Journal of Structural and Construction Engineering, 8(Special Issue 2), 2021, pp. 44-58

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Comparison of the application of titanium dioxide and nanosilica and silicafume in the self-cleaning property of concrete for sustainable development

Sayedehfatemeh Khoshkalam Soleimandarabi[1], Raheleh Rostami[2], Mehdi Nezhadnadri[3]*

1- Department of Architecture Engineering, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran.
2 -Department of Architecture Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran.
3 -Department of Civil Engineering, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran.

ABSTRACT

Photocatalytic self-cleaning is one of the most important uses of nanotechnology in the building industry. In this paper, we investigate the effect of using silicafume and titanium dioxide and nano-silica on increasing or decreasing the self-compressive properties of precast concrete components in architectural view of concrete structures. Type I-42.5 cement was used according to American Society for Testing and Materials (ASTM) -C150 specifications. Silicafume conforming to ASTM-C1240 standard specifications in the n the concrete blend was used as a replacement for cement. For investigation the use of TiO2 on the reduction of environmental contamination paint on the surfaces of precast concrete, three designs with zero and 2.5% and 5% TiO2 percentages were used instead of cement in the mix design. Better results were obtained with the sample with 2.5% and 5% TiO2 compared to the sample without titanium dioxide addition. The results show that TiO2 with 5% cement replacement with silicon with 20% cement replacement than 3% Nano-silica has more potential to improve the environmental properties of concrete facades of buildings in heavily contaminated cities in terms of concrete surface cleanliness and cleanliness. Better results were obtained with the sample with 2.5% and 5% TiO2 compared to the sample without titanium dioxide addition. The results show that TiO2 along with silicafume and Nano-silica has great potential to improve the environmental properties of the concrete facade of buildings in cities exposed to high contamination in terms of surface cleaning and cleaning.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 05 March 2020
Revise Date: 30 April 2020
Accept Date: 02 May 2020

Keywords:
Nano Titanium Dioxide
Silica fume
Concrete self- cleaning
Nano-silica
Prefabricated Facade

doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.222435.2096

*Corresponding author: Mehdi Nezhadnaderi
Email address: mehdi2930@yahoo.com

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

مقایسه کاربرد دی اکسید تیتانیوم و نانوسیلیس و سیلیکافیوم در خاصیت خودتمیزشوندگی نمای بتنی برای توسعه پایدار

سیده فاطمه خوشکلام سلیماندارابی[۱]، راحله رستمی[۲]، مهدی نژادنادری[۳*]

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی معماری، واحد نور، دانشگاه آزاداسلامی، نور، ایران

۲- گروه مهندسی معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاداسلامی، ساری، ایران

۳- گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاداسلامی واحد تنکابن، تنکابن، ایران

چکیده

خود تمیز شوندگی فوتو کاتالیتیک، یکی از مهم ترین موارد استفاده از نانو تکنولوژی در صنعت ساختمان است. در این مقاله با کمک روش آزمایشگاهی به بررسی تاثیر استفاده سیلیکافیوم و دی اکسید تیتانیوم و نانوسیلیس در افزایش یا کاهش خاصیت خودتمیزشوندگی قطعات پیش ساخته بتنی در نمای معماری سازه های بتنی پرداخته شده است. سیمان نوع I-42.5 مطابق مشخصات استاندارد انجمن آمریکا برای آزمایش و مواد (ASTM) -C150 مورد استفاده قرار گرفت. سیلیکافوم سازگار با مشخصات استاندارد ASTM-C1240 در مخلوط بتن به عنوان جایگزینی برای سیمان استفاده شد. برای تاثیر استفاده TiO2 برکاهش رنگ ناشی از آلودگی های محیط زیستی برسطوح قطعات پیش ساخته بتنی، سه طرح با درصدهای صفر و ۲/۵ و ۵ درصد TiO2 به جای سیمان در طرح اختلاط استفاده شد. نتایج بهتری با نمونه به مقدار ۲/۵ و ۵ درصد TiO2 در مقایسه با نمونه بدون افزودن دی اکسید تیتانیوم بدست آمد. نتایج نشان می دهد که TiO2 با ۵ درصد جایگزینی سیمان به همراه سیلیکافیوم با ۲۰ درصد جایگزینی سیمان نسبت به ۳ درصد نانوسیلیس پتانسیل بیشتری برای بهبود خواص محیط زیستی نمای بتنی ساختمان ها در شهرهای در معرض آلودگی زیاد از نظر نظافت و تمیزشوندگی سطح بتن را دارد. نتایج بهتری با نمونه به مقدار ۲/۵ و ۵ درصد TiO2 در مقایسه با نمونه بدون افزودن دی اکسید تیتانیوم بدست آمد. نتایج نشان می دهد که TiO2 به همراه سیلیکافیوم و نانوسیلیس 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.

کلمات کلیدی: نانو دی اکسید تیتانیوم، سیلیکافیوم، خودتمیزشوندگی بتن، نانوسیلیس، نمای پیش ساخته.

