Archive of SID

تحقیقات بتن
سال نهم، شمارهٔ اوّل
بهار و تابستان ۹۵
ص ۶۹ – ۵۷
تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/ ۶

بررسی اثر رنگدانه ترکیبی و فیلر سیلیسی بر خواص مکانیکی و رنگ ظاهری ملات خودتراکم

لادن حاتمی
کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه علم‌وصنعت ایران
مسعود جمشیدی*
استادیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم‌وصنعت ایران

چکیده
ملات خودتراکم رنگی به عنوان یک فناوری جدید در ساخت بناهای معماری، نما و نوسازی سازه‌های قدیمی مطرح می‌شود. تولید این نوع ملات در شرایط بهینه، ملزم به کافی بودن خواص مکانیکی ضمن حصول رنگ مناسب می‌باشد. بنابراین تعیین میزان مصرف رنگدانه در طرح مخلوط اهمیت فراوانی دارد. از طرف دیگر، اگر رنگدانه خاصیت پرکنندگی داشته باشد، کاربرد آن در ملات خودتراکم رنگی قابل تثبیت است. در این مقاله به بررسی اثر رنگدانه‌های ترکیبی (آلی و معدنی) بر رنگ ظاهری و خواص مکانیکی ملات خودتراکم در سه مقدار ۲، ۵ و ۱۰٪ پرداخته شده است. همچنین جهت شناخت رفتار پرکنندگی رنگدانه، اثر جایگزینی آن با فیلر سیلیسی با دانه‌بندی مشابه در نسبت‌های ۲ و ۵٪ در نظر گرفته شده است. نتایج حاکی از عملکرد مناسب رنگدانه ترکیبی در نقش فیلر بوده و مقادیر کمتر از ۵٪ از رنگدانه مذکور، خواص مکانیکی و رنگ‌سنجی را بهبود داده است.

واژه‌های کلیدی: **ملات خودتراکم رنگی، رنگدانه ترکیبی، فیلر سیلیسی، رنگ‌سنجی، خواص مکانیکی.**

* نویسنده مسئول: mjamshidi@iust.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

بتن خودتراکم به لحاظ مزایای فنی، اقتصادی و محیطی، پیشرفت بزرگی در صنعت بتن محسوب می‌شود. علت اصلی تمایز این نوع از بتن که اولین بار در سال ۱۹۸۸ میلادی در ژاپن مطرح گردید، عدم نیاز به متراکم‌سازی حین بتن‌ریزی است که به واسطه آن، ترکیبی همگن با روانی بالا، پایداری و دوام بیشتر حاصل می‌شود [۱-۳].

ملات خودتراکم نیز به شکل مجزا و به عنوان یک فناوری جدید، به‌طور ویژه برای نوسازی و تعمیرات سازه‌های بتنی مسلح قابل استفاده است. از مزایای این نوع ملات می‌توان به کاهش زمان ساخت و هزینه نیروی کار و نیز بهبود کیفیت پرکنندگی در سازه‌های متراکم اشاره کرد [۴ و ۵].

امکان مشاهده قوی‌تر اثر ریزدانه‌ها در ساختار خمیر سیمانی، روند توسعه گیرش اولیه، مشاهده تغییرات جریان‌پذیری، بررسی میزان هوای محبوس و اثر تغییرات محیطی بر ملات تازه و نیز سادگی بیشتر در روند آزمایشات مربوطه، مزیت و اهمیت مطالعه اولیه بر روی ملات خودتراکم در تولید بتن خودتراکم را نشان می‌دهد [۶].

از آنجا که معماری معاصر نیازمند اشکال بسیار مختلفی از بافت و پرداخت سطحی است، بتن به‌عنوان ساختاری پرکاربرد، بستری برای پیاده‌سازی رنگ و طرح‌های خاص در بناهای جدید را فراهم می‌کند. بتن و ملات خودتراکم رنگی به دلیل کاربردهای متفاوت و منحصر به فرد در نما، ساخت دیوارها، طاق‌ها، ورقه‌های بتنی، موزاییک‌های بتنی، کف‌پوش‌ها،تفرج‌گاه پارک‌ها،سنگفرش پیاده‌رو، کاشی‌های سقف شیروانی، دیواره سدها، پل‌ها، بتن‌های معماری پیش‌ساخته، ملات تعمیر و نظیر آن [۹-۷] ، امکان روح بخشیدن به بتن خاکستری را فراهم کرده و امری مهم در زیباسازی شهری به شمار می‌رود [۱۰ و ۱۱].

یکی از راه‌های رنگ بخشیدن به بتن، ورود رنگدانه به مخلوط سیمانی قبل از بتن‌ریزی است [۸]. رنگدانه‌ها در حالت کلی به دو دسته آلی و معدنی تقسیم می‌شوند. رنگدانه‌های مصرفی در بتن بیشترمعدنی بوده و از رنگدانه‌های آلی به دلیل عدم سازگاری با ساختار قلیایی سیمان به شکلی محدود و اغلب همراه با مواد پابدارکننده استفاده می‌شود [۱۲ و ۱۳]. میزان مجاز مصرف رنگدانه‌های معدنی و آلی در طرح مخلوط ملات یا بتن، به ترتیب ۱۰ و ۲ درصد جرمی از سیمان می‌باشد [۱۴ و ۱۵].

مهم‌ترین نکته در کاربرد رنگدانه در ملات خودتراکم، جلوگیری از افت خواص مکانیکی ضمن دست‌یابی به رنگ مودرنظر است. لازم به ذکر است که رنگ ایجاد شده در ملات، به کمک مختصات رنگ‌سنجی نظیر CIELAB و CIELCh قابل اندازه‌گیری است. بر این اساس، با عددی کردن مفهوم رنگ، امکان تفسیرهای متعدد از یک رنگ خاص به صفر می‌رسد [۱۶ و ۱۷]. اگر مقدار رنگدانه موجود در طرح مخلوط بیش از حد باشد، کاهش سرعت هیدراتاسیون منجر به تضعیف استحکام ماتریس سیمانی می‌شود [۱۸ و ۱۹].

به منظور حصول برخی از رنگ‌های خاص، از ترکیب رنگدانه‌ها نیز استفاده می‌شود [۱۴]. رنگدانه حاصل از ترکیب رنگدانه‌های آلی و معدنی جزیی از این دسته می‌باشد که تحقیقات بسیار اندکی پیرامون کاربرد آن‌ها در ملات خودتراکم انجام شده است. از آنجا که رنگدانه‌های آلی منجر به افت خواص مکانیکی ملات و بتن می‌شوند، مقدار مصرف رنگدانه‌های ترکیبی در ملات خودتراکم بایستی کنترل شود.

