Archive of SID

مهندسی عمران شریف، تابستان (۱۴۰۰)
دوره‌ی ۲ - ۳۷، شماره‌ی ۲/۲، ص. ۶۱-۷۱، (پژوهشی)

Original Article

آثار اصلاحی پلیمرهای استایرن بوتادین رابر و استایرن آکریلیک در خواص مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم

علی سعیدی کیا (کارشناس ارشد)
سیدحسام مدنی * (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

در نوشتار حاضر، به بررسی آثار اصلاحی پلیمرهای استایرن بوتادین رابر و استایرن آکریلیک در خواص مکانیکی و دوام مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم پرداخته شده و نتایج نشان داده است که اصلاح ساختار مخلوط‌ها با پلیمرهای استایرن بوتادین رابر و استایرن آکریلیک سبب کاهش مقاومت فشاری، افزایش مقاومت خمشی و کششی مخلوط‌های اصلاحی در مقایسه با مخلوط شاهد می‌شود. همچنین در بررسی آزمون‌های دوام نیز مشخص شد که اصلاح ساختار مخلوط‌ها به واسطه‌ی پلیمرهای مذکور، سبب کاهش میزان نفوذپذیری یون کلراید و همچنین جذب حجمی و موئینه‌ی آب نسبت به مخلوط شاهد می‌شود، که میزان کاهش نفوذ نسبت به مخلوط شاهد در هردو پلیمر اخیر با افزایش درصد مصرف تشدید می‌شود. در مجموع با توجه به نتایج حاصل می‌توان عملکرد مطلوب‌تری برای استایرن بوتادین رابر نسبت به استایرن اکریلیک به ویژه در شرایط عمل‌آوری مرطوب لحاظ کرد.

واژگان کلیدی: سیمان کلسیم آلومینات، پلیمر، استایرن اکریلیک، استایرن بوتادین رابر، خواص مکانیکی، مشخصات دوام.

saidikia1993@yahoo.com
h.madani@kgut.ac.ir

۱. مقدمه

سیمان آلومینات کلسیم، مقدار زیادی اکسید آلومینیوم دارد و به این لحاظ، متمایز از سایر سیمان‌های متداول (سیمان پرتلند، پوزولانی و ...) است. سیمان آلومینات کلسیم، خواصی از قبیل: سخت‌شوندگی و کسب مقاومت سریع، نفوذپذیری بسیار کم و مقاومت در برابر اسیدها دارد[۱-۴] و به سبب خواص اخیر می‌تواند به عنوان عامل چسباننده‌ی اجزاء بتن در ساخت تونل‌ها و بزرگراه‌ها و تعمیرات فرودگاه‌ها استفاده شود.[۵-۷] محصولات هیدراسیون سیمان آلومینات کلسیم، ابتدا محصولاتی نیمه پایدار هستند ($CAH_{۱۰}$ و $C_۲AH_۸$) و در اثر دو پارامتر دما و گذر زمان به محصولات پایدار ($C_۳AH_۶$ و $AH_۳$) تبدیل می‌شوند. به عنوان مثال، در دمای بیش از ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، فرایند تبدیل فازهای نیمه‌پایدار به فازهای پایدار در سیمان آلومینات کلسیم سرعت می‌گیرد. این تبدیل واکنش فازهای نیمه‌پایدار به فازهای پایدار سبب کاهش حجم محصولات هیدراسیون و در نتیجه افزایش تخلخل ساختاری می‌شود.[۸-۱۲] برخی از مواد می‌توانند از تبدیل واکنش‌ها ممانعت کنند، که به عنوان نمونه می‌توان به پودر آلومین اشاره کرد، که که با استفاده از آن، افت مقاومت چندانی در مخلوط‌های بتنی با گذشت زمان اتفاق نمی‌افتد.[۱۳]

مطالعات متعددی پیرامون تأثیر مواد افزودنی و مکمل‌های پایه سیمانی در خواص مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم صورت گرفته است. در مطالعه‌ی مصطفی و همکاران (۲۰۱۲)،[۵] پیرامون سیمان آلومینات کلسیم از دوده‌ی سیلیسی و خاکستر بادی به عنوان جایگزین بخشی از سیمان استفاده شده است. نتایج حاکی از آن هستند که مواد مذکور سبب بهبود خواص مکانیکی مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم می‌شوند و عملکرد خاکستر بادی در مقایسه با دوده‌ی سیلیسی مطلوب‌تر بوده است.

پویامهر و اطرج[۱] (۲۰۱۴)،[۱۴] تأثیر افزودن نانوذرات اکسید کروم در خواص سیمان‌های آلومیناتی حاوی اسپینل آلومینات منیزیم را مطالعه کردند و دریافتند که افزودن ۱/۵٪ وزنی نانوذرات اکسید کروم سبب افزایش زمان گیرش سیمان می‌شود و همچنین افزودن ترکیب‌های اخیر در ساختار مخلوط مورد مطالعه، مقاومت در برابر خوردگی مخلوط سیمانی را نیز بهبود می‌بخشد.

خالیق[۲] و خان (۲۰۱۵)،[۱۵] خواص بتن‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم را در دماهای ۲۳، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بررسی کردند و دریافتند که وجود آلومینات به عنوان ماده‌ی چسباننده باعث افزایش قابل توجه در عملکرد مکانیکی بتن‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم نسبت به بتن‌های معمول و رایج شده است. در دماهای بالا، تغییر در نمودارهای تنش - کرنش در هر دو نوع بتن

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۲/۱۳، اصلاحیه ۱۳۹۹/۷/۱، پذیرش ۱۳۹۹/۸/۱۸.
DOI:10.24200/J30.2020.55584.2754

www.SID.ir

Archive of SID

مشاهده شد. بتن‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم تا دمای ۲۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، مقاومت فشاری بیشتری نسبت به بتن‌های معمولی داشته‌اند، در حالی که در دمای بیش از ۲۰۰ درجه‌ی سلسیوس، میزان مقاومت فشاری بتن‌های معمولی بیش از بتن‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم است. عبدالهی و خراسانی (۱۹۷۰)،[۱۶] نیز مشخصات مکانیکی و نفوذپذیری بتن‌های اصلاح شده‌ی پلیمری حاوی رزین اکریلیک پایه آبی را بررسی و مشاهده کردند که رزین اکریلیک می‌تواند به عنوان روان‌کننده‌ی بتن استفاده شود و میزان آب مورد نیاز برای افزایش روانی بتن تازه را کاهش دهد. همچنین افزودن رزین با دمای کمینه‌ی تشکیل فیلم بالاتر از دمای مورد استفاده، علی‌رغم کاهش مقاومت فشاری سبب کاهش نفوذ یون کلراید تا ۱۴٪ می‌شود.

آندرکرکا[۳] و همکاران (۲۰۱۳)،[۱۷] به بررسی تأثیر سرباره‌ی کوره‌ی آهن‌گدازی در خواص مکانیکی مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیمی در دماهای مختلف پرداختند و دریافتند که استفاده بیش از ۴۰٪ سرباره‌ی کوره‌ی آهن‌گدازی می‌تواند از تبدیل واکنش‌های احتمالی سیمان آلومینات کلسیم ممانعت کرده و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری کمتری نسبت به مخلوط شاهد داشته است.

اجزاء مخلوط‌های پایه سیمانی به صورت رایج، شامل: سیمان، سنگ‌دانه و آب است؛ لیکن برای تولید یک مخلوط پایه سیمانی خاص با کاربرد، استفاده از مواد افزودنی و مکمل سیمانی لازم است. مواد پلیمری، گروهی از مواد افزودنی ذکر شده هستند که به ویژه در سال‌های اخیر، کاردبردهای وسیعی در صنعت بتن پیدا کرده‌اند. استفاده از مواد پلیمری در مخلوط‌های پایه سیمانی باعث تغییر در ساختار بتن می‌شود، به گونه‌یی که به جای ماتریس سیمان، در مخلوط‌های اصلاح شده، ماتریس ترکیبی پلیمر - سیمان هیدراته ایجاد می‌شود.[۱۸] مواد پلیمری بسته به نوع و مقادیر مصرف می‌توانند عملکرد متفاوتی در ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی نشان دهند و سبب بهبود و یا نقصان در برخی خواص شوند. پلیمرها به سبب ایجاد حباب هوا در ساختار می‌توانند سبب افزایش تخلخل ساختاری و افزایش مقاومت بتن در برابر یخبندان شوند.[۱۹ و ۲۰] استفاده از پلیمر در مصالح پایه سیمانی می‌تواند سبب افزایش میزان چسبندگی بین ذرات و اجزاء بتن شود و مقاومت سطح اتصال به سطوح زیرین را بهبود بخشد،[۲۱] لذا استفاده از مصالح پایه سیمانی درکاربردهای تعمیراتی بسیار رایج است.

شایان ذکر است که مطالعات چندانی در مورد تأثیر مواد پلیمری در خواص مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم انجام نشده است و از جمله‌ی مطالعات مذکور می‌توان به مطالعه‌ی یوکرینزیک و همکاران[۱۱] اشاره کرد. آنها در تحقیق خود به مطالعه در رابطه با مخلوط پایه سیمان آلومینات کلسیم اصلاح شده با لاتکس استایرن بوتادین پرداختند و دریافتند که افزودن لاتکس به مخلوط سبب کاهش مقاومت فشاری می‌شود، لیکن مقاومت خمشی و خاصیت چسبندگی به سطوح بتنی را افزایش می‌دهد؛ همچنین این نوع پلیمرها کارایی (روانی) را بالا می‌برد و تولید محصولات هیدراسیون را به تعویق می‌اندازند.

لیو[۴] و همکاران (۲۰۲۰)،[۲۲] به مطالعه‌ی آزمایشگاهی پیرامون بررسی خواص مکانیکی و نفوذپذیری بتن‌های سیمان پرتلند اصلاح شده‌ی پلیمری پرداخته و از سه نوع پلیمر استایرن بوتادین رابر، پلی آکریلیک استر و سیلیکون آلی ضد آب استفاده کرده‌اند. نتایج پژوهش اخیر نشان می‌دهد که اختلاط اصلاح کننده‌ی پلیمر مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد و خاکستر بادی می‌تواند این اثر منفی را بهبود بخشد. هر سه اصلاح‌کننده‌ی پلیمر می‌توانند نفوذپذیری بتن را به میزان قابل توجهی کاهش دهند و اثر آن در نسبت آب به مواد سیمانی بالا قابل توجه است.

