بررسی اثر استئارات کلسیم بر مشخصات بتن خودتراکم

دریافت مقاله: ۰۴-۰۸-۱۳۹۷
پذیرش مقاله: ۱۰-۰۴-۱۳۹۸

رامین ناصرالاسلامی*
فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد سازه از دانشگاه تفرش
Ramin.Naseroleslami1@gmail.com

جواد بخشی
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه در دانشگاه شهاب دانش

مهدی نعمتی چاری
عضو هیئت‌علمی بخش فناوری بتن مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مجتبی حاجی مهدی
مدیر واحد تحقیق و توسعه شرکت دانش‌بنیان نانو بتن امین قم

چکیده:
انتقال رطوبت و یون‌های مخرب همراه با آن ازجمله عوامل اصلی تهدیدکننده دوام سازه‌های بتنی می‌باشند. افزودنی‌های نم بند مانند استئارات کلسیم می‌توانند با ایجاد یک‌لایه آب‌گریز در سطح منافذ مویینه، ورود آب به داخل بتن را محدود کرده و بدین طریق دوام سازه‌های بتنی را بهبود بخشند. بر این اساس، در این پژوهش اثر استئارات 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 جریان 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 قابل‌ملاحظه‌ای بر مقاومت الکتریکی، جذب آب کل و ضریب مهاجرت تسریع‌شده یون‌های کلراید نمی‌گذارند، اما استفاده این مواد، جذب آب مویینه و سرعت جذب آب حجمی را به‌شدت کاهش می‌دهد؛ بطوریکه، در صورت استفاده از ۷ کیلوگرم بر مترمکعب استئارات کلسیم، عمق نهایی نفوذ مویینه، جذب آب نