

# Investigating the Durability and Construction of Red Colored Concrete With Different Weight Ratios of Okhra Powder and White Cement Under Freeze and Thaw Cycles

Masoud Ghahramani<sup>1</sup>, Ali Mohammad Sazegar<sup>2</sup>, Babak Mansouri<sup>3\*</sup>

1- Master's student in Civil Engineering, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Fars, Iran

2- Master's student in Civil Engineering, Islamic Azad University, Sepidan Branch, Fars, Iran

\*3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Firoozabad Branch, Meymand center, Islamic Azad University, Fars, Iran Babak.mansoori@iaau.ac.ir

Received: 02 February 2024 Revised: 23 June 2024 Accepted: 09 July 2024

Research paper

## Abstract

Color is very important in architecture and urban planning. You can see the use of different colors in urban planning such as building facades, streets and sidewalks. In addition to beauty and color quality, colored concrete must be resistant to adverse weather conditions. Okhra is a type of mineral soil that has a large amount of iron oxide and is available in red to brown colors. In this research, to change the color of concrete, white cement and okhra powder were used in different weight ratios of 2.5%, 5%, 7.5% and 10%. Then, to check the strength and durability of concrete, tests of compressive strength, tensile strength and freezing durability of concrete were conducted. The results of this research showed that okhra has a very high coloring property and replacing 5% with cement completely changes the color of concrete. In the following, the 90-day compressive strength of samples with 2.5%, 5%, 7.5% and 10% okhra increased by 5.9%, 11.5%, 15.6%, and 18.5%, respectively. The results of the freeze and thaw test of the samples showed that the use of okhra will not significantly reduce resistance the concrete against freezing.

**Keywords:** Colored Concrete, Frost Resistance, Okhra Powder, Red Concrete.

---

\*Corresponding Author: Babak Mansouri

ghahramani, M., sazegar, A., Mansoori, B. Investigating the Durability and Construction of Red Colored Concrete With Different Weight Ratios of Okhra Powder and White Cement Against the Freezing Cycle. *Journal of Concrete Structures and Materials*, 2024; 9(1): 1-17. <http://doi.org/10.30478/jcsm.2024.441218.1361>

2538-5828/ © 2024 The Authors. Published by Iranian Concrete Society

This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## بررسی دوام و ساخت بتن رنگی قرمز با نسبت‌های مختلف وزنی پودر آخرا و سیمان سفید در برابر چرخه یخ‌زدن و آب‌شدن

مسعود قهرمانی<sup>۱</sup>، علی محمد سازگار<sup>۲</sup>، بابک منصور<sup>۳\*</sup>

۱- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، فارس، ایران

۲- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سپیدان، فارس، ایران

\*۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد مرکز میمند، فارس، ایران

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

تاریخ دریافت: ۱۳/۱۱/۱۴۰۲، تاریخ بازنگری: ۰۳/۰۴/۱۴۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۹/۰۴/۱۴۰۳

نوع مقاله: پژوهشی

### چکیده

رنگ در معماری و شهرسازی جایگاه ویژه‌ای دارد. بکارگیری طیف‌های رنگی در فضای شهری را می‌توان در نمای ساختمان‌ها، کفسازی، مبلمان شهری و خیابان مشاهده کرد. بتن رنگی علاوه بر زیبایی و کیفیت رنگ‌پذیری باید در برابر شرایط محیطی و جوی مختلف مقاوم باشد. آخرا نوعی خاک معدنی است که دارای مقدار زیادی اکسید آهن می‌باشد و به رنگ‌های قرمز تا قهوه‌ای یافت می‌شود. در این تحقیق برای تغییر رنگ بتن، از سیمان سفید و پودر آخرا به میزان ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ وزنی سیمان استفاده شد. در ادامه برای بررسی رفتار و دوام بتن آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و دوام ذوب و انجماد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که آخرا خاصیت رنگ دهی بسیار بالایی دارد و افزودن حداقل ۵٪ آن به جای سیمان، رنگ بتن را کاملاً تغییر می‌دهد. در ادامه مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه‌های دارای ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ آخرا به ترتیب ۵/۹٪، ۱۱/۵٪، ۱۵/۶٪، ۱۸/۵٪ افزایش یافت. نتایج دوام یخ زدگی و ذوب نمونه‌ها نشان داد که استفاده از آخرا باعث کاهش محسوس مقاومت زودرس بتن در برابر یخ‌زدن و آب‌شدن نخواهد شد.

کلمات کلیدی: بتن رنگی، دوام یخ زدگی، پودر آخرا، بتن قرمز.

بتن یکی از پرکاربردترین مصالح مورد استفاده در صنعت ساخت و ساز تلقی می‌شود. بتن از مقاومت بالایی برخوردار است و می‌توان با استفاده از مواد و تکنیک‌های مختلف ظاهر آن را زیبا و عام‌پسند جلوه داد. استفاده از بتن رنگی به‌عنوان نماسازی ساختمان یک سبک نسبتاً مدرن و ارزان قیمت است که از دیدگاه برخی طراحان، زیبایی منحصر بفردی دارد [۱]. نماسازی با بتن رنگی به دلایل بسیاری می‌تواند مورد استقبال قرار گیرد. زیرا بتن تازه شکل‌پذیر است و می‌توان مطابق با نظر و سلیقه افراد به آن شکل و فرم دلخواه داد. استفاده از این روش باعث می‌شود نیازی به استفاده از مصالح دیگر برای پوشش کار نباشد که در این صورت هزینه‌های نماکاری به صورت چشمگیری کاهش می‌یابد. خصوصاً مطابق ضوابط بلند مرتبه‌سازی برای کاهش وزن سازه (سبک‌سازی ساختمان) و جلوگیری از خطر سقوط مصالح جدا شونده در نما، استفاده از بتن رنگی می‌تواند موثر باشد [۲]. در برخی از پروژه‌های بزرگ که کاهش هزینه‌های ساخت اهمیت دارد نماکاری با بتن رنگی می‌تواند به‌عنوان یک پیشنهاد اقتصادی مطرح شود. حتی استفاده از این روش در طرح‌های دولتی برای انبوه‌سازی مانند مسکن مهر یا مسکن ملی می‌تواند بسیاری از هزینه‌ها را کاهش دهد.

