

بررسی خواص مکانیکی و رنگی ملات خودتراکم رنگی شده با رنگدانه‌های آلی

مهناز یاوری^۱، مسعود جمشیدی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - پلیمر دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشیار دانشکده مهندسی شیمی - گرایش پلیمر دانشگاه علم و صنعت ایران،

mjamshidi@iust.ac.ir

چکیده

بتن خودتراکم (SCC) نوع خاصی از بتن محسوب می‌شود که به واسطه ویژگی منحصر به فرد خود مبنی بر جریان‌پذیری بالا و عدم نیاز به عملیات لرزاندن، در بسیاری از موارد و به‌ویژه در زمینه تهیه بتن معماری کاربرد دارد. رنگ بخشیدن به این نوع از بتن، یکی از جنبه‌های مهم در پیشرفت بتن‌های معماری با طرح و نقش‌های ظریف محسوب می‌شود. اغلب بررسی‌های صورت‌گرفته بر روی ملات خودتراکم رنگی، به وسیله‌ی رنگدانه‌های معدنی بوده که با توجه به میزان زیاد مصرف جهت رنگ‌دهی مناسب، صرفه‌ی اقتصادی نداشته و رنگ شفاف و مناسبی را ایجاد نمی‌کند. بدین منظور در این پژوهش، اثر رنگدانه‌های آلی بر خواص مکانیکی و رنگ ظاهری ملات خودتراکم رنگی بررسی شده است. رنگدانه‌های آلی با ایجاد رنگ‌هایی با خلوص و فام بالا، موارد مناسبی جهت استفاده در معماری و زیباسازی می‌باشند. در این تحقیق با ساخت نمونه بدون رنگدانه به عنوان شاهد، چهار رنگدانه‌ها با نسبت‌های ۰/۲۵ و ۰/۷۵٪ نسبت به وزن سیمان، ملات‌های خودتراکم رنگی ساخته شد. پس از تست نمونه‌ها نتایج رنگ‌سنجی، مقاومت فشاری و خمشی بدست آمد. سپس نتایج حاصل با نمونه شاهد مقایسه شدند. با افزودن رنگدانه روشنایی تمامی نمونه‌ها کاهش و خلوص آنها افزایش یافت. فام نمونه‌ها با توجه به نوع رنگدانه تغییر یافت. همچنین با افزودن رنگدانه آلی مقاومت فشاری و خمشی تمامی ملات‌های حاوی رنگدانه کاهش یافت.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم، رنگدانه‌ی آلی، رنگ‌سنجی، خواص مکانیکی.

۱. مقدمه

بتن خودتراکم یکی از دستاوردهای نوین تکنولوژی بتن بوده است. دلایل اقتصادی توسعه روز افزون این بتن: اجرای سریعتر، کاهش نیروی انسانی، قالبریزی مطلوبتر، پرداخت بهتر سطوح، آزادی بیشتر در طراحی، کاهش صدا به دلیل عدم نیاز به لرزاندن و ... می باشد. در واقع نوعی از بتن که قادر به جاری شدن تحت نیروی وزن خود باشد و قالب را به صورت کامل، حتی در حضور تراکم آرماتورها، و بدون نیاز به هرگونه لرزاندن و با حفظ همگنی، پرکند؛ بتن خودتراکم نامیده می شود [۱ و ۲]. تفاوت اصلی بتن خودتراکم با بتن معمولی را باید در مقدار مصرف فوق روان کننده و دانه بندی سنگدانه ها دانست بگونه ای که این ماده کاملاً روان بوده و نیاز به لرزاندن برای قالب گیری ندارد.

مواد رنگی به طور کلی در رنگ های نقاشی ساختمان، صنعت نساجی، رنگی کردن شیشه ها، مواد ساختمانی، ایمنی محیطی، پزشکی، مصارف دارویی و صنایع غذایی به کار می روند [۳]. بتن رنگی در کشورهای توسعه یافته، به عنوان یکی از موفق ترین روش ها جهت بهبود نمای بیرونی پروژه ها در نظر گرفته می شود. اغلب معماران و طراحان به دنبال بهبود ظاهر با یک قیمت معقولانه هستند؛ که این امر می تواند به وسیله ی بتن رنگی محقق شود. در این صورت هر چیزی که با بتن ساخته می شود، مانند سقف ها، بلوک ها، محصولات پیش ساخته و ... می تواند دارای رنگ باشد [۴]. امروزه بتن خودتراکم رنگی به عنوان طرحی جدید در ساخت بناهای معماری و زیباسازی شهری مطرح شده و لزوم به کارگیری آن به منظور حذف ساختمان های بتنی بی روح و یکنواخت، با گذشت زمان بیشتر احساس می شود. نکته مهم در استفاده از این نوع بتن، علاوه بر خلوص رنگی، خواص مکانیکی و مقاومت آن می باشد که لازم است قبل از اجرای هر پروژه با بهینه سازی طرح مخلوط اصلاح گردد. ساختار بتن در صورت استفاده از رنگدانه باید متراکم تر شده و با افزایش میزان مصرف آن، متراکم تر شود. این رفتار عموماً به دلیل بسیار ریز بودن رنگدانه و بالاتر بودن سطح ویژه آن نسبت به سیمان است [۵].

عمده بررسی های صورت گرفته تاکنون بر پایه بتن معمولی بوده و ارزیابی ورود رنگدانه به بتن خودتراکم، زمینه ای جدید برای تولید بتن معماری زیبا و بادوام فراهم می سازد. اکثر فعالیت های انجام شده تا کنون، به صورت استفاده از رنگدانه های معدنی بوده است؛ در حالیکه رنگدانه های آلی، قدرت فام بخشی بیشتری را در درصد های کم تر مصرف دارند و همچنین فام بسیار شفافی را ایجاد می کنند. با توجه به میزان رنگدانه، شدت و قدرت رنگ به خلوص و اندازه ذرات رنگدانه بستگی دارد. در تحقیقی که لی و همکاران [۶] انجام داده اند، شدت رنگ از طریق مقایسه ی مقدار دو رنگدانه، که یکی آلی و دیگری معدنی است؛ جهت رسیدن به یک میزان شدت یکسان، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج طبق شکل (۱)، نشان می دهند که مقدار مصرفی رنگدانه ی آلی؛ برای یک شدت رنگ یکسان، نصف مقدار رنگدانه ی معدنی می باشد.



شکل (۱) مقایسه شدت رنگ دو رنگدانه با اندازه متفاوت [۶]

وقتی رنگدانه به مخلوط بتن اضافه می شود؛ سطح ویژه ذرات به میزان ۱۰ برابر افزایش می یابد و در نتیجه جریان پذیری ملات کاهش می یابد [۶]. با افزایش میزان مصرف رنگدانه در ملات خودتراکم، قطر جریان اسلامپ مطابق با شکل (۲) کاهش می یابد [۷].



شکل (۲) اثر افزایش میزان رنگدانه زرد هیدروکسید آهن بر روانی [۷]

این امر به آن دلیل است که با افزایش رنگدانه، بخش پودری مخلوط افزایش یافته و روانی مخلوط به دلیل ناکافی بودن مقدار آب برای خیس کردن ذرات کاهش می‌یابد [۸ و ۵]. در صورت استفاده بیشتر از ده درصد رنگدانه، خواص مکانیکی بتن به شدت کاهش می‌یابد [۹]. قدرت رنگی برخی از رنگدانه‌های آلی نسبت به رنگدانه‌های معدنی، ۱۰ برابر است. به عبارت دیگر برای تولید یک فام خاص، مقدار رنگدانه آلی بسیار کمتری مورد نیاز بوده و خلوص بیشتری حاصل می‌شود. از طرفی طیف‌های رنگی متفاوتی به کمک این رنگدانه‌ها قابل تهیه است که رنگدانه‌های معدنی توانایی ایجاد آن را نداشته و یا هزینه حصول آن را افزایش می‌دهند. برای مثال، تولید رنگ آبی به کمک رنگدانه‌های معدنی نه تنها طیف خالصی از آن ارائه نمی‌دهد بلکه پرهزینه است [۱۰].

در این تحقیق تاثیر رنگدانه‌های آلی آبی، سبز، قرمز و زرد بر روانی و خواص مکانیکی و رنگ ملات خودتراکم (SCM) بررسی شد. برای این منظور رنگدانه‌ها در دو درصد ۰/۲۵ و ۰/۷۵ در ملات به کار رفته و مقاومت‌های فشاری و خمشی و خواص رنگی (روشنایی) (L^*)، فام (h^*) و خلوص (C^*) بررسی شد.

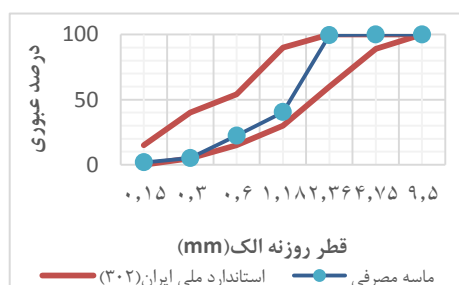
۲. مواد مصرفی

- سیمان

در ساخت C-SCM از سیمان پرتلند سفید کارخانه بنوید استفاده شده. به دلیل لزوم خلوص رنگ بیشتر در ملات تولیدی، مبنای ساخت بر کاربرد سیمان سفید به جای سیمان خاکستری قرار گرفت.

- ماسه مصرفی

ماسه مصرفی در تولید ملات خودتراکم، ماسه سیلیسی شفاف با دانه‌بندی ۰-۲ mm و خلوص ۹۹٪ می‌باشد که در شکل (۳) قابل مشاهده است. طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲، اندازه ذرات ماسه بایستی از ۴/۵ mm کمتر بوده و ۱۰۰٪ از ماسه از الک با قطر روزنه مشابه (۴/۵ mm) عبور کند. پس از انجام آزمون‌الک بر روی ماسه مورد نظر، مشخصات و نمودار دانه‌بندی به صورت شکل (۳) بدست آمد.



شکل (۳) نمودار توزیع دانه‌بندی ماسه سیلیسی مصرفی

- پودر سنگ آهک مصرفی

برای بهبود خواص ملات از فیلر سنگ آهک استفاده شد. سنگ آهک مصرفی کاملاً سفیدرنگ بود. از آنجا که بخش عظیمی از دانه‌ها ابعاد کمتر از ۱۵۰ میکرومتر دارند، انتظار می‌رود سنگ آهک از نظر ریزدانه‌گی، قابلیت ارتقاء خواص ملات را داشته باشد.

- فوق‌روان‌کننده (SP)

به منظور نهایی کردن طرح اولیه SCM، بر اساس مشاهده رفتارهایی از قبیل آب‌ناختگی، جداسازی و عدم روانی و با تغییر توزیع دانه‌بندی ماسه مصرفی، تغییر عیار سیمان، مقدار و نوع SP و نسبت مواد مصرفی، سرانجام فوق‌روان‌کننده SR340-P تولید شرکت دماوند سفید، به دلیل قدرت بالاتر در تولید ملات خودتراکم (روانی مناسب)، مبنای کار قرار گرفت.

- رنگدانه

در این پژوهش رنگدانه‌های آلی آبی، سبز، قرمز و زرد استفاده شدند. شکل (۴) تصویر رنگدانه‌های مصرفی را نمایش می‌دهد. مشخصات این رنگدانه‌ها در جدول (۱) آورده شده است.



شکل (۴) رنگدانه‌های مصرفی

جدول (۱) مشخصات رنگدانه آلی

رنگدانه	کد رنگدانه	فرمول مولکولی	pH	وزن مخصوص (g/cm ³)	حلالیت در آب
آبی	Blue BS-7070	C ₃₂ H ₁₆ CuN ₈	۵-۷	۱/۵	بسیار ناچیز
سبز	Green GY-2030	C ₃₂ H ₂ Cl ₁₅ CuN ₈	۵-۷	۲/۲	بسیار ناچیز
قرمز	Carmin HF-S	C ₁₇ H ₁₂ CaN ₂ O ₇ S ₂	۷-۹	۱/۷	بسیار ناچیز
زرد	Yellow 1512	C ₃₂ H ₂₆ Cl ₂ N ₆ O ₄	۶-۸	۱/۴	بسیار ناچیز

۳. روش‌ها

- آزمون‌ها

نمونه‌های لازم برای آزمون مقاومت فشاری، به شکل مکعبی با ابعاد ۵×۵×۵ cm ساخته شدند. ساخت نمونه‌های لازم برای تست خمش نیز بر اساس کاربرد قالب منشوری ۳ خانه با ابعاد ۴×۴×۱۶ cm صورت گرفته است. مقاومت فشاری ملات خودتراکم به کمک جک بتن‌شکن ۲۰۰ تن و رفتار فشاری و خمشی آزمون تحت بار به وسیله دستگاه SANTAM STM150 اندازه‌گیری شد. بررسی رنگ آزمون‌ها، توسط دستگاه رنگ‌سنج X-Rite صورت گرفت. به منظور ارزیابی خواص جریان‌یابی، مخلوط تازه پس از تهیه به کمک قیف اسلامپ کوچک به ابعاد قطر بالا ۷۰، قطر پایین ۱۰۰ و ارتفاع ۶۰ میلی‌متر ارزیابی شد. تمامی مراحل از ساخت تا تست نمونه‌ها در آزمایشگاه پلیمر دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه علم و صنعت انجام شده است.

- طرح مخلوط ملات

به طور کلی تهیه ملات خودتراکم، روش و اساس مشخصی نداشته و طرح مخلوط مناسب، تنها بر پایه آزمایشات حاصل می‌شود. در تهیه ملات خودتراکم، به عنوان نقطه آغاز از اطلاعات تحقیقات پیشین [۷] استفاده شد. سپس در راستای نهایی کردن طرح اولیه ملات، نسبت‌ها و میزان فوق‌روان‌کننده، با توجه به رفتار مورد مشاهده در ملات بهینه گشت. طرح اختلاط مورد استفاده در این مقاله در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲) طرح مخلوط ملات خودتراکم مصرفی

عبار سیمان (kg/m^3)	آب:سیمان:پرکن:ماسه	مقدار فوق‌روان‌کننده (% جرمی سیمان)	درصدهای رنگدانه
۳۴۰	۰/۵ : ۱ : ۰/۵۵ : ۲/۳۵	۱-۱.۵	۰-۰.۲۵-۰.۷۵

۴. نتایج حاصل و تحلیل آن‌ها

به منظور بررسی اثر مقدار مصرف رنگدانه بر خواص ملات خودتراکم، از رنگدانه آلی آبی (فتالوسیانین) با درصدهای ۰/۲۵ و ۰/۷۵٪ نسبت به وزن سیمان استفاده گردیده و نتایج به شرح زیر حاصل گشت.

- اسلامپ

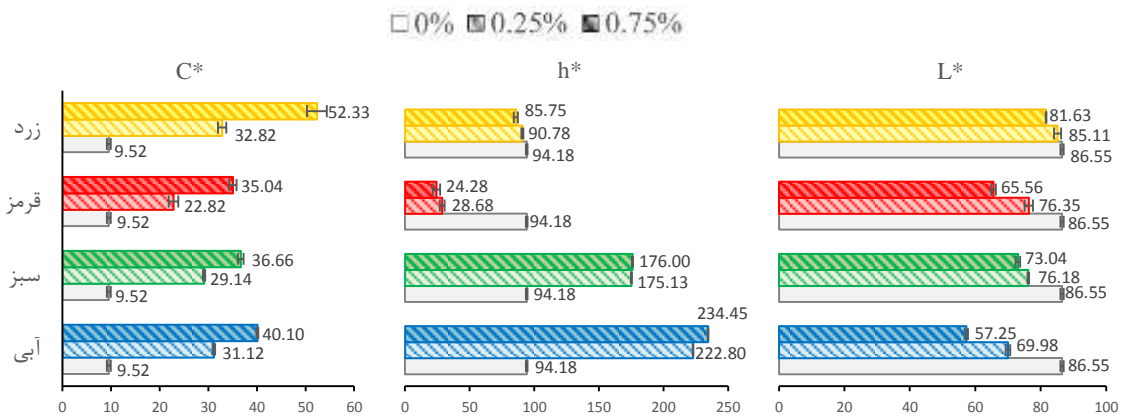
نمونه‌های ساخته شده در تمامی درصد ها بدون هرگونه آب‌انداختگی و جداسدگی بوده ($VSI=0$) و سطح نسبی جریان‌ها در محدوده‌ی قابل قبول بتن خودتراکم قرار گرفت. گرچه با افزایش درصد رنگدانه این مقدار کاهش یافته‌است؛ و پیش بینی میشود با استفاده از درصد بیشتر رنگدانه، در محدوده‌ی مجاز بتن خودتراکم قرار نگیرد. شکل (۵) نمونه‌ای از نتیجه این آزمون را نشان می‌دهد.



شکل (۵) نمونه‌ای از ملات خودتراکم رنگی

- رنگ‌سنجی

شکل (۶) نتایج رنگ‌سنجی ملات‌های خودتراکم حاوی رنگدانه‌های آبی، سبز، قرمز و زرد را نمایش می‌دهد.



شکل (۶) نمودار پارامترهای رنگ‌سنجی ملات خودتراکم شاهد و حاوی رنگدانه‌های آبی، سبز، قرمز و زرد

روشنایی (L^*) تمامی نمونه‌های حاوی رنگدانه از نمونه شاهد کمتر می‌باشد و این امری بدیهی‌ست، زیرا حضور رنگدانه در ملات باعث رنگی شدن آن و در نتیجه کاهش روشنایی می‌گردد.

در رنگدانه‌ی آبی با افزایش میزان فتالوسیانین از ۰/۲۵ تا ۰/۷۵٪ روشنایی کاهش و زاویه‌ی فام (h^*) از حدود ۲۲۲ به ۲۳۶ رفته که نشان از تغییر فام نمونه‌ها به آبی دارد. گرچه میزان این نزدیک‌شدن با افزایش رنگدانه رابطه‌ی مستقیمی ندارد این امر نشان‌دهنده‌ی این است که مصرف رنگدانه از یک حدی بیشتر تاثیر زیادی بر فام نهایی نخواهد داشت. مشاهده می‌شود که با افزایش رنگدانه، خلوص (C^*) نمونه‌ها نیز رشد داشته‌است.

در ملات‌های ساخته‌شده حاوی رنگدانه‌ی سبز نیز مشاهده می‌شود که مقدار ۰/۷۵٪، نقطه‌ی اشباع رنگدانه می‌باشد؛ به گونه‌ای که بعد از آن با وجود اینکه خلوص رنگ افزایش داشته، اما فام آن تغییری تقریباً نداشته‌است.

عملکرد رنگدانه‌ی قرمز مانند رنگدانه‌ی آبی بوده و با کاهش روشنایی، ضمن تمایل فام به سمت رنگ قرمز و افزایش خلوص، با افزایش میزان رنگدانه، رنگ قرمزتری مشاهده می‌شود.

