

بررسی اثر استنارات کلسیم بر مشخصات بتن خودتراکم

رامین ناصرالاسلامی^۱، جواد بخشی^۲، مهدی نعمتی چاری^۳ و مجتبی حاجی مهدی^۴

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه از دانشگاه تفرش

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه در دانشگاه شهاب دانش

۳- عضو هیئت علمی بخش فناوری بتن مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

۴- مدیر واحد تحقیق و توسعه شرکت دانش بنیان نانو بتن امین قم

Ramin.Naseroleslami1@gmail.com

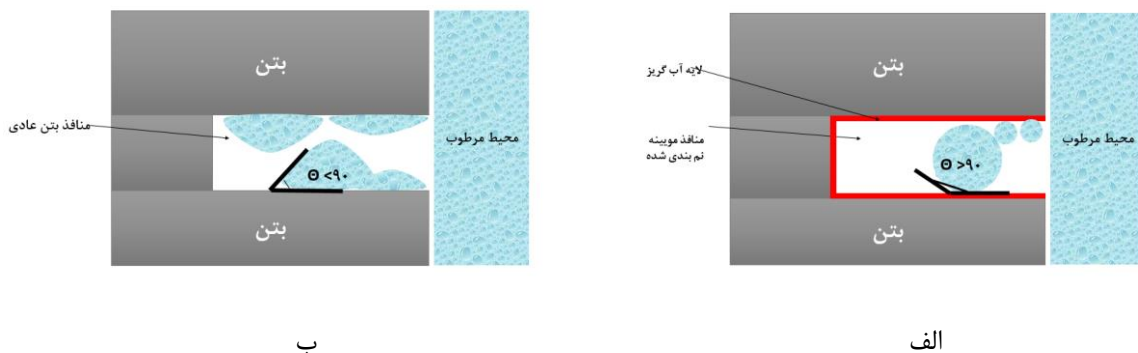
چکیده

انتقال رطوبت و یون‌های مخرب همراه با آن از جمله عوامل اصلی تهدیدکننده دوام سازه‌های بتنی می‌باشند. افزودنی‌های نم بند مانند استنارات کلسیم می‌توانند با ایجاد یک لایه آب‌گریز در سطح منافذ موئینه، ورود آب به داخل بتن را محدود کرده و بدین طریق دوام سازه‌های بتنی را بهبود بخشند. بر این اساس، در این پژوهش اثر استنارات کلسیم بر مشخصات بتن خودتراکم در حالت‌های تازه و سخت‌شده بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در حالت بتن تازه، چگالی، قابلیت پرکنندگی و قابلیت عبور بتن خودتراکم در صورت استفاده از این افزودنی کاهش می‌یابد، اما این ماده بر افت اسلامپ بتن خودتراکم اثر محسوسی نمی‌گذارد. یافته‌های پژوهش در بخش مشخصات مکانیکی حاکی از کاهش در مقاومت فشاری و چگالی بتن سخت‌شده می‌باشد. نهایتاً، بررسی پارامترهای دوامی نشان می‌دهد که گرچه این مواد تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر مقاومت الکتریکی، جذب آب کلی و ضریب مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید نمی‌گذارند، اما استفاده از این مواد، جذب آب موئینه و جذب آب حجمی را به شدت کاهش می‌دهد؛ بطوریکه، در صورت استفاده از ۷ کیلوگرم بر مترمکعب استنارات کلسیم، عمق نهایی نفوذ موئینه، جذب آب نیم‌ساعته و سه‌روزه را به ترتیب ۶۰٪، ۶۵٪ و ۱۳٪ کاهش می‌یابند.

کلمات کلیدی: استنارات کلسیم، افزودنی نم بند، دوام، بتن خودتراکم، نفوذپذیری، جذب آب

۱. مقدمه

امروزه بتن خودتراکم به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فردش مانند کارایی و دوام مطلوب به‌طور گسترده در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. علی‌رغم این ویژگی‌های مطلوب هنوز نگرانی‌های زیادی در خصوص دوام این بتن‌ها وجود دارد. به‌منظور ارتقاء مشخصه‌های دوامی انواع بتن‌ها به‌ویژه بتن‌های خودتراکم، راهکارهای متعددی از جمله کاهش نسبت آب به سیمان و استفاده از مواد جایگزین سیمان وجود دارد [۱-۷]. علاوه بر این، اخیراً استفاده از افزودنی‌های نم بند جهت بهبود مشخصه‌های دوامی طیف گسترده‌ای از بتن‌ها و ملات‌ها مورد استفاده قرار گرفته است [۸-۲۵]. از این رو انتظار می‌رود که این افزودنی‌ها در بهبود مشخصه‌های دوامی بتن‌های خودتراکم نیز مؤثر باشند. شکل ۱ تغییر زاویه بین قطره آب و دیواره منافذ را در صورت استفاده از این مصالح نشان می‌دهد. بر اساس این شکل و گزارش ACI 212.3R10 [۲۶]، در صورت استفاده از این مواد، گرچه منافذ مویینه بتن باز می‌مانند، اما این افزودنی‌ها یک‌لایه آب‌گریز در سطح منافذ ایجاد می‌کنند. در نتیجه زاویه بین قطره آب با سطح بتن افزایش یافته و با افزایش این زاویه، حرکت آب در داخل بتن سخت‌تر شده و بتن، آب کمتری جذب می‌کند. ضمناً همان‌طور که مشاهده می‌شود، به دلیل مسدود نشدن منافذ بتن، انتظار می‌رود این مواد تنها در شرایط عدم وجود فشار هیدرو استاتیک مؤثر باشند.



شکل ۱- مقایسه حالت قطره آب در منافذ بتن - (الف) منافذ نم‌بندی شده - (ب) منافذ بتن عادی

یکی از افزودنی‌های نم‌بند رایج برای استفاده در بتن، استئارات کلسیم است که از واکنش بین اسید استئاریک و سنگ‌آهک به دست می‌آید. مروری بر پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که تأثیرات این ماده بر ویژگی‌های طیف گسترده‌ای از بتن‌ها و ملات‌ها بررسی شده است. این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که استئارات کلسیم مشخصه‌های دوامی (به‌ویژه مشخصه‌های دوامی در شرایط عدم وجود فشار هیدرواستاتیک) را بهبود داده است [۸-۱۵]. گرچه گزارش‌های ضدونقیضی نیز از اثرات جنبی آن بر مشخصات مکانیکی بتن‌ها و ملات‌های بررسی شده نیز ارائه شده است. به‌عنوان مثال آگوس ماریوتو^۱ [۹] نتیجه گرفت که استئارات کلسیم تا مقدار ۴ کیلوگرم بر مترمکعب باعث افزایش ناچیز مقاومت فشاری بتن‌های عادی می‌شود. پژوهش‌های دیگری نیز بی‌تأثیری استئارات کلسیم را بر فوم بتن‌های تولیدشده با چگالی ۵۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ملات‌های پایه آهکی هوادهی شده نشان داده‌اند [۱۰ و ۱۲]. اما، یک مطالعه دیگر کاهش در چگالی، مقاومت خمشی و مقاومت فشاری ملات‌های ساخته‌شده با سیمان پرتلند سنگ آهکی را بر اثر استفاده از این مواد را گزارش کرده است [۱۶].