بحرانی‌فرد[۵] و همکاران (۲۰۱۹)،[۲۳] نیز به بررسی تأثیر کوپلیمر استایرن بوتیل آکریلات در خواص بتن پرداخته‌اند و برای افزایش کارایی وکاهش حباب‌زایی مخلوط از فوق روان‌ساز و ضدکف استفاده کرده و تأثیر مواد مذکور را در خواص مکانیکی مخلوط‌های پایه سیمانی سنجیده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که استفاده از استایرن بوتیل آکریلات به همراه مواد ضد کف و روان‌ساز می‌تواند سبب افزایش کارایی و بهبود خواص مکانیکی، نظیر مقاومت خمشی نسبت به مخلوط فاقد مواد مذکور شود و در عین حال، سبب کاهش مقاومت فشاری نسبت به مخلوط شاهد نیز شود؛ لیکن استفاده از ضد کف و همچنین فوق روان‌ساز سبب افزایش مقاومت فشاری مخلوط‌های مواد اشاره شده نسبت به مخلوط‌های بدون ضد کف و فوق روان‌ساز می‌شود.

یانگ کوگ[۶] (۲۰۲۰)،[۲۴] چسبندگی به سطوح زیرین ملات‌های سیمان پرتلند اصلاح شده با پلیمرهای توزیع‌شونده را مطالعه کرده است و از سه نوع پلیمر اتیلن وینیل استات، استایرن بوتادین رابر و استایرن وینیل اکریلیک استر در ۴ شرایط عمل‌آوری مرطوب، خشک، استاندارد و تحت دمای بالا برای تعیین چسبندگی ملات‌های اصلاح شده به سطح زیرین خود استفاده کرده و دریافته است که در شرایط استاندارد و شرایط عمل‌آوری خشک به ترتیب مخلوط‌های اصلاح شده با پلیمرهای اتیلن وینیل استات، استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک استر نتایج بهتری در مقایسه با سایر شرایط عمل‌آوری داشته‌اند و در حقیقت چسبندگی میان دو سطح به نوع پلیمر، درصد استفاده از پلیمر و همچنین شرایط عمل‌آوری بستگی دارد.

گانسیان[۷] و همکاران (۲۰۱۴)،[۲۵] در یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی تأثیر هیبرید پلیمرهای استایرن بوتادین رابر و اپوکسی را درکسب مقاومت فشاری مخلوط‌های پایه سیمان پرتلند بررسی کردند و دریافتند که ترکیب دو پلیمر مذکور با یکدیگر سبب کاهش خواص مکانیکی مخلوط‌های اصلاح شده نسبت به مخلوط کنترل (فاقد پلیمر) شده است.

چهرازی و همکاران (۲۰۲۰)،[۲۶] نیز در بررسی و مقایسه مشخصات مکانیکی و دوام مخلوط پایه سیمان پرتلند اصلاح شده با اتیلن وینیل استات ، استایرن اکریلیک و استایون بوتادین دریافتند که خواص دوام با استفاده از مواد پلیمری بهبود می‌یابد و پلیمر اتیلین وینیل استات نسبت به پلیمر استایرن اکریلیک با ۵ تا ۱۵ درصد استفاده، خواص مکانیکی و دوام را به مراتب بیش از پلیمر استایرن اکریلیک بهبود می‌بخشد. رفتار بتن‌های اصلاح شده‌ی پلیمری حاوی سنگ‌دانه‌های بازیافتی نیز توسط اسعد و داعو (۲۰۱۷)،[۲۷] بررسی و مشخص شد که افزودن پلیمر استایرن بوتادین به میزان ۱ تا ۳ درصد وزن سیمان، سبب افزایش خواص مکانیکی بتن در مقایسه با مخلوط‌های بتنی با سنگ‌دانه‌های بازیافتی فاقد پلیمر و نیز سبب افزایش کارایی مخلوط‌های اشاره شده می‌شود.

ناپن[۸] و همکاران (۲۰۱۵)،[۲۸] به بررسی تأثیر پلیمرهای محلول در آب از قبیل پلی وینیل الکل، استات، هیدروکسی‌اتیل سلولز و متیل سلولز بر مخلوط‌های پایه‌سیمانی (سیمان پرتلند) در نسبت پلیمر به سیمان کمتر از ۵٪ پرداختند و با توجه به مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی دریافتند که فیلم پلیمر در متیل سلولز تشکیل و تشخیص داده می‌شود؛ در حالی که در هیدروکسی‌اتیل سلولز هیچ‌گونه فیلم پلیمری مشاهده نشده است. فیلم پلیمرهای پلی‌وینیل الکل - استات نیز پس از قرارگیری در زیر آب به سختی قابل مشاهده هستند.

فیترا[۹] و همکاران (۲۰۱۳)،[۲۹] واکنش قلیایی سیلیسی سنگدانه درمخلوط‌های پایه سیمانی حاوی پلیمر (پایه آبی) را مطالعه کردند، که در آن از استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک به عنوان پلیمرهای اصلاح‌کننده استفاده شده بود و دریافتند که مقاومت فشاری و خمشی به ترتیب کاهش و افزایش یافته است، همچنین در

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. آنالیز شیمیایی سیمان مصرفی.

آنالیز شیمیایی (درصد)					
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2
۵	۳۵	۱۸	۴۰	۰/۵	۱/۵

نمونه‌های اصلاح شده با پلیمر، ریزترک‌های ناشی از واکنش قلیایی سیلیسی بسیار کمتر از نمونه‌های فاقد پلیمر بوده است.

دوژان[۱۰] و همکاران (۲۰۱۶)،[۳۰] نیز در یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی به بررسی تأثیر کوپلیمر استایرن بوتادین رابر در بتن‌های با مقاومت بالا پرداخته‌اند، که همچون مطالعات پیشین، آثار کاهش مقاومت فشاری را نشان داده‌اند.

آنکور بوگایاتا[۱۱] و همکاران (۲۰۱۸)،[۳۱] به بررسی کارپذیری، مقاومت و دوام مخلوط‌های پایه سیمانی حاوی هر دو مواد الیاف پلاستیکی و پلیمر (پایه آبی) استایرن بوتادین رابر به صورت همزمان پرداخته‌اند. نتایج آزمایش‌هایشان نشان‌دهنده‌ی بهبود مقاومت در برابر ترک‌خوردگی، افزایش مقاومت خمشی و کاهش میزان نفوذ آب و مواد شیمیایی به درون مخلوط سخت شده است. برخی پژوهشگران،[۳۲ و ۳۳] نیز به نتایجی مشابه با پژوهش حاضر دست یافته‌اند.

پژوهشگران متعددی همچون دیامانتی[۱۲] و همکاران (۲۰۱۳) و هانگ[۱۳] و همکاران (۲۰۱۰)،[۳۴ و ۳۵] نفوذپذیری را در مخلوط‌های اصلاح شده‌ی پلیمری بررسی قرار کردند و دریافتند که افزودن پلیمر می‌تواند سبب کاهش میزان نفوذپذیری مخلوط‌ها شود.

پژوهش حاضر به منظور اصلاح ساختار مخلوط‌های پایه سیمان کلسیم آلومینات، به مقایسه‌ی تأثیر مواد پلیمری استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک پرداخته است. شایان ذکر است که مطالعه‌ی مشابهی در این زمینه انجام نشده است و نتایج آن می‌تواند در زمینه‌های صنعتی و مطالعات آتی استفاده شود.

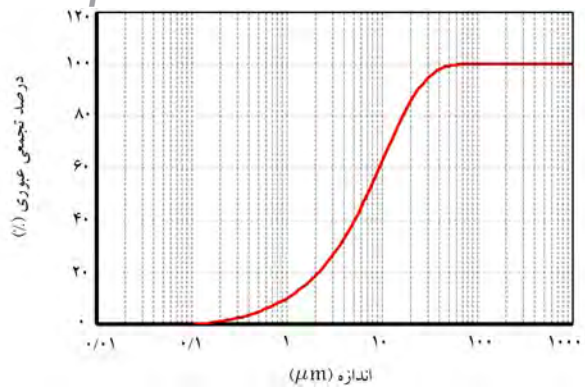
۲. مواد و مصالح

۱.۲. سیمان

در مطالعه‌ی حاضر به منظور ساخت مخلوط‌های پایه سیمانی از سیمان آلومینات کلسیم IRC_۴۰ تولید شرکت سیمان‌های نسوز ایران استفاده شده است، که سطح ویژه‌ی آن برابر ۳۱۰۰ سانتی‌مترمربع برگرم و چگالی ذرات ۳/۳ گرم برسانتی‌مترمکعب بوده است. آنالیز شیمیایی این محصول، که با روش XRF مشخص شده است، در جدول ۱ ارائه شده است.

۲.۲. سنگدانه

در پژوهش حاضر از سنگدانه‌های سیلیسی برای ساخت مخلوط‌های پایه سیمانی استفاده شده است. همچنین به منظور ساخت مخلوط‌های با چگالی تراکم بالا از از منحنی فانک و دینگر با توان ۰/۳ برای دانه‌بندی سنگدانه استفاده شده است. ماسه‌های مصرفی، شامل ۴۸٪ ماسه‌ی سیلیسی درشت (۰/۶-۲/۳۶ میلی‌متر)، ۳۲٪ ماسه‌ی سیلیسی ریز (با ابعاد کوچک‌تر از ۰/۱۵ میلی‌متر) و ۲۰٪ ماسه‌ی سیلیسی پودری (۰/۰۵-۰/۴ میلی‌متر) بوده‌اند. وزن مخصوص و رطوبت اشباع با سطح خشک ماسه‌ی ترکیبی مصرفی مطابق جدول ۲ است. منحنی دانه‌بندی استفاده شده در پژوهش حاضر نیز مطابق شکل ۱ است.



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی استفاده شده در پژوهش حاضر.

شکل ۲. تصویر پلیمرهای استایرن بوتادی رابر (سمت چپ) و استایرن اکریلیک (سمت راست) مصرفی در مطالعه‌ی حاضر.

۳.۲. پلیمر

در پژوهش حاضر از دو نوع ماده‌ی پلیمری استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک، که به ترتیب از نوع پلیمرهای الاستومری و ترموپلاستیک محسوب می‌شوند، استفاده شده است، که به صورت لاتکس بودند و مشخصات فیزیکی و شیمیایی آنها در جدول ۳ ارائه شده است. شکل ۲، نیز نمایی از پلیمرهای مصرفی در مطالعه‌ی حاضر را نشان می‌دهد.

