Journal of Structural and Construction Engineering, 10(8), 2023, pp. 179-201

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

The Use Of Okhra Soil And Nano Aluminum Oxide In The Colorability Of Concrete And The Investigation Of Some Mechanical Properties And Wear Durability Of Concrete

Ghazaleh Ghodoumizadeh[1], Amirhossein Bazaee[2], Rozbeh Aghamejidi[3], Babak Mansouri[4]*

1- Master's Student In Civil Engineering, Structure Major, Faculty Of Civil Engineering, Islamic Azad University, Sepidan Branch, Sepidan, Iran
2- Instructor, Faculty Of Civil Engineering, Technical And Vocational University (Tvu), Tehran, Iran
3- Assistant Professor, Faculty Of Civil Engineering, Islamic Azad University, Sepidan Branch, Sepidan, Iran
4-Assistant Professor, Faculty Of Civil Engineering, Islamic Azad University, Firoozabad Branch, Meymand Center, Meymand, Iran

ABSTRACT

Recently, Colored Concrete Is Used In Many Countries For Aesthetic Purposes. This Made The Gray Color Of Ordinary Concrete Less And The Surroundings More Beautiful. Colored Concrete Is Used In The Construction Of Floors. Colored Concrete Floors Can Be Considered A Better Alternative To Old Floors. Because It Reduces Costs, Reduces Materials And Manpower, Reduces Weight And Reduces Environmental Risks. In This Research, To Make Red Concrete, Okhra Powder Was Used In The Amount Of 2.5%, 5%, 7.5% And 10% By Weight Instead Of Part Of Cement. Also, To Strengthen The Wear Resistance Of Concrete, Nano Aluminum Oxide Powder Was Used In The Amount Of 0.5% By Weight Of Cement. Next, To Reduce The Cost And Ease Of Implementation, A Coating Layer Of Mixed Okhra And Nano-Aluminum Was Used On The Concrete Surface And Its Results Were Compared. The Results Of This Research Showed That Okhra Colored Soil Will Reduce The Wear Durability Of Concrete, But Its Combination With Nano Aluminum Powder Can Significantly Increase The Wear Durability While Maintaining The Quality Of Concrete Color. Also, Creating A Colored Coating Layer On The Surface Of The Concrete Is Less Effective Compared To The Mixed Design, So That The Use Of This Method Can Reduce The Wear Resistance Of Concrete By 40%.

ARTICLE INFO

Receive Date: 07 December 2022
Revise Date: 28 August 2023
Accept Date: 06 February 2023

Keywords:
Colored Concrete
Red Concrete
Okhra
Nano Aluminum Oxide
Abrasion Resistance

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2023.375610.2986

*Corresponding author: Babak Mansoori
Email address: Babak.mansoori@iau.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir
Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

کاربرد خاک اُخرا و نانو اکسید آلومین در رنگ پذیری بتن و بررسی برخی خواص مکانیکی و دوام سایشی بتن

غزاله قدومی زاده[۱]، امیرحسین بازایی[۲]، روزبه آقامجیدی[۳]، بابک منصوری[۴*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سپیدان، سپیدان، ایران

۲-مربی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

۳-استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سپیدان، سپیدان، ایران

۴-استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد مرکز میمند، میمند، ایران

چکیده

اخیراً بتن رنگی در بسیاری از کشورها به منظور دستیابی به اهدافی همچون زیبایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امر سبب گردیده تا از غالب بودن رنگ خاکستری بتن‌های معمولی کاسته شده و روحی تازه به فضا القاء شود. بتن رنگی غالباً در ساخت کف پوش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. کفپوش‌های بتنی رنگی می‌تواند جایگزین بهتری برای کف سازی‌های سنتی و جلا زده بحساب آیند زیرا باعث کاهش هزینه‌های خرید، کاهش مصالح و نیروی انسانی، کاهش وزن و کاهش خطرات زیست محیطی ناشی از تولید یا تخریب کاشی و سرامیک‌های ساخته شده می‌گردد. در این تحقیق برای تغییر رنگ بتن به قرمز، از پودر اُخرا در نسبت‌های وزنی ۲/۵ ٪، ۵٪، ۷/۵ ٪ و ۱۰٪ به جای بخشی از سیمان استفاده گردید. همچنین برای تقویت مقاومت سایشی بتن رنگی از نانو اکسید آلومین به میزان ۰/۵ ٪ وزنی سیمان استفاده گردید. در ادامه برای کاهش هزینه و سهولت در اجرا، از یک لایه‌ی پوششی مخلوط خاک اُخرا و نانو اکسید آلومین روی سطح بتن استفاده شد و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که خاک رنگی اُخرا باعث کاهش دوام سایشی بتن خواهد شد اما ترکیب آن با پودر نانو آلومین بطور قابل توجهی می‌تواند ضمن حفظ کیفیت رنگ بتن، میزان دوام سایشی را افزایش دهد. همچنین ایجاد لایه پوششی رنگی روی سطح بتن در مقایسه با طرح مخلوط ترکیبی از اثرگذاری کمتری برخوردار است بطوریکه استفاده از این روش می‌تواند تا ۴۰٪ مقاومت سایشی بتن را کاهش دهد.

کلمات کلیدی: بتن رنگی، بتن قرمز، اُخرا، نانو اکسید آلومین، مقاومت سایشی.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://doi.org/10.22065/jsce.2023.375610.2986
۱۴۰۱/۰۹/۱۶	۱۴۰۲/۱۱/۰۶	۱۴۰۱/۱۱/۱۷	۱۴۰۱/۱۱/۱۷	۱۴۰۲/۰۸/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2023.375610.2986

***نویسنده مسئول:** بابک منصوری

پست الکترونیکی: Babak.mansoori@iau.ac.ir

۱- مقدمه

بتن از جمله مصالحی است که در احداث انواع بناها همچون انواع ساختمان، معابر و سازه‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱]. امروزه بتن رنگی در بسیاری از مناطق به منظور دستیابی به اهدافی همچون زیبایی و تنوع رنگ محیط مرسوم شده است. این امر سبب گردیده تا از غالب بودن رنگ خاکستری بتن های معمولی کاسته شود و حس طراوت و شادابی محیط افزایش یابد. بتن رنگی غالباً در کفپوش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتظار می‌رود کفپوش‌های ساخته شده از بتن رنگی دارای رنگ ثابتی بوده و به آسانی تغییر رنگ ندهند. اجرای بتن رنگی در مبلمان شهری یا محوطه سازی بسیار کاربردی می‌باشد. همچنین بتن رنگی به صورت بتن اکسپوز رنگی، جداول خیابان‌ها، کفسازی مسیر عابر پیاده یا مسیر دوچرخه سواری، کفسازی استادیوم‌های ورزشی، کارخانجات و انبارها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از این روش بجای سایر روش‌های کفسازی نظیر، سنگ فرش، موزاییک، آسفالت و غیره بدلیل کاهش هزینه، اجرای سریع و کاهش خطرات زیست محیطی، اهمیت زیادی دارد[۲].

برای ساخت کفپوش‌های بتنی رنگی روش‌های مختلفی وجود دارد که شامل استفاده از پودر رنگ‌های شیمیایی، اکسید فلزات، خاک‌های رنگی، پوشش‌های رنگ ساز و کفپوش‌های رنگی پیش ساخته می‌باشند. عمدتاً رنگین کردن بتن به دو طریق انجام می‌شود که به قبل از بتن ریزی (ترکیب رنگدانه به اختلاط بتن) و بعد از بتن ریزی (استفاده از پوشش رنگی روی سطح بتن) تقسیم بندی می‌شود. برای اضافه کردن رنگ به ساختار بتن می‌توان از پیگمنت‌های رنگی یا رنگدانه‌ها استفاده کرد. استفاده از این روش باعث پخش رنگ متناسب و ایجاد ظاهری زیبا می‌گردد اما پایداری و دوام بتن بخصوص در مقابل عوامل شیمیایی و همچنین امواج فرابنفش[1] ساطع شده از نور خورشید باید مورد بررسی قرار گیرد[۳]. از دیگر مرسومات، استفاده از سیمان رنگی می‌باشد که بیشتر جهت مقاصد تزئینی و معماری به کار می‌رود. همچنین بعد از بتن ریزی، می‌توان سطح بتن را به رویه رنگی تبدیل کرد. اینکار با استفاده از رنگ آمیزی انجام می‌شود. اینکه رنگ بتن دراین حالت چگونه شکل می‌گیرد به پارامترهای مختلفی مانند تخلخل بتن، ترکیب شیمیایی، سن، آب و هوا و طرح اختلاط بستگی دارد. اما مشکل این روش این است که رنگ، نهایتاً پوسته پوسته شده و از سطح بتن جدا می‌شود. بنابراین لازم است که هر چند سال کفپوش بتنی مجدداً رنگ آمیزی شود. از طرفی رنگ آمیزی سطح بتن در محیط‌های مرطوب (به دلیل وجود رطوبت در سطح) با مشکل مواجه خواهد شد. البته استفاده از رنگ لاتکس اپوکسی این مزیت را دارد که سطح بتن را آب بند کرده و بعنوان یک لایه محافظ در برابر چربی و روغن عمل کند. مواد رنگده این کفپوش‌ها عمدتاً بصورت شیمیایی می‌باشد[۴]. اما به دلیل هزینه بالایی که سالانه صرف تعمیرات و بازسازی و نگهداری آن می‌شود استفاده از آن در مساحت محدود توجیه اقتصادی خواهد داشت. در کل راه های رنگ آمیزی شده تحت سایش عبور و مرور، باران های اسیدی، اشعه های ساطع شده از خورشید، تغییرات دمایی یا فصلی و غیره تحت فرسایش شدید قرار گرفته و عمر بسیار کمی دارند[۵].

روش دیگر استفاده از رنگدانه‌های معدنی یا شیمیایی با ترکیبات مختلف می‌باشد. این مواد علاوه بر رنگ‌های دلخواه با طیف وسیع از تنوع باعث تغییر در خصوصیات مکانیکی بتن خواهند شد. در بسیاری از موارد استفاده از بتن رنگی بسیار ارزان‌تر و مناسب‌تر از کاشی یا سنگ می‌باشد. ممکن است رنگ‌های تولید شده توسط پیگمنت‌ها یا رنگدانه‌ها در ابتدا ایجاد هزینه نمایند اما در مقابل، هزینه‌های بازدید دوره‌ای، نگهداری، پوشش کاری، نقاشی و پرداختکاری مجدد را کاهش می‌دهند که در نتیجه استفاده از آن‌ها امری اقتصادی به شمار می‌آید[۶]. رنگ دانه‌های معدنی در مقایسه با رنگ دانه‌های شیمیایی بسیار ارزان‌تر، در دسترس‌تر و فرآوری آن نیازی به دانش یا تکنولوژی خاصی ندارد. از طرفی رنگ‌دانه‌های معدنی عمدتاً سمی نیستند و استفاده از آن ایجاد آلودگی مستقیم یا غیر مستقیم برای محیط زیست نخواهد داشت. پیگمنت‌های معدنی یا طبیعی معمولاً حاوی اکسید فلزات هستند و عمدتاً رنگ لطیف‌تر و ماندگارتری را در بتن ایجاد می‌کنند. اما رنگدانه‌های شیمیایی، رنگی براق‌تر و چشم‌گیرتر به بتن می‌دهند، ولی دوام آن‌ها کمتر بوده و با گذر زمان به تدریج از بین می‌روند. تولید صنعتی پودر رنگ شیمیایی در بتن بسیار پیچیده می‌باشد و مستلزم تکنولوژی خاصی می‌باشد. بنابراین رنگدانه‌های شیمیایی یا صنعتی عمدتاً وارداتی هستند که موجب برون رفت ارز در کشور خواهد شد. از طرفی سالانه چندین هزار تُن از انواع خاک‌های رنگی کشور ایران به کشورهایی مانند امارات یا چین جهت بکارگیری در صنایع مختلف صادر می‌شود که نوعی خام فروشی محسوب می-

[1] UV

شود. در حالیکه در استان‌های زنجان، کردستان، کرمان، یزد، هرمزگان و جزایر جنوبی معادن و منابع غنی از انواع مواد آلی و معدنی رنگی وجود دارند که با فرآوری و تبدیل آن به کالایی منحصر بفرد می‌توان محصول آن را صادر کرد و رونق اقتصادی و ارز آوری ایجاد کرد[۶,۵,۲].