بررسی دقیق‌تر مطالعات گذشته نیز نشان می‌دهد که برخی از پژوهش‌ها، اثر افزودنی‌های نم‌بند پایه سیلانی را بر مشخصات رئولوژی و مشخصات مکانیکی بتن‌های خودتراکم بررسی کرده‌اند [۲۴]. اما مطالعات بیشتری لازم است تا اثر یک افزودنی نم‌بند مانند استئارات کلسیم بر مشخصات مکانیکی، دوامی و خواص بتن تازه خودتراکم مشخص شود. از این رو، این مطالعه به بررسی اثر استئارات کلسیم بر مشخصات مکانیکی و دوام بتن سخت‌شده و خواص بتن خودتراکم در حالت تازه اختصاص یافته است. بدین منظور در بخش اول، اثرات

^۱ Agus Maryoto

این ماده بر چگالی بتن تازه، قابلیت عبور و قابلیت پرکنندگی بتن خودتراکم مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش دوم، تأثیرگذاری استنارات کلسیم بر دوام بتن در شرایط عدم وجود فشار هیدرو استاتیک به وسیله آزمایش های جذب آب موئینه و جذب آب حجمی بررسی می شود. سپس، عملکرد این ماده در شرایط وجود فشار هیدرو استاتیک به وسیله آزمایش های مقاومت الکتریکی و مهاجرت تسریع شده یون های کلراید ارزیابی می شود. در نهایت آزمایش های مقاومت فشاری و چگالی بتن سخت شده برای بررسی اثر این افزودنی بر مشخصات مکانیکی در نظر گرفته شده است.

۲. برنامه آزمایشگاهی

۲.۱- مصالح

سیمان پرتلند^۱ به کاررفته برای ساخت مخلوط های بتنی، سیمان پرتلند نوع ۲ با چگالی ۳/۱۵ گرم بر سانتی متر و نرمی (بلین) ۳۱۶۰ سانتی متر مربع بر گرم، منطبق بر الزامات استاندارد ISIRI 389 می باشد که آنالیز شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است. جهت حصول کارایی مطلوب در بتن خودتراکم تازه، مخلوط ریزدانه مصرفی، ترکیبی از ۹۲٪ ماسه و ۸٪ پودرسنگ می باشد. همچنین درشت دانه مصرفی نیز ترکیبی از دو شن نخودی و بادامی با نسبت های اختلاط ۲۰٪ و ۸۰٪ می باشد. دانه بندی مخلوط های نهایی ریزدانه و درشت دانه مصرفی در شکل ۲ نشان داده شده است. جدول ۲ نیز وزن مخصوص و درصد جذب آب مصالح مصرفی را نشان می دهد. آب شهری تصفیه شده است که با الزامات استاندارد ASTM 1602 تطابق دارد. فوق روان کننده مصرفی با پایه شیمیایی پلی کربوکسیلات اثر دارای وزن مخصوص ۱/۰۷ و با قابلیت حفظ کارایی بالا (فاقد ماده دیر گیر کننده) می باشد. نهایتاً استنارات کلسیم مصرفی به صورت پودری سفیدرنگ با چگالی ۱۴۰ گرم بر لیتر و محصول شرکت فن آوران شیمی تجزیه می باشد.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان پرتلند مصرفی (درصد وزنی)

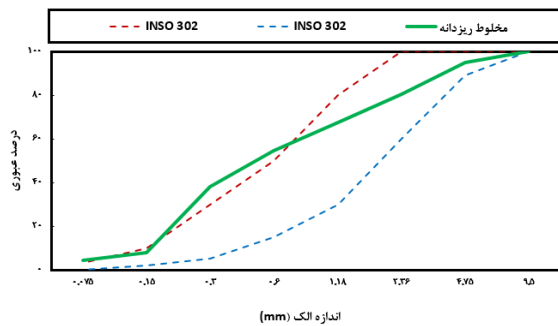
نام ترکیب	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
درصد ترکیب	۶۴/۲	۲۰/۷	۴/۷	۴/۰	۱/۳	۰/۶۵	۰/۳۲	۶۰	۱۴	۶	۱۲

جدول ۲- وزن مخصوص و درصد جذب آب مصالح

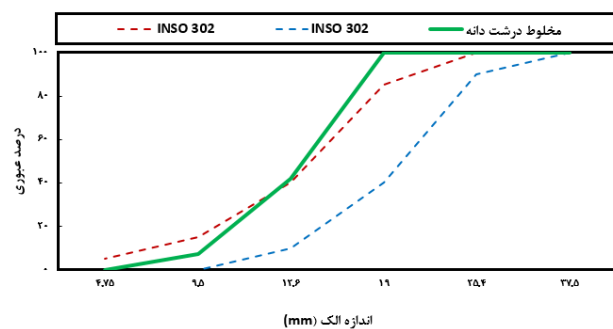
مصالح	وزن مخصوص اشباع با سطح خشک	درصد جذب آب
شن بادامی	۲/۷۰	۱/۰
شن نخودی	۲/۶۵	۱/۰
ماسه	۲/۶۵	۲/۳
پودر سنگ ^۲	۲/۲۳	۱۲/۰

^۱ تولید شرکت سیمان دلیجان

^۲ جهت محاسبه درصد جذب آب پودرسنگ، ابتدا تا درصدی که انجام آزمایش مقدور باشد، ماسه با پودرسنگ جایگزین شده و درصد جذب آب مخلوط بدست آمده محاسبه شده است. نهایتاً برای محاسبه درصد جذب آب پودرسنگ خالص از روابط برونیابی استفاده شده است.



ب



الف

شکل ۲- دانه بندی مصالح مصرفی. (الف): ترکیب نخودی و بادمی (درشت دانه مصرفی) - (ب): ترکیب ماسه و پودرسنگ (ریزدانه مصرفی)

۲.۲- طرح های مخلوط

برای بررسی اثر استنارات کلسیم بر خواص مکانیکی، دوام و مشخصات بتن تازه خودتراکم، ۷ طرح مخلوط^۱ در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ شامل مقادیر مختلف استنارات کلسیم در یک مترمکعب ساخته شده است. طرح مخلوط این بتن ها در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین ذکر این نکته ضروری است که با توجه به نامحلول بودن استنارات کلسیم در آب، برای کلیه بتن ها (اعم از بتن کنترل و بتن های حاوی استنارات کلسیم)، ۱۰ دقیقه زمان اختلاط در مخلوط کن تا بهای در نظر گرفته شده است و در بتن های حاوی ماده نم بند، استنارات کلسیم در دقیقه سوم پس از شروع اختلاط به مخلوط اضافه شده است. همچنین، مقدار فوق روان کننده اضافه شده به تمامی نمونه ها ثابت بوده تا تنها یک عامل متغیر (مقدار استنارات کلسیم) در تمامی آزمایش ها وجود داشته باشد.