به‌طور کلی مواد رنگی جهت ساخت بتن رنگی، به دو گروه رنگ‌ها و رنگدانه‌ها دسته‌بندی می‌شوند و با یکدیگر تفاوت دارند. رنگ فقط سطح اجسام را رنگی می‌کند و در آب حل نمی‌شوند، اما رنگدانه با عناصر اختلاط ترکیب شده و کل بتن را رنگی می‌کند [۳]. همچنین رنگدانه‌ها نیز به دو گروه رنگدانه شیمیایی<sup>۱</sup> و رنگدانه معدنی<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. رنگدانه‌های معدنی یا طبیعی پس از استخراج از پوسته زمین، خردایش و در اندازه‌های مختلف عرضه می‌شوند. اندازه ذرات این رنگدانه‌ها در کیفیت رنگداهی و جلوگیری از تهنشین شدن ذرات تاثیر زیادی دارد. برخی از رنگدانه‌های معدنی در مقابل اسیدها، قلیاها، نور خورشید، گرما و سایر عوامل فیزیکی و شیمیایی پایدار هستند و خواص خود را حفظ می‌نمایند [۴]. عمدتاً رنگدانه‌های معدنی بدلیل سختی بالا و اندازه بسیار ریزی که دارند، باعث کاهش تخلخل، افزایش مقاومت و دوام در بتن خواهند شد [۵]. همچنین بدلیل تنوع بالای این مواد می‌توان به طیف رنگی فراوانی در بتن دست یافت. رنگدانه‌های معدنی در مقایسه با رنگدانه‌های شیمیایی بسیار ارزانتر، در دسترس‌تر و فرآوری آن راحت‌تر می‌باشد. عمدتاً این رنگدانه‌ها سمی نیستند و استفاده از آن باعث آلودگی محیط زیست نخواهد شد. این مواد معمولاً حاوی اکسید فلزات هستند و 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 [۶]. تولید صنعتی رنگدانه شیمیایی در بتن پیچیده می‌باشد و مستلزم احداث کارخانجات نوین می‌باشد. در ایران عمدتاً رنگ‌های شیمیایی بصورت وارداتی از کشورهای چین، هند و آلمان تامین می‌شود که این مسئله موجب برون رفت ارز از کشور خواهد شد. در حالیکه سالانه چندین هزار تن از انواع خاک‌های رنگی در ایران به کشورهایمانند امارات یا چین جهت استفاده در صنایع مختلف صادر می‌شود که نوعی خام فروشی محسوب می‌شود [۷]. 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 آن محصول را صادر کرد و رونق اقتصادی و ارز آوری ایجاد کرد. 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 ساختمان‌های تجاری بسیار مرسوم می‌باشد. در روانشناسی رنگ، قرمز نشانه خطر است. بنابراین رنگ قرمز در طیف‌ها و شدت رنگ مختلف می‌تواند در موارد مختلفی مورد استفاده قرار گیرد [۸].

۱ رنگدانه شیمیایی در کارخانه تولید و عرضه می‌شود.

۲ رنگدانه معدنی بطور مستقیم از معادن طبیعی استخراج می‌شود.

ساخت بتن رنگی برای اولین بار در دهه ۵۰ میلادی با اضافه کردن اکسید آهن به مخلوط بتن انجام شد [۹]. لی<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۲۰۲۱، به بررسی و ساخت بلوک بتنی رنگی بوسیله نسبت‌های مختلف وزنی اکسید آهن پرداختند. در این تحقیق برای ساخت بتن‌های قهوه‌ای از اکسید آهن در نسبت‌های وزنی ۲٪، ۴٪، ۶٪ و ۸٪ سیمان استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از ۴٪ اکسید آهن به جای بخشی از سیمان، میزان مقاومت فشاری بتن را تا ۱۰٪ کاهش می‌دهد [۱۰]. لویز<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۲۰، به بررسی پایداری رنگ در ملات و بتن پرداختند. آن‌ها جهت حفظ دوام رنگ بتن و جلوگیری از تخریب آن از اکسید آهن زرد به همراه سیمان خاکستری استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که رنگ بتن در مناطقی که تحت شرایط دما و رطوبت کنترل شده قرار می‌گیرند پایدار خواهد بود [۱۱]. سیواجدامبارام<sup>۵</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۹، به بررسی ویژگی‌های رنگی و خطرات استفاده از پیگمنت متاکائولینیت و هماتیت در بتن پرداختند. در این تحقیق از اکسید آهن بازیابی شده از تصفیه خانه یک معدن ذغال سنگ متروکه استفاده گردید. نتیجه این تحقیق به مناسب بودن این ماده به‌عنوان رنگدانه‌های برای بتن و یک استفاده بالقوه برای حجم زیادی از پسماند اکسید آهن جمع‌آوری شده از تصفیه خانه‌های معدنی ارائه می‌دهد [۱۲]. لوینسون<sup>۶</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۸، به بررسی و تهیه تولید کفپوشهای بتنی رنگی جهت جایگزین نمودن آسفالت پشت بام ساختمان‌ها پرداختند. در این تحقیق با استفاده از یک پوشش دو لایه با هدف کاهش جذب نور و گرمای خورشید، اقدام به ساخت نمونه‌های بتنی در رنگ‌های مختلف زرد، قهوه‌ای، سبز، آبی در طیف‌های روشن تا تیره نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که جذب نور و گرمای خورشید در پوششهای قهوه‌ای تا سبز تیره تا ۵۹٪ بیشتر از رنگ‌های روشن می‌باشد [۱۳]. قلعه‌نویی<sup>۷</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۷ میلادی، به بررسی و ساخت بتن خود تراکم<sup>۸</sup> با استفاده از بوکسیت<sup>۹</sup> (پسماند ناشی از پالایشگاه‌ها)<sup>۱۰</sup> پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از بوکسیت تاثیر منفی بر خصوصیات بتن نمی‌گذارد. همچنین اذعان شد که استفاده از بوکسیت می‌تواند برای ساخت بتن سبز رنگ با خصوصیات مشابه با بتن معمولی استفاده گردد [۱۵]. حیدری و همکاران در سال ۱۳۹۵ به مروری بر انواع مزایا و معایب ساخت بتن‌های رنگی پرداختند. در این تحقیق توصیه شد که برای ساخت بتن در رنگ‌های زرد تا قهوه‌ای از اکسید آهن، جهت ساخت بتن سیاه از پودر کربن، جهت ساخت بتن آبی از پودر اکسید کبالت و جهت ساخت بتن سبز از اکسید کروم استفاده شود. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از مصالح رنگی به میزان حداکثر ۱۰٪ وزنی سیمان، بهترین نتیجه را در پی خواهد داشت [۱۶]. ساقی و همکاران در سال ۱۳۹۳ به بررسی اثر انواع رنگدانه شیمیایی روی خصوصیات بتن پرداختند. آن‌ها در این تحقیق از پودرهای رنگی مصنوعی برای تولید بتن زرد رنگ مطابق استاندارد ملی آبا به میزان ۴٪ و ۶٪ وزنی سیمان استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد بتن رنگی ساخته شده در سن ۷ روز تا ۱۰٪ کاهش مقاومت و در سن ۲۸ روز تا ۱۵٪ کاهش مقاومت فشاری نشان می‌دهد [۱۷].

<sup>3</sup> Hyun Soo Lee

<sup>4</sup> Anahí López

<sup>5</sup> Sivachidambaram Sadasivam

<sup>6</sup> Ronnen Levinson

<sup>7</sup> Hossein Ghalehnovi

<sup>8</sup> Scc

<sup>9</sup> Bauxite

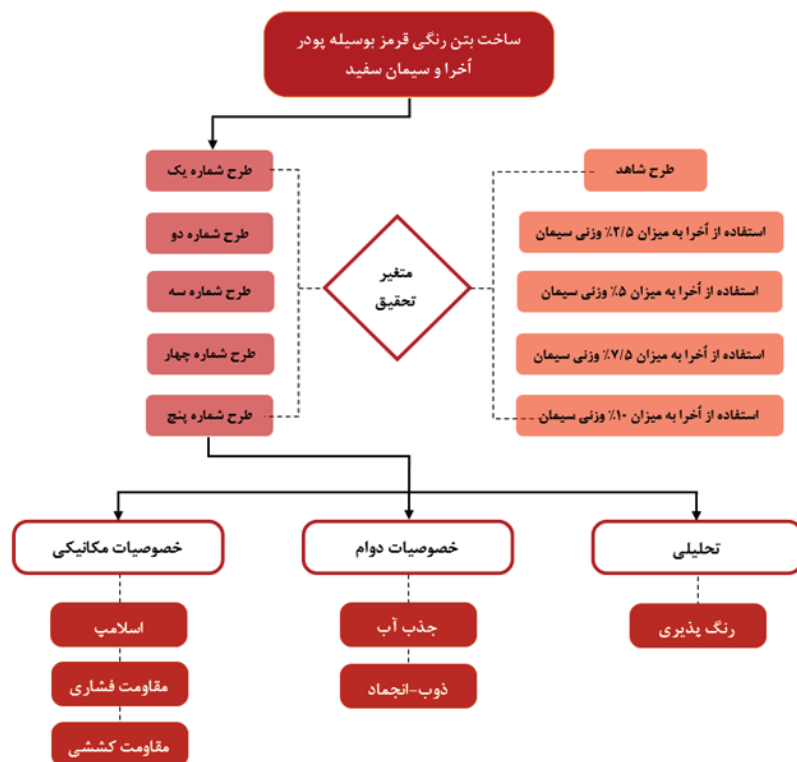
<sup>۱۰</sup> بوکسید زباله‌ای سمی، غنی از رنگدانه‌های زرد است که به دلیل قلیایی بودن زیاد، محل دفن زباله و محیط اطراف را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

برای تولید بتن رنگی می‌توان از انواع رنگدانه یا سیمان رنگی استفاده کرد. اما تولید سیمان‌های رنگی در ایران طی سال‌های اخیر بسیار محدود شده. علاوه بر آن، سیمان‌های رنگی موجود در بازار طیف رنگی وسیعی ندارند و صرفاً به چند رنگ اصلی محدود می‌شوند [۱۸]. اما استفاده از برخی افزودنی‌های رنگدانه در بتن علاوه بر افزایش مقاومت نیز منجر به کاهش هزینه ساخت خواهند شد. اکسیدهای آهن، کبالت، آزوریت، کروم و تیتانیوم از جمله افزودنی‌ها هستند [۱۹]. اما عوامل دیگری در کیفیت و ماندگاری رنگ بتن تاثیر گذارند که برخی شامل شرایط جوی و آب و هوایی، تغییرات گسترده دما، میزان رطوبت محیط، نور خورشید، باران‌های اسیدی و غیره در طی سالیان طولانی می‌تواند اثرات مخربی داشته باشد که باید قبل از استفاده در بتن مورد بررسی قرار گیرد [۲۰]. هنگامی که آب موجود در منافذ بتن یخ می‌زند، می‌تواند حجم آن را تا ۹٪ افزایش دهد. بنابراین این افزایش حجم، منجر به ترک خوردن و انفصال بتن می‌گردد. همچنین بعد از ذوب شدن یخ بتن، فضای تخلخل برای ورود مقدار آب بیشتری فراهم می‌شود که در چرخه بعدی انجماد، بتن بیش از پیش تحت آسیب قرار می‌گیرد. این چرخه مدام تکرار می‌شود و هر بار، آسیب بیشتری به بتن وارد می‌شود [۲۱-۲۲].



شکل ۱ استفاده از بتن قرمز در فضای داخلی و خارجی ساختمان [۴،۵]

با توجه به نتایج بدست آمده از سایر تحقیقات گذشته، می‌توان ادعان داشت که عمدتاً میزان استفاده از رنگدانه در بتن با توجه به نوع و خصوصیات شیمیایی آن ماده متغیر می‌باشد. بنابراین ضرورت دارد تا میزان استفاده از هر نوع رنگدانه در بتن بر اساس آزمایش و بهینه‌یابی مورد بررسی و سنجش قرار گیرد. از طرفی میزان ماندگاری و دوام رنگدانه‌های معدنی در دراز مدت (طی چندین سال) همواره از ابهامات استفاده از این روش است که تاکنون پاسخی برای آن یافت نشده. در این تحقیق پس از معرفی مصالح مصرفی و تعیین استانداردهای روش کار جهت ساخت بتن رنگی قرمز بوسیله رنگدانه معدنی، اقدام به تحلیل و تفسیر نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی گردیده. یکی از نوآوریهای این تحقیق ارائه طرح ساخت بتن رنگی قرمز جهت استفاده در نماسازی می‌باشد. بطوریکه در سبک معماری مدرن استفاده از بتن رنگی می‌تواند باعث کاهش هزینه ساخت و کاهش استفاده از سنگ، چوب یا سایر ادوات نماسازی گردد [۲۳]. شکل شماره ۲ مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۲ فلوجارت مراحل آزمایش این تحقیق

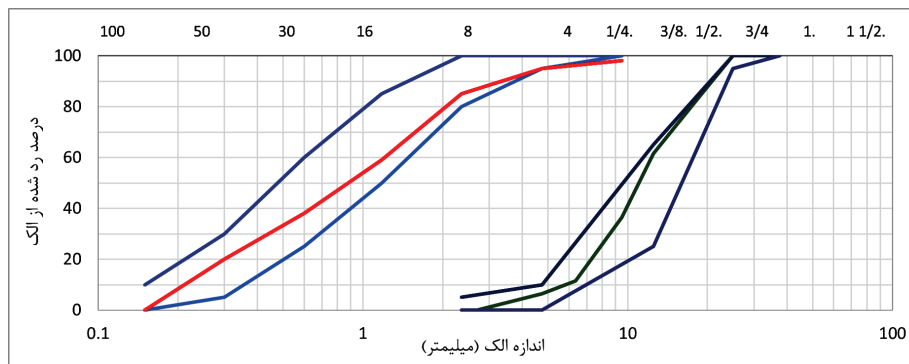
## ۲- مواد و مصالح

سنگدانه مورد استفاده جهت ساخت بتن در این تحقیق، مخلوط نخودی و بادامی با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر می‌باشد که از معدن منطقه دوکوهک استان فارس تهیه گردیده. مشخصات فیزیکی این سنگدانه مطابق با جدول شماره ۱ می‌باشد. مدول نرمی ماسه مورد استفاده مطابق با استاندارد ASTM-C136 نیز ۲/۹ بدست آمد.

جدول ۱ مشخصات شن و ماسه مصرفی

نوع سنگدانه	حداکثر قطر سنگدانه	مدول نرمی	وزن مخصوص خشک	جذب آب
	mm			
ماسه	۴/۷۵	۲/۹	۱۶۵۰	۲/۳
شن	۱۹	-	۱۳۵۰	۱/۵۷

در این تحقیق دانه‌بندی سنگدانه و طبقه‌بندی الک‌های شماره‌بندی شده، مطابق با استاندارد ASTM-C136 انجام و در شکل شماره ۳ نمایش داده شده است. همچنین میزان وزن و اندازه سنگدانه‌ها با الگوی پیشنهادی استاندارد ASTM-C33 مقایسه و تطبیق داده شد. در شکل شماره ۳ الگوی دانه‌بندی ماسه با منحنی قرمز رنگ، الگوی دانه‌بندی شن با منحنی سبز رنگ و تعیین حداقل یا حداکثر میزان مجاز دانه‌بندی شن و ماسه طبق استاندارد ASTM-C33 با منحنی آبی رنگ نمایش داده شده است.



شکل ۳ نمودار دانه‌بندی شن و ماسه و انطباق با محدوده ASTM-C33

برای افزایش کیفیت رنگ پذیری بتن در این تحقیق از سیمان سفید پرتلند نیریز استفاده شد. آنالیز شیمیایی این سیمان در جدول شماره ۲ که منطبق بر شناسه فنی شرکت سازنده این محصول می‌باشد ضمیمه شده است. 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 در نتیجه به رنگ سفید متمایل می‌شود [۲۷].

جدول ۲ ساختار شیمیایی سیمان سفید نیریز [۲۷]

مقدار	نام عنصر
٪۲۲/۷	SiO <sub>2</sub>
٪۴/۱	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
٪۶/۳	FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
٪۰/۹	MgO
٪۲/۷	SO <sub>3</sub>
٪۶۶/۷	CaO
٪۰/۵	K <sub>2</sub> O
٪۰/۵	Na <sub>2</sub> O

خاک آخرا 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. بطوریکه بیش از ۸۵٪ ساختار شیمیایی این ماده را اکسید سوم آهن تشکیل داده است. این محصول در واکنش با آب رنگدهی بالایی دارد. آخرا رنگدانه‌های بی بو و غیر سمی است که در برابر موادی مانند اسید، آهک و قلیاییها مقاومت مناسبی دارد. آخرا تا دمای نزدیک به ۸۰۰ درجه سانتیگراد تغییر رنگ ندارد. این ماده در اسید هیدروکلریک به طور کامل حل می‌شود و در اسید سولفوریک، حلالیت نسبی دارد. میزان pH آخرا بین ۴ تا ۸ اعلام شده است [۲۷]. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این ماده به استناد از شناسه محصول خریداری شده به شرح جدول شماره ۳ و ۴ می‌باشد.



شکل ۴ پودر آخرا مصرفی

جدول ۳ مشخصات شیمیایی پودر آخرا مصرفی

مقدار	نام عنصر
%۱۰/۸	Si <sub>۲</sub> O
%۵۶/۶	Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>
%۱/۴	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>
%۱۱/۶	CaO
%۰/۱۶	MgO
%۱۳/۱	SO <sub>۳</sub>
%۵/۹	LOI

جدول ۴ مشخصات فیزیکی پودر آخرا مصرفی

میزان جذب آب %	سختی موهس	اندازه ذرات	نماد شیمیایی	وزن مخصوص
		μm	μm	gr / cm <sup>۲</sup>
۴/۲ - ۳/۸	۵ - ۴/۵	۲۵ >	Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۳/۱

بدلیل آنکه خاک‌های رنگی معمولاً بصورت پودر در بتن استفاده می‌شوند، باید همراه آب به کار روند و در آب حل شوند. در غیر این صورت خاک‌های رنگی موجب کاهش روانی بتن می‌گردند [۲۸]. همچنین در صورتیکه عناصر ساخت بتن به خوبی میکس نگردند، خاک‌های رنگی ته نشین شده و باعث اخلاص 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 روان کننده جهت حصول روانی، حفظ کیفیت رنگ پذیری و شفافیت در نوع رنگ ضرورت دارد [۱، ۴، ۹]. 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 توصیه شده [۵-۱]. لذا در این تحقیق برای دستیابی به پخش یکنواخت رنگدانه در بتن و حفظ روانی آن از ابر روان کننده SP400 پایه پلیکربوکسیلات، استفاده شد. این ماده جزء جدیدترین نسل ابر 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 [۲۷]. جدول شماره ۵ مشخصات فیزیکی ابر روان کننده مصرفی را نشان می‌دهد.

جدول ۵ مشخصات فیزیکی آبروان کننده SP400

وزن مخصوص	استاندارد	یون کلر	pH	حالت فیزیکی	مقدار جایگزینی
gr/cm <sup>3</sup> ۱/۱	ASTM C1017	%۰/۱	۵/۵۸	مایع	۱٪ تا ۲٪ وزن سیمان

۳- برنامه آزمایشگاهی

برنامه آزمایشگاهی در این تحقیق شامل ساخت ۸۵ نمونه بتن رنگی قرمز در طیف‌های رنگی مختلف می‌باشد. برای این منظور ۴۵ نمونه مکعبی 15x15x15 سانتیمتری برای تعیین مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه، تعداد ۵ نمونه استوانه‌ای 15x30 سانتیمتری جهت تعیین مقاومت کششی ۲۸ روزه به روش برزیلین، تعداد ۵ نمونه مکعبی 10x10x10 سانتیمتری ۲۸ روزه برای سنجش جذب آب اولیه (۳۰ دقیقه) و ثانویه (۷۲ ساعت) در بتن سخت شده و تعداد ۳۰ نمونه جهت تعیین دوام بتن در برابر چرخه ذوب و انجماد ساخته شد. لازم به ذکر است که برای سنجش مقاومت فشاری از سه نمونه استفاده گردید و میانگین آن، بعنوان نتیجه نهایی در نظر گرفته شد. همچنین جهت تعیین دوام بتن در برابر یخ زدگی نیز از میانگین دو نمونه بعد از گذشت ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ چرخه ذوب و انجماد استفاده شد. سایر آزمایشات مذکور بر روی یک نمونه ۲۸ روزه انجام شد. تعداد، سن و نوع نمونه‌های بتن، روش آزمایش و استاندارد مربوط به آن‌ها مطابق جدول شماره ۶ می‌باشد. طبق استاندارد ASTM-C979 مقدار مجاز استفاده از رنگدانه‌ها در بتن حداکثر ۱۰٪ وزنی سیمان می‌باشد و تا این میزان روی مقاومت فشاری بتن اثر سویی نخواهد داشت. نتایج سایر تحقیقات نشان می‌دهد مقدار مجاز استفاده از پودر آخرا در بتن کمتر از ۱۰٪ وزنی سیمان می‌باشد و استفاده از مقادیر بالاتر احتمال کاهش کیفیت را در پی خواهد داشت [۴،۵،۸،۹]. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و در نظر گرفتن میزان رنگدگی مصرفی، مقادیر تعیین شده جهت افزودن این رنگدانه در نسبت‌های ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ بعنوان جایگزین وزنی بخشی از سیمان در نظر گرفته شد. مبنای طرح مخلوط مورد استفاده در این تحقیق استاندارد وزنی ACI-211 می‌باشد که بر اساس نوع و جنس مصالح، به روش سعی و خطا بهینه‌یابی شده است. سنگدانه مورد استفاده بصورت کاملاً خشک و با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر و نسبت آب به سیمان ۰/۵ مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای حفظ کارایی بتن و افزایش کیفیت رنگ، از سیمان سفید و آبروان کننده بر پایه پلی‌کربوکسیلات به میزان ۱٪ وزنی سیمان استفاده شد. در جدول شماره ۷ مقادیر مصالح مصرفی برای تهیه یک متر مکعب بتن به ازای طرح مخلوط‌های مختلف نمایش داده شده است.

