Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science & Technology

available online @ www.jcst.icrc.ac.ir
Journal of Color Science and Technology, 17, 3(2023), 203-220
Article type: Research article
Open access

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

The Effect of Turquoise Pigment Amounts on the Physical Properties of Concrete Used in Architecture and Iranian Urban Design

Farhad Avaz Nejad[1], Mahmoud Reza Golshan[*2], Hamidreza Sheibani[1]
1- Department of Architecture and Urban Planning, Technical and Vocational University (TVU), P.O.Code: 143761137, Tehran, Iran
2- Department of Civil Engineering, Technical and Vocational University (TVU), P.O.Code: 143761137, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 20-02-2023
Accepted: 20-09-2023
Available online: 29-11-2023
Print ISSN: 1735-8779
Online ISSN: 2383-2169

DOR: 20.1001.1.17358779.1402.17.3.2.5

Keywords:
Turquoise concrete
Compressive resistance
Tensile resistance
Abrasion resistance
Water absorption
Architecture

ABSTRACT

Concrete is one of the essential materials in road and building construction. The use of colored concrete in urban design projects can play a significant role in making more elegant Iranian architecture and Urban projects. This research aims to make turquoise-coloured concrete for the construction of concrete sidewalks, and for this matter, the combination of two blue and green pigments was used in a ratio of 70 to 30 percent. Then, pigments in various weight ratios of 3, 5 and 7 % replaced a part of white cement in concrete. The tests performed in this research included slump, compressive strength, tensile strength, water absorption in hardened concrete and abrasion durability. Also, The behavior of colored concrete was evaluated and analyzed using the deviation indices from standard data and the economic index. The microstructure of concrete samples was also examined using the SEM method. The results of this research show that using turquoise composite pigments will reduce the resistance of concrete. Using 3, 5, and 7 % ratios of pigments in concrete causes a decrease of 7.6, 7.12, and 8.25 % of 28-day compressive strength and causes a decrease of 8.23, 9.42 and 59.5 % of the abrasion resistance of concrete. In conclusion, it is possible to use concrete with turquoise pigments to construct structures such as urban water fountains, urban statutes and city walls that perform environmental graphic functions.

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

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

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

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه رنگ

دسترسی آنلاین: www.jcst.icrc.ac.ir
نشریه علمی علوم و فناوری رنگ/ ۱۷، (۱۴۰۲)۳، ۲۲۰ـ۲۰۳
نوع مقاله: پژوهشی
دسترسی آزاد

تأثیر مقدار رنگ‌دانه فیروزه‌ای بر ویژگی‌های فیزیکی بتن مورد استفاده در معماری و شهرسازی ایرانی

فرهاد عوض نژاد[۱]، محمودرضا گلشن[۲*]، حمیدرضا شیبانی[۳]
۱ـ مربی، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران، کدپستی: ۱۴۳۷۶۱۱۳۷
۲ـ مربی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران، کدپستی: ۱۴۳۷۶۱۱۳۷
۳ـ مدرس، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران، کدپستی: ۱۴۳۷۶۱۱۳۷

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۹
در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۲/۹/۸
شاپا چاپی: ۸۷۷۹-۱۷۳۵
شاپا الکترونیکی: ۲۱۶۹-۲۳۸۳

DOR: 20.1001.1.17358779.1402.17.3.2.5

واژه‌های کلیدی:
بتن فیروزه‌ای
مقاومت فشاری
مقاومت کششی
مقاومت سایشی
جذب آب
معماری

چکیده

بتن یکی از مصالح شاخص در حوزه راه و ساختمان است، بهره‌مندی از بتن رنگی در پروژه‌های طراحی شهری می‌تواند در بهبود زیبا سازی معماری و شهرسازی ایرانی نقش بسزایی داشته باشد. در این تحقیق با هدف ساخت بتن فیروزه‌ای فام برای ساخت معابر بتنی از ترکیب دو رنگ‌دانه آبی و سبز به میزان ۷۰ به ۳۰ درصد استفاده گردید. در ادامه رنگ‌دانه در نسبت‌های وزنی مختلف ۳، ۵ و ۷ درصد جایگزین بخشی از سیمان سفید در بتن شد. آزمایش‌های انجام گرفته در این تحقیق شامل اسلامپ، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، جذب آب در بتن سخت شده و دوام سایشی می‌باشند. همچنین به منظور تحلیل و ارزیابی رفتار بتن رنگی از شاخص‌های انحراف از معیار داده‌ها، شاخص اقتصادی و همچنین برای تحلیل ریز ساختار شکست نمونه‌های بتنی از روش دستگاهی SEM استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از رنگ‌دانه ترکیبی فیروزه‌ای باعث کاهش مقاومت بتن خواهد شد. به طوری که استفاده از نسبت‌های ۳، ۵ و ۷ درصد رنگ‌دانه در بتن باعث کاهش ۶،۷، ۱۲،۷، ۲۵،۸ درصد مقاومت فشاری ۲۸ روزه و باعث کاهش ۲۳،۸، ۴۲،۹ و ۵۹،۵ درصد مقاومت سایشی بتن می‌شود. بنابراین می‌توان از بتن با رنگ‌دانه فیروزه‌ای در ساخت سازه‌هایی نظیر آب‌نما، المان شهری و جداره شهری که کارکرد گرافیک محیطی دارند، استفاده نمود.

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

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

۱ــ مقدمه

بتن فراگیرترین مصالح ساختمانی است، آمارها نشان می‌دهد که حدود هفتاد درصد از کل انواع مصالح ساختمانی مصرفی در صنعت راه و ساختمان را بتن تشکیل می‌دهد. در عمده سازه‌های شاخص شهری همچون پل‌ها، المان‌ها، بناهای عمومی، فضاهای شهری و همچنین در صنعت ساختمان از بتن استفاده می شود که علاوه بر کارکرد سازه‌ای نقش نمای اصلی را نیز ایفا می‌کند، حال آنکه بتن رنگی به واسطه رنگین بودن و پالت رنگی نامحدود خود موجب غنای بصری و زیباسازی محیط‌های شهری نیز می‌شود. بتن رنگی، در چند دهه اخیر از جمله طرح‌های نوین تحقیقاتی در حوزه راه و ساختمان محسوب می‌شود. ساخت و پرداخت آسان بتن رنگی و طیف وسیع کاربردی آن موجب شده است مورد توجه قرار بگیرد (۲، ۱). با نگاهی گذرا به سیما و منظر شهرهای امروزی، متوجه خواهیم شد که مدیران شهری و تصمیم‌گیرندگان ساخت‌وسازهای شهری به مقوله رنگ توجه کمتری داشته‌اند. رنگ یکی از جنبه‌های مهم زندگی شهری است که فضاهای شهری را سامان می‌بخشد و باعث افزایش کیفیت و کارایی زندگی شهری می‌شود (۴، ۳). رنگ یکی از ویژگی‌هایی است که به زیبایی‌شناسی طراحی شهری کمک می‌کند و در پژوهش‌های کیفی طراحی و برنامه‌ریزی شهری به‌طور مکرر از رنگ نام برده می‌شود (۷-۵). ویژه نامه «ایران: گذشته، حال، آینده» (شماره ۲۱۷ نشریه دیزاین معماری[1]) اشاره به عدم توجه و به فراموشی سپردن پالت رنگ معماری ایرانی در معماری و شهرسازی معاصر ایران دارد که‌این مهم بر اهمیت ساخت مصالح نوین با بهره‌مندی از پالت رنگی بومی ایران تاکید داشته است (۹، ۸). منظر معماری و شهرسازی ایران را پژوهشگرانی همچون آرتور پوپ[2]، تام پرتر[3] و لوئیس سوییرنف[4] در زمره رنگین‌ترین معماری‌های جهان جای داده‌اند (۱۰). استفاده از رنگ در معماری ایرانی سابق طولانی دارد، به عنوان مثال در دوره‌ایلامیان؛ حدود سال ۱۲۵۰ پیش از میلاد در بنای زیگورات چغازنبیل از اجرهای لعابدار به رنگ‌های آبی و سبز استفاده شده است. پس از اسلام تا اوایل قرن ۱۲ میلادی، تزئینات از معماری ایران حذف و فاقد پالت رنگی شاخص و مطرح شد. اما در دوره تیموری (قرن ۱۵ میلادی) مجددا رنگ در معماری ایرانی احیاء شد و رنگ‌های فیروزه‌ای و آبی لاجوردی در بناهای مذهبی همچون مسجد گوهرشاد مشهد استفاده شد. در دوره صفویه استفاده از رنگ در معماری ایران به اوج خود رسید. از نظر شیلا بلر و جاناتان بلوم، تمایل به ساخت‌وساز وسیع در مدتی کوتاه سبب شده است تا معماری صفویه از حیث ساختار وترکیب صوری نوآوری چندانی نداشته باشد و ضعف‌های ساختاری را در پوشش‌های رنگارنگ و وسیع کاشی پوشانده شود. حداکثر استفاده از رنگ در معماری ایرانی از قرن ۱۵ میلادی تا به بعد محدود به بناهای مذهبی همچون مساجد و مقابر است، پالت رنگی غالب بر تزئینات معماری به ترتیب فیروزه‌ای، آبی لاجوردی، سفید و سبز است (۱۵-۱۱). رنگ فیروزه‌ای، رنگی الهام‌بخش، پر رمز و راز، نمادین و دارای هویت و فرهنگ شاخص ایرانی است که در متون تاریخی، ادبیات فارسی و معماری کهن ایران بسیار کاربرد داشته است (۱۰). در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی در حوزه بتن رنگی و کاربرد آن در سیما و مناظری شهری در ایران انجام شده است (۷، ۲، ۱)، اما تاکنون کمتر توجهی به رنگ فیروزه‌ای به عنوان رنگی مرجع از معماری و شهرسازی ایرانی در حوزه بتن رنگی و کاربرد آن در بهبود پالت رنگی شهرهای معاصر ایران شده است.

