

تأثیرات استایرن بوتادین رابر بر خواص ملات پایه سیمان آلومینات کلسیم

علی سعیدی کیا^۱، سید حسام مدنی^۲، محمدرضا رئیس محمدیان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی، کرمان، ایران، Saidikia1993@yahoo.com

۲- استادیار گروه سازه، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی، کرمان، ایران، h.madani@kgut.ac.ir

۳- کارشناسی ارشد مدیریت برنامه ریزی، تهران، ایران، Reismo31@gmail.com

saidikia1993@yahoo.com

چکیده

امروزه با پیشرفت صنعت سیمان کشور و با توجه به نیاز در کاربری‌های مختلف، بررسی و کاربرد سیمان‌های خاص امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. سیمان آلومینات کلسیم نوع سیمانی است که دارای مقادیر بالای آلومینات نسبت به سایر اکسیدهای سیمان می‌باشد و به همین دلیل خواص متفاوتی نسبت به سایر سیمان‌ها از خود نشان می‌دهد. در این مطالعه آزمایشگاهی مخلوط مورد بررسی بر پایه سیمان آلومینات کلسیم بوده که با مواد پلیمری (استایرن بوتادین رابر) اصلاح شده است. در این بررسی تأثیرات مواد پلیمری بر ساختار مصالح پایه سیمانی با آزمون‌های خواص مکانیکی و دوام مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. آزمون‌های مکانیکی شامل مقاومت فشاری و کششی بوده و آزمون‌های دوام شامل درصد جذب حجمی آب و ضریب تسریع شده مهاجرت یون کلراید می‌باشد. نتایج حاصل از تحقیقات نشان می‌دهند که استایرن بوتادین رابر سبب ایجاد خواص مثبتی از قبیل افزایش مقاومت کششی، کاهش درصد جذب حجمی آب و نیز کاهش ضریب نفوذ یون کلراید در نمونه‌های مورد بررسی می‌شود. تنها خواص منفی این قبیل مواد در ساختار مصالح پایه سیمانی کاهش مقاومت فشاری نمونه‌ها می‌باشد که این امر کاربرد ملات‌های اصلاح شده پلیمری در صنایع و سازه‌هایی که مقاومت فشاری در آنها اهمیت زیادی دارد را مقداری محدود می‌نماید ولی در سازه‌ها و صنایعی که مباحث دوام در آنها مهم می‌باشد می‌تواند به صورت گسترده مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: سیمان آلومینات کلسیم، پلیمر، استایرن بوتادین رابر، ملات اصلاح شده

E

۱. مقدمه

امروزه با پیشرفت و گسترش تکنولوژی بتن و نیز افزایش روز افزون مصالح با عملکردهای گوناگون در ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی بنا بر نوع عملکرد، کاربردی اختصاصی از مخلوط حاصله مورد نظر می‌باشد. سیمان آلومینات کلسیم به سبب خواص مختلفی که از آن در مقالات پیشین ذکر شده می‌تواند داری عملکرد خوبی در محیط پایه سیمانی باشد. مواد پلیمری، با توجه به نوع ساختار و نوع واکنش با سیمان می‌توانند عملکرد متفاوتی در ساختار بتن و ملات از خود نشان دهند. سیمان آلومینات کلسیم یک سیمان هیدرولیکی معدنی محسوب می‌شود که خواص آن عمدتاً تحت تأثیر مونو آلومینات کلسیم می‌باشد [۱]. سیمان‌های آلومینات کلسیم با توجه به مقدار آلومینات به کار گرفته شده در مرحله تولید به دو دسته کلی، سیمان با مقادیر آلومینات کم و زیاد دسته بندی می‌شوند [۲ و ۳]. از خواص این سیمان می‌توان به تسریع در سخت شوندگی و رشد زود هنگام مقاومت در سنین پایین، همچنین نفوذپذیری کم و مقاومت در برابر شوک‌های حرارتی و سیکل‌های یخ زدن و ذوب شدن اشاره نمود [۱-۵]. از کاربردهای دیگر سیمان آلومینات کلسیم می‌توان به استفاده تعمیراتی این سیمان‌ها در باند

فرودگاه‌ها و نیز بزرگراه‌ها اشاره نمود [۶]، همچنین تسریع در سخت شوندگی یکی از عواملی است که استفاده از ملات‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم را تحت عنوان پوشش در عرشه پل‌ها و بزرگراه‌ها مطرح می‌سازد [۲].

از پلیمریزاسیون و پلی کاندسیشن مولکول‌های با وزن کم در واحدهای مشخص (مونومر) مولکول‌ها و رزین تحت عنوان پلیمرها تولید می‌شود [۷]. یکی از مصارف بسیار مهم پلیمرها در صنعت ساختمان، ایجاد بتن‌ها و ملات‌های اصلاح شده با پلیمر می‌باشد، در حالت عادی بتن‌ها و ملات‌ها دارای خواص مکانیکی و دوام می‌باشند. اما این خواص با استفاده از مصالح پلیمری می‌تواند بهبود یابد و اینکه مواد پلیمری سبب افزایش برخی از خواص مکانیکی و دوام محصولات پایه سیمانی می‌شوند [۷]. بررسی‌های مختلفی بر روی سیمان آلومینات کلسیم صورت گرفته اما اصلاح این مصالح پایه سیمانی با مواد پلیمری توسط یو کرین شیک [۶] در سال ۲۰۱۳ انجام گرفته است. در این مقاله به بررسی ملات‌های اصلاح شده با استایرن بوتادین رابر بر پایه سیمان آلومینات کلسیم پرداخته شده است. در این بررسی نتایج نشان می‌دهد که لاتکس استایرن بوتادین رابر سبب افزایش میزان روانی و نیز افزایش مقاومت خمشی و چسبندگی به سطح بتن پیشین می‌شوند ولی مقاومت فشاری و نفوذپذیری را کاهش می‌دهد.

در این بررسی از استایرن بوتادین رابر به میزان ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد وزن سیمان استفاده شده است. انتخاب این درصدها صرفاً با در نظر گرفتن مقدار کم، زیاد و متوسط از پلیمرها بوده تا بتوان بهینه ترین میزان استفاده از این نوع پلیمر در ساختار ملات را نشان داد. همچنین در این بررسی خواص مکانیکی و دوام این نوع مصالح مورد ارزیابی قرار گرفته شده است.

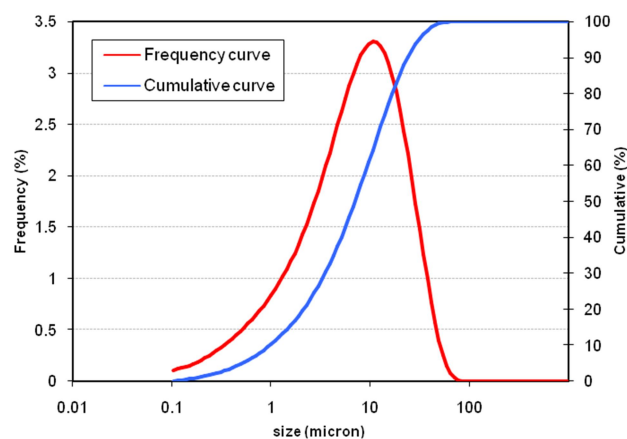
۲. مواد و مصالح مصرفی

۱.۲. سیمان

در تمامی طرح‌های مورد بررسی از سیمان آلومینات کلسیم IRC-40 استفاده شده است. مشخصات شیمیایی و دانه بندی سیمان آلومینات کلسیم مصرفی که به ترتیب توسط پراش پرتو ایکس (XRF) و آنالیز سنجش توزیع ابعاد مشخص شده است به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: آنالیز شیمیایی سیمان آلومینات کلسیم IRC-40

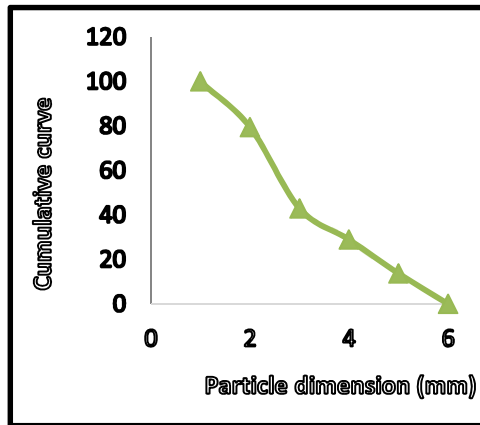
Sio ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	TI ₂ O %
۶	۳۵	۱۹	۴۱	۱/۵	۵



شکل ۱: منحنی دانه بندی سیمان آلومینات کلسیم مصرفی

۲.۲. سنگدانه

در این پروژه آزمایشگاهی نوع ماسه مصرفی در طرح مخلوط‌های مورد بررسی سیلیسی بوده که دانه بندی و مشخصات فیزیکی ماسه‌ها در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است، منحنی ترکیبی دانه بندی نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: منحنی دانه بندی سنگدانه سیلیسی

جدول ۲: دانه بندی سنگدانه‌ها و مشخصات فیزیکی مصالح سنگی

شماره الک	% تجمعی بزرگتر						
	۴	۸	۱۶	۳۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
ماسه نوع (۱)	۱۰۰	۱۰۰	۶۷/۹۳	۱۲/۱۲	۴/۱۰	۰/۴۰	۰
ماسه نوع (۲)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۷	۶۳/۷۵	۲۲	۱۳
ماسه نوع (۳)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۶	۷۰

جدول ۳: مشخصات فیزیکی سنگدانه سیلیسی مصرفی

جذب آب در حالت SSD (%)	وزن مخصوص ترکیبی سنگدانه‌ها (ماسه‌های سیلیسی)
۰/۶	۲/۵۵ g/cm ³

۳.۲. پلیمر

در این پژوهش از استایرن بوتادین رابر (SBR) برای اصلاح ملات پایه سیمان آلومینات کلسیم استفاده شده است. استایرن بوتادین رابر نوعی پلیمر آلی است که جزء پلیمرهای الاستومر محسوب می‌گردد. مشخصات فیزیکی این نوع پلیمر در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: مشخصات استایرن بوتادین رابر

نام	pH	چگالی	ظاهر	درصد جامد	لزجت معلق در آب
استایرن بوتادین رابر	۷-۹	۱/۰۱ g/cm ³	سفید رنگ متمایل به بنفش	۵۰±/۱	۳۰۰ - ۸۰۰ mPa.s

۴.۲. آب و روانساز

در این بررسی از آب شرب شهر کرمان استفاده شده است، همچنین از فوق روان کننده مایع بر پایه پلی کربوکسیلات‌اتر نیز استفاده شده است.

۳. طرح مخلوط

در این پژوهش آزمایشگاهی نمونه ملات‌های کنترل (شاهد) براساس حجم واحد با عیار سیمان ۵۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ بر پایه سیمان آلومینات کلسیم ساخته شده اند. در ۳ طرح دیگر از ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد استایرن بوتادین رابر که این مقادیر به عنوان درصدی از جرم سیمان محسوب می‌شوند، مورد استفاده قرار گرفته شده است، همانطور که در جدول ۵ نشان داده شده است مقادیر دانه بندی در نمونه های حاوی درصد های مختلف پلیمر و نمونه کنترل با یکدیگر متفاوت می‌باشد که علت این امر جایگزینی بخش جامد مواد فوق روان کننده و مواد پلیمری به عنوان بخشی از ماسه می‌باشد، همچنین میزان آب موجود در لاتکس که در جدول ۴ نشان داده شده است، از میزان آب آزاد مورد استفاده در ساختار ملات مورد بررسی کاسته شده است.

جدول ۵: طرح مخلوط نمونه‌ها بر حسب حجم واحد

کد طرح مخلوط	W/C	آب آزاد	سیمان آلومینات کلسیم	ماسه سیلیسی نوع ۱	ماسه سیلیسی نوع ۲	ماسه سیلیسی نوع ۳	روانساز	پلیمر
	-	(Kg/m ³)						
CAC-control	۰/۳۸	۲۰۹	۵۵۰	۷۳۶/۵	۳۰۶/۹	۴۹۱	۳/۸۵	۰
SBR-5%	۰/۳۸	۲۰۹	۵۵۰	۷۰۶	۲۹۴/۱۲	۴۲۴/۶	۱/۱	۲۷/۵
SBR-15%	۰/۳۸	۲۰۹	۵۵۰	۶۳۸/۱۶	۲۶۶	۴۲۵/۴۴	۱/۳۷۵	۸۲/۵
SBR-25%	۰/۳۸	۲۰۹	۵۵۰	۵۷۱/۶	۲۳۸/۲	۳۸۱/۱۱	۰/۵۵	۱۳۷/۵