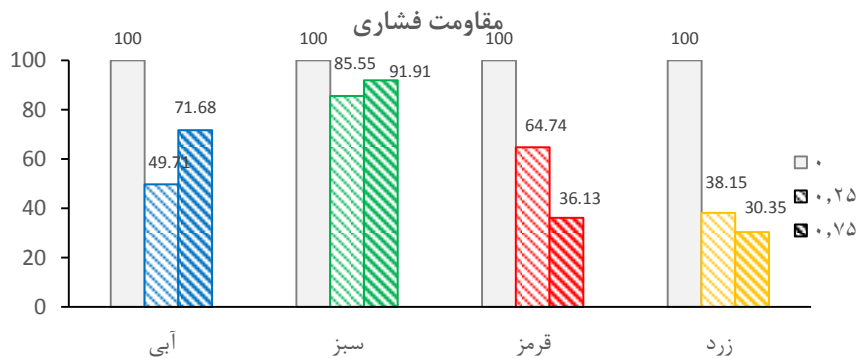
در رنگدانه‌ی زرد کمترین میزان کاهش روشنایی نسبت به باقی رنگدانه‌ها دیده می‌شود. افزایش رنگدانه از ۰/۲۵ تا ۰/۷۵٪، روشنایی سطح نمونه را کاهش داده و میزان رنگ با توجه به کاهش فام و افزایش خلوص به سمت زردتر شدن پیشرفت نموده‌است.

با مقایسه‌ی پارامترهای روشنایی، خلوص و فام ملات‌های رنگ‌شده به وسیله‌ی رنگدانه‌های آلی، با ملات‌های رنگ‌شده توسط رنگدانه‌های معدنی که قبلاً توسط بسیاری از محققان انجام شده‌است [۱۱]؛ مشاهده می‌شود که در تمامی رنگدانه‌ها روشنایی، خلوص و فام بیشتری در رنگدانه‌های آلی مشاهده می‌شود؛ که از این میان خلوص افزایش چشمگیرتری را نسبت به دو پارامتر دیگر به همراه دارد، لذا رنگ نهایی شفاف‌تر خواهد بود و وضوح بیشتری مشاهده خواهد شد.

مقاومت فشاری

شکل (۷) مقاومت فشاری نمونه‌ها را نسبت به نمونه بدون رنگدانه نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در تمامی نمونه‌های حاوی رنگدانه‌ی آلی، مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌ی شاهد کاهش یافته‌است. این امر یکی از ضعف‌های

رنگدانه‌ی آلی می‌باشد [۱۱ و ۱۲]؛ اما با توجه به نوع کاربری ملات، از آن در موارد مختلفی که مقاومت‌ها از اهمیت زیادی برخوردار نیستند؛ مانند نمای ظاهری ساختمان‌ها، می‌توان استفاده کرد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در نمونه‌های حاوی رنگدانه‌ی آبی و سبز با افزایش رنگدانه از ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ درصد، مقاومت فشاری کاهش و پس از آن افزایش یافته‌است.



شکل (۷) مقاومت فشاری ملات‌های خودتراکم رنگی

علت افزایش مقاومت این است که ذرات رنگدانه تا حدودی نقش فیلر را بازی کرده و حفرات حاصل از هیدراتاسیون سیمان را پوشش می‌دهند. در رنگدانه‌های قرمز و زرد با افزایش میزان رنگدانه از ۰/۲۵ به ۰/۷۵ درصد، بر خلاف دو رنگدانه‌ی قبلی مقاومت کاهش یافته‌است. بنابراین می‌توان گفت که افزایش مقاومت در حضور رنگدانه، تنها به دلیل ریزدانه بودن آن نیست؛ و به عبارتی دیگر ساختار شیمیایی ذرات نقش تعیین کننده‌ای در بهبود یا افت استحکام مکانیکی دارد.

مقاومت خمشی

شکل (۸) نتایج آزمون مقاومت خمشی ملات‌های خودتراکم رنگ‌شده با رنگدانه‌های مختلف را نسبت به ملات خودتراکم بدون رنگدانه نمایش می‌دهد. بر این اساس با افزودن رنگدانه‌ی آلی به ملات خودتراکم، مقاومت خمشی نسبت به نمونه‌ی شاهد کاهش یافته‌است؛ و این امر در رنگدانه‌های قرمز و زرد بارز است. در عین حال بر خلاف مقاومت فشاری، کاهش زیادی بین درصدهای ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ در مقاومت خمشی حاصل مشاهده نمی‌شود.