علرغم اینکه استفاده از بتن رنگی در کفسازی به نسبت سایر مصالح، مزایای بیشتری دارد اما یکی از محدودیت‌های استفاده از بتن، دوام سایشی نامطلوب آن است. بطوریکه در سازه‌های هیدرولیکی، سایش ذرات جامدی که همراه سیال حرکت می‌کنند به فرسایش بتن منتهی می‌شود و یا کف پوش‌های بتنی با گذشت زمان در اثر تردد و اصطکاک نیز مستهلک می‌شوند که در آن صورت ترمیم یا بازسازی آن چالش بزرگی خواهد بود و بعضاً سبب برهم خوردن رنگ یا دو رنگ شدن سطح بتن رنگی می‌شود. تهیه بتن مقاوم در برابر سایش و اجرای بتن برای کفسازی محل‌های پر تردد، همواره معضلی پیش روی مجریان بوده است. این موضوع به خصوص در انبارها و کارخانجات صنعتی که عبور و مرور بالا و سنگین، مانند لیفتراک و کامیون و تریلی وجود دارد به خوبی مشهود است. بتن کف که تحت بارهای زیاد قرار دارد، در صورت عدم پیش بینی در هنگام ساخت و اجرا، قطعاً به مرور زمان دچار خرابی‌های سطحی و عمقی بسیاری خواهد شد که ترمیم و بازسازی آن پس از بهره برداری، هزینه‌های سنگینی را در بر خواهد داشت[۱].

رنگ قرمز یکی از سه رنگ اصلی در چرخه رنگ شناسی است. در معماری، رنگ قرمز رنگی گرم محسوب می‌شود و باعث جلب توجه خواهد شد. به همین خاطر استفاده از این رنگ در اماکن و ساختمان های تجاری بسیار مرسوم است. قرمز انواع مختلفی دارد. در روانشناسی رنگ، تاکید شده است که رنگ قرمز نشانه خطر است. بطور کلی رنگ قرمز از دسته رنگ‌هایی است که در راه‌های پر تردد از آن به عنوان هشدار دهنده استفاده می‌شود. این رنگ نمایش دهنده خطر و بعضاً برای ایجاد جلب توجه استفاده می‌شود. استفاده از این رنگ اگر به طرز صحیحی استفاده نشود، باعث ایجاد هرج و مرج شده و به دیکر المان‌ها اجازه نمایش نمی‌دهد. بنابراین رنگ قرمز با طیف‌ها و شدت رنگ مختلف می‌تواند در موارد متنوعی مورد استفاده قرار گیرد[۱۵].

شکل ۱: استفاده از رنگ قرمز در راهسازی و گذر عبوری [۱۰,۹]

اخیراً با توجه به توسعه فناوری نانو و استفاده از نانو مواد در تکنولوژی بتن و با توجه به خصوصیاتی که این مواد می‌توانند در بتن ایجاد کنند، استفاده از آن در تولید بتن رواج یافته. از جمله دلایل استفاده از نانو مواد در بتن را می‌توان به مسائل زیست محیطی، ارتقای کیفیت و نیاز به بتن‌های خاص برای شرایط ویژه نام برد. نانو اکسید آلومین با نماد شیمیایی Al_2O_3 یکی از مواد سرامیکی است که دارای کاربردهای متنوعی در زمینه‌های مختلف می‌باشد. آلومین از خانواده ترکیبات غیرآلی است و با نام‌های تجاری متنوعی مانند آلومین، آلومینا یا کوراندوم[۲] شناخته می‌شود. استفاده از آلومین در بتن باعث تشکیل نانو کریستال خواهد شد که مشخصات مکانیکی بتن را ارتقا می‌بخشد. سختی آلومین در رده بندی موس[۳]، ۹ می‌باشد که پس از الماس، در رتبه‌ی دوم مواد سخت قرار دارد. سختی بالای آلومین باعث شده تا این ماده برای کاربردهای ساینده و ابزارهای برش مورد استفاده قرار گیرد. همچنین از آلومین به عنوان ماده آسیاب کننده در

[2] Corundum
[3] Mohs

محدوده وسیعی از فرآیندهای کاهش اندازه ذرات استفاده می‌شود[۱و۵]. یکی از شیوه‌های نوین افزایش دوام و مقاومت بتن در برابر سایش استفاده از نانو آلومین در طرح اختلاط بتن می‌باشد.

ساخت بتن رنگی برای اولین بار در دهه ۵۰ میلادی با اضافه نمودن اکسید آهن مصنوعی به مخلوط بتن خاکستری انجام شد[۲]. برخی از تحقیق‌هایی که برای ساخت بتن‌های رنگی در سراسر دنیا انجام گرفته عبارتند است از:

(لی[۴] و همکاران در سال ۲۰۲۱، مطالعات خود را بر روی تأثیر پیگمنت‌های اکسید آهن بر خصوصیات بلوک‌های بتنی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که تا ۴٪ اضافه نمودن پودر اکسید آهن به جای سیمان باعث کسب مقاومت فشاری ۹۰ درصدی بتن رنگی نسبت به نمونه بدون افزودنی خواهد شد[۱۳]. لوپز[۵] و همکاران در سال ۲۰۲۰، به بررسی پایداری رنگ در ملات و بتن پرداختند. نتایج این پژوهش اثبات کرد که از دست دادن رنگ در محیط‌های طبیعی به مدت کوتاهی و ثبات رنگ عالی در مناطقی که تحت شرایط دما و رطوبت کنترل‌شده عمل می‌کند پایدار است[۱۴]. سیواچدامبارام[۶] و همکاران در سال ۲۰۱۹، به بررسی ویژگی‌های رنگی و سمی‌پیگمنت متاکائولینیت و هماتیت برای بتن رنگی پرداختند. نتیجه این تحقیق به مناسب بودن این ماده به عنوان رنگدانه‌ای برای بتن رنگی و یک استفاده بالقوه برای حجم زیادی از پسماند اکسید آهن جمع آوری شده از تصفیه خانه‌های معدن ارائه می‌دهد[۱۵]. لوینسون[۷] و سایر همکاران در آمریکا در سال ۲۰۱۸، به بررسی و تهیه تولید کفپوش‌های بتنی رنگی جهت جایگزین نمودن آسفالت پشت بام ساختمان‌ها پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بازتاب نور خورشید در پوشش‌های قهوه‌ای تیره تا سبز روشن از ۰/۲۶ تا ۰/۵۷٪ متغیر می‌باشد[۱۶]. قلعه‌نویی و همکاران در سال ۲۰۱۷ میلادی، به بررسی تولید بتن خود متراکم[۸] با استفاده از بوکسیت[۹] (پسماند ناشی از پالایشگاه‌ها)[۱۰] پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از بوکسیت اثر قابل توجهی بر عملکرد بتن نمی‌گذارد. همچنین استفاده از مقادیر کمتر از ۵ ٪ بوکسیت جایگزین سیمان، علاوه برا افزایش دوام در برابر حمله سولفات نیز منجر به کاهش وزن بتن خواهد شد. در نهایت استفاده از بوکسیت می‌تواند برای ساخت بتن سبز رنگ با خصوصیات مشابه بتن معمولی با سیمان سفید موثر باشد[۱۸]. حیدری و همکاران در سال ۱۳۹۵ به مروری بر انواع معایب و مزایای بتن‌های رنگی پرداختند. در این تحقیق توصیه شده که اضافه نمودن پودر رنگدانه به میزان ۱۰٪ وزنی سیمان، بهترین نتیجه را در بر خواهد داشت. همچنین برای رنگ پذیری بهتر و یکدست شدن رنگ در بتن از سیمان سفید و برای دستیابی به مقاومت بهتر و جلوگیری از ترک‌های سطحی از فوق روان کننده استفاده گردد [۱۹]. ساقی و همکاران در سال ۱۳۹۳ به بررسی اثر رنگدانه‌های پودری بر خصوصیات بتن رنگی پرداختند. نتایج این تحقیق اُفت ۱۰٪ مقاومت بتن در سن ۷ روز و اُفت ۱۵٪ در سن ۲۸ روز نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهد[۲۰]. شکیب و همکاران در سال ۱۳۹۳ به مطالعه موردی در خصوص ساخت بتن خودمتراکم رنگی برای المان یادواره شهدای گمنام پرداختند. نتایج این تحقیق اشاره به افزایش مقاومت فشاری بتن رنگی به میزان ۲۰ ٪ به دلیل وجود اکسید آهن در ساختار پودر پیگمنت زرد را در سنین اولیه نشان می‌دهد. همچنین از نتایج مهم این تحقیق دلالت بر افزایش مقاومت نمونه‌هایی دارد که در آن طیف بیشتری از پیگمنت زرد در ساختار بتن استفاده گردیده است[۲۱]. امامی و همکاران در سال ۱۳۹۰ به بررسی تاثیر رنگدانه‌های پودری بر خصوصیات مکانیکی، دوام و زیباشناسی بتن‌های رنگی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان از اُفت مقاومت فشاری بتن با افزودن مقادیر بیشتر پودر رنگدانه جایگزین سیمان را نشان می‌دهد. طبق نتایج این تحقیق استفاده از پودر رنگی به نسبت بیش از ۲٪ وزنی جایگزین سیمان در بتن توصیه نمی‌شود[۲۲]. نظری و همکاران در تحقیقات دیگری تأثیر استفاده از سیمان آمیخته به نانو اکسید آلومین را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن می‌باشد که مقاومت فشاری با افزایش نانو اکسید آلومین ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. البته این افزایش در سنین بالا کمتر می‌باشد ولی در سنین پایین افزایش مقاومت فشاری بیشتر می‌باشد که این حاکی از تأثیر زود سفت شدن خمیر سیمان در بتن و افزایش گیرایش اولیه بتن می‌باشد[۲۳]. در تحقیقات دیگری تأثیر نانو اکسید

[4] Hyun Soo Lee
[5] Anahí López
[6] Sivachidambaram Sadasivam
[7] Ronnen Levinson
[8] Scc
[9] Bauxite
[۱۰] بوکسید زباله‌ای سمی، غنی از رنگدانه‌های زرد است که به دلیل قلیایی بودن زیاد، محل دفن زباله و محیط اطراف را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

آلومین بر بتن خود متراکم برای سنین مختلف بررسی شده است که نتایج حاکی از کاهش مقاومت فشاری بتن خودمتراکم می‌باشد. البته تنها برای مقدار ۲٪ نانو اکسید آلومین مقاومت در سنین اولیه بیشتر از نمونه کنترلی بوده است[۲۴]. یوسفی‌نژاد و همکاران در سال ۱۴۰۰ به بررسی کاربرد نانواکسید آلومین در بهبود برخی خواص مکانیکی و افزایش مقاومت در برابر سایش بتن پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن ۰/۵ ٪ پودر نانو اکسید آلومین در بتن می‌تواند ضمن بهبود نسبی برخی از خواص مکانیکی مورد آزمایش، مقاومت سایشی بتن را نیز تا ۷۷ ٪ افزایش دهد. همچنین نتایج تست سایش نشان داد که ایجاد لایه نانو اکسید آلومین بر روی سطح بتن با وجود بهبود اثر بخشی با افزایش تعداد لایه پوشش، در مقایسه با طرح مخلوط ترکیبی از اثرگذاری کمتری برخوردار است[۱]. سارگونان[11] و همکاران در سال ۲۰۲۲ میلادی به بررسی آزمایشگاهی مشخصات مکانیکی بتن با استفاده از نانو اکسید آلومین و نانو رس پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن نانو اکسید آلومین به میزان ۱٪ و نانو رس به میزان ۲٪ و ترکیب هر دو به میزان ۱/۵٪ باعث خواهد شد تا بتن به بیشترین مقاومت فشاری و کششی دست یابد. همچنین استفاده از نانو اکسید آلومین و نانو رس، خصوصیات مکانیکی بتن را تا حدود ۳۰٪ و به طور موثر بهبود می‌دهد[۲۹]. قدیم تکمه داش[12] و همکاران در سال ۱۳۹۸ به بررسی برخی از خصوصیات دوام رویه‌های بتنی حاوی نانو مواد پرداختند. نتایج نشانگر بهبود مشخصه‌های رویه بتنی حاوی نانو مواد در مقایسه با نمونه کنترل است. در نمونه‌های دارای نانو آلومین به میزان ۰/۵٪ وزنی سیمان، مقاومت در برابر نفوذ پذیری به میزان ۸۴٪ افزایش یافت. همچنین مقاومت در برابر سایش برای این نمونه به میزان ۳۰٪ و مقاومت فشاری نمونه مذکور را به میزان ۱۸٪ افزایش داد[۳۱]. کالوندی[13] و همکاران در سال ۱۳۹۲ شمسی به بررسی برخی خواص مهندسی بتن معمولی حاوی نانو اکسید آلومین و نانو سیلیس پرداختند. نتایج نشان داد که نانو اکسید آلومین نیز با همگن سازی مناسب، به عنوان پرکننده برای بهبود ریزساختار بتن و بهبود دهنده واکنش پوزولانی عمل می‌کند. همچنین با افزایش درصد نانو ذرات سیلیس و آلومین مقاومت فشاری و کششی در کلیه نمونه‌ها افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش درصد نانو ذرات، جذب آب و نفوذپذیری نمونه‌ها نیز کاهش می‌یابد.[۳۲].