جدول ۳- طرح مخلوط بتن های خودتراکم

نام مخلوط	سیمان (kg/m ³)	آب (kg/m ³)	شن (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	فوق روان کننده (درصد وزنی سیمان)	مقدار استنارات (kg/m ³)	مقدار استنارات (درصد وزنی سیمان)
Co	۴۰۰	۱۸۰	۶۱۸	۱۱۲۴	۰,۹	—	—
Ca-1	۴۰۰	۱۸۰	۶۱۸	۱۱۲۴	۰,۹	۱	۰/۲۵
Ca-2	۴۰۰	۱۸۰	۶۱۸	۱۱۲۴	۰,۹	۲	۰/۵۰
Ca-3	۴۰۰	۱۸۰	۶۱۸	۱۱۲۴	۰,۹	۳	۰/۷۵
Ca-4	۴۰۰	۱۸۰	۶۱۸	۱۱۲۴	۰,۹	۴	۱
Ca-7	۴۰۰	۱۸۰	۶۱۸	۱۱۲۴	۰,۹	۷	۱/۷۵

^۱ طرح های مخلوط بر اساس روش ملی طرح مخلوط ارائه شده اند.

۳،۲- برنامه آزمایش‌ها

۱،۳،۲- برنامه آزمایش‌های بتن خودتراکم تازه

با توجه به آنکه استفاده از هرگونه افزودنی جدید در طرح اختلاط بتن خودتراکم، ممکن است با تأثیرات غیرمنتظره در خواص بتن تازه همراه باشد، طیف وسیعی از آزمایش‌ها شامل آزمایش جریان اسلامپ^۱، حلقه^۲، کیف وی شکل^۳، چگالی بتن تازه^۴ و افت روانی در نظر گرفته شده است. ذکر این نکته ضروری است که برای اندازه‌گیری افت روانی، جریان اسلامپ بلافاصله پس از ساخت بتن و یک ساعت پس از ساخت بتن اندازه‌گیری شده و تفاضل این دو مقدار به‌عنوان پارامتر افت روانی گزارش شده است. به‌منظور انجام آزمایش افت روانی قابل استناد، به نکات زیر توجه شده است:

- در طول مدت یک ساعت انجام آزمایش از تبخیر آب از بتن جلوگیری شده و دمای مخلوط و محیط اطراف آن در بازه ۱۵ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شده است.

- رطوبت مصالح مورداستفاده در تمامی طرح‌ها ثابت و با درصد رطوبت مشابه بوده است. نهایتاً، در تمامی آزمایش‌ها، مقدار فوق روان کننده ثابت نگه داشته شده است تا آزمایش‌ها تنها با یک متغیر (مقدار استنارات کلسیم) انجام شود.

۲،۳،۲- برنامه آزمایش‌های بتن سخت شده

به‌منظور بررسی تأثیر استنارات کلسیم بر مشخصات مکانیکی، مقاومت فشاری^۵ در سنین مختلف، میانگین مقاومت فشاری سه نمونه مکعبی با ابعاد ۱۰ سانتی‌متر در سنین ۱۴، ۲۸، ۵۶ و ۱۲۰ روز ارائه شده است. همچنین چگالی بتن سخت‌شده نیز در سن ۲۸ روز گزارش شده است. به‌منظور بررسی استنارات کلسیم بر مشخصات دوامی بتن‌های خودتراکم، طیف گسترده‌ای از آزمایش‌های دوامی در نظر گرفته شده است. برای انجام آزمایش‌های جذب آب مویینه^۶، جذب آب حجمی^۷ و مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید^۸، از یک استوانه با قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، سه نمونه (دیسک) با قطر ۱۰ و ارتفاع ۵ سانتی‌متر تهیه شده است. در آزمایش جذب آب مویینه، نمودار جذب آب مویینه و عمق نهایی نفوذ مویینه پس از ۱۴ روز قرارگیری آزمون‌ها در آب به‌دست‌آمده است. این نکته مهم است که به‌جای شرایط رطوبتی اولیه که در استاندارد ذکر شده است، آزمون‌های این پژوهش تا رسیدن به وزن یکسان در گرمخانه خشک شده‌اند. در آزمایش جذب آب حجمی، با توجه به افزایش جرم آزمون در نیم ساعت و سه روز، پارامترهای جذب آب نیم‌ساعته (کوتاه‌مدت) و سه‌روزه (بلندمدت) محاسبه شده‌اند. در این آزمایش، پارامتر جذب آب کلی (TWA) نیز با در نظر گرفتن وزن آزمون در حالت‌های اشباع با سطح خشک (A) و کاملاً خشک (B) طبق معادله ۱ به دست آمده است. نهایتاً، در آزمایش مقاومت الکتریکی^۹، میانگین ۸ قرائت از یک آزمون استوانه‌ای با قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر که بلافاصله از استخر عمل‌آوری خارج شده است در سنین ۱۴، ۲۸، ۵۶ و ۱۲۰ روز، به‌عنوان مقاومت الکتریکی نمونه گزارش شده است.

^۱ بر اساس استاندارد ملی ۱۱۲۷۰

^۲ بر اساس استاندارد ملی ۱۱۲۷۱

^۳ بر اساس استاندارد ملی ۳۲۰۹-۹

^۴ بر اساس استاندارد ملی ۳۲۰۶-۶

^۵ بر اساس استاندارد ملی ۱۶۰۸-۳

^۶ بر اساس استاندارد ASTM C1585

^۷ بر اساس استاندارد EN 188-22

^۸ بر اساس استاندارد ملی ۲۱۴۷۹

^۹ بر اساس FM 5-578

$$TWA = \left(\frac{A - B}{B} \right) * 100$$

معادله ۱

۳. بحث و نتایج

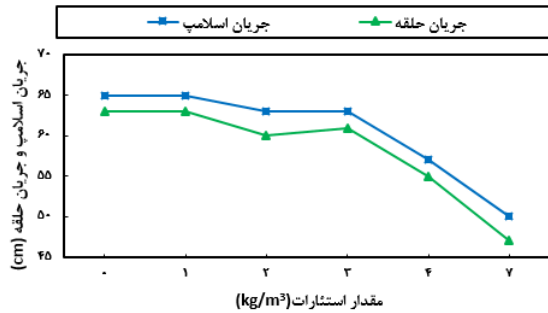
۱.۳. بتن تازه

شکل ۳- الف تأثیر استنارات کلسیم را بر افت اسلامپ بتن خودتراکم تازه نشان می‌دهد. به‌طور کلی استنارات کلسیم بر افت کارایی این بتن‌ها تأثیرگذار نبوده است. ذکر این نکته ضروری است که فوق روان‌کننده مصرفی دارای خاصیت بالای حفظ کارایی (فاقد افزودنی دیر گیر) بوده و دمای مخلوط و محیط اطراف آن نیز تقریباً پایین بوده است (بین ۱۵ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد). این موارد می‌توانند دلایل رخداد این مشاهدات باشند.