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۳۹۸/۱۲/۱۵	۱۳۹۹/۰۲/۱۱	۱۳۹۹/۰۲/۱۳	۱۳۹۹/۰۲/۱۳	۱۴۰۰/۰۶/۳۱	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.222435.2096
					doi: 10.22065/jsce.2020.222435.2096

*نویسنده مسئول: مهدی نژادنادری

پست الکترونیکی: mehdi2930@yahoo.com

۱- مقدمه

توسعه پایدار اساسا یک ایده برای بهتر شدن سیاره زمین با ادامه رشد و توسعه انسانی است. شیوه های ساخت و ساز در حال حاضر بر اساس مصرف مقادیر زیادی از مصالح ساختمانی و آب آشامیدنی و در نتیجه کمبود این منابع پس از یک دوره طولانی استوار است. توسعه پایدار ملات سیمان باعث صرفه جویی منابع طبیعی و انرژی و همچنین حفاظت از محیط زیست با کاهش مواد زائد می شود. خواص ملات در حالت تازه مانند کارایی توسط توزیع اندازه سنگدانه ها و خواص در حالت سخت ، مانند استحکام و دوام، توسط درجه بندی مخلوط و فشرده سازی تحت تاثیر قرار میگیرد. خواص رئولوژیکی خمیر سیمان تازه نقش مهمی در تعیین کارایی بتن ایفا می کنند. میزان آب برای روانی، هیدراسیون و خواص حالت سخت تعیین کننده است که تا حد زیادی به نسبت سیمان به آب بستگی دارد. عواملی مانند آب، هیدراسیون اولیه، مواد افزودنی کاهنده آب و مواد معدنی (مواد افزودنی مانند میکروسیلیس) در تعیین درجه لخته شوندگی در خمیر سیمان تاثیر دارند [۱].

یکی از فواید کریستال های نانو مقیاس که با استفاده از نانو ذرات تشکیل شده است، پر شدن فضا ها و حفرات خالی ماتریس سیمان است. اضافه کردن نانو ذرات که منجر به تشکیل نانو کریستال ها می شود، باعث افزایش مقاومت فشاری، کششی و برشی می شود[۲].

میکروسیلیس

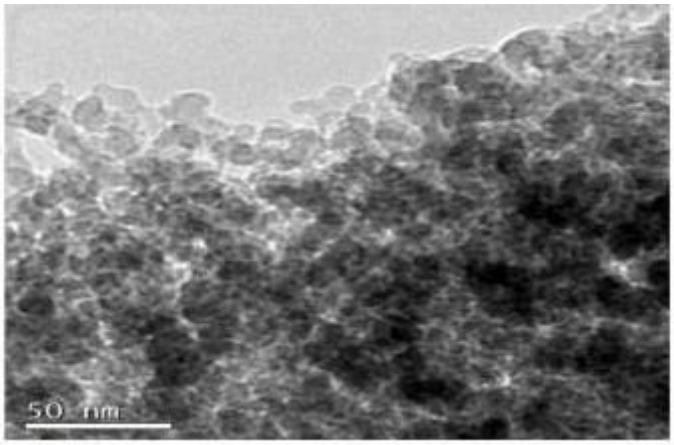
میکروسیلیس یکی از موادی است که در دهه های اخیر استفاده از آن در بتن به طور جدی مورد توجه مهندسین ساختمان قرار گرفته است. به دلیل خصوصیات بارز پوزولانی میکروسیلیس، استفاده از ان جهت بهبود خواص مکانیکی و افزایش دوام بتن در کشور های پیشرفته رو به افزایش است. استفاده از آن در بتن دارای فواید بسیار زیادی از جمله : کاهش ترکهای ناشی از هیدراتاسیون سیمان، دوام بهتر در مقابل آسیب های سولفات ها و آب های اسیدی و دست یافتن به مقاومت های نهایی بالا با استفاده از انواع سوپر روان کننده های بتن می باشد. از دیگر مزایای مصرف میکروسیلیس کاهش تحرک یون های کلر و در نتیجه کاهش عمق نفوذ کلر در بتن بویژه در نواحی ساحلی جنوب ایران می باشد. از موارد مصرف آن می توان در بتن ریزی های مربوط به ساخت اسکله های دریائی، شمع ها، ستون ها و قطعات پیش ساخته، فونداسیون ماشین آلات و کلیه سازه های بتنی که در معرض حملات شیمیایی بویژه یون کلر و سولفات ها قرار دارند نام برد.

نانوسیلیس

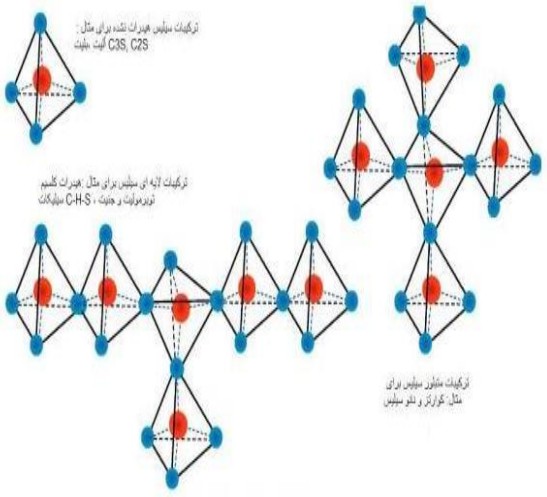
در سال های اخیر مطالعات بر روی نانو ذرات سیلیس متمرکز شده، با این هدف که بتوان با استفاده از این ماده، مشخصات بتن را بیش از پیش افزایش داد. افزودن نانوسیلیس به بتن موجب افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی، کاهش زمان گیرش و کاهش نفوذ پذیری آب درون بتن و همچنین مقاومت بالاتر در برابر حمله های شیمیایی می شود. آزمایشاتی که بر روی نانوسیلیس انجام شده، نشان داده اند که این ذرات نه تنها برای محیط زیست مشکل ساز نیستند بلکه نتایج بهتری در مقایسه با میکرو سیلیس ارائه می کنند [۳]. تحقیقات نشان داده است که اضافه کردن نانوسیلیس بیشتر از میکرو سیلیس باعث افزایش مقاومت در بتن می شود [۴]. نانوسیلیس مخلوط شده با بتن در دراز مدت باعث حفظ سلامت کارگران، بتن و محیط زیست می شود. نانوسیلیس همچنین می تواند باعث کاهش مصرف سیمان، بهبود کیفیت بتن و افزایش کارایی آن شود[۳،۵ و ۶]. 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 [۵].