۴.۲. آب و روان‌ساز

در ساختار مخلوط‌های بررسی شده از فوق روان‌ساز مایع و بر پایه‌ی پلی‌کربوکسیلات اتر و وزن مخصوص ۱۰۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شده است. همچنین آب استفاده شده از نوع آب شهری بوده است.

۳. آماده‌سازی و روش آزمون نمونه‌ها

برای ساخت مخلوط‌ها، ابتدا به مدت ۳ دقیقه مصالح خشک، شامل سیمان و سنگدانه‌ها در مخلوط‌کن با یکدیگر مخلوط شده‌اند. به صورت جداگانه، ماده‌ی پلیمری و آب نیز مخلوط و در حین اختلاط به مصالح خشک اضافه شده‌اند. پس از مخلوط کردن مصالح مصرفی به مدت ۳ دقیقه‌ی دیگر و رسیدن به روانی مطلوب، مخلوط همگن آماده شده قالب‌گیری شده و عملیات تراکم با استفاده از میز ویبره انجام شده است. پس از تراکم، سطح نمونه‌ها صاف شده

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. مشخصات فیزیکی سنگدانه‌های سیلیسی مصرفی.

جرم مخصوص (کیلوگرم بر مترمکعب)	درصد رطوبت اشباع با سطح خشک (SSD)
۲۵۵۵	۰/۶

جدول ۳. مشخصات فیزیکی پلیمرهای بررسی شده.

نام	اندازه‌ی ذرات	درصد جامد	ظاهر	چگالی	PH
استایرن بوتادین رابر	μm۱۵۰	۵۰±٪۱	مایع سفید رنگ	g/cm^3 ۱/۰۱	۸-۹
استایرن آکریلیک	μm۱۷۰	۵۰±٪۱	مایع سفید رنگ	g/cm^3 ۱/۰۴	۵-۶

جدول ۴. طرح اختلاط مورد بررسی بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب.

کد طرح اختلاط	W/C ٪	آب آزاد	سیمان	ماسه	روانساز	پلیمر
				Kg/m^3		
N-Plain	۰/۳۸	۲۰۹	۵۵۰	۱۵۳۴	۳/۸۵	۰
SBR-۵	۰/۳۸	۲۰۹	۵۵۰	۱۴۷۱	۱/۱	۲۷/۵
SBR-۱۵	۰/۳۸	۲۰۹	۵۵۰	۱۳۲۹/۵	۱/۳۷۵	۸۲/۵
SBR-۲۵	۰/۳۸	۲۰۹	۵۵۰	۱۱۹۱	۰/۵۵	۱۳۷/۵
SA-۵	۰/۳۸	۲۰۹	۵۵۰	۱۴۶۹	۲/۷۵	۲۷/۵
SA-۱۵	۰/۳۸	۲۰۹	۵۵۰	۱۳۲۳/۵	۷/۳۲	۸۲/۵
SA-۲۵	۰/۳۸	۲۰۹	۵۵۰	۱۱۸۷	۷/۷	۱۳۷/۵

و تحت یک پوشش مرطوب قرار گرفته است. بعد از گذشت ۲۴ ساعت از قالب‌گیری، نمونه‌ها از قالب خارج و به مدت ۶ روز تحت شرایط مرطوب (غوطه‌وری در آب) عمل‌آوری شده‌اند. پس از آن، نمونه‌ها از آب خارج و تا زمان انجام آزمون‌ها در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در محیط با شرایط خشک نگهداری شده‌اند.

در مطالعه‌ی آزمایشگاهی حاضر، برای هرکدام از مشخصات و در هر سنی، ۳ نمونه آزمایش شده و نتایج از میانگین‌گیری آنها به دست آمده است، آزمون مقاومت فشاری مطابق با استاندارد ASTM C-۱۰۹،[۳۶] بر روی نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۵۰ × ۵۰ × ۵۰ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۵۳۰ کیلوگرم بر ثانیه انجام شده است.

به منظور انجام آزمون مقاومت خمشی مطابق با استاندارد EN-۱۹۶،[۳۷] از نمونه‌های منشوری ۴۰ × ۴۰ × ۱۶۰ میلی‌متر استفاده شده است. مطابق روش مذکور، نمونه‌ی مشابه تیر خمشی با تکیه‌گاه مفصلی تحت بارگذاری متمرکز تک‌نقطه‌یی در وسط دهانه بین دو تکیه‌گاه قرار گرفته و سرعت بارگذاری روی نمونه‌ها برابر با ۱/۲۵ (mm/min) بوده است.

برای تعیین مقاومت کششی از آزمایش کشش مستقیم مشابه با روش مذکور در استاندارد ASTM -C۳۰۷ استفاده شده است.

در آزمون کشش مستقیم، نمونه‌های براکتی در سنین مورد نظر داخل فک‌های فولادی قرار می‌گیرند و با نرخ بارگذاری (mm/min) ۰/۵ نیرو اعمال می‌شود.

آزمون ضریب نفوذ موئینه و ضریب مهاجرت تسریع شده‌ی یون کلراید مطابق با استانداردهای ASTM C-۱۵۸۵[۳۸] و NT Build ۴۹۲،[۳۹] بر روی نمونه‌های استوانه‌یی با ضخامت ۵۰ میلی‌متر و قطر ۱۰۰ میلی‌متر انجام پذیرفته است.

۴. طرح مخلوط

در طرح مخلوط‌ها از ۵۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب سیمان آلومینات کلسیم استفاده شده است. مقادیر جامد مواد پلیمری نیز برابر با ٪۵، ٪۱۵ و ٪۲۵ وزن سیمان بودند، که به عنوان جایگزینی از سنگدانه در نظر گرفته شده‌اند.

در مورد محدوده‌ی استفاده از پلیمرهای مصرفی در پژوهش حاضر، ذکر این نکته ضروری است که میزان دست‌کم ٪۵ پلیمر تا حدی جهت تشکیل فیلم پلیمرها در ساختار مخلوط لازم است، که با افزایش آن به صورت پیش‌فرض این احتمال مطرح می‌شود که تشکیل ساختار پلیمری قوی‌تر می‌شود، لیکن با افزایش مقدار پلیمر آثار سوء استفاده از این مواد همچون کاهش شدید برخی خواص مقاومتی یا تأخیر زیاد در زمان گیرش و هزینه‌ی بالای ساخت مطرح می‌شود.[۲۸] لذا در مطالعه‌ی حاضر، درصد پلیمر به ٪۲۵ وزن سیمان محدود شده است.

در طرح مخلوط‌های مطالعه شده، نسبت آب به سیمان برابر ۰/۳۸ بوده است، که به منظور ثابت نگه داشتن نسبت مذکور (۰/۳۸)، میزان آب موجود در روانساز و مواد پلیمری به عنوان بخشی از آب مصرفی لحاظ شده است. کلیه‌ی طرح مخلوط‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

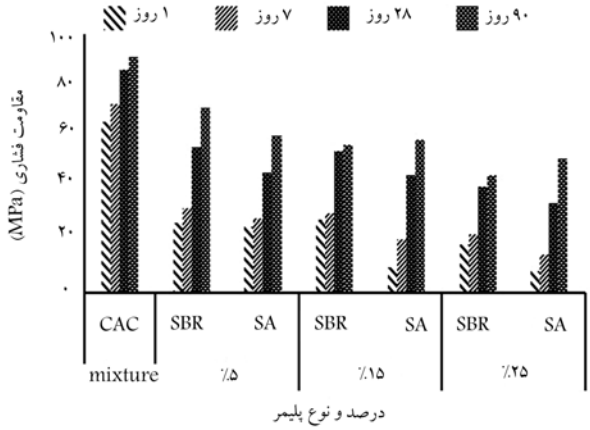
۵. نتایج و بحث

۱.۵. مقاومت فشاری

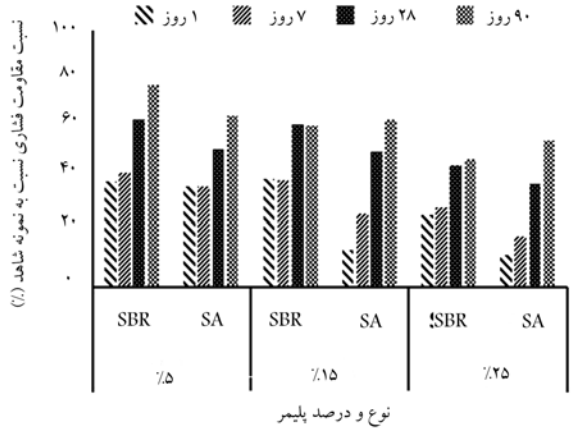
در شکل ۳، مقاومت فشاری مخلوط شاهد (N) و مخلوط‌های اصلاح شده با پلیمرهای استایرن بوتادین رابر (SBR) و استایرن اکریلیک (SA) در سنین ۱، ۷،

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. مقاومت فشاری مخلوط شاهد و مخلوط های اصلاح شده با استایرن بوتادین رابر و استایر اکریلیک.



شکل ۴. میزان مقاومت کسب شده‌ی مخلوط‌های اصلاح شده‌ی پلیمری نسبت به مخلوط شاهد.

۲۸ و ۹۰ روزه مشاهده می‌شود. مطابق نتایج به دست آمده در تمامی سنین می‌توان دریافت که نمونه‌ی شاهد با مقاومتی برابر با ۶۶، ۷۳، ۸۶ و ۹۱ مگاپاسکال بیشترین میزان مقاومت را نسبت به سایر مخلوط‌ها داشته است. همچنین همان طور که در شکل ۳ مشهود است، مقاومت یک روزه‌ی مخلوط شاهد برابر ۶۶ مگاپاسکال بوده است، که این میزان برای سنین اولیه، مقاومت بالایی محسوب می‌شود، به طوری که از سن ۱ تا ۹۰ روز فقط ۲۷٪ رشد کرده و نشان‌دهنده‌ی تمایز سیمان مذکور با سیمان پرتلند از لحاظ خواص کسب مقاومت آن بوده است.