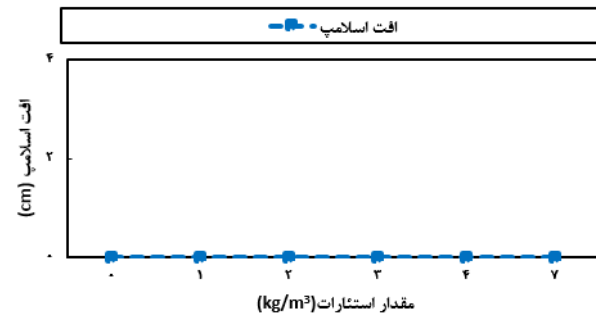
شکل ۳- ب تأثیر استنارات کلسیم را بر جریان اسلامپ و جریان حلقه بتن‌های خودتراکم نشان می‌دهد. به‌طور کلی استنارات کلسیم باعث کاهش قابلیت پرکنندگی و قابلیت عبور شده است. بررسی دقیق‌تر این نمودار نشان می‌دهد که استنارات کلسیم تا مقدار مصرف ۳ کیلوگرم بر مترمکعب، تأثیر چندانی بر قابلیت‌های پرکنندگی و عبور نداشته است اما در مقادیر مصرف بالاتر کاهش قابل توجهی در این پارامترها قابل مشاهده است. به‌طوری که استفاده از ۷ کیلوگرم بر مترمکعب از این ماده جریان اسلامپ و جریان حلقه را حدود ۲۵٪ کاهش داده است. نهایتاً روند مشاهده شده مبنی بر کاهش کارایی بتن تازه با روند مشاهده شده در تحقیق شماره [۲۷] سازگار است. گرچه در این تحقیق اشاره شده است که استفاده از ۲ کیلوگرم بر مترمکعب استنارات روی و استنارات کلسیم، کارایی بتن‌های عادی را تا ۴۰٪ کاهش می‌دهد، نتایج پژوهش حاضر حاکی از عدم تأثیرگذاری ۲ کیلوگرم بر مترمکعب استنارات کلسیم بر کارایی بتن‌های خودتراکم است.

شکل ۳- ج تأثیر استفاده از استنارات کلسیم را بر زمان تخلیه قیف وی شکل و زمان رسیدن بتن خودتراکم به قطر پخش شدگی ۵۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد، همان‌گونه که مشخص است رویکرد کلی افزایش پارامترهای ذکر شده در صورت استفاده از این ماده می‌باشد. همانند شکل ۳- ب استنارات کلسیم تا مقدار مصرف ۳ کیلوگرم بر مترمکعب تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر این پارامترها ندارد. اما مقدار ۷ کیلوگرم از این ماده پارامترهای T_{50} و زمان تخلیه قیف وی شکل را به ترتیب ۴۰٪ و ۱۰۰٪ افزایش داده است. این تغییرات نشان می‌دهند که افزایش در این دو پارامتر بیشتر ناشی از کاهش قابلیت پرکنندگی بتن است تا افزایش لزجت بتن خودتراکم.

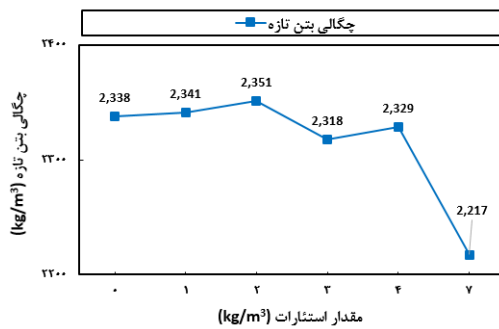
شکل ۳- د نیز چگالی بتن‌های تازه حاوی استنارات و بتن کنترل را باهم مقایسه می‌کند. همان‌طور که مشخص است استفاده از استنارات کلسیم تا مقدار ۴ کیلوگرم بر مترمکعب تأثیر چندانی بر چگالی بتن تازه نداشته است اما استفاده از ۷ کیلوگرم بر مترمکعب از این ماده چگالی بتن خودتراکم تازه تا حدود ۵٪ کاهش می‌دهد. این یافته‌ها، نتایج ارائه شده در تحقیق شماره [۲۷] را تأیید می‌کند. طبق نتایج ارائه شده در مطالعه شماره [۲۷] در بخش بررسی حباب هوای بتن تازه، درصد حباب هوای بتن تازه در صورت استفاده از ۲ کیلوگرم بر مترمکعب در حد بسیار ناچیز افزایش یافته است که با روند کلی به‌دست آمده در بخش چگالی بتن تازه این پژوهش سازگار است.



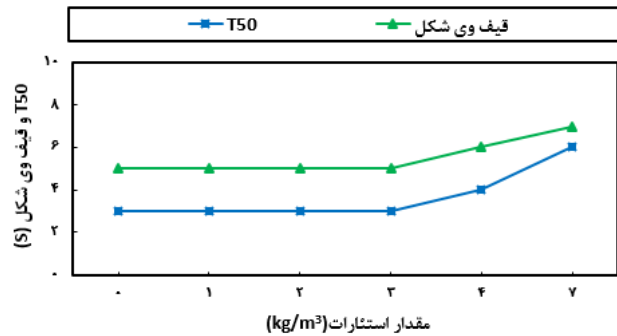
ب



الف



د

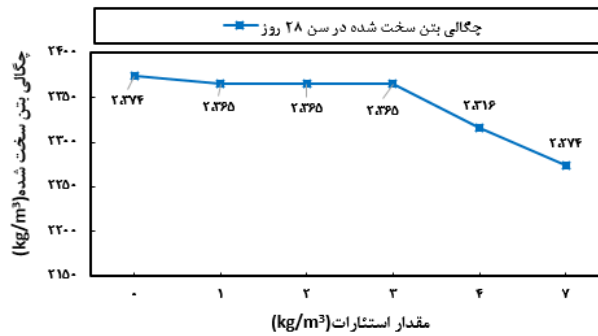


ج

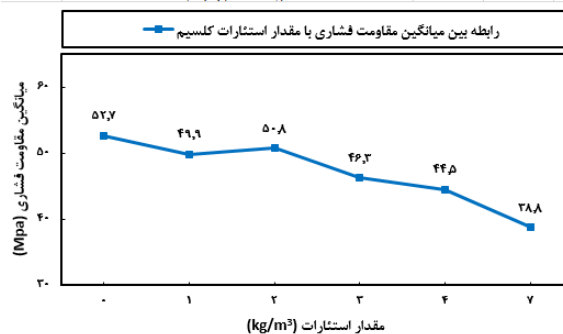
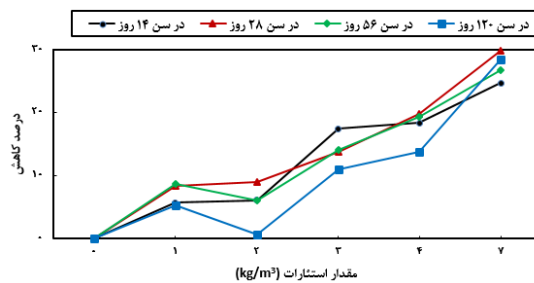
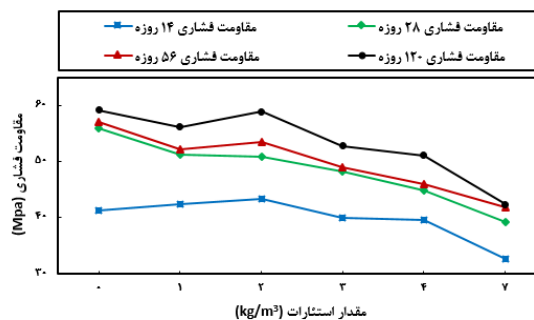
شکل ۳- تأثیر استنارات کلسیم بر خواص بتن خودتراکم در حالت تازه

۲.۳. مشخصات مکانیکی

شکل ۴ تأثیر استنارات کلسیم را بر چگالی بتن سخت‌شده نشان می‌دهد. نگاه اجمالی به این نمودار نشان می‌دهد که چگالی بتن سخت‌شده نیز مانند چگالی بتن تازه کاهش می‌یابد. نگاه دقیق‌تر به این نمودار نشان می‌دهد که استنارات کلسیم تا مقدار مصرف ۳ کیلوگرم بر مترمکعب تأثیر چندانی بر چگالی بتن سخت‌شده ندارد اما در مقادیر مصرف بالاتر، چگالی بتن سخت‌شده کاهش می‌یابد. به طوری که در صورت استفاده از ۷ کیلوگرم استنارات کلسیم به ازای یک مترمکعب، چگالی بتن سخت‌شده در سن ۲۸ روز، ۰.۴ درصد کاهش یافته است.



