

تحقیقات بتن

سال شانزدهم، شماره دوم

تابستان ۱۴۰۲

ص ۴۷-۵۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱

ارزیابی مشخصات ملات‌های خودتراکم حاوی میکروسیلیس، ژئولیت و پلیمر فوق جاذب در حالت تازه و سخت شده

حسین غیاثوند

دانشجوی دکترا، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

مرتضی بسطامی*

دانشیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران.

رضا فرخ زاد

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

چکیده

شناخت دقیق‌تر از خصوصیات ملات‌های خودتراکم که دارای کاربردهای گسترده‌ای در پروژه‌های عمرانی هستند امری ضروری است. امروزه مطالعات گسترده‌ای در این زمینه صورت می‌گیرد. در پژوهش حاضر تأثیر دو پوزولان میکروسیلیس و ژئولیت و همچنین افزودنی پلیمر فوق جاذب (SAP) به منظور سنجش اثرات آنها بر ملات خودتراکم مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق ۱۷ طرح اختلاط با درصد‌های مختلف افزودنی ساخته شد. آزمون سرعت گیرش ملات، گرمای هیدراتاسیون و همچنین آزمون‌های مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی در سنین مختلف انجام شدند. نتایج نشان داد نمونه‌های حاوی میکروسیلیس نسبت به ژئولیت، بهبود کیفیت قابل توجهی را به نمایش گذاشتند. با استفاده از آنالیز اقتصادی مشخص شد درصد‌های بالای SAP هزینه ساخت را به طرز چشمگیری افزایش می‌دهد. همچنین در آنالیز نرم افزاری دوام، کاربرد ۱۰٪ وزنی دوده سیلیسی جایگزین سیمان، افزایش عمر مفید را تا ۸۶ سال به دنبال داشت.

واژه‌های کلیدی: ملات خودتراکم، زمان گیرش، مقاومت الکتریکی، ژئولیت، پلیمر فوق جاذب.

* نویسنده مسئول: m.bastami@iiees.ac.ir

۱- مقدمه

می دهد، که البته می توان با استفاده از روشهایی مانند مخلوط کردن خاکستر بادی با پودر سنگ آهک این زمان را از مدیریت نمود. دو فوق روان کننده مبتنی بر پلی کربوکسیل تقریباً کارایی یکسانی داشتند و فوق روان کننده ی مبتنی بر ملامین فرمالدئید به اندازه دو تای دیگر مؤثر نبود.

فراریس و همکاران [۴] تشخیص دادند که ذرات با شکل کروی و کمترین نسبت سطح به حجم می توانند با به حداقل رساندن اصطکاک بین ذرات، سیالیت خوبی برای مخلوطها فراهم می کنند.

فاجاردو و همکاران [۵] خوردگی فولاد را مهمترین مشکل دوام ملات و بتنهای مسلح دانستند. آنها برای غلبه بر مشکل دوام استفاده از مواد مکمل سیمانی را به منظور کاهش مشکل دوام، کاهش هزینه های تولید و کنترل انتشار گازهای گلخانه ای پیشنهاد دادند. در تحقیق آنها استفاده از پوزولان های طبیعی به عنوان جایگزین جزئی سیمان پرتلند معمولی در نمونه های ملات بررسی گردید. ترکیباتی با سطوح جایگزینی ۰٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ وزنی سیمان پرتلند معمولی مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه ها در معرض نفوذ کلریدها قرار گرفتند. مقاومت فشاری، پتانسیل خوردگی، مقاومت الکتریکی و محتوای کلریدی ملات ها به منظور مشخص کردن رفتار فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی و الکتروشیمیایی ملات و همچنین فولاد به کار رفته در آن تعیین گردید. مشخص شد که استفاده از پوزولان منجر به افزایش قابل توجه مقاومت ملات گردیده و سرعت خوردگی میلگردها را کاهش می دهد.

در تحقیقات پیاوا و همکاران [۶] مشخص شد رفتار رئولوژیکی بتن ارتباط نزدیکی با رئولوژی ملات آن دارد. همچنین آنها مشاهده نمودند مقاومت فشاری بتن در همبستگی خطی با ملات می باشد.

یلبرگ [۷] استدلال نمود رئولوژی بتن تنها زمانی می تواند بهینه شود که فاز ملات عملکرد رئولوژیکی بهینه داشته باشد. بنابراین عملکرد بتنهای خودتراکم (SCC) به طور کلی با رفتار فاز ملات ارتباط معناداری دارد.

ردی و گوپتا [۸] به این نتیجه رسیدند که ارزیابی مشخصات ملات و خصوصیات فیزیکی آنها روشی مناسب برای ارزیابی مشخصات بتن بنظر میرسد و رفتار رئولوژیکی بتن با رئولوژی ملات در ا

تأثیر بالای مواد افزودنی و پوزولانها بر مشخصات فیزیکی و رفتار ملات همچنین به عنوان جایگزینی برای مواد ریز به منظور کاهش هزینه، بهبود دوام و مقاومت ملاتها امری بارز و مسجل است. از دیگر سو با افزایش قابل ملاحظه استفاده از بتن و ملات های خود تراکم در حوزه های عمرانی و صنعت ساختمان، شناخت دقیق تر از خصوصیات این دسته از مواد ضرورتی و اجتناب ناپذیر می باشد. به نظر می رسد برای ارزیابی خواص بتن خودتراکم ابتدا می بایست میزان بهینه مواد افزودنی و جایگزین سیمان را با ساخت ملات خودتراکم ارزیابی نمود. ارزیابی ملات علاوه بر کوچکتر نمودن مقیاس آزمون ها، امکان ارزیابی مشخصاتی همچون سرعت گیرش و گرمای هیدراتاسیون را فراهم می نماید و می تواند دیدگاه علمی مناسبی جهت ارزیابی بتنهای خودتراکم فراهم سازد.