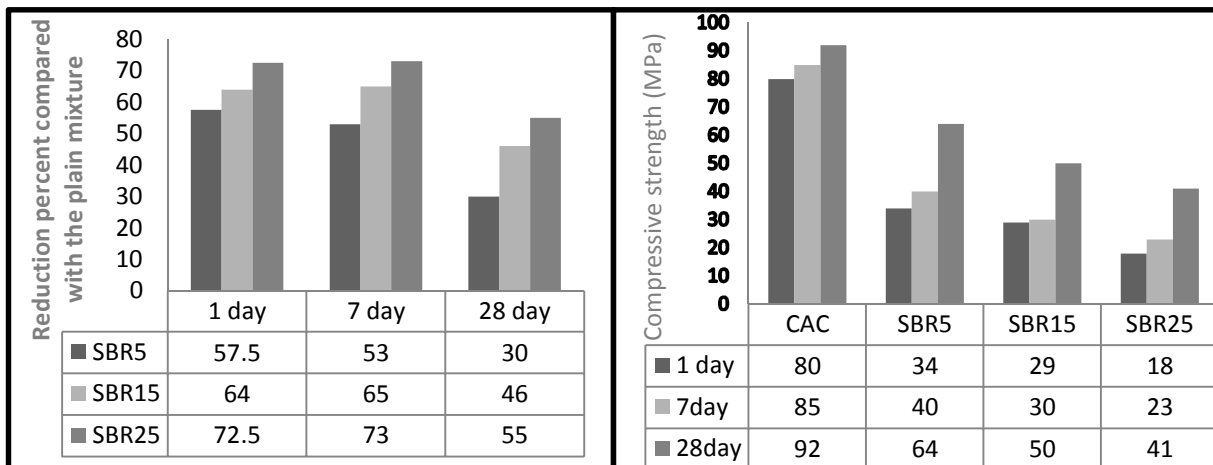
۴. عمل آوری

نمونه ملات‌های شاهد و نمونه ملات‌های اصلاحی پس از ساخت، قالب گیری شده و توسط میز لرزاننده متراکم شدند. پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها از قالب خارج شده و به مدت ۷ روز در آب آهک اشباع و ۲۱ روز پس از آن در محیط اتاق با دمای ۳۰ درجه سانتی گراد تحت عمل آوری قرار داده شده‌اند.

۵. نتایج نمونه‌ها و بحث

۵.۱. مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری مطابق استاندارد ASTM C109 [۸] انجام شده است. در این آزمون نمونه‌های ۵ سانتی متری تحت بارگذاری تک محوره با سرعت ۵۳۰ کیلوگرم بر ثانیه انجام شده است. نتایج آزمون مقاومت فشاری در شکل ۳ (سمت راست) نشان داده شده است.



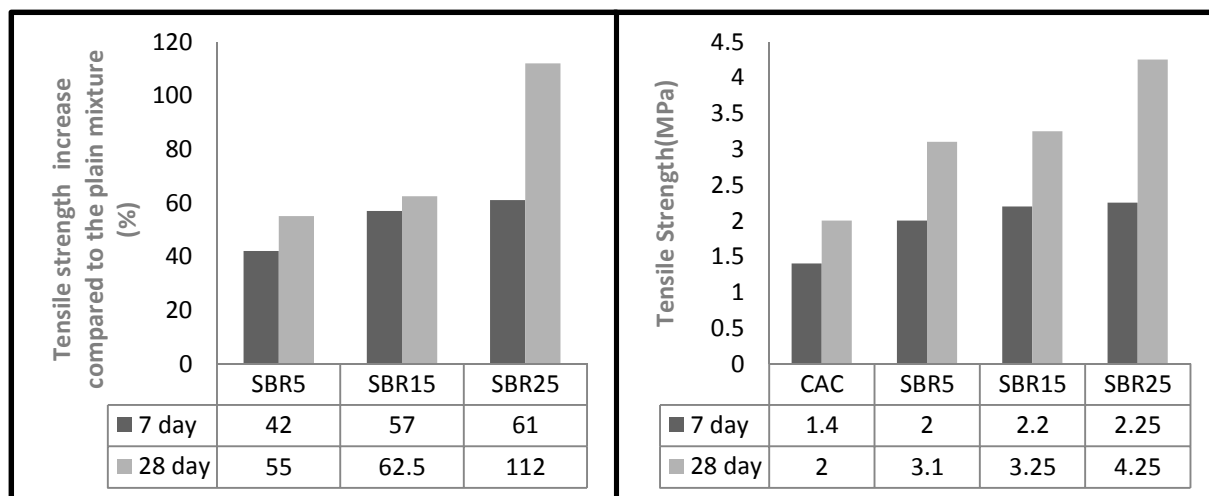
شکل ۳: مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین ۱، ۷ و ۲۸ روز (سمت راست) و درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح شده پلیمری نسبت به نمونه کنترل در سنین ۱، ۷ و ۲۸ روز (سمت چپ)