شکل ۴- تأثیر استئارات کلسیم بر چگالی بتن سخت شده



ج

شکل ۵- الف و ب تأثیر استئارات کلسیم بر مقاومت فشاری بتن تازه و درصد کاهش مقاومت هر نمونه را نشان می‌دهد. طبق این شکل در تمامی سنین مورد بررسی با افزایش مقدار استئارات کلسیم، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد؛ به طوری که در سن ۲۸ روز، در صورت استفاده از ۷ کیلوگرم بر مترمکعب از این ماده مقاومت فشاری حدود ۳۰٪ درصد کاهش یافته است. نتایج به دست آمده در بخش بررسی

مقاومت فشاری با نتایج به دست آمده در بخش‌های چگالی بتن تازه و سخت‌شده سازگار است. اما توجه به این نکته ضروری است که در صورت استفاده از ۷ کیلوگرم استئارات کلسیم مقاومت فشاری، چگالی بتن تازه و چگالی بتن سخت شده به ترتیب ۵٪، ۴٪ و ۳۰٪ کاهش یافته‌اند. همچنین در مقادیر مصرف کمتر استئارات کلسیم، علی‌رغم عدم رخداد تغییر محسوس در درصد هوای بتن تازه و بتن سخت شده، مقاومت فشاری کاهش یافته است. متناسب نبودن درصد کاهش مقاومت مشاهده‌شده با درصد کاهش در چگالی بتن تازه و بتن سخت شده نشان می‌دهد که شاید بخشی از کاهش مقاومت مشاهده‌شده به دلیل حباب‌زایی استئارات کلسیم در بتن و بخش دیگری از آن ناشی از عوامل دیگر به‌ویژه اثر استئارات کلسیم بر مشخصات و چسبندگی لایه‌مرزی باشد. نهایتاً، بررسی چگالی و مقاومت فشاری بتن سخت شده نشان می‌دهد که ایجاد یک‌لایه آب‌گریز در دیواره منافذ مویینه تنها تغییر رخ داده به‌واسطه استفاده از افزودنی‌های نم‌بند در مخلوط نیست. زیرا پارامترهای چگالی بتن سخت‌شده و مقاومت فشاری به‌واسطه شکل گرفتن یک‌لایه آب‌گریز در دیواره منافذ مویینه کاهش نمی‌یابد. علاوه بر ایجاد شدن لایه مذکور، افزایش درصد حباب هوای بتن تازه و به‌تبع آن کاهش چگالی و مقاومت بتن سخت‌شده نیز از جمله سایر تغییرات رخ داده در مخلوط می‌باشد.

شکل ۵-ج رابطه بین میانگین نمونه‌های حاوی مقدار ثابت استئارات در سنین مختلف را با مقدار این افزودنی نشان می‌دهد. این شکل نیز مانند شکل‌های شکل ۵-الف و ب نشان می‌دهد که در صورت استفاده از استئارات کلسیم مقاومت فشاری کاهش می‌یابد اما رابطه خاصی بین مقاومت فشاری و مقدار استئارات به لحاظ خطی یا غیرخطی بودن مشاهده نمی‌شود.

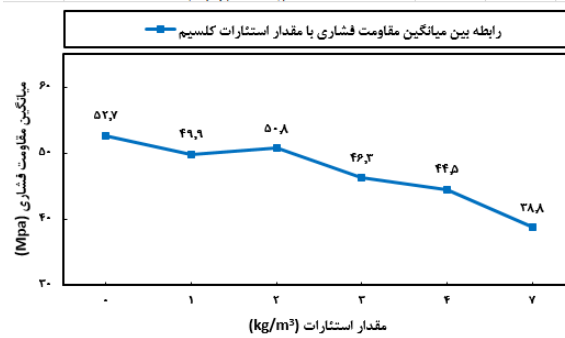
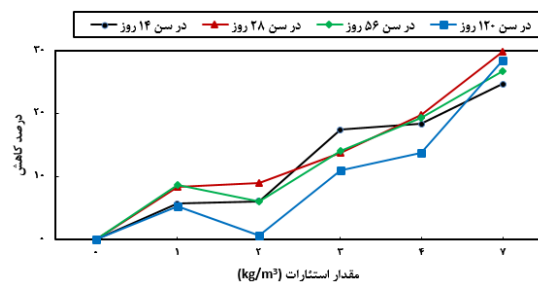
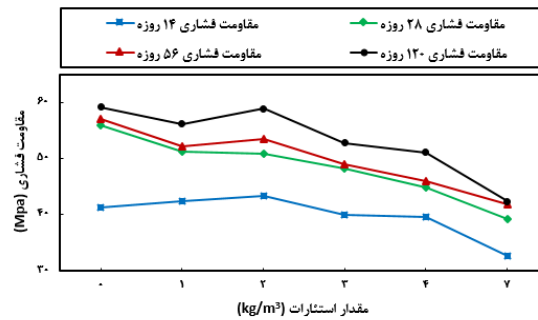
۲،۳. دوام

۱،۲،۳. مقاومت الکتریکی ویژه

مقاومت الکتریکی کلیه نمونه‌ها در سنین مختلف در شکل ۶ نمایش داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که استئارات کلسیم توانایی افزایش مقاومت الکتریکی را ندارد. این نتایج، مکانیسم عملکرد افزودنی‌های نم‌بند را که در تحقیق شماره [۲۶] ارائه شده است را تأیید می‌کند. طبق تحقیق شماره [۲۶] افزودنی‌های نم‌بند توانایی مسدود کردن یا افزایش پیچاپچی منافذ مویینه را ندارد و این موضوع با عدم تغییر در مقاومت الکتریکی نمونه‌ها سازگار است. نکته مهم آن است که گرچه مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی ۷ کیلوگرم استئارات کلسیم، حدود ۳۰ درصد از مقاومت فشاری بتن کنترل کمتر است، اما این کاهش مقاومت باعث تغییر در مقاومت الکتریکی نشده است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که کاهش مقاومت فشاری در بتن‌های حاوی استئارات کلسیم، لزوماً با کاهش مقاومت الکتریکی همراه نیست.