گزیده و مختصری از تحقیقات صورت گرفته در زمینه ملات های خودتراکم، مشخصات و رفتارهای آنها در ادامه اشاره شده است: بر اساس مطالعات پون و همکاران [۱] با جایگزینی سیمان با متاکائولن مشاهده گردید که استفاده از مواد پوزولانی به بهبود رفتار ملات و بتن منتهی می شود. این اثر مفید به دلیل واکنش پذیری بالای پوزولانهاست.

بوراک و همکاران [۲] استنباط نمودند سطح جایگزینی بهینه از پودرهای سیمانی به ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی آنها بستگی دارد. این ویژگیها که تأثیر قابل توجهی بر خواص خمیر تازه دارند توسط شکل ذرات، تخلخل و توزیع اندازه ذرات و ... کنترل می شود. علاوه بر این، برخی از انواع پودر وجود دارد که می تواند جریان پذیری و سیالیت ملاتها را افزایش دهد.

شاه ماران و همکاران [۳] اثربخشی مواد افزودنی معدنی مختلف و افزودنی های شیمیایی بر خواص ملات خودتراکم را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور از چهار افزودنی معدنی (خاکستر بادی، پودر آجر، پودر سنگ آهک و کائولینیت)، سه فوق روان کننده و دو افزودنی اصلاح کننده ویسکوزیته استفاده شد. در محدوده برنامه آزمایشی مورد نظر آنها، نتیجه گیری شد که از میان افزودنی های معدنی مورد استفاده خاکستر بادی و پودر سنگ آهک به طور قابل توجهی کارایی ملات را افزایش دادند. به ویژه خاکستر بادی زمان گیرش ملات ها را به میزان قابل توجهی افزایش

جدول ۱- مشخصات پودرهای مصرف شده در طرح‌های اختلاط

ترکیبات شیمیایی و مولفه های کریستالی	سیمان	میکروسیلیس	زنولیت طبیعی
SiO ₂	۲۲/۷۲	۹۳/۴	۱۲/۶۹
Fe ₂ O ₃	۲/۹۱	۱/۱۴	۰/۲۹
Al ₂ O ₃	۳/۶۹	۰/۶۴	۱۲/۸۱
CaO	۶۲/۶۸	۱/۰۰	۲/۳۱
MgO	۴/۹۲	۰/۶۲	۱/۴۲
Na ₂ O	۰/۱۸	-	۲/۲۹
K ₂ O	۰/۷۱	۰/۰۳	۱/۲۵
SO ₃	۲/۴۲	۱/۱۴	۰/۲۰
Loss on ignition (LOI)	۱/۵۶	۲/۹	۸/۹۹
C ₃ S	۱۴/۵۵	-	-
C ₂ S	۱۴/۰۸	-	-
C ₃ A	۶/۱۵	-	-
C ₄ AF	۷/۹۸	-	-

طرح‌های اختلاط در نظر گرفته بر اساس جدول ۲، ۱۷ طرح است که برای به دست آوردن ملات با نسبت‌های اختلاط تعیین شده، می‌توان به ترکیب مناسب سیمان، ریزدانه، آب و مواد افزودنی برای ساخت ملات از طریق مشخصات مربوطه رسید. هدف از تعیین نسبت‌های اختلاط، به دست آوردن مخلوطی سیمانی است که نیازهای عملکردی را از منظر فنی تامین کند. برای این کار ابتدا مصالح مورد نیاز توزین گردیده و سپس وارد مرحله ی ساخت شدند. در این مطالعه با توجه به استفاده از درصد‌های متغیر SAP به میزان ۰/۱ و ۰/۳ و ۰/۵ درصد استفاده از میکروسیلیس و زنولیت طبیعی به میزان ۱۰ درصد وزنی سیمان، در کل ۱۷ طرح اختلاط برای نمونه‌ها تهیه گردیده است که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد. در این جدول اعداد C بیانگر نمونه فاقد پوزولان، Z بیانگر زنولیت طبیعی، M.S میکروسیلیس و MZ بیانگر ترکیب زنولیت طبیعی و میکروسیلیس می‌باشد.

۳- برنامه آزمایش و تحلیل نتایج آن

۳-۱- آزمون‌ها

زمان گیرش ملات تازه بر اساس استاندارد ویکات اصلاح شده ASTM C807 انجام شد. همچنین برای اندازه‌گیری گرمای

رتباط نزدیک است (البته این موضوع نافی تأثیر سنگ‌دانه در بتن نمی‌باشد).

