

بررسی عملکرد مکانیکی و دوام ملات خود تراکم ساخته شده با پودر پوست تخم مرغ و میکروسیلیس

محمد رضا کوهی^۱، معصومه ابوالحسنی^۲، پیام حسینی^۳، هرمز فامیلی^۴

۱- کارشناس ارشد مهندسی راه و ترابری، موسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی گرمسار

۲- کارشناس ارشد مهندسی سازه، موسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی گرمسار

۳- دانشجوی دکتری مکانیک و مصالح، دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی

۴- ریاست موسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی گرمسار

Email: doth.mrk@gmail.com

چکیده

سالانه هزاران تن مواد پسماند وارد طبیعت می شود که به محیط زیست آسیب جدی وارد می کند و در همین راستا تحقیقات فراوانی به منظور بکارگیری این مواد در ساخت انواع بتن صورت پذیرفته است. در همین راستا و در پژوهش حاضر، با استفاده از پودر پوسته تخم مرغ در نقش پرکننده و به همراه پوزولان فعال میکروسیلیس ساخت ملات خود تراکم سیمانی صورت پذیرفت، که نتیجه آن هم از منظر کاهش مصرف سیمان و هم به لحاظ کاهش پسماند مورد توجه می باشد. در نتیجه این پژوهش به طور کلی می توان گفت که افزودن پودر پوسته تخم مرغ به ملات در سنن پایین کاهش مقاومت فشاری را در پی داشته است و با افزایش سن، نرخ کاهش مقاومت کم شده و تغییر چندانی در مقاومت فشاری مشاهده نشد و با افزودن میکروسیلیس مقاومت فشاری افزایش می یابد. اما در بخش دوامی می توان گفت تغییرات در کل به دو عامل رسانایی محلول حفره ای و ارتباط میان حفرات بستگی دارد. افزودن پوست تخم مرغ سبب کاهش عامل رسانایی محلول حفره ای می گردد اما در مجموع این ماده باعث کاهش دوام می شود و با افزودن میکروسیلیس شاهد افزایش دوام خواهیم بود که این ضعف را جبران می نماید.

کلمات کلیدی: ملات خود تراکم، پودر پوست تخم مرغ، میکروسیلیس، مقاومت، دوام.

۱. مقدمه

در دنیای امروز پیشرفت علم و صنایع مختلف، بهبود برخی خواص و افزایش سرعت و بهره وری آسان از مواد و مصالح را به همراه داشته که در پی آن ناخواسته آسیب هایی هم به محیط زیست وارد گردیده است. از این رو محققان به دنبال راهکاری هستند که علاوه بر بهبود خواص و کیفیت، آسیبی به محیط زیست وارد نکند. بر همین اساس از یک طرف جایگزینی سیمان با مصالح پسماند و از طرف دیگر تولید بتن های خودتراکم که از منظر سرعت بخشیدن به کار اجرا مزیت ایجاد می نمایند مورد توجه قرار گرفته است [1].

ملات خودتراکم (SCM)^۱ به عنوان پایه و اساس تعیین خواص کاربردی بتن خودتراکم استفاده می شود. در حقیقت تعیین خواص ملات خودتراکم بخش جدانشدنی از طراحی بتن خودتراکم مطرح می باشد. از طرفی ساخت ملات های خودتراکم با توجه به حجم کمتر ساخت

^۱ Self-Compacting Mortar

نسبت به بتن خودتراکم بسیار ساده تر بوده و امکان بررسی خواص آن نیز راحت تر می باشد. همچنین ملات های خودتراکم امکان استفاده در پروژه های تعمیراتی را دارا بوده و از این نظر مورد توجه قرار گرفته اند [1].

پوسته تخم مرغ به طور کلی به عنوان یک زائادات به دور ریخته می شود. مصرف سرانه این ماده در جهان ۱۸۱ عدد و در ایران ۱۹۱ عدد می باشد (۲). این ماده همچنین اگر برای مدت طولانی تری نگه داشته شود ایجاد آلرژی می کند. لذا دفع این پسماند امری دشوار می باشد که این موضوع به علت بوی نامطبوع ایجاد شده توسط آن خواهد بود. جزء اصلی در پوسته تخم مرغ، کربنات کلسیم است. این ماده در حدود ۹۵٪ از کلسیم کربنات ساخته شده است.

با توجه به مباحث مطرح گردیده در بالا، از آنجاکه بخش اصلی پوسته تخم مرغ از کربنات کلسیم تشکیل شده است، لذا قابلیت کاربرد آن به عنوان پرکننده در ساخت ملات های خودتراکم می تواند جالب توجه باشد. در همین راستا ملات های خودتراکم با بکارگیری پودر حاصل از پوسته تخم مرغ در ترکیب با پوزولان فعال میکروسیلیس ساخته شده و مورد آزمایش های مختلف مقاومتی و دوامی قرار گرفتند.

۲. برنامه آزمایشگاهی

۲-۱. مصالح

به منظور تهیه پودر پوسته تخم مرغ، ابتدا آن را به خوبی شستشو می دهیم و در صورت وجود هرگونه ناخالصی از قبیل پسماند آن قسمت را جدا نموده و سپس پوسته های تمیز و عاری از مواد زائد را داخل بشکه ای تمیز ریخته و بشکه را از آب پر می کنیم. پس از آن با همزن برقی مخلوط را آنقدر بهم می زنیم و تا پوسته داخلی آن جدا شده و همزمان آب دارای پوسته داخلی را تخلیه می کنیم تا پوست داخلی آن به همراه آب خارج شود (دقت شود چون پوست داخلی آن سبک تر از آب است روی آب می ماند و از این رو جدا کردن و دور ریختن آن دشوار نیست). این عملیات را آنقدر تکرار کرده که دیگر هیچ پوست داخلی باقی نماند و سپس مواد حاصل را در ظرفی قرار داده تا آب خود را از دست دهد و کمی خشک شود. در ادامه مواد را به آون انتقال داده و تحت دمای ۱۱۰-۱۰۰ درجه سانتی گراد به مدت بیست و چهار ساعت قرار می دهیم. پس از اتمام عملیات، مواد بدست آمده را به کمک بالمیل به پودر تبدیل می نماییم [3].

سیمان و میکرو سیلیس مصرفی به ترتیب از شرکت های سیمان مشهد و فروسیلیس سمنان تهیه گردیدند که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن ها در جدول ۱ آورده شده است. همچنین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی پودر پوسته تخم مرغ در جدول ۲ ارائه گردیده است.

در همین راستا شکل ۱-الف آنالیز آزمون پراش اشعه ایکس^۲ را به منظور تعیین فاز کریستالی اصلی در نمونه‌های پودر پوسته تخم مرغ مشخص می‌سازد. مطابق این شکل، همانگونه که از قبل پیش‌بینی می‌گردید، فاز اصلی موجود در نمونه پودر پوسته تخم مرغ کربنات کلسیم یا کلسیت است. از طرفی به منظور مقایسه ابعاد دانه ذرات پودرهای مورد استفاده، منحنی‌های دانه‌بندی سیمان سفید، میکروسیلیس و پودر پوسته تخم مرغ نیز در شکل ۱-ب نشان داده شده است.

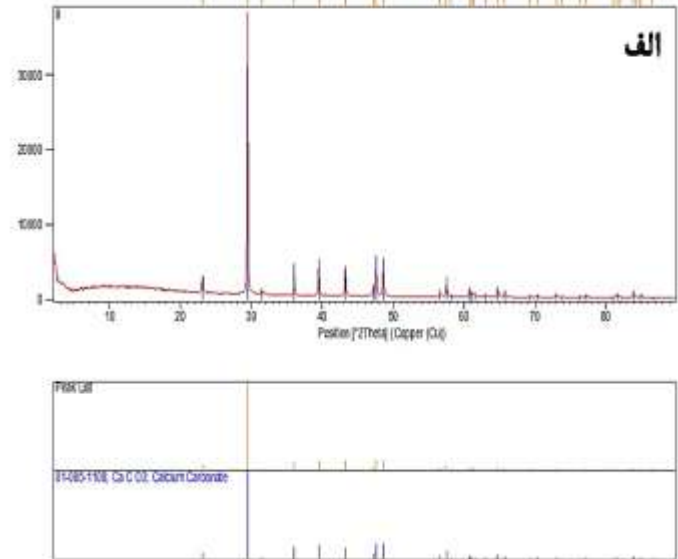
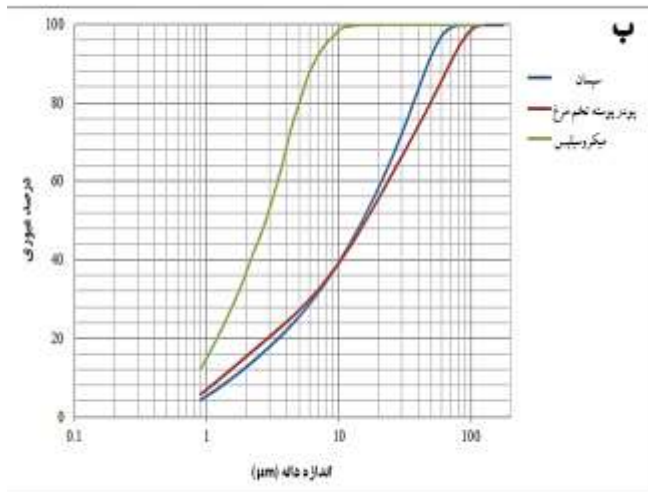
جدول ۱. خصوصیات شیمیایی و فیزیکی پودرها

آنالیز اکسیدی		
اکسید	سیمان سفید مشهد	میکروسیلیس
SiO ₂	۲۳/۱	۹۳/۸
CaO	۶۵/۲	-
Al ₂ O ₃	۴/۲	۱/۱
Fe ₂ O ₃	۰/۴	۰/۷
MgO	۵/۲	۱/۲
SO ₃	۲/۰	-
Na ₂ O	۰/۳	-
K ₂ O	۰/۴	-
خصوصیات فیزیکی		
نرمی (m ² /kg)	۳۸۵ (روش بلین)	۲۰،۰۰۰ (روش BET)
وزن مخصوص	۳/۱۵	۲/۲
زمان گیرش اولیه (دقیقه)	۱۳۵	-
زمان گیرش نهایی (دقیقه)	۱۸۰	-

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پودر پوسته تخم مرغ

خصوصیات شیمیایی	
مقدار (%)	جزء شیمیایی
۹۷/۳۰	CaCO ₃
۰/۰۷	کلراید
۰/۰۴	سولفات
۲/۴	مواد آلی
ویژگی‌های فیزیکی	
۳۶۵	نرمی (m ² /kg)
۲/۴	وزن مخصوص

^۲X-Ray Diffraction (XRD)



شکل ۱. الف: الگوی پراش اشعه ایکس نمونه پودر پوسته تخم مرغ، ب: مقایسه توزیع اندازه ذرات سیمان پرتلند، میکروسیلیس و پودر پوسته تخم مرغ

ماسه مصرفی مطابق با استاندارد ملی ایران از شرکت تیغاب واقع در شرق استان تهران تهیه گردید که دارای وزن مخصوص ۲/۵۶، جذب آب ۲/۶۶ و مدول نرمی ۳/۱۳ می‌باشد. فوق‌روان کننده بر پایه پلی‌کربوکسیلات با خاصیت کاهندگی آب بالا مطابق با ASTM C 494 [4]، به منظور دستیابی به روانی مناسب بکار گرفته شد. این ماده دارای وزن مخصوص ۱/۱۲، pH برابر ۷ و مقدار ذرات جامد ۴۰٪ در محلول می‌باشد.

۲.۲. طرح های اختلاط و آزمون های انجام شده

طرح های مخلوط که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. طرح مخلوط نمونه های ساخته شده

فوق روان کننده		پوست تخم مرغ (kg/m ³)	میکروسیلیس (kg/m ³)	آب SSD (kg/m ³)	آب اختلاط (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	سیمان (kg/m ³)	کد طرح
(kg/m ³)	درصد وزن سیمان							
۲/۶۶۶	۰/۳۷	-	-	۲۰	۲۵۴	۱۳۴۰	۷۲۵	C
۲/۹۱۶	۰/۴	۷۲/۵	-	۲۰	۲۵۴	۱۳۴۰	۶۵۲/۵	E10
۲/۹۱۶	۰/۴	۱۴۵	-	۲۰	۲۵۴	۱۳۴۰	۵۸۰	E20
۳/۲۵	۰/۴۵	۷۲/۵	۳۶/۲۵	۲۰	۲۵۴	۱۳۴۰	۶۱۶/۲۵	E10S5
۳/۸۳۳	۰/۵۳	۷۲/۵	۷۲/۵	۲۰	۲۵۴	۱۳۴۰	۵۸۰	E10S10
۳/۲۵	۰/۴۵	۱۴۵	۳۶/۲۵	۲۰	۲۵۴	۱۳۴۰	۵۴۲/۷۵	E20S5
۴/۲۵	۰/۵۹	۱۴۵	۷۲/۵	۲۰	۲۵۴	۱۶۰۸	۵۰۷/۵	E20S10

آزمون‌های انجام گرفته بر روی نمونه‌های ملات سیمانی خودتراکم به دو دسته اصلی مقاومت‌های مکانیکی و دوام تفکیک می‌گردد. در بخش بررسی مقاومت‌های مکانیکی، مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۵۶ روزه مطابق با استاندارد ASTM C109 [5]، صورت پذیرفت. در بخش آزمون‌های دوامی نیز مقاومت الکتریکی در سنین ۷، ۲۸ و ۵۶ روزه و نفوذ تسریع شده یون کلر در سنین ۲۸ و ۵۶ روزه مورد بررسی قرار گرفتند. در همین راستا، آزمون مقاومت الکتریکی به روش ایمپدانس جریان متناوب [6]، و آزمون نفوذ تسریع شده یون کلر مطابق با استاندارد ASTM C1202 [7] انجام گردیدند.

۳. نتایج و تحلیل

۳.۱، نتایج آزمون‌های مکانیکی

با توجه به شکل ۲ که نتایج مقاومت فشاری را نشان می‌دهد، طرح شماره ۲ که شامل ۱۰٪ پودر پوسته تخم مرغ می‌باشد در سن ۷ روزه ۲۸٪ نسبت به طرح شماره ۱ که طرح کنترل می‌باشد کاهش مقاومت داشته است. همچنین این کاهش در سن ۲۸ روزه ۱۶٪ و در سن ۵۶ روزه ۸٪ بوده است. دلیل این کاهش مقاومت نیز جایگزینی پودر غیر فعال پوسته تخم مرغ بجای سیمان می‌باشد. چرا که پودر پوست تخم مرغ یک ماده آلی با مقاومت پایین پوده و نقش پرکننده را در ملات دارد که حتی این ماده نتوانسته به خوبی نقش پرکننده را هم ایفا کند، لذا مقاومت کاهش یافته است. دلیل استفاده از این ماده در ابتدا حذف بخشی از سیمان مصرفی و نهایتاً حذف مواد پسماند از محیط زیست بوده است. همچنین با جایگزینی ۲۰٪ پودر پوسته تخم مرغ (طرح ۳) نیز سبب افت مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۵۶ روزه طرح کنترل به ترتیب برابر با ۴۷٪، ۵۷٪ و ۳۰٪ گردیده است. بر همین اساس، با افزایش جایگزینی پودر پوسته تخم مرغ مقاومت فشاری کاهش یافته که دلیل آن

در قسمت بالا توضیح داده شد. نیز ملاحظه می‌گردد با افزایش سن نمونه‌ها نرخ کاهش مقاومت رفته رفته کم شده و دلیل آن هم امتداد هیدراتاسیون می‌باشد. زیرا باید توجه داشت که تا زمانی که آب درون مخلوط وجود دارد عمل هیدراتاسیون متوقف نمی‌شود و همین امر باعث افزایش مقاومت با افزایش سن می‌گردد. در طرح شماره ۴ که شامل ۱۰٪ پودر پوست تخم مرغ و ۵٪ میکروسیلیس می‌باشد مقاومت فشاری در سن ۷ روزه ۱۷٪ نسبت به طرح شماره ۱ (طرح کنترل) کاهش یافته است. همچنین این کاهش در سن ۲۸ روزه ۴٪ و در سن ۵۶ روزه ناچیز (۱٪) بوده است. همانگونه که از نتایج پیداست افزودن میکروسیلیس نتایج مناسب‌تری را رقم زده و باعث افزایش مقاومت فشاری گردیده که در نهایت نسبت به طرح کنترل کاهش مقاومتی مشاهده نگردید و علت این امر نیز عملکرد پوزولانی بالای ذرات میکروسیلیس است.



شکل ۲. نتایج مقاومت فشاری

۳.۲. نتایج آزمون‌های دوامی

با توجه به شکل ۳ که نتایج آزمون مقاومت الکتریکی ملات‌های سیمانی را نشان می‌دهد، طرح شماره ۲ که شامل ۱۰٪ پودر پوسته تخم مرغ می‌باشد، در سن ۷ روزه با افت مقاومت الکتریکی به میزان ۳٪ نسبت به طرح کنترل (طرح ۱) روبرو گردیده است. همچنین این کاهش در سن ۲۸ روزه ۲٪ و در نهایت در سن ۵۶ روزه ۳٪ بوده است. با توجه به نتایج بدست آمده، تغییرات بسیار ناچیز بوده است. علت این

موضوع نیز به ویژگی‌های مقاومت الکتریکی ماتریس باز می‌گردد. در کل می‌توان گفت مقاومت الکتریکی به دو عامل ارتباط میان حفرات و رسانایی محلول درون حفرات بستگی دارد. با افزودن پودر پوسته تخم مرغ که خود ماده جاذب زیستی می‌باشد این ماده باعث جذب یون شده و در نتیجه مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد. از طرفی چون این ماده مقاومت کمی دارد و یک ماده آلی می‌باشد که نمی‌تواند نقش پرکنندگی را به طور کامل ایفا نماید، مخلوط به خوبی متراکم نگردیده و در نتیجه ارتباط بین حفرات باعث کاهش مقاومت الکتریکی می‌شود. این دوع امل با افزایش و کاهش مقاومت الکتریکی تقریباً یکدیگر را خنثی نموده و در نتیجه تغییر چندانی در نتیجه دیده نشده است. این موضوع در مقادیر بالاتر جایگزینی پودر پوسته تخم مرغ (۲۰٪) نیز قابل ملاحظه بوده است.

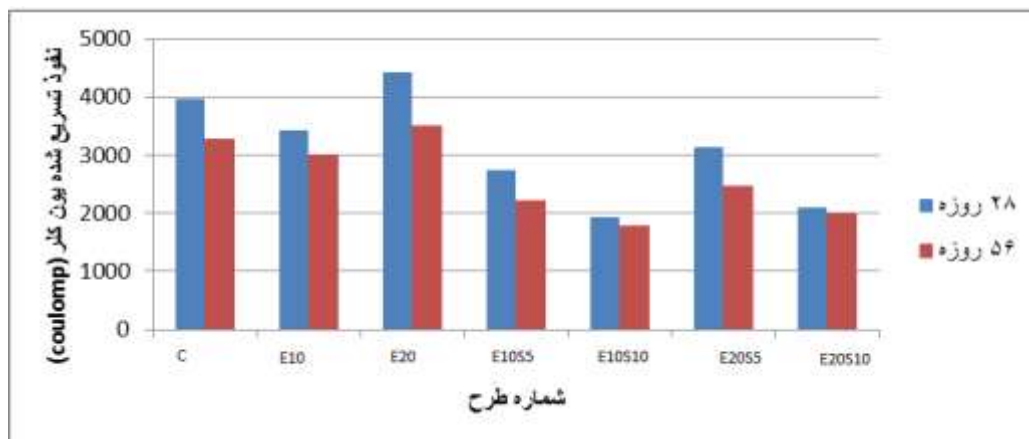
با افزایش میکروسیلیس به طرح‌های دارای پودر پوسته تخم مرغ، مقاومت الکتریکی افزایش یافته است. در همین راستا، با افزودن میکروسیلیس و به سبب واکنش پوزولانی آن، ماتریس متراکم‌تر می‌گردد و در نتیجه دو عامل ارتباط میان حفرات و رسانایی محلول درون حفرات کاهش یافته و همین امر سبب افزایش مقاومت الکتریکی شده است. به عنوان مثال در طرح ۴ که شامل ۵٪ میکروسیلیس و ۱۰٪ پودر پوسته تخم مرغ می‌باشد، مقاومت الکتریکی در سن ۷ روزه ۱۲٪، ۲۸ روزه ۴۶٪ و در سن ۵۶ روزه ۶۳٪ نسبت به طرح کنترل افزایش یافته است.



شکل ۳. نتایج مقاومت الکتریکی

مطابق با شکل ۴، به کارگیری پودر پوسته تخم مرغ ابتدا سبب کاهش نفوذ یون کلر و سپس افزایش آن گردیده است. در همین رابطه، طرح شماره ۲ که شامل ۱۰٪ پودر پوسته تخم مرغ می‌باشد در سن ۲۸ روزه ۱۴٪ و در سن ۵۶ روزه ۸٪ نسبت به طرح کنترل کاهش نفوذ یون کلر داشته است. اما در طرح شماره ۳ که شامل ۲۰٪ پودر پوست تخم مرغ می‌باشد، در سن ۲۸ روزه ۱۱٪ و در سن ۵۶ روزه ۶٪ افزایش میزان نفوذ یون کلر قابل ملاحظه است. لذا می‌توان گفت به علت مقدار کمتر ذرات پوسته تخم مرغ در ماتریس طرح شماره ۲، این ذرات تا حدودی نقش پرکننده را ایفا نموده‌اند حال آنکه در مقدار بالاتر جایگزینی (۲۰٪) این موضوع در برابر کاهش میزان سیمان کم اثر بوده است. از طرفی نفوذ یون کلر نیز مانند مقاومت الکتریکی به دو عامل رسانایی محلول حفره‌ای و ارتباط میان حفرات بستگی دارد با این تفاوت که تاثیر عامل ارتباط میان حفرات نسبت به رسانایی محلول حفره‌ای بسیار بیشتر می‌باشد. لذا نقش پرکنندگی ضعیف ذرات پودر پوسته تخم مرغ بارزتر خواهد بود.

به مانند روند موجود در نتایج آزمون مقاومت الکتریکی، افزودن میکروسیلیس منجر به افت نفوذپذیری یون کلر گردیده است. به عنوان مثال، در طرح شماره ۴ که شامل ۱۰٪ پودر پوست تخم مرغ و ۵٪ میکروسیلیس می‌باشد، نفوذ یون کلر در سنین ۲۸ و ۵۶ روزه به ترتیب ۳۰٪ و ۳۳٪ کاهش داشته است. علت این موضوع نیز خاصیت بالای پوزولانی میکروسیلیس و در نتیجه آن تراکم پذیری ماتریس می‌باشد که همین امر باعث افت دو عامل رسانایی محلول حفره‌ای و ارتباط میان حفرات شده و کاهش نفوذ یون کلر ملاحظه می‌گردد. در همین رابطه و به عنوان مثال، در طرح شماره ۶ که شامل ۲۰٪ پودر پوسته تخم مرغ و ۵٪ میکروسیلیس می‌باشد، در سن ۲۸ روزه ۲۲٪ و در سن ۵۶ روزه ۲۵٪ کاهش نفوذ یون کلر مشاهده گردیده است.



شکل ۴. نتایج آزمون نفوذ تسریع شده یون کلر

۴. نتیجه گیری

باتوجه به نتایج بدست آمده، در کل پودر پوسته تخم مرغ به دلیل اینکه خاصیت پوزولانی نداشته و از طرف دیگر مقاومت پایینی دارد نمی-تواند ماتریس را متراکم کند و حتی نتوانسته است نقش پرکننده را هم به خوبی ایفا کند و در پی همین موارد در قسمت مقاومت فشاری بخوبی عمل نکرده است. اما می‌توان به این نکته توجه داشت که نرخ کاهش مقاومت با افزایش سن کاهش یافته و همین امر اثر این ماده را رفته رفته تقلیل داده است که در نهایت تغییر آنچنانی در مقاومت ماتریس رخ نداده است. بر خلاف این ماده، میکروسیلیس یک پوزولان فعال با خاصیت متراکم نمودن ماتریس می‌باشد که همین امر باعث شد تا مقاومت فشاری ماتریس افزایش یابد.

در قسمت دوام، از آنجاکه در ویژگی مقاومت الکتریکی و نفوذپذیری یون کلراید دو عامل رسانایی محلول حفره‌ای و ارتباط میان حفرات نقش اصلی را ایفا می‌کنند پودر پوسته تخم مرغ ضعیف عمل نموده است و دلیل آن هم این است که پودر پوسته تخم مرغ یک جاذب زیستی بوده و همین امر باعث جذب یون‌های محلول حفره‌ای شده و از این رو به عامل نا رسانایی محلول حفره‌ای کمک می‌نماید اما از آنجا که این ماده سبب تراکم قابل ملاحظه در ماتریس نمی‌گردد، نمی‌تواند عامل ارتباط میان حفرات را قطع نموده و همین امر باعث عملکرد ضعیف آن در قسمت دوام ماتریس شده است. برخلاف این ماده میکروسیلیس به دلیل خاصیت پوزولانی بالا هر دو عامل نا رسانایی محلول حفره‌ای و کاهش ارتباط میان حفرات را تقویت می‌کند و همین امر باعث عملکرد قوی این ماده در قسمت دوام شده است.

۵. مراجع

[1] Sahmaran, M., Christianto, H., and Yaman, I., (2006) "The Effect of Chemical Admixtures and Mineral Additives on the Properties of SCM", Cement & Concrete Composite 28, 432-440

[2] خبرگزاری باشگاه خبرنگاران، بخش اخبار داخلی <http://www.yjc.ir>

[3] Pilya, P., and Cree, D., (2015) "Limestone Derived Eggshell Powder as a Replacement in Portland Cement Mortar", Construction and Building Materials, 95, 1-9.



نهمین کنفرانس ملی بتن ایران
۱۶ و ۱۵ مهرماه ۱۳۹۶
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



[4] ASTM C 494 (2015) "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete", American Standard for Testing and Materials.

[5] ASTM C 109 (2002) "Standard test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortar", American Standard for Testing and Materials.

[6] Gu,P., Xie, P., Beaudoin, J.J., and Brousseau, R. (1992) "AC impedance spectroscopy (II): microstructural characterization of hydrating cement-silica fume systems", Cement and Concrete Research, Vol. 23, pp. 157-168.

[7] ASTM C 1202 (2003) " Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration", American Standards for Testing and Materials.