اصلاح مخلوط شاهد با استفاده از استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک در تمامی سنین، سبب کاهش مقاومت فشاری این قبیل مخلوط‌ها در مقایسه با مخلوط شاهد شده است، که افزایش درصد پلیمر، کاهش اخیر مقاومت فشاری را تشدید کرده است. مطابق با نتایج حاصل از آزمون مقاومت فشاری می‌توان دریافت که در سنین ۱، ۷ و ۲۸ روز و در درصد پلیمر یکسان، مخلوط‌های حاوی استایرن بوتادین رابر، مقاومت فشاری بیشتری نسبت به مخلوط‌های اصلاح شده با استایرن اکریلیک داشته‌اند. لیکن پس از طی کردن روند خشک شدن تا سن ۹۰ روز در نمونه‌های حاوی ۱۵ و ۲۵ درصد پلیمر، نمونه‌های با استایرن اکریلیک مقاومت بیشتری در مقایسه با نمونه‌های حاوی استایرن بوتادین رابر کسب کرده‌اند، که علت این مسئله را می‌توان مرتبط با افزایش سن نمونه‌ها و همچنین پُرکنندگی فضاهای تخلخل توسط فیلم‌های پلیمری استایرن اکریلیک دانست. شایان ذکر است که استایرن اکریلیک بر خلاف استایرن بوتادین رابر پس از خشک شدن مقاومت قابل توجهی دارد، که خود می‌تواند سبب افزایش مقاومت مخلوط‌های حاوی این نوع پلیمر نسبت به نمونه‌های حاوی استایرن بوتادین رابر شود. همچنین نتایج حاکی از آن هستند که با افزایش درصد پلیمرها، یک روند کاهش مقاومت فشاری در مخلوط‌ها مشاهده می‌شود.

نسبت مقاومت فشاری کسب شده‌ی آزمونه‌های اصلاح شده‌ی پلیمری در مقایسه با مخلوط شاهد نیز در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

مواد پلیمری استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک به دلیل داشتن سورفکتنت در ساختار خود به منظور ممانعت از کلوخه‌شدگی ذرات و افزایش روانی، سبب حباب‌سازی در ریزساختار ملات تازه می‌شوند. لیکن با تراکم نمونه‌ها توسط میز لرزان، بخشی از این حباب کاسته می‌شود و بخش باقی‌مانده‌ی آن به عنوان تخلخل ریزساختاری می‌تواند سبب کاهش مقاومت فشاری شود. در درصد بالای استفاده از پلیمرهای مذکور، میزان سورفکتنت‌ها و در نتیجه حباب‌زایی افزایش یافته است، که این مسئله دلیل بخشی از افت شدید مقاومت فشاری برای مخلوط های حاوی درصد بالای پلیمر (۱۵ و ۲۵ درصد) است. از دیگر علل کاهش مقاومت می‌توان به کاهش هسته‌زایی برای تشکیل محصولات هیدراسیون ناشی از واکنش‌های سیمان آلومینات کلسیم اشاره کرد. همچنین شایان ذکر است که در مخلوط‌های اصلاح شده با مواد پلیمری، پس از ترکیب ذرات پلیمر در فضای آبی موجود، پلیمرها به سرعت در میان ساختار مخلوط توزیع شده و مقداری از آب لازم جهت هیدراسیون سیمان را جذب کرده و همین امر سبب بالارفتن لزجت فضای آبی شده است و در نهایت، کاهش آب آزاد محیطی، که یکی از عوامل مهم در هیدراسیون ذرات سیمان محسوب می‌شود، را سبب شده است. همچنین با مصرف مقداری از آب در واکنش با ذرات سیمان، ذرات پلیمر پراکنده در آب به همدیگر نزدیک شده‌اند، تا جایی که فضای آبی به حالت فوق اشباع رسیده و مقداری از ذرات پلیمر به یکدیگر پیوسته‌اند و بر روی سطوح ذرات واکنش‌نداده‌ی سیمان و یا خمیر سیمان رسوب کرده‌اند، لذا با پوشیده شدن بخشی از سطوح فعال ذرات سیمان، درجه‌ی هیدراسیون سیمان کاهش پیدا کرده است. بنابراین در نمونه‌های حاوی مواد پلیمری، سرعت واکنش هیدراسیون سیمان کاهش یافته است، که شدت آن وابسته به نوع و میزان پلیمر مصرفی است و می‌تواند عاملی مهم در کاهش مقاومت فشاری مخلوط‌های اصلاح شده‌ی پلیمری خصوصاً در سنین اولیه باشد.

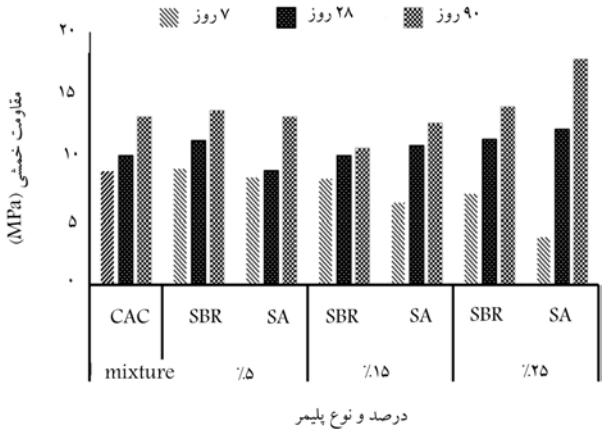
در ارتباط با علت تفاوت میزان مقادیر مقاومت فشاری دو نوع پلیمر مصرفی استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک نیز می‌توان بیان کرد که نحوه‌ی پلیمریزاسیون آنها در ساختار مخلوط‌ها، اندازه‌ی ذرات پلیمرها، میزان سطح پوشانندگی ذرات سیمان توسط پلیمرهای اصلاحی (ممانعت از هیدراسیون ذرات) و در نهایت نوع حالت (سختی و نرمی) پلیمرها پس از انجام پلیمریزاسیون در ساختار مخلوط‌های سخت شده از جمله عللی هستند که می‌توانند تأثیر مستقیم در میزان مقامت فشاری آزمونه‌های اصلاحی مورد مطالعه داشته باشند.

۲.۵. مقاومت خمشی

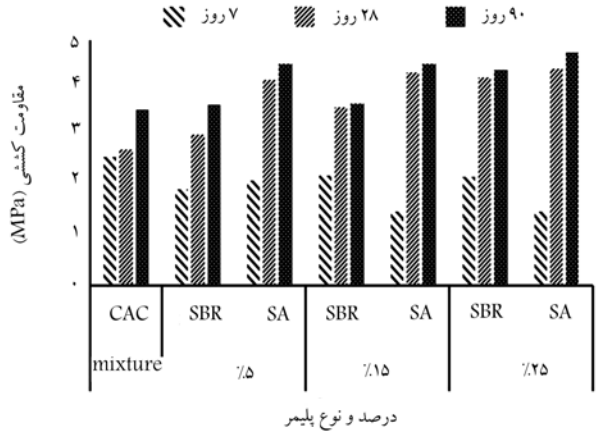
در شکل ۵، مقاومت خمشی مخلوط شاهد و مخلوط‌های اصلاح شده‌ی پلیمری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه مشاهده می‌شود. پلیمرها در برابر آب ضعیف هستند و همین امر سبب تضعیف ساختاری مخلوط‌های پایه سیمانی اصلاح شده با مواد پلیمری در سن ۷ روزه شده است. استایرن آکریلیک نیز از پلیمرهایی است که حساسیت بالایی به رطوبت دارد و در محیط مرطوب پلیمریزاسیون به صورت مطلوب انجام نمی‌پذیرد، بنابراین مطابق شکل ۵، نمونه‌های حاوی درصدهای مختلف پلیمر جز

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. مقاومت خمشی مخلوط شاهد و مخلوط‌های اصلاح شده با استایرن بوتادین رابر و استایر اکریلیک.



شکل ۶. مقاومت کششی مخلوط شاهد و مخلوط‌های اصلاح شده با استایرن بوتادین رابر و استایر اکریلیک.

استایرن بوتادین رابر، ۵ درصد مقاومت خمشی کمتری نسبت به مخلوط شاهد داشته‌اند.

با افزایش درصد پلیمر در تمامی پلیمرهای استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک، افت مقاومت خمشی تشدید می‌شود. به عنوان مثال در سن ۷ روزه، نمونه‌های محتوی ۵، ۱۵ و ۲۵٪ استایرن آکریلیک به ترتیب ۵، ۲۸ و ۵۸٪ کاهش مقاومت نسبت به نمونه‌ی شاهد داشته‌اند، که این مقدار کاهش مقاومت خمشی با افزایش پلیمر تشدید شده است.

افزایش سن و تغییر شرایط عمل‌آوری آزمونه‌ها سبب رشد مقاومت خمشی آنها شده است، به گونه‌یی که با افزایش سن از ۷ به ۲۸ و ۹۰ روز مشاهده می‌شود که با تغییر نوع عمل‌آوری از حالت مرطوب به خشک، آزمونه‌های اصلاح شده با درصدهای مختلف پلیمر جز ۵٪ استایرن اکریلیک، مقاومت بیشتری نسبت به مخلوط شاهد داشته‌اند، که علت افزایش مدول گسیختگی را می‌توان به تشکیل فیلم‌های پلیمری در ساختار مخلوط‌های سخت شده مربوط دانست. پس از طی دوره‌ی عمل‌آوری مرطوب و قرارگیری آزمونه‌ها در شرایط خشک، ذرات پلیمر به یکدیگر نزدیک شده و پیوندهای پلیمری در ساختار مخلوط شکل گرفته و یک غشاء پلیمری در ساختار مخلوط ایجاد شده است. همچنین آب محبوس در ساختار پلیمرها به تدریج آزاد شده و با سیمان واکنش نشان داده است، که همین امر سبب افزایش درجه‌ی هیدراسیون ذرات سیمان و بالطبع افزایش مقاومت خمشی شده است. علت کاهش مقاومت خمشی در نمونه‌ی حاوی ۵٪ استایرن اکریلیک در سن ۲۸ روز، اندک بودن میزان فیلم‌های پلیمری در ساختار مخلوط‌های مذکور به دلیل کم بودن میزان پلیمر مذکور بوده است.

در سن ۹۰ روز، بهبود مقاومت خمشی مخلوط‌های اصلاح شده‌ی پلیمری کاملاً مشهود است. در این سن نمونه‌های اصلاح شده با ۲۵٪ استایرن اکریلیک با مقاومت خمشی ۱۷/۹ مگاپاسکال، بیشترین میزان مقاومتی را داشته‌اند، که این میزان ۳۴٪ بیش از مخلوط شاهد با مقاومت خمشی ۱۳/۳ مگاپاسکال بوده است. علت این مسئله ناشی از دو عامل افزایش سن و همچنین تشکیل فیلم پلیمرهای گسترده در ساختار این نوع مخلوط به علت برقرار بودن شرایط عمل‌آوری خشک و میزان بالای پلیمر است. پس از مخلوط اصلاح شده با ۲۵٪ استایرن اکریلیک، مخلوط اصلاح شده با ۲۵٪ استایرن بوتادین رابر با ۱۴ مگاپاسکال بیشترین مقاومت خمشی را در بین مخلوط‌ها داشته است. در مقایسه میان دو پلیمر ذکر شده می‌توان مشاهده کرد که نمونه‌های حاوی استایرن اکریلیک مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی استایرن بوتادین رابر داشته‌اند. در استفاده‌ی ۵ درصد از مواد پلیمری مشاهده می‌شود که نمونه‌ی استایرن بوتادین رابر با مقاومت ۱۳/۸ مگاپاسکال، مقاومتی بیش از نمونه‌ی شاهد داشته است و مخلوط با درصد مشابه استایرن اکریلیک مقاومت یکسان با مخلوط شاهد داشته است؛ به عبارتی، در استفاده‌ی ۵ درصدی از مواد پلیمری، بهبود چندانی در مقاومت خمشی حاصل نشده است؛ که دلیل آن را می‌توان به تأثیر اندک این نوع پلیمر در درصدهای استفاده‌ی کم در ساختار مخلوط در آزمون‌های خمشی مرتبط دانست. همچنین نتایج نشان می‌دهند که در ۱۵٪ جایگزینی پلیمر، کمترین حد مقاومتی نسبت به سایر درصدهای استفاده شده‌ی پلیمر (۵ و ۲۵ درصد) به دست آمده است.

در مقایسه‌ی مقاومت خمشی آزمونه‌های حاوی ۱۵ و ۲۵ درصد استایرن اکریلیک و استایرن بوتادین رابر می‌توان دریافت که نمونه‌های حاوی استایرن اکریلیک، مقاومت خمشی بیشتری داشته‌اند. علت این مسئله می‌تواند بستگی به نوع پلیمر (حالت ارتجاعی پلیمر پس از پلیمریزاسیون در ساختار مخلوط) و تا حدودی ابعاد ذرات پلیمر داشته باشد، به طوری که هر چه ابعاد ذرات پلیمر بزرگ‌تر باشد، می‌تواند فیلم‌های گسترده‌تری را در ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی تشکیل دهد، که در رابطه با نمونه‌های حاوی استایرن اکریلیک صدق می‌کند.

۳.۵. مقاومت کششی

در شکل ۶، میزان مقاومت کششی مخلوط‌های اصلاح شده‌ی پلیمری و مخلوط شاهد در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه مشاهده می‌شود. در سن ۷ روز، که آزمونه‌ها تحت شرایط عمل‌آوری مرطوب قرار داشتند، میزان مقاومت کششی مخلوط شاهد برابر ۲/۶۳ مگاپاسکال بوده است، که این مقاومت، بیشینه‌ی میزان مقاومت کششی میان مخلوط‌های مورد آزمون است. همچنین در سن ۷ روز، نمونه‌های اصلاح شده‌ی پلیمری علی‌رغم داشتن مواد پلیمری، هیچ بهبود عملکردی نسبت مخلوط شاهد نداشته‌اند و کاهش مقاومت کششی برای آنها مشاهده شده است. این کاهش مقاومت کششی با افزایش میزان پلیمر از ۵ به ۱۵ و ۲۵ درصد نیز مشهود است.

در سن ۲۸ و ۹۰ روز، که آزمونه‌ها تحت شرایط عمل‌آوری خشک نگهداری شده و شرایط لازم برای تشکیل فیلم‌های پلیمری در ماتریس خمیر سیمان وجود داشته است، افزایش مقاومت کششی نمونه‌های اصلاح شده‌ی پلیمری نسبت به مخلوط شاهد محسوس بوده است. مواد پلیمری در ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی ضمن ایجاد پیوند بین ذرات، باعث انسجام ساختاری مطلوبی در میان منافذ مخلوط‌های

www.SID.ir

Archive of SID

سخت شده می‌شوند، که این عامل سبب افزایش میزان پیوند اجزاء و تقویت ناحیه‌ی انتقالی میان سنگدانه‌ها و ذرات سیمان شده است و در نهایت، باعث افزایش مقاومت کششی مخلوط‌های اصلاح شده‌ی پلیمری در مقایسه با مخلوط شاهد (مخلوط فاقد پلیمر) نیز شده است. لذا در سنین ۲۸ و ۹۰ روز، افزایش پلیمرهای استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک موجب افزایش مقاومت کششی شده است، اما در مقایسه‌ی میان دو پلیمر مشاهده می‌شود که مخلوط‌های اصلاح شده با پلیمر استایرن اکریلیک، مقاومت کششی بیشتری نسبت به مخلوط حاوی استایرن بوتادین رابر داشته‌اند، که علت این امر را می‌توان تشکیل گسترده‌ی فیلم‌های پلیمری در استایرن اکریلیک نسبت به استایرن بوتادین رابر دانست. میزان مقاومت کششی آزمونه‌ی ۹۰ روزه حاوی استایرن اکریلیک و استایرن بوتادین رابر برابر ۴/۷۶ و ۴/۴ مگاپاسکال بوده است، که نشانگر بیشینه‌ی مقاومت کششی در میان سایر مخلوط‌هاست. این میزان مقاومت کششی برای مخلوط‌های مذکور به ترتیب ۳۲ و ۲۲ درصد بیش از مقاومت مخلوط شاهد با ۳/۶ مگاپاسکال مقاومت کششی بوده است.

۴.۵. میزان جذب مویینه

میزان جذب موئینه‌ی آب در حقیقت میزان نفوذ موئینه‌ی آب در ساختار مخلوط‌های سخت شده را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از آزمون مذکور، که در سنین ۷ و ۲۸ انجام شده است، به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شوند.

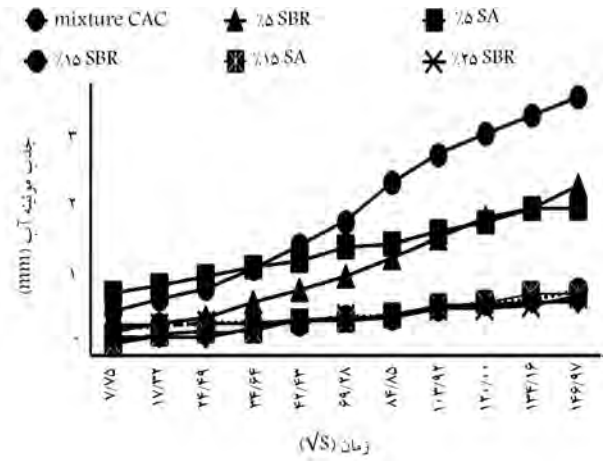
مطابق نتایج به دست آمده در سن ۷ روز، استفاده از مواد پلیمری به ویژه در درصدهای بالاتر جایگزینی، میزان نفوذ موئینه‌ی آب در ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی را کاهش داده است. در آزمونه‌های حاوی ۵٪ استایرن اکریلیک و استایرن بوتادین رابر برای سن ۷ روز به ترتیب ۴۳ و ۳۴ درصد کاهش میزان جذب موئینه آب در مقایسه با مخلوط شاهد مشاهده شده است.

در ۱۵ و ۲۵ درصد، همان طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، اختلاف مشهودی میان میزان جذب آب دو پلیمر مذکور نسبت به یکدیگر مشاهده نمی‌شود و می‌توان بیان کرد که در ۱۵ و ۲۵ درصد استفاده از هر دو نوع پلیمر بیش از ۹۰٪ کاهش میزان جذب موئینه‌ی آب در پایان ۶ ساعت اولیه مشاهده شده است. این نتایج نشان می‌دهند که ذرات ریز لاتکس استایرن بوتادین رابر و استایرن آکریلیک با تشکیل فیلم‌های پلیمری منافذ موئینه را مسدود و از نفوذ آب در ساختار جلوگیری می‌کنند و همچنین وجود ذرات پلیمر در ساختار های موئینه‌ی آزمونه‌ها نیز می‌تواند عاملی در جهت کاهش جذب موئینه‌ی آب در ساختار تلقی شود.

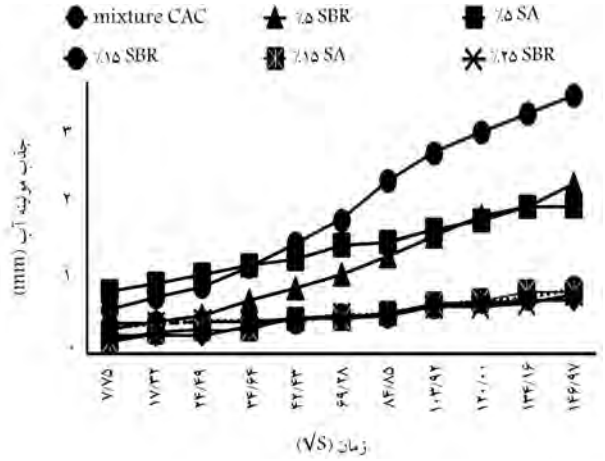
بهبود نتایج ۲۸ روز نسبت به ۷ روز، مربوط به روش عمل‌آوری مخلوط‌هاست، که به لحاظ طی کردن روند خشک شدن در مخلوط‌ها، ۲۸ روز امکان عملکرد مؤثرتر پلیمرها در پُر کردن فضاهای موئینه میسر شده است. البته به لحاظ انجام پروسه‌ی خشک کردن در روش استاندارد آزمون، قدری نتایج ۷ روزه تحت تأثیر قرار گرفته است. توسعه‌ی ریزساختار خمیر سیمان نیز از دلایل بهبود عملکرد ۲۸ روز نسبت به ۷ روز است.

در مقایسه میان پلیمرهای استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک می‌توان مشاهده کرد که در سن ۷ روز و در درصدهای مشابه مواد پلیمری، روند نفوذ آب تقریباً مشابه بوده است.

بررسی مخلوط‌های اصلاح شده‌ی پلیمری در سن ۲۸ روز نشان می‌دهد که میزان کاهش نفوذ موئینه‌ی آب در ساختار مخلوط‌های مذکور بسیار کمتر از مخلوط شاهد بوده است. بررسی نتایج نفوذ موئینه‌ی آب نشان می‌دهد که در استفاده‌ی ۵ درصد از مواد پلیمری، میزان نفوذ در نمونه‌های حاوی استایرن بوتادین رابر بیش



شکل ۷. نفوذ موئینه‌ی اولیه‌ی مخلوط شاهد و مخلوط‌های اصلاح شده‌ی پلیمری در سن ۷ روز.