در اینجا باید به این نکته اشاره نمود پوزولان‌هایی مانند میکروسیلیس و زنولیت استحکام و دوام بتن را بهبود می‌بخشد، از جمله افزودنی‌هایی هستند که بومی بوده و در مقیاس صنعتی و با قیمت مناسب در کشور ما موجود می‌باشند. بنابراین در این پژوهش از این مواد جهت جایگزین نمودن به جای سیمان استفاده گردید. مضاف بر اینکه پلیمر فوق جاذب با نسبت‌های مختلفی در کنار پوزولان‌های نامبرده شده جهت عمل‌آوری داخلی و بررسی رفتار ملات خودتراکم به کار گرفته شد.

در مطالعه حاضر مشخصات ویژه ای همچون زمان گیرش، گرمای هیدراتاسیون و آزمون‌های متعارفی مانند مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی جهت ارزیابی ملات خودتراکم مورد استفاده قرار گرفتند و هدف از این مطالعه شناخت دقیق تر مشخصات و رفتار این دسته از ملات‌ها و همچنین نحوه تأثیر دو پوزولان میکروسیلیس و زنولیت و پلیمر فوق جاذب بر آنها بود.

۲- مواد و مصالح

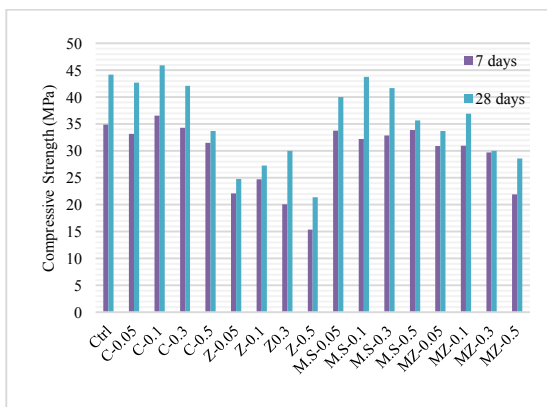
مشخصات شیمیایی سیمان تیپ II که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته در جدول ۱ آورده شده است. این سیمان منطبق با استاندارد ASTM C150 می‌باشد. زنولیت مصرف شده از شرکت افرازند و با مش ۳۰۰ تهیه گردید. همچنین میکروسیلیس از شرکت فروسیلیس ایران تهیه شد. مشخصات پوزولان‌های مصرفی نیز در جدول ۱ آورده شده است. پلیمر SAP هیدروژل از نوع اکریلیک اسید می‌باشد. قابلیت جذب آب آن بعد از گذشت مدت زمان ۱۸۰ دقیقه g/g ۵۰۰ (گرم وزن آب نسبت به وزن خشک) می‌باشد. اندازه متوسط قطر دانه‌های آن ۲۵۰ میکرومتر، چگالی توده‌ای آن ۰/۸ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده و مقدار PH محلول آبی آن بین ۷-۶ می‌باشد. در مخلوط بتن از فوق روان‌کننده بر پایه پلی کربوکسیلات PC - ۴۴۰RB با نام تجاری ECONEX استفاده شد. پلیمر محلول (VMA) به عنوان مواد افزودنی اصلاح کننده ویسکوزیته با میزان مصرف ۰/۴ تا ۱/۵ درصد وزنی سیمان به کار برده شد.

هیدراتاسیون نمونه های مکعبی ۱۰ در ۱۰ سانتیمتر پس از قرار دادن شده و اندازه گیری دما با دقت ۰/۱ درجه تا ۳۶ ساعت صورت یک سنسور دما در مرکز ملات تازه درون قالب از تمام وجوه عایق گرفت.

جدول ۲- طرح های اختلاط ملات (مقادیر بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب)

شماره طرح	کد طرح	سیمان	دوده سیلیسی	زئولیت	آب	SAP	ریزدانه	S.P	V.M.A
۱	Ctrl	۷۲۵	۰	۰	۲۱۷	۰	۱۴۳۰	۲/۴۱۷	۱/۸۱۲
۲	C-۰/۰۵	۷۲۵	۰	۰	۲۱۷	۰/۳۶۲	۱۴۲۹	۲/۷۶۱	۲/۵۳۷
۳	C-۰/۱	۷۲۵	۰	۰	۲۱۷	۰/۷۲۵	۱۴۲۹	۲/۷۶۱	۲/۵۳۷
۴	C-۰/۳	۷۲۵	۰	۰	۲۱۷	۲/۱۷۴	۱۴۲۸	۳/۴۵۱	۲/۵۳۶
۵	C-۰/۵	۷۲۵	۰	۰	۲۱۷	۳/۶۲۳	۱۴۲۷	۳/۷۹۵	۲/۵۳۶
۶	Z-۰/۰۵	۶۴۹	۰	۷۲	۲۱۷	۰/۳۶۱	۱۴۰۹	۴/۱۲۴	۲/۸۸۷
۷	Z-۰/۱	۶۴۹	۰	۷۲	۲۱۶	۰/۷۲۲	۱۴۰۹	۴/۱۲۴	۲/۸۸۷
۸	Z-۰/۳	۶۴۹	۰	۷۲	۲۱۶	۲/۱۶۵	۱۴۰۸	۴/۲۶۱	۲/۸۸۶
۹	Z-۰/۵	۶۴۹	۰	۷۲	۲۱۶	۳/۶۰۸	۱۴۰۸	۴/۴۶۷	۲/۲۴۷
۱۰	M.S-۰/۰۵	۶۴۹	۷۲	۰	۲۱۶	۰/۳۶۱	۱۴۰۶	۳/۷۷۸	۲/۱۶۴
۱۱	M.S-۰/۱	۶۴۹	۷۲	۰	۲۱۶	۰/۷۲۱	۱۴۰۶	۳/۷۷۸	۲/۱۶۴
۱۲	M.S-۰/۳	۶۴۹	۷۲	۰	۲۱۶	۲/۱۶۴	۱۴۰۶	۳/۸۴۷	۲/۱۶۴
۱۳	M.S-۰/۵	۶۴۹	۷۲	۰	۲۱۶	۳/۶۰۶	۱۴۰۶	۴/۱۲۱	۲/۵۲۴
۱۴	MZ-۰/۰۵	۶۴۹	۳۶	۳۶	۲۱۶	۰/۳۶۱	۱۴۰۸	۳/۷۷۹	۲/۱۶۵
۱۵	MZ-۰/۱	۶۴۹	۳۶	۳۶	۲۱۶	۰/۷۲۲	۱۴۰۸	۳/۷۷۹	۲/۱۶۵
۱۶	MZ-۰/۳	۶۴۹	۳۶	۳۶	۲۱۶	۲/۱۶۴	۱۴۰۸	۴/۱۲۲	۲/۵۲۵
۱۷	MZ-۰/۵	۶۴۹	۳۶	۳۶	۲۱۶	۳/۶۰۷	۱۴۰۷	۴/۱۲۲	۲/۵۲۵

فشاری به دست آمده در بخش فاقد پوزولان و درصد پلیمر فوق جاذب ۰/۱ به میزان ۴۵/۹ مگاپاسکال در سن ۲۸ روز می باشد. این رکورد که حتی در نمونه های حاوی میکروسلیس نیز (با وجود نزدیک بودن نتایج) به دست نیامد، نشانگر تأثیر مستقیم و قابل توجه SAP بر مقاومت فشاری ملات است و البته این افزودنی شیمیایی در کنار پوزولان ها اثر هم افزایی ایجاد نکرده است.

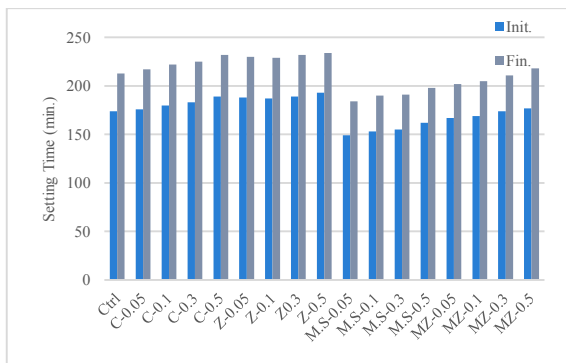


شکل ۱- مقاومت فشاری ملات های ساخته شده در سنین ۷ و ۲۸ روز

در این مطالعه از آزمایش مقاومت فشاری براساس استاندارد BS EN12390-3 استفاده شد. آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی به ابعاد ۵ سانتی متر در سنین ۷ و ۲۸ روز انجام شد. آزمایش مقاومت الکتریکی بر اساس استاندارد AASHTO TP95 بر روی نمونه های فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روز صورت گرفت. در این بخش به بررسی آزمایشات و نتایج به دست آمده از آزمون های صورت گرفته بر روی بخش ملات بتن های ساخته شده پرداخته می شود. نتایج این آزمون ها به درک بهتر رفتار ملات های خودتراکم کمک می کند.

مقاومت فشاری

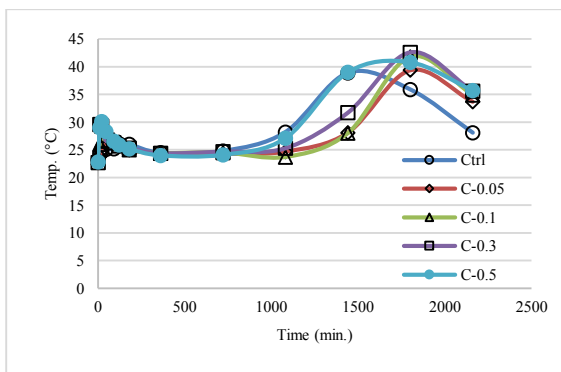
مقاومت فشاری به دست آمده از ملات های ساخته شده در مجموع نتایج نسبتاً بالایی را حاصل نموده است. با نگاهی به نمودار زیر می توان دریافت که رشد مقاومت در ملات های حاوی زئولیت به مراتب پایین تر از سایر طرح های اختلاط است. بالاترین مقاومت