نتایج نشان می‌دهد که نمونه شاهد در سن ۱ روز بیشترین میزان مقاومت فشاری خود را کسب کرده به گونه ای که در سن ۲۸ روز نسبت به سن ۱ روز تنها ۱۳٪ افزایش مقاومت فشاری مشاهده می‌شود. در ملات‌های اصلاح شده با پلیمر مشاهده می‌گردد که ملات‌ها اصلاح شده با مواد پلیمری مقاومت کمتری نسبت به ملات کنترل داشته و افزایش میزان پلیمر در

ساختار ملات سبب کاهش مقاومت فشاری در سنین مختلف می‌شود. از علل این امر می‌توان به افزایش میزان حباب هوا و در نتیجه افزایش میزان تخلخل در ریز ساختار نمونه‌ها بر اثر افزایش میزان پلیمر در ترکیبات و نیز به تعویق انداختن زمان هیدراسیون و در نتیجه تأخیر در هسته زایی و رشد محصولات هیدراسیون اشاره نمود [۹ و ۱۰]، تیان و همکاران [۱۰] در بررسی‌های خود دریافته‌اند که پلی آکریلات با بون‌های کلسیم و هیدراته‌های ملات واکنش داده و با توجه به واکنش شیمیایی پلیمر و محصولات هیدراسیون، پلیمر مورد بررسی بر روی ذرات سیمان و هیدراته‌ها رسوب می‌کند و در نهایت سبب به تعویق انداختن تولید و رشد محصولات هیدراسیون می‌شود. پس بنابراین تخلخل در ساختار، به تعویق انداختن تولید و رشد محصولات هیدراسیون و نیز رسوب مواد و محصولات پلیمری بر سطح ذرات سیمان می‌تواند از علل کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح شده پلیمری نسبت به نمونه ملات باشد. در ادامه نیز می‌توان ذکر نمود که امکان هیدراسیون بخشی از ذرات هیدراته نشده سیمان در طولانی مدت و در گذر زمان وجود دارد. میزان کاهش مقاومت فشاری ملات‌های اصلاح شده نسبت به نمونه شاهد (کنترل) در شکل ۳ (سمت چپ) نشان داده شده است.

۲.۵. مقاومت کششی

در بررسی مقاومت کششی از یک جک کشنده با سرعت بارگذاری ۰/۵ میلی‌متر بر دقیقه و نمونه‌های براکتی با ابعاد بال و طول ۵ و ۱۲ سانتی متر استفاده شده است. این آزمون در سنین ۷ و ۲۸ روز انجام شده و نتایج آن مطابق شکل ۴ (سمت راست) می‌باشد.



شکل ۴: مقاومت کششی در سن ۷ و ۲۸ روز (سمت راست) و درصد افزایش مقاومت کششی ملات اصلاح شده نسبت به ملات کنترلی در سنین ۷ و ۲۸ روز (سمت چپ)