شکل ۸. نفوذ موئینه‌ی اولیه‌ی مخلوط شاهد و مخلوط‌های اصلاح شده‌ی پلیمری در سن ۲۸ روز.

از نمونه‌های حاوی استایرن اکریلیک بوده است، لیکن با افزایش درصد پلیمرهای مذکور، میزان تأثیرگذاری آنها از لحاظ جذب موئینه مشابه بوده است.

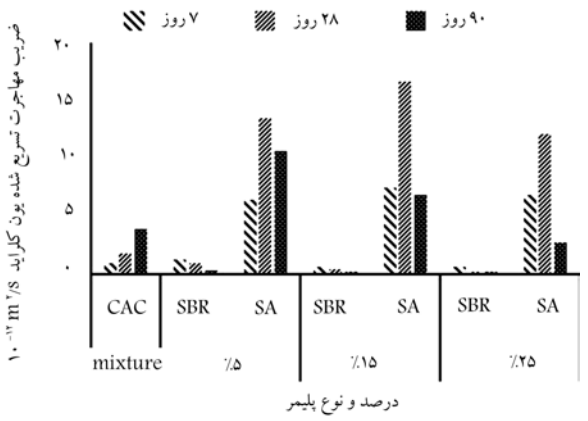
یک نکته که در نمودارهای جذب موئینه‌ی آب مشهود است، بالاتر بودن میزان جذب حجمی آب در نمونه‌های حاوی ۵٪ پلیمر به ویژه استایرن اکریلیک در دقایق اولیه است، که علت آن جذب بالای آب در نمونه‌ی مذکور در یک دقیقه‌ی اول است. البته ذکر این نکته ضروری است که شیب منحنی جذب موئینه‌ی آب برای مخلوط اشاره شده به مراتب کمتر از این شیب برای مخلوط شاهد بوده است، که نشان می‌دهد جذب آب به کُندی در آن صورت گرفته است. احتمال می‌رود جذب سطحی آب در مخلوط مذکور در ثانیه‌های اول بالا بوده باشد، لیکن جذب موئینه‌ی آب به منافذ داخلی ملات به کُندی صورت گرفته است. در مجموع جذب موئینه‌ی آب در یک دقیقه‌ی اول، چندان ملاک مناسبی برای سنجش نحوه‌ی عملکرد نیست و بهتر است عوامل دیگری همچون نحوه‌ی افزایش جذب در دقایق بعدی نیز بررسی شوند.

۵.۵. ضریب مهاجرت تسریع شده‌ی یون کلراید

آزمون ضریب مهاجرت تسریع شده‌ی یون کلراید، میزان نفوذپذیری عناصر مخرب

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹. ضریب مهاجرت تسریع شده‌ی یون کلراید مخلوط‌های شاهد و اصلاح شده‌ی پلیمری در سنین ۷ ، ۲۸ و ۹۰ روز.

نظیرکلراید را در ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی نشان می‌دهد. این آزمون در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز بر روی آزمونه‌های شاهد و اصلاح شده انجام شده است.

در شکل ۹، نتایج حاصل از آزمون ضریب مهاجرت تسریع شده‌ی یون کلراید در سنین مذکور مشاهده می‌شود. در ابتدا، به بررسی میزان نفوذ یون کلراید در مخلوط شاهد در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز پرداخته شده است. مطابق نتایج مشاهده می‌شود که میزان نفوذ یون کلراید در مخلوط‌های پایه سیمان کلسیم آلومینات در مقایسه با سیمان‌های پرتلند بسیارکم بوده است، که نشان‌دهنده‌ی تراکم بالای مخلوط‌های پایه سیمان کلسیم آلومینات و مسدود بودن ریزساختار آنهاست.

در سیمان‌های پرتلند، افزایش سن سبب کاهش میزان نفوذپذیری یون کلراید می‌شود، لیکن همان طورکه در نتایج مشهود است، در مخلوط پایه سیمان آلومینات کلسیم افزایش سن سبب افزایش میزان نفوذ یون کلراید شده است. این نتیجه به ریزساختار و تبدیل واکنش‌های محصولات هیدراسیون سیمان آلومینات کلسیم مربوط است. همان طورکه قبلاً ذکر شده بود، محصولات هیدراسیون در سیمان آلومینات کلسیم به دو فاز نیمه‌پایدار و پایدار تقسیم‌بندی می‌شوند. با گذشت زمان به تدریج تبدیل فازهای نیمه‌پایدار به پایدار اتفاق می‌افتد، که با کاهش حجم محصولات هیدراسیون همراه است و سبب توسعه‌ی تخلخل ساختاری در مخلوط‌ها می‌شود. به همین لحاظ، در مطالعه‌ی حاضر نیز افزایش ضریب نفوذ تسریع‌شده‌ی یون کلراید با افزایش سن مشاهده شده است.

با افزایش سن در تمامی نمونه‌های اصلاح شده با استایرن بوتادین رابر، کاهش میزان نفوذ یون کلراید مشاهده می‌شود، که به دلیل مسدود شدن تخلخل‌ها به واسطه‌ی گسترش فیلم‌های پلیمری است. همچنین ممانعت از تبدیل واکنش‌ها از فاز نیمه‌پایدار به پایدار نیز می‌تواند از علل بهبود نفوذپذیری مخلوط‌های اصلاح شده باشد، که نیازمند انجام مطالعات ریزساختاری است.

در سن ۷ روز، علت اصلی در عدم بهبود میزان نفوذ یون کلراید در نمونه‌ی حاوی ۵٪ استایرن بوتادین رابر را می‌توان به میزان تخلخل بیشتر نمونه‌ی اخیر نسبت به نمونه‌ی شاهد مرتبط دانست، که البته درصد کم استفاده از پلیمر استایرن بوتادین رابر نیز نتوانسته است روند پلیمریزاسیون مناسبی را تأمین کند. در همین سن ۷ روز، افزایش میزان پلیمر از ۵ درصد به ۱۵ و ۲۵ درصد سبب کاهش ۲۶ و ۳۰ درصدی نسبت به نمونه‌ی شاهد شده است. در سن ۲۸ روز، روند بهبود کاهش نفوذ یون کلراید در تمامی درصدهای کاربرد پلیمر استایرن بوتادین رابر مشاهده می‌شود، که این امر با افزایش میزان پلیمر و با توجه به گسترده شدن میزان فیلم‌ها در ساختار نمونه قابل توجیه است. روند صعودی اخیر در کاهش میزان نفوذ یون کلراید در نمونه‌های اصلاحی نسبت به نمونه‌ی شاهد در سن ۹۰ روز ادامه داشته است، به گونه‌یی که در سن ۹۰ روز، میزان بهبود نفوذ یون کلراید در پوشش ملات حاوی درصدهای مختلف استایرن بوتادین به بیش از ۹۴٪ رسیده است و تمامی نمونه‌های اصلاح شده با درصدهای مختلف استایرن بوتاین، عملکرد یکسانی را در نفوذ یون کلراید از خود نشان داده‌اند. گسترده شدن فیلم پلیمرها در تخلخل ساختاری نمونه‌ی ملات‌ها و مسدود شدن منافذ مذکور توسط فیلم‌های منعقد شده در ساختار از علل اصلی در کاهش میزان تخلخل ساختاری و در نتیجه نفوذ یون کلراید بوده است.

در سن ۷ روز، نمونه‌هایی که با درصدهای مختلف استایرن اکریلیک اصلاح شده‌اند، به صورت تقریبی ضریب نفوذ یکسان و بیش از مخلوط شاهد داشته‌اند. استایرن اکریلیک از قبیل پلیمرهایی است که در برابر آب عملکرد ضعیفی دارد و در محیط پایه سیمانی و قرارگرفتن در محیط مرطوب نمی‌تواند فیلم‌های خود را تشکیل داده و به همین دلیل عملکرد بسیار ضعیفی نسبت به مخلوط شاهد داشته است. در سن ۲۸ روز، نمونه‌های اصلاحی همانند نمونه‌ی شاهد با افزایش سن، میزان نفوذ بیشتری را در مقایسه با سن ۷ روز و مخلوط شاهد داشته‌اند. در این رابطه ذکر یک مسئله ضروری است، که نمونه‌های انتشار تسریع‌شده‌ی یون کلراید قبل از قرارگرفتن در دستگاه RCMT، به مدت ۱۸ ساعت در یک دسیکاتور خلأ توسط آب اشباع شده‌اند. به نظر می‌رسد اشباع شدن مخلوط‌های ذکر شده با آب، قدری سبب تضعیف عملکرد پلیمر استایرن اکریلیک در آنها شده است. در سن ۹۰ روز، تفاوت عملکرد مواد پلیمری در مقایسه با سنین دیگر مشاهده شده است، به طوری که در سن ۹۰ روز، نمونه‌های حاوی ۲۵٪ استایرن اکریلیک توانسته‌اند ضریب مهاجرت تسریع شده را در مقایسه با مخلوط شاهد کاهش دهند، که این مسئله نشان‌دهنده‌ی عملکرد مثبت استایرن اکریلیک در درصدهای بالا پس از طی کردن دوره‌های طولانی‌مدت خشک شدن است. در سن ۹۰ روز همچنین مشاهده می‌شود که افزایش درصد استفاده‌ی مواد پلیمری سبب کاهش نفوذ شده است، لیکن استفاده‌ی ۵ و ۱۵ درصدی پلیمر استایرن اکریلیک، در میزان نفوذ یون کلراید نسبت به مخلوط شاهد، بهبودی ایجاد نکرده است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت استایرن اکریلیک، پلیمر مناسبی برای بهبود ساختار مخلوط پایه سیمان آلومینات کلسیم نبوده و نتوانسته است سبب کاهش نفوذ یون کلراید در ساختار مخلوط شود.

در مقایسه‌ی عملکرد پلیمرهای استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک در ساختار مخلوط‌های پایه سیمان کلسیم آلومینات مشاهده می‌شود که در درصدهای مشابه استایرن بوتادین رابر، کاهش ضریب مهاجرت یون کلراید بیشتری نسبت به مخلوط‌های حاوی استایرن اکریلیک داشته است، که این امر نتیجه‌ی مطلوب نوع پلیمر استایرن بوتادین رابر تلقی می‌شود. همچنین مطابق نتایج حاصل می‌توان بیان کرد که در مخلوط‌های اصلاح شده، استایرن آکریلیک نتوانسته است از تبدیل محصولات پایداری سیمان آلومینات کلسیم به محصولات نیمه‌پایداری ممانعت کند.