شکل ۳- زمان گیرش اولیه و نهایی ملات‌های ساخته شده

گرمای هیدراتاسیون

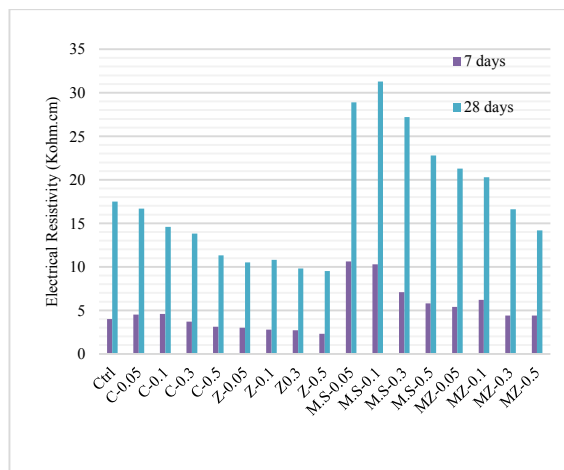
نحوه تغییرات دمای داخلی بخش ملات‌های ساخته شده، دورنمای خوبی را از نحوه تأثیر SAP بر توسعه فرایند هیدراتاسیون ماتریس سیمانی حاوی انواع پوزولان‌ها فراهم می‌سازد. همانطور که از نمودارهای زیر پیداست، ورود SAP به طرح اختلاط، مشخصاً منجر به ایجاد تأخیر در کسب پیک حرارتی شده و همچنین گرمای نسبتاً بیشتری ایجاد می‌شود که با افزایش درصد SAP این قله‌ها رو به افول گذاشته و نسبت به طرح شاهد، گرمای حداکثر کاهش می‌یابد. همچنین بهره‌گیری از پوزولان‌ها به ویژه میکروسیلیس، منجر به کسب بیشتری گرمای هیدراتاسیون طی ۳۶ ساعت نخست واکنش می‌گردد که نقش فعال میکروسیلیس را به اثبات می‌رساند. البته زئولیت نیز به دلیل جذب آب و مشارکت در هیدراتاسیون و همچنین ایجاد یک عایق نسبی حرارتی درون ساختار ماتریس سیمانی، به افزایش گرمای هیدراتاسیون کمک می‌کند. این افزایش دما لزوماً به مفهوم کسب مقاومت بهتر نیست و این موضوع در نتایج مقاومت فشاری به خوبی منعکس شده است.



شکل ۴-۱ مقایسه تغییرات گرمای هیدراتاسیون طرح‌های فاقد پوزولان

مقاومت الکتریکی

از مقاومت الکتریکی به عنوان معیاری جهت ارزیابی دوام بتن یاد می‌شود. از مشاهده نمودار زیر در نگاه اول می‌توان تفاوت چشمگیر مقاومت الکتریکی در سن ۲۸ روزه نسبت به سن ۷ روزه را دید. همچنین بر خلاف نتایج مقاومت فشاری، نمونه‌های حاوی میکروسیلیس نتایج بهتری را به دست دادند. همانطور که می‌بینیم این نمونه‌ها با کسب مقاومت الکتریکی ۳۱/۳ کیلو اهم-سانتیمتر در طرح ۰/۱ MS- حالت بهینه را در درصد ۰/۱ افزودنی SAP همراه با میکروسیلیس کسب نموده است. همچنین اثر منفی زئولیت در سنین پایین نسبت به نمونه‌های فاقد پوزولان (هرچند با اختلافی جزئی) قابل مشاهده است.



شکل ۲- مقاومت الکتریکی ملات‌های ساخته شده در سنین ۷ و ۲۸ روز

زمان گیرش

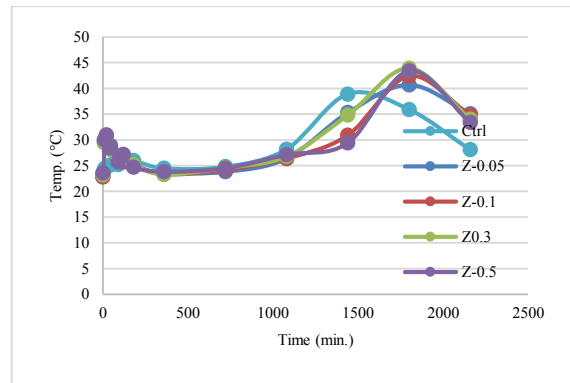
زمان گیرش ملات را می‌توان به عنوان نقطه شروعی جهت ارزیابی نحوه تأثیر انواع افزودنی‌های معدنی و SAP بر روند گیرش سیمان و در نهایت ملات به عنوان بخش اصلی تشکیل دهنده بتن دانست. شکل ۳ زمان گیرش اولیه و نهایی طرح‌های مختلف این پژوهش را نشان می‌دهد. میکروسیلیس به صورت مشخص، منجر به افزایش سرعت گیرش و زئولیت بر عکس منجر به کاهش نسبی سرعت گیرش شده است. این پدیده را می‌توان به ریزی ذرات میکروسیلیس و همچنین کندی واکنش زئولیت و جذب آب بالای آن و همچنین ایجاد اختلال در هیدراتاسیون سیمان به ویژه در ساعات اولیه پس از اختلاط نسبت داد.

بر اساس میزان محافظت از آرما تور تا شروع خوردگی آن می‌باشد. این نرم افزار که بر اساس اصول تجربی اثبات شده نرخ نفوذ یون کلر بر اساس طرح ها و نسبت های اولیه مواد تشکیل دهنده بتن محاسبات را انجام می دهد با دریافت پارامترهای اولیه ای همچون ضخامت المان بتنی، کاور بتن (فاصله آرما تور با سطح بتن)، نسبت آب به مواد سیمانی و نسبت های جایگزین پوزولان های شناخته شده با سیمان، به محاسبه عمر مفید المان بتنی بر اساس زمان شروع خوردگی آرما تور در بتن می پردازد. همچنین، دو پارامتر تأثیر گذار دیگر شامل غلظت یون کلر بر سطح بتن و تغییرات دمای سالیانه بر اساس منطقه ای که سازه در آن قرار گرفته، برای محاسبه نرخ نفوذ، استفاده می شوند. در این مطالعه، تمام پارامترها غیر از نسبت آب به مواد سیمانی و پوزولان ها که مربوط به طرح های اختلاط می باشند، در نرم افزار به صورت پیش فرض در نظر گرفته شده و نتایج به دست آمده در قالب نموداری ستونی جهت مقایسه با بتن معمولی و همچنین طرح شاهد (فاقد پوزولان) ارائه گردیده است.

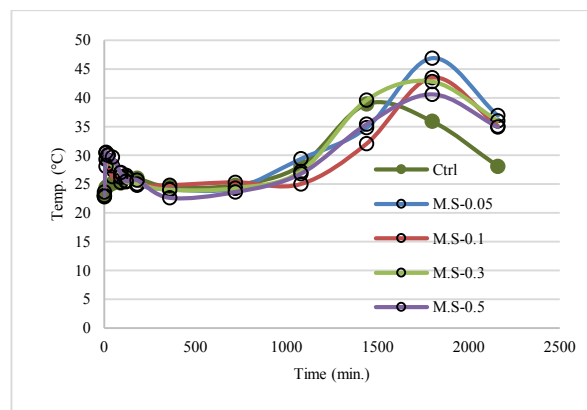
نتایج آنالیز این نرم افزار نشان می دهد فارغ از تأثیر افزودنی SAP می توان گفت، تأثیر میکروسیلیس (شکل ۵) به مراتب بیشتر از تأثیر زئولیت و حتی نسبت آب به سیمان بر دوام و در نتیجه عمر مفید بتن بر اساس میزان محافظت آرما تور در برابر یون کلراید می باشد. نمودار زیر نشان می دهد که تنها در صورت جایگزینی ۱۰ درصد از وزن سیمان با میکروسیلیس، عمر مفید سازه تقریباً ۳ برابر (۸۶ سال) می گردد، در حالی که تأثیر زئولیت (فرض معادل خاکستر بادی بر اساس شباهت رفتار دو پوزولان در سنین بالا) به مراتب کمتر است (۲۹ سال). همچنین نسبت آب به مواد سیمانی پیش فرض نرم افزار که ۰/۴۲ می باشد، در مقایسه با نسبت آب به سیمان ۰/۳، تنها ۷ سال عمر مفید کمتری بدست می دهد (۱۵ سال) که در مقایسه با تأثیر میکروسیلیس تأثیر نسبت آب به سیمان، به طور مشخصی کمتر است.

ارزیابی اقتصادی

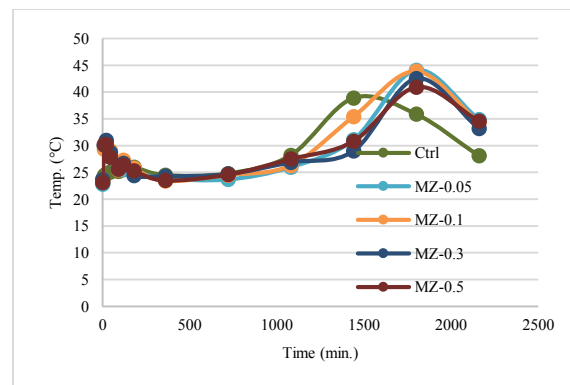
مقایسه هزینه تعدادی از ملات های ساخته شده جهت برآورد اجرایی کاربرد آن در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس قیمت های مفروض (ارقام نزدیک به واقعیت) ارزش هزینه ای هر مترمکعب ملات ارائه شده است. بر اساس جدول ۳ بیشترین هزینه اعمال شده مربوط به



شکل ۴-۲- مقایسه تغییرات گرمای هیدراتاسیون طرح های حاوی زئولیت



شکل ۴-۳- مقایسه تغییرات گرمای هیدراتاسیون طرح های حاوی میکروسیلیس

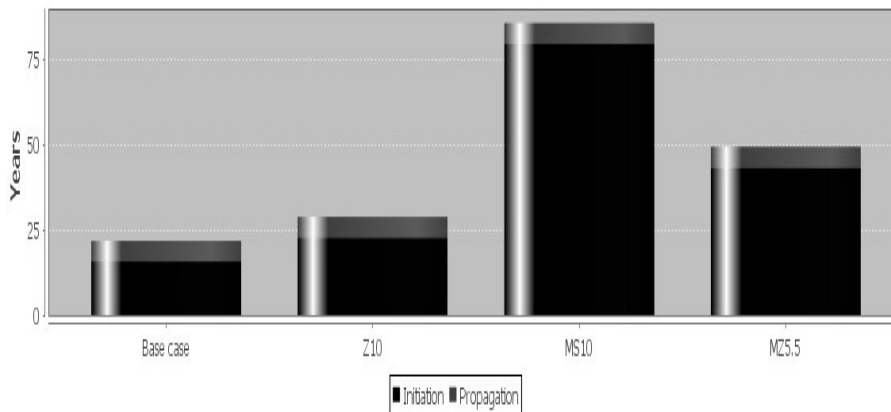


شکل ۴-۴- مقایسه تغییرات گرمای هیدراتاسیون طرح های حاوی هر دو پوزولان

آنالیز نرم افزاری عمر مفید

جهت سنجش عمر مفید بتن های مسلح بر پایه طرح های ملات تعریف شده، از نرم افزار Life 365 استفاده شده است. این نرم افزار شامل پارامترهای مختلفی است که در محیط کاربری آن می توان تنظیم نمود و یکی از خروجی های آن تخمین عمر مفید بتن

طرح ۰/۵-Z-۱۶/۸۵ میلیون ریال بر مترمکعب بوده که ۳۶/۲٪ نسبت به خوبی هزینه سنگین افزودنی‌های خاص را به نمایش گذاشته و به طرح شاهد بالاتر بود و طرح‌های حاوی ۰/۵٪ SAP به دلیل قیمت بالایی آن، همگی بیش از ۱۶ میلیون ریال هزینه داشته‌اند. این جدول و هزینه (جهت استفاده از این افزودنی‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نتایج آنالیز دوام با استفاده از نرم افزار life 365

جدول ۳- هزینه ریالی هر مترمکعب ملات ساخته شده بر پایه آزمایش، بر اساس هزینه مواد اولیه

Code	هزینه (ریال بر مترمکعب)								هزینه ملات (میلیون ریال)
	سیمان	دوده سیلیسی	زئولیت	آب	SAP	ریزدانه	S.P	V.M.A	
Ctrl	۵۵۰۰۰۰۰	-	-	۱۵۰۰۰	-	۳۴۵۱۴۵۴	۱۵۰۰۰۰۰	۱۳۷۵۰۰۰	۱۱/۸۲
C-۰/۱	۵۵۰۰۰۰۰	-	-	۱۵۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	۳۴۵۰۲۷۲	۱۷۱۴۲۸۶	۱۹۲۵۰۰۰	۱۳/۲۴
C-۰/۳	۵۵۰۰۰۰۰	-	-	۱۵۰۰۰	۱۸۰۰۰۰۰	۳۴۴۷۹۶۷	۲۱۴۲۸۵۷	۱۹۲۵۰۰۰	۱۴/۸۲
C-۰/۵	۵۵۰۰۰۰۰	-	-	۱۵۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۳۴۴۶۶۴۷	۲۳۵۷۱۴۳	۱۹۲۵۰۰۰	۱۶/۲۵
Z-۰/۱	۴۹۵۰۰۰۰	-	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	۳۴۱۶۱۴۶	۲۵۷۱۴۲۹	۲۲۰۰۰۰۰	۱۳/۹۵
Z-۰/۳	۴۹۵۰۰۰۰	-	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۸۰۰۰۰۰	۳۴۱۵۶۶۹	۲۶۵۷۱۴۳	۲۲۰۰۰۰۰	۱۵/۲۵
Z-۰/۵	۴۹۵۰۰۰۰	-	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۱۴۱۴۶۵۴	۲۷۸۵۷۱۴	۲۴۷۵۰۰۰	۱۶/۸۵
M.S-۰/۱	۴۹۵۰۰۰۰	۲۷۵۰۰۰	-	۱۵۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	۳۴۱۲۳۹۲	۲۳۵۷۱۴۳	۱۶۵۰۰۰۰	۱۳/۲۵
M.S-۰/۳	۴۹۵۰۰۰۰	۲۷۵۰۰۰	-	۱۵۰۰۰	۱۸۰۰۰۰۰	۳۴۱۲۴۵۳	۲۴۰۰۰۰۰	۱۶۵۰۰۰۰	۱۴/۵۵
M.S-۰/۵	۴۹۵۰۰۰۰	۲۷۵۰۰۰	-	۱۵۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۳۴۱۱۵۰۰	۲۵۷۱۴۲۹	۱۹۲۵۰۰۰	۱۶/۱۵
MZ-۰/۱	۴۹۵۰۰۰۰	۱۳۷۵۰۰	-	۱۵۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	۳۴۱۴۸۱۵	۲۳۵۷۱۴۳	۱۶۵۰۰۰۰	۱۳/۲۵
MZ-۰/۳	۴۹۵۰۰۰۰	۱۳۷۵۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۸۰۰۰۰۰	۳۴۱۳۶۷۳	۲۵۷۱۴۲۹	۱۹۲۵۰۰۰	۱۴/۹۵
MZ-۰/۵	۴۹۵۰۰۰۰	۱۳۷۵۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۳۴۱۳۶۷۳	۲۵۷۱۴۲۹	۱۹۲۵۰۰۰	۱۶/۲

مشخصی سبب بهبود خصوصیات این ملات‌ها می‌گردند.

پلیمر فوق جاذب و میکروسیلیس باعث افزایش و زئولیت موجب کاهش مقاومت فشاری ملات گردید. مقاومت‌های فشاری حداکثر ابتدا مربوط به طرح‌های فاقد پوزولان و با محتوای پلیمر فوق جاذب ۰/۱ درصد و سپس میکروسیلیس ۱۰ درصد وزنی سیمان بودند. بیشترین مقدار مقاومت فشاری معادل ۴۵/۹

۴- نتیجه‌گیری

با عنایت به آزمایش‌های انجام شده، بررسی و تفسیر نتایج به دست آمده موارد ذیل را می‌توان جمع‌بندی و نتیجه‌گیری نمود: پوزولانهایی مانند میکروسیلیس و زئولیت و همچنین مواد افزودنی مانند پلیمرهای فوق جاذب تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر مشخصات فیزیکی و رفتار ملات‌های خودتراکم دارند و در محدوده‌های

Research.36, 1719–1726, (2006).