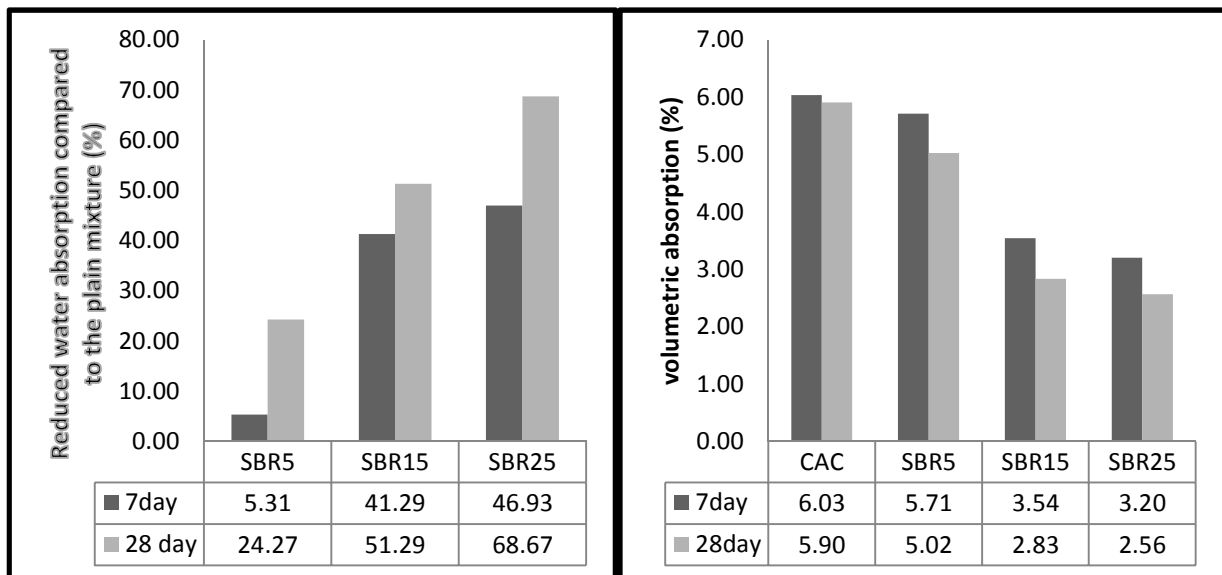
با توجه به نتایج بیان شده در شکل ۴ (سمت راست) می‌توان دریافت که افزایش سن در نمونه‌ها سبب افزایش مقاومت کششی در تمامی نمونه‌ها شده است. استایرن بوتادین رابر در ساختار ملات سبب افزایش مقاومت کششی نسبت به نمونه ملات کنترلی شده است که علت این امر را می‌توان به تشکیل احتمالی فیلم پلیمرها در ساختار ملات نسبت داد، همچنین این امر نشان می‌دهد که تشکیل فیلم پلیمرها در ساختار ملات می‌تواند سبب افزایش مقاومت کششی ملات‌های اصلاح شده با استایرن بوتادین رابر در مقابل ملات‌های فاقد این مصالح شود. در ادامه از نتایج می‌توان استنتاج نمود که افزایش میزان پلیمر سبب افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها شده و نیز میزان افزایش مقاومت کششی ملات‌های اصلاحی نسبت به نمونه کنترل در شکل ۴ (سمت چپ) نشان داده شده است.

۳.۵. جذب حجمی آب

این آزمون مطابق با استاندارد ASTM C642-06 [۱۱] بر روی نمونه‌های استوانه‌ای با قطر ۱۰ سانتی متر و ضخامت ۵ سانتی متر انجام شده است. طبق این آزمون نمونه‌ها ابتدا توزین شده سپس درون گرمخانه قرار داده شده اند، تا زمانی که به وزن ثابت برسند. در نهایت نمونه‌ها خارج شده و پس از هم دما شدن با محیط درون آب قرار داده شده‌اند. توزین نمونه‌های در آب تا زمانی که اختلاف توزین آن‌ها در دوروز متوالی به ۱ گرم برسد ادامه داشته است. از رابطه ۲ میزان درصد جذب حجمی آب محاسبه گردیده است.

$$I = \frac{m_t - m_0}{m_0} * 100 \quad (1)$$

I: درصد جذب آب، m_0 : وزن نمونه در حالت خشک، m_t : تغییر وزن نمونه در زمان t برحسب گرم
نتایج حاصل از این آزمون مطابق شکل ۵ (سمت راست) می‌باشد. در این بررسی درصد جذب حجمی آب برای تمامی نمونه‌ها مشخص شده و مورد بررسی قرار گرفته شده است.