یکی از راه‌های بهبود کیفی ملات خودتراکم، استفاده از ترکیبات پودری موسوم به فیلر در طرح مخلوط است. ترکیباتی نظیر پودر سنگ آهک، خاکستر آتشفشان و سرباره بسته به ویژگی‌های ساختاری و خواص مورد انتظار از ملات مربوطه، قابل استفاده می‌باشند [۲۰-۲۲].

در تحقیقات پیشین بیان شده است که رنگدانه‌های معدنی می‌توانند به عنوان فیلر رنگی در طرح مخلوط بتن خودتراکم عمل کنند [۲۳]. رفتار پرکنندگی رنگدانه ترکیبی و ارتباط آن با تغییر جنس فیلر، نیازمند مطالعه بیشتری بر ویژگی‌های ملات خودتراکم رنگی است.

در این پژوهش، رفتار ملات خودتراکم در حضور رنگدانه ترکیبی از حیث رنگ ظاهری و خواص مکانیکی بررسی شده است. همچنین به منظور تحقیق پیرامون خاصیت پرکنندگی رنگدانه، تأثیر جای‌گزینی آن با یک نوع فیلر سیلیسی با دانه‌بندی مشابه بر ویژگی‌های مکانیکی و رنگ ملات خودتراکم بررسی شده است. آزمایشات در دو سن ۷ و ۲۸ روز از عمر ملات و با تمرکز بر تعیین

www.SID.ir

Archive of SID

رنگ ظاهری، مقاومت و طاقت فشاری و مقاومت و طاقت خمشی صورت گرفته است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مواد مصرفی

۲-۱-۱- سیمان

در این پژوهش از سیمان پرتلند سفید با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گزارش شده در جدول‌های (۱) و (۲) مطابق با استاندارد ASTM C150-12 استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی سیمان سفید مصرفی

درجه سفیدی		> ۸۸
نرمی (m^2/kg)		۳۰۰
زمان گیرش (min)	اولیه	۱۴۰
	نهایی	۲۰۰
مقاومت فشاری (kg/cm^2)	۳ روزه	۲۳۰
	۷ روزه	۳۴۰
	۲۸ روزه	۴۸۰

جدول ۲- مشخصات شیمیایی سیمان سفید مصرفی

مشخصات شیمیایی (٪ وزنی)	مشخصه سیمان سفید
مقدار اکسید سیلیسیم (SiO_2)	۲۳/۴۰
مقدار اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)	۴/۶۵
مقدار اکسید آهن (Fe_2O_3)	۰/۴۴
مقدار اکسید کلسیم (CaO)	۶۵/۳۰
مقدار اکسید منیزیم (MgO)	۱/۲۰
مقدار تری اکسید گوگرد (SO_3)	۲/۱۰
مقدار اکسید سدیم (Na_2O)	۰/۱۵
مقدار اکسید پتاسیم (K_2O)	۰/۴۵
باقی‌مانده نامحلول	۰/۷
افت در اثر حرارت	< ۲/۸

۲-۱-۲- ماسه

ماسه سیلیسی با دانه‌بندی کمتر از ۲ mm مطابق با جدول (۳) و بنا بر آیین‌نامه ASTM C33-13 به عنوان سنگدانه ریز در طرح مخلوط به کار گرفته شد.

جدول ۳- دانه‌بندی ماسه مصرفی

نمره الک	قطر روزنه الک (µm)	درصد عبوری
۸	۲۳۶۰	۱۰۰
۱۶	۱۱۸۰	۵۰/۱۷
۳۰	۶۰۰	۴۰/۹۱
۵۰	۳۰۰	۲۵/۵۲
۱۰۰	۱۵۰	۹/۸۹

۲-۱-۳- فیلر

از پودر سنگ آهک با دانه‌بندی ذکر شده در جدول (۴) به منظور ارتقاء خواص ملات خودتراکم استفاده گردید.

جدول ۴- توزیع دانه‌بندی پودر سنگ آهک

نمره الک	قطر روزنه الک (µm)	درصد عبوری
۵۰	۳۰۰	۹۹/۹۸
۷۰	۲۱۰	۹۹/۸۴
۱۰۰	۱۵۰	۹۹/۶۲
۱۲۰	۱۲۵	۹۱/۴۷
۲۰۰	۷۵	۴۸/۹۳
۲۳۰	۶۳	۲۱/۸۹
۴۰۰	۳۷	۱/۲۲

۲-۱-۴- افزودنی شیمیایی

از افزودنی فوق‌روان‌کننده بر پایه پلی‌کربوکسیلات با چگالی g/cm^3 ۱/۱۴ مطابق با استاندارد ASTM C494 (نوع F) استفاده شد.

۲-۱-۵- رنگدانه

رنگدانه سبز به صورت ترکیبی از رنگدانه آلی سیانین و رنگدانه معدنی اکسید آهن (Fe_3O_4) به منظور رنگ بخشیدن به ملات خودتراکم مورد توجه قرار گرفت. چگالی رنگدانه مصرفی g/cm^3 ۵ و ذرات آن در محدوده ۴۵-۰ میکرون بوده است.

۲-۱-۶- فیلر سیلیسی

در بخشی از پژوهش حاضر، به منظور بررسی اثر پرکنندگی رنگدانه، جای‌گزینی آن با فیلر سیلیسی با محدوده دانه‌بندی مشابه و از جنس ماسه مصرفی در طرح مخلوط استفاده گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲- طرح مخلوط

ملات خودتراکم شاهد با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و عیار kg/m^3 ۳۴۰ تهیه گردید. کاربرد رنگدانه در سه درصد ۲، ۵ و ۱۰ و به عنوان جای‌گزین بخشی از فیلر آهکی انجام گرفت. استفاده از فیلر سیلیسی نیز در دو نسبت ۲ و ۵٪ مدنظر واقع شد. تمامی نمونه‌ها پس از ساخت و عمل‌آوری تحت پوشش پلی‌اتیلنی، تا ۷ و ۲۸ روز جهت انجام آزمون‌های مربوطه در هوای محیط نگهداری شدند. مشخصات نمونه‌های مذکور در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۵- مشخصات نمونه‌های ساخته شده

کد نمونه	رنگدانه/فیلر		مواد موجود در مخلوط سیمانی (kg/m^3)				
	نوع	مقدار (kg/m^3)	سیمان	آب	ماسه	فیلر آهکی	فوق‌روان‌کننده
C	–	–	۳۴۰	۱۷۰	۸۰۰	۲۷۲/۰	۴/۵
GM-2	سبز ترکیبی	۶/۵	۳۴۰	۱۷۰	۸۰۰	۲۶۵/۲	۴/۵
GM-5		۱۷/۰	۳۴۰	۱۷۰	۸۰۰	۲۵۵/۰	۴/۵
GM-10		۳۴/۰	۳۴۰	۱۷۰	۸۰۰	۲۳۸/۰	۴/۵
M-Si-2	فیلر سیلیسی	۶/۵	۳۴۰	۱۷۰	۸۰۰	۲۶۵/۲	۴/۵
M-Si-5		۱۷/۰	۳۴۰	۱۷۰	۸۰۰	۲۵۵/۰	۴/۵

۲-۳- آزمایشات انجام شده

به منظور بررسی رنگ ظاهری، ملات‌های خودتراکم تهیه شده به کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر مورد آزمایش واقع شدند. داده‌های حاصل از سنجش رنگ بر اساس مختصات رنگ‌سنجی CIELCH (شکل (۱)) بر اساس سه پارامتر روشنایی (L*)، خلوص (C*) و فام (h°) بیان گردید. پارامتر L* نشانگر میزان روشنایی بوده و از سفید تا مشکی در محدوده صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند. پارامتر C* مشخص کننده فاصله خلوص است و میزان دور بودن از یک خاکستری با همان میزان روشنایی را نشان می دهد. خلوص با برداری از مرکز مختصات به سمت محیط نشان داده می‌شود. فام به کمک زاویه‌ای از صفر تا ۳۶۰ درجه نشان داده شده و رنگ‌های قرمز، زرد، سبز و آبی در سیستم رنگ‌سنجی CIELAB به ترتیب در زوایای صفر، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه به صورت a+، b+، a- و b- نشان داده می‌شوند[۶]. محدوده مشخص برای تفکیک رنگ‌های فوق، به شرح جدول (۶) می‌باشد.

جدول ۶- محدوده تغییرات زاویه فام با توجه به رنگ [۲۴]

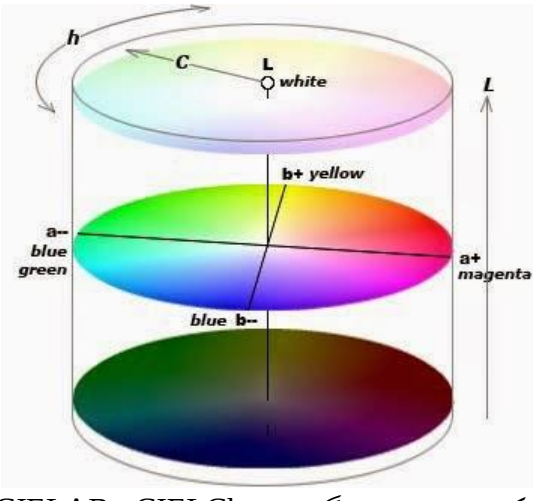
رنگ	محدوده زاویه فام (درجه)
قرمز	۱۰-۷۰
زرد	۷۰-۱۲۰
سبز	۱۲۰-۱۸۰
فیروزه‌ای	۱۸۰-۲۵۰
آبی	۲۵۰-۳۲۰
بنفش	۳۲۰-۱۰

به منظور تشخیص صحت نتایج، به پارامتر ΔE^* با معادله (۱) رجوع شد که نشانگر میزان تفاوت فضایی رنگ بین نقاط مورد آزمایش و در نهایت آزمونه‌های مختلف است. مطابق با جدول (۷) و بنا بر معادله (۱)، مقادیر ΔE^* کمتر از ۳ نشان از تفاوت کم در رنگ داشته و مقادیر بیش از آن قابل قبول نمی‌باشد [۶].

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (۱)$$

جدول ۷- تفسیر تغییرات رنگ با توجه به پارامتر ΔE^*

محدوده تغییرات ΔE^*	تفسیر تفاوت رنگ
۰/۵ – ۱/۵	ناچیز
۱/۵ – ۳/۰	قابل رؤیت
۳/۰ – ۶/۰	بسیار واضح
۶/۰ – ۱۲/۰	خیلی زیاد



شکل ۱- مختصات رنگ‌سنجی CIELCh و CIELAB

www.SID.ir

Archive of SID

مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی شکل ساخته شده در ابعاد ۵۰×۵۰×۵۰ mm، پس از گذشت ۷ و ۲۸ روز از سن ملات توسط جک فشاری و مطابق با استاندارد ASTM C109/C109M-13 اندازه‌گیری شد. به منظور مشاهده رفتار ملات تحت فشار، آزمونه‌های استوانه‌ای با قطر ۱۰ mm و طول ۲۰ mm در سن ۲۸ روز توسط دستگاه یونیورسال سنتام ۱۵۰ مورد آزمایش فشاری قرار گرفت. بدین‌ترتیب مقاومت فشاری استوانه‌ای و طاقت فشاری برای ملات‌های خودتراکم رنگی تهیه شده گزارش گردید.

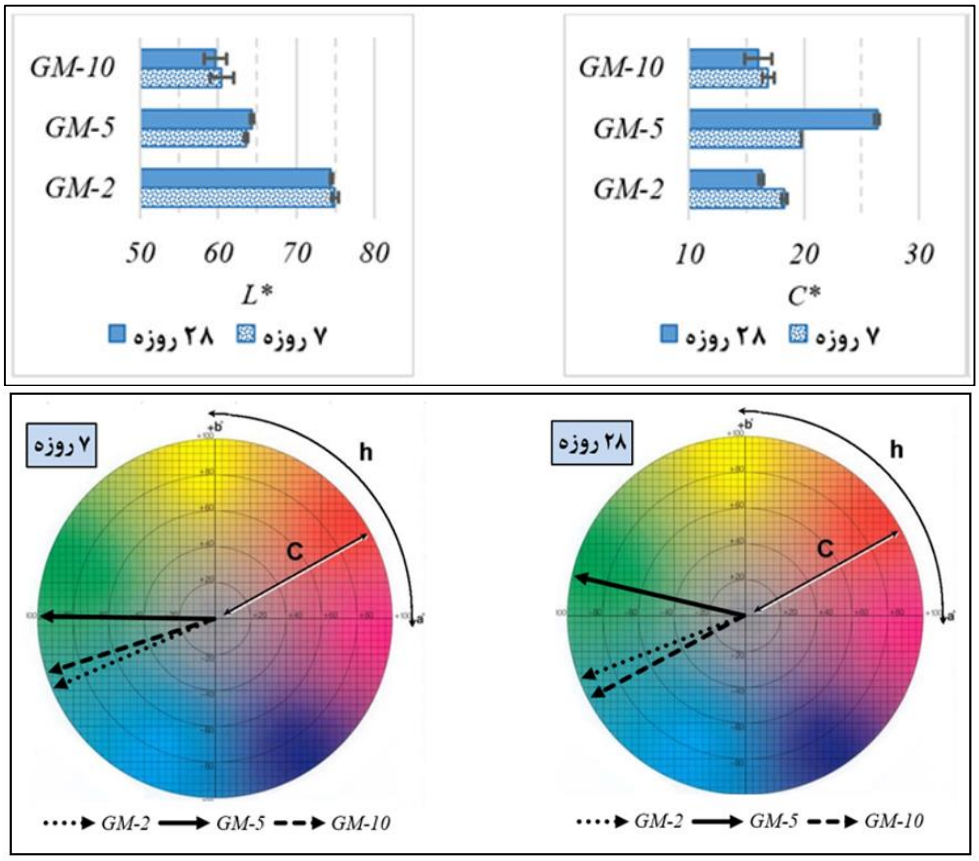
جهت بررسی مقاومت خمشی، از قالب‌های منشوری ۱۶۰×۴۰×۴۰ mm جهت آماده‌سازی نمونه‌ها استفاده گردید. آزمونه‌های مربوطه در سن ۷ و ۲۸ روزه، توسط دستگاه یونیورسال و بر اساس آزمایش خمش سه‌نقطه‌ای (ASTM C293/C293M-10) مورد آزمایش واقع شد. مقادیر طاقت خمشی نیز از محاسبه سطح زیر نمودار تنش- جابجایی محاسبه گشته و گزارش شد.

۳- نتایج و تفسیر آنها

۳-۱- بررسی اثر کاربرد رنگدانه ترکیبی

۳-۱- ۱- نتایج حاصل از رنگ‌سنجی

پارامترهای حاصل از آزمایش رنگ بر روی نمونه‌های تهیه شده در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است ملات خودتراکم حاوی ۲٪ از رنگدانه سبز در سن ۲۸ روز دارای روشنایی، خلوص و فام به ترتیب برابر با ۷۴/۵، ۱۶/۳ و ۲۰۱/۴° می‌باشد. با افزایش مقدار مصرف رنگدانه به ۵٪ به شدت از روشنایی کاسته شده و بر خلوص افزوده شده است. لازم به ذکر است تغییر زاویه فام، رنگ ظاهری ملات حاضر را به سمت ناحیه سبزرنگ در مختصات رنگ‌سنجی سوق داده است. به عبارت دیگر، افزایش مقدار رنگدانه موجود در طرح مخلوط از ۲ به ۵٪، رنگ ملات را از فام سبز-آبی به سمت سبز تغییر داده است. در صورت مصرف ۱۰٪ از رنگدانه در ملات خودتراکم، فام دوباره به سمت ناحیه سبز-آبی متمایل شده و نسبت به نمونه GM-2 به شدت از روشنایی آن کاسته شده است.



زاویه فام ($h°$)

شکل ۲- پارامترهای رنگ‌سنجی ملات خودتراکم دارای رنگدانه

www.SID.ir

Archive of SID

از آنجا که تفاوت خلوص رنگ بین این دو نمونه کم است، می‌توان گفت که با کاهش روشنایی، نمونه GM-10 با طیف قوی‌تری از رنگ آبی ظاهر شده است. سازگاری و تشابه ساختار بخش آلی رنگدانه با افزودنی شیمیایی فوق‌روان‌کننده، منجر به تجمع جزیی از این ترکیبات در نواحی مجاور سطح فوقانی نمونه GM-10 شده که در نتیجه آن بر روشنایی رنگ در این نواحی افزوده شده است. شکل (۳) نشان‌گر این رخداد می‌باشد. در نتیجه‌ی این اتفاق، جهت صحت مقایسه، بخش پایینی در سطح جانبی نمونه، ملاک قرار گرفته است. لازم به ذکر است با توجه به نتایج آزمایش رنگ بر روی بخش بالایی سطوح جانبی، به شرح جدول (۸)، تفاوت در پارامترها نشانگر اشباعیت بیشتر در رنگ آبی بروز کرده در نمونه GM-10 نسبت به GM-2 می‌باشد. همچنین واضح است که زاویه فام برخلاف نمونه GM-5 در محدوده آبی است. بنابراین به دلیل نوسانات رخ داده در GM-10 که در شکل (۳) به وضوح دیده می شود، استفاده از رنگدانه ترکیبی سیانین و اکسید آهن در مقادیر بیشتر از ۵٪، توصیه نمی‌شود زیرا نه‌تنها میزان رنگدانه مازاد است بلکه احتمال بروز نوسان در رنگ نهایی بالا می‌رود. مقادیر ΔE^* به دست آمده از محاسبات بین هر دو آزمونه از هر سری نمونه به منظور اطمینان از نتایج حاصل شده، در جدول (۹) آورده شده است که طبق آن غیر قابل قبول بودن استفاده ۱۰ درصدی از رنگدانه قابل مشاهده و اثبات است.

۳-۱- ۲- خواص مکانیکی فشاری

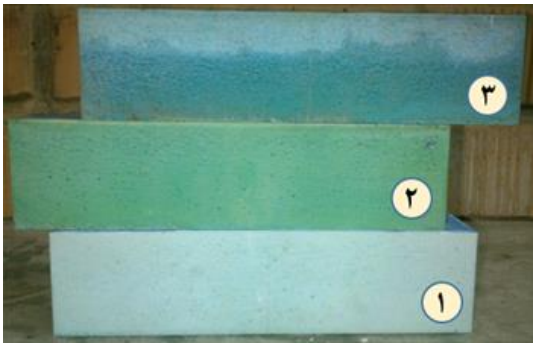
ملات خودتراکم شاهد در سن ۷ و ۲۸ روز به ترتیب مقاومت فشاری برابر با ۴۰/۱ و ۴۳/۶ مگاپاسکال کسب نموده و آزمونه‌های استوانه‌ای پس از ۲۸ روز عمل‌آوری، مقاومت فشاری ۲۰/۹ MPa و طاقت فشاری $6/8\ kJ/m^2$ از خود نشان دادند.

