نشریه علمی علوم و فناوری رنگ
Journal of Color Science and Technology
www.jcst.icrc.ac.ir

دسترسی آنلاین: www.jcst.icrc.ac.ir
نشریه علمی علوم و فناوری رنگ/ ۱۶، (۱۴۰۱)۱، ۹۲ـ۸۱
نوع مقاله: پژوهشی
دسترسی آزاد

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه رنگ

بررسی تأثیر رنگ دانه های معدنی بر مقاومت فشاری بتن رنگی با تأکید بر نقش بهبود پالت رنگی شهرهای معاصر ایران

مرتضی شریفی[1*]، حمیدرضا شیبانی[2]

۱ـ استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران، کدپستی: ۱۴۳۵۷۶۱۱۳۷

۲ـ مدرس، گروه معماری و شهرسازی، دانشکده فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران، کدپستی: ۱۴۳۵۷۶۱۱۳۷

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۶
در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۱/۳۰
شاپا چاپی: ۸۷۷۹-۱۷۳۵
شاپا الکترونیکی: ۲۱۶۹-۲۳۸۳

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.1.7.9

واژه‌های کلیدی:
بتن رنگی
رنگدانه
افزایش مقاومت
پالت رنگی شهر

چکیده

بتن یکی از مصالح شاخص و پرکاربرد در صنعت راه و ساختمان است. ساخت بتن رنگی نیز در دهۀ اخیر از طرح‌های نوین تحقیقاتی صنعت یادشده است. بتن‌های رنگی در سازه های شاخص شهری علاوه بر مقاومت مطلوب نسبت به بتن معمولی و دیگر مصالح در بهبود پالت رنگی شهر و غنای چشمی محیط های شهری نقش بسزایی دارد. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر رنگ‌دانه‌های معدنی بر مقاومت فشاری بتن رنگی با تأکید بر نقش بهبود پالت رنگی شهرهای معاصر است. بدین منظور نمونه هایی از بتن رنگی با ۲، ۴ و ۶ درصد رنگ دانه و بتن معمولی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج پژوهش بیانگر درصد افزایش مقاومت نمونه‌های بتن رنگی نسبت به بتن معمولی به ترتیب ۲،۳، ۴،۹ و ۸ درصد بوده است که این مهم بر مقاومت و استحکام بتن رنگی برای استفاده در سازه های شهری تأکید دارد.

***Corresponding author**: **msharifi@tvu.ac.ir**

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

available online @ www.jcst.icrc.ac.ir
Journal of Color Science and Technology, 16, 1(2022), 81-92
Article type: Research article
Open access

The Effect of Mineral Pigments on the Compressive Strength of Colored Concrete by Focusing on the Role of Improved Color Palette in Current Cities of Iran

Morteza Sharifi[*1], Hamidreza Sheibani[2]
1- Department of Civil Engineering, Technical and Vocational University (TVU), P.O. Code: 1435761137, Tehran, Iran
2- Department of Architecture and Urban Planning, Technical and Vocational University (TVU), P.O.Code: 1435761137, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 01-02-2021
Accepted: 17-07-2021
Available online: 19-04-2022
Print ISSN: 1735-8779
Online ISSN: 2383-2169

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.1.7.9

Keywords:
Colored concrete
Pigment
Increasing strength
Colorful city palette

ABSTRACT

In the civil engineering industry, concrete is a material that is widely used and highly significant. The production of colored concrete has also been considered in recent decades as one of the emergent research projects in the desired industry. Using colored concretes in prominent urban structures, besides adding the desired resistance to usual concrete and other materials, play an important role in improving the urban`s color palette and the visual richness of urban environments. This study aims to investigate the effect of mineral pigments on the compressive strength of colored concrete by focusing on the role of the improved color palette in current cities of Iran. For this purpose, the samples of colored concrete with 2, 4, and 6% pigments compared to ordinary concrete were tested. The research results showed that the percentage increase in the strength of colored pigmentation of concrete samples compared to the usual concrete was 2.3%, 4.9%, and 8%, respectively, which emphasizes the strength and rigidity of colored concrete to be used in urban structures.

***Corresponding author**: **msharifi@tvu.ac.ir**

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱ــ مقدمه

بتن رنگی، در دهه اخیر از جمله طرح‌های نوین تحقیقاتی در حوزهٔ راه و ساختمان محسوب می‌شود. ساخت و پرداخت آسان بتن رنگی و طیف وسیع کاربردی آن موجب شده است مورد توجه قرار بگیرد [۳-۱]. در عمده سازه‌های شاخص شهری همچون پل‌ها، المان‌ها[1]، بناهای عمومی، فضاهای شهری و همچنین در صنعت ساختمان از بتن استفاده می‌شود که علاوه بر کارکرد سازه‌ای نقش نمای اصلی را نیز ایفا می‌کند، حال آنکه بتن رنگی به‌واسطه رنگین بودن و پالت رنگی نامحدود خود موجب غنای چشمی و زیباسازی شهری نیز می‌شود. بِچیی[2] رنگ را جزء تزئینات نمی‌داند، بلکه معتقد است مصالح و اجزای تشکیل‌دهنده شکل معماری همگی دارای رنگ هستند و رنگ را به‌عنوان جزء اصلی معماری می‌توان قلمداد کرد [۴]. در محیط‌های شهری رنگ را همه‌جا می‌توان دید؛ در بدنه و نمای ساختمان‌ها، پوشش بام، کف‌سازی‌ها، مبلمان شهری و غیره که همگی نقش مهمی در تعیین چهرهٔ رنگی شهر دارند [۵]. سیما و منظر شهرهای معاصر غالباً پالت رنگی خاکستری دارد و بدون تنوع رنگی است [۶]. پالت رنگی بتن تا قبل از استفاده رنگ‌دانه‌های بتن به دو رنگ سیاه و سفید محدود می‌شد. با تولید رنگ‌دانه‌های بتن، پالت رنگی متنوع و گسترده‌ای در اختیار مصالح از جنس بتن قرار گرفت. بتن‌های رنگی از رنگ‌دانه‌های روشن در مناطق گرم و آفتابی برای منعکس کردن نور خورشید و از رنگ‌دانه‌های تیره به‌منظور جذب گرما در مناطق مختلف دنیا استفاده شده است. همچنین برای افزایش عمر بتن‌هایی که در معرض هوازدگی شدید بوده و فرسودگی زیادی داشته‌اند از رنگ‌های سیاه برای این کار استفاده شده است که بهترین نتیجه را نیز به همراه داشته است [۷]. رنگ‌دانه‌ها از هزاران سال پیش برای رنگ‌آمیزی غارها[3]، توسط بشر استفاده شده است و امروزه در محیط‌های شهری به‌طور وسیعی از رنگ‌دانه‌ها استفاده می‌شود [۸]. امروزه رنگ‌آمیزی برای زیبایی، بهداشت، محافظت، بهبود آثار نور و روشنایی، گرمایی و بهبود شرایط کار، ایمنی و اقتصادی صورت می‌گیرد [۹]. اهم پودرهای رنگی معمولی و متداول مصرفی در ملات‌ها و اندودهای رنگی سیمانی عبارت‌اند از [۱۰، ۱۱]:

۱. پودرهای سیاه: دوده[4]، گرافیت[5]، زغال استخوان[6] و دی‌اکسید منیزیم[7]؛

۲. پودرهای قرمز: گل اخری[8]، خاک از ترکیبات سرب[9]، کرم[10] و مومیا[11]؛

۳. پودرهای زرد: خاک از ترکیبات اکسید آهن[12] و منگنز[13]؛

۴. پودرهای آبی: خاک از ترکیبات کبالت[14] و آلومینا[15]؛

۵. پودرهای سبز: خاک با ترکیبات اکسید کرم[16].

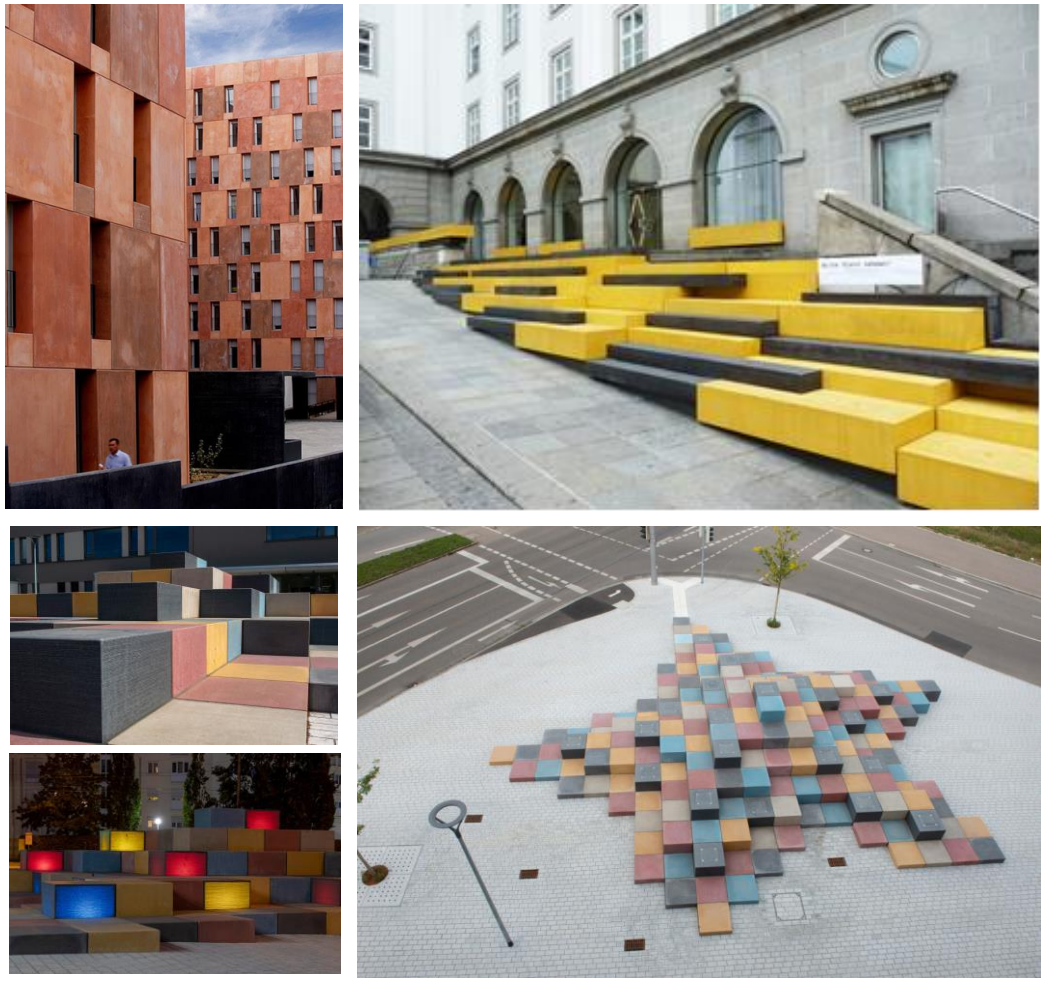
در فرآیند رنگ‌کردن با استفاده از رنگ‌دانه‌ها، باید میلیون‌ها ذرهٔ ریز رنگی وجود داشته باشند تا به‌طور یکنواخت با مخلوط‌کردن در سراسر خمیر سیمان پخش شوند. در این حالت چشم انسان قادر به تشخیص دانه‌های رنگی نیست و تنها نتیجه فرآیند را به‌صورت یک رنگ خاص یکنواخت سفید، قهوه‌ای، سبز، زرد، قرمز، سیاه، آبی یا غیره می‌بیند. بهترین رنگ‌دانه‌ها، رنگ‌دانه‌های طبیعی است که به‌آسانی در دسترس هستند. رنگ‌دانه‌های طبیعی یا معدنی دیگری نیز وجود دارند که می‌توانند دامنهٔ رنگ‌های بتن رنگی را گسترده‌تر کنند. این رنگ‌دانه‌ها عبارت‌اند از: اکسیدهای کرم، کبالت، اکسید تیتانیم، کربن سیاه و غیره که رنگ‌های مختلف سبز، آبی، سفید و سیاه را تولید می‌کنند. البته در ارتباط با مواد رنگی، اکسید تیتانیم مصارف دیگری نیز دارد [۱۲]. با استفاده از رنگ‌های اصلی می‌توان رنگ‌های بنفش، نارنجی، قهوه‌ای، سبز و سیاه را تولید کرد [۹]. برای رنگین‌کردن بتن عواملی همچون اندازهٔ ذرات رنگ‌دانه، طراحی مخلوط و سطح ویژهٔ سیمان، میزان آب و سطح ویژهٔ سنگ‌دانه‌ها تأثیر بسیار زیادی دارد [۱۳]. همچنین رنگ سیمان در رنگی‌کردن بتن تأثیر زیادی دارد. در سیمان‌سفید هرچقدر مقدار رنگ‌دانه‌ها زیادتر باشد بتن رنگ تیره‌تری به خود می‌گیرد، ولی در سیمان خاکستری هرچه میزان رنگ‌دانه بیشتر باشد بتن رنگ روشن‌تری به خود می‌گیرد [۱۴]. روش تولید بتن رنگی اساساً تفاوتی با تولید بتن معمولی ندارد و رنگ‌دانه به‌آسانی به مخلوط اضافه می‌شود. البته باید همهٔ الزامات در آیین‌نامه‌های ASTM C494، AASHTO M 194، ACI 303 و ASTM C 979 رعایت شوند [۱۸-۱۵].

رنگ‌های بتن به دو صورت پودری و مایع مصرف می‌شوند. رنگ‌های پودری محاسن بیشتری نسبت به رنگ‌های مایع دارند که بخشی از آن‌ها عبارت‌اند از: ۱. رنگ‌های پودری نیاز به افزودنی، به‌هم‌زدن، رقیق‌کردن و تنظیم گران‌روی ندارد؛ ۲. در زمان و هزینه صرفه‌جویی می‌شود؛ ۳. از آنجا که پودرها حاوی حلالی نیستند به میزان قابل‌توجهی در برابر آتش و دما مقاوم هستند؛ ۴. مقاوم به خراش و عوامل مکانیکی؛ ۵. میزان براق‌بودن، مقاومت در برابر خوردگی و سختی از دیگر محاسن رنگ‌دانه‌های پودری نسبت به

1- Urban element
2- William Bechey
3- Cave
4- Black
5- Graphite
6- Bone char
7- Magnesia. Mgo
8- Minium. Pb_3O_4
9- Plumbum
10- Chrome
11- Cerosin
12- Ferric oxide. Fe2O3
13- Manganese
14- Cobalt ores
15- Alumina
16- Chromic oxide

رنگ‌دانه‌های مایع است [۱۳]. لازمه یک بتن سخت شده، داشتن مقاومت فشاری کافی و رضایت‌بخش است. مقاومت فشاری فقط به این منظور نیست که بتن بتواند یک تنش فشاری معین را تحمل کند بلکه به دلایل بسیاری، خواص مطلوب بتن، متناسب با مقاومت فشاری آن است و در کل مقاومت فشاری را به‌عنوان یک شاخص از کیفیت کلی به کار می‌برند [۱۹]. یکی از عواملی که تأثیر بسزایی بر میزان دریافت انرژی خورشیدی توسط ساختمان دارد، رنگ ساختمان در نمای خارجی ساختمان است. انتخاب رنگ مناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه می‌تواند به صرفه‌جویی مصرف انرژی منجر شود. می‌توان در مناطق سردسیر از رنگ‌های تیره برای جذب نور خورشید و گرمادهی به ساختمان و در مناطق گرمسیر از رنگ‌های روشن برای انعکاس نور خورشید استفاده کرد [۱۴]. در پژوهشی مصرف انرژی در ساختمان دانشگاهی در تبریز را با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس[1] تحلیل کردند و تأثیر نمای خارجی و رنگ آن را بر مصرف انرژی بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از رنگ سفید به‌جای رنگ‌های تیره در نما می‌تواند میزان انرژی سالانه را حدود ۹ درصد کاهش دهد [۲۰]. در پژوهش حاضر تأثیر استفاده از رنگ‌دانهٔ بتن که باعث زیبایی و دیگر خواص در بتن می‌شود بر مقاومت فشاری بتن معمولی بررسی شده و به مطالعهٔ مقاومت فشاری آن‌ها (با میزان ۲، ۴، ۶ درصد رنگ‌دانه بتن و یک نمونه ساخته‌شده بتن معمولی) پرداخته شده است.

1- Energy Plus



شکل ۱: نمونه‌هایی از کاربرد بتن رنگی در فضاهای شهری [۹].

Figure 1: Examples of the use of colored concrete in urban spaces [9].

۲ـ بخش تجربی

۲ـ۱ـ مصالح مصرفی

۲ـ۱ـ۱ـ سنگ‌دانه

همه سنگ‌دانه‌های مصرفی از جنس گرانیت و بدون هرگونه سنگ‌دانه سوزنی یا پولکی‌شکل هستند. برای جلوگیری از نفوذ خاک در بتن، همه سنگ‌دانه‌های مصرفی شستشو شده‌اند و عاری از هرگونه گل و لای بوده است. همهٔ الزامات استفاده از سنگ‌دانه طبق استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲ (برگرفته از استاندارد ASTM C 33/C 33M) رعایت شده است [۲۱، ۲۲].

الف ـ SSD کردن سنگ‌دانه

همه سنگ‌دانه‌های مصرفی پس از شستشو به مدت ۲۴ ساعت درون آب غوطه‌ور شده و بعد از گذشت ۲۴ ساعت از آب خارج شده‌اند و درون ظروفی که در برابر حرارت مقاوم باشند به ضخامت ۲ سانتی‌متر قرار گرفته‌اند. سپس در دستگاه گرم‌خانه[1] در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به حالت سنگ‌دانه با منافذ اشباع با سطحی خشک[2] درآمده‌اند [۲۳].

ب ـ دانه‌بندی سنگ‌دانه

دانه‌بندی سنگ‌دانه یکی از مهم‌ترین مراحل ساخت بتن است. برای دانه‌بندی سنگ‌دانه طبق استاندارد ASTM C136 عمل شده است [۲۴].

نمودار منحنی دانه‌بندی

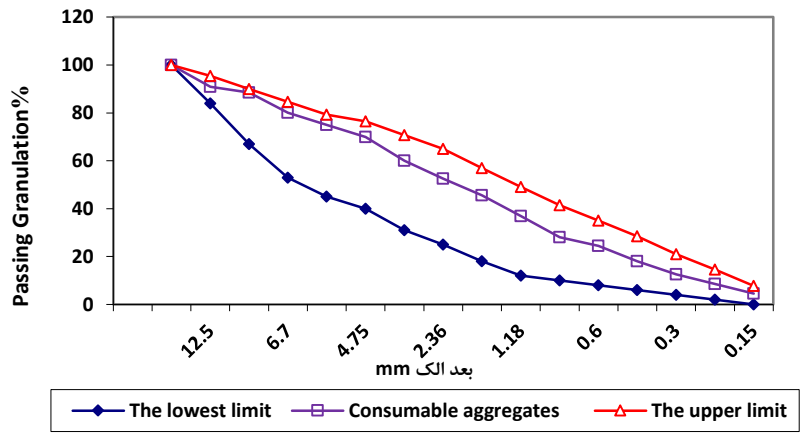
برای رسم نمودار منحنی دانه‌بندی ابتدا باید جدول دانه‌بندی را تکمیل کرد. نمودار منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه استفاده‌شده در نمودار ۱ نشان داده شده است.

1- Oven
2- SSD

جدول ۱: مشخصات دانه‌بندی سنگ‌دانه.

Table 1: The characteristics of aggregate granulation.

Sieve No (inch)	Sieve Size (mm)	The weight of the remaining material on the sieve (gr)	Materials remaining on the sieve (%)	Materials passed through the sieve (%)
3.4"	19	0	0	100
1.2"	12.5	90.5	9.05	95.95
4	4.75	210	21	69.95
8	2.36	174.5	17.45	52.5
16	1.18	156.5	15.65	36.85
30	0.6	124	12.4	24.45
50	0.3	118.5	11.85	12.6
100	0.15	81	8.1	4.5
[3]Pan	-	45	4.5	0



نمودار ۱: منحنی دانه‌بندی.

Figure 1: The linear curve of granulation.

ج- مدول نرمی ماسه

مدول نرمی مصالح مورداستفاده در پژوهش طبق جدول ۲ انجام گرفته است.

د- وزن مخصوص سنگ‌دانه

وزن مخصوص سنگ‌دانه‌ها طبق استاندارد ASTM C128 /C127 در جدول ۳ ارائه شده است [۲۶، ۲۵].

۲-۱-۲- سیمان

سیمان مورداستفاده در طرح اختلاط، سیمان تیپ II شرکت فارس نو (فیروزآباد) با نرمی ۲۹۵۰ gr/cm^2 است. مشخصات شیمیایی سیمان در جدول ۴ موجود است.

جدول ۲: مدول نرمی ماسه.

Table 2: The Softness Modulus of Sand.

Sieve Sample	The weight left on the sieve		Remaining Sands (%)
	Single Sieve	Total Sieve	
4	210	210	24.3
8	174.5	384.5	44.5
16	156.5	541	62.6
30	124	665	76.9
50	118.5	783.5	90.6
100	81	-	-
Pan	-	-	-
Sieve weight	864.5	-	298.9
Soft modulus	298.9÷100=2.98		

جدول ۳: مشخصات وزن مخصوص سنگ‌دانه‌ها.

Table 3: The Aggregate of specific Gravity (Density).

Bulk Specific Gravity kg/m^3	Apparent Specific Gravity kg/m^3	Materials
1945	1840	Sand
1980	1825	Ballast

جدول ۴: مشخصات شیمیایی سیمان تیپ II .

Table 4: Chemical characteristics of cement, type II.

Elements	Amount (%)	Elements	Quantity (%)
$^{2}SiO_2$	٪21.46	$^{1}K_2O$	٪0.78
$^{4}Al_2O_3$	٪5.14	$^{3}Na_2O$	٪0.13
^{6}CaO	٪64.38	$^{5}L.O.I$	٪0.91
^{8}MgO	٪1.38	^{7}Cl	٪0
$^{10}So_3$	٪1.86	$^{9}Fe_2O_3$	٪3.96

۱- اکسید پتاسیم
۲- دی‌اکسید سیلیسیم
۳- اکسید سدیم
۴- اکسید آلومینیم
۵- افت سرخ‌شدگی سیمان
۶- اکسید کلسیم
۷- کلر
۸- اکسید منیزیم
۹- هماتیت
۱۰- تری‌اکسید گوگرد

آزمایش وزن مخصوص سیمان مطابق استاندارد ASTM C188-89 انجام شده است. طبق استاندارد ذکرشده وزن مخصوص سیمان مصرفی ۳,۱۵ g/cm^3 بوده است [۲۷].

۲ـ۱ـ۳ـ آب

آب نقش بسیار مهم در بتن دارد به همین جهت استفاده از آب مناسب در بتن همواره مورد توجه قرار گرفته است. آب به‌کاررفته در ساخت بتن باید پاک و عاری از هرگونه ناخالصی باشد. همچنین میزان اسیدی یا بازی بودن (pH) آب باید بین ۶ تا ۸ باشد [۲۸]. آب مورد استفاده در پژوهش حاضر آب آشامیدنی شهرستان شیراز بوده که با آزمایش‌های انجام‌شده طبق استاندارد ASTM D1067 میزان غلظت یون هیدروژن یا pH آب ۷,۰۸ است [۲۹].

۲ـ۱ـ۴ـ افزودنی

الف ـ فوق روان‌کننده

در این پژوهش از افزودنی فوق روان‌کننده بر پایه پلی‌کربوکسیلیک اتر[1] (طبق استاندارد ASTM C494 و ASTM C107) که رنگی شفاف مایل به قهوه‌ای دارد، استفاده شده است [۳۰، ۳۱].

ب ـ رنگ‌دانه

رنگ بتن استفاده‌شده در این پژوهش به‌صورت پودر بوده و در طیف‌های قرمز، زرد، آبی، سبز و بنفش است. مشخصات رنگ‌دانه‌های مصرفی در جدول ۷ ارائه شده است. حداقل زمان مخلوط‌شدن رنگ‌دانه در بتن ۳ دقیقه است. در هنگام استفاده از رنگ‌دانه باید نکات ایمنی رعایت شود. این پودرها به هیچ عنوان سمی نیستند. طبق استاندارد ASTM بیشینه میزان استفاده از این پودر ۱۰ درصد است که در غیر این صورت بتن با کاهش مقاومت همراه می‌شود. در پژوهش حاضر با میزان ۲، ۴، ۶ درصد رنگ‌دانه بتن و همچنین یک نمونه ساخته شده بدون رنگ‌دانه بتن مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفته است.

۲ـ۲ـ روش کار

همان گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، پس از ساخت نمونه‌ها در قالب‌های مکعبی ۱۵سانتی‌متری و عمل‌آوری آن‌ها در آب به مدت ۷ روز برای آزمونه‌های ۷روزه و ۲۸ روز برای آزمونه‌های ۲۸ روزه، مقاومت فشاری نمونه‌ها با استفاده از جک بتن‌شکن ۲۰۰ تنی دیجیتال اندازه‌گیری شد. با توجه به آزمایش‌های انجام‌شده، میزان اختلاط اجزای بتن (طرح اختلاط) به روش آیین‌نامه ACI-211 محاسبه شد (جدول ۷) و بر روی هر طرح اختلاط نام و کد اختصاصی مطابق جدول ۶ انجام شده است [۳۲]. لازم به ذکر است که برای هر طرح اختلاط ۶ نمونه مکعبی مورد آزمایش فشاری استاندارد قرار گرفته است. ۳ آزمون آن در سن ۷روزه و ۳ آزمون دیگر در سن ۲۸روزه بوده و بررسی‌ها با در نظر گرفتن معدل قرائت‌های به‌دست‌آمده ارائه شده است.

1- PCE

جدول ۵: مشخصات و عناصر اصلی تشکیل‌دهنده رنگ‌دانه‌های مختلف.

Table 5: Characteristics and main constituent elements of different pigments.

Density (gr/cm^3)	Chromium oxide	Silicon oxide	Iron oxide	pH	Humidity (%)	Particle shape	Pigment Color
4.2	-	0.1	<86	4.5	<1.5	**Sharp end**	**Yellow**
4.9	25-45	-	97	3-7	<1	**round**	**Red**
4.8	-	1	5-55	4-7	<1.5	نوک‌تیز	**Blue**

جدول ۶: نام‌گذاری نمونه‌های بتن بر هر طیف.

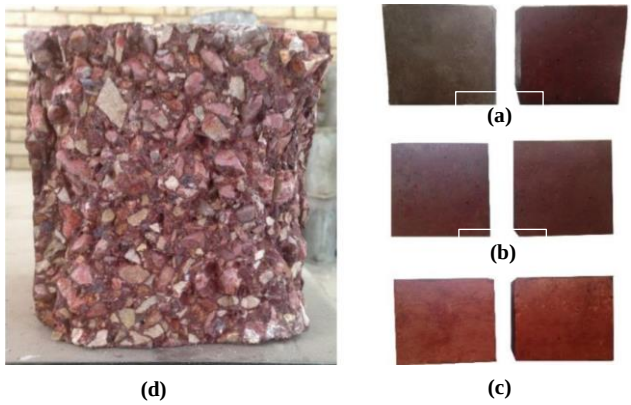
Table 6: Specification of concrete samples based on color spectrum.

۶٪	۴٪	۲٪	Color spectrum
B_3	B_2	B_1	Red
C_3	C_2	C_1	Yellow
D_3	D_2	D_1	Blue
E_3	E_2	E_1	Green
F_3	F_2	F_1	Purple

جدول ۷: میزان مصالح طرح اختلاط.

Table 7: The density of mixing materials.

Lubricating Materials kg/m³	Ballast kg/m³	Sand kg/m³	Water kg/m³	Cement kg/m³	Color Pigment		Mixed Material Code	
					Type of Material	Density kg/m3		
5.25	695	1065	155	404.2	Colorless		A	
5.25	695	1065	155	396.12	Iron oxide	8.08	B1	B
				388.04		16.16	B2	
				379.95		24.25	B3	
5.25	695	1065	155	396.12	Manganese	8.08	C1	C
				388.04		16.16	C2	
				379.95		24.25	C3	
5.25	695	1065	155	396.12	Alumina	8.08	D1	D
				388.04		16.16	D2	
				379.95		24.25	D3	
5.25	695	1065	155	396.12	Alumina and manganese	8.08	E1	E
				388.04		16.16	E2	
				379.95		24.25	E3	
5.25	695	1065	155	396.12	Iron oxide and alumina	8.08	F1	F
				388.04		16.16	F2	
				379.95		24.25	F3	



شکل ۲: (A) نمونه‌های بتن با رنگ‌دانه و بدون رنگ‌دانه؛ (B) بتن با ۴ درصد رنگ‌دانه؛ (C) بتن با ۶ درصد رنگ‌دانه؛ (D) بافت بتن و شکست سنگ‌دانه‌ها در بتن رنگی سخت‌شده.

Figure 2: (A) Concrete samples with color pigment and without pigment; (B) Concrete with 4% pigment; (C) Concrete with 6% pigment; (D) Texture of concrete and fracture of aggregates in hardened colored concrete.

۳ـ نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از انجام آزمایش‌های تعیین مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی رنگی و شاهد به همراه اعمال ضریب انحراف استاندارد آزمونه‌های بتنی ذکرشده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان بوده و قرائت‌های صورت‌گرفته در جدول ۸ آزمونه‌های ۷ روزه و در جدول ۹ آزمون ۲۸ روزه نشان داده شده است [۳۳].

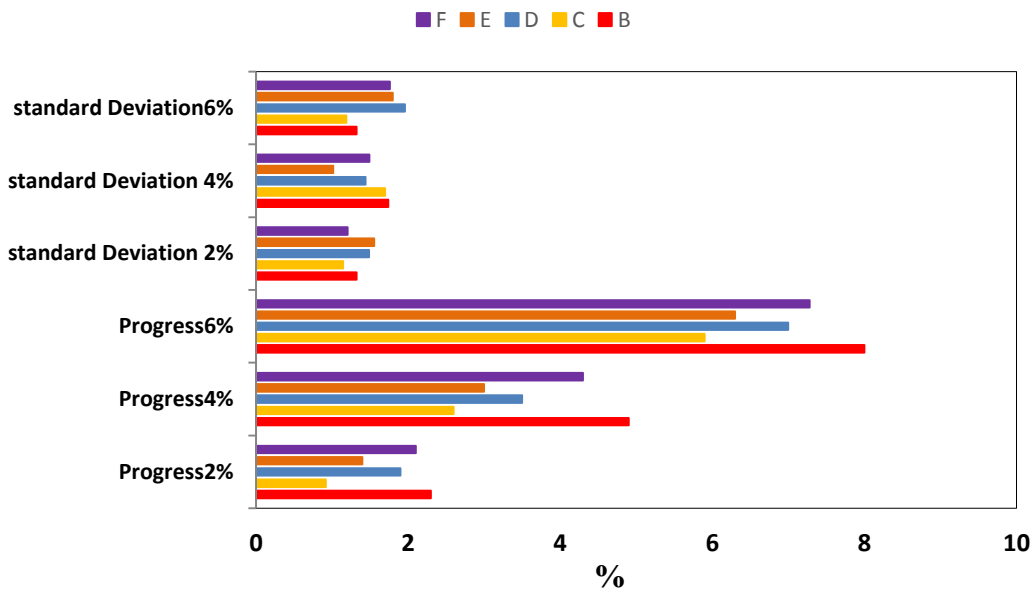
بررسی ضرایب تغییرات مندرج در جداول ۸ و ۹، حاکی از قابل‌قبول بودن استانداردهای لازم رعایت‌شده برای تهیه و آزمایش فشاری نمونه‌ها است.

جدول ۸: مقاومت آزمونه‌های ۷ روزه.

Table 8: Resistance obtained from 7-day tests.

CV%	Average of pushing resistance	Pushing resistance			Sample specifications	
1.2671	243.55	246.2	241.15	243.3	A	
1.21119	249.24	249.28	249.32	253.12	2%	B
0.72188	255.65	257	254.5	255.8	4%	
1.17619	263.11	265.2	261.13	263	6%	
1.15326	245.8	245.3	248	244.1	2%	C
0.77675	249.9	250.3	251	248.4	4%	
1.32396	258.1	261	256.3	258	6%	
1.42244	248.2	245.6	250.5	248.5	2%	D
1.02144	252.1	250.5	254	251.8	4%	
0.71600	260.6	257.7	262.6	261.5	6%	
1.52753	247	245	250	246	2%	E
1.21655	250.9	248.9	253.1	250.7	4%	
1.6094	259.1	258.2	257.1	261	6%	
1.42256	248.9	247.2	249.5	250	2%	F
1.41774	254.1	256.8	252	253.5	4%	
1.44222	261.3	259.3	264.1	260.5	6%	

واحد اعداد به kg/cm^2 است.



نمودار ۲: درصد رشد و انحراف استاندارد نمونه‌های رنگی.

Figure 2: Progress (%) and standard deviation of color samples.

جدول ۹: مقاومت آزمون‌های ۲۸ روزه.
Table 9: Resistance obtained from 28-day tests .

CV%	Average of pushing resistance	Pushing resistance			Sample specifications	
1.16458	347.92	349.2	348.4	348.4	A	
1.32227	356.05	359	353	356.15	2%	B
1.74005	365.2	368	365.5	362	4%	
1.32328	375.87	376	378.11	373.۵	6%	
1.14835	351.14	353	349.12	350.3	2%	C
1.70000	357	356.1	358	357.1	4%	
1.19056	368.71	367	371	368.13	6%	
1.48534	354.57	356	356.11	351.6	2%	D
1.43977	360.14	359	363	358.42	4%	
1.95913	372.28	368.5	375	373.44	6%	
1.55626	352.85	350	355.35	353.25	2%	E
1.01432	385.42	356.64	360.1	358.9	4%	
1.80000	362.7	363	360.2	365	6%	
1.20721	355.57	354.4	353.11	357.2	2%	F
1.49110	363	370.3	366.1	362.9	4%	
1.76231	373.28	376.4	370.3	373.14	6%	

واحد اعداد به kg/cm^2 است.

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۸ و ۹ در مقایسه با مقاومت بتن شاهد (غیررنگی) بررسی مقاومت‌های مربوط به بتن‌های رنگی تولیدشده با استفاده از رنگ‌دانه‌های زرد نشان می‌دهد که افزودن رنگ‌دانه‌های زرد با درصدهای ۲، ۴ و ۶ به ترتیب باعث افزایش مقاومت فشاری بتن به میزان تقریبی ۰,۹۲، ۲,۶ و ۵,۹ درصد می‌شود. رنگ‌دانه‌های سبز با درصدهای ۲، ۴ و ۶ به ترتیب باعث افزایش مقاومت فشاری بتن به میزان تقریبی ۱,۴، ۳ و ۶,۳ درصد می‌شود. رنگ‌دانه‌های قرمز با درصدهای ۲، ۴ و ۶ به ترتیب باعث افزایش مقاومت فشاری بتن به میزان تقریبی ۲,۳، ۴,۹ و ۸ درصد می‌شود. رنگ‌دانه‌های بنفش با درصدهای ۲، ۴ و ۶ به ترتیب باعث افزایش مقاومت فشاری بتن به میزان تقریبی ۲,۱، ۴,۳ و ۷,۲۸ درصد می‌شود. همچنین، رنگ‌دانه‌های قرمز با درصدهای ۲، ۴ و ۶ به ترتیب باعث افزایش مقاومت فشاری بتن به میزان تقریبی ۱,۹، ۳,۵ و ۷ درصد می‌شود.

دلایل متعددی موجب افزایش مقاومت در نمونه‌ها شده است که به شرح زیر است:

۱. با مصرف رنگ‌دانه‌ها، بعد مخصوص بتن افزایش یافته و مصالح از سطح مقطع بیشتری برای اتصال به یکدیگر برخوردار خواهند بود. هرچه سطح اتصال سنگ‌دانه‌ها به یکدیگر بیشتر باشد مقاومت و دوام بتن افزایش خواهد یافت [۳۴].

۲. با مصرف رنگ‌دانه‌ها، میزان بسیار اندکی از میزان آب بتن جذب رنگ‌دانه‌ها شده و باعث کاهش میزان آب به سیمان طرح اختلاط می‌شود و در نتیجه باعث افزایش مقاومت فشاری، کششی، دوام و سایش می‌شود [۳۵].

۳. رنگ‌دانه استفاده‌شده در پژوهش حاضر که بر پایهٔ مواد معدنی تهیه شده است عامل دیگری برای افزایش مقاومت نمونه‌های رنگی است و این نمونه رنگ‌دانه‌ها بر اساس جنس و خاصیتی که دارند بر روی واکنش‌های شیمیایی سیمان دخالتی نداشته و فقط به وظیفه رنگ‌دهی خود عمل خواهند کرد و استفاده از رنگ‌هایی با پایهٔ مواد صنعتی و مواد شیمیایی بر روی واکنش‌های شیمیایی سیمان تأثیر منفی گذاشته و باعث کاهش مقاومت و دوام بتن خواهد شد [۱۹].

۴. با توجه به جنس و خاصیت رنگ‌دانه‌ها، همانند پرکننده سنگ‌دانه عمل کرده و سبب پرکنندگی و پیوستگی بهتر در بین ذرات سنگ‌دانه بتن شده است (تصویر ۲، بهبود در عملکرد بافت و عدم جداشدگی سیمان و سنگ‌دانه‌ها) [۳۵].

۵. افزایش میزان مدول نرمی نمونه‌های بتن با استفاده از

پودرهای رنگ [۳۵].

۶. شکل فیزیکی رنگ‌دانه‌ها تیز گوشه و شکسته بوده است و سبب شده که دانه‌های رنگ‌دانه اتصال و جانمایی بهتری لابه‌لای سنگ‌دانه‌ها داشته باشد و این خاصیت فیزیکی در رنگ‌دانه‌های صنعتی مشاهده نخواهد شد [۳۵].

۴ـ نتیجه‌گیری

از مطالعات و نتایج مندرج در این مقاله مشاهده می‌شود که بیشترین افزایش مقاومت فشاری بتن به رنگ‌دانه‌های قرمز و بنفش اختصاص دارد و کمترین افزایش مقاومت فشاری بتن متعلق به رنگ‌دانه سبز است. رنگ‌دانه‌ها به علت شکل فیزیکی که دارند، سبب بهبود بافت و پیوند بین سنگ‌دانه‌ها و سیمان خواهند شد که در نهایت به افزایش مقاومت بتن رنگی ختم می‌شود. دلیل کم و زیاد بودن افزایش مقاومت نمونه‌ها نسبت به یکدیگر، جنس و خواص پودرهای مصرفی بوده است. در نمونه با رنگ‌دانهٔ قرمز بیشترین افزایش و در رنگ سبز کمترین افزایش مقاومت را داشتیم. طبق استانداردهای ASTM، میزان استفاده مواد افزودنی جایگزین سیمان با بیشینه ۱۰ درصد است. در بتن‌هایی که از رنگ‌دانه پودری به‌جای رنگ‌دانهٔ مایع استفاده می‌شود، به دلیل در اختیار داشتن نسبت آب به پودر، می‌توان با انتخاب میزان مصرف بهینه باعث افزایش مقاومت بتن شد. بتن معمولی یکی از مصالح مورداستفاده در بسیاری از پروژه‌های شهری است که طراحان شهری برای بهبود غنای چشمی محیط‌های شهری و اصلاح وضعیت نابسامان پالت رنگی شهرها، بسیاری از سطوح بتنی را رنگ‌آمیزی می‌کنند که هزینهٔ بسیاری برای مدیریت شهری به دنبال دارد و هرساله با گذشت زمان این سطوح نیازمند تصحیح رنگی و مرمت هستند. از آنجا که در محیط‌های شهری رنگ را در همه‌جا می‌توان دید؛ در بدنه و نمای ساختمان‌ها، پوشش بام، کف‌سازی‌ها، مبلمان شهری و تأسیسات شهری همگی به‌عنوان کالبد مصنوع شهرها نقش مهمی در تعیین چهرهٔ رنگی شهرها دارند. سیما و منظر شهرهای معاصر ما پالت رنگی خاکستری، تیره و کدر دارد و تنوع رنگی ندارد که این مهم بر بهره‌مندی از مصالح با گستره‌ای از رنگ‌ها تأکید دارد. بتن رنگی یکی از مصالح کاربردی در بهبود پالت رنگی شهرهای امروزی است..