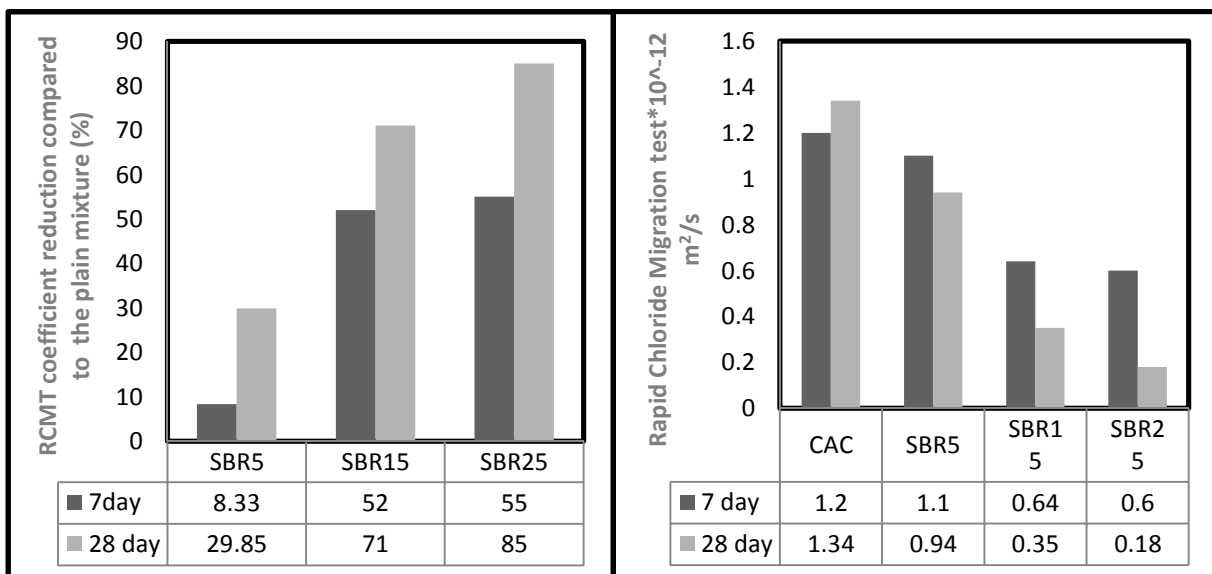
شکل ۵: درصد جذب حجمی آب در سنین ۷ و ۲۸ روز (سمت راست) و درصد کاهش درصد جذب حجمی آب ملات‌های اصلاح شده پلیمری نسبت به نمونه شاهد در سنین ۷ و ۲۸ روز (سمت چپ)

در ارزیابی عملکرد ملات‌های پایه آلومینات کلسیم در سنین ۷ و ۲۸ روز و نیز اصلاح این ملات‌ها با درصد‌های مختلف استایرن بوتادین رابر می‌توان دریافت که نمونه‌های ۲۸ روز جذب کمتری نسبت به نمونه‌های ۷ روز داشته‌اند و این امر را می‌توان به تشکیل بهتر ریز ساختار و فیلم‌های پلیمری با افزایش سن نمونه‌ها مرتبط دانست. همچنین پلیمر در ساختار ملات سبب کاهش درصد جذب حجمی آب شده است. همانطور که در شکل ۵ (سمت راست) مشهود است افزایش استایرن بوتادین رابر سبب کاهش درصد جذب آب در سنین مختلف می‌شود که این مقدار کاهش درصد جذب حجمی آب را می‌توان به تشکیل فیلم پلیمرها و در نتیجه کمک این نوع مواد به مسدود نمودن اخلخل‌های ساختاری مصالح پایه سیمانی نسبت داد. کمترین مقدار درصد جذب حجمی آب به نمونه‌های حاوی ۲۵ درصد استایرن بوتادین رابر می‌باشد. برای درک بهتر میزان

کاهش درصد جذب حجمی آب توسط ملات‌های اصلاح شده با پلیمر نسبت به نمونه کنترل می‌توان از شکل ۵ (سمت چپ) استفاده نمود.

۴.۵. ضریب مهاجرت نفوذ یون کلراید

نتایج حاصل از ضریب تسریع شده مهاجرت یون کلراید که بر اساس استاندارد NT Build- 492 [۱۲] انجام شده است، مطابق شکل ۶ (سمت راست) می‌باشد. در این بررسی آزمایشگاهی از منبع تغذیه در جهت انتشار یون کلراید در درون ساختار نمونه‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۶: ضریب تسریع شده مهاجرت یون کلراید در سنین ۷ و ۲۸ روز (سمت راست) و مقدار کاهش نفوذ یون کلراید ملات‌های اصلاح شده با پلیمر نسبت به مخلوط کنترل در سنین ۷ و ۲۸ روز (سمت چپ)