جدول ۸- نتایج رنگ‌سنجی بخش بالایی سطوح جانبی نمونه GM-10

عمر نمونه	پارامترها		
	L*	C*	h°
۷ روزه	۶۵/۸۹	۱۹/۵۸	۲۱۱/۳۸
۲۸ روزه	۶۴/۹۳	۱۷/۲۸	۲۱۱/۷۵

جدول (۹)- مقادیر ΔE^* برای نمونه‌های آزمایش شده

	۷ روزه			۲۸ روزه		
شماره آزمونه	۱و۲	۲و۳	۱و۳	۱و۲	۲و۳	۱و۳
GM-2	۱/۰۲	۱/۲۸	۱/۷۶	۱/۰۷	۱/۳۶	۱/۵۷
GM-5	۰/۸۱	۱/۳۱	۱/۵۲	۱/۶۱	۱/۴۱	۱/۳۴
GM-10	۲/۸۵	۵/۲۵	۳/۹۶	۶/۸۱	۳/۰۲	۶/۴۸
GM-10 (بخش بالایی)	۳/۲۶	۴/۱۹	۱/۲۰	۳/۶۲	۳/۸۳	۴/۸۹



شکل ۳- ملات خودتراکم رنگی، ۱: GM-2، ۲: GM-5 و ۳: GM-10

مطابق با نمودار شکل (۴)، حضور ۲٪ از رنگدانه در ملات خودتراکم گیرش در هفته اول از سن ملات را اندکی به تأخیر انداخته است. با افزایش مقدار رنگدانه به ۵ و ۱۰٪، میزان این تأخیر بیشتر شده است. از آنجا که بخشی از رنگدانه مورد نظر را ترکیب آلی سیانین تشکیل می‌دهد، کند شدن فرایندهای هیدراتاسیون در مقادیر مصرف زیاد رنگدانه، اجتناب‌ناپذیر است [۶].

اگرچه در نمونه GM-2 مقاومت فشاری ۷ روزه اندکی کاهش داشته اما پس از گذشت ۲۸ روز از سن ملات، به دلیل جاگیری مناسب ذرات ریزدانه رنگدانه در ماتریس سیمان، مقدار این پارامتر از مقاومت فشاری ملات خودتراکم شاهد بیشتر شده است. به عبارت دیگر، ذرات ریزدانه بی‌اثر، قادر به افزایش استحکام ماتریس سیمانی به دلیل توانایی در متراکم‌سازی می‌باشند [۴]. بنابراین رنگدانه سبز در میزان ۲٪ به‌عنوان یک فیلر رنگی ریزدانه عمل کرده و ضمن رنگ بخشیدن به ملات خودتراکم، موجب ارتقاء مقاومت فشاری آن شده است.

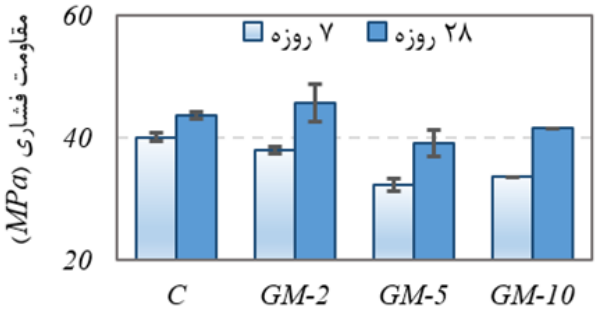
چنان‌که در شکل مشخص است، با افزایش درصد مصرف رنگدانه از ۲ به ۵ و ۱۰، مقاومت فشاری در ۲۸ روز نسبت به ملات

www.SID.ir

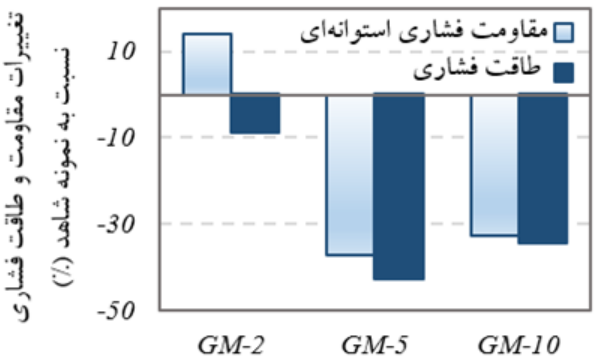
Archive of SID

خودتراکم شاهد به ترتیب ۱۰/۲ و ۴/۷ درصد کاهش یافته است. مقدار افت این خاصیت نسبت به نمونه GM-2 به ترتیب ۱۴/۵ و ۹/۳ درصد می‌باشد. از آنجا که میزان کاهش مقاومت فشاری ملات خودتراکم در صورت کاربرد رنگدانه باید کمتر از ۸٪ باشد، حضور رنگدانه مورد نظر در طرح مخلوط، در درصدهای ۲ و ۱۰ از حیث مقاومت فشاری آزمونه‌های مکعبی بلامانع است.

کاربرد ۲٪ از رنگدانه در ملات خودتراکم، مطابق با شکل (۵)، مقاومت فشاری آزمونه‌های استوانه‌ای را پس از گذشت ۲۸ روز از سن ملات افزایش داده است که نشان از عملکرد صحیح و مؤثر آن در حکم فیلر می‌باشد. این در حالی است که طاقت فشاری نمونه در مقایسه با ملات خودتراکم شاهد، ۸/۹ درصد افت داشته است. این رخداد نشان از افزایش تردی در نمونه GM-2 می‌باشد. کاربرد ۵ و ۱۰ درصد از رنگدانه، مقاومت و طاقت فشاری را در سن ۲۸ روز به شدت نسبت به ملات شاهد کاهش داده است. تفاوت بیشتر بین مقادیر مقاومت فشاری نسبت به ملات خودتراکم شاهد، در آزمونه‌های استوانه‌ای نسبت به مکعبی را می‌توان ناشی از ابعاد کوچک استوانه‌های ساخته شده از ملات مربوطه دانست.