جدول ۶ مبنای استاندارد و تعداد و ابعاد نمونه‌های مورد آزمایش

ردیف	شرح آزمایش	شماره استاندارد	نمونه ۷ روزه	نمونه ۲۸ روزه	نمونه ۹۰ روزه	ابعاد نمونه (سانتیمتر)
۱	اسلامپ	ASTM-C143	-	-	-	بتن تازه
۲	مقاومت فشاری	BS-EN-12390	۱۵	۱۵	۱۵	مکعبی ۱۵x۱۵x۱۵
۳	مقاومت کششی	ASTM-C496	-	۵	-	استوانه‌ای ۱۵x۳۰
۴	جذب آب بتن سخت شده	ASTM-C642	-	۵	-	مکعبی ۱۰x۱۰x۱۰
۵	دوام یخ زدگی	ASTM-C666-B	-	۳۰	-	مکعبی ۱۵x۱۵x۱۵

جدول ۷ طرح مخلوط آزمایشگاهی

ردیف	نام	سیمان سفید kg/m <sup>3</sup>	ماسه kg/m <sup>3</sup>	شن kg/m <sup>3</sup>	اُخرا kg/m <sup>3</sup>	آب kg/m <sup>3</sup>	آبر روان کننده
۱	Control	۴۵۰	۱۰۸۰	۹۲۰	۰	۲۲۵	۴/۵
۲	O-2.5%	۴۵۰	۱۰۸۰	۹۲۰	۱۱/۲۵	۲۲۵	۴/۵
۳	%O-5	۴۵۰	۱۰۸۰	۹۲۰	۲۲/۵	۲۲۵	۴/۵
۴	O-7.5%	۴۵۰	۱۰۸۰	۹۲۰	۳۳/۷	۲۲۵	۴/۵
۵	O-10%	۴۵۰	۱۰۸۰	۹۲۰	۴۵	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 استفاده شدند. سپس برای افزایش کیفیت رنگ بتن ابتدا شن، ماسه، نیمی از آب و نیمی از رنگدانه (اُخرا) اضافه و به مدت ۲ دقیقه با یکدیگر مخلوط شدند. این روند 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 رنگدانه (اُخرا) و باقیمانده آب طرح مخلوط اضافه و به مدت ۱ دقیقه دیگر مخلوط شدند. در انتها آبروان کننده به آرامی اضافه و به مدت ۲ دقیقه دیگر مخلوط شدند. پس از اختلاط کامل مصالح، آزمایش وزن مخصوص بتن تازه و اسلامپ بر روی نمونه‌ها انجام گرفت و نیز قالب گیری شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۲ درجه سانتیگراد قرار گرفته و بعد از آن به مدت ۷ و ۲۸ روز در حوضچه آب عمل آوری شدند. به منظور جلوگیری از چسبندگی بتن به جدار قالب، ابتدا دیواره داخلی قالب با یک لایه نازک روغن معدنی آغشته گردید و سپس بتن در چند لایه داخل قالب ریخته شد. تراکم بتن‌های ساخته شده نیز در سه لایه و با زدن ۲۵ ضربه در هر لایه انجام گردید.



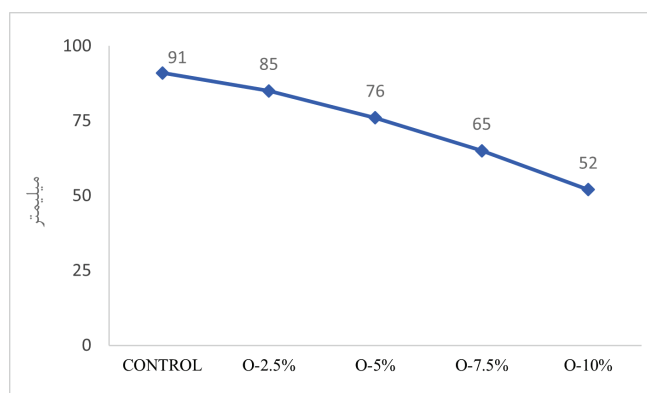
شکل ۵ مدت زمان و ترتیب مصالح اختلاط بتن ماخذ: انویسندگان [

## ۴- یافته‌ها

## ۴-۱- اسلامپ

مطابق توصیه استاندارد ASTM-C979 محدوده مجاز اسلامپ بتن رنگی، بهتر است  $100 \pm 13$  میلیمتر قرار گیرد. شکل شماره ۶ مقایسه نتایج بدست آمده از میزان روانی هر طرح را نمایش می‌دهد. بطور کلی اُخرا جاذب آب است و بدیهی است که در ترکیب با

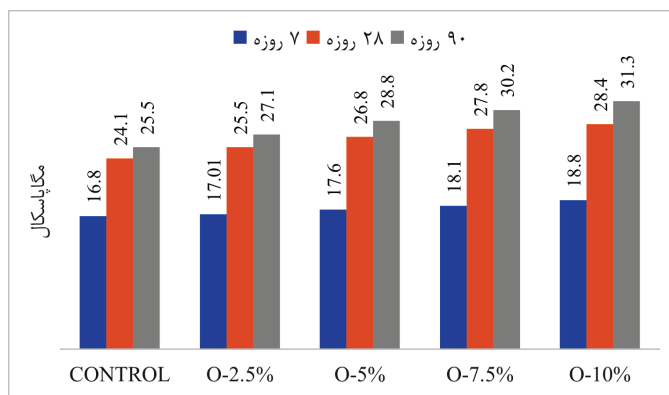
بتن، میزان زیادی از آب بتن را به خود جذب نماید. این اتفاق با افزایش میزان استفاده از آخرا در بتن تشدید می‌شود. پیشینه این تحقیق نیز گواه بر تایید نتایج آزمایش اسلامپ می‌باشد بطوریکه در تمامی تحقیقات صورت گرفته اذعان شده که آخرا جاذب آب بتن است و باعث کاهش روانی بتن می‌گردد [۲۷]. از طرفی استفاده از آبر روان کننده در این تحقیق جهت حفظ اسلامپ بتن موثر بوده در غیر این صورت قطعاً میزان روانی نمونه‌های دارای آخرا از محدوده مجاز فراتر میرفت. نتایج این آزمایش نشان داد که افزودن ۲/۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ آخرا در بتن باعث کاهش اسلامپ به میزان به ترتیب ۷٪، ۲۰٪، ۴۰٪ و ۷۵٪ خواهد شد.



شکل ۶ مقایسه میزان اسلامپ نمونه‌ها

#### ۴-۲- مقاومت فشاری

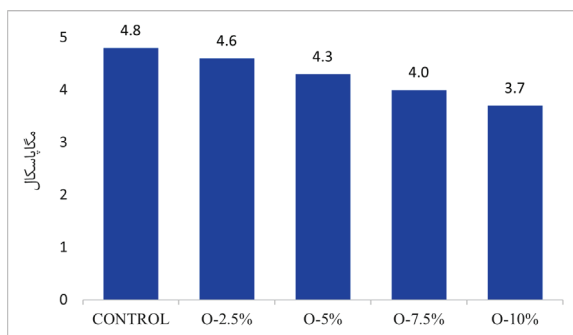
آزمایش مقاومت فشاری مطابق با استاندارد BS-EN-12390 بر روی نمونه‌هایی مکعبی ساخته شده در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه انجام شد. میزان مقاومت فشاری بدست آمده از هر طرح مخلوط به شرح شکل شماره ۷ می‌باشد. نتایج نشان داد که افزودن آخرا در بتن، مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد. بطوریکه طرح 10%، 7.5%، 5%، O-2.5% در سن ۷ روز به ترتیب 2/1%، 5/4%، 2/7%، 6/10% و در سن ۲۸ روز 1/15%، 3/13%، 1/10%، 5/5% و در سن ۹۰ روز 5/18%، 6/15%، 5/11%، 9/5% نسبت به نمونه کنترل افزایش مقاومت داشته است. از مهمترین علل بروز افزایش مقاومت می‌توان به وجود اکسید آهن در ساختار آخرا نسبت داد. همچنین اندازه ریز ذرات آخرا در مقایسه با ذرات سیمان باعث افزایش تراکم بتن گردیده که باعث افزایش مقاومت می‌شود. از طرفی آهنگ کسب مقاومت فشاری در طی زمان روند تصاعدی داشته. بنابراین می‌توان دریافت که افزودن آخرا در بتن باعث افزایش سن گیرش بتن خواهد شد.



شکل ۷ مقایسه نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی

#### ۳-۴- مقاومت کششی

در این تحقیق برای اندازه‌گیری مقاومت کششی بتن از استاندارد ASTM-C496 تبعیت شده است. بدین ترتیب نمونه‌های استوانه‌ای ۲۸ روزه به روش دونیم شدن (برزیلین) مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج آن در شکل شماره ۸ نمایش داده شده. مطابق با نتایج بدست آمده مشخص گردید که افزودن آخرا به جای سیمان در بتن باعث کاهش ژل هیدروکسید کلسیم در بتن شده که این عامل چسبندگی بین اجزای بتن را کاهش می‌دهد. بطوریکه با افزایش هر چه بیشتر مقادیر آخرا، میزان مقاومت کششی بتن کاهش می‌یابد. افزودن ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ آخرا در بتن باعث کاهش مقاومت کششی به میزان به ترتیب ۴/۳٪، ۱۱/۶٪، ۲۰٪ و ۲۹/۷٪ می‌گردد.



شکل ۸ مقایسه میزان مقاومت کششی نمونه‌ها

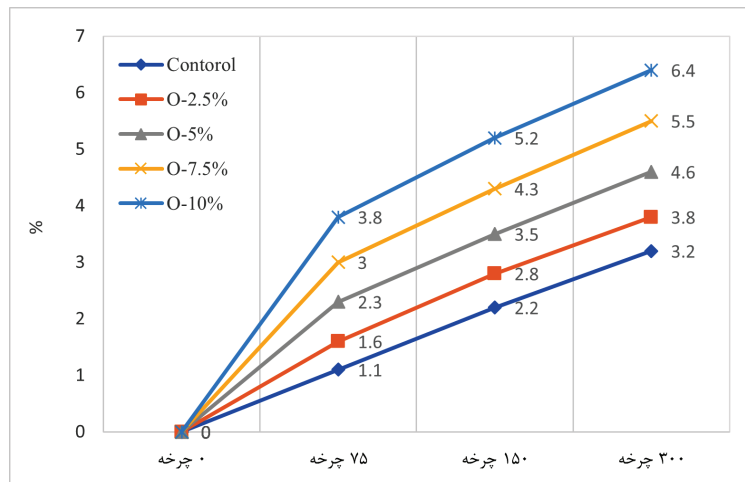
#### ۴-۴- جذب آب در بتن سخت شده

این آزمایش علاوه بر اندازه‌گیری میزان جذب آب نیز معیاری برای سنجش تخلخل در بتن می‌باشد. در این تحقیق به منظور ارزیابی میزان جذب آب در بتن سخت شده از استاندارد ASTM-C642 استفاده شده که بر حسب آن میزان درصد جذب آب اولیه (۳۰ دقیقه) و نهایی (۷۲ ساعت) نمونه‌های مکعبی اندازه‌گیری شد. این آزمایش بر روی نمونه‌های مکعبی ۱۵x۱۵x۱۵ سانتیمتر و در سنین ۲۸ روز انجام گرفت. برای انجام این آزمایش، نمونه‌ها پس از رسیدن به سن آزمایش، از محیط عمل آوری خارج و سطوح آن‌ها بوسیله دستمال خشک گردید. سپس در خشک کن (آون) به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد، قرار گرفتند. پس از خروج از آون، نمونه‌ها خنک شده و بعد از رسیدن به وزن ثابت، وزن شدند ( $M_0$ ). پس از آن نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه و ۷۲ ساعت درون آب قرار گرفتند (غرقاب شدند) و پس از خروج از آب توسط پارچه، آب سطحی نمونه‌ها پاک شده، و وزن شدند (جرم  $M_1$ ). نتایج جذب آب اندازه‌گیری شده برای هر نمونه به‌عنوان افزایش جرم نمونه بر اثر غرق شدن در آب و بر حسب درصد وزن خشک نمونه ارائه گردید. میزان جذب آب بتن اولیه و ثانویه از رابطه شماره ۱ بدست می‌آید [۲۸].

$$a = \frac{M_i - M_o}{M_o} \times 100 \quad (1)$$

نتایج بدست آمده از این آزمایش به شرح شکل شماره ۹ می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که میزان جذب آب بتن در نمونه‌های رنگی نیز به مراتب بیشتر از نمونه شاهد می‌باشد که علت آن هم باید به میزان جذب آب بالای پودر آخرا موجود در بتن نسبت داد. بنابراین با افزایش هر چه بیشتر مقادیر آخرا در بتن نیز میزان جذب آب اولیه و ثانویه بتن بیشتر خواهد شد. بنابه توصیه اکثر مراجع به‌منظور سنجش کیفیت بتن در آزمایش جذب آب، میزان جذب آب اولیه بتن را کمتر از ۲٪ مناسب میدانند. همچنین حداکثر میزان جذب آب نهایی بتن، در شرایط محیطی فوق‌العاده شدید و در محیط‌هایی که سازه در معرض آب دریا می‌باشد بین ۵٪ تا ۵/۵٪ تعیین شده است [۲۹].