حتی اضافه کردن مقدار اندک ۰/۲۵ درصدی نانوسیلیس باعث ۱۰ درصد افزایش مقاومت فشاری و ۲۵ درصد افزایش مقاومت خمشی می گردد [۷].

در مقایسه با میکروسیلیس، نانوسیلیس دارای خلوص بیشتر اکسید سیلیس و همچنین سطح ویژه بالاتری می‌باشد. این دو خصوصیت اصلی باعث به وجود آمدن تفاوت های عمده بین این دو ماده می شود .از نقطه نظر خواص فیزیکی، میزان سطح ویژه نانوسیلیس معمولا ۶۰۰-۶۰ مترمربع بر گرم است .همچنین مقدار چگالی ویژه بین ۴۰- ۳۰ گرم بر لیتر می باشد. اندازه ذرات نانوسیلیس همانطور که در شکل ۱ قابل مشاهده است نیز بایستی از ۱۰۰ نانومتر کوچکتر باشند. از نقطه نظر شیمیایی نیز مقدار خلوص SiO2 در نانوسیلیس بالاتر از ۹۹/۵ درصد است و مقدار هر کدام از اکسیدهای Al_2O_3 , Fe_2O_3 و TiO2 کمتر از ۰/۱ درصد می‌باشد. سایر اکسیدها در نانوسیلیس یا وجود ندارد یا مقدار کمتر از ۰/۰۱ درصد به خود اختصاص می‌دهند [۸]. تصویر نانوسیلیس گرفته شده به وسیله TEM برای نمونه در شکل ۱ آورده شده است.



شکل۱ : تصویر نانوسیلیس گرفته شده به وسیله TEM [۹].



شکل۲ : اتصال سیلیکات [۱۰].

در حال حاضر SF (دوده سیلیس) و NS (نانوسیلیس)، به دلیل قیمت آنها، تنها در بتن با عملکرد باالا (HPC) بتن سازگار با محیط زیست و بتن خود متراکم (SCC) استفاده می شود.

دی اکسید تیتانیوم

خود تمیز شوندگی فوتو کاتالیتیک، یکی از مهم ترین موارد استفاده از نانو تکنولوژی در صنعت ساختمان است. آلودگی های طبیعی و صنعتی مثلNOx، مونوکسید کربن، VOCها، کلروفنول ها و آلدهید های ناشی از اتومبیل ها و پساب های صنعتی، در اثر فوتوکاتالیزر و به کمک کاتالیزر بسیار فعال نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تجزیه می شوند[۱۱]. برای فعال شدن اثر خود تمیز شوندگی در اکسید تیتانیوم، نور طبیعی روز، رطوبت هوا و اکسیژن مورد نیاز است. نحوه فعالیت فوتو کاتالیکتیک های بر پایه دی اکسید تیتانیوم را به صورت جامع می توان در مقاله [۱۲] مطالعه نمود. هم اکنون محصولات خود تمیز کننده و ضد آلاینده بتنی توسط شرکت های مختلف برای استفاده در نمای ساختمان ها و کف پوش های جاده ها تولید می شود و در اروپا و ژاپن بسیار استفاده شده اند که برای مثال می توان از کلیسای جوبلی در رم ایتالیا نام برد. محققان همچنین نشان داده اند که استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم علاوه بر خاصیت خود تمیز کنندگی، باعث افزایش سرعت هیدراتاسیون و کاهش زمان گیرش [۱۳] و همچنین باعث افزایش مقاومت خمشی و فشاری بتن نیز می شوند [۱۵،۱۴]. یکی از معایب این روش کاهش کارایی تجزیه کنندگی آن با گذشت زمان است [۱۶]. اضافه کردن ۳ درصد و ۵ درصد نانو رس تنها در ملات، بترتیب باعث افزایش ۲۷/۲ و ۱۵/۱ درصدی مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه و افزایش ۲۸/۴ و ۲۲/۴ درصدی آن در سن ۹۰ روزه شده است. در حالی که در نمونه‌های ملات ماسه سیمان دارای خاکستر بادی و نانو رس توام، به ترتیب افزایش ۱/۶ و ۴/۵ درصدی مقاومت فشاری را در سن ۲۸ روزه و افزایش ۱۰ و ۱۶ درصدی آن را در سن ۹۰ روزه در پی داشته است[۱۷].

در مطالعه‌ای به تاثیر نانورس بر دوام تیرهای بتن مسلح تحت بارهای بهره‌برداری و تهاجم کلراید پرداخته شد[۱۸]. نتایج نشان داد افزودن نانورس به بتن باعث کاهش قابل توجه مقاومت فشاری شده و همین امر باعث می‌گردد که ظرفیت خمشی تیرها نیز کاهش یابد. علاوه بر این افزودن نانورس به بتن باعث کاهش جذب آب نیم ساعته و افزایش جذب آب ۲۲ ساعته می‌شود. ضمناً نتایج نشان داد که قرارگیری تیرها در محلول کلراید و سیکل‌های تر و خشک باعث کاهش ظرفیت خمشی تیرها می‌گردد، اما بارگذاری تیرها تاثیر مخرب محلول کلراید را کاهش می‌دهد. همچنین تیرهای حاوی نانورس در برابر تهاجم کلرایدها به مراتب عملکرد بهتری داشتند[۱۸].