شکل ۴- مقاومت فشاری آزمونه‌های مکعبی ملات خودتراکم دارای رنگدانه



شکل ۵- تغییرات مقاومت و طاقت فشاری آزمونه‌های استوانه‌ای ملات خودتراکم دارای رنگدانه نسبت به شاهد

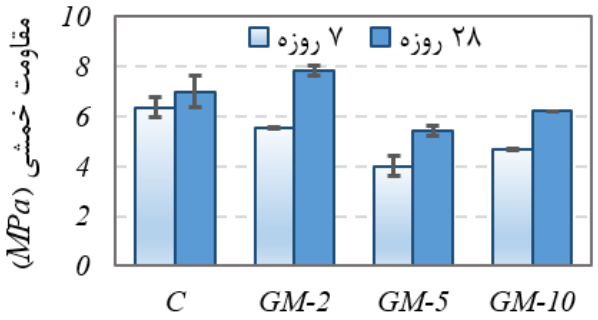
۳-۱-۳- خواص مکانیکی خمشی

نمونه شاهد در سن ۷ و ۲۸ روزه مقاومت خمشی به ترتیب برابر با ۶/۴ MPa و ۷ داشته و طاقت خمشی برابر با ۰/۶ kJ/m^2 و ۰/۷ از خود نشان داد.

مقاومت خمشی حاصل از آزمایش انجام شده بر روی ملات‌های خودتراکم رنگی در شکل (۶) نشان داده شده است. مشابه با آنچه در بحث مقاومت فشاری آزمونه‌های مکعبی شرح داده شد، حضور ۲٪ از رنگدانه موجب افت مقاومت خمشی ۷ روزه و در نهایت افزایش آن در ۲۸ روز، نسبت به نمونه شاهد شده است. در مقادیر ۵ و ۱۰٪ نیز افت مقاومت خمشی نسبت به ملات خودتراکم شاهد و نمونه GM-2 مشاهده می‌شود.

کاهش سرعت گیرش در هفته نخست از سن ملات GM-2 بنابر افت طاقت خمشی (شکل (۷)) نیز قابل مشاهده است. افزایش مقدار مصرف رنگدانه به ۵ و ۱۰ درصد، موجب افت شدید در طاقت خمشی شده است. در واقع به دلیل افزایش همزمان جزء آلی رنگدانه در مخلوط، فرایندهای هیدراتاسیون کند شده و ملات خودتراکم رنگی تولید شده خاصیت شکل‌پذیر یافته است. بنا بر این ویژگی، تحمل آزمونه تحت بار کاهش یافته و ضمن افت مقاومت خمشی، سریع‌تر از نمونه GM-2 و شاهد تخریب شده است. بدین‌ترتیب، از حیث مقاومت و طاقت خمشی نیز اثبات گردید که ۲٪ از رنگدانه ترکیبی به عنوان فیلر رنگی موجب ارتقاء خواص مکانیکی ملات خودتراکم شده است.

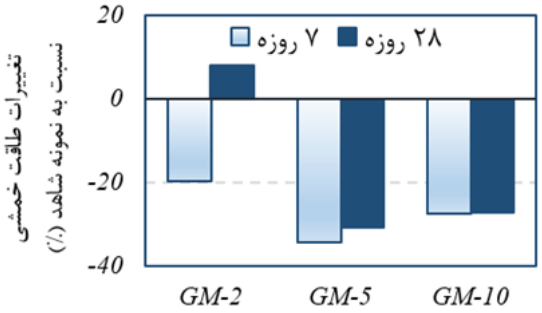
در حالت کلی با توجه به نتایج آزمایشات بر روی خواص مکانیکی و رنگ، می‌توان گفت رنگدانه ترکیبی در مقادیر کمتر از ۵ درصد باید مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۶- مقاومت خمشی ملات خودتراکم دارای رنگدانه

www.SID.ir

Archive of SID



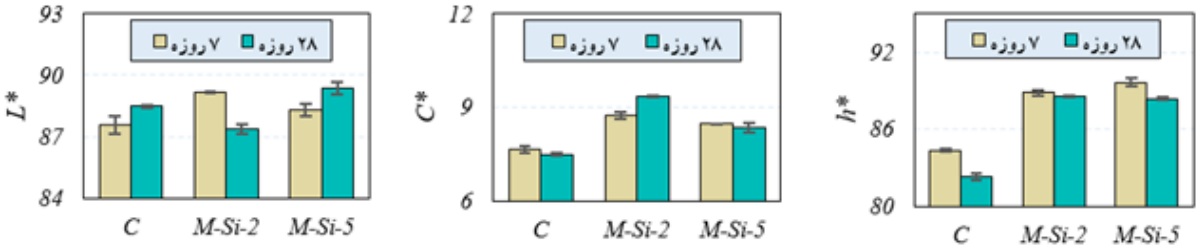
شکل ۷- تغییرات طاقت خمشی ملات خودتراکم دارای رنگدانه نسبت به شاهد

منجر به بروز رنگی متمایل به سفید- کرم در نمونه شاهد ایجاد شده است. جای‌گزینی ۲٪ از رنگدانه با فیلر سیلیسی، در هفته نخست از سن ملات روشنایی، خلوص و فام را نسبت به ملات خودتراکم شاهد افزایش داده است. پس از ۲۸ روز ضمن حفظ فاصله عددی بین خلوص و فام رنگی، از روشنایی کاسته شده است. بدین‌ترتیب با توجه به مختصات CIELCh، نمونه M-Si-2 با فام زردرنگ و خلوص پایین، در نهایت به رنگی متمایل به کرم ظاهر می‌شود. با افزایش مقدار فیلر سیلیسی به ۵٪، در سن ۷ روزه از روشنایی و خلوص نسبت به نمونه M-Si-2 کاسته شده و مقدار فام افزایش یافته است. پس از گذشت ۲۸ روز از عمر ملات M-Si-5، در فامی نسبتاً مشابه با نمونه M-Si-2، روشنایی بیشتر و خلوص کمتری حاصل شده است. بنابراین، رنگ کرم با روشنایی بالاتری حاصل شده است که ناشی از توانایی انعکاس نور توسط ذرات سیلیسی می‌باشد.