در تحقیق حاضر با هدف ساخت کفپوش‌های بتنی قرمز رنگ در طیف‌های مختلف رنگی، از خاک معدنی اُخرا در نسبت‌های مختلف وزنی ۲/۵ ٪، ۵٪، ۷/۵ ٪ و ۱۰٪ استفاده شد. همچنین جهت تقویت مقاومت سایشی نمونه‌ها از نانو اکسید آلومین استفاده گردید. در ادامه جهت کاهش هزینه‌های ساخت و اجرای راحت‌تر از پوشش لایه‌ی رنگی به همراه نانو اکسید آلومین در بتن استفاده شد و نتایج آن با سایر نمونه‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به پیشینیه موضوع می‌توان دریافت که عمدتاً دوز مصرفی نانو اکسید آلومین در بتن حدود ۰/۵ ٪ وزنی سیمان است. البته در بعضی از مراجع به دوز مصرفی بالای ۱٪ و عمده تحقیقات نسبت وزنی کمتر از ۱٪ را توصیه کرده‌اند. بنابراین بهتر است نوع و میزان استفاده از این ماده در بتن بر اساس آزمایش یا توصیه کارخانه سازنده صورت گیرد زیرا با توجه به نوع و ویژگی محصول، روش ساخت، میزان خلوص و پایه شیمیایی آن می‌تواند میزان اثرگذاری آن تغییر یابد.

در اکثر کشورها، استانداردهای مختلفی برای ساخت بتن‌های رنگی وجود دارد که یکی از جامع‌ترین آن‌ها استاندارد ASTM-C979 می‌باشد. برخی از مهم‌ترین ضوابط این استاندارد عبارتند از[۴۲]:

۱. مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن رنگی نباید کمتر از ۹۰٪ مقاومت نمونه شاهد (بدون افزودنی رنگی) باشد.
۲. حداکثر میزان استفاده از رنگدانه در بتن، باید برابر یا کمتر از ۱۰٪ وزنی جرم سیمان باشد.
۳. طرح اختلاط بتن رنگی می‌تواند مشابه با بتن معمولی و بر اساس روش ACI-211 باشد.
۴. برای افزایش کیفیت رنگ بتن، استفاده از سیمان سفید توصیه شده است.
۵. سنگدانه‌های مورد استفاده باید منطبق با استاندارد ASTM-C33 باشند. همچنین بهتر است از ماسه سیلیسی تمیز استفاده شود.
۶. محدوده اسلامپ بتن رنگی ۱۳±۱۰۰ میلیمتر باشد.
۷. حداقل عیار سیمان مصرفی ۳۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب باشد.

[11] Karlos Sargunan
[12] Farzin Ghadim Takmeh Dash
[13] Mohsen Kalvandi

۸. برای افزایش کیفیت رنگ پذیری بتن، توصیه شده تا از سنگدانه کاملاً خشک استفاده گردد و میزان جذب آب سنگدانه در محاسبات طرح اختلاط لحاظ گردد.

۹. مقدار آب مورد نیاز برای روانی بتن رنگی، از ۱۱۰٪ مقدار آب نمونه شاهد (بدون افزودنی رنگی) بیشتر نشود.

۲- مواد و مصالح

۲-۱- شن

درشت دانه مورد استفاده جهت ساخت بتن مورد آزمایش دراین تحقیق، مخلوط نخودی و بادامی با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر می‌باشد که از معدن مرادی (دوکوهک) تهیه گردیده است. وزن مخصوص در حالت خشک نیز ۱۳۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب می‌باشد. میزان جذب آب درشت دانه نیز برابر با ۲/۳ ٪ می‌باشد.

جدول ۱ مشخصات شن مصرفی مورد استفاده در ساخت بتن

نوع سنگدانه	حداکثر قطر سنگدانه	میزان جذب آب	وزن مخصوص خشک
	mm	%	kg/m³
بادامی و نخودی	۱۹	۲/۳	۱۳۵۰

۲-۲- ماسه

ماسه مورد استفاده برای ساخت بتن دراین آزمایش از نوع ماسه شکسته کوهی معدن مرادی (دوکوهک) مورد استفاده قرار گرفته. ماسه مذکور دارای وزن مخصوص خشک ۱۶۵۰ کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد. میزان جذب آب ماسه مطابق با استاندارد ASTM-C128 نیز ۱/۵۷ ٪ می‌باشد. در این آزمایش، حداکثر اندازه دانه بندی ماسه بین ۰ تا ۴/۷۵ میلیمتر می‌باشد. مدول نرمی ماسه استفاده شده در این تحقیق به استناد از استاندارد ASTM-C136 نیز ۲/۹ می‌باشد.

جدول ۲ مشخصات ماسه مصرفی مورد استفاده در ساخت بتن

نوع سنگدانه	حداکثر قطر سنگدانه	مدول نرمی	وزن مخصوص خشک	جذب آب
	mm		kg/m³	%
ماسه	۴/۷۵	۲/۹	۱۶۵۰	۱/۵۷

۲-۳- سیمان سفید

سیمان سفید همان سیمان معمولی (خاکستری) است با این تفاوت که در فرآیند ساخت و تولید سیمان سفید، آهن و منیزیم به میزان کمتر از هشت درصد کاهش یافته و درنتیجه به رنگ سفید متمایل می‌شود. همچنین برای ساخت این سیمان از سنگ گچ، سنگ آهک، سنگ‌هایی با رنگدانه سفید مانند سنگ‌های کائولین، وست، فلدسپات استفاده می‌شود. برای افزایش کیفیت رنگ پذیری بتن در این تحقیق از سیمان سفید پرتلند نی‌ریز استفاده گردیده است. آنالیز شیمیایی این سیمان در جدول شماره ۳ که منطبق بر شناسه فنی شرکت سازنده‌این محصول می‌باشد ضمیمه شده است[۴۳].

جدول ۳ ساختار شیمیایی سیمان سفید نی‌ریز [۴۳]

SiO_2	AL_2O_3	FE_2O_3	MgO	SO_3	CaO	K_2O	Na_2O	IR	LOI
٪ ۲۲/۷	٪ ۴/۱	٪ ۶/۳	٪ ۰/۹	٪ ۲/۷	٪ ۶۶/۷	٪ ۰/۵	٪ ۰/۵	٪ ۰/۷	٪ ۳

۴-۲- خاک اُخرا

خاک اُخرا یا اکسید آهن قرمز، پودری قرمز تا قهوه‌ای تیره با رنگ دهی بالا و عملکرد پایدار می‌باشد. این ماده از هوازدگی سنگ آهن در طبیعت حاصل می‌شود و قرمزی آن به دلیل وجود اکسید آهن موجود در آن می‌باشد. این محصول در واکنش با آب رنگدهی بالایی دارد و جزء پرمصرف‌ترین رنگدانه‌ی صنعتی است که برای تولید ضد زنگ در صنایع رنگ سازی، کاشی، لوازم آرایشی و غیره مصرف می-گردد. اُخرا رنگدانه‌ای بی بو و غیر سمی است که در برابر موادی مانند اسید، آهک و قلیایی‌ها مقاومت مناسبی دارد. همچنین این ماده دارای خاصیت ضد زنگ و مقاوم در برابر اشعه UV می‌باشد. بیش از ۸۵٪ ساختار شیمیایی این ماده را اکسید سوم آهن تشکیل داده. اُخرا تا دمای نزدیک ۸۰۰ درجه سانتی گراد تغییر رنگ ندارد. اُخرا در اسید هیدروکلریک به طور کامل حل می‌شود و در اسید سولفوریک، حلالیت نسبی دارد. میزان PH اُخرا حدود ۴ تا ۸ اعلام شده است[۴۵]. برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی این ماده مطابق جدول شماره ۴ و ۵ می‌باشد.

جدول ۴ خصوصیات شیمیایی خاک اُخرا [۴۵]

SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	SiO_2	Fe_2O_3
٪ ۱/۸	٪ ۸٦	٪ ۷/٤	٪ ۰/٦	٪ ۲/۲	٪ ۱/۸	٪ ۸٦

جدول ۵ خصوصیات فیزیکی خاک اُخرا [۴۵]

وزن مخصوص	نماد شیمیایی	اندازه دانه	سختی	میزان جذب آب
gr / cm^2	µm	µm		٪
۴/۱	Fe_2O_3	< ۲۵	۵ - ۴/۵	۰/۳۰

شکل ۲ خاک اُخرا مورد استفاده جهت ساخت بتن رنگی قرمز

۵-۲- آبر روان کننده

بدلیل آنکه خاک‌های رنگی معمولاً بصورت پودر در بتن استفاده می‌شوند، باید همراه آب به کار روند و در آب حل شوند. از این رو استفاده از خاک‌های رنگی می‌تواند موجب کاهش روانی بتن گردند[۸,۵]. همچنین در صورتیکه عناصر ساخت بتن به خوبی میکس نگردند، خاک‌های رنگی ته نشین شده و باعث اخلال در نوع رنگ پذیری خواهند شد و در نتیجه شدت رنگ حاصله در نقاط مختلف، متفاوت خواهد بود. بنابراین در ساخت بتن با خاک‌های رنگی معدنی استفاده از افزودنی‌های کاهنده آب مانند انواع فوق روان کننده جهت حصول روانی، حفظ کیفیت رنگ پذیری و شفافیت در نوع رنگ ضرورت دارد[۹,۴,۱].در مطالعات گذشته، لزوم استفاده از روان کننده برای ساخت بتن رنگی بدلیل حفظ کیفیت و اثر مطلوب پخش رنگ و پایداری آن در مدت زمان طولانی مورد بررسی و نتیجه گیری قرار گرفته[۵-۱]. در این تحقیق برای دستیابی به پخش یکنواخت رنگدانه در بتن و حفظ روانی آن از آبر روان کننده SP400 پایه پلی‌کربوکسیلات، استفاده شد. این ماده جزء جدیدترین نسل آبر روان کننده به حساب می‌آید که با داشتن زنجیره‌های بلند جانبی در ساختار مولکولی علاوه بر دافعه شدید ذرات سیمان و پخش و یکنواخت کردن آن درون بتن با ایجاد ممانعت فضایی بین ذرات مانع از نزدیک شدن و چسبیدن دوباره ذرات شده و بیشترین اثر روان کنندگی را ایجاد می‌کند[۴۴].