۲- شرح مسأله

توسعه پایدار بتن باعث صرفه جویی منابع طبیعی و انرژی و همچنین حفاظت از محیط زیست با کاهش مواد زائد می‌شود. آلودگی‌های طبیعی و صنعتی و آلدهیدهای ناشی از اتومبیل‌ها و پساب‌های صنعتی، در اثر فوتوکاتالیزر و به کمک کاتالیزر بسیار فعال نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تجزیه می‌شوند. در این مقاله به بررسی تاثیر استفاده از نانوسیلیس و دی اکسید تیتانیوم و سیلیکافیوم در کاهش رنگ ناشی از آلودگی های محیط زیستی برسطوح قطعات پیش ساخته بتنی در نمای معماری سازه‌های بتنی پرداخته شده است. برای نمونه‌هایی که حاوی نانوسیلیس هستند، تاثیر افزودن TiO2 به کاهش رنگ ناشی از آلودگی‌های محیط زیستی بر سطوح قطعات پیش ساخته بتنی پرداخته شده است. همچنین برای نمونه‌هایی که حاوی سیلیکافیوم هستند، تاثیر افزودن TiO2 به کاهش رنگ ناشی از آلودگی‌های محیط زیستی بر سطوح قطعات پیش‌ساخته بتنی بررسی شده است. 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 آلوده‌کننده سطح بتن با رنگ مشکی استفاده شده است. هدف یافتن بهترین نتایج درصد TiO2 برای طرح‌های حاوی نانوسیلیس یا سیلیکافیوم می باشد. برای تاثیر استفاده TiO2 برکاهش رنگ ناشی از آلودگی‌های محیط زیستی برسطوح قطعات پیش‌ساخته بتنی، سه طرح با درصدهای صفر و ۲/۵ و ۵ درصد TiO2 به جای سیمان در طرح اختلاط استفاده شد.

۳- روش حل

در این مقاله با کمک روش آزمایشگاهی به بررسی تاثیر استفاده سیلیکافیوم و دی اکسید تیتانیوم و نانوسیلیس در افزایش یا کاهش خاصیت خودتمیزشوندگی قطعات پیش ساخته بتنی در نمای معماری سازه های بتنی پرداخته شده است. سیمان نوع I-42.5 مطابق مشخصات استاندارد انجمن آمریکا برای آزمایش و مواد (ASTM) -C150 مورد استفاده قرار گرفت[۱۹]. سیلیکافوم سازگار با مشخصات استاندارد ASTM-C1240 [۲۰] در مخلوط مواد به عنوان جایگزینی برای سیمان استفاده می شود. ترکیب شیمیایی سیلیکافیوم و سیمان در جدول ۱ ارائه شده است. به جای دانه های شن و ماسه از سیلیس با اندازه کمتر از ۶۰۰ میکرون استفاده شد. به عنوان یک عامل کاهش دهنده آب و تداخل کننده با پلیکربوکسیلات بر پایه سوپرپلاستیوژن استفاده شده است که سازگار با مشخصات استاندارد ASTM-C494 است [۲۱].

جدول۱ : ترکیب شیمیایی سیمان و سیلیکافیوم

ترکیب شیمیایی موجود در سیمان و سیلیکافیوم بر حسب درصد وزنی	درصد وزنی موجود در سیمان	درصد وزنی موجود در سیلیکافیوم
CaO	۶۴/۳۸	۱/۸۷
SiO_2	۲۱/۰۸	۸۹/۲۲
Al_2O_3	۵/۳۶	۱/۲
Fe_2O_3	۳/۶۴	۲/۱۲
MgO	۲	۱/۶۱
K_2O	۰/۸۲	۱/۰۵۶
Na_2O	۰/۵	۰/۵۵۶
L.O.I(Loss On Ignition)	۰/۹	۲/۶

مخلوط کردن با روش انجام شده در ASTM C109 انجام شد[۲۲]. ابتدا مواد خشک به آرامی مخلوط شدند تا یک مخلوط خشک همگن به دست آید. مخلوطی از آب و فوق روان کننده به آرامی اضافه شد و مخلوط کردن به مدت ۵ دقیقه با سرعت بالا ادامه پیدا کرد تا یک ملات همگن دریافت شود. در تمام طرح های مخلوط آب به نسبت مواد سیمانی ثابت برای جلوگیری از از دست دادن قدرت مکانیکی ثابت نگه داشته شد. جدول ۲ طرح های مربوط به اختلاط این مطالعه را نشان می دهد. در جدول ۳ مشخصات TiO2 با قطر حدود ۸۰۰ نانومتر و وزن مخصوص ۳/۹۱ گرم بر سانتی متر مکعب در نسبت مخلوط استفاده شده نشان داده شده است.

جدول۲ : طرح های اختلاط مورد استفاده.

طرح های اختلاط	چگالی سیمان (kg/m^3)	درصد جایگزینی			سیمان/آب
		سیلیکافیوم	نانوسیلیس	نانو دی اکسید تیتانیوم	
NT0	۸۰۰	۰	۳	۰	۰/۳۸
NT2.5	۸۰۰	۰	۳	۲/۵	۰/۳۸
NT5	۸۰۰	۰	۳	۵	۰/۳۸
SF0	۸۰۰	۲۰	۰	۰	۰/۳۸
SF2.5	۸۰۰	۲۰	۰	۲/۵	۰/۳۸
SF5	۸۰۰	۲۰	۰	۵	۰/۳۸

جدول۳ : خصوصیات نانوسیلیس مصرفی.