شکل ۱۱ مقایسه کاهش وزن نمونه‌ها پس از چرخه ذوب و انجماد

#### ۴-۶- رنگ‌پذیری

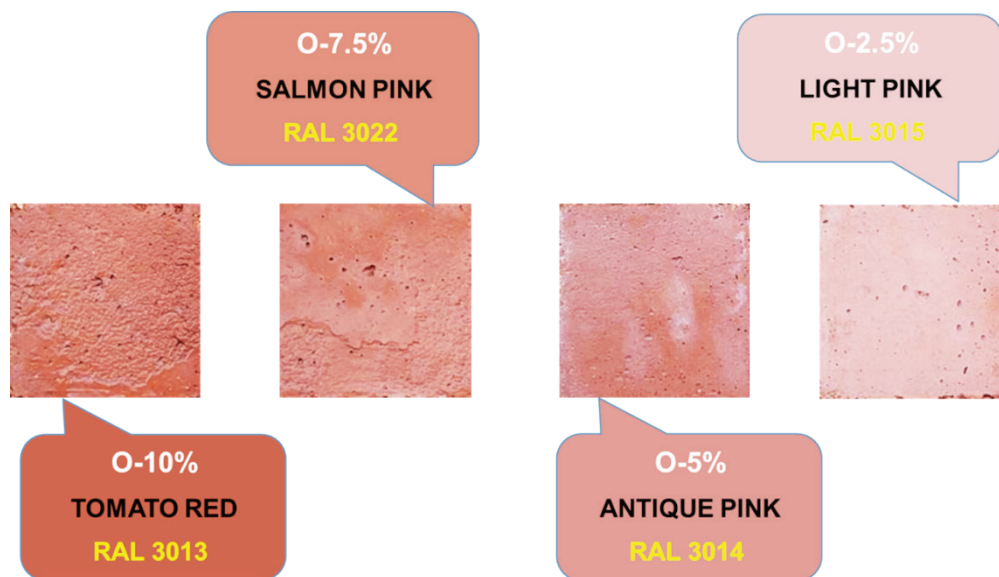
کد یا شناسه رنگ روشی برای تعیین دقیق رنگ برای تشخیص آن می‌باشد. در این تحقیق تلاش گردیده تا شناسه یا کد رنگ نهایی بتن به همراه روش تهیه و طرح مخلوط آن ارائه گردد تا با توجه به طیف رنگ درخواستی، میزان استفاده از آخرا مشخص گردد. قابل ذکر است که نوع رنگ هر نمونه بتنی توسط نرم افزار iColor Picker اسکن و مشخص شده است. این برنامه قادر است تا کد هر رنگ را طبق دامنه رنگ شناسی RAL<sup>۱۱</sup> شناسایی و تعیین کند تا طراحان و بهره برداران بتوانند سریعاً رنگ را شناسایی یا مطابق آن با تغییر در مقادیر استفاده از آخرا به رنگ دلخواه و مورد نظر خود دست یابند.

همچنین کدهای رنگی به طراحان و معماران کمک می‌کند تا در زمینه شبیه‌سازی و طراحی رنگ بتن در نرم‌افزارهای کامپیوتری قبل از اقدام به ساخت، تجسم کنند. در استاندارد رنگ شناسی RAL ارقام (از سمت چپ به راست) به ترتیب بیانگر کد رنگ، سایه رنگ و روشنایی رنگ می‌باشند. با عنایت به نتایج بدست آمده مشخص گردید که پودر آخرا رنگ‌پذیری بالا و با کیفیتی دارد بطوریکه افزودن مقدار کمی از این ماده بجای سیمان قادر است تا رنگ بتن را به کل تغییر دهد. شکل شماره ۱۲ میزان رنگ‌پذیری نمونه‌های ساخته شده با مقادیر مختلف وزنی آخرا را نمایش می‌دهد.



- ۱: بتن دارای سیمان سفید
- ۲: بتن دارای سیمان سیاه
- ۳: بتن دارای ۲/۵٪ پودر آخرا
- ۴: بتن دارای ۵٪ پودر آخرا
- ۵: بتن دارای ۷/۵٪ پودر آخرا
- ۶: بتن دارای ۱۰٪ پودر آخرا

<sup>۱۱</sup> مخفف Reichs Ausschuss für Lieferbedingungen یک سیستم کدگذاری آلمانی برای تعریف و شناسایی رنگ‌ها است.



شکل ۱۲ مقایسه رنگ پذیری نمونه‌های دارای مقادیر مختلف پودر آخرا

#### ۵- بحث

با عنایت به نتایج بدست آمده مشخص گردید که آخرا خاصیت رنگ دهی بسیار بالایی دارد و افزودن آن به جای بخشی از سیمان، رنگ بتن را کاملاً تغییر می‌دهد. به دلیل آنکه عمده ساختار آخرا از اکسید سوم آهن تشکیل شده، شاهدیم که این ماده باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌گردد. همچنین اندازه ذرات ریز آخرا 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. نتایج سایر تحقیقات گذشته استفاده از رنگدانه شیمیایی در بتن را مسبب افت مقاومت فشاری بتن گزارش کرده‌اند [۲،۳،۱۲]. بدلیل جذب آب بالای آخرا استفاده از فوق روان کننده یا ابر روان کننده جهت حفظ اسلامپ بتن، جلوگیری از تهنشین شدن رنگدانه و پخش کاملاً یکدست برای جلوگیری از کلوخگی آن در ترکیب بتن ضرورت دارد. نتایج آزمایش مقاومت کششی نشان داد که افزودن هر چه بیشتر آخرا به جای سیمان باعث کاهش پیوند بین ذرات و کاهش چسبندگی ناشی از حذف سیمان در بتن خواهد شد. در نتیجه با افزایش مقادیر آخرا در بتن، مقاومت کششی کاهش خواهد یافت. توصیه می‌شود برای افزایش دوام بتن رنگی در برابر چرخه انجماد از سایر افزودنی‌های حبابزا، ضدیخ یا ژل نانو سیلیس و یا پوشش‌های پلیمری سطحی استفاده شود [۱۱،۱۵]. این مواد با ایجاد حبابهای ریز در بتن یا ایجاد یک لایه محافظ روی سطح خارجی آن باعث افزایش پایایی در برابر تغییرات دمایی گسترده خواهد شد [۱۶]. با توجه به مقایسه نتایج بدست آمده در این تحقیق و سایر تحقیقات گذشته که در حوزه ساخت بتن رنگی با مواد یا افزودنی شیمیایی گزارش شده است، می‌توان ادعان داشت که استفاده از آخرا برای ساخت بتن قرمز، صورتی یا گلبهای مشروط به در نظر گرفتن پارامترهای دوام یا ارائه طرح‌های تقویتی توجیه پذیر است. بدین ترتیب استفاده از این ماده علرغم اینکه افزایش مقاومت فشاری و کاهش هزینه‌های ساخت را بدنبال دارد، مخاطرات زیست محیطی کمتری دارد و نیاز مصرف کننده را در خصوص ساخت و مصرف بتن رنگی با طیف رنگی قرمز را مرتفع می‌سازد.

## ۶- نتیجه گیری

- ۱- نتایج نشان داد که افزودن آخرا در بتن، مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد. همچنین افزودن آخرا در بتن باعث افزایش سن گیرش بتن خواهد شد.
- ۲- طرح دارای 5/7%، 5%، 5/2% و 10% پودر آخرا در سن ۷ روز به ترتیب 6/10%، 2/7%، 5/4%، 2/1% و در سن ۲۸ روز 1/15%، 3/13%، 1/10%، 5/5% و در سن ۹۰ روز 5/18%، 6/15%، 5/11%، 9/5% نسبت به نمونه کنترل افزایش مقاومت داشته است.
- ۳- افزودن آخرا در بتن باعث کاهش مقاومت کششی بتن خواهد شد. بطوریکه با افزودن 5/7%، 5%، 5/2% و 10% آخرا به جای سیمان، مقاومت کششی بتن به ترتیب 20%، 6/11%، 3/4% و 7/29% کاهش می‌یابد.
- ۴- آخرا جاذب آب بتن است و باعث کاهش اسلامپ بتن می‌شود.
- ۵- استفاده از 5/7%، 5%، 5/2% و 10% پودر آخرا باعث کاهش به ترتیب 5/3%، 7/2%، 3/2%، 9/1% جذب آب اولیه و 1/5%، 6/4%، 1/4% و 8/5% جذب آب ثانویه بتن سخت شده خواهد شد.
- ۶- هر چه مقادیر آخرا در بتن بیشتر شود، میزان جذب آب اولیه و ثانویه بتن نیز بیشتر خواهد شد.
- ۷- طبق نتایج بدست آمده افزودن آخرا در بتن پس از ۷۵ و ۱۵۰ مرتبه چرخه ذوب-انجماد (مناطق معتدل و تعداد کم روزهای یخبندان) بدون ایجاد مشکل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.
- ۸- آخرا رنگ پذیری بالا و با کیفیتی دارد بطوریکه افزودن مقدار کمی از این ماده بجای سیمان قادر است تا رنگ بتن را به کل تغییر دهد.

## سپاسگزاری

قدردانی فراوان از کارخانه تولید بتن آماده «بتن جلالی و بتن سیوان» و موسسه آموزشی و تحقیقاتی «ماهرشو» جهت زحماتی که برای ثمربخش بودن نتایج این تحقیق مبذول داشتند.

## منابع

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] E.a. Dominguez, r. Ullmann, (2016). *Ecological bricks made with clays and steel dust pollutants, appl. Clay sci.* 237–250.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] R. Patakfalvi, i. Dékány, (2014). *Synthesis and intercalation of silver nanoparticles in kaolin-ite/dmsol complexes, appl. American society of civil engineers* 149–159.

- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Lopza.a, elsherabi.c, (2019). Investigating color stability in mortar and concrete, journal of constructional concrete research. 602-620.
- [12] Sivachidambaram.s, gradio.a, (2019). Color and semi-pigment characteristics of metakaolinite and hematite for colored concrete, journal of constructional concrete research. 890-905.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Heydari.m, mohamadi.h, (1395). Review of the advantages and disadvantages of colored concrete, 8th national concrete conference.
- [17] Saghi.h, alizadeh.h, (1393). Investigating the effect of powder pigments on the properties of colored concrete, the third congress of new concrete technologies.
- [18] Shakib.m, bazaae.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.
- [19] 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.
- [20] V. Vishwakarma, d. Ramachandran,(2018). Green concrete mix using solid waste and nanoparticles as alternatives—a review, constr. Build. Mater. 96–
- [21] J. Pera, r. Boumaza, j. Ambroise, (2017). Development of a pozzolanic pigment from red mud, cem. Concr. Res. 1513–1522.
- [22] Z. Pan, l. Cheng, y. Lu, n. Yang, (2012). Hydration products of alkali-activated slag–red mud cementitious material, cem. Concr. Res. 357–362.
- [23] V. Corinaldesi, S. Monosi, M.L. Ruello, (2012). Influence of inorganic pigments' addition on the performance of coloured SCC, Construct. Build. Mater. 289–293.

- [24] A. Lopez, J.M. Tobes, G. Giaccio, R. Zerbino, (2010). *Advantages of mortar-based design for coloured self-compacting concrete*, *Cement Concr. Compos.* 754–761.
- [25] M. Collepardi, A. Passuelo, (2008). *The best SCC stable, durable, colorable*, in *Proceedings of the 4th Int'l ACI/CANMET Conference on Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing*, FURNAS Centrais El'etricas S. A. - Civil Engineering Technological Center, Brazil.
- [26] G. Schopwinkel, R. Tebbe, *German Standard DIN 53 237. (2006), pigments for colouring cement-based and lime-based building materials*, in: *Proceedings of the 2nd Int'l Workshop on Concrete Block Paving*, Bayer AG, Germany. 306–318.
- [27] Mansoori, B., Aghamajidi, R., Bazae, A., & Ghodomizadeh, G. (2023). *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*. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 10(8).
- [28] Bazae, A., Mansoori, B., Aghamajidi, R., & Golshan, M. (2023). *Investigating The Mechanical Properties And Freezing Durability Of Yellow Colored Concrete With Different Weight Ratios Of Mush Clay Pigment (Limonite)*. *Journal of Structural and Construction Engineering*.
- [29] Mansoori, B., Yousefinezhad, H., Avaznejad, F., & Bazae, A. (2024). *Investigating the Freezing Strength and Durability of Lightweight Concrete With Different Weight Ratios of Nano Montmorillonite and Microsilica*. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 55(11), 7-7.
- [30] *Astm c136, (2014). Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*, *astm international, west conshohocken, u.s.a.*
- [31] *Astm c666,(2019). Standard test method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing., u.s.a.*
- [32] *Astm c496,(2019). Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens*, *astm international, west conshohocken, u.s.a.*
- [33] *Astm c109/c109m-20, standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. Or[100-mm] cube specimens)*
- [34] *Physical and chemical properties of pigment mash (limonite)*. *Www.powder-delijan.ir*
- [35] Ghadban, r. A. R., & Abdulrehman, m. A. (2024). *Effect of adding red and yellow pigments to geopolymer concrete*. *Journal of engineering and sustainable development*, 28(02), 222-232.
- [36] Erdem, e., aydin, g. M., & kılınçarslan, r. (2024). *Production of high strength and colored concrete using textile waste reactive dye stuffs as superplasticizers*. *Construction and building materials*, 418, 135382.
- [37] Akbulut, z. F., guler, s., osmanoğlu, f., kivanç, m. R., & khan, m. (2024). *Evaluating sustainable colored mortars reinforced with fly ash: a comprehensive study on physical and mechanical properties under high-temperature exposure*. *Buildings*, 14(2), 453.
- [38] Jesus, C. F., Junior; E. A., Braga, N. T. S., Junior, J. S., & Barata, M. S. (2023). *Coloured concrete produced from low-carbon cements: Mechanical properties, chromatic stability and sustainability*. *Journal of Building Engineering*, 67, 106018.
- [39] Yao, G., Sun, W., Yang, Y., Wang, M., Li, R., & Zheng, Y. (2023). *Multi-volume variable scale bitmap data object classification algorithm architectural concrete color difference detection*. *Journal of Intelligent Construction*, 1(2), 1-17.