جدول ۶ خصوصیات فیزیکی ابر روان کننده SP400 [۴۴]

رنگ	وزن مخصوص	استاندارد	یون کلر	PH	حالت فیزیکی	مقدار جایگزینی
بی رنگ	۱/۱ gr/cm^3	ASTM C1017	کمتر از ۰/۱ درصد	۵/۵۸	مایع	۰/۱ تا ۱ ٪ وزن سیمان

۶-۲- نانو اکسید آلومین

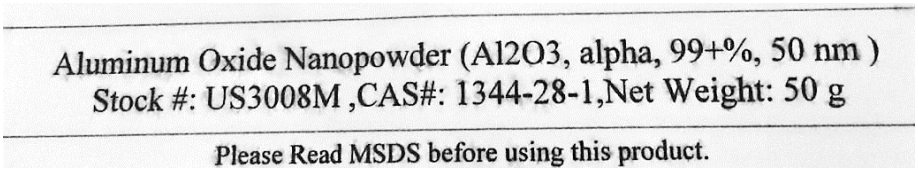
نانو اکسید آلومین به کار رفته در این آزمایش، به صورت پودر و دارای خلوص بیش از ۹۹٪ می‌باشد. این ماده ساختار کروی کریستالی آلفا دارد و حداکثر اندازه آن ۵۰ نانومتر می‌باشد[۴۶]. این ماده آب دوست است که جهت حفظ کارایی یا اسلامپ بتن از فوق روان کننده استفاده شده است. سایر مشخصات فیزیکی و شیمیایی این محصول مطابق با جدول شماره ۷ و ۸ است.

جدول ۷ خصوصیات شیمیایی نانو اکسید آلومین مورد استفاده [۴۶]

AL_2O_3	B_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	SiO_2
٪ ۹۹/۹۰	٪ ۰/۰۱	٪ ۰/۰۱	٪ ۰/۰۱	٪ ۰/۰۲	٪ ۰/۰۳	٪ ۰/۰۲

جدول ۸ خصوصیات فیزیکی نانو اکسید آلومین مورد استفاده [۴۶]

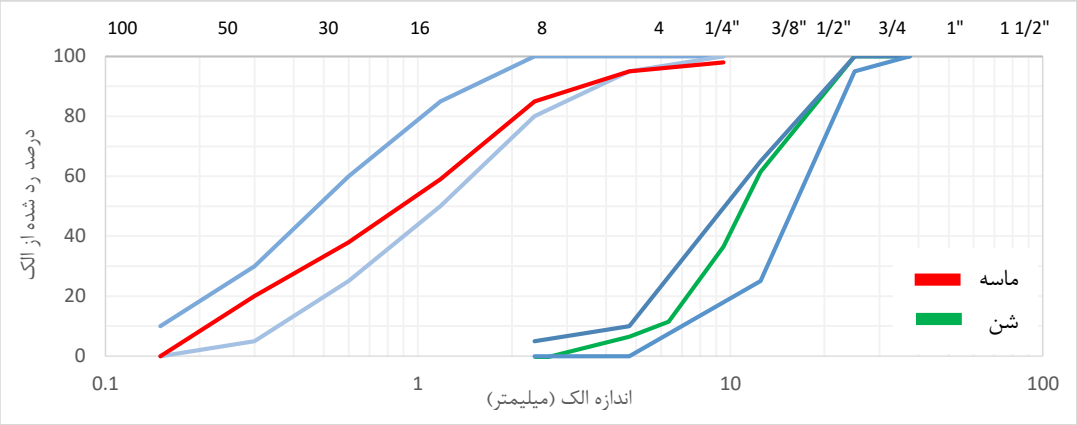
خلوص ماده	قطر دانه	مساحت سطح ویژه	ساختار	رنگ ظاهری
%	nm	m^2/gr		
۹۹	۵۰	۱۹	آلفا	سفید



شکل ۳ برچسب محصول مشخصات نانو آلومین مورد استفاده

۳- دانه بندی

در آزمایش دانه بندی سنگدانه‌ها، مصالح سنگی باایجاد لرزه توسط الک‌های مختلف شماره بندی شده عبور داده می‌شوند و اندازه دانه‌های روی هر الک و مقدار آن مشخص می‌گردد. البته قابل ذکر است که برای دانه بندی مصالح درشت دانه یا شن از دستگاه یکنواخت کننده دانه استفاده می‌شود. مطابق با استاندارد ASTM-C136 دانه بندی از الک‌های سیمی‌استاندارد با سوراخ‌های مربعی استفاده گردید که در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. با محاسبه مقادیر درصد تجمعی میزان عبور کرده از هر الک که بر اساس شماره بندی استاندارد روی یکدیگر قرار گرفته اند، می‌توان این مقادیر را با منحنی استاندارد ASTM-C33 مقایسه نمود[۳۸]. در منحنی دانه بندی سنگدانه‌ها، محور عمودی نمایش دهنده درصد تجمعی عبور داده شده از هر الک و محور افقی بیانگر اندازه یا شماره الک می‌باشد.



شکل ۴ دانه بندی شن و ماسه مورد استفاده جهت ساخت بتن و انطباق آن با محدوده استاندارد ASTM-C33

۴- برنامه آزمایشگاهی

برنامه آزمایشگاهی در این تحقیق شامل ساخت ۴۵ نمونه بتن رنگی قرمز در طیف‌های رنگی مختلف می‌باشد. برای این منظور ۲۰ نمونه مکعبی ۱۵x۱۵x۱۵ سانتیمتری برای تعیین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه، ۵ نمونه مکعبی ۱۰x۱۰x۱۰ سانتیمتری برای تعیین جذب آب اولیه (۳۰ دقیقه) و ثانویه (۷۲ساعت) و نیز ۲۰ نمونه مکعب مستطیلی ۱۰x۱۰x۱۰ سانتیمتری در سنین ۷ و ۲۸ روزه جهت تعیین دوام سایشی بتن ساخته شد. برای آزمایش مقاومت فشاری برای هر طرح دو آزمونه ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت و میانگین آن، بعنوان نتیجه نهایی در نظر گرفته شد. برای آزمایش مقاومت سایشی، هر نمونه به دو نیم تقسیم شده (بریده شده) و سطح رویه و زیرین آن تحت عمل سایش قرار گرفتند و در نهایت میانگین وزن ساییده شده بعنوان نتیجه نهایی در نظر گرفته شد. همچنین جهت کاهش هزینه ساخت و اجرای راحت‌تر یک نمونه مکعبی در سن ۷ و ۲۸ روزه با یک لایه ترکیبی از خاک اُخرا و نانو اکسید آلومین تهیه و تحت آزمایش سایش قرار گرفت. تعداد، سن و نوع نمونه‌های بتن، روش آزمایش و استاندارد مربوط به آن‌ها مطابق جدول شماره ۹ می‌باشد.

جدول ۹ مبنای استاندارد و تعداد و ابعاد نمونه‌های مورد آزمایش

ردیف	شرح آزمایش	شماره استاندارد	نمونه ۷ روزه	نمونه ۲۸ روزه	ابعاد نمونه (سانتیمتر)
۱	تعیین اسلامپ	ASTM C143	-	-	-
۲	تعیین مقاومت فشاری بتن	BS-EN-12390	۱۰	۱۰	۱۵x۱۵x۱۵ مکعبی
۳	جذب آب بتن	ASTM-C642	-	۵	۱۰x۱۰x۱۰ مکعبی
۴	تست سایش بتن	ASTM-C779	۱۰	۱۰	۱۰x۱۰x۱۰ مکعبی

۵- طرح اختلاط

مطابق توصیه استاندارد ASTM-C979 طرح اختلاط بتن رنگی همانند بتن معمولی می‌باشد با این تفاوت که از رنگدانه یا سیمان رنگی به جای بخشی از سیمان معمولی استفاده شود. بنابراین در این تحقیق از استاندارد وزنی ACI-211 بعنوان مبنای طرح اختلاط استفاده شده است که با توجه به نوع مصالح مصرفی بهینه سازی شده است. برای افزایش کیفیت رنگ بتن از سیمان سفید با عیار ۴۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب استفاده شده است. حداکثر اندازه سنگدانه ۱۹ میلیمتر و بصورت کاملاً خشک در بتن استفاده گردید. نسبت آب به سیمان ۰/۵ و برای حفظ روانی و بهبود پخش رنگ در تمامی‌طرح مخلوط‌ها از آبر روان کننده پایه کربوکسیلات به میزان ثابت ۱٪ وزنی سیمان استفاده گردید. در ادامه برای تغییر رنگ بتن به قرمز، از خاک اُخرا در نسبت‌های وزنی ۲/۵ ٪، ۵٪، ۷/۵ ٪ و ۱۰٪ به جای بخشی از سیمان استفاده گردید. همچنین برای تقویت دوام سایشی نمونه‌های بتن رنگی، از پودر نانو آلومین به میزان ۰/۵ درصد وزنی سیمان استفاده شد. این میزان بر مبنای توصیه سایر تحقیقات گذشته و بهینه یابی آزمایشگاهی تعیین شد. قابل ذکر است که نمونه‌های رنگی بدون پودر نانو آلومین صرفاً جهت مقایسه مقاومت سایشی با سایر نمونه‌های رنگی دارای نانو آلومین تهیه و ساخته شدند. در جدول شماره ۱۰ مقادیر مصالح مصرفی برای تهیه یک متر مکعب بتن به ازای طرح مخلوط‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۱۰ طرح مخلوط مورد استفاده جهت انجام آزمایش

ردیف	نام	سیمان سفید	ماسه	شن	اُخرا	نانو آلومین	آب	آبر روان کننده	توضیحات
		kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	
۱	CONTROL	۴۵۰	۱۲۸۰	۷۲۰	۰	۰	۲۲۵	۴/۵	مقاومت فشاری+سایشی +جذب آب
۲	OA-2.5%	۴۳۶/۵	۱۲۸۰	۷۲۰	۱۱/۲۵	۲/۲	۲۲۵	۴/۵	
۳	OA-5%	۴۲۵/۳	۱۲۸۰	۷۲۰	۲۲/۵	۲/۲	۲۲۵	۴/۵	
۴	OA-7.5%	۱۴۱	۱۲۸۰	۷۲۰	۳۳/۷	۲/۲	۲۲۵	۴/۵	
۵	OA-10%	۴۰۲/۸	۱۲۸۰	۷۲۰	۴۵	۲/۲	۲۲۵	۴/۵	
۶	O-2.5%	۴۳۸/۷	۱۲۸۰	۷۲۰	۱۱/۲۵	۰	۲۲۵	۴/۵	مقاومت سایشی
۷	O-5%	۴۲۷/۵	۱۲۸۰	۷۲۰	۲۲/۵	۰	۲۲۵	۴/۵	
۸	O-7.5%	۴۱۶/۲	۱۲۸۰	۷۲۰	۳۳/۷	۰	۲۲۵	۴/۵	
۹	O-10%	۴۰۵	۱۲۸۰	۷۲۰	۴۵	۰	۲۲۵	۴/۵	
۱۰	OA-LAYER	۴۵۰	۱۲۸۰	۷۲۰	لایه پوششی رنگی + نانو		۲۲۵	۴/۵	

در این تحقیق سنگدانه‌های مورد استفاده اعم از شن و ماسه به مدت ۷ روز در دمای محیط بالای ۳۵ درجه سانتیگراد قرار گرفته و بصورت کاملاً خشک و بدون رطوبت مورد استفاده قرار گرفتند. سپس برای افزایش کیفیت رنگ بتن ابتدا شن، ماسه، نیمی از آب و نیمی از رنگدانه (پیگمنت گل ماش) اضافه و به مدت ۲ دقیقه با یکدیگر مخلوط شدند. این کار باعث می‌شود تا سنگدانه‌ها از ابتدا رنگ مربوطه را به خود جذب نمایند و باعث افزایش کیفیت رنگ پذیری و یکنواختی رنگ در بتن گردند. سپس سیمان، باقیمانده پیگمنت گل ماش و باقیمانده آب طرح مخلوط اضافه و به مدت ۱ دقیقه مخلوط شدند. در انتها فوق روان کننده به آرامی اضافه و به مدت ۲ دقیقه دیگر مخلوط شدند. پس از آن آزمایش وزن مخصوص بتن تازه و اسلامپ بر روی نمونه‌ها انجام گرفت و سپس قالب گیری شدند. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۲ درجه سانتیگراد قرار داده شد و بعد از آن به مدت ۷ و ۲۸ روز در حوضچه آب عمل آوری شدند.