قطر (nm)	گرم در سطح (m^2/gr)	چگالی(gr/cm^3)	LOI(%)
۱۵±۲	۱۹۰±۲۵	≤۰/۱۵	≤1

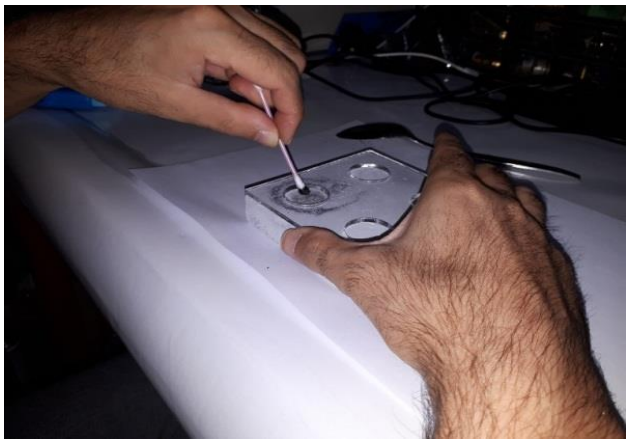
۴- تفسیر، تحلیل نتایج

نمونه شماره گذاری شده ۱، ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ به ترتیب NT0، NT2.5 و NT5 و SF0، SF2.5 و SF5 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 و ۶ با نام NT5 و SF5 بهترین نتیجه را از نظر کاهش رنگ آغشته شده در سطح بتن را نشان می دهد.

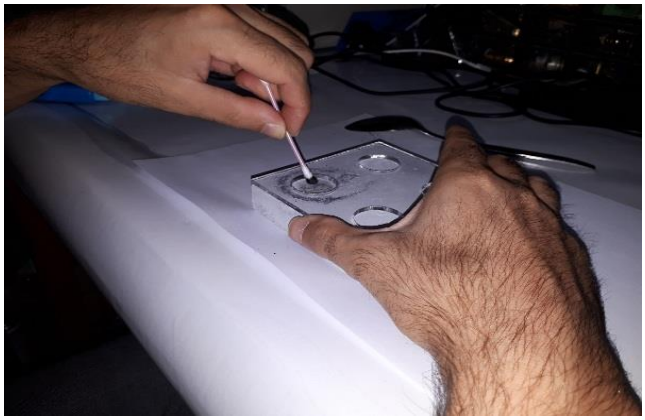
شکل۳ : تهیه ماده آلوده کننده دوده برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن

شکل۴ : تهیه ماده آلوده کننده دوده برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن.

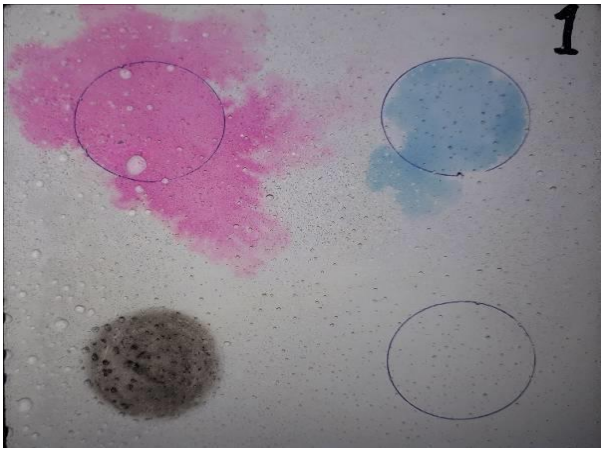
حرارت گاز شعله روی سطح سرد قاشق، دوده تولید می کند مشابه سوخت ناقص خودرو.



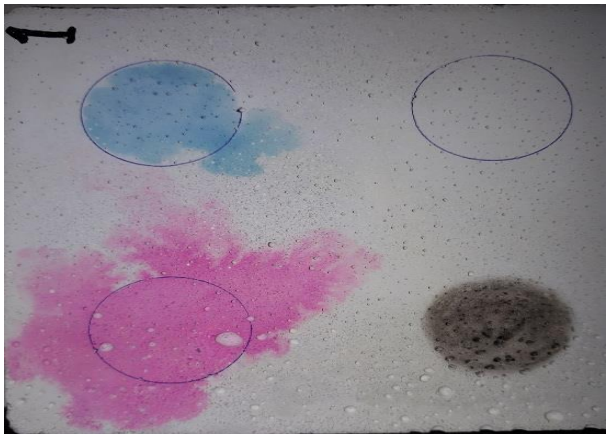
شکل۵ : پاشیدن ماده آلوده کننده دوده برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه.



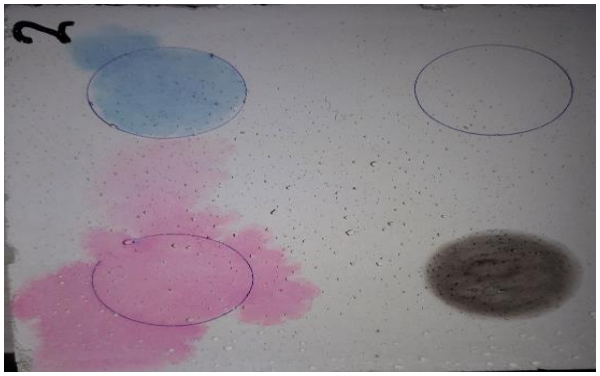
شکل۶ : پاشیدن ماده آلوده کننده دوده برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه.