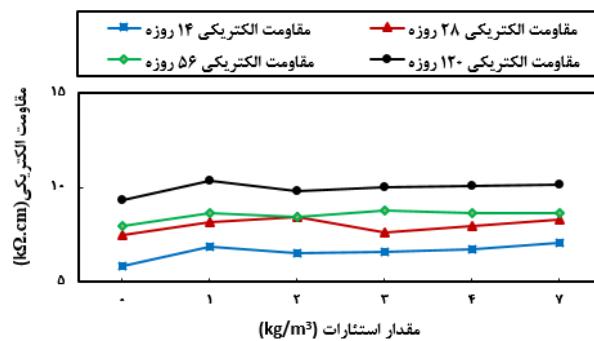
۲،۲،۳. مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید

شکل ۷ تأثیر استئارات کلسیم بر مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید را نشان می‌دهد. طبق این شکل این افزودنی توانایی کاهش ضریب مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید را ندارد. اما همان‌گونه که در بخش مقاومت الکتریکی بیان شد، کاهش مقاومت فشاری در اثر مصرف ۷ کیلوگرم استئارات کلسیم نه تنها باعث افزایش ضریب مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید نشده است، بلکه این پارامتر کاهش بسیار ناچیزی نیز داشته است. این تأثیر مثبت اما اندک را می‌توان به لایه آب‌گریز موجود در سطح منافذ مویینه بتن نسبت داد. اما به‌طور کلی، نتایج آزمایش‌های مقاومت الکتریکی و مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید نشان می‌دهد که استئارات کلسیم افزودنی مناسبی برای بتن‌هایی که در معرض فشار هیدرو استاتیک هستند، نمی‌باشد زیرا کاهش نفوذپذیری در این شرایط منوط به افزایش پیچاپچی در تخلخل مویینه بتن، قطع شدن ارتباط بین آن‌ها و به‌طور کلی بهبود ساختار منافذ مویینه است. اما چنین بهبودی از نتایج آزمایش‌های مقاومت الکتریکی و مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید قابل حصول نیست. زیرا چنانچه ساختار منافذ مویینه بهبود یابد، مقاومت الکتریکی افزایش و مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

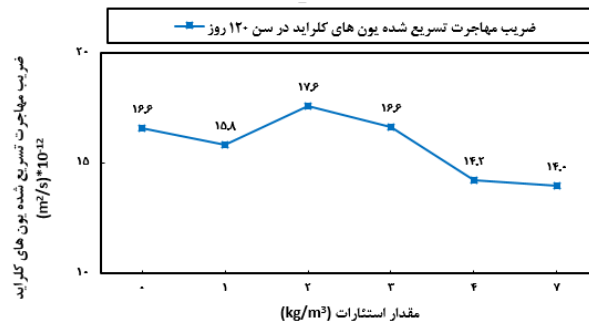


ج

شکل ۵- تأثیر استتارات کلسیم بر مقاومت فشاری



شکل ۶- تأثیر استتارات کلسیم بر مقاومت الکتریکی



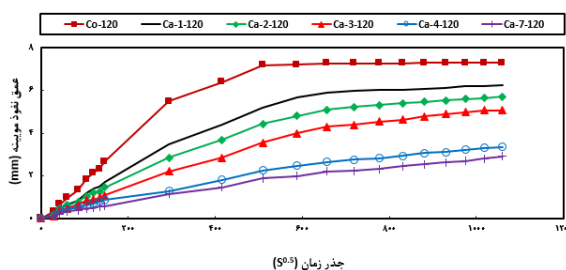
شکل ۷- اثر استنارات کلسیم بر مهاجرت تسریع شده یون های کلراید

۳.۲.۳. جذب آب مویینه

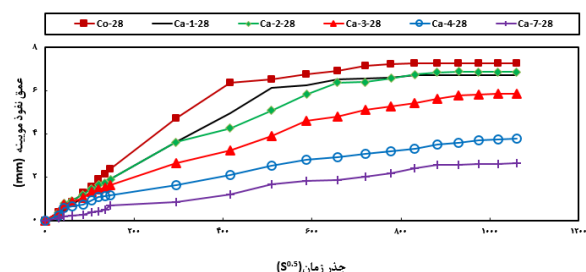
شکل ۸ تأثیر استنارات کلسیم را بر نرخ جذب آب و عمق نفوذ مویینه نشان می دهد. طبق این شکل با افزایش مقدار استنارات کلسیم، نرخ و عمق نهایی نفوذ مویینه به شدت کاهش می یابد. به طوری که استفاده از ۷ کیلوگرم استنارات کلسیم در سن ۲۸ و ۱۲۰ روز، عمق نهایی نفوذ مویینه را حدود ۶۰ درصد کاهش داده است.

دلیل این پدیده را می توان مستقیماً به لایه آب گریز موجود در سطح منافذ مویینه نسبت داد. همچنین همان طور که مشخص است کاهش مقاومت رخ داده در صورت استفاده از استناراتها نه تنها باعث افزایش نفوذپذیری نشده است، بلکه نرخ و عمق نهایی نفوذ مویینه به شدت کاهش یافته است و این بدین معناست که لایه آب گریز موجود در سطح منافذ تأثیر به مراتب قوی تری نسبت به کاهش مقاومت در پدیده نفوذ مویینه دارد. همچنین در شکل ۸- الف مشخص است که استفاده از ۱ کیلوگرم استنارات کلسیم تأثیر بهتری نسبت به ۲ کیلوگرم بر مترمکعب از این ماده دارد. به نظر می رسد که دلیل این پدیده خطاهای رایج در فرآیند انجام آزمایش باشد تا رفتار متفاوت استنارات کلسیم در این مقدار مصرف.

همچنین شکل ۹ درصد کاهش در عمق نهایی نفوذ مویینه را پس از ۲۸ و ۱۲۰ روز عمل آوری مقایسه می کند. این نمودار نشان می دهد که رابطه درصد کاهش در این پارامتر با میزان استنارات خطی نیست. همچنین به طور کلی کاهش عمق نهایی نفوذ مویینه در سن ۱۲۰ روز به مراتب بیشتر از سن ۲۸ روز بوده است. این پدیده را می توان این گونه توجیه نمود که با پیشرفت هیدراسیون توزیع و اندازه منافذ مویینه کاهش یافته و نتیجتاً چگالی استنارات بر دیواره منافذ افزایش یافته است. چگالی بیشتر استنارات کلسیم بر دیواره منافذ مویینه می تواند دلیل رخداد این پدیده باشد. البته این نتیجه گیری برای مقدار مصرف ۷ کیلوگرم بر مترمکعب استنارات کلسیم صحیح نمی باشد زیرا در صورت مصرف ۷ کیلوگرم بر مترمکعب از این ماده درصد کاهش در عمق نهایی نفوذ مویینه در سن ۲۸ و ۱۲۰ روز تقریباً برابر بوده است. این مشاهده بیان می کند که در مقادیر مصرف بالا، اثر استنارات کلسیم آن قدر چشمگیر است که اثر سن نمونه و پیشرفت هیدراسیون کمرنگ شده و گذر زمان و کاهش تخلخل ناشی از آن تأثیری بر عمق نهایی نفوذ مویینه نداشته است.