شکل ۵ مدت زمان و ترتیب اختلاط اجزای بتن در این تحقیق

۶- یافته‌ها

۶-۱- رنگ پذیری

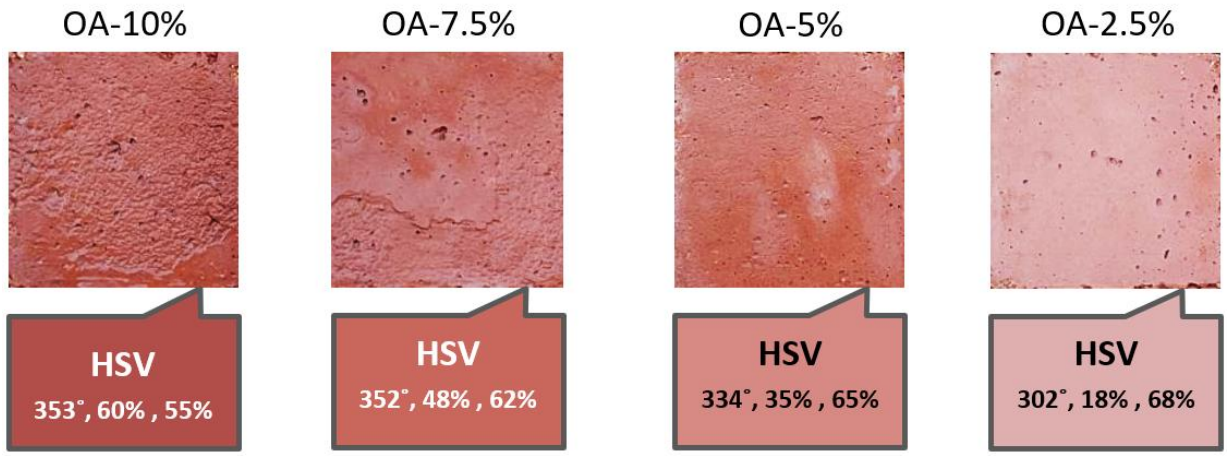
کد یا شناسه‌ی رنگ روشی برای تعیین دقیق رنگ و تشخیص آن است. این موضوع به خصوص برای معماران و طراحان اهمیت ویژه‌ای داد. در این تحقیق تلاش گردید تا میزان رنگ پذیری بتن رنگی ساخته شده با خاک اُخرا به همراه نانو اکسید آلومین مورد بررسی قرار گیرد. همچنین در ادامه میزان و شدت رنگ بدست آمده با استاندارد HSV[14] مورد ارزیابی قرار گیرد. نوع رنگ هر نمونه‌ی بتنی به‌وسیله‌ی نرم‌افزار iColor Picker اسکن و مشخص شده است. این برنامه قادر است تا کد هر رنگ را طبق دامنه‌ی رنگ‌شناسی HSV شناسایی و تعیین کند تا طراحان و بهره وران بتوانند با تغییر در مقادیر مصالح مصرفی، به رنگ دلخواه و مورد نظر خود دست یابند. فضای رنگی HSV بر اساس سه پارامتر رنگ مایه، اشباع و روشنایی آن توصیف و دسته بندی می‌شود[۳].

در این روش عدد اول از سمت چپ عبارت HUE که به اختصار H نامیده می‌شود نوع رنگ را مانند قرمز، آبی یا زرد معرفی می‌کند که گستره آن مابین اعداد ۰ تا ۳۶۰ درجه تقسیم بندی می‌شود. عدد میانی بیانگر Saturation که به اختصار S نامیده می‌شود نشان‌دهنده شدت رنگ است. درجات آن بین اعداد ۰ تا ۱۰۰ تعریف شده است. عدد صفر در واقع بدون رنگ است و ۱۰۰ شدت و وضوح رنگ را نشان می‌دهد. (بین آن سایه‌هایی از خاکستری بین سیاه و سفید ایجاد می‌شود). عدد اول از سمت راست Brightness که به اختصار Bنامیده می‌شود میزان درخشش یا روشنایی که بین اعداد ۰ تا ۱۰۰ تعریف می‌شود. عدد صفر همیشه سیاه است و بر اساس میزان اشباع رنگی، ۱۰۰ می‌تواند سفید باشد.

پخش و کیفیت رنگ بتن قرمز پس از عمل‌آوری ۲۸ روزه‌ی نمونه‌ها، مطابق شکل شماره ۶ است. در طیف رنگ قرمز شاهدیم که کیفیت رنگ و قدرت پخش آن در مقادیر ۷/۵ ٪ و ۱۰ ٪ تفاوت زیادی ندارد. همچنین مشخص گردید که افزودن ۰/۵٪ وزنی نانو اکسید

[14] Hue, Saturation, Brightness

آلومین تاثیر مخربی در پخش یا کیفیت رنگ بتن ایجاد نخواهد کرد یا عملاً بی تاثیر است. شناسه رنگ بتن دارای ۲/۵ ٪ خاک اُخرا و ۰/۵٪ نانو اکسید آلومین در بتن برابر با ۳۰۲ درجه می‌باشد. شدت رنگ این نمونه ۱۸ ٪ و میزان روشنایی آن ۶۸ ٪ تعیین گردید. شناسه رنگ بتن دارای ۵ ٪ خاک اُخرا و ۰/۵٪ نانو اکسید آلومین در بتن برابر با ۳۳۴ درجه می‌باشد. شدت رنگ این نمونه ۳۵ ٪ و میزان روشنایی آن ۶۵ ٪ تعیین گردید. شناسه رنگ بتن دارای ۷/۵ ٪ خاک اُخرا و ۰/۵٪ نانو اکسید آلومین در بتن برابر با ۳۵۲ درجه می‌باشد. شدت رنگ این نمونه ۴۸ ٪ و میزان روشنایی آن ۶۲ ٪ تعیین گردید. شناسه رنگ بتن دارای ۱۰ ٪ خاک اُخرا و ۰/۵٪ نانو اکسید آلومین در بتن برابر با ۳۵۳ درجه می‌باشد. شدت رنگ این نمونه ۶۰ ٪ و میزان روشنایی آن ۵۵ ٪ تعیین گردید.



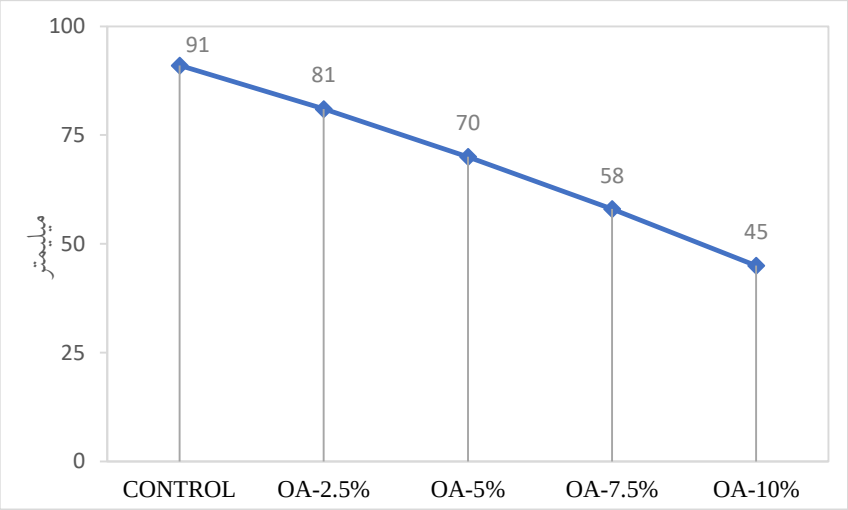
شکل ۶ مقایسه رنگ پذیری نمونه‌های دارای مقادیر مختلف پیگمنت گل ماش و دسته بندی کد رنگ آن‌ها

۲-۶- روانی (اسلامپ)

اسلامپ بتن، معیاری برای بررسی میزان جریان‌پذیری یا روانی بتن تازه پیش از استفاده در محل مورد نیاز است. میزان اسلامپ در نمونه‌های دارای نسبت‌های مختلف وزنی پیگمنت گل ماش بدلیل جذب آب بالای این ماده، کاهش می‌یابد. مطابق شکل شماره ۷ که میزان روانی هر طرح مخلوط را نمایش می‌دهد مشخص است که هر چه میزان استفاده از پیگمنت گل ماش بیشتر باشد به همان اندازه میزان روانی کاهش می‌یابد. بطوریکه طرح مخلوط دارای ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ وزنی پیگمنت گل ماش باعث کاهش ۹٪، ۲۳٪، ۳۹٪ و ۵۶٪ روانی بتن در مقایسه با طرح مخلوط شاهد گردید.

اسلامپ بتن، معیاری برای بررسی جریان‌پذیری یا روانی بتن تازه پیش از استفاده در محل مورد نظر است. با اندازه‌گیری اسلامپ می‌توان کارایی بتن تازه را در آزمایشگاه یا در محل ساخت سازه‌های بتنی مورد ارزیابی قرار داد. مطابق دستورالعمل ASTM-C979 محدوده مجاز اسلامپ بتن رنگی، ۱۳±۱۰۰ میلیمتر می‌باشد. بطور کلی خاک اُخرا جاذب آب است. بنابراین در اختلاط با بتن، میزان زیادی از آب بتن تازه جذب می‌نماید که با افزایش میزان خاک اُخرا در بتن میزان اسلامپ آن به مراتب کاهش می‌یابد. همچنین پیشینیه تحقیق گواه بر صحت این نتیجه است. بطوریکه در تمامی‌تحقیقات صورت گرفته اذعان شده که اُخرا جاذب آب بتن می‌باشد و باعث کاهش روانی بتن می‌گردد[۲,۱]. از طرفی استفاده از نانو اکسید آلومین در ساختار بتن نیز باعث جذب آب بتن تازه خواهد شد که خود نیز دلیلی بر کاهش اسلامپ در تمامی‌نمونه‌های ساخته شده می‌باشد. مطابق آنچه از نتایج این آزمایش بدست آمد، ثابت گردید که افزایش هر چه بیشتر مقادیر پودر اُخرا در بتن به همراه نانو اکسید آلومین میزان اسلامپ بتن را کاهش می‌دهد[۳,۲]. بطوریکه میزان اسلامپ طرح OA-2.5%، 5%، 7.5% و 10% در مقایسه با نمونه شاهد به ترتیب ۱۲/۳٪، ۳۰٪، ۵۶/۹٪ و ۱۰۲/۲٪ کاهش یافته است. این کاهش اسلامپ در نمونه-های بتن رنگی در حالی است که در تمامی‌طرح مخلوط‌ها از محلول آبر روان کننده استفاده شده است. بنابراین جهت ساخت کفپوش بتنی

قرمز رنگ همراه با نانو اکسید آلومین، می‌بایست نسبت آبر روان کننده را افزایش داد تا میزان اسلامپ بتن در محدوده مجاز ASTM-C979 قرار گیرد.