تشکر و قدردانی

برخود لازم می‌دانیم از جناب آقای علی محزون، دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی شهری دانشگاه شیراز و جناب آقای مهندس مهدی ساحلی مدرس دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان فارس که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند صمیمانه تشکر نماییم.

۵ـ مراجع

1. G. Lemaire, G. Escadeillas, E. Ringot, Evaluating concrete surfaces using an image analysis process. *Constr. Build. Mater*. 19(2005), 604-611.
2. D. F. Lin, H. L. Luo, Fading and color changes in colored asphalt quantified by the image analysis method. *Constr.Build. Mater*. 18(2004), 255-261.
3. C. W. Planje, Colored ceramic aggregate for decorative concrete. *J. Am. Ceram. Soc*. 20(1937), 90-96.
4. F. Avaznejad, H. Sheibani. Study of Color in the Architecture of Nasir Al-Molk Mosque in Shiraz. *J. Stud. Color World.* 11(1), (2021), 23-34.
5. M. Davarinezhad Moghadam, M. Shabani. Colour Psychology and its Application in Cities. *J. Stud. Color World*. 3(4), (2013), 25-35.
6. F.Avaznejad, H. Sheibani. Color in Arsen Zandieh Shiraz. *J. Stud. Color World*. 9(2), (2019), 43-52.
7. H. Janpoor, A. Alah Verdi. A review on performance of different organic coatings in protecting concrete structures against aggresive agents. *J. Stud. Color World*, 1(4), (2012) 9-14.
8. N. Paris, M. Chusid. Color in Concrete: Beauty and Durability. Concrete International, 21(1999), 60-63.
9. F.Avaznejad, H. Sheibani. Urban color Palette. Nouroozi pub.Tehran.(2020),31-35.
10. M. Merki. to study color concrete containing glass powder and ceramic pigments, MA thesis. Tarbiat Modares University.Iran.2002.
11. S. Seifolahzadeh, M. Montazer.Self-cleaning of methylene blue and acid blue 113 on wool/polyester fabric treated with nano titanium oxide under UV irradiation without yellowing. *J. Color Sci. Tech.* 4(2010), 115-123.
12. M. Merki. To study color concrete containing glass powder and ceramic pigments, MA thesis. Tarbiat Modares University. Iran. 2002.
13. M. Naderi, O. Qodousian, H. Mollayi Dehshali. Effects of Type and Dosage of Pigment on the Concrete Compressive Strength and Its Prediction by the Fuzzy Logic. *J. Color Sci. Tech.* 5(4), (2011), 315-324.
14. M. Sharifi, M. Saheli, the effect of pigment on normal concrete strength,in Proceedings of the 3th international conference of civil, architecture and civil management, Teflis, Georgia. (2020),40-48.
15. American Standards for Testing and Materials, ASTM C979/C979M-10 Standard specification for pigments for integrally colored concrete.2013.
16. American Standards for Testing and Materials, ASTM C494-10a/C494M-10a Standard specification for chemical admixtures for concrete.2013.
17. American Concrete Institute, ACI303.1-97, Standard specification for cast-in-place architectural concrete.2013.
18. American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO M194-chemical admixtures for concrete.2015.
19. M. Naderi, O. Qodousian, Prediction of in-situ strength of self-compacting concrete and mortars applied to concrete substrate measured using twist-off method, by the fuzzy logic. International Conference on earthquake and lightweight structures, Kerman, (2010),31-35.

20. A. Zarkesh, A. Keshtkar, N. Almasi Far, S. Hosseinikia, M. Seyyed, using native materials in designing public buildings in civil landscape, 1st building national regulations localization assembly, Gorgan, (2012),70-78.
21. American Standards for Testing and Materials, ASTM C33, Standard Specification for Concrete Aggregates.2015.
22. Iran national standards, INSO. 302, 3rd Revision.2015.
23. American Standards for Testing and Materials, ASTM C566 Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.2013.
24. American Standards for Testing and Materials, ASTM C136 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregatcs.2013.
25. American Standards for Testing and Materials, ASTM C127-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.2015.
26. American Standards for Testing and Materials, ASTM C128-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.2015.
27. American Standards for Testing and Materials, ASTM C188 Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.2015.
28. Kaplan, S. Perception and Landscape: Conceptions and Misconceptions, Submitte to the National Conference on Applied Techniques for Analysis and Management of the Visual Resource, *Incline Village, Nevada*, (1979) ,60-65.
29. American Standards for Testing and Materials, ASTM D1067, Standard Test Methods for Acidity or Alkalinity of Water.2015.
30. American Standards for Testing and Materials, ASTM C494, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.2015.
31. American Standards for Testing and Materials, ASTM C107, Method of Panel Spalling Testing High-Duty Fireclay Brick.1994.
32. American Standards for Testing and Materials, ACI 211.9R-18, Standard Concrete Technologh And Mix Design.2015.
33. The national building regulation chapter 9, design and implementation of reinforced concrete buildings, edition 4, ministry of road and city planning, deputing of house and building, (2015),4-30.
34. A.Ramezanian poor. Infrastructure, concrete properties and components (advanced concrete technology). Amirkabir University of Technology, (2015) ,80-83.
35. M. Raftari, A. Hekmati, R. Mahboob. Concrete high technology. Dibagaran Tehran, (2016), 50-59.

How to cite this article:

M. Sharifi, H. R. Sheibani, The Effect of Mineral Pigments on the Compressive Strength of Colored Concrete by Focusing on the Role of Improved Color Palette in Current Cities of Iran. *J. Color Sci. Tech.* 16, 1(2022), 81-92.
DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.1.7.9