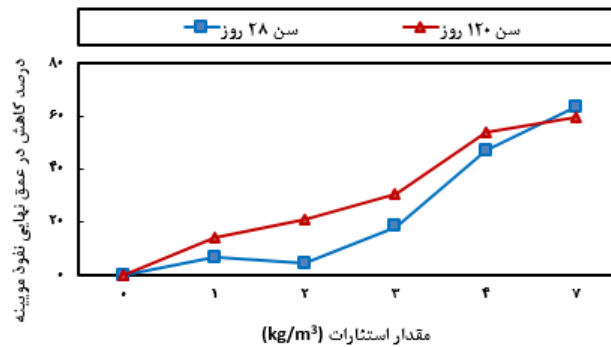


ب



الف

شکل ۸- تأثیر استنارات کلسیم بر جذب آب مویینه

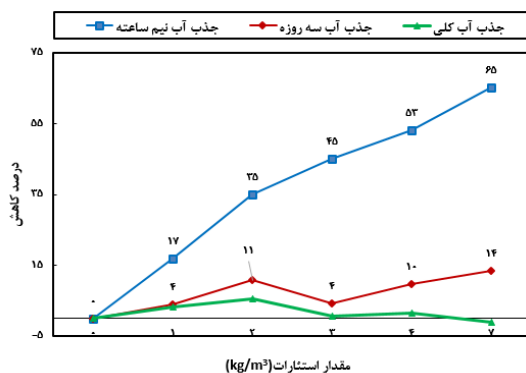


شکل ۹- مقایسه عمق نهایی نفوذ مویینه در سنین ۲۸ و ۹۰ روز

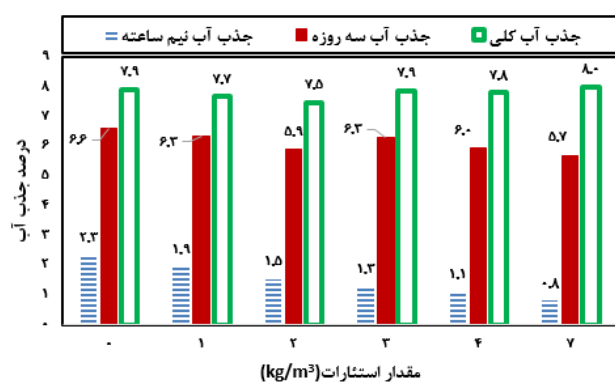
۴،۲،۳. جذب آب حجمی

شکل ۱۰- الف تأثیر استنارات کلسیم را بر پارامتر جذب آب نمایش می‌دهد. به‌طور کلی پارامترهای جذب آب نیم‌ساعته و سه‌روزه در صورت استفاده از استنارات کلسیم کاهش یافته‌اند اما این ماده بر جذب آب کلی تأثیرگذار نبوده است.

شکل ۱۰- ب نشان می‌دهد که با افزایش مقدار استنارات کلسیم، جذب آب نیم‌ساعته کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که استفاده از ۷ کیلوگرم بر مترمکعب از این ماده، جذب آب نیم‌ساعته را ۶۵٪ کاهش می‌دهد. این کاهش را می‌توان مستقیماً به لایه آب‌گریز ایجادشده در منافذ مویینه بتن نسبت داد. این شکل همچنین نشان می‌دهد که استفاده تا مقدار مصرف ۳ کیلوگرم بر مترمکعب نوساناتی در درصد جذب آب سه‌روزه رخ داده است اما در مقادیر مصرف ۴ و ۷ کیلوگرم بر مترمکعب این پارامتر به ترتیب ۱۰٪ و ۱۴٪ کاهش یافته است. این نمودار نشان می‌دهد که تأثیر استنارات کلسیم بر جذب آب کوتاه‌مدت بسیار بیشتر از جذب آب سه‌روزه است. دلیل این مشاهده را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که استنارات کلسیم سرعت جذب آب را کاهش می‌دهد و با گذر زمان میزان آب جذب‌شده توسط بتن به میزان جذب آب کلی نزدیک می‌شود. همچنین این نمودار نشان می‌دهد که جذب آب کلی در صورت استفاده از این ماده تغییر محسوسی نداشته است. این مشاهده با توجه به عدم توانایی استنارات کلسیم در مسدود نمودن منافذ مویینه بتن منطقی به نظر می‌رسد. نهایتاً این نمودار نشان می‌دهد که تا میزان مصرف ۴ کیلوگرم بر مترمکعب رابطه بین درصد کاهش در جذب آب نیم‌ساعته با مقدار استنارات تقریباً خطی است و با افزایش هر ۱ کیلوگرم استنارات کلسیم، درصد جذب آب نیم‌ساعته تقریباً ۱۵٪ کاهش می‌یابد. اما این رابطه در مقادیر مصرف بالاتر (بین ۴ تا ۷ کیلوگرم بر مترمکعب) خطی نیست.



ب



الف

شکل ۱۰- تأثیر استنارات کلسیم بر جذب آب

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر استئارات کلسیم بر مشخصه‌های بتن‌های خودتراکم تازه و سخت‌شده بررسی شد. مخلوط‌های این مقاله در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب ساخته شده‌اند و استئارات کلسیم به‌عنوان ماده افزودنی نم‌بند به این مخلوط‌ها اضافه شده است. مهم‌ترین نتایج این تحقیق به شرح زیر قابل‌ارائه می‌باشد:

- استئارات کلسیم بر افت اسلامپ بتن‌های خودتراکم تأثیری نداشته است.
- استئارات کلسیم چگالی بتن تازه، قابلیت عبور و قابلیت پرکنندگی بتن خودتراکم را کاهش داده است.
- چگالی و مقاومت فشاری بتن سخت‌شده در صورت استفاده از ۷ کیلوگرم بر مترمکعب استئارات کلسیم، به ترتیب ۵٪ و ۳۰٪ کاهش یافته است.
- استئارات کلسیم افزودنی مناسبی برای کاهش نفوذپذیری در شرایط وجود فشار هیدرو استاتیک نمی‌باشد.
- استئارات کلسیم می‌تواند به‌عنوان یک افزودنی مناسب برای کاهش نفوذپذیری در شرایط عدم وجود فشار هیدرواستاتیک به کار رود.
- نتایج آزمایش‌های مقاومت الکتریکی و مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید نشان می‌دهند که استئارات کلسیم ساختار منافذ مویینه را بهبود نمی‌دهند.
- استئارات کلسیم افزودنی مناسبی برای بهبود مشخصه‌های دوامی در شرایط عدم وجود فشار هیدرو استاتیک می‌باشد. زیرا پارامترهای عمق نهایی نفوذ مویینه، جذب آب نیم‌ساعته و سه‌ساعته در صورت استفاده از این ماده به‌شدت کاهش یافته‌اند. این پارامترها در صورت استفاده از ۷ کیلوگرم بر مترمکعب استئارات کلسیم به ترتیب ۶۵٪، ۶۰٪ و ۱۳٪ کاهش یافته‌اند.
- رابطه بین درصد کاهش در جذب آب نیم‌ساعته با مقدار استئارات کلسیم در بازه مصرف ۱ الی ۴ کیلوگرم خطی می‌باشد. اما این رابطه در مقادیر مصرف بالاتر (بین ۴ الی ۷ کیلوگرم بر مترمکعب) غیرخطی است.

۵. تشکر و قدردانی

کلیه آزمایش‌های این مقاله در شرکت دانش‌بنیان نانو بتن امین انجام شده‌اند و نویسندگان مقاله بدین‌وسیله از کمک‌های ارزشمند جناب آقای مهندس بصیر نیا، جناب آقای مهندس یعقوبی و سایر کارکنان آزمایشگاه این شرکت تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۶. مراجع

- [1] F. A. Sabet, N. A. Libre, and M. Shekarchi, "Mechanical and durability properties of self consolidating high performance concrete incorporating natural zeolite, silica fume and fly ash," *Constr. Build. Mater.*, vol. 44, pp. 175–184, 2013.
- [2] M. Nehdi, M. Pardhan, and S. Koshowski, "Durability of self-consolidating concrete incorporating high-volume replacement composite cements," *Cem. Concr. Res.*, vol. 34, no. 11, pp. 2103–2112, 2004.
- [3] R. Saleh Ahari, T. K. Erdem, and K. Ramyar, "Permeability properties of self-consolidating concrete containing various supplementary cementitious materials," *Constr. Build. Mater.*, vol. 79, pp. 326–336, 2015.
- [4] A. Mohan and K. M. Mini, "Strength and durability studies of SCC incorporating silica fume and

ultra fine GGBS,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 171, pp. 919–928, 2018.

[5] M. M. Ranjbar, R. Madandoust, S. Y. Mousavi, and S. Yosefi, “Effects of natural zeolite on the fresh and hardened properties of self-compacted concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 47, pp. 806–813, 2013.

[6] M. Nemati Chari, M. Shekarchi, M. H. Tadayon, and M. Moradian, “Prediction of chloride ingress into blended cement concrete: Evaluation of a combined short-term laboratory-numerical procedure,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 162, pp. 649–662, 2018.

[7] M. N. Chari, M. Shekarchi, J. Sobhani, and M. N. Chari, “The effect of temperature on the moisture transfer coefficient of cement-based mortars: An experimental investigation,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 102, pp. 306–317, 2016.

[8] A. Maryoto, “Resistance of Concrete with Calcium Stearate Due to Chloride Attack Tested by Accelerated Corrosion,” *Procedia Eng.*, vol. 171, pp. 511–516, 2017.

[9] A. Maryoto, “Improving microstructures of concrete using $\text{Ca}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$,” *Procedia Eng.*, vol. 125, pp. 631–637, 2015.

[10] C. Ma and B. Chen, “Properties of foamed concrete containing water repellents,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 123, pp. 106–114, 2016.

[11] L. Falchi, U. Müller, P. Fontana, F. C. Izzo, and E. Zendri, “Influence and effectiveness of water-repellent admixtures on pozzolana-lime mortars for restoration application,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 49, pp. 272–280, 2013.

[12] A. Izaguirre, J. Lanás, and J. I. Alvarez, “Effect of water-re

pellent admixtures on the behaviour of aerial lime-based mortars,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 2, pp. 992–1000, 2011.

[13] A. Lagazzo, S. Vicini, C. Cattaneo, and R. Botter, “Effect of fatty acid soap on microstructure of lime-cement mortar,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 116, pp. 384–390, 2016.

[14] M. Lanzón and P. A. García-Ruiz, “Evaluation of capillary water absorption in rendering mortars made with powdered waterproofing additives,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 10, pp. 3287–3291, 2009.

[15] M. Lanzón and P. A. García-Ruiz, “Effectiveness and durability evaluation of rendering mortars made with metallic soaps and powdered silicone,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 12, pp. 2308–2315, 2008.

[16] L. Falchi, E. Zendri, U. Müller, and P. Fontana, “The influence of water-repellent admixtures on the behaviour and the effectiveness of Portland limestone cement mortars,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 59, pp. 107–118, 2015.

[17] M. Lanzón, E. Martínez, M. Mestre, and J. A. Madrid, “Use of zinc stearate to produce highly-hydrophobic adobe materials with extended durability to water and acid-rain,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 139, pp. 114–122, 2017.

[18] H. S. Wong, R. Barakat, A. Alhilali, M. Saleh, and C. R. Cheeseman, “Hydrophobic concrete

using waste paper sludge ash,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 70, pp. 9–20, 2015.

[19] F. Tittarelli and G. Moriconi, “The effect of silane-based hydrophobic admixture on corrosion of galvanized reinforcing steel in concrete,” *Corros. Sci.*, vol. 52, no. 9, pp. 2958–2963, 2010.

[20] F. Tittarelli, “Oxygen diffusion through hydrophobic cement-based materials,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 39, no. 10, pp. 924–928, 2009.

[21] F. Tittarelli and G. Moriconi, “Comparison between surface and bulk hydrophobic treatment against corrosion of galvanized reinforcing steel in concrete,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 41, no. 6, pp. 609–614, 2011.

[22] F. Tittarelli, M. Carsana, and M. L. Ruello, “Effect of hydrophobic admixture and recycled aggregate on physical-mechanical properties and durability aspects of no-fines concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 66, pp. 30–37, 2014.

[23] Y. G. Zhu, S. C. Kou, C. S. Poon, J. G. Dai, and Q. Y. Li, “Influence of silane-based water repellent on the durability properties of recycled aggregate concrete,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 35, no. 1, pp. 32–38, 2013.

[24] V. Corinaldesi, “Combined effect of expansive, shrinkage reducing and hydrophobic admixtures for durable self compacting concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 36, pp. 758–764, 2012.

[25] E. Vejmelková, D. Koňáková, M. Čáchová, M. Keppert, and R. Černý, “Effect of hydrophobization on the properties of lime-metakaolin plasters,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 37, pp. 556–561, 2012.

[26] ACI 212.3R-10. Report on Chemical Admixtures for Concrete, Chapter 15: Permeability

[۲۷] رامین نصرالاسلامی، مهدی نعمتی چاری، مجتبی حاجی مهدی، محمدعلی یعقوبی. بررسی اثر استئارات ها بر مشخصات مکانیکی و دوام بتن. اولین کنفرانس ملی دوام بتن اردیبهشت ۹۷.

The impacts of calcium stearate on the properties of self-consolidating concretes

Ramin Naseroleslami¹ – Javad Bakhshi²- Mehdi Nemati Chari³- Mojtaba Haji Mahdi⁴

1-Master of structural engineering, Tafresh university
Ramin.Naseroleslami1@gmail.com

2- Master of structural engineering student, Shahab Danesh

3- Assistant professor, Road, House and urban development research center (BHRC)

4- Research and development department, Nano beton Amin

ABSTRACT

Moisture and water transfer in concrete can be considered as a significant threat to the durability of concrete. Damp-proofing admixtures like calcium stearate (CS) can provide a water-repellent layer along the capillary pores and as a result, water and moisture transfer in concrete can be restricted by means of this layer. Accordingly, this research studies the effects of CS on the properties fresh and hardened self-consolidating concrete. The evaluation of fresh concrete properties demonstrates the density of fresh concrete, passing and filling ability were reduced due to the incorporation of CS. Moreover, the reduction in the density and compressive strength of the hardened were observed as the major impacts of CS on the mechanical properties. In fact, the last-mentioned parameters were decreased by respectively 4% and 30% due to the inclusion of 7kg/m³ CS. Furthermore, utilizing CS cannot be taken into account as a constructive approach to improve the durability characteristics under non-hydrostatic condition. As no considerable improvement can be detected in the results of electrical resistivity and rapid chloride migration tests. Eventually, CS enhanced the permeability of the durability of the hardened concrete under non-hydrostatic condition. To be more precise, the addition of 7kg/m³ of CS decreased the final depth of capillary water absorption, short and long-term water absorption by respectively 60%, 65%, and 15%.

Keywords: calcium stearate, damp-proofing admixtures, durability, self-consolidating concrete, water absorption