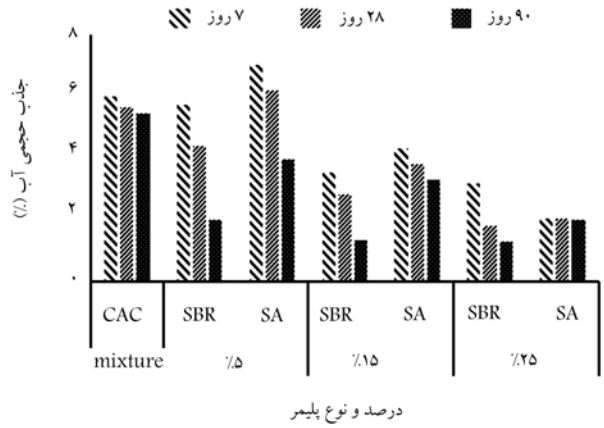
۶.۵. درصد جذب حجمی آب

در شکل ۱۰، نتایج حاصل از آزمون جذب حجمی آب در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز برای مخلوط‌های سیمانی پلیمری مشاهده می‌شود. نتایج به دست آمده نشانگر تأثیرگذاری استفاده از مواد پلیمری و سن عمل‌آوری در میزان جذب آب نمونه‌هاست.

نمونه‌ی شاهد دارای میزان جذب آب ۶٪، ۵/۶۴٪ و ۵/۴۵٪ در سنین ۷، ۲۸

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰. میزان درصد جذب حجمی آب مخلوط‌های شاهد و اصلاح‌شده‌ی پلیمری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز.

و ۹۰ روز است، که تفاوت میان نتایج در سنین مختلف تقریباً اندک است. به عبارتی دیگر، واکنش‌های سریع سیمان آلومینات کلسیم سبب تشکیل سریع ریزساختار شده است و عمده‌ی فضاهای متخلخل داخلی در سنین اولیه توسط محصولات هیدراسیون پر شده‌اند، که روند مذکور با روند کسب مقاومت در مخلوط اخیر مشابهت زیادی دارد. در نمونه‌های اصلاح شده با استایرن بوتادین رابر مشاهده می‌شود که استفاده از پلیمر سبب کاهش میزان جذب حجمی آب نسبت به نمونه‌ی شاهد شده و هر چه میزان پلیمر افزایش یافته است، میزان جذب حجمی آب نیز کاهش یافته است.

نتایج نشان می‌دهند که برخلاف مخلوط پایه، افزایش سن تأثیر بسیاری در کاهش جذب آب نمونه‌های پلیمری به ویژه مخلوط‌های حاوی پلیمر استایرن بوتادین رابر داشته است. علت این مسئله را می‌توان در تشکیل خوب ریزساختار و مسدود ساختن تخلخل‌ها در اثر تشکیل فیلم پلیمرها در سنین اولیه و گسترش فیلم‌های پلیمری با افزایش سن آنها دانست. به عبارتی، فیلم‌های پلیمری در مخلوط‌های اشاره شده همچون یک پرده‌ی آب‌بند عمل می‌کنند و از نفوذپذیری بیشتر نمونه‌ها جلوگیری به‌عمل می‌آورند.

در بررسی میزان درصد جذب حجمی آب در نمونه‌های اصلاح شده با استایرن بوتادین در مقایسه با نمونه‌ی شاهد مشاهده می‌شود که نمونه‌های حاوی استایرن بوتادین، جذب حجمی آب را در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز به مقدار مطلوبی بهبود بخشیده است، که این میزان بهبود با افزایش درصد پلیمر و افزایش سن نیز مشهود است. به عنوان مثال، نمونه‌های محتوی ۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪ پلیمر استایرن بوتادین در سن ۹۰ روز به ترتیب ۶۳٪، ۷۵٪ و ۷۶٪ میزان جذب حجمی آب را نسبت به نمونه‌ی شاهد کاهش داده‌اند.

مطابق با نتایج به دست آمده در سن ۷ و ۲۸ روز، نمونه‌ی حاوی ۵٪ استایرن آکریلیک، مقدار جذب حجمی بیش از میزان نمونه‌ی شاهد داشته است، که از علل آن می‌توان به نوع عمل‌آوری مرطوب (عمل‌آوری در حوضچه‌های آب) در سن ۷ روز و همچنین درصد پایین استفاده از پلیمر استایرن آکریلیک در ساختار ملات اشاره کرد. به دلیل عمل‌آوری مرطوب، امکان ایجاد فضای خشک در منافذ مخلوط و متعاقباً از دست دادن آب سوسپانسیون پلیمر امکان‌پذیر نیست، لذا به ویژه در درصد پایین پلیمر SA، فیلم پلیمری به‌خوبی شکل نمی‌گیرد. از سوی دیگر، پلیمرها تا حدی از هیدراسیون سیمان و ایجاد ریزساختار منسجم‌تر ممانعت می‌کنند، که مجموع عوامل اخیر سبب افزایش جذب حجمی در مخلوط ۵٪ استایرن اکریلیک در ۷ روز شده است. در سن ۲۸ روز نیز تبعات ناشی از کاهش درجه‌ی هیدراسیون سیمان نسبت به مخلوط شاهد ادامه پیدا کرده است و به دلیل کم بودن مقدار پلیمر و باقی‌ماندن مقداری رطوبت نسبی از عمل‌آوری مرطوب ۷ روزه، فیلم‌های پلیمری به خوبی تشکیل نشده‌اند؛ که سبب افت نسبت به مخلوط کنترل شده است، هر چند افت اخیر نسبت به ۷ روز کاهش یافته است. به نظر می‌رسد نسبت به پلیمر استایرن اکریلیک، پلیمر استایرن بوتادین رابر راحت‌تر می‌تواند فیلم پلیمرها را تشکیل دهد و شرایط بهتری در سنین اولیه به ویژه ۲۸ روز داشته است. در سن ۹۰ روز، نمونه‌های حاوی ۵٪ استایرن آکریلیک با ۲/۰۶٪ جذب حجمی آب، کاهش میزان جذب حجمی آب را به میزان مطلوبی نسبت به نمونه‌ی شاهد با ۵/۴۵٪ جذب حجمی آب داشته است، که گسترده شدن فیلم پلیمرهای تشکیل شده در ماتریس سیمان و مسدود ساختن تخلخل‌های ساختاری در یک فرصت ۶۲ روزه نسبت به نمونه‌ی ۲۸ روزه، دلیلی بر کاهش جذب آب اشاره شده است.

استفاده از ۱۵ و ۲۵ درصد پلیمر توانسته است میزان جذب حجمی آب را نسبت به نمونه‌ی شاهد در تمامی سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز کاهش دهد و سبب بهبود خواص جذب حجمی آب شود؛ که علت آن فیلم پلیمرهای تشکیل شده در ساختار نمونه‌های اصلاح شده است، که با افزایش درصد پلیمر گسترده‌تر شده‌اند. ذرات پلیمری موجود در لاتکس استایرن آکریلیک بسیار ریز بوده و در ساختار منفذی بتن نفوذ کرده و تشکیل فیلم‌های پلیمری داده‌اند. لذا تخلخل‌های بسیار کوچک مسدود و مانع از جذب موئینه‌ی آب در این ساختار شده است. البته یک نکته در مواد پلیمری پایه‌ی اکریلیکی وجود دارد، که باید در نظر داشت این‌گونه مواد پلیمری و محصولات این قبیل مواد (فیلم‌های پلیمری)، مقداری در برابر آب حساس هستند و در صورت مجاورت طولانی با آب، قدری ساختار فیلم پلیمری خود را از دست می‌دهند و به لحاظ حل شدن مجدد برخی از ذرات ممکن است دچار نشت در ساختار خود شوند. با وجود این، مواد مذکور تا حد زیادی مانع از جریان آب در منافذ می‌شوند و به عنوان یک مواد آب‌بندکننده، که مانع از نفوذ آب در خلل و فرج مصالح پایه سیمانی می‌شوند، عمل می‌کنند.[۲۰]

در بررسی جذب حجمی آب نمونه‌ها در سنین بالا مشاهده می‌شود که افزایش سن بتن به دلیل تشکیل ریزساختارهای منسجم در بتن و ایجاد ساختار یک‌پارچه میان پلیمر و هیدراته‌های سیمان و دانه‌بندی موجود و همچنین بهبود ناحیه‌ی انتقالی میان سنگدانه و خمیر سیمان و جلوگیری از ریزترک‌های ایجاد شده در ناحیه‌ی انتقالی میان سنگدانه و خمیر سیمان به واسطه‌ی تشکیل فیلم پلیمرها سبب کاهش میزان جذب حجمی آب نسبت به نمونه‌ی شاهد شده است. در نمونه‌ی ملات‌های اصلاحی، افزایش میزان پلیمر سبب بهبود بیشتر مقدار جذب آب شده و مقدار آن را به صورت چشمگیری در سنین مختلف کاهش داده است.

در مقایسه‌ی میزان جذب حجمی آب در مخلوط‌های اصلاح شده با استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک، عملکرد مطلوب‌تر پلیمراستایرن بوتادین رابر نسبت به پلیمر استایرن اکریلیک خصوصاً در سنین ۲۸ و ۹۰ روز مشهود است. به طوری که در استفاده‌ی ۵ و ۱۵ درصد از پلیمر، به منظور اصلاح ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی، نمونه‌های اصلاح شده با استایرن بوتادین رابر، درصد جذب حجمی آب کمتری نسبت به نمونه‌های اصلاح شده با استایرن اکریلیک در تمامی سنین داشته‌اند و در ۲۵٪ از پلیمرهای مذکور نیز این روند در سنین ۲۸ و ۹۰ روز مشاهده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۶. نتیجه‌گیری

اصلاح ساختار و ماتریس محصولات پایه سیمانی، نظیر بتن و پوشش‌های ملات به واسطه‌ی پلیمرها می‌تواند سبب بهبود عملکرد مصالح پایه سیمانی در برابر عوامل محیطی شود. در پژوهش حاضر، افزودن پلیمر در مخلوط پایه سیمانی سبب کاهش مقدار مقاومت فشاری مخلوط‌های پلیمری نسبت به مخلوط‌های فاقد پلیمر شده است. این کاهش مقاومت فشاری با افزایش پلیمر در نمونه‌های اصلاح شده با استایرن اکریلیک و استایرن بوتادین رابر مشهود است. شایان ذکر است با توجه به این‌که مخلوط شاهد حاوی سیمان آلومینات کلسیم، مقاومت بالایی دارد، استفاده‌ی ۲۵ درصدی از پلیمرهای استایرن اکریلیک و استایرن بوتادین رابر استفاده از این مخلوط‌های را محدود نکرده و مقاومت‌های حاصل در محدوده‌ی مقاومت‌های سازه‌یی قرار داشته‌اند.

مواد پلیمری به سبب منعقد ساختن فیلم پلیمرها سبب افزایش مقاومت خمشی در نمونه‌های اصلاح شده می‌شوند. در مطالعه‌ی حاضر، کاربرد کمینه (۵٪) و بیشینه‌ی (۲۵٪) میزان پلیمرهای استایرن بوتادین رابر و استایرن اکریلیک سبب افزایش در مقاومت خمشی نسبت به نمونه‌ی شاهد شده است.

مقاومت کششی نمونه‌های محتوی استایرن آکریلیک و استایرن بوتادین رابر با افزایش درصد کاربرد پلیمرهای مذکور به صورت پیوسته افزایش یافته و در این بین آزمونه‌های حاوی پلیمر استایرن اکریلیک مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی استایرن بوتادین رابر در سن ۹۰ روز داشته‌اند.

میزان نفوذ موئینه‌ی اولیه‌ی آب در ساختار ملات اصلاح شده با مواد پلیمری، کاهش قابل ملاحظه‌ی مقدار نفوذ نسبت به نمونه‌ی شاهد را نشان می‌دهد، به گونه‌یی که با افزایش درصد پلیمرهای استایرن بوتادین و استایرن آکریلیک کاهش در میزان نفوذ موئینه مشهود است، لیکن استایرن بوتادین رابر به میزان قابل ملاحظه‌یی سبب کاهش در میزان نفوذ موئینه‌ی آب در مقایسه با مخلوط‌های حاوی استایرن اکریلیک شده است.

محاسبه‌ی ضریب مهاجرت یون کلراید نمونه‌های شاهد و پلیمری، نشان‌دهنده‌ی تأثیر شایان پلیمرها در کاهش میزان نفوذ یون کلراید بوده است. استایرن بوتادین رابر، میزان نفوذ یون کلراید را عملاً به صفر رسانده و عملکرد مطلوب فیلم پلیمرها در ساختار ملات‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم بخشی از عملکرد ضعیف نمونه‌ی شاهد را، که افزایش سن سبب افزایش نفوذ کلرایدی در آن شده است، را جبران کرده است. استایرن آکریلیک در با میزان ۲۵٪ در سن ۹۰ روز، میزان نفوذپذیری را در مقایسه با مخلوط شاهد کاهش داده است، لیکن تأثیر آن به مراتب کمتر از اثر استایرن بوتادین رابر بوده است.

در بررسی میزان جذب حجمی آب برای آزمونه‌های اصلاح شده با مواد پلیمری می‌توان مشاهده کرد که میزان جذب حجمی آب به میزان مطلوبی با اصلاح ساختار مخلوط‌ها کاهش یافته و افزایش درصد پلیمر نیز این میزان کاهش را تشدید کرده است، لیکن از میان پلیمرهای استفاده شده، استایرن بوتادین رابر عملکرد بسیار مطلوبی در کاهش محسوس جذب آب در تمامی سنین در مقایسه با استایرن اکریلیک داشته است.

پانوشت‌ها

1. Atraj
2. Khaliq
3. Kırca
4. Liu
5. Bahranifard
6. Young-Kug
7. Ganesan
8. Knapen
9. Feiteira
10. Doğan
11. Bhogayata, Ankur C.
12. Diamanti
13. Huang

منابع (References)

1. Barnes, P. and Bensted, J. "Structure and performance of cements", *CRC Press*, pp. 114-139 (2002).
2. Newman, J. and Choo, B.S. "Advanced concrete technology 3: processes", *Butterworth-Heinemann*, pp. 1-31 (2003).
3. Kurdowski, W. "Cement and concrete chemistry", *Springer Science & Business*, pp. 604-655 (2014).
4. Kogel, J.E. "Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses", *SME*, pp. 249-250 (2006).
5. Mostafa, N.Y., Zaki,Z.I. and Elkader, O.H.A. "Chemical activation of calcium aluminate cement composites cured at elevated temperature", *Cem. and Concr. Compos.*, **34**(10), pp. 1187-1193 (2012).
6. Cement Concrete and Aggregates Australia, "Concrete pavement maintenance/repair", *Cement Concrete & Aggregates Australia* (2009).
7. Concrete Society technical report, "Aluminate cements in construction– A Re-assessment technical", *The Concrete Society* (1997).
8. Odler, I. "Special inorganic cements", *CRC Press*, pp. 160-189 (2003).
9. Antonoviè, V., Kerienë, J., Boris, R. and et al. "The effect of temperature on the formation of the hydrated calcium aluminate cement structure", *Procedia Eng.*, **57**, pp. 99-106 (2013).
10. Taylor, H.F.W. "Cement chemistry", *2nd. Ed., T. Telford*, London, pp.295-322 (1997).
11. Ukrainczyk, N. and Rogina, A. "Styrene–butadiene latex modified calcium aluminate cement mortar", *Cem. and Concr. Compos.*, **41**, pp. 16-23 (2013).
12. Ukrainczyk, N. and Matusinović, T. "Thermal properties of hydrating calcium aluminate cement pastes", *Cem.and Concr. Res.*, **40**(1), pp. 128-136 (2010).

www.SID.ir

Archive of SID

13. Shang, X., Ye, G., Zhang, Y. and et al "Effect of micro-sized alumina powder on the hydration products of calcium aluminate cement at 40 C°", *Ceram. Int.*, **42**(13), pp. 14391-14394 (2016).

14. Pouyamehr, M. and Atraj, S. "The effect of chromium oxide nanoparticles on the properties of aluminum cements containing magnesium spinel aluminat", *Islamic Azad University Sientific journals*, **8**(3), pp. 1-9 (2014) (in Persian).

15. Khaliq, W. and Khan, H.A. "High temperature material properties of calcium aluminate cement concrete", *Construction and Building Materials*, **94**, pp. 475-487 (2015).

16. Abdollahi Baghban, S, and Khorasani, M. "Construction and characterization of polymer concrete containing waterborne acrylic resin with low permeability to chlorine and water ions.", *Concr. Res.*, **12**(2), pp. 19-32 (1970) (in Persian).

17. ⁄Kırca, Ö, Yaman, i. Ö. and Tokyay, M. "Compressive strength development of calcium aluminate cement–GGBFS blends", *Cem. Concr. Compos.*, **35**(1), pp. 163-170 (2013).

18. Ohama, Y. "Handbook of polymer-modified concrete and mortars: properties and process technology", *William Andrew*, pp. 45-145 (1995).

19. Morin, V., Moevus, M,, Dubois-Brugger, I. and et al. "Effect of polymer modification of the paste–aggregate interface on the mechanical properties of concretes", *Cem. Concr. Res.*, **41**(5), pp. 459-466 (2011).

20. Moodi, F., Kashi, A., Ramezanianpour, A.A. and et al. "Investigation on mechanical and durability properties of polymer and latex-modified concretes", *Constr. Build. Mater.*, **191**, pp. 145-154 (2018).

21. Figovsky, O. and Beilin, D. "Advanced polymer concretes and compounds", *CRC Press, Tailor & Francis Gr.*, pp. 1-21 (2013).

22. Liu, Baoju, et al. "Mechanical and permeability properties of polymer-modified concrete using hydrophobic agent", *Journal of Building Engineering*, **31**(9):101337 (2020).

23. Bahranifard, Z., Farshchi Tabrizi, F. and Vosoughi, A.R. "An investigation on the effect of styrene-butyl acrylate copolymer latex to improve the properties of polymer modified concrete", *Construction and Building Materials*, **205**, pp. 175-185 (2019).

24. Jo, Y.-K. "Adhesion in tension of polymer cement mortar by curing conditions using polymer dispersions as cement modifier", *Construction and Building Materials*, **242**, 118134 (2020).

25. Ganesan, S., Mydin, M.A., Sani, N.M. and et al. "Performance of polymer modified mortar with different dosage of polymeric modifier", *In MATEC Web of Conferences 2014*, **15**, p. 01039, EDP Sciences (2014).

26. Chehrazi Sefiddashti, H., Madani, H. and Saeedikia, A. "Investigation and properties of cement based mmixtures containing different type of polymers", *Sharif Journal*, **36.2**(3.2), pp.135-145 (2020).

27. Assaad, J.J. and Daou, Y. "Behavior of structural polymer-modified concrete containing recycled aggregates", *Journal of adhesion science and Technology*, **31**(8), pp. 874-896 (2017).

28. Knapen, E. and Van Gemert, D. "Polymer film formation in cement mortars modified with water-soluble polymers", *Cem. And Concr. Compos.*, **58**, pp. 23-28 (2015).

29. Feiteira, J. and Ribeiro, M.S. "Polymer action on alkali–silica reaction in cement mortar", *Cem. and Concr. Res.*, **44**, pp. 97-105 (2013).

30. Doğan, M. and Bideci, A. "Effect of styrene butadiene copolymer (SBR) admixture on high strength concrete", *Constr. Build. Mater.*, **112**, pp. 378-385 (2016).

31. Bhogayata, A.C. and Arora, N.K. "Workability, strength, and durability of concrete containing recycled plastic fibers and styrene-butadiene rubber latex", *Constr. Build. Mater.*, **180**, pp. 382-395 (2018).

32. Aggarwal, L.K., Thapliyal, P.C. and Karade, S.R. "Properties of polymer-modified mortars using epoxy and acrylic emulsions", *Constr. Build. Mater.*, **21**(2), pp. 379-383 (2007).

33. Bagheri, A. and Hashemi, S. "Influence of (SBR) latex and silica fume on properties and performance of cement-based repair concretes", *Esteghlal*, **26**(2), pp. 33-47 (1386).

34. Diamanti, M.V., Brenna, A., Bolzoni, F. and et al. "Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete", *Constr. and Build. Mater.*, **49**, pp. 720-728 (2013).

35. Huang, B., Wu, H., Shu, X. and et al. "Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete", *Constr. Build. Mater.*, **24**(5), pp. 818-823 (2010).

36. ASTM C. 109-93, "Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in or 50-mm cube specimens)", *Philadelphia, PA Am. Soc. Test Mater.* (1999).

37. BS EN 196-1, "Methods of testing cement", *Determination of strength* (2016).

38. ASTM C. 1585-04, "Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes", *ASTM Int.* (2004).

39. Build, N. "Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments", *Nord Method* (1999).

www.SID.ir