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 گسترده ای در اختیار مصالح از جنس بتن قرار گرفت (۱۶). برای رنگین‌کردن بتن عواملی همچون: اندازه ذرات رنگ‌دانه، طراحی مخلوط و سطح ویژه سیمان، میزان اب و سطح ویژه‌ی سنگ‌دانه‌ها تاثیر بسیار زیادی دارد (۱۷). همچنین رنگ سیمان در رنگی کردن بتن تاثیر 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 (۱). روش تولید بتن رنگی اساسا تفاوتی با تولید بتن معمولی ندارد و رنگ‌دانه به آسانی به مخلوط اضافه می‌شود. البته باید همه الزامات در آیین‌نامه‌های ASTM C494، AASHTO M 194، ACI 303 و ASTM C 979 رعایت شوند (۲۸-۱۸). برخی از مهم‌ترین ضوابط این استاندارد شامل موارد زیر می‌شود:

۱. مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن رنگی نباید کمتر از ۹۰ درصد مقاومت نمونه شاهد (بدون افزودنی رنگی) باشد (۲۳).

۲. بیشترین میزان استفاده از رنگ‌دانه در بتن، باید برابر یا کمتر از ۱۰ درصد وزنی جرم سیمان باشد (۷).

۳. طرح اختلاط بتن رنگی می‌تواند مشابه با بتن معمولی و براساس روش ACI-211 باشد (۲۲).

۴. برای افزایش کیفیت رنگ بتن، استفاده از سیمان سفید توصیه می‌گردد (۲، ۷).

۵. سنگ‌دانه‌های مورد استفاده باید منطبق با استاندارد ASTM-C33 باشند. همچنین بهتر است از ماسه سیلیسی تمیز استفاده شود (۲۴).

۶. محدوده اسلامپ بتن رنگی ۱۳±۱۰۰ میلی‌متر باشد (۲۵).

۷. برای افزایش کیفیت رنگ‌پذیری بتن، توصیه شده تا از سنگ دانه کاملاً خشک استفاده گردد و میزان جذب آب سنگ‌دانه در

1- Architectural design (Ad)
2- Arthur upham pope
3- Tom porter
4- Lois swirnoff

محاسبات طرح اختلاط لحاظ گردد (۲۷، ۲۶).

۸. مقدار آب مورد نیاز برای روانی بتن رنگی، از ۱۱۰ درصد مقدار آب نمونه شاهد (بدون افزودنی رنگی) بیشتر نشود (۲۸).

در پژوهش حاضر تاثیر استفاده از رنگدانه‌ی فیروزه‌ای بر مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت سایشی و آزمایش جذب آب بتن معمولی بررسی شده و به مطالعه‌ی و آزمایش آن‌ها (با میزان ۳، ۵ و ۷ درصد رنگ‌دانه بتن و یک نمونه ساخته‌شده بتن معمولی) پرداخته شده است.

۲ـ بخش تجربی

۲ـ۱ـ برنامه آزمایشگاهی

برنامه آزمایشگاهی تحقیق حاضر برای ساخت بتن، متشکل از ۴ طرح اختلاط و ۵۲ آزمونه است. آزمایشات انجام شده شامل آزمایش اسلامپ بتن، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، جذب آب بتن سخت شده و دوام سایشی بتن است. همچنین تحلیل‌های انجام شده شامل انحراف از معیار داده‌ها، شاخص اقتصادی و عکس‌برداری ریزساختار بتن (عکس SEM) است. برای این منظور ۲۴ آزمونه مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی‌متری برای تعیین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه، ۱۲ آزمونه استوانه‌ای ۱۵×۳۰ سانتی‌متری برای تعیین مقاومت کششی ۲۸ روزه، ۸ آزمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری برای تعیین جذب آب اولیه (۳۰ دقیقه) و ثانویه (۷۲ساعت) و نیز ۸ نمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری ۲۸ روزه برای تعیین دوام سایشی بتن ساخته شد. برای آزمایش مقاومت فشاری و کششی برای هر نمونه، سه آزمونه در سنین مختلف ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت و میانگین نتایج آن به عنوان مقاومت نهایی در نظر گرفته شد. همچنین برای آزمایش مقاومت سایشی، هر آزمونه به دو نیم تقسیم شده (بریده شده) و سطح رویه و زیرین آن تحت سایش قرار گرفت و میانگین وزن ساییده شده به عنوان وزن ساییده شده در نظر گرفته شد. تعداد، سن و نوع آزمونه‌ها، روش آزمایش و استاندارد مربوط به آنها مطابق جدول ۱ است.

شکل ۱: نمونه‌هایی از کاربرد رنگ فیروزه‌ای در معماری و شهرسازی ایرانی [۶].

Figure 1: Examples of the usage of turquoise color in Iranian architecture and urban design [۶].

جدول ۱: طرح مخلوط مورد استفاده برای انجام آزمایش.

Table 1: The density of mixing materials.

Row	Experiment Description	Standard No.	7-day Sample	28-day Sample	Sample Dimensions(cm)
1	Concrete slump	ASTM-C143	-	-	fresh concrete
2	Compressive strength of concrete	BS-EN-12390	12	12	15×15×15 Cubic
3	Tensile strength	ASTM-C496	-	12	30*15 cylindrical
4	Water absorption of hardened concrete	ASTM-C642	-	8	10×10×10 Cubic
5	Concrete abrasion test	ASTM-C944	-	8	10×10×10 Cubic

جدول ۲: مشخصات دانه‌بندی سنگدانه.

Table 2: 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	165.5	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
Pan	-	4.5	4.5	0

۲ـ۲ـ مصالح مصرفی

۲ـ۲ـ۱ـ 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 گل‌ولای بوده است. همهٔ الزامات استفاده از سنگ‌دانه طبق استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲ (برگرفته از استاندارد ASTM C 33M/C 33) (۲۴) رعایت شده است (۲۹).

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 گرفته و سپس در دستگاه Oven[1] در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به حالت SSD[2] درآمده‌اند (۳۰).

ب ـ دانه‌بندی سنگ‌دانه

دانه‌بندی سنگ‌دانه یکی از مهم‌ترین مراحل ساخت بتن است. برای دانه‌بندی سنگ‌دانه طبق استاندارد عمل شده است (۳۱).

ج‌ـ نمودار منحنی دانه‌بندی

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

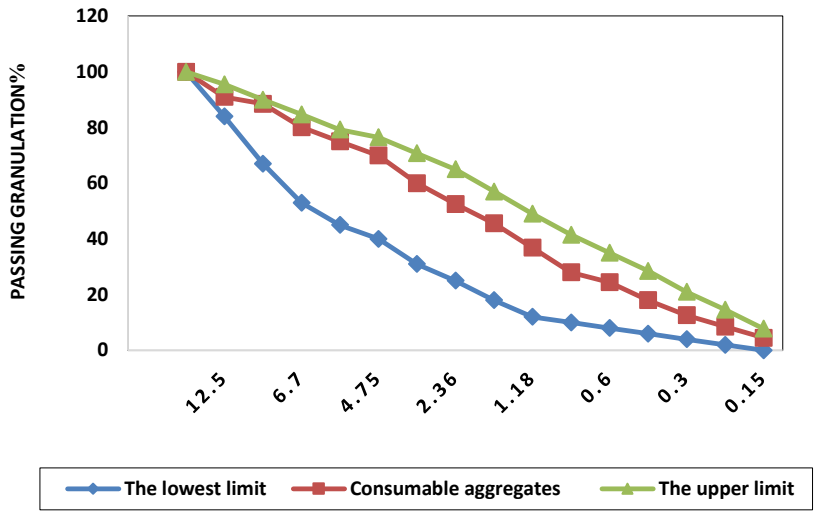
دـ مدول نرمی ماسه

مدول نرمی مصالح مورداستفاده در پژوهش طبق جدول شماره ۳ انجام گرفته است.

۱- دستگاه گرم‌خانه

۲- سنگ‌دانه با منافذ اشباع با سطحی خشک

۳- زیر الک



نمودار ۱: منحنی دانه‌بندی.

Diagram 1: The linear curve of granulation.

جدول ۳: مدول نرمی ماسه.

Table ۳: 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	2.98=100÷298.9		

وـ وزن مخصوص سنگ‌دانه

وزن مخصوص سنگ‌دانه‌ها طبق استاندارد ASTM C128 /C127 و میزان جذب آب در جدول ۴ ارائه شده است (۲۶، ۲۷).

۲ـ۲ـ۲ـ سیمان سفید

سیمان مورد استفاده در طرح اختلاط، سیمان سفید پرتلند نی‌ریز با نرمی ۲۹۵۰ gr/cm^2 است. مشخصات شیمیایی سیمان در جدول ۵ موجود است.

۲ـ۲ـ۳ـ آب

آب نقش بسیار مهم در بتن دارد به همین دلیل استفاده از آب مناسب در بتن همواره مورد توجه قرار گرفته است. آب به‌کار رفته در ساخت بتن باید پاک و عاری از هرگونه ناخالصی باشد. همچنین

میزان اسیدی یا باز بودن (pH) آب باید بین ۶ تا ۸ باشد (۷، ۲، ۱). آب مورداستفاده 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 (۲۸).

۲ـ۲ـ۴ـ افزودنی

۲ـ۲ـ۴ـ۱ـ فوق روان‌کننده

در این پژوهش از افزودنی فوق‌روان‌کننده بر پایه پلی‌کربوکسیلیک اتر[1] (طبق استاندارد ASTM C494 و ASTM C107) که رنگی شفاف مایل به قهوه‌ای دارد، استفاده شده است (۳۲، ۱۹).

۲ـ۲ـ۴ـ۲ـ رنگ‌دانه

با توجه به در دسترس نبودن رنگ‌دانه فیروزه‌ای، در این تحقیق از یک روش ابتکاری استفاده گردید. بدین ترتیب ازترکیب رنگ‌های آبی و سبز با نسبت به ترتیب ۷۰ به ۳۰ درصد استفاده شد. مشخصات شیمیایی و فیزیکی رنگ‌دانه‌های مصرفی که منطبق بر شناسه فنی این محصول می‌باشد در جدول ۴ و ۵ ارائه شده است (۳۴-۳۳). طبق استاندارد ASTM-C979 حداکثر میزان استفاده از این رنگ‌دانه پودری ۱۰ درصد است (۲۲).

الف ـ رنگدانه سبز

رنگدانه سبز مصرفی از مشتقات سنتز آهن است که این محصول از رسوبات اکسید آهن تولید می‌شود. یکی از تفاوت‌های اکسید آهن طبیعی با اکسید آهن سنتزی، مقاومت و رنگ آن است. بنابراین قدرت رنگ‌دهی اکسید آهن سنتزی بیشتر از نمونه غیر سنتزی است. همچنین اندازه ذرات اکسید آهن سنتزی بسیار ریزتر از اکسید آهن طبیعی می‌باشد و از مقاومت و سختی پایین‌تری هم برخوردار است. این رنگدانه در محیط‌های قلیایی بسیار ناپایدار است و در برابر تغییرات آب و هوایی و پرتو فرابنفش و دماهای زیاد نیز دوام کمی دارد. رنگدانه سبز مصرفی محصول شرکت تجاری دلتا[2] ساخت کشور چین است (۲).

ب ـ رنگدانه آبی

لاجورد یا آزوریت[3] یک بلور آبی رنگ است که از زمان‌های قدیم تاکنون در رنگ‌سازی کاربرد دارد. آزوریت به دلیل فام آبی لاجوردی با نام لاجورد هم شناخته می‌شود. این ماده بیشتر در کانسارهای سنگ مس یافت می‌شود و در علوم زمین‌شناسی یک نشانگر برای شناسایی معادن مس است. آزوریت خالص با فام آبی روشن تا سورمه‌ای یا حتی نیلی یافت می‌شود. سنگ آزوریت نسبتا نرم و شکننده است. همچنین گرمایش، اسیدها و آمونیاک باعث تغییر فام آبی عمیق آزوریت می‌شود. رنگدانه آبی مصرفی محصول شرکت تجاری لاپیس لازولی[4] ساخت کشور چین است (۲).

1- PCE
2- Delta
3- Lazhward
4- Lapis Lazuli

جدول ۴: مشخصات وزن مخصوص سنگ‌دانه‌ها.

Table 4: The Aggregate of specific Gravity (Density).

Bulk Specific Gravity kg/m³	Apparent Specific Gravity kg/m³	Materials
1945	1840	Sand
1980	1825	Ballast

جدول ۵: ساختار شیمیایی سیمان سفید نی ریز.

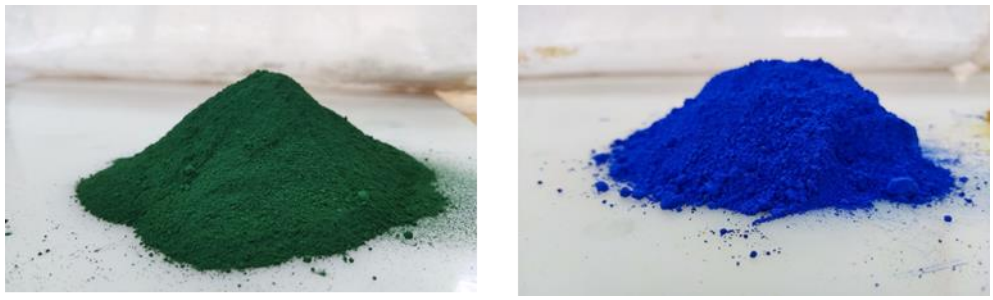
Table 5: Chemical characteristics of cement, (Source: www.neyrizcement.ir).

LOI %	IR %	Na_2O %	K_2O %	CaO %	SO_3 %	MgO %	FE_2O_3 %	AL_2O_3 %	SiO_2 %
3	0.7	0.5	0.5	66.7	2.7	0.9	6.3	4.1	22.7

جدول ۶: خصوصیات شیمیایی رنگ‌دانه‌های مصرفی.

Table 6: Characteristics and main constituent elements of pigment.

SiO_2 %	Fe_2O_3 %	Al_2O_3 %	CaO %	MgO %	Cu_2O %	رنگ ظاهری
28	41.7	11.6	15.3	1.4	-	Green
6.2	5	-	9.6	3.2	74	Blue



شکل ۲: رنگ‌دانه‌های مصرفی قبل از ترکیب (سمت راست آزوریت، سمت چپ سنتز آهن).

Figure 2: used pigments before mixing (azurite on the right, iron synthesis on the left).

۳ـ بحث و نتایج

۳ـ۱ـ روانی (اسلامپ)

اسلامپ بتن، معیاری برای بررسی میزان جریان‌پذیری یا روانی بتن تازه پیش از استفاده در محل مورد نیاز است (۷). مطابق دستورالعمل ASTM-C979 محدوده مجاز اسلامپ بتن رنگی باید، ۱۳±۱۰۰ میلی‌متر باشد. شکل ۴ که میزان اسلامپ هر طرح مخلوط را نمایش می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده مشخص گردید که هر چه میزان استفاده از رنگ‌دانه بیشتر باشد، میزان روانی کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رنگ‌دانه‌های مصرفی جاذب آب بوده و میزان اسلامپ بتن را به طور محسوسی کاهش می‌دهند. به طوری که میزان اسلامپ در طرح دارای ۳، ۵ و ۷ درصد رنگ‌دانه در مقایسه با طرح شاهد به ترتیب ۲۵، ۴۰ و ۶۰ درصد کاهش می‌یابد.

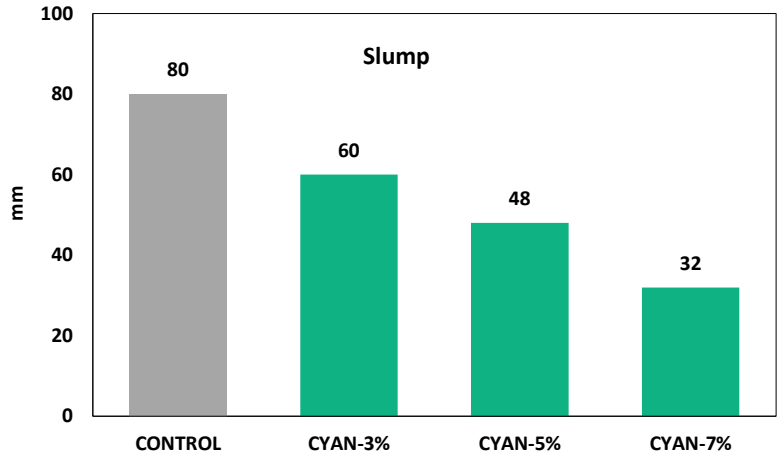
۳ـ۲ـ مقاومت فشاری

مهم‌ترین و متداول‌ترین ویژگی که به عنوان مشخصه بتن بیان می‌شود، مقاومت فشاری است. بسیاری از مشخصه‌های بتن با مقاومت فشاری رابطه دارند. نتایج آزمایش مقاومت فشاری می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای کنترل کیفیت بتن، نسبت‌های اختلاط، روش مخلوط کردن و ریختن بتن و مطابقت آن با مقاومت مشخصه مورد نظر و نیز ارزیابی اثرات مواد افزودنی و مواد مشابه دیگر بر روی بتن، استفاده شود. آزمایش مقاومت فشاری بتن مطابق استاندارد BS-EN-12390 بر روی نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر در سنین ۷ و ۲۸ روزه انجام گرفت و نتایج آن در جدول ۷ و شکل ۵ ارائه شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در طرح مخلوط بتن با رنگدانه فیروزه‌ای به دلیل استفاده از سنتز و اکسید آهن، افت مقاومت فشاری محسوسی در بتن رخ می‌دهد. یکی از مهم‌ترین دلایل افت مقاومت فشاری بتن سختی پایین رنگ‌دانه‌های مصرفی است. از آنجایی که در هنگام تست میزان سختی ماده، نفوذکننده به سطح فشار داده می‌شود، سختی را می‌توان به عنوان میزان مقاومت ماده در برابر نیروی فشاری نیز تعریف کرد. بنابراین با توجه به میزان سختی پایین رنگ‌دانه‌های مصرفی، کاهش میزان مقاومت فشاری بتن با افزایش میزان رنگ‌دانه دور از انتظار نبود.

میزان مقاومت فشاری طرح دارای ۳، ۵ و ۷ درصد رنگ‌دانه در مقایسه با طرح شاهد در سن ۷ روزه به ترتیب ۸، ۱۸ و ۳۹ درصد کاهش و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن به ترتیب ۷، ۱۳ و ۲۶ درصد کاهش یافته است. مطابق دستورالعمل ASTM-C979 میزان مقاومت فشاری بتن‌های رنگی باید کمتر از ۹۰ درصد مقاومت فشاری نمونه شاهد باشد (۱۸). بنابراین به استناد از این استاندارد، مقاومت فشاری طرح دارای ۳ درصد رنگ‌دانه مورد پذیرش قرار می‌گیرد.

شکل ۳: اسلامپ طرح مخلوط‌های آزمایش‌شده.

Figure 3: Slump design of the tested mixtures.



شکل ۴: مقادیر اسلامپ در هر یک از مخلوط‌های بتنی.

Figure 4: Slump values in each of the concrete mixes.

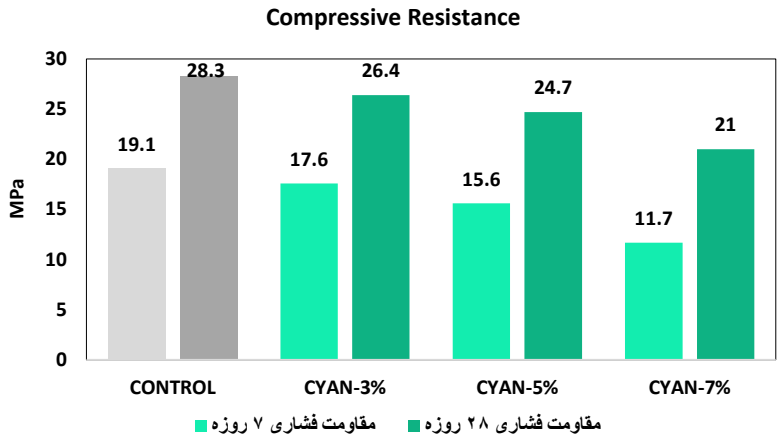
شکل ۵: آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتن مکعبی ۷ و ۲۸ روزه‌ی بتن فیروزه‌ای.

Figure 5: compressive strength test of cubic concrete samples of 7 and 28 days for turquoise concrete.

جدول ۷: مقایسه نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی.

Table 7: Comparison of compressive strength results of concrete samples.

Resistance Increase	Compressive strength	Age	Name	Row
%	MPa			
-	1.19	7- days	Control	1
-	3.28	28- days		
-9.7	6.17	7- days	Turquoise 3 %	2
-7.6	4.26	28- days		
-3.18	6.15	7- days	Turquoise 5 %	3
-7.12	7.24	28- days		
-7.38	7.11	7- days	Turquoise 7 %	4
-8.25	21	28- days		



شکل ۶ : نتایج آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روزه برای نمونه‌های بتن شاهد و حاوی رنگدانه.

Figure 6: Compressive strength test results at periods of 7 and 28 days for control and pigmented concrete samples.

به منظور کنترل نتایج آزمایشگاهی مقاومت فشاری بتن رنگی در اثر افزودن رنگدانه در بتن از روش ارزیابی انحراف از معیار داده‌ها استفاده شد. در این راستا ارتباط میان نتایج بین مقاومت فشاری طرح‌های متفاوت در سنین مختلف و میزان تغییرات بین نتایج نمونه‌ها بررسی گردیده و میزان انحراف آن در جدول ۸ ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید که میزان انحراف از معیار و ضریب تغییر در تمامی نمونه‌ها نشان دهنده کیفیت خوب آزمونه‌های بتنی ساخته شده می‌باشد. زیرا در ضوابط پذیرش مقاومت فشاری بتن انحراف معیار ۴ تا ۶ مگاپاسکال قابل پذیرش است.

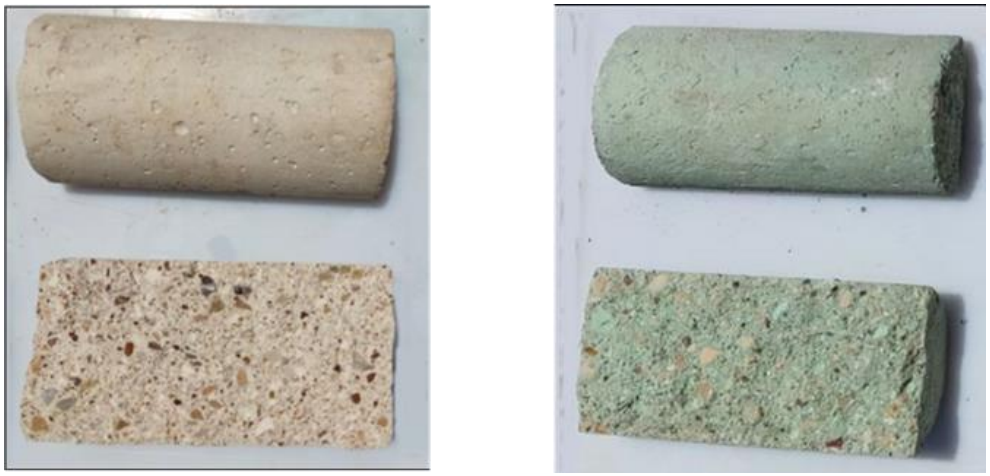
۳ـ۳ـ مقاومت کششی

آزمون کشش بتن به روش دونیم‌کردن نمونه‌های استوانه‌ای که به‌اختصار به روش برزیلین شناخته می‌شود، روشی برای تعیین مقاومت کششی بتن است (۲۱). روش انجام این آزمایش مبتنی بر استاندارد ASTM-C496 است. میزان مقاومت کششی هر نمونه در جدول ۹ ارائه شده است. نتایج این بخش نشان می‌دهد که استفاده از رنگدانه مصرفی باعث کاهش میزان چسبندگی بین عناصر اختلاط بتن گردیده و مقاومت کششی را کاهش می‌دهد. به طوریکه استفاده از ۳، ۵ و ۷ درصد رنگدانه مصرفی در بتن باعث کاهش مقاومت کششی بتن به میزان ۱۲، ۲۳ و ۳۳ درصد می‌گردد.

جدول ۸: مقایسه نتایج انحراف استاندارد و ضریب تغییر در مقاومت فشاری نمونه‌ها.

Table 8: Comparison of the results of the standard deviation and the coefficient of change in the compressive strength of the samples.

Specifications of samples	Pressure resistance (MPa)			The average compressive strength of the samples	Variance	standard deviation	coefficient of variation
	1st Sample	2nd Sample	3rd Sample				
Control (7 days)	18.9	19	19.4	19.1	0.07	0.268	1.385
Control (28 days)	28.3	28.3	28.2	28.3	0.0033	0.058	0.204
Turquoise 3 % (7 days)	17.6	17.4	17.7	17.6	0.0233	0.153	0.870
Turquoise 3 % (28days)	26.4	26.5	26.2	26.4	0.0233	0.153	0.579
Turquoise 5 % (7 days)	15.8	15.5	15.4	15.6	0.0433	0.208	1.337
Turquoise 5 % (28days)	24.8	24.5	24.7	24.7	0.0233	0.153	0.619
Turquoise 7 % (7 days)	11.7	11.7	11.6	11.7	0.0033	0.058	0.495
Turquoise 7 % (28 days)	21.2	20.9	20.8	21	0.0433	0.208	0.993



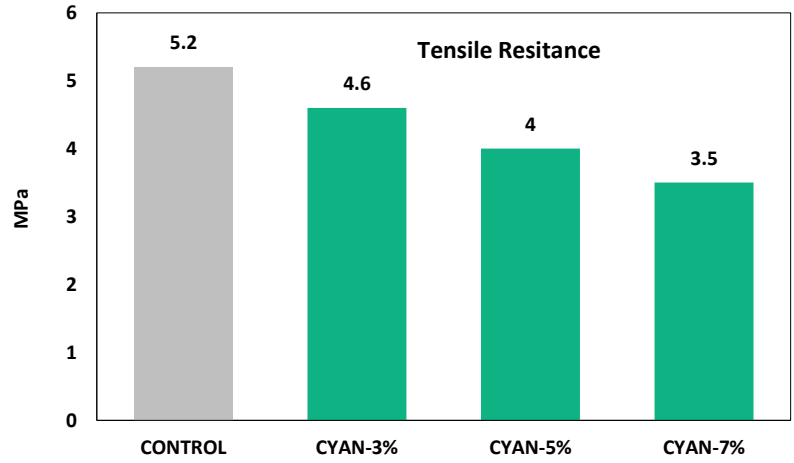
شکل ۷: سنجش مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای دارای رنگ‌دانه فیروزه‌ای و شاهد.

Figure 7: Measuring tensile strength of cylindrical samples containing turquoise pigment and control.

جدول ۹: مقایسه نتایج مقاومت کششی نمونه‌های بتنی.

Table 9: Comparison of tensile strength results of concrete samples.

Row	Name	Sample Age (days)	Tensile Resistance MPa	Resistance change %
1	Control	28	5.2	-
2	Turquoise 3 %	28	4.6	-11.5
3	Turquoise 5 %	28	4	-23.1
4	Turquoise 7 %	28	3.5	-32.7



شکل ۸: سنجش و مقایسه نتایج مقاومت کششی نمونه‌های بتنی.

Figure 8: measurement and comparison of the tensile strength results of concrete samples.

۳ـ۴ـ جذب آب بتن سخت شده

آزمایش جذب آب بتن سخت شده بر مبنای استاندارد ASTM-C642 انجام گرفت. نمونه‌ها پس از خشک شدن در گرمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، ۳۰ دقیقه (اولیه) و ۷۲ ساعت

(ثانویه) تحت نفوذ آب قرار گرفتند، سپس وزن هر کدام اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده در این آزمایش به شرح جدول ۱۰ است.

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص گردیدکه رنگدانه مورد استفاده باعث کاهش میزان جذب آب اولیه و ثانویه در بتن سخت شده می‌شود. این مهم ناشی از کاهش تخلخل بتن با افزودن رنگدانه در بتن است. به طوری‌که افزودن ۳، ۵ و ۷ درصد رنگدانه به ترتیب ۶,۹، ۱۳,۸ ، ۲۷,۶ درصد جذب آب اولیه و ۱۴,۹، ۲۳,۴، ۲۹,۸ درصد جذب آب ثانویه را کاهش می‌دهد.

در استاندارد بتن ایران (آبا) توصیه شده که میزان جذب آب اولیه بتن کمتر از ۲,۵ درصد باشد. همچنین حداکثر میزان جذب آب نهایی بتن، در شرایط محیطی فوق‌العاده شدید یا در محیط‌هایی که سازه در معرض آب دریا قرار می‌گیرد بین ۵ درصد تا ۵,۵ درصد توصیه شده است (۲۲). بنابراین استفاده از این رنگدانه مصرفی در بتن برای شرایط جوی نامساعد مانعی نخواهد داشت.

۳ـ۵ـ دوام سایشی

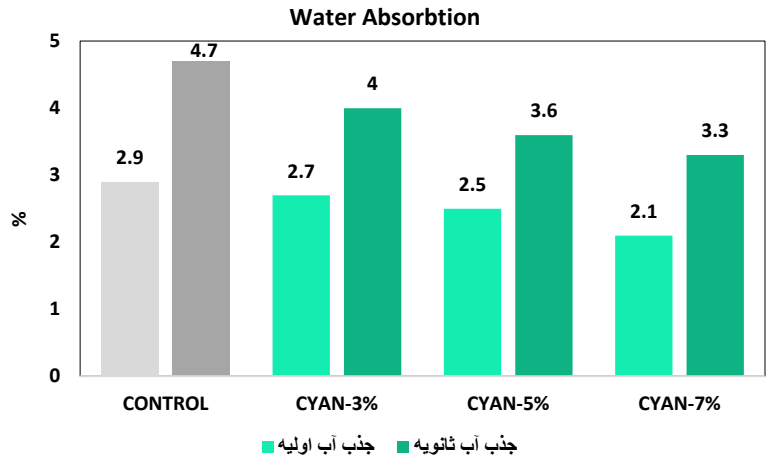
روش آزمایش مقاومت سایشی بتن در این تحقیق به وسله دستگاه سمباده چرخان مطابق با استاندارد ASTM-C944 در نظر گرفته شد. در این تحقیق با هدف ساخت کفپوش‌های بتنی رنگی، آزمایش سایش بر روی نمونه‌های دارای مقادیر مختلف رنگدانه در سن ۲۸ روز صورت گرفت. شکل ۱۰ مراحل انجام آزمایش مقاومت سایشی را نشان می‌دهد. به طوری‌که ابتدا آزمونه مکعبی ۱۰× ۱۰×۱۰ سانتی‌متری پس از ۲۸ روز عمل‌آوری به وسیله دستگاه برش از وسط دو نیم شده و تبدیل به نمونه ۵× ۱۰× ۱۰ سانتی‌متری می‌شود. علت این امر آن است که نمونه در دستگاه تست سایش قرار می‌گیرد. پس از قرارگیری نمونه در دستگاه سایش (سمباد چرخان) به مدت ۵۰۰ دور تحت سایش قرار گرفته و وزن ساییده شده توزین می‌گردد. هر چه میزان وزن ساییده شده بیشتر باشد، مقاومت سایشی بتن کمتر است. شکل شماره ۱۱ میزان مقاومت سایشی بر روی نمونه‌های بتنی ساخته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج کسب شده از این آزمایش مشخص شد که افزایش رنگدانه مصرفی باعث کاهش مقاومت سایشی بتن خواهد شد. علت این عارضه را باید در جایگزین شدن سنتز و اکسید آهن بجای سیمان نسبت داد. به طوری‌که با کاهش حجم مصرفی سیمان، میزان چسبندگی بین عناصر اختلاط بتن کاهش می‌یابد. از طرفی سختی پایین رنگدانه‌های مصرفی باعث می‌شود تا میزان مقاومت سایشی بتن کاهش محسوسی داشته باشد. به طوری‌که با افزودن ۳، ۵، ۷ درصد رنگدانه مصرفی در بتن میزان مقاومت سایشی به ترتیب تا ۲۳,۸، ۴۲,۹ و ۵۹,۵ درصد کاهش می‌یابد.

بنظر می‌رسد که استفاده از این نوع بتن در کف سازی یا احداث معابری که تحت سایش شدید قرار می‌گیرند، مناسب نباشد و لازم است با ایجاد تمهیداتی دوام سایشی آن را افزایش داد. نتایج سایر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که استفاده از مواد الیافی نظیر الیاف پلی‌پروپیلن می‌توان دوام سایشی بتن را به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داد.

جدول ۱۰: مقادیر جذب آب برای نمونه‌های بتن شاهد و حاوی رنگدانه.

Table 10: water absorption rate for control and pigmented concrete samples.

Row	Mixing plan	Weight of dry sample gr	Weight of Saturated sample (Half an hour) gr	Weight of Saturated sample (72 hours) gr	Water Absorption (half hour) %	Water Absorption (72 hours) %	Percentage change of half-hour water absorption compared to control concrete %	Percentage change of 72-hour water absorption compared to control concrete %
1	Control	2035	2095	2130	2.9	4.7	-	-
2	Turquoise 3 %	2110	2168	2195	2.7	4	-6.9	-14.9
3	Turquoise 5 %	2143	2196	2220	2.5	3.6	-13.8	-23.4
4	Turquoise 7 %	2256	2304	2331	2.1	3.3	-27.6	-29.8



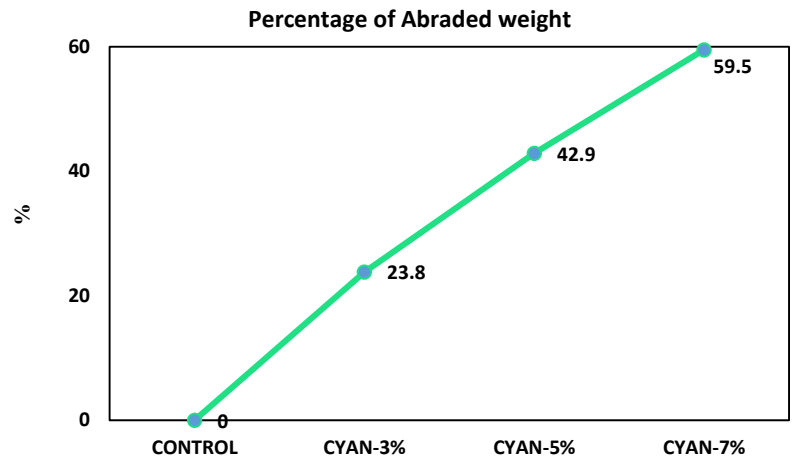
شکل ۹: مقایسه میزان جذب آب تمامی نمونه‌ها.

Figure 9: Comparison of water absorption of all samples.

جدول ۱۱: مقایسه میزان وزن ساییده شده تمامی نمونه‌ها.

Table 11: Comparison of the amount of abraded weight of all samples.

Abrasion Rate %	Average Abraded weigh gr	Abraded weigh 2nd Sample gr	Abraded weigh 1st Sample gr	Name	Row
-	2.1	2.2	2	Control	۱
23.8	2.6	2.7	2.5	Turquoise 3%	۲
42.9	۳	2.9	3.1	Turquoise 5%	۳
59.5	3.35	3.3	3.4	Turquoise 7%	٤



شکل ۱۰: مقایسه دوام سایشی نمونه‌های مورد آزمایش.

Figure 10: Comparison of abrasion durability of tested samples.

شکل ۱۱: تصاویری از مراحل آزمایش دوام سایشی بتن.

Figure 11: Pictures of the steps of concrete abrasion durability test.

۳ـ۶ـ شاخص اقتصادی

با توجه به رویکرد کاربردی این تحقیق، در این بخش نسبت به بررسی شاخص اقتصادی و بررسی توجیه اقتصادی بکارگیری از این طرح در مقیاس اجرایی اقدام گردید. شاخص اقتصادی یک معیار برای سنجش توجیه اقتصادی برای استفاده از یک طرح است. شاخص اقتصادی از حاصل تقسیم هزینه ساخت یک مترمکعب بتن نسبت به یک معیار مقاومت یا دوام محاسبه می‌شود. در این تحقیق ارزش توجیه اقتصادی بر مبنای مقاومت فشاری ۲۸ روزه در نظر گرفته شد. بدین ترتیب ابتدا هزینه ساخت یک متر مکعب بتن رنگی با فرض قیمت در زمان ساخت (تابستان سال ۱۴۰۱) به شرح جدول شماره ۱۲ برآورد شد. البته بدیهی است که هزینه‌های ساخت بتن در محیط آزمایشگاهی بیشتر از ساخت همان بتن در مقیاس کارگاه یا کارخانه می‌باشد. لازم به توضیح است که هر چه میزان شاخص اقتصادی طرح مخلوط کم‌تر باشد، استفاده از آن طرح مخلوط توجیه اقتصادی بیشتری خواهد داشت. از آنجایی که شاخص اقتصادی بتن بعنوان یک معیار برای توجیه اقتصادی استفاده از طرح مخلوط بکار می‌رود لازم است تا میزان آن نرمالایز و گِرد شود تا عدد به دست آمده سلیس باشد. نتایج این بخش نشان داد که با افزایش رنگدانه مصرفی در بتن، هزینه‌های ساخت بشدت بالا می‌رود. بنابراین استفاده از این بتن در سطح کلان و گسترده توجیه اقتصادی ندارد. اما در مصارف کم و محدود به عنوان محوطه‌سازی منازل مسکونی یا تجاری، نماسازی، ساخت المان‌های بتنی و غیره می‌تواند مفید و کاربردی باشد. زیرا در مقایسه با هزینه انواع پوشش‌های کاذب یا کف‌سازی از هزینه نهایی کمتری برخوردار است.

۳ـ۷ـ تصاویر الکترونی روبشی (SEM)

برای بررسی ریز ساختار نمونه‌ها نیز قطعات بتنی شکسته شده در ابعاد حدود ۲ تا ۳ سانتی متر جمع‌آوری و تحت عکس‌برداری الکترونی روبشی (SEM) قرار گرفتند. شکل‌های a تا d ۱۳ وضعیت منافذ، تراکم و ساختار موجود در بتن را پس از انجام افزودن نسبت‌های مختلف رنگدانه را نمایش می‌دهند که در مقیاس x۱۰۰۰ برابر بزرگنمایی، نمایش داده شده است.

مطابق با شکل ۱۲ که مربوط به طرح مخلوط نمونه‌های شاهد و رنگی در بتن است نیز مشخص گردید که نوع رنگدانه و خصوصیات شیمیایی آن در ترکیب بتن از اهمیت زیادی برخوردار است. به طوری که عدم پخش نامناسب باعث تشکیل کلوخه و بروز ترک یا حفرات در سطح بتن می‌شود. همچنین استفاده از میزان بهینه رنگدانه در ساختار بتن و پخش مناسب علاوه بر توجیه اقتصادی نیز باعث اخلال در عمل آب‌دار شدن سیمان نخواهد شد. لذا افزودن مقادیر بیش از حد رنگدانه می‌تواند باعث تداخل در پخش مناسب، اثر سوء در واکنش‌پذیری و هیدراسیون سیمان، کاهش کارایی بتن و جلوگیری از رشد کافی بلورهای هیدروکسید کلسیم شود که در

نهایت باعث ضعف مقاومت بتن یا شکست زودرس خواهد شد. همچنین افزودن رنگ‌دانه نباید باعث جلوگیری رشد اترینگایت سیمان و تشکیل ژل سیلیکات کلسیم در سیمان گردد. لازم به ذکر است که افزودن مقادیر بالای رنگ‌دانه به جای سیمان در بتن به دلیل جذب آب بالای ساختار آن، سبب اخلال در عمل آب‌دار شدن سیمان گردیده و این عارضه بر روی تشکیل اترینگایت و هیدروکسید کلسیم تاثیر منفی داشته است. از طرفی کاهش تشکیل ژل هیدروکسید کلسیم رابطه مستقیمی با کاهش چسبندگی سیمان خواهد داشت که این عارضه باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود (۲).

مطابق با تصاویر (b) تا (d) ۱۲ که مربوط به طرح بتن فیروزه‌ای فام می‌باشد مشخص شد که آزوریت و اکسید آهن سنتزی موجود در ترکیب رنگ‌دانه فیروزه‌ای مانع تشکیل و رشد اترینگایت سیمانی و هیدروکسید کلسیم در بتن می‌شوند. همچنین در صورت استفاده از مقادیر بالا نیز این عارضه شدیدتر خواهد شد. بنابراین عدم پخش نامناسب رنگ‌دانه در بتن باعث تشکیل کلوخه در سطح بتن خواهد شد که این عارضه منجر به شکست زودرس بتن می‌شوند.

۳ـ۸ـ آنالیز رنگ‌سنجی

در جدول ۱۳ کمیت‌های رنگی بتن فیروزه‌ای با نسبت‌های ۳، ۵ و ۷ درصد ارایه گردیده است.

جدول ۱۲: مقایسه شاخص اقتصادی براساس هزینه ساخت هر متر مکعب بتن/ مقاومت فشاری ۲۸ روزه.

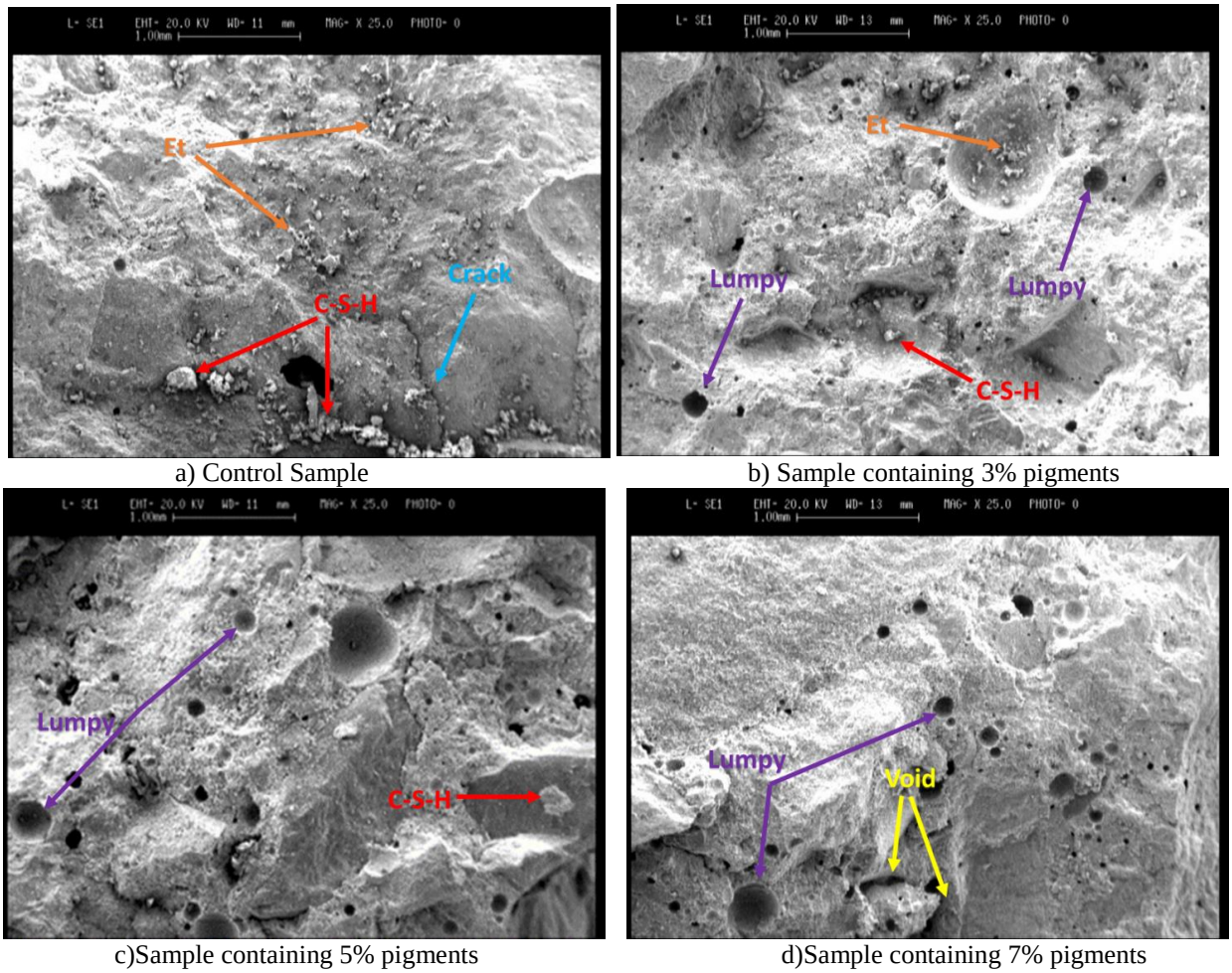
Table 12: Comparison of the economic index based on the construction cost of each cubic meter of concrete/28-day compressive strength.

Economic indicator	Compressive strength (28 days)	Cost of Concrete Per Cubic Meter	Name
	MPa	Tuman	
6.0	28.3	1.708.000	Control
12.5	26.4	3.303.700	Turquoise 3 %
17.6	24.7	4.367.500	Turquoise 5 %
25.8	21	5.431.300	Turquoise 7 %
Material cost definition			
108.000 T	Super Lubricant (Price per Liter)	1800 T	white cement (Price per kilo)
120.000T	Iron synthesis (Price per kilo)	190 T	Sand (Price per kilo)
120.000 T	Azurite (Price per kilo)	215 T	Gravel (Price per kilo)

جدول ۱۳: کمیت‌های رنگی L*a*b*C*h.

Table 13: L*a*b*C*h color quantities.

Color	Percentage	L*	a*	b*	C*	h°
	7	72	-24	16	29	147
	5	80	-21	17	27	141
Turquoise	3	82	-18	19	26	134



a) Control Sample
b) Sample containing 3% pigments
c)Sample containing 5% pigments
d)Sample containing 7% pigments

شکل ۱۲: تصاویر الکترونی روبشی به منظور ساختار شناسی و محصولات آب‌دار شدن اترینگایت سوزنی شکل (Et)، سیلیکات کلسیم (C-S-H)، حفره (Void)، کلوخه (Lumpy)، ترک (Crack)

Figure 12: Scanned electron images for understanding structure and hydration products [source: authors]Needle-shaped ettringite (Et), calcium silicate (C-S-H), void, lumpy, crack.

۴ـ نتیجه‌گیری

۱ـ به دلیل مقاومت پایین اکسید آهن سنتزی[1] در ترکیب رنگدانه فیروزه‌ای، مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش هر چه بیشتر این رنگدانه در بتن، اُفت مقاومت فشاری بیشتر خواهد بود، به طوری که استفاده از نسبت‌های ۳، ۵ و ۷ درصد رنگدانه در بتن مقاومت فشاری ۷ روزه به میزان به ترتیب ۸، ۱۸ و ۳۹ درصد و در سن ۲۸ روزه به میزان به ترتیب ۷، ۱۳ و ۲۶ درصد کاهش می‌یابد.

۲ـ استفاده از رنگدانه ترکیبی فیروزه‌ای در بتن، موجب کاهش چسبندگی بین عناصر اختلاط گردیده و مقاومت کششی را کاهش می‌دهد، به طوری‌که استفاده از نسبت‌های ۳، ۵ و ۷ درصد رنگدانه در بتن، مقاومت کششی ۲۸ روزه به میزان به ترتیب ۱۲، ۲۳ و ۳۳ درصد کاهش می‌یابد.

۳ـ استفاده از رنگدانه ترکیبی فیروزه‌ای مقدار جذب آب اولیه و ثانویه در بتن سخت شده را کاهش می‌دهد. بنابراین در سازه‌های آبی که جنبه زیباسازی شهری دارند مانند آب نماهای شهری، استفاده از این رنگدانه در بتن توصیه می‌شود.

۴ـ بتن‌های حاوی رنگدانه فیروزه‌ای دارای مقاومت سایشی کمتری نسبت به بتن معمولی هستند و با افزایش میزان رنگدانه مقاومت سایشی کاهش می‌یابد. به طوری که میزان کاهش مقاومت سایشی برای نمونه‌های دارای ۳، ۵ و ۷ درصد به ترتیب ۲۴، ۴۳ و ۶۰ درصد به دست آمده است. بنابراین تقویت سایشی سطوح نمونه‌های دارای مقادیر بالای رنگدانه فیروزه‌ای ضروری به نظر می‌رسد. در این شرایط توصیه می‌شود از سایر افزودنی‌ها مانند الیاف فولادی یا پلی‌پروپیلن استفاده شود تا دوام سایشی بتن افزایش یابد.

۵ـ نتایج تحلیل شاخص اقتصادی نشان داد که استفاده از رنگدانه

1- Fe_2O_3

ترکیبی فیروزه‌ای در بتن، هزینه‌های ساخت را افزایش می‌دهد. به طوری که افزودن حداقل ۵ درصد این رنگدانه در بتن می‌تواند هزینه ساخت هر مترمکعب بتن را تا حدود ۲ برابر افزایش دهد. بنابراین استفاده از این نوع رنگدانه در بتن‌ریزی‌های حجیم و کلان توجیه‌پذیر نیست. اما در بتن ریزی‌های محدود مانند فضاسازی یا محوطه‌سازی اماکن مسکونی یا تجاری علی‌رغم اینکه موجب حذف سایر کفپوش‌ها یا پوشش‌های کاذب می‌شود می‌تواند اقتصادی باشد.

۶ـ تصاویر الکترونی روبشی نمونه‌ها نشان داد که آزوریت و اکسید آهن سنتزی موجود در ترکیب رنگدانه فیروزه‌ای مانع تشکیل و رشد اترینگایت سیمانی و هیدروکسید کلسیم در بتن می‌شوند. همچنین در صورت استفاده از مقادیر بالا نیز این عارضه شدیدتر خواهد شد. بنابراین عدم پخش نامناسب رنگدانه در بتن باعث تشکیل کلوخه در سطح بتن خواهد شد که این عارضه منجر به شکست زودرس بتن می‌شوند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان برخود لازم می دانند که از دانشگاه فنی و حرفه ای استان فارس جهت در اختیار قراردادن محیط آزمایشگاه بتن، تقدیر و تشکر به عمل آورند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

۵ـ مراجع

1. Sharifi M, Sheibani H. Thee 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. J Color Sci Tech.16(2022),81-92.Https://dorl.net/dor/ 20.1001. 1.17358779.1401.16.1.7.9. [In Persian].
2. Golshan M, Avaznejad F, Sheibani H. Laboratory investigation of compressive, tensile and wear resistance of concrete with limonite mineral pigment with emphasis on urban beautification. J Color Sci Tech. 17(1)(2023), 51-63. Https://dorl.net/dor/20.1001.1.17358779.1402.17.1.4.3 [In Persian].
3. Avaznejad F, Sheibani H. Studying and reviewing the color in urban placemaking. J Stud Color World. 12(2022), 71-86. Https://dorl.net/dor/20.1001.1.22517278.1401.12.1.5.0 [In Persian].
4. Sharifi M, Sheibani H, Bayat Beheshti Fard S. Studying and Reviewing the Comprehensive Plan of the Color Palette of the City. J. Stud Color World.13(1)(2023), 33-49. Https://dorl. net/dor/20.1001.1.22517278.1402.13.1.3.5 [In Persian].
5. Sheibani H, Avaznejad F.The color palette of the city. Norouzi publications, 2017.[In Persian].
6. Avaznejad F, Sheibani H. color in arsen zandieh shiraz. j. stud. Color world. 9(2019), 43-52. Https://dorl.net/dor/ 20.1001.1.22517278.1401.12.1.5.0.[In Persian].
7. Avaznejad F, Golshan M, Sheibani H. Making and investigating the effect of chemical pigments on the compressive, tensile, abrasion and water absorption resistance of colored concrete with an emphasis on urban beautification. Advanced Materials and New Coatings, 10(40)(2022), 3032-3047.Https://dorl.net/dor/20.1001.1.17358779. 1402. 17.1.4.3. [In Persian].
8. O'Connor Z, Sheibani H. Environmental color mapping in an historic UNESCO Heritage context: Urumanat, Iran. Peer-reviewed paper presented at AIC2022 – Conference of the International Color Association (AIC), Toronto, Canada, 2022.
9. Hensel M, Gharleghi M. Iran: past, present, and future. First Ed. Wiley; 2012.
10. Avaznejad F, Sheibani H . Study of Color in the Architecture of Nasir Al-Molk Mosque in Shiraz. j. stud. Color World, 11(1)(2021), 23-34. Https://dorl.net/dor/ 20.1001.1.22517278. 1400.11.1.3.1.[In Persian].
11. Bakhtiarifard H. Color and communication. fakhrakia publications, second edition, 2013.[In Persian].
12. Karimi Moshaver M, Sina S. Promoting urban area quality by taking benefit from color indicator, case study: Imam Khomeini (PBUH) square in Tehran. Armanshahr architecture & urban development, 10(2018), 205-216.[In Persian].
13. Swirnoff I. The color of cities: an international perspective. the mcgraw-hill companies, united states of America, 2000.
14. Tadayon B, Ghalenoee M, Aboee R. Suggesting a method for preparing the color palette of the place, an approach to conserve the historic urban landscape (Case study: Jolfa neighborhood in Isfahan). JIAU, 13(2022), 39-53. https://doi. org/10.30475/isau.2020.231431.1419 .[In Persian].
15. Zabetian E, Kheiroddin R. Evaluation of fixed color scape perception in urban spaces, case study: imam hossein square in Tehran. Manzar, scientific journal of landscape, 12(2020), 28-39. Https://doi.org/10.22034/manzar.2020.119396. 1741. [In Persian].
16. Janpoor H, Alah Verdi A. A review on performance of different organic coatings in protecting concrete structures against aggresive agents. J Stud Color World, 1(4)(2012), 9-14. Https://dorl.net/dor/20.1001.1.22517278.1390. 1.4. 3.7.[In Persian].
17. Naderi M, Qodousian O, Mollayi Dehshali H. 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. https://dorl.net/dor/ 20.1001.1. 17358779.1390.5.4.7.8.[In Persian].
18. ASTM c979/c979m,(2019). Standard specification for pigments for integrally colored concrete, USA.
19. American standards for testing and materials, astm c494-10a/c494m-10a standard specification for chemical admixtures for concrete.
20. American concrete institute, aci303.1-97, standard specification for cast-in-place architectural concrete.
21. American Association of State Highway and transportation officials aashto m194-chemical admixtures for concrete.
22. American standards for testing and materials, ACI 211.9r-18, standard concrete technology and mix design.
23. Lee H, Yu M, Lee J. Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete interlocking blocks. Cement & Concrete Research, Ed. Elsevier. 1889–1896. 2003.

https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00209-6
24. American standards for testing and materials, ASTM C33, standard specification for concrete aggregates.
25. Scheinost A, Schulze D, Schwertmann U. Diffuse Reflectance Spectra of Al Substituted Goethite: A Ligand Field Approach, Clays Clays Miner. (2016) 156–164. https://doi.org/ 10.1346 /CCMN.1999.0470205
26. American Standards for Testing and Materials, ASTM C127-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.
27. American standards for testing and materials, astm c128-15 standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate.
28. American Standards for Testing and Materials, ASTM D1067, Standard Test Methods for Acidity or Alkalinity of Water.
29. Iran national standards, inso. 302, 3rd. Revision, (2015).
30. American standards for testing and materials, astm c566 standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying.
31. American standards for testing and materials, astm c136 standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregatcs.
32. American Standards for Testing and Materials, ASTM C107, Method of Panel Spalling Testing High-Duty Fireclay Brick (Withdrawn 1994).
33. Kallai L. Thermally Modified Clays, In: F. Bergaya, B.K.G. Theng, G. Lagaly (Eds.), Handbook of Clay Science, Vol. 5a, Elsevier Ltd., Oxford, Uk, (2017) 411-433.
34. Malla P, Devisetti S. Novel Kaolin Pigment for High Solids Ink Jet Coating. Pap. Technol. 46 (8) (2005) 17–27.

How to cite this article:
Avaz nejad F, Golshan MR, Sheibani HR. The Effect of Turquoise Pigment Amounts on the Physical Properties of Concrete Used in Architecture and Iranian Urban Design. J Color Sci Tech. 2023;17(3):203-220. https://dorl.net/dor/20. 1001.1.17358779.1402.17.3.2.5. [In Persian]