۳-۲- بررسی اثر جایگزینی رنگدانه با فیلر سیلیسی

۳-۲-۱- نتایج حاصل از رنگ‌سنجی

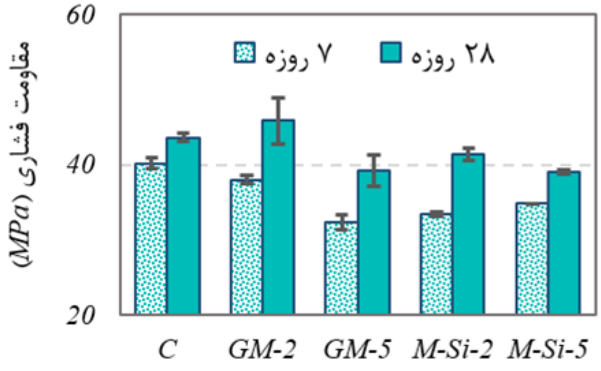
فیلر سیلیسی به دلیل کرم‌رنگ بودن، از حیث رنگ با نمونه شاهد قابل مقایسه می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۸) نشان داده شده است، فام متمایل به زرد و خلوص بسیار کم همراه با روشنایی زیاد



شکل ۸- پارامترهای رنگ‌سنجی ملات خودتراکم دارای فیلر سیلیسی و نمونه شاهد

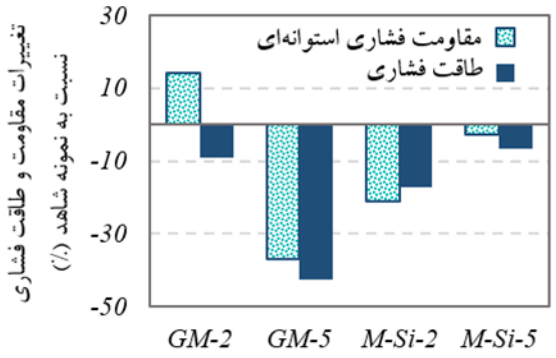
۳-۲-۲- خواص مکانیکی فشاری

مطابق با شکل (۹) جای‌گزینی ۲ و ۵ درصد از رنگدانه با فیلر سیلیسی در سنین ۷ و ۲۸ روزه منجر به کاهش مقاومت فشاری نسبت به ملات خودتراکم شاهد و دارای رنگدانه سبز شده است.



شکل ۹- مقاومت فشاری آزمونه‌های مکعبی ملات خودتراکم دارای فیلر سیلیسی

این افت استحکام با توجه به مقاومت و طاقت فشاری آزمونه‌های استوانه‌ای که در شکل (۱۰) قابل مشاهده است نیز تأیید می‌شود. از این منظر بار دیگر اثبات می‌گردد که رنگدانه به شکلی مؤثر جایگزین فیلر شده و ماتریس سیمانی را مستحکم نموده است.



شکل ۱۰- تغییرات مقاومت و طاقت فشاری آزمونه‌های استوانه‌ای ملات خودتراکم دارای رنگدانه نسبت به شاهد

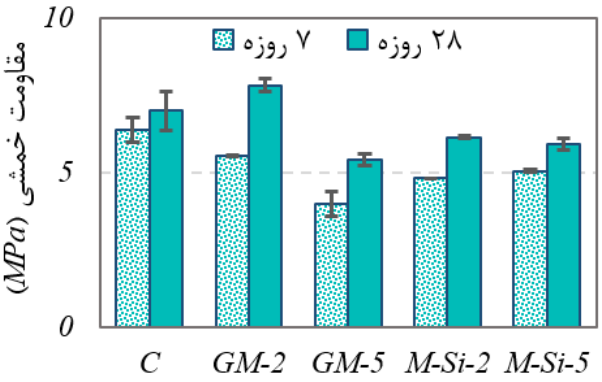
www.SID.ir

Archive of SID

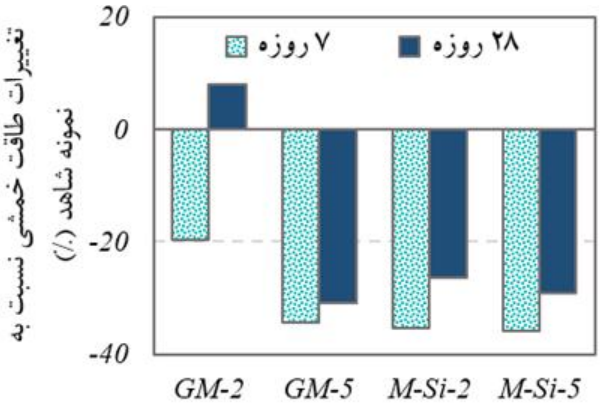
۳-۲-۳- خواص مکانیکی خمشی

با توجه به شکل (۱۱)، مقاومت خمشی نمونه‌های دارای فیلر سیلیسی در سنین مورد آزمایش از ملات شاهد و نمونه GM-2 کمتر بوده اما در مقایسه با نمونه GM-5 بهبود یافته است. این رخداد حاکی از افزایش سختی و مقاومت در برابر خمش در حضور ذرات سیلیسی است. بیشتر بودن طاقت خمشی نمونه‌های مذکور، نسبت به GM-5 در شکل (۱۲) نیز این اتفاق را تأیید می‌کند.

در حالت کلی حضور سیلیس در ماتریس سیمانی قادر به پر کردن کارآمد حفرات نبوده و خواص مکانیکی به تبع آن دچار افت شده است. بنابراین می‌توان گفت اگرچه محدوده دانه‌بندی رنگدانه و فیلر سیلیسی یکنواخت انتخاب شده است، توزیع اندازه ذرات در رنگدانه در محدوده کمتر از ۱۰ µm متمرکز است که در اصل توده‌هایی از ذراتی در ابعاد ۰/۱ µm می‌باشد. این ذرات به طور مؤثر قادر به ایفای نقش به عنوان فیلر در ملات خودتراکم می‌باشند [۲۵].



شکل ۱۱- مقاومت خمشی ملات خودتراکم دارای فیلر سیلیسی



شکل ۱۲- تغییرات طاقت خمشی ملات خودتراکم دارای فیلر سیلیسی نسبت به شاهد

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، رفتار ملات خودتراکم رنگی تهیه شده از سیمان سفید و رنگدانه ترکیبی سبز مورد بررسی قرار گرفته و خواص مکانیکی و رنگ ظاهری آن مورد آزمون واقع گردید. همچنین اثر پرکنندگی آن با جای‌گزینی رنگدانه با فیلر سیلیسی بررسی گردید. نتایج به دست آمده از بررسی‌های انجام شده را می‌توان به شکل زیر جمع‌بندی نمود:

۱- به منظور دست‌یابی به رنگی یکنواخت در ملات خودتراکم رنگی تولید شده از رنگدانه سبز ترکیبی، استفاده از این رنگدانه تا مقدار ۵ درصد جرمی از سیمان پیشنهاد می‌گردد.

۲- جای‌گزینی مقادیر کمتر از ۵٪ از فیلر آهکی در ملات خودتراکم با رنگدانه سبز ترکیبی، ضمن ایجاد رنگ در ملات منجر به تقویت ماتریس سیمانی از حیث مقاومت فشاری و خمشی می‌شود.

۳- رنگدانه ترکیبی به طور مؤثر در نقش فیلر رنگی در ساختار ملات خودتراکم حاضر می‌شود. مقدار این فیلر رنگی در کیفیت خواص مکانیکی مؤثر است.

٥- مراجع

[1] Ferraris CF, Brower L, Ozyildirim C, Daczko J. "Workability of self-compacting concrete", Proceedings of the Int'l symposium on High Performance Concrete, Florida, p. 398-407, 2000.

[2] Okamura H, Ouchi M. "Self-Compacting Concrete", Journal of Advanced Concrete Technology. vol. 1, p. 5-15, 2003.

[3] Figueiras H, Nunes S, Coutinho JS, Andrade C. "Linking fresh and durability properties of paste to scc mortar", cement and concrete composites. vol. 45, p. 209-226, 2014.

[4] Elyamany HE, Abd Elmoaty AEM, Mohamed B. "Effect of filler types on physical, mechaical and microstructure of self compacting concrete and flow-able concrete", Alexandria Engineering Journal. vol. 53(2), p. 295-307, 2014.

[5] Turk K. "Viscosity and hardened properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and silica fume", Construction and Building Materials. vol. 37, p. 326-334, 2012.

[6] Lopez A, Tobes JM, Giaccio G, Zerbino R. "Advantages of mortar-based design for coloured

www.SID.ir

Archive of SID

self-compacting concrete", Cement and concrete Composites. vol. 31, p. 754-761, 2009.

[7] Matsui T, Isoai M, Fujii Y, Imai T. "Method for decoloring colored concrete", United States Pattent Office, US5993536, p. 1-8, 1999.

[8] Jungk AE. "Process for dyeing concrete", United States Patent Office, US4946505, p. 1-5, 1990.

[9] Ares MCZ, Gonzalez EV, Gomez AIT, Fernandez JM. "An easy method to estimate the concentration of mineral pigments in colored mortars", Dyes and Pigments. vol. 101, p. 329-337, 2014.

[10] Kurz GE, Jungk AE. "The use of colored concrete in creative design", Proceedings of the 3rd Int'l Conference on Concrete Block Paving, Pavitalia, Rome, p. 37– 40, 1988.

[۱۱] ا. صالح و همکاران، ((تأثیر رنگدانه‌های پودری بر خصوصیات رفتارشناسی، مکانیکی، دوام و زیبایی‌شناسی بتن‌های رنگی))، سومین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۳۹۰.

[12] Perry CW, Dulaney DC, Moore J. "Organic pigment dispersion for coloring building materials", United States Pattent Office, US6786965 B2, p. 1-4, 2004.

[13] Drechsler A, Neupert D, Werner S. "Method of producing colored concrete bodies such as colored concrete roofing tiles", United States Pattent Office, US6090329, p. 1-6, 2000.

[14] British European Standard, BS EN 12878, "Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime – specification and methods of test", p. 1-32, 2005.

[15] American Society for Testing and Materials, ASTM C979/C979M, "Standard specification for pigments for integrally color concrete", p. 1-5, 2010.

[16] Bertolini L, Lollini F. "Effects of weathering on colour of concrete paving blocks", European Journal of Environmental and Civil Engineering. vol. 15(6), p.939-957, 2011.

[17] Buxbaum G, "Industrial inorganic pigments". Germany: WILEY-VCH, p. 1- 285, 1998.

[18] Amon FH. "Method of producing colored concrete", United States Patent Office, US1910419, p. 1-2, 1938.

[19] Tucker GR. "Colored Concrete", United States Patent Office, US1972207, p. 1-4, 1934.

[20] Nepomuceno M, Oliviera L, Lopes SMR. "Methodology for mix design of the mortar phase of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders", Construction and building materials. vol. 26, p. 317-326, 2012.

[21] Felekoglu B, Tosun K, Baradan B, Altun A, Uyulgan B. "The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars", Cement and Concrete Research. vol. 36, p. 1719-1726, 2006.

[22] Sahmaran M, Christianto HA, Yaman IO. "The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars", Cement and concrete composites. vol. 28, p. 432-440, 2006.

[23] Lee HS, Lee JY, Yu MY. "Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete interlocking blocks". Cement and Concrete Research. vol. 33, p. 1889-1896, 2003.

[24] Jackson Ch., "Pigmented blue inkjet ink color reproduction", United States Pattent Office, WO/2006/012143, p. 1-20, 2006.

[25] Veit AM, Konnecke E. "Suggestions for improving coloured concrete products (orig. title: Vorschläge zur Verbesserung farbiger Betonwaren), Concrete Precasting Plant and Technology. vol. 11, p. 1-9, 1994.

www.SID.ir

Archive of SID

Influence of Combinative Pigment and Siliceous Filler on Colorimetric and Mechanical Properties of Colored Self-compacting Mortars

Ladan Hatami
MSc, Chemical Engineering, Iran University of Science and Technology
Masoud Jamshidi*
Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Iran University of Science and Technology

Abstract

Colored self-compacting mortar (C-SCM) is a novel technology used in architectural construction, decoration and concrete rehabilitation. Obtaining an optimum mix design for C-SCM requires sufficient mechanical properties along with emergence of the desired colors. Therefore, it is important to define proper pigment content in the mixture. In addition, if pigment can act as a coloring filler, it will appropriately apply to SCM matrix. In this research, the effect of combinative (mixture of organic and inorganic) pigment on mechanical and colorimetric properties of SCM at pigment contents of 2, 5 and 10% were investigated. Furthermore, replacing pigment with siliceous filler was performed to study the filling ability of the pigment. Results indicated that the combinative pigment could efficiently function as coloring filler and contents of less than 5% led to superior colors and mechanical properties.

Keywords: Colored Self-Compacting Mortar (C-SCM), Combinative Pigment, siliceous filler, Colorimetric Properties, Mechanical Properties.

* Corresponding Author: mjamshidi@iust.ac.ir

www.SID.ir