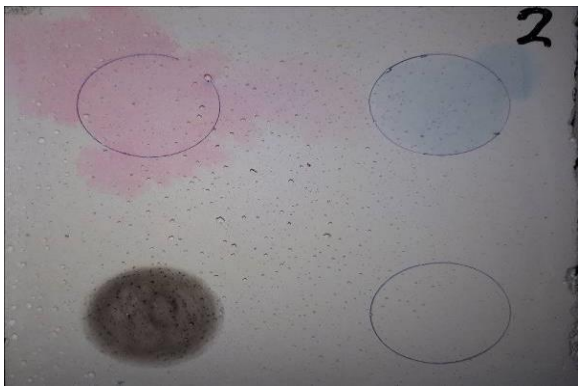
شکل۷ : سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین **B** (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه در شروع آزمایش بدون افزودن دی اکسید تیتانیوم.



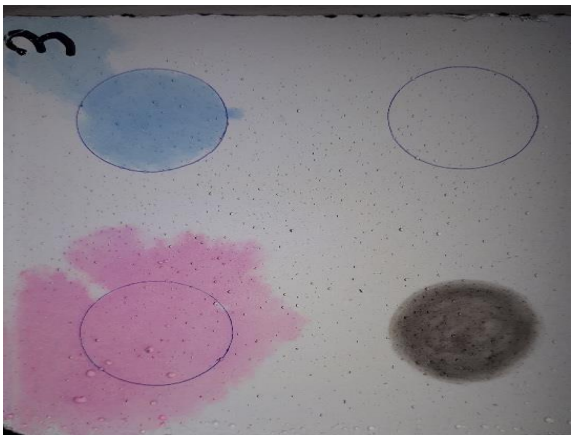
شکل۸ : سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین **B** (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه با گذشت زمان ۲۴ ساعت بدون افزودن دی اکسید تیتانیوم و ۳ درصد نانوسیلیس.



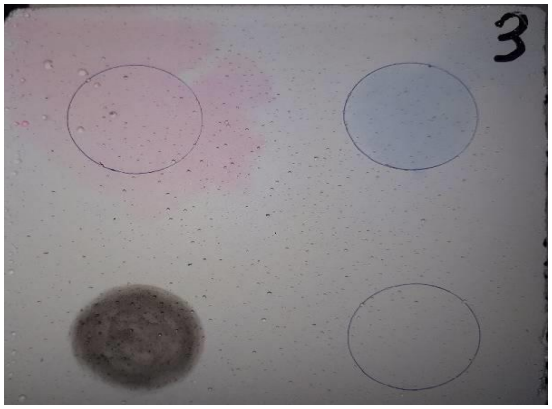
شکل۹ : سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه با ۲/۵ درصد دی اکسید تیتانیوم در شروع آزمایش.



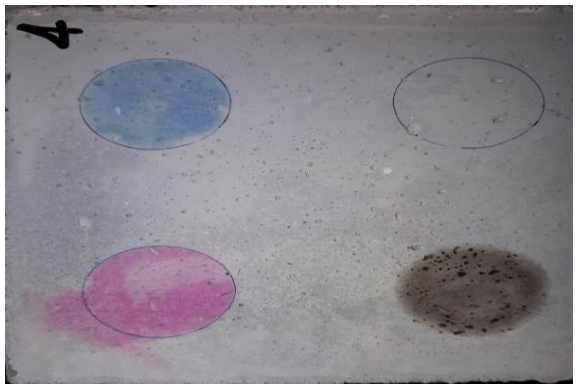
شکل۱۰: سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه با ۲/۵ درصد دی اکسید تیتانیوم بعد از گذشت زمان ۲۴ ساعت.



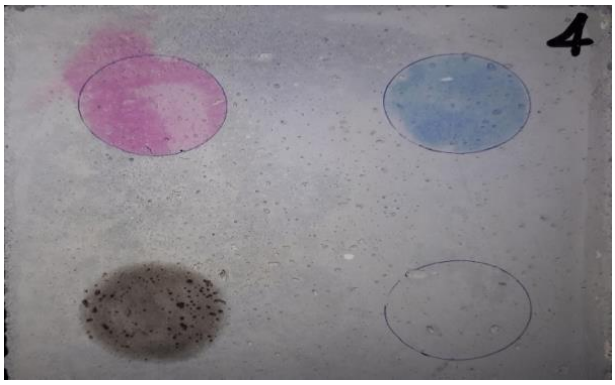
شکل۱۱ : سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه با ۵ درصد دی اکسید تیتانیوم در شروع آزمایش.



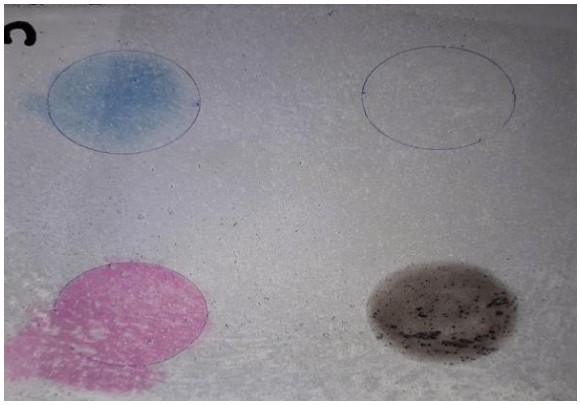
شکل۱۲ : سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه با ۵ درصد دی اکسید تیتانیوم بعد از گذشت زمان ۲۴ ساعت.



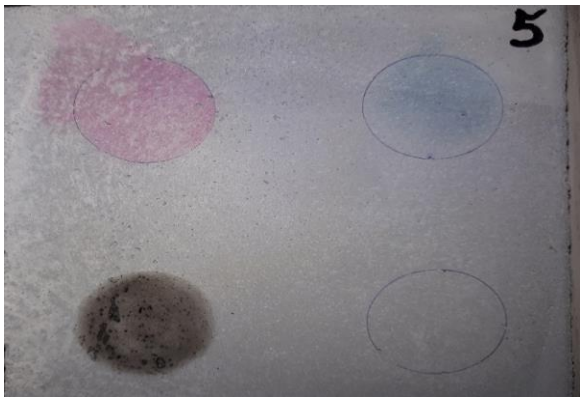
شکل۱۳ : سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه در شروع آزمایش بدون افزودن دی اکسید تیتانیوم.



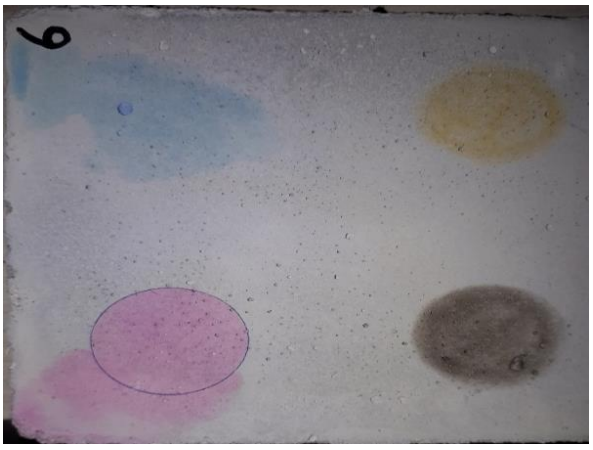
شکل۱۴ : سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه با گذشت زمان ۲۴ ساعت بدون افزودن دی اکسید تیتانیوم.



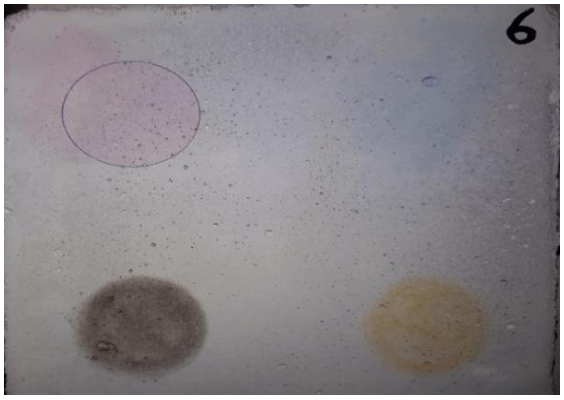
شکل۱۵ : سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین **B** (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه با ۲/۵ درصد دی اکسید تیتانیوم در شروع آزمایش.



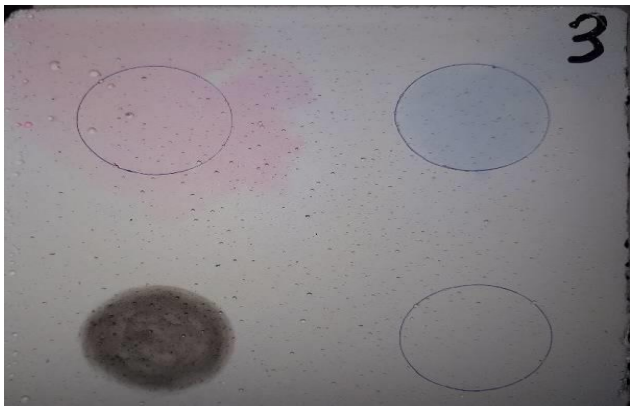
شکل۱۶ : سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین **B** (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه با ۲/۵ درصد دی اکسید تیتانیوم بعد از گذشت زمان ۲۴ ساعت.

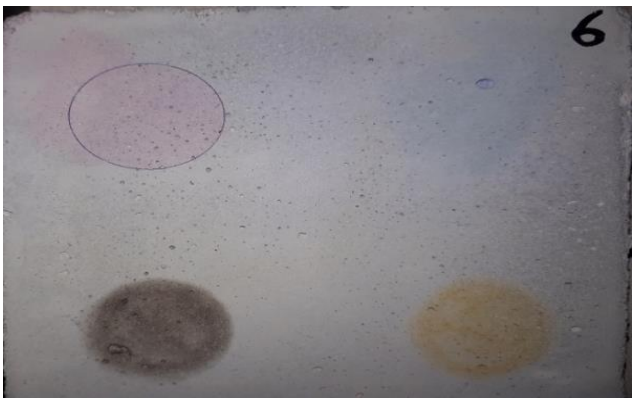


شکل۱۷ : سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، رودامین **B** (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه با ۵ درصد دی اکسید تیتانیوم در شروع آزمایش.



شکل۱۸ : 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 با ۵ درصد دی اکسید تیتانیوم بعد از گذشت زمان ۲۴ ساعت.





شکل ۱۹ : مقایسه سطح نمونه بتنی آغشته شده با ماده آلوده کننده دوده (مشکی)، با ماده آلوده کننده رودامین B (صورتی) و متیلن (آبی) برای آزمایش بر روی رنگ سطح بتن نمونه با ۵ درصد دی اکسید تیتانیوم در طرح ۳ حاوی نانوسیلیس و طرح ۶ حاوی سیلیکافیوم بعد از گذشت زمان ۲۴ ساعت.