[3] Sahmaran M, Christianto H A, Yaman I. The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. *Cement and concrete Composite*. 28, 432–440, (2006).

[4] Ferraris C, Kartik HO, Russell H. The influence of mineral admixture on rheology of cement paste and concrete. *Cement and Concrete Research*.31, 3244–255, (2001).

[5] Fajardo G, Valdez P, Pacheco J. Corrosion of steel rebar embedded in natural pozzolan based mortars exposed to chlorides. *Construction and Building Materials*.23, 23768-774, (2009).

[6] Paiva H, Velosa A, Veiga R, Ferreira V.M. Effect of maturation time on the fresh and hardened properties of an air lime mortar, *Cement and Concrete Research*.40, 447–451, (2010).

[7] Billberg P. Fine mortar rheology in mix design of SCC. *Proceedings of the first international RILEM symposium on self-compacting concrete*. Stockholm, 47-58, (1999).

[8] Reddy B.V.V, Gupta A. Influence of sand grading on the characteristics of mortar and soil cement block masonry. *Construction and Building Materials*.22,1614–1623, (2008).

مگاپاسکال مربوط به طرح C-0/1 در سن ۲۸ روز به دست آمد. در ارتباط با مقاومت الکتریکی بر خلاف نتایج مقاومت فشاری، نمونه های حاوی میکروسیلیس، نتایج بهتری را به دست دادند که می توان گفت حالت بهینه در طرح MS-0/1 با کسب مقاومت الکتریکی ۳۱/۳ کیلو اهم-سانتیمتر ایجاد گردیده است.

میکروسیلیس به صورت مشخص، منجر به افزایش سرعت گیرش و زئولیت بر عکس منجر به کاهش نسبی سرعت گیرش شد. می توان مشاهده نمود با افزودن SAP به طرح اختلاط، کسب پیک حرارتی تاخیر روی داده، همچنین گرمای نسبتاً بیشتری ایجاد شد که با افزایش درصد SAP این قله ها رو به افول گذاشت و نسبت به طرح شاهد، گرمای حداکثر کاهش یافت. همچنین به کارگیری میکروسیلیس، منجر به کسب گرمای بیشتر هیدراتاسیون طی ۳۶ ساعت نخست واکنش گردید.

با مقایسه هزینه ملات های ساخته شده مشخص گردید بهینه سازی فنی-اقتصادی این طرح ها (بر اساس میزان بهبود خواص ملات و هزینه) جهت استفاده از این افزودنی ها امری ضروری است. در این رابطه بیشترین هزینه اعمال شده مربوط به طرح Z-0/5 با رقمی معادل ۱۶/۸۵ میلیون ریال بر مترمکعب بوده که ۳۶/۲٪ نسبت به طرح شاهد افزایش هزینه در پی داشت. طرح های حاوی ۰/۵٪ پلیمر فوق جاذب به دلیل هزینه نسبتاً بالای آن، همگی بیش از ۱۶ میلیون ریال هزینه داشته اند.

بر اساس آنالیز نرم افزاری دوام استفاده از میکروسیلیس تأثیر قابل ملاحظه ای بر افزایش عمر مفید داشته و این تأثیر افزایش یافته به مراتب از زئولیت بیشتر می باشد. بطوریکه با جایگزینی ۱۰٪ میکروسیلیس به جای سیمان مصرفی در طرح های اختلاط، عمر مفید ۸۶ سال برآورد گردید که افزایشی حدوداً معادل سه برابر نمونه شاهد نشان می دهد.

۵- مراجع

[1] Poon S.C, Kou L, Lam. Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete. *Construction and Building Materials*.20, 858–865, (2006).

[2] Burak F, Kamile T, Bülent B, Akin A, Bahadır U. The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars. *Cement and Concrete*

Evaluation of self-compacting mortars containing microsilica, zeolite and superabsorbent polymer in fresh and hardened state

Hosein Ghiasvand

Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

Morteza Bastami *

International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran.

Reza Farokhzad

Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

Abstract

A more accurate understanding of the characteristics of self-compacting mortars, which have wide applications in construction projects, is essential. Today, extensive studies are conducted in this field. In the present study, the effect of two pozzolans, microsilica and zeolite, as well as the addition of superabsorbent polymer 1 (SAP) was studied in order to measure their effects on self-compacting mortar. In this research, 17 mixing plans were made with different percentages of additives. In this research, 17 mixing plans were made with different percentages of additives. Mortar setting speed test, heat of hydration, as well as compressive strength and electrical resistance tests were performed at different ages. The results showed that samples containing microsilica compared to zeolite showed a significant improvement in quality. With economic analysis, it was found that high percentages of SAP significantly increase the construction cost. Also, in the software analysis of durability, the use of 10% by weight of silica fume instead of cement resulted in an increase in useful life up to 86 years.

Keywords: self-compacting mortar, setting time, electrical resistivity, zeolite, superabsorbent polymer.

* Corresponding Author: m.bastami@iiees.ac.ir