شکل (۸) استحکام خمشی ملات‌های خودتراکم رنگی

۵. نتیجه‌گیری

- در این تحقیق ملات خودتراکم رنگی با رنگدانه‌های آبی و سبز فتالوسیانین و قرمز و زرد تهیه شد. اثر رنگدانه‌های آلی بر مقاومت‌های مکانیکی و خصوصیات رنگی ملات‌ها بررسی شد و موارد زیر نتیجه‌گیری شد.
- افزایش ۰/۲۵٪ رنگدانه‌های آبی، سبز، قرمز و زرد به ملات به ترتیب ۵۰/۲۹، ۱۴/۴۵، ۳۵/۲۶ و ۶۱/۸۵٪ افت مقاومت فشاری در ملات به وجود آورد. این به آن معناست که اولاً رنگدانه‌های آلی در کمترین مقدار مصرف باعث کاهش مقاومت فشاری می‌شوند؛ و ثانیاً نوع رنگدانه بر میزان کاهش تاثیر چشمگیری دارد.
 - حضور رنگدانه حتی در درصدهای بسیار کم (۰/۲۵٪) باعث بهبود خلوص و ایجاد فام رنگی مطلوب می‌گردد. این در حالیست که در رنگدانه‌های معدنی ایجاد فام نیاز به مصرف بیش از ۵٪ رنگدانه داشته و خلوص حاصل معمولاً بسیار کم است [۱۱ و ۷].
 - استفاده از رنگدانه‌های آلی اگرچه افت خواص مکانیکی را باعث می‌شود (حتی بیشتر از رنگدانه‌های معدنی)؛ اما فام‌های درخشان و خلوص حاصل می‌تواند نقش مهمی در مصرف آن‌ها به عنوان بتن معماری داشته‌باشد. بنابراین با توجه به اثر نوع رنگدانه آلی بر میزان کاهش، به نظر می‌رسد انتخاب خود رنگدانه بتواند به عنوان یک عامل موثر در کاهش خواص مکانیکی استفاده شود.

۶. مراجع

- [۱] شاهجویی، ع، زادمهر، ح. (۱۳۸۳). "بتن خود تراکم" CES، هرمزگان، 507-500.
- [2] EFNARC. (2002). "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete"
- [3] Zurita Ares, M.C., Villa González, E., Torres Gómez, A.I., Fernández, J.M. (2014) "Review-An easy method to estimate the concentration of mineral pigments in colored mortars" Dye Pigment. 101, 329-337.
- [4] Resheidat ,M., Al-Kharabsheh, B. (2008). "Development of Colored Concrete in Jordan", ICCB. 153-164.
- [5] Soo Lee, H., Yong Lee, J., Youl Yu, M. (2003). "Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete interlocking blocks", Cem. Concr. Res. 33 1889-1896.
- [6] Bruce, S., Rowe, G. (1992) "The Influence of Pigments on Mix Designs for Block Paving units", in: Proc. 4th Int'l Conf. Concr. Block Paving, 117-124.
- [7] Lopez, A., Tobes, J.M., Giaccio, G., Zerbino, R. (2009). "Advantages of mortar-based design for coloured self-compacting concrete", Cem. Concr. Compos. 31 754-761.
- [8] Szadkowski, G. V. (1980). "The effect of pigments on the quality of concrete blocks", Proc. 1st Int'l Conf. Concr. Block Paving, 155-156.
- [9] Jaroslava, K., Pave, R. (2014). "Coloured Concrete with Focus on the Properties of Pigments", Adv. Mater. Res. 1054 248-253.
- [10] Drechsler, D. Neupert, S. Werner. (2000) "Method of producing colored concrete bodies such as colored concrete roofing tiles"
- [۱۱] حاتمی، ل، جمشیدی، م. (۱۳۹۳) "ساخت ملات‌های رنگی و بررسی اثر رنگدانه بر خواص مکانیکی ملات"، تحقیقات بتن،