در این بررسی نشان داده شده که افزودن پلیمر در ساختار ملات پایه سیمان آلومینات کلسیم، سبب کاهش میزان نفوذ یون کلراید در ساختار ملات می‌گردد. از علل این امر را می‌توان به تشکیل فیلم پلیمرها در ساختار ملات و نیز کاهش میزان تخلخل‌ها و منافذ در ساختار ملات توسط پلیمرها اشاره نمود. پلیمرها سبب کاهش میزان تخلخل شده و در نهایت سبب کاهش میزان نفوذ یون کلراید در ساختار خود می‌گردند، همچنین نتایج حاکی از آن است که افزایش میزان پلیمر در ساختار ملات (ملات‌های کنترل و اصلاح شده) سبب کاهش قابل توجه در نفوذ یون کلراید می‌شود، در نتیجه ملات حاوی ۲۵ درصد استایرن بوتادین رابر دارای حداقل میزان نفوذ یون کلراید در سنین مختلف نسبت به نمونه‌های دیگر می‌باشد. اما در مقایسه میزان مهاجرت یون کلراید در سنین ۷ و ۲۸ روز می‌توان بیان نمود که افزایش سن نمونه‌ها موجب تشکیل بهتر و کامل‌تر ریزساختار ملات شده در نتیجه کاهش نفوذ یون کلراید در نمونه‌های اصلاح شده، در سن ۲۸ روز به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. میزان کاهش نفوذ یون کلراید در نمونه ملات‌های اصلاحی در سن ۷ و ۲۸ روز نسبت به ملات کنترل در شکل ۶ (سمت چپ) نشان داده شده است.

۶. نتیجه گیری

در بیان نتایج حاصله از این تحقیق آزمایشگاهی می توان دریافت که استفاده از استایرن بوتادین رابر در ساختار مخلوطهای پایه سیمانی می تواند دارای خواص متفاوتی باشد. لاتکس استایرن بوتادین رابر به سبب تشکیل فیلم پلیمر موجب انعطاف پذیری نمونه، در نتیجه افزایش مقاومت کششی نمونه می گردد به گونه ای که در استفاده ۲۵ درصدی از این نوع پلیمر به عنوان یکی از اجزای ملات پایه سیمان آلومینات کلسیم در سن ۲۸ روز سبب افزایش ۱۱۲ درصدی مقاومت کششی نسبت به ملات کنترلی شده است. هر چند که افزایش میزان پلیمر سبب افزایش مقاومت کششی شده لیکن این ماده سبب کاهش مقاومت فشاری نمونه ملات های اصلاح شده نسبت به یکدیگر و ملات کنترل می گردند. پلیمر به سبب تشکیل فیلم پلیمر و نیز به علت پر نمودن تخلخل و منافذ موجود در بتن سبب بهبود قابل توجه خواص دوام ملات شده در نتیجه می تواند به عنوان پوشش آب بند و تعمیراتی مورد استفاده قرار بگیرد. افزایش میزان پلیمر به عنوان جزئی از مصالح پایه سیمانی نیز می تواند سبب بهبود بیشتر خواص دوام شده، به گونه ای که ملات اصلاح شده با ۲۵ درصد استایرن بوتادین رابر سبب بیشترین میزان کاهش نفوذ در ساختار ملات های اصلاح شده شده است.

۷. منابع و مراجع

- [1] Kirca, Ö., Yaman, İ. Ö., & Tokyay, M. (2013). "Compressive strength development of calcium aluminate cement-GGBFS blends". *Cement and Concrete Composites*, 35(1), 163-170.
- [2] Newman, J., & Choo, B. S. (Eds.). (2003). "Advanced concrete technology 3: processes". Butterworth-Heinemann, pp 46-76.
- [3] Antonovič, V., et al. (2013). "The effect of temperature on the formation of the hydrated calcium aluminate cement structure". *Procedia Engineering*, Vol 57. pp 99-106.
- [4] Barnes, P. and J. Bensted. (2002). "Structure and performance of cements". CRC Press, pp 114-140.
- [5] Kurdowski, W. (2014). "Cement and concrete chemistry". Springer Science & Business, pp 604-613.
- [6] Ukrainczyk, N. and A. Rogina. (2013). "Styrene-butadiene latex modified calcium aluminate cement mortar". *Cement and Concrete Composites*, Vol. 41. pp 16-23.
- [7] Odler, I. (2003). "Special inorganic cements". CRC Press, pp 211.
- [8] ASTM, C. (1993). 109, "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars". *Annual Book of ASTM Standards*, 4.
- [9] Knapen, E., & Van Gemert, D. (2015). "Polymer film formation in cement mortars modified with water-soluble polymers". *Cement and Concrete Composites*, 58, 23-28.
- [10] Tian, Y., Jin, X. Y., Jin, N. G., Zhao, R., Li, Z. J., & Ma, H. Y. (2013). "Research on the microstructure formation of polyacrylate latex modified mortars". *Construction and Building Materials*, 47, 1381-1394.
- [11] ASTM, C. (2006). 642, "Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete". *Annual book of ASTM standards*, 4.
- [12] Build, N. (1999). 492. "Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments".