سازی ساختار ملات-های سیمانی انسجام بین سنگدانه‌های شیشه‌ای و سیمان را بهبود می‌بخشد. استفاده از ۳ درصد وزنی از نانوسیلیس باعث افزایش قابل توجه استحکام خمشی و فشاری نمونه‌های حاوی مصالح شیشه زباله می‌شود[۲۱].

در مطالعه‌ای آزمایشگاهی با هدف دستیابی به طرح اختلاط بهینه از نظر پارامترهای نفوذپذیری، خواص مکانیکی، کارایی مطلوب با بکارگیری دوده سیلیس به صورت مجزا و نهایتا مصرف توام میکروسیلیس و نانوسیلیس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج قابل توجه این مطالعه آن است که اثرگذاری نانو و میکروسیلیس در حالتی نمود بیشتری خواهد یافت که با کاهش نسبت آب به سیمان و بکارگیری دانه بندی بهینه، منافذ ریزساختار بتن به حداقل اندازه خود کاهش داده شود در غیراینصورت علیرغم صرف هزینه مستقیم بکارگیری این مواد و هزینه غیرمستقیم مصرف افزودنی فوق روان کننده جهت جبران کاهش کارایی ناشی از حضور ریزپرکننده ها، اثرگذاری موثر این مواد حاصل نخواهد شد[۲۲].

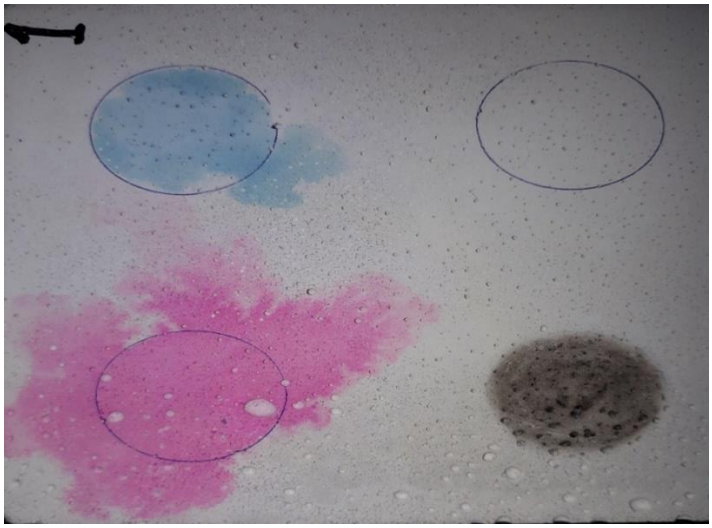
آزمایش‌های نفوذپذیری بتن به دو صورت جذب آب حجمی کوتاه مدت تحت استاندارد (BS 1881, Part 2, 1983) [۲۳] و شاخص دوام حداکثر ۲ درصد و آزمایش تعیین عمق نفوذ آب تحت استاندارد (BS EN 12390, Part 8, 2009) [۲۴] و شاخص دوام حداکثر ۳۰ میلی‌متر، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند[۲۲]. طرح های اختلاط مورد استفاده در این مطالعه در جدول (۱-۲) و نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری در جدول (۲-۲) و مقایسه نتایج مقاومت فشاری طرح های اختلاط مورد استفاده در شکل (۷-۲) آورده شده‌اند.

اهمیت حفاظت خوردگی بتن مسلح در شرایط محیطی مهاجم و خورنده و محافظت در برابر جذب آب به اختصاص نشریه ۱۵۰ سازمان برنامه و بودجه با عنوان سازه‌های بتنی محیط زیست (ترجمه ACI 350-89) انجامیده است [۲۵].

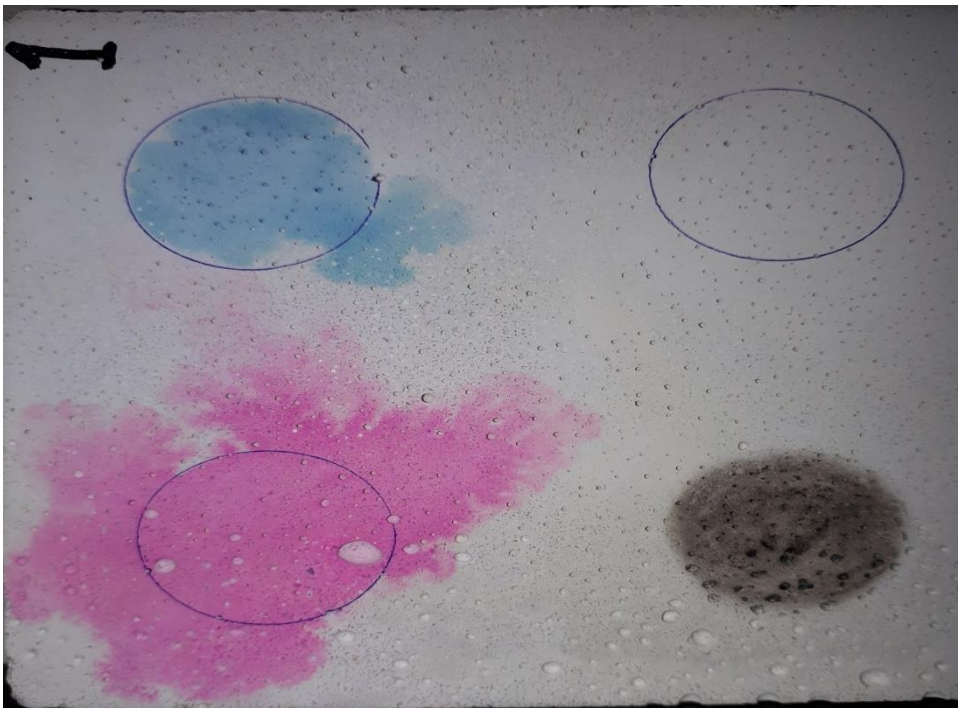
یافته های تحقیق:

استفاده از TiO_2و نانوسلیس برای خاصیت خودتمیزشوندگی در بتن

در این مقاله برای تاثیر استفاده $\boldsymbol{TiO_2}$برکاهش رنگ ناشی از آلودگی‌های محیطزیستی برسطوح قطعات پیش‌ساخته بتنی، سه طرح با درصدهای صفر و ۲/۵ و ۵ درصد $\boldsymbol{TiO_2}$به جای سیمان و ۳ درصد نانوسلیس به جای سیمان در طرح اختلاط بررسی شد. در این مقاله از متیلن به عنوان ماده آلوده‌کننده سطح بتن با رنگ آبی و از رودامین B به عنوان ماده آلوده‌کننده سطح بتن با رنگ صورتی و از دوده به عنوان ماده آلوده کننده سطح بتن با رنگ مشکی استفاده شده است.

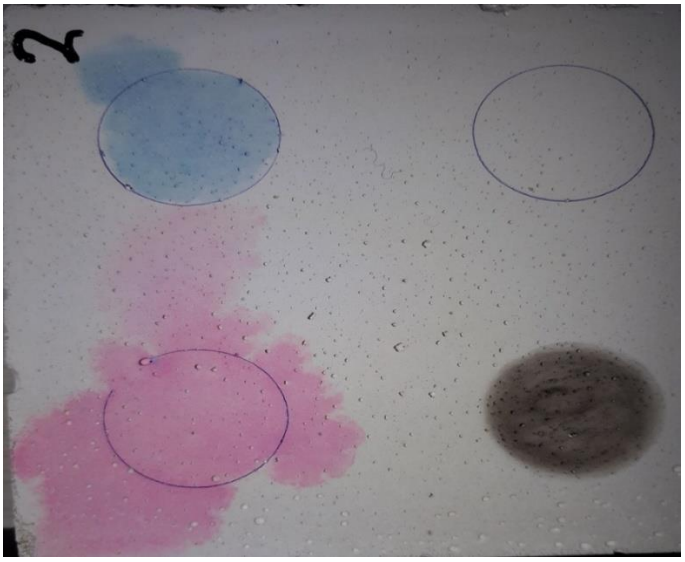


شکل ۱:- سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه حاوی نانوسلیس در شروع آزمایش بدون افزودن دی اکسید تیتانیوم.

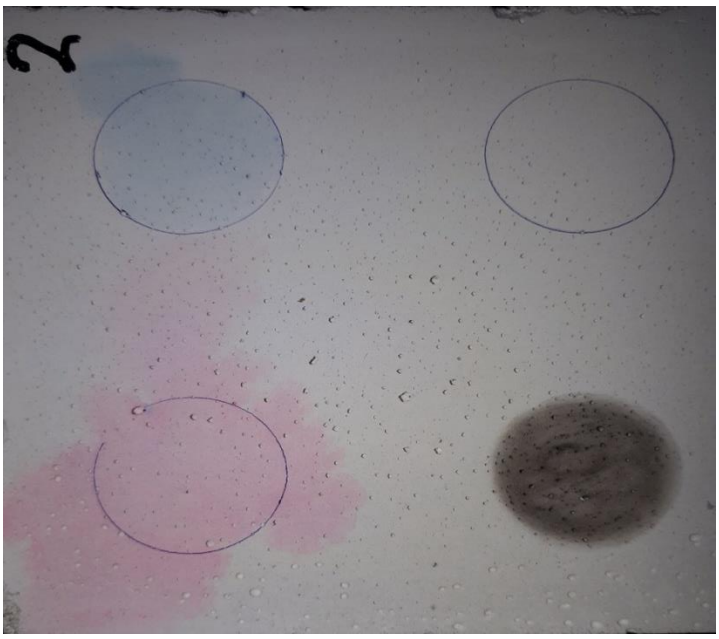


شکل ۲ : سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی)

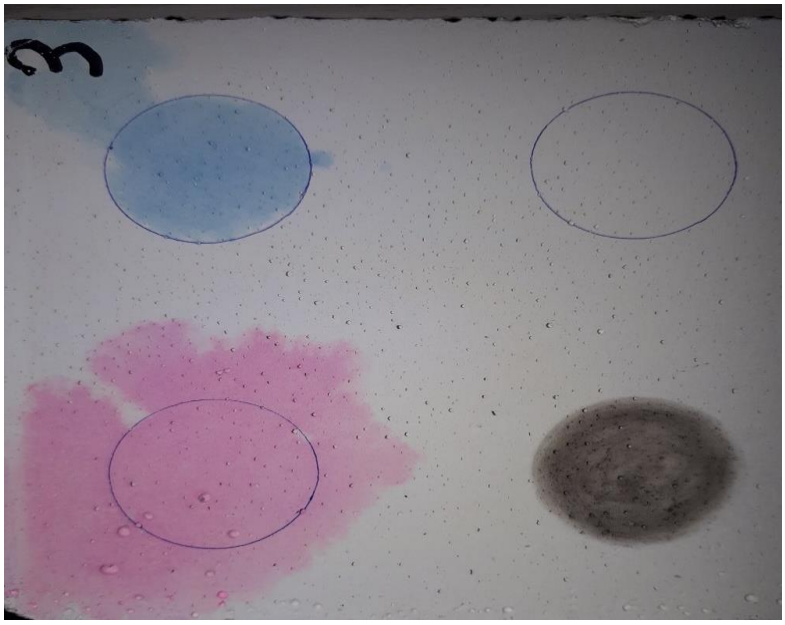
برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه حاوی نانوسلیس با گذشت زمان ۲۴ ساعت بدون افزودن دی اکسید تیتانیوم و ۳ درصد نانوسیلیس. نشان می دهد که در حالت افزودن نانوسیلیس به تنهایی با گذشت ۲۴ ساعت از تابش اشعه فرابنفش تغییری در کاهش رنگ های آغشته شده در سطح بتن مشاهده نمی شود.



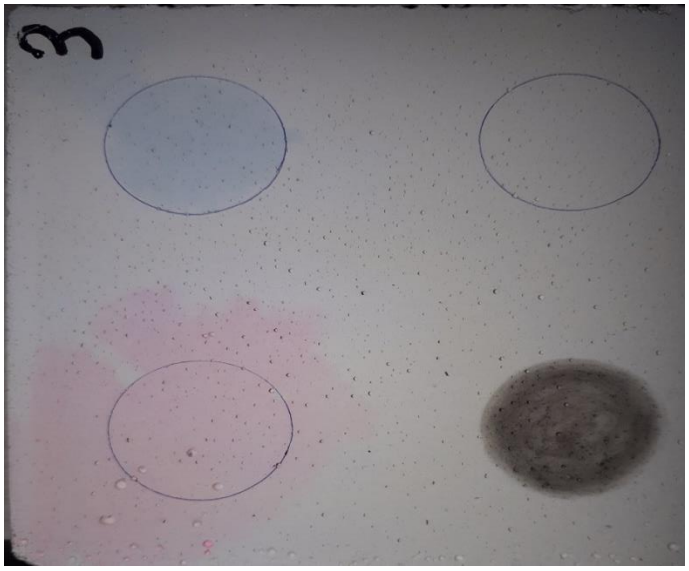
شکل ۳: سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه حاوی نانوسلیس با ۲/۵ درصد دی اکسید تیتانیوم در شروع آزمایش.



شکل ۴- سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه حاوی نانوسلیس با ۲/۵ درصد دی اکسید تیتانیوم بعد از گذشت زمان ۲۴ ساعت.



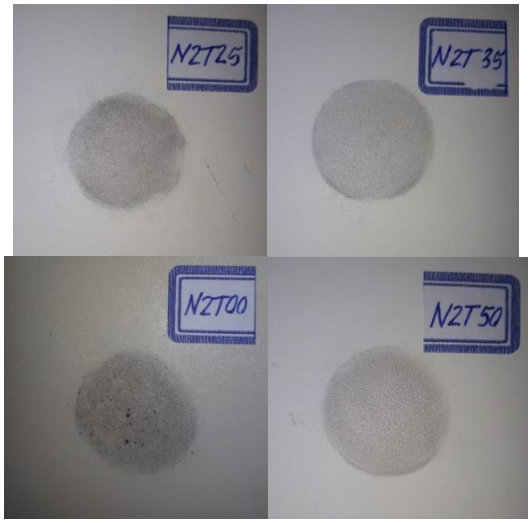
شکل ۵- سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه حاوی نانوسلیس با ۵ درصد دی اکسید تیتانیوم در شروع آزمایش.



شکل ۶- سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه حاوی نانوسلیس با ۵ درصد دی اکسید تیتانیوم بعد از گذشت زمان ۲۴ ساعت.

شکل ۷- مقایسه استفاده از ۵درصد دی اکسید تیتانیوم با ۲ درصد نانوسلیس برای خاصیت خودتمیزشوندگی در بتن قبل و بعد از تاثیر ۲۴ ساعته اشعه فرابنفش و شکل سمت راست قبل از تاثیر اشعه فرابنفش و شکل سمت چپ بعد از ۲۴ ساعت استفاده از اشعه فرابنفش می باشد.

با توجه به شکل ۷ با گذشت ۲۴ ساعت استفاده ازاشعه فرابنفش مشخص گردید که رنگ دوده آغشته در سطح بتن کاهش می یابد و این به دلیل واکنش فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در معرض تابش اشعه فرابنفش می باشد.



شکل ۸- مقایسه استفاده از درصدهای صفر، ۲/۵، ۳/۵ و ۵ درصد دی اکسید تیتانیوم با ۲ درصد نانوسلیس برای خاصیت خودتمیزشوندگی در بتن بعد از تاثیر ۲۴ ساعته اشعه فرابنفش.

با توجه به شکل۸، افزایش درصد دی اکسید تیتانیوم در نمونه های حاوی ۲ درصد نانوسیلیس باعث کاهش رنگ دوده آغشته در سطح بتن گردید.

در این مقاله با کمک روش آزمایشگاهی به بررسی تاثیر استفاده از نانوسیلیس و دی اکسید تیتانیوم در افزایش یا کاهش رنگ ناشی از آلودگی های محیط زیستی برسطوح قطعات پیش ساخته بتنی در نمای معماری سازه های بتنی و منظر محیط زیستی آن در سیمای یک شهر پرداخته شده است.

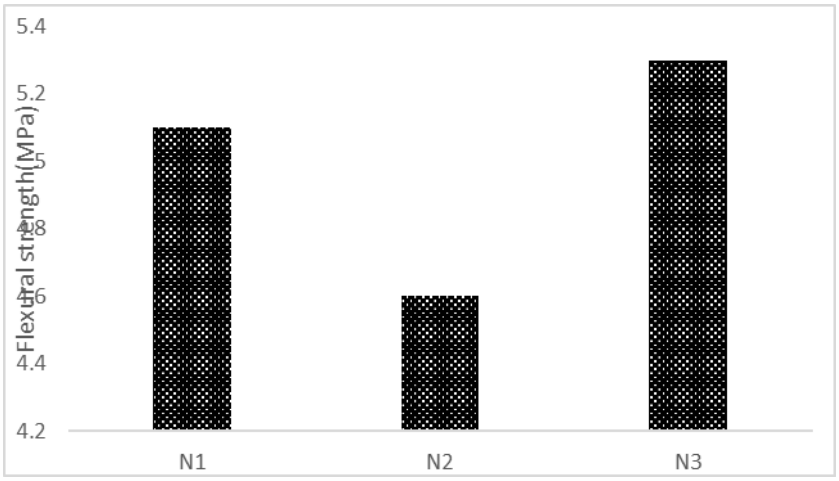
نتایج نشان می دهد که TiO_2با درصد وزنی جایگزینی با سیمان به همراه نانوسلیس پتانسیل زیادی برای بهبود خواص محیط زیستی نمای بتنی ساختمان ها در شهرهای در معرض آلودگی زیاد از نظر نظافت و تمیزشوندگی سطح بتن را دارد. بهترین نتایج از نمونه با ۵ درصد TiO_2به دست آمده است. نمونه شماره‌گذاری شده ۱، ۲ و ۳ به ترتیب NT0، NT2.5 و NT5 می باشند. تصاویر پشت سر هم نتایج شروع آزمایش و پایان آزمایش در هر طرح را نشان می دهند. با مقایسه تصاویر مشخص می شود که طرح با شماره ۳ با نام NT5 بهترین نتیجه را از نظر کاهش رنگ آغشته شده در سطح بتن را نشان می دهد.

استفاده از TiO2 و نانوسیلیس برای خاصیت مقاومت خمشی بتن

در نمودار (۲-۴) نتایج آزمون قدرت خمشی نمونه های حاوی نانوسیلیس و دی اکسیدتیتانیوم در سنین ۲۸ روز را نشـان مـی دهد. افزودن TiO_2به افزایش مقاومت خمشی منجر شده است.

بهترین نتایج از نمونه با ۵ درصد TiO_2به دست آمده است. این امر می‌تواند به علت اثر پرکنندگی ذرات TiO_2باشد که در آن محصولات هیدراتاسیون می‌توانند رشد کنند و در نتیجه یک میکروساختار چگال‌تر به دست می‌آید.

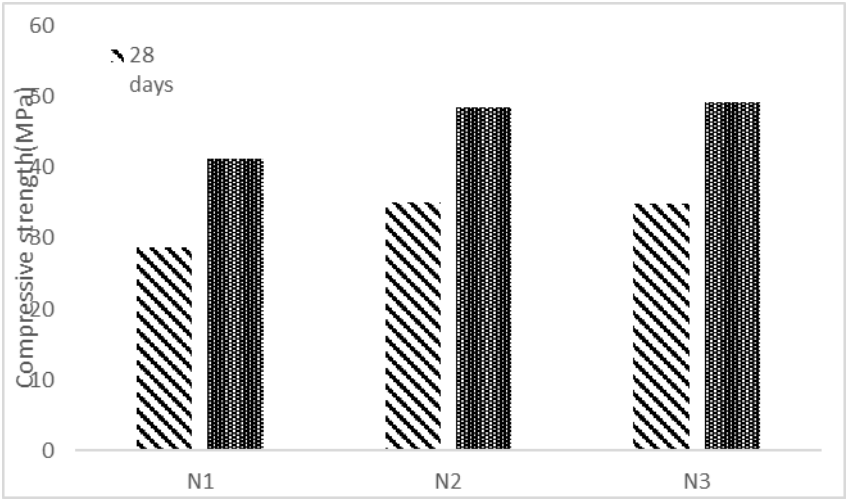
مقایسه N3 با N1 و N2 در سن ۲۸ روز نشان می‌دهد که افزایش TiO_2همیشه موجب افزایش مقاومت خمشی نبوده است. این موضوع نشان می‌دهد که میزان TiO_2بهینه پتانسیل زیادی برای بهبود مقاومت خمشی بتن دارد و نه الزاما افزایش میزان TiO_2به همراه نانوسیلیس سبب افزایش مقاومت خمشی نخواهد شد.



نمودار ۱- مقایسه مقاومت خمشی(مگاپاسکال) نمونه‌های ۲۸ روزه در ۳ حالت طرح اختلاط مورد بررسی حاوی نانوسیلیس و دی‌اکسید تیتانیوم

دلیل کم شدن مقاومت خمشی را در درصد ۲/۵ درصد نسبت به حالت های بدون دی اکسید تیتانیوم یا درصدهای بیشتر از ۲/۵ درصد را می توان به دلیل نحوه قرارگیری ذرات در ریز ساختار بتن و تاثیر آن در کاهش مقاومت خمشی دانست که نیاز به کنترل بیشتر توسط آزمون TEM دارند.

استفاده از TiO_2و نانوسیلیس برای خاصیت مقاومت فشاری بتن



نمودار ۲- مقایسه مقاومت فشاری بر حسب مگاپاسکال

نمونه های ۷ روزه و ۲۸ روزه در ۳ حالت طرح اختلاط مورد بررسی حاوی TiO_2و نانوسیلیس

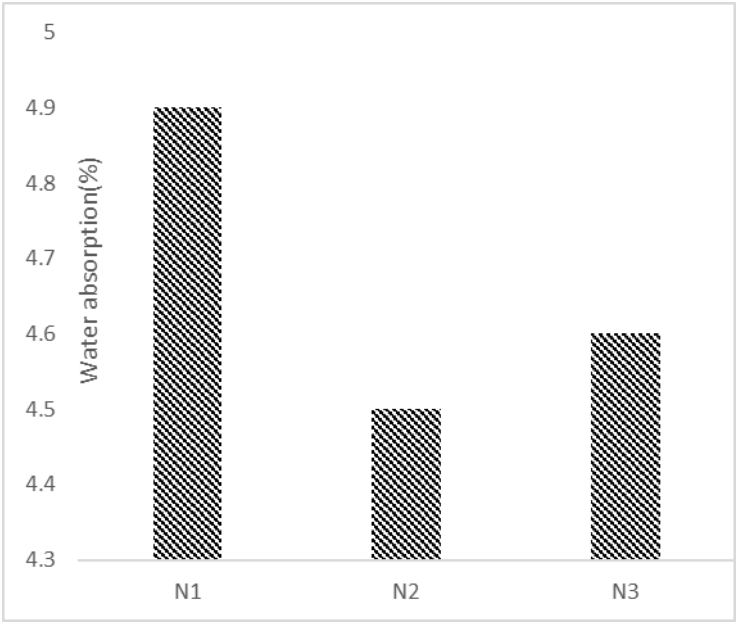
نمودار (۲) نتایج آزمون قدرت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روز را نشان می‌دهد. برای نمونه‌هایی که حاوی نانوسیلیکا هستند. استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث افزایش سرعت هیدراتاسیون و کاهش زمان گیرش همچنین باعث افزایش فشاری بتن نیز می‌شود. افزودن TiO_2تاثیر معنی‌داری بر مقاومت فشاری داشت. نمونه حاوی نانوسیلیکا، قدرت بیشتری با افزودن TiO_2را نشان می‌دهند. برای نمونه‌هایی که حاوی نانو سیلیکا هستند افزودن TiO_2به افزایش مقاومت فشاری منجر شده است. در ۷ روز بهترین نتایج از نمونه با ۲/۵ درصد TiO_2به دست آمده است در حالیکه در ۲۸ روز نمونه با مقدار ۵ درصد TiO_2عملکرد بهتر را در مقایسه با نمونه‌های حاوی نانوسیلیکا ارزیابی می کند. مقایسه N1 و N2 در سن ۲۸ روز نشان می-دهد که افزایش TiO_2حدود ۱۷/۷ درصد بوده است. این نشان می دهد که TiO_2پتانسیل زیادی برای بهبود خواص مقاومت فشاری بتن کامپوزیت دارد.

جدول (۱) نتایج عددی مقاومت فشاری (مگاپاسکال) در طرح های اختلاط حاوی نانوسیلیس مورد استفاده

کد طرح	مقاومت فشاری **(مگاپاسکال)**	مقاومت فشاری
	۷ روزه	۲۸ روزه
N1	28.7	41.2
N2	35.1	48.5
N3	34.8	49.2

استفاده از TiO_2 و نانوسیلیس برای خاصیت درصد جذب آب بتن

آزمایش جذب آب مطابق با ASTM C642-06 (2008) روی نمونه ها در سن ۲۸ روز انجام شد. اگرچه در تست جذب آب کوتاه و بلند مدت ، از BS 1881 می توان برای دستیابی به جذب نهایی آب از طریق آزمایش مداوم برای رسیدن به وزن ثابت استفاده کرد و حتی آن را در آب جوشاند تا جذب نهایی نهایی آب به دست آید. اما چنین پیش بینی هایی به این ترتیب انجام نشده است. در ASTM C642 میزان جذب نهایی آب به دست می آید و تراکم و تخلخل حاصل می شود، حتی جوشیدن نمونه در آب پیش بینی می شود. در این استاندارد هیچگونه حساسیتی به شکل و اندازه نمونه وجود ندارد، اما حداقل جرم و حجم آن مشخص شده است زیرا به مسئله جذب نهایی آب می پردازد. این آزمایش عمدتا برای قطعات پیش ساخته ASTM C642-13 (2008) استفاده می شود. در EN-1340 (2003)، جذب نهایی آب اجزای پیش‌ساخته، مانند جداول بتنی، حداقل برای حجم یا جرم نمونه مشاهده شده است. در استانداردهایی مانند ASTM C497 میزان جذب آب لوله های بتونی با دو روش A و B طبق روش خشک کردن و زمان جوشیدن نمونه در آب ASTM C497-19 (2019) بدست می آید. به عنوان مثال، در برخی استانداردهای استاندارد برای قطعات پیش ساخته در ASTM C76 مانند لوله های RC آب و فاضلاب ، حداکثر جذب نهایی آب مطابق با ASTM C497-19(2019) است. برای روشA 9٪ و برای روشB 8.5٪ است و از این نظر می‌توان معیار ماندگاری بتن را فراهم کرد، به خصوص اگر قطعه بتنی آبگرفته شود و آب همیشه در مجاورت باشد. این مشخصات در خطوط لوله استاندارد آب و فاضلاب ایران شماره ۸۹۰۶ ISIRI ، شماره ۸۹۰۶ (۲۰۰۷) مورد استفاده قرار گرفته است. در BS EN 1340، در مواردی که نمکهای محلول در آب وجود ندارد. حداکثر جذب نهایی ۶٪ آب برای المان بتنی پیش ساخته BS EN-1340 (2003) فراهم شده است. به نظر می رسد برای دوام بتن، حداکثر جذب نهایی آب بتن باید به ۶٪ کاهش یابد و برای حالت جوشیده باید به ۵,۵٪ محدود شود.



نمودار۳- مقایسه درصد جذب آب (**بدون بعد)** نمونه های ۲۸ روزه در ۳ حالت طرح اختلاط مورد بررسی حاوی نانوسیلیس و دی‌اکسید تیتانیوم.

با افزایش درصد دی اکسید تیتانیوم در نمونه های حاوی نانوسیلیس درصد جذب آب افزایش می یابد که این موضوع به دلیل اندازه بزرگتر ذرات دی اکسید تیتانیوم نسبت به نانوسیلیس می باشد که ساختار بتن کمی از حالت همگن بدون استفاده از دی اکسید تیتانیوم و وجود تنها ۳ درصد نانوسیلیس تغییر پیدا می کند.

جدول (۲) نتایج عددی درصد جذب آب(بدون بعد) در طرح‌های اختلاط حاوی نانوسیلیس و دی‌اکسید تیتانیوم

Mix designation	***water absorption***
N3T0	4.9
N3T2.5	4.5
N3T5	4.6
N1T00	5.91
N1T25	5.68
N1T35	5.42
N1T50	5.51
N2T00	5.69
N2T25	5.64
N2T35	5.22
N2T50	5.3

مطابق با ASTM C497، حداکثر جذب نهایی ۸/۵ درصد است بنابراین نتایج نمونه ها قابل قبول است.

مطابق با BS EN 1340، این موضوع مربوط به ۶٪ است بنابراین نتایج نمونه ها نیز قابل قبول است.

مطابق جدول (۲-۴)، افزایش دی اکسید تیتانیوم منجر به کاهش جذب آب در N2 در مقایسه با N3 شد.

مطابق جدول (۲-۴)، افزایش دی اکسید تیتانیوم تا ۳/۵ درصد منجر به کاهش جذب آب در نمونه ها می شود و با افزایش آن به ۵ درصد درصد جذب آب افزایش می یابد و این به دلیل آب دوست بودن دی اکسید تیتانیوم برای درصدهای بیشتر است.

نتیجه گیری

در این مقاله با کمک روش آزمایشگاهی به بررسی تاثیر استفاده از نانوسیلیس و دی اکسید تیتانیوم در افزایش یا کاهش رنگ ناشی از آلودگی های محیط زیستی برسطوح قطعات پیش ساخته بتنی در نمای معماری سازه های بتنی و منظر محیط زیستی آن در سیمای یک شهر پرداخته شده است. در این مقاله برای تاثیر استفاده TiO_2برکاهش رنگ ناشی از آلودگی‌های محیط‌زیستی برسطوح قطعات پیش‌ساخته بتنی، سه طرح با درصدهای صفر و ۲/۵ و ۵ درصد TiO_2به جای سیمان و ۳ درصد نانوسلیس به جای سیمان در طرح اختلاط بررسی شد. در این مقاله از متیلن به عنوان ماده آلوده‌کننده سطح بتن با رنگ آبی و از رودامین B به عنوان ماده آلوده‌کننده سطح بتن با رنگ صورتی و از دوده به عنوان ماده آلوده کننده سطح بتن با رنگ مشکی استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که TiO_2با درصد وزنی جایگزینی با سیمان به همراه نانوسلیس پتانسیل زیادی برای بهبود خواص محیط زیستی نمای بتنی ساختمان ها در شهرهای در معرض آلودگی زیاد از نظر نظافت و تمیزشوندگی سطح بتن را دارد. بهترین نتایج از نمونه با ۵ درصد TiO_2به دست آمده است. نمونه شماره‌گذاری شده ۱، ۲ و ۳ به ترتیب NT0، NT2.5 و NT5 می باشند. تصاویر پشت سر هم نتایج شروع آزمایش و پایان آزمایش در هر طرح را نشان می دهند. با مقایسه تصاویر مشخص می شود که طرح با شماره ۳ با نام NT5 بهترین نتیجه را از نظر کاهش رنگ آغشته شده در سطح بتن را نشان می دهد. با افزایش درصد دی اکسید تیتانیوم بعد از گذشت ۲۴ ساعت از درمعرض تابش اشعه فرابنفش کاهش رنگ های آغشته شده در سطح بتن بیشتر کاهش پیدا کردند. که فرضیه تحقیق را اثبات می کند. نتایج آزمون مقاومت خمشی در سنین ۷ و ۲۸ روز نشان داد استفاده از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث افزایش سرعت هیدراتاسیون و کاهش زمان گیرش همچنین باعث افزایش خمشی بتن نیز می‌شود. در این مقاله به بررسی درصدهای صفر، ۲/۵ و ۵ درصد TiO_2به جای سیمان برای مقاومت خمشی نمونه‌ها پرداخته شد. افزودن TiO_2تاثیر معنی داری بر مقاومت خمشی داشت. با افزودن TiO2 نمونه ها مقاومت خمشی بیشتری را نشان می دهند. بهترین نتایج از نمونه با ۲/۵ درصد TiO_2به دست آمده است. این امر می تواند به علت اثر پرکنندگی ذرات TiO_2باشد که در آن محصولات هیدراتاسیون می‌توانند رشد کنند و در نتیجه یک میکروساختار چگال‌تر به دست می‌آید. نتایج آزمایش جذب آب نشان داده شده حکایت از توزیع اندازه بهتر و پالایش منافذ منجر به یک ماتریس سیمان متراکم تر با تخلخل کم می شود که به نوبه خود میزان جذب آب کامپوزیت های سیمانی را به میزان قابل توجهی پایین می آورد. اختلاط TiO_2نتایج نانوسیلیس حاوی نمونه های حاوی مثبت را تحت تأثیر قرار داده است. در این مطالعه، تأثیر درصدهای مختلف صفر، ۲/۵و ۵ درصد TiO_2بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های سیمانی حاوی نانوسیلیکا مورد بررسی قرار گرفت. کاهش ۶٫۵٪ و ۱۱٫۱٪ بین N1 و N3 به ترتیب تأثیر مثبت TiO_2بر جذب آب را نشان می دهد. آزمون درصد جذب آب را سنف و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از نانو SiO2 و nano-TiO2 در سیمان ارزیابی کردند. طرح های مخلوط با ۰/۳درصد نانو SiO2، 0/12 درصد وزنی نانو-TiO_2و ۰/۵ وزنی در ساعت انجام شد. اندازه گیری های تجربی انجام شد. در طرح های ترکیبی با بیش از nano-SiO2 و nano-TiO_2در مقایسه با بقیه بدون نانومواد تغییرات قابل توجهی به دست آمد. خواص قابل توجهی توسط نانومواد در دامنه مورد بررسی در این تحقیق اضافه نشده است. در این مطالعه با مطالعه سنف و همکاران (۲۰۱۲)مقایسه انجام گرفت. مطالعاتی مبنی بر افزودن TiO_2با درصد ثابت نانوسیلیس (۳٪) از پتانسیل بسیار خوبی برای بهبود جذب آب برخوردار است. این موضوع در مطالعاتشان مورد بررسی قرار نگرفت. در این مطالعه با مطالعه Crupi و همکاران (۲۰۱۸) مقایسه صورت گرفت. مطالعات مبنی بر افزودن TiO_2با درصد ثابت نانوسیلیس (۳٪) از پتانسیل بسیار خوبی برای بهبود نظافت و جذب آب در نمای بتنی پیش ساخته برخوردار است. این مطالعه در مطالعه آنها مورد بررسی قرار نگرفت. آزمایش در مورد رنگ سطح بتونی نمونه با دی اکسید تیتانیوم ۲٫۵٪ در ابتدای آزمایش با رودامین B انجام شد. بعد از ۲۴ ساعت، مقایسه تغییر رنگ سطح بتن نشان می‌دهد که خواص خود تمیزشوندگی تحت تأثیر نانو TiO_2قرار گرفته است. نتایج نشان داد که خواص خود تمیز کننده تحت تاثیر Nano-TiO_2 قرار گرفته است. با استفاده از Nano-TiO_2، رنگ صورتی آغشته به سطح بتن کاهش می یابد.

نتایج آزمایش جذب آب در ۳ حالت نشان داد که برای نمونه های حاوی نانوسیلیس ، افزودن TiO_2منجر به افزایش جذب آب شده است. مقایسه N1، N2 و N3 نشان می دهد که با کاهش TiO_2افزایش جذب آب رخ داده است. مقایسه تستهای جذب آب در نتیجه افزودن TiO_2و nano-silica در بتن نشان می دهد که حداکثر جذب نهایی آب در مخلوط طراحی N1، ٪ 4.9و حداقل جذب نهایی نهایی در مخلوط طراحی N2 ، ٪4.3 است. آزمایش رنگ سطح بتونی نمونه با ٪۲,۵ دی اکسید تیتانیوم پس از ۲۴ ساعت نشان می دهد که TiO_2از پتانسیل بسیار خوبی برای بهبود نظافت کامپوزیت های سیمانی برخوردار است. اختلاط TiO_2نتایج مثبت برای نمونه حاوی نانو سیلیس را تحت تأثیر قرار داده است. کاهش ٪۶,۵ بین N1 و N3 ، تأثیر مثبت TiO_2 در جذب آب را نشان می دهد.

ارائه پیشنهادات برای تحقیقات آینده

در پایان انجام این مقاله پیشنهاد می گردد در تحقیقات آینده به بررسی خواص حسگرهای محیط زیستی نانومواد در تعیین میزان آلایندگی بر روی انواع نماهای ساختمان ها جهت معماری پایدار صورت پذیرد. جهت تاثیر دیگر عوامل تاثیرگذار در کاهش رنگ ناشی از آلودگی در سطح نمای بتنی مثل رطوبت و نور آزمایش های جدیدی انجام شوند. جهت بررسی ریزساختار بتن در درصدهای ۲/۵ و ۳//۵ و ۵ درصد دی اکسید تیتانیوم با روش TEM می توان شکل قرارگیری ذرات رو کنار هم مقایسه کرد و دلیل کم شدن مقاومت خمشی را در درصد ۲/۵ درصد نسبت به حالت های بدون دی اکسید تیتانیوم یا درصدهای بیشتر از ۲/۵ درصد را تحقیق نمود.

منابع و ماخذ:

منابع فارسی:

۱-کاهش آلودگی با مصالح ساختمانی هوشمند.(۱۳۸۸). مجله انبوه‌سازان، تیر ۸۸، شماره ۴۷.

۲-گلابچی، م.، تقی‌زاده، ک.، سروش‌نیا، ا (۱۳۹۰). نانو فناوری در معماری و مهندسی ساختمان، انتشارات دانشگاه تهران.

۳- جوادین، س. ا.، گلبولنگرودی، م. و عیسی پور، ع. ۱۳۹۷. بهینه‌سازی تولید بتن پایا بر پایه مطالعات فنی و اقتصادی (جهت بکارگیری در تصفیه خانه پروژه بیمارستان ۹۶ تختخوابی لنگرود). دهمین کنفرانس ملی بتن. ۱۵ و ۱۶ مهرماه. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. تهران. ایران.

۴- نشریه ۱۵۰ سازمان برنامه و بودجه. ۱۳۷۵. سازه‌های بتنی محیط زیست (ترجمه ACI 350-89).

۵- منافی، ص. و علی پور، ا. ۱۳۹۳. تاثیر غلظت نانوذرات سیلیکا و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر خواص آبگریزی بتن. مجله نانومواد. شماره ۲۰، ص ۲۷۹-۲۸۹.

منابع انگلیسی:

[1] Sobolev, K., Ferrada-Gutiérrez, M. (2005). How nanotechnology can change the concrete world: Part 1. Am Ceram Soc Bull; 84(10):14–7.

[2] Qing, Y., Zenan, Z., Deyu, K., and Rongshen, C. (2007). Influence of nano-SiO2 addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume. Construct Build Mater; 21(3):539–45.

[3] Li, H., Xiao, H-g., Yuan, J., and Ou, J. (2004). Microstructure of cement mortar with nanoparticles. Compos B Eng; 35(2):185–9.

[4] Gaitero, J.J., Campillo, I., and Guerrero, A. (2008). Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles. Cem Concr Res, 38(8–9):1112–8.

[5] Sobolev, K., Flores, I., Torres-Martinez, L.M., Valdez, P.L., Zarazua, E., and Cuellar, E.L. (2009). Engineering of SiO2 nanoparticles for optimal performance in nano cementbased materials. In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors. Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in construction). Prague, Czech Republic. p. 139–48.

[6] Lee, S.J., and Kriven, WM. (2005). Synthesis and hydration study of Portland cement components prepared by the organic steric entrapment method. Mater Struct, 38(1):87–92.

[7] Sanchez, F., Sobolev, K. (2010). Nanotechnology in concrete – A review.; Const. and Building Mat. J. 24: 2060–2071
[8] Murata, Y., Obara, T., and Takeuchi, K. (1999). Air purifying pavement: development of photocatalytic concrete blocks. J Adv Oxidat Technol, 4(2):227–30.
[9] Chen, J., Poon, C. S. (2009). Photocatalytic construction and building materials: from fundamentals to applications. Build Environ, 44(9):1899–906.
[10] http://en.wikipedia.org/wiki/Jubilee_Church.
[11] Zhang, P., Ji-Xiang, G., Xiao-Bing, D., Tian-Hang, Z., and Juan, W. (2016). Fracture behavior of fly ash concrete containing silica fume, Structural Engineering and Mechanics, An Int'l Journal, 59 (2).
[12] Chen, J., Liu, X., Liu, H., and Zeng, L. (2018). Axial compression behavior of circular recycled concrete-filled steel tubular short columns reinforced by silica fume and steel fiber, Steel and Composite Structures, An Int'l Journal, 27 (2).
[13] Ahmad, S., Umar, A., Masood, A., and Nayeem, M. (2019). Performance of self-compacting concrete at room and after elevated temperature incorporating Silica fume, Advances in Concrete Construction, An Int'l Journal, (7)1.
[14] Shannag M.J, (2000). High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume, Cem. Concr. Compos. 22 (6): 399–406. DOI: 10.1016/S0958-9465(00)00037-8. (7 pages).
[15] Yazici H, (2007). The effect of curing conditions on compressive strength of ultra-high strength concrete with high volume mineral admixtures, Build. Environ. 42 (5): 2083–2089. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.03.013. (6 pages).
[16] Senff L, Hotza D, Lucas S, Ferreira V.M, Labrincha J.A, (2012) Effect of nano-SiO2 and nano-TiO2 addition on the rheological behavior and the hardened properties of cement mortars. Materials Science and Engineering A, 532: 354-361.
[17] Taheri-Behrooz, F., Memar Maher, B., and Shokrieh, M.M. (2015) Mechanical properties modification of a thin film phenolic resin filled with nano silica particles, Comput. Mater. Sci. 96: 411–415. DOI: 10.1016/j.commatsci.2014.08.042.
[18] Mohammadi Aloucheh R. Alaee Mollabashi, Y, Asadi A, Baris O, Gholamzadeh, S, (2018) The role of nanobiosensors in identifying pathogens and environmental hazards. Anthropogenic Pollution Journal, 2 (2): 10-17.
[19] *Sikora, P., Horszczaruk, E. and Rucinska, T. (2015). The effect of nanosilica and titanium dioxide on the mechanical and self-cleaning properties of waste-glass cement mortar. 7th Scientific-Technical Conference Material Problems in Civil Engineering. 146 – 153.*
[20] BS 1881: Part 122: 1983, Testing concrete, Method for determination of water absorption.
[21] British Standard EN, Testing Hardened Concrete – Part 8: Depth of Penetration of Water Under Pressure, BS EN 12390-8: 2009, 2009. 7 pp.
[22**]** Jalal, M., Mansouri, E., Sharifipour, M. and Pouladkhan, A.R., 2012. Mechanical, rheological, durability and microstructural properties of high performance self-compacting concrete containing SiO2 micro and nanoparticles. Materials & Design, 34, pp.389-400.
[23] Aly M, Hashmi M.S.J, Olabi A.G, Messeiry M, Abadir E.F, Hussain A.I, (2012) Effect of colloidal nano-silica on the mechanical and physical behaviour of waste-glass cement mortar, Mater. Des. 33: 127–135. Doi: 10.1016/j.matdes.2011.07.008. (8 pages).
[24] Du H, Du S, Liu X, (2014) Durability performances of concrete with nano-silica, Constr. Build. Mater. 73: 705–712. (7 pages).

[25] Gesoglu M, Guneyisi E, Sabah Asaad, D, Muhyaddin, G.F, (2016) Properties of low binder ultra-high performance cementitious composites: Comparison of nanosilica and microsilica, Construction and Building Materials, 102: 706-713. (7 pages).
[26] M.-Z. Guo, T.-C. Ling, C.-S. Poon, Nano-TiO2-based architectural mortar for NO removal and bacteria inactivation: Influence of coating and weathering conditions, Cem. Concr. Compos. 36 (2013) 101–108.
[27]. ASTM C348-08. (2007). Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
[28]. ASTM C109-08. (2008). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens), ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
[29]. ASTM C642-06., (2008). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.