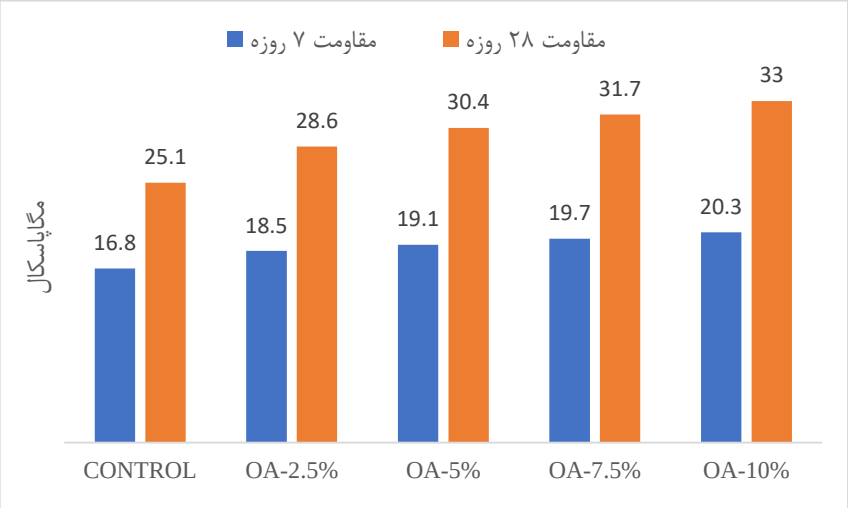


شکل ۷ مقایسه روانی طرح مخلوط‌های مورد مقایسه

۳-۶- مقاومت فشاری

یکی از ارکان مهم در ساخت کفپوش‌های بتنی، میزان مقاومت فشاری آن جهت تحمل ظرفیت باربری بتن می‌باشد. بطوریکه کفپوش‌های بتنی همواره در معرض نیروهای فشاری محوری و گسترده قرار دارند و در برابر این فشارها باید مقامت لازم را داشته باشند. در غیر اینصورت شاهد نشست، ترک و شکستگی سطح کفپوش بتنی خواهیم بود. از طرفی ترمیم و تعمیر کفپوش بتن رنگی بدلیل احتمال دو

رنگ شدن سطح آن کاری دشوار بوده و حتی ممکن زیبایی سطح آن را از بین ببرد. بنابراین از ابتدا باید تدابیر لازم جهت حفظ مقاومت فشاری لازم گردد. میزان مقاومت فشاری بدست آمده از هر طرح مطابق با شکل شماره ۹ می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان داد که افزودن اُخرا در بتن، مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد. از مهم‌ترین علل بروز این افزایش مقاومت می‌توان به وجود اکسید آهن در ساختار اُخرا نسبت داد که دارای مقاومت بالایی می‌باشد. همچنین اندازه ریز ذرات اُخرا باعث افزایش تراکم بتن و کاهش تخلخل آن گردیده که مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد. از طرفی آهنگ گیرش کسب مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه در مقایسه با سن ۷ روزه روند تصاعدی دارد. بنابراین می‌توان دریافت که افزودن اُخرا در بتن باعث دیرگیر شدن بتن خواهد شد. همچنین استفاده از نانو اکسید آلومین بدلیل سختی بالا و افزایش تراکم در بتن باعث بهبود و افزایش مقاومت فشاری بتن در سنین ۷ و ۲۸ روزه گردید. بنابراین ترکیب دو عامل اُخرا و نانو آلومین در بتن توانسته مقاومت فشاری نمونه‌های رنگی را در مقایسه با نمونه شاهد افزایش محسوسی دهد. بطوریکه مقاومت فشاری ۷ روزه طرح OA-2.5%، 5%، 7.5% و 10% در مقایسه با نمونه شاهد به ترتیب۹/۲٪، ۱۲٪، ۱۴/۷٪ و ۱۷/۲٪ افزایش یافته و در ادامه مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن به ترتیب ۱۲/۲ ٪، ۱۷/۴ ٪، ۲۰/۸ ٪ و ۲۳/۹ ٪ افزایش یافته است.



شکل ۹ مقایسه نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی

شکل ۱۰ سنجش مقاومت فشاری نمونه‌های رنگی دارای خاک اُخرا و نانو اکسید آلومین

۴-۶- جذب آب

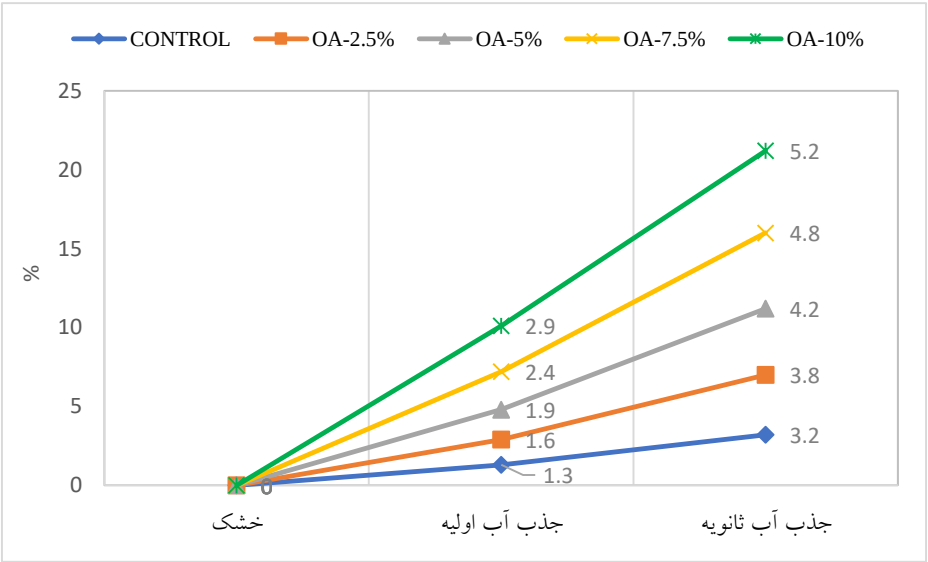
آزمایش جذب آب بتن سخت شده بر مبنای استاندارد ASTM-C642 انجام گرفت. نمونه‌ها پس از خشک شدن در گرمای ۱۱۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت، به مدت ۳۰ دقیقه (اولیه) و ۷۲ ساعت (ثانویه) تحت نفوذ آب قرار گرفتند و وزن هر کدام از آن‌ها نیز اندازه گیری شد. بر مبنای نتایج بدست آمده نیز مشخص گردید که افزودن پودر آلومین، میزان تخلخل موجود در بتن را کاهش می‌دهد که پیرو این کاهش، میزان جذب آب بتن هم کاهش می‌یابد. همچنین مشخص گردید که میزان جذب آب بتن در نمونه‌های رنگی نیز به مراتب بیشتر از نمونه شاهد می‌باشد. بنابراین با افزایش هر چه بیشتر مقادیر اُخرا در بتن نیز میزان جذب آب اولیه و ثانویه بیشتر خواهد شد. نتایج بدست آمده از این آزمایش به شرح جدول شماره ۱۱ می‌باشد.

به استناد از توصیه سایر مراجع، بتن با میزان جذب آب اولیه کمتر از ۲٪، بهترین عملکرد ممکن را از خود نشان می‌دهد. بنابراین استفاده از حداکثر ۵٪ اُخرا و ۰/۵ ٪ نانو آلومین در بتن بهترین نتیجه را در برابر میزان نفوذپذیری و میزان جذب آب در بتن سخت شده را به همراه خواهد داشت. همچنین حداکثر میزان جذب آب نهایی بتن، در شرایط محیطی فوق العاده شدید یا در محیط‌هایی که سازه در معرض آب دریا قرار می‌گیرد بین ۵٪ تا ۵/۵ ٪ توصیه شده است. بنابراین استفاده از حداکثر ۷/۵ ٪ اُخرا و ۰/۵ ٪ نانو آلومین در بتن، در

برابر عوامل جوی نامساعد و شرایط محیطی پرریسک از دوام مناسبی برخوردار است. در غیر اینصورت باید تمهیداتی خاص مانند استفاده از سایر افزودنی‌های مکمل بتن جهت افزایش دوام و پایایی بتن در نظر گرفته شود.

جدول ۱۱ مقایسه میزان جذب آب تمامی نمونه‌ها

ردیف	نام طرح	میزان جذب آب در بتن سخت شده			میزان تغییر	
		وزن نمونه خشک	وزن نمونه پس از جذب اولیه	وزن نمونه پس از جذب ثانویه	وزن نمونه پس از جذب اولیه	وزن نمونه پس از جذب ثانویه
		گرم	گرم	گرم	%	%
۱	CONTROL	۲۷۸۰	۲۸۱۸	۲۸۷۲	۱/۳	۳/۲
۲	OA-2.5%	۲۸۵۰	۲۸۹۵	۲۹۶۴	۱/۶	۳/۸
۳	OA-5%	۲۸۸۵	۲۹۴۱	۳۰۱۰	۱/۹	۴/۲
۴	OA-7.5%	۲۹۱۸	۲۹۹۰	۳۰۶۶	۲/۴	۴/۸
۵	OA-10%	۲۹۶۳	۳۰۵۲	۳۱۲۵	۲/۹	۵/۲



شکل ۱۱ مقایسه میزان جذب آب تمامی نمونه‌ها

۵-۶- سایش

مبنای تست سایش در این تحقیق، استاندارد ASTM-C779 می‌باشد. در این تحقیق با هدف ساخت کفپوش‌های بتنی رنگی نیز آزمایش سایش بر روی نمونه‌های دارای مقادیر مختلف پودر اُخرا صورت گرفت. در ادامه این آزمایش جهت افزایش مقاومت و تقویت دوام سایشی نمونه‌های رنگی از ۰/۵٪ وزنی سیمان، پودر نانو اکسید آلومین استفاده شد و نتایج آن با نمونه‌های بدون نانو مقایسه گردید. همچنین جهت کاهش هزینه ساخت کفپوش رنگی و اقتصادی نمودن طرح اختلاط آن از یک لایه پوشش رنگی که با پودر اُخرا و پودر نانو

اکسید آلومین تهیه شد، نیز استفاده گردید و نتایج آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. شکل شماره ۱۳ میزان مقاومت سایشی بر روی نمونه‌های بتنی ساخته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج کسب شده از گروه اول که شامل نمونه‌های رنگی بدون نانو اکسید آلومین می‌باشند، نیز مشخص شد که افزایش هر چه بیشتر پودر اُخرا باعث کاهش مقاومت سایشی بتن خواهد شد. علت این عارضه را باید در جایگزین شدن اُخرا بجای سیمان نسبت داد. بطوریکه با کاهش حجم مصرفی سیمان، میزان چسبندگی بین عناصر اختلاط بتن کاهش می‌یابد. از طرفی میزان مقاومت سایشی بتن در سنین اولیه (۷ روزه) در مقایسه با نمونه‌های ۲۸ روزه کمتر است. این نتیجه اهمیت عمل‌آوری و دوام سایشی بتن را طی مرور زمان ثابت می‌نماید. بطوریکه با فرآیند عمل هیدراسیون، مقاومت سایشی بتن افزایش یافته و چسبندگی بین عناصر بتن نیز بهبود می‌یابد. بنابراین در مراحل ساخت کفپوش بتنی رنگی باید به دوره عمل‌آوری در سنین مختلف اهمیت داده شود و بهره برداری زود هنگام از آن صورت نگیرد.

نتایج کسب شده از گروه آزمایشی دوم که شامل بررسی مقاومت سایشی نمونه‌های بتن رنگی به همراه پودر نانو اکسید آلومین می‌باشد، نشان از افزایش مقاومت سایشی بتن دارد. نانو اکسید آلومین با توجه به سختی بالا، کاهش تخلخل و ایجاد چسبندگی که در بتن ایجاد می‌کند، مقاومت سایشی را تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. نتایج سایر تحقیقات گذشته نیز دلالت بر این موضوع دارد که نانو آلومین ماده‌ای سخت کننده جهت افزایش مقاومت سایشی بتن استفاده می‌شود[۱]. اما در این گروه آزمایشی نیز علرغم افزایش مقاومت سایشی ناشی از افزودن نانو اکسید آلومین شاهدیم که با افزایش هر چه بیشتر مقادیر اُخرا در بتن، مقاومت سایشی کاهش می‌یابد که علت آن متاثر از حالت قبل (گروه آزمایشی اول) می‌باشد. از طرفی افزودن نانو اکسید آلومین در بتن به جهت خاصیت زود سخت شوندگی که دارد فاصله گیرش مقاومت سایشی در سنین ۷ تا ۲۸ روزه را کاهش می‌دهد. بنابراین در مواقعی که بهره‌برداری زود هنگام از کفپوش بتنی رنگی مدنظر باشد و یا امکان عمل آوری ۲۸ روزه میسر نباشد، نیز استفاده از نانو اکسید آلومین جهت تقویت مقاومت سایشی و کاهش زمان عمل آوری موثر است.

نتایج کسب شده از گروه آزمایشی سوم که با هدف اقتصادی نمودن طرح، با استفاده از یک لایه‌ی پوششی مواد رنگی به همراه نانو اکسید آلومین روی سطح بتن ایجاد شد، نیز نشان داد که استفاده از این روش نمی‌تواند موثر و کارآمد باشد. بطوریکه عدم چسبندگی مناسب لایه‌ی پوششی رنگی روی سطح بتن سبب جداشدگی و ضعف مقاومت سایشی بتن خواهد شد. همچنین میزان وزن ساییده شده سطح پوششی این طرح، در سن ۷ روزه اختلاف زیادی با سن ۲۸ روزه ندارد. بنابراین سخت شدگی یا عمل هیدارسیون بتن طی مدت زمان مختلف در میزان مقاومت سایشی این طرح نمی‌تواند تاثیر چشمگیر و موثری داشته باشد.

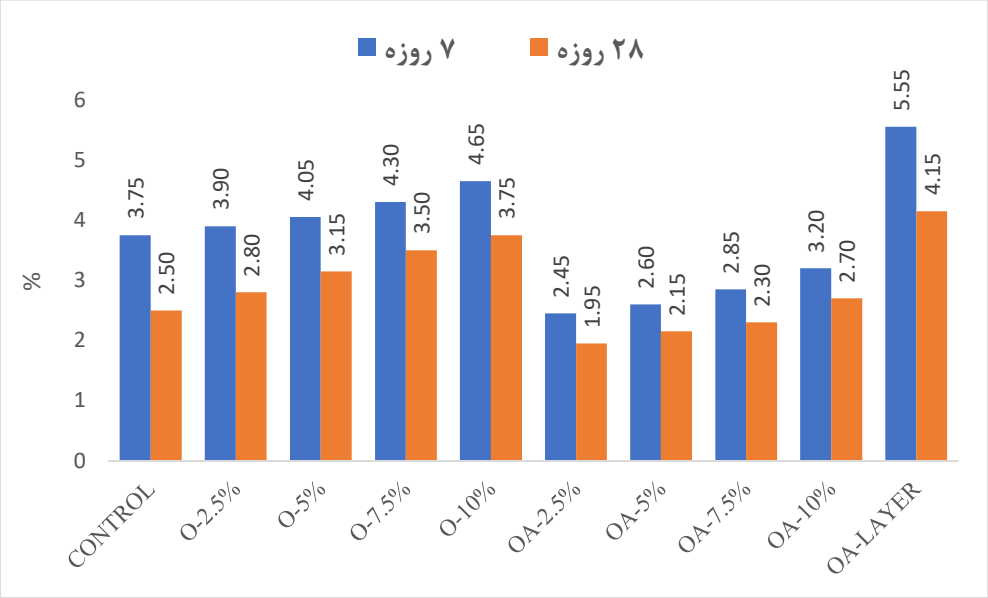
الف) نمونه دارای رنگدانه در ترکیب اختلاط بتن

ب) نمونه دارای لایه رنگی روی سطح بتن

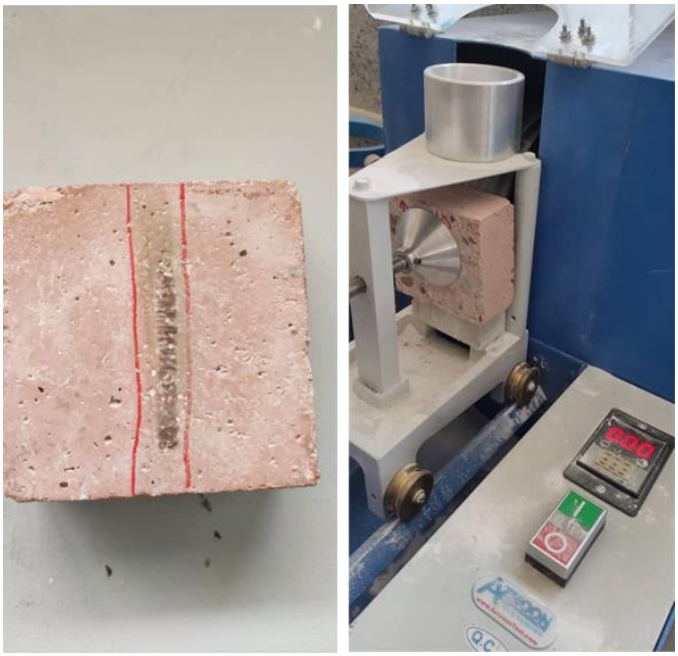
شکل ۱۲ مقایسه نمونه دارای پودر رنگی در ترکیب بتن با نمونه دارای روکش رنگی روی سطح بتن

جدول ۱۲ مقایسه میزان وزن ساییده شده تمامی نمونه‌ها

ردیف	نام طرح	سن نمونه	وزن ساییده شده (نمونه اول)	وزن ساییده شده (نمونه دوم)	میانگین	بهبود مقاومت سایشی
		Day	gr	gr	gr	%
۱	CONTROL	۷ روزه	۳/۷۰	۳/۸۰	۳/۷۵	-
		۲۸ روزه	۲/۶۰	۲/۴۰	۲/۵۰	-
۲	O-2.5%	۷ روزه	۳/۸۰	۴۰	۳/۹۰	-۳/۸
		۲۸ روزه	۲/۷۰	۲/۹۰	۲/۸۰	-۱۰/۷
۳	OA-2.5%	۷ روزه	۲/۴۰	۲/۵۰	۲/۴۵	۵۳/۱
		۲۸ روزه	۱/۹۰	۲/۰	۱/۹۵	۲۸/۲
۴	O-5%	۷ روزه	۴/۰	۴/۱	۴/۰۵	-۷/۴
		۲۸ روزه	۳/۰	۳/۳	۳/۱۵	-۲۰/۶
۵	OA-5%	۷ روزه	۲/۶۰	۲/۶۰	۲/۶۰	۴۴/۲
		۲۸ روزه	۲/۱۰	۲/۲۰	۲/۱۵	۱۶/۳
۶	O-7.5%	۷ روزه	۴/۲۰	۴/۴۰	۴/۳۰	-۱۲/۸
		۲۸ روزه	۳/۴۰	۳/۶۰	۳/۵۰	-۲۸/۶
۷	OA-7.5%	۷ روزه	۲/۹۰	۲/۸۰	۲/۸۵	۳۱/۶
		۲۸ روزه	۲/۴۰	۲/۴۰	۲/۳۰	۸/۷
۸	O-10%	۷ روزه	۴/۵۰	۴/۸۰	۴/۶۵	-۱۹/۴
		۲۸ روزه	۳/۷۰	۳/۸۰	۳/۷۵	-۳۳/۳
۹	OA-10%	۷ روزه	۳/۲۰	۳/۲۰	۳/۲۰	۱۷/۲
		۲۸ روزه	۲/۶۰	۲/۸۰	۲/۷۰	-۷/۴
۱۰	OA-LAYER	۷ روزه	۵/۶	۵/۵	۵/۵۵	-۳۲/۴
		۲۸ روزه	۴/۱	۴/۲	۴/۱۵	-۳۹/۸



شکل ۱۳ مقایسه میزان سایش تمامی نمونه‌ها



شکل ۱۴ تست سایش روی سطح نمونه بتن رنگی

۷- بحث

با عنایت به نتایج بدست آمده مشخص گردید که خاک اُخرا خاصیت رنگ دهی بسیار بالایی دارد و افزودن حداقل ۵٪ آن به جای سیمان، رنگ بتن را کاملاً به قرمز تغییر می‌دهد. به دلیل آنکه عمده ساختار پیگمنت اُخرا از اکسید سوم آهن تشکیل شده، شاهدیم که این ماده باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود. همچنین اندازه ذرات ریز این ماده در مخلوط بتن باعث افزایش تراکم و کاهش تخلخل بین ساختار بتن گردیده که در افزایش مقاومت فشاری موثر است. بنابراین این مهم می‌تواند یک مزیت برای استفاده از رنگدانه‌های معدنی در

مقایسه با رنگدانه‌های شیمیایی باشد زیرا نتایج سایر تحقیقات گذشته استفاده از رنگدانه شیمیایی را در بتن مسبب کاهش مقاومت فشاری اعلام نموده‌اند[۳,۲]. بدلیل جذب آب بالای خاک اُخرا استفاده از فوق روان کننده یا اَبر روان کننده جهت حفظ اسلامپ بتن، جلوگیری از ته نشین شدن رنگدانه و پخش یکدست برای جلوگیری از کلوخگی آن در ترکیب بتن ضرورت دارد.

همچنین محرز گردید که استفاده از پودر نانو اکسید آلومین در بتن باعث افزایش مقاومت و دوام بتن در برابر سایش می‌شود. در ادامه بدلیل ایجاد تراکم ایجاد شده توسط نانو مواد نیز میزان جذب آب و نفوذ پذیری بتن کاهش می‌یابد. بنابه به توصیه سایر مراجع و پیشینه تحقیقات گذشته، درصد بهینه استفاده از پودر نانو اکسید آلومین در طرح مخلوط بتن ۱/۵ ٪ وزنی سیمان تعیین شده. بطوریکه استفاده از مقادیر بیش از آن باعث کاهش چسبندگی بین ذرات و عناصر اختلاط بتن گردیده که تا حدودی اُفت مقاومت فشاری را بدنبال خواهد داشت. همچنین از نظر اقتصادی هم با توجه به قیمت بالای نانو مواد، استفاده از مقادیر بالاتر نیز مقرون به صرفه نیست. مکانیزم اثر نانو اکسید آلومین بر روی شاخص‌های صورت گرفته بر روی بتن در این تحقیق را می‌توان به این صورت بیان نمود که در صورت پخش یکنواخت نانو ذرات در بتن نیز نانو ذرات به صورت هسته داخل فرآیند هیدراسیون سیمان قرار خواهند گرفت. اگر مقدار و فاصله نانو ذرات مناسب باشند، می‌توانند با کنترل کریستاله شدن، رشد کریستال‌های بتن را محدود کرده و با ایجاد محیط سیمانی همگن و متراکم باعث بهبود مشخصات بتن شوند. درحالیکه، افزایش میزان نانو مواد با کاهش فاصله آن‌ها و جلوگیری از رشد کافی کریستال‌ها می‌تواند باعث کاهش فرآیند هیدراسیون سیمان شده و به یک ریز ساختار سست سیمانی منتهی شود. از سوی دیگر، با توجه به اینکه نانو ذرات باعث افزایش نیاز خمیر سیمان به آب می‌شوند، اگر نسبت‌های طرح اختلاط ثابت نگه داشته شوند، با افزودن نانو اکسید آلومین، کارایی بتن کاهش می‌یابد، همچنین با افزایش مقدار نانو و ترکیب آن با آب نیز پخش یکنواخت آن‌ها در مخلوط دشوارتر شده و افزایش احتمال تجمع نانو مواد و ایجاد نواحی ضعیف در اثر کلوخه شدن آن باعث زوال مشخصات بتن خواهد شد.

در ادامه نتایج بدست آمده از طرح دارای یک لایه پوشش مواد رنگی روی سطح بتن نشان داد که این روش مناسب ساخت کفپوش بتن‌های رنگی نمی‌باشد که علت آن عدم چسبندگی مناسب این لایه به سطح بتن می‌باشد. برخی از تحقیقات گذشته استفاده از روش پوشش لایه رنگی روی سطح کفپوش بتنی را امکان پذیر دانسته و بعنوان یک روش ساخت کفپوش بتنی رنگی معرفی نموده‌اند[۱]. در حالیکه در این تحقیق ثابت شد استفاده از این روش (لایه پوشش رنگی) در مقایسه با روش ساخت بتن رنگی (استفاده از رنگدانه در ترکیب بتن) می‌تواند تا بیش از ۳۰٪ مقاومت سایشی کفپوش بتن رنگی را کاهش دهد. بنابراین با توجه به اهمیت کفپوش‌های بتنی رنگی که همواره در معرض تردد و سایش قرار دارند و از طرفی عوامل جوی و محیطی که دوام آن‌ها را تهدید می‌نماید و نیز توقع زیبایی ظاهری که از ایجاد آن انتظار می‌رود باید مورد توجه قرار گیرد.

۸- نتیجه گیری

۱- افزودن ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ اُخرا به همراه ۰/۵ ٪ نانو اکسید آلومین در بتن می‌تواند میزان اسلامپ را به میزان به ترتیب ۱۲/۳٪، ۳۰٪، ۵۹/۹ ٪، ۱۰۲/۲ ٪ کاهش دهد.

۲- افزودن ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ اُخرا به همراه ۰/۵ ٪ نانو اکسید آلومین در بتن می‌تواند میزان مقاومت فشاری ۲۸ روزه را به میزان به ترتیب ۱۲/۲٪، ۱۷/۴٪، ۲۰/۸٪، ۲۳/۹٪ افزایش دهد.

۳- افزودن ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ اُخرا به همراه ۰/۵ ٪ نانو اکسید آلومین در بتن می‌تواند میزان جذب آب اولیه بتن را به میزان به ترتیب ۱/۳٪، ۱/۶٪، ۱/۹٪، ۲/۴٪، ۲/۹٪ و میزان جذب آب ثانویه بتن را به میزان به ترتیب ۳/۲٪، ۳/۸٪، ۴/۲٪، ۴/۸٪، ۵/۲٪ افزایش دهد.