۱۰- نتیجه گیری

در این مقاله از متیلن به عنوان ماده آلوده کننده سطح بتن با رنگ آبی و از رودامین B به عنوان ماده آلوده کننده سطح بتن با رنگ صورتی و از دوده به عنوان ماده آلوده کننده سطح بتن با رنگ مشکی استفاده شده است. بهترین نتایج از نمونه با ۵ درصد TiO2 به دست آمده است. نمونه شماره گذاری شده ۱، ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ به ترتیب NT0، NT2.5 و NT5 و SF0، SF2.5 و SF5 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 و ۶ با نام NT5 و SF5 بهترین نتیجه را از نظر کاهش رنگ آغشته شده در سطح بتن را نشان می دهد. همچنین طرح با شماره ۶ SF5 نسبت به طرح با شماره ۳ نتیجه بهتری را از نظر کاهش رنگ آغشته شده در سطح بتن را نشان می دهد. برای تاثیر استفاده TiO2 برکاهش رنگ ناشی از آلودگی های محیط زیستی برسطوح قطعات پیش ساخته بتنی، سه طرح با درصدهای صفر و ۲/۵ و ۵ درصد TiO2 به جای سیمان و ۳ درصد نانوسلیس در طرح اختلاط بررسی شد. نتایج بهتری با نمونه به مقدار ۲/۵ و ۵ درصد TiO2 در مقایسه با نمونه بدون افزودن دی اکسید تیتانیوم بدست آمد. نتایج نشان می دهد که TiO2 به همراه سیلیکافیوم و نانوسیلیس 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.

سپاسگزاری

در این قسمت نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از حمایت‌های دانشگاه آزاداسلامی واحد نور برای انجام این تحقیق تقدیر و تشکر نمایند.

مراجع

[1] F. Sanchez, K. Sobolev, "Nanotechnology in concrete–a review." *Construction and Building Materials*, 24(11): 2060-2071, 2010.

[2]. Golabchi, M. Taghizadeh, K. Soroushniya, E. (2011) "Nanotechnology in Architecture and Building Engineering". *Tehran University Press*, Second Edition.

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

[4] Qing, Z. Zenan, Z. Deyu, K. 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.

[5] Li, H. Xiao, H.G. Yuan, J. Ou, J. (2004) "Microstructure of cement mortar with nanoparticles", *Compos B Eng*, 35(2):185–9.

[6] Gaitero, J.J. Campillo, I. 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.

[7] Sobolev, K. Flores, I. Torres-Martinez, L.M. Valdez, P.L. Zarazua, E. 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.

[8]. Heidari, A. Taheri Seshenizi, M. (2013). "The Use of Varnish Nanosilica in High Resistance Self-Concrete Concrete", *2nd National Conference on Modern Materials and Structures in Civil Engineering*, Isfahan, University of Isfahan.

[9] Maheswaran, S. Bhuvaneshwari, B. Palani, G. S. Kalaiselvam, S. (2013). "An Overview on the Influence of Nano Silica in Concrete and a Research Initiative", *Research Journal of Recent Sciences*, Volume 2, Issue (ISC-2012), Pages 17-24.

[10] Kim, Jung J. Rahman, M.K. Al-Majed, A.A. Al-Zahrani, M.M. Reda Taha, M.M. (2013). "Nanosilica effects on composition and silicate polymerization in hardened cement paste cured under high temperature and pressure", *Cement and Concrete Composites*, 43: 78-85.

[11] Murata, Y. Obara, T. Takeuchi, K. (1999). "Air purifying pavement: development of photocatalytic concrete blocks", *J Adv Oxidat Technol*, 4(2):227–30.

[12] Chen, J. Poon, C.S. (2009). "Photocatalytic construction and building materials: from fundamentals to applications", *Build Environ*, 44(9):1899–906,

[13] Jayapalan, A.R. Kurtis, K.E. (2009). "Effect of nano-sized titanium dioxide on early age hydration of Portland cement 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. 267–73.

[14] Li, H. Zhang, M.H. Ou, J.P. (2006). "Abrasion resistance of concrete containing nanoparticles for pavement", *Wear*, 260(11–12):1262–6.

[15] Li, H. Zhang, M.H. Ou, J.P. (2007). "Flexural fatigue performance of concrete containing nano-particles for pavement", *Int J Fatig*, 29(7):1292–301.

[16] Lackhoff, M. Prieto, X. Nestle, N. Dehn, F. Niessner, R. (2003). "Photocatalytic activity of semiconductor-modified cement–influence of semiconductor type and cement ageing", *Appl Catal B Environ*, 43(3):205–16.

[17] Khalilzadeh Vahidi, E. Moradi, N. (2017). "Experimental study of the effect of nanoclay and fly ash on compressive strength of cement sand mortar", *Journal of Structural and Construction Engineering*, 3 Vol. 1, pp. 38-48.

[18] Roudiyan, T. Rahmani, H, Hatami, S. H. (2017). "The effect of nanoclay on durability of reinforced concrete beams under operating loads and chloride invasion", *Journal of Structural and Construction Engineering*, 6 Vol. 2, pp. 103-118.

[19] ASTM C150-07. (2007)."Standard Specification for Portland Cement", *ASTM International*, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

[20] ASTM C1240-05.(2007)."Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures", *ASTM International*, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

[21] ASTM C494-08. (2008). "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete", *ASTM International*, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

[22] 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.