۴- افزودن ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ اُخرا در بتن باعث کاهش مقاومت سایشی ۷ روزه بتن به میزان به ترتیب ۳/۸٪، ۷/۴٪، ۱۲/۸٪، ۱۹/۴٪ و مقاومت سایشی ۲۸ روزه بتن به میزان به ترتیب ۱۰/۷٪، ۲۰/۶٪، ۲۸/۶ ٪، ۳۳/۳ ٪ می‌شود.

۵- افزودن ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ اُخرا به همراه ۰/۵ نانو اکسید آلومین در بتن باعث افزایش مقاومت سایشی ۷ روزه بتن به میزان به ترتیب ۵۳/۱٪، ۴۴/۲٪، ۳۱/۶٪، ۱۷/۲٪ و مقاومت سایشی ۲۸ روزه بتن به میزان به ترتیب ۲۸/۲٪، ۱۶/۳٪، ۸/۷٪ و کاهش ۷/۴٪ می‌شود.

۶- استفاده از لایه پوششی رنگی روی سطح بتن باعث کاهش مقاومت سایشی ۷ روزه به میزان ۳۲/۴٪ و مقاومت سایشی ۲۸ روزه به میزان ۳۹/۸٪ در مقایسه با نمونه شاهد می‌شود.

سپاسگزاری

قدردانی فراوان از موسسه آموزشی "ماهرشو...!" شهر شیراز و آزمایشگاه بتن "دانشکده شهید باهنر شیراز" جهت همکاری و کوشش‌های موثر که جهت ثمربخش بودن این تحقیق مبذول داشتند.

منابع

[1] Yousefnejad. H, Bazaee.A, Jabari, M. (1400). The Use Of Aluminum Oxide Nanoparticles In Improving Some Mechanical Properties And Increasing The Abrasion Resistance Of Concrete. Amirkabir Civil Engineering Journal. Volume 54, Number 11. 1-16. (In Persian)

[2] Aral.A, Mansouri.B, Bazaee.A (1400). Investigating The Durability And Construction Of Red Colored Concrete With Different Weight Ratios Of Ocher Powder And White Cement Against The Freezing Cycle. Master's Thesis, Islamic Azad University, Sepidan Branch. (In Persian)

[3] Golshan.M., Awadnejad.F., Bazaee.A. (1401) Making Concrete In Four Main Colors And Investigating Some Of Its Mechanical Properties And Durability. Journal Of Color Science And Technology, Volume 16, Page 110-93. (In Persian)

[4] R.R. Marcello, S. Galato, M. Peterson, H.G. Riella, A.M. (2018). Bernardin, Inorganic Pigments Made From The Recycling Of Coal Mine Drainage Treatment Sludge, J.Environ. Manag. 1280-1294.

[5] R.D.A. Silva, C.D. Castro, E.M. Viganico, C.O. Peter, (2020). Selective Precipitation/Uv Production Of Magnetite Particles Obtained From The Iron Recovered From Acid Mine Drainage, Miner. Eng. 22-37.

[6] E.A. Dominguez, R. Ullmann, (2016). Ecological Bricks Made With Clays And Steel Dust Pollutants, Appl. Clay Sci. 237-250.

[7] N. Essaidi, B. Samet, S. Baklouti, S. Rossignol, (2019). The Role Of Hematite In Alumi Nosilicate Gels Based On Metakaolin. Canadian Geotechnical Journal. 1-11.

[8] M. Hosseini-Zori, F. Bondioli, T. Manfredini, E. Taheri-Nassaj, (2018). Effect Of Synthesis Parameters On A Hematite-Silica Red Pigment Obtained Using A Coprecipitation Route, Dyes Pigment. Marine Georesources & Geotechnology 53-58.

[9] R. Patakfalvi, I. Dékány, (2014). Synthesis And Intercalation Of Silver Nanoparticles In Kaolinite/Dmso Complexes, Appl. American Society Of Civil Engineers 149-159.

[10] K. Okada, N. Watanabe, V.K. Jha, Y. Kameshima, A. Yasumori, K.J.D. Mackenzie, (2013). Uptake Of Various Cations By Amorphous Caal2si2o8 Prepared By Solid-State Reaction Of Kaolinite With Caco, Panamerican Conference On Soil Mechanics And Geotechnical Engineering, Buenos Aires. 550-565.

[11] K.A. Gruber, T. Ramlochan, A. Boddy, R.D. Hooton, M.D.A. (2011). Thomas, Increasing Concrete Durability With High-Reactivity Metakaolin International Journal Of Physical Modelling In Geotechnics. 479-484.

[12] D.D. Vu, P. Stroeven, V.B. Bui, (2010). Strength And Durability Aspects Of Calcined Kaolin-Blended Portland Cement Mortar And Concrete, Structural Safety. 471-478.

[13] S.S. Lee, H.Y. Song, Y.S. Lee, K.P. Lee, (2021). A Study On The Strength And Flowing Properties Of The Non-Cement Inorganic Composite By Using Blast Furnace Slag And Red Mud, Adv. Mater. Res. 491-495.

[14] Lopza.A, Elsherabi.C, (2019). Investigating Color Stability In Mortar And Concrete, Journal Of Constructional Concrete Research. 602-620.

[15] Sivachidambaram.S, Gradio.A, (2019). Color And Semi-Pigment Characteristics Of Metakaolinite And Hematite For Colored Concrete, Journal Of Constructional Concrete Research. 890-905.

[16] Levinson.R, Grati.O, (2018). Investigating And Preparing The Production Of Colored Concrete Floors To Replace The Asphalt On The Roofs Of Buildings, Cem. Concr. Res. 410-429.

[17] W.M. Mayes, A.P. Jarvis, I.T. Burke, M. Walton, V. Feigl, O. Klebercz, K. Gruiz, (2011). Dispersal And Attenuation Of Trace Contaminants Downstream Of The Ajka Bauxite Residue (Yellow Mud) Depository Failure, Hungary, Environ. Sci. Technol. 5147-5155.

[18] M. Ghalehnovi, A. Khodabakhshian, J. De Brito, E.A. Shamsabadi,(2018). Durability Performance Of Structural Concrete Containing Silica Fume And Marble Industry Waste Powder, J. Cleaner Prod. 42-60. (In Persian)

[19] Heydari.M, Mohamadi.H, (1395). Review Of The Advantages And Disadvantages Of Colored Concrete, 8th National Concrete Conference. (In Persian)

[20] Saghi.H, Alizadeh.H, (1393). Investigating The Effect Of Powder Pigments On The Properties Of Colored Concrete, The Third Congress Of New Concrete Technologies. (In Persian)

[21] Shakib.M, Bazaee.A, (1393). A Case Study Regarding The Construction Of Colored Self-Compacting Concrete For The Memorial Element Of The Anonymous Martyrs, The 10th International Conference On Civil Engineering And Architecture. (In Persian)

[22] Emami.A, Oji.F, (1390). Investigating The Effect Of Powder Pigments On The Mechanical Properties, Durability And Aesthetics Of Colored Concrete, The 7th Concrete Congress And New Achievements In Construction Materials. (In Persian)

[23] Mahmoud Nazari, Alireza Kaboudan, The Effect Of Resistance, Time And Amount Of Water Pressure And Direction Of Concreting On Concrete Permeability, Amirkabir Civil Engineering Journal (2020) 1-19 (In Persian)

[24] V. Vishwakarma, D. Ramachandran,(2018). Green Concrete Mix Using Solid Waste And Nanoparticles As Alternatives-A Review, Constr. Build. Mater. 96- 103.

[25] J. Pera, R. Boumaza, J. Ambroise, (2017). Development Of A Pozzolanic Pigment From Red Mud, Cem. Concr. Res. 1513-1522.

[26] Z. Pan, L. Cheng, Y. Lu, N. Yang, (2012). Hydration Products Of Alkali-Activated Slag-Red Mud Cementitious Material, Cem. Concr. Res. 357-362.

[27] X. Liu, N. Zhang, H. Sun, J. Zhang, L. Li, (2011). Structural Investigation Relating To The Cementitious Activity Of Bauxite Residue–Red Mud, Cem. Concr. Res. 847-853.

[28] L. Senff, D. Hotza, J. Labrincha, (2011). Effect Of Red Mud Addition On The Rheological Behaviour And On Hardened State Characteristics Of Cement Mortars, Constr. Build. Mater. 163-170.

[29] D.V. Ribeiro, J.A. Labrincha, M.R. Morelli, (2012). Effect Of The Addition Of Red Mud On The Corrosion Parameters Of Reinforced Concrete, Cem. Concr. Res. 124-133.

[30] R.R. Rathod, N.T. Suryawanshi, P.D. Memade, (2013). Evaluation Of The Properties Of Red Mud Concrete, Iosr J. Mech. Civ. Eng. 31-34.

[31] Farzin Ghadim Takmeh Dash, Alireza Mohammad Jafari Sadeghi, Hassan Afshin, Investigation Of Some Durability Properties Of Concrete Pavements Containing Nanoparticles, Journal Of Amirkabir Civil Engineering (2021) 1-10 (In Persian)

[32] Ali Kalvandi, Amir Arefian, Parviz Alipour, Investigation Of Seismic Behavior Of Continuous Connection Of Steel Beam To Concrete Column Using Nanotechnology In Materials, Master Thesis, Islamic Azad University, Shahriar Branch, (2018) 24-39 (In Persian)

[33] Jamshid Ismaili, Keyvan Andalibi, Jamil Kasaei, Investigation Of The Effects Of Adding Nano-Alumina On The Mechanical Properties Of Concrete, 10th International Congress Of Civil Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Tabriz (2015) 15-30 (In Persian)

[34] Javid Chakherloo, Bahman Shervani, Investigation Of The Effect Of Replacing Silica Sand With Sand And Quartz Powder On The Compressive Strength Of Reactive Powder Concrete, Scientific-Research Journal, Modares Civil Engineering, (2019) 1-11 (In Persian)

[35] K.Sargunana.Venkata Raob. Alex Rajeshc, Experimental Investigations On Mechanical Strength Of Concrete Using Nano-Alumina And Nano-Clay, International Conference On Emerging Trends In Material Science And Technology-(2022) 143-160

[36] Hossein Lashgarit, Mohammad Hosseinpour, Soroush Parvizi, Amir Momeni, Investigation Of The Effective Parameters On Al6061 / Al2o3.Wc.Sic Composite By Friction Stir Process, The Second National Conference On Computational And Experimental Mechanics (2017) 10-18 (In Persian)

[37] Mahmoud Naderi, Alireza Kaboudan, Mohammadreza Keshtkar, Study Of Permeability And Strength Of Concrete Containing Silica Fume, Zeolite And Fly Ash Using British Standard Cylindrical Chamber Method, Journal Of Structural Engineering (2016) 92-113 (In Persian)
[38] Astm C136, (2014). Standard Test Method For Sieve Analysis Of Fine And Coarse Aggregates, Astm International, West Conshohocken, U.S.A.
[39] Astm C779,(2019). Standard Test Method For Concrete Abrasion Resistance (Weight), U.S.A.
[40] Astm C642,(2019). Standard Test Method For Determining The Amount Of Water Absorbed In Hardened Concrete, Astm International, West Conshohocken, U.S.A.
[41] Astm C109/C109m-20, Standard Test Method For Compressive Strength Of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-In. Or [100-Mm] Cube Specimens)
[42] Astm C979,(2019). Instructions And Rules For Making Colored Concrete, U.S.A.
[43] Physical And Chemical Properties Of Neyriz White Cement. Www.Neyrizcement.Ir (In Persian)
[44] Physicochemical Properties Of Normal Carboxylate Based Superplasticizer Super Plast Sp400. Www.Sivanland.Com (In Persian)
[45] Physical And Chemical Properties Of Pigment Okhra . Www.Powder-Delijan.Ir (In Persian)
[46] Physical and chemical properties of aluminum oxide nanopowder / nanoparticles (AL_2O_3, Alpha, 99+%, 50 nm, hydrophilic)-1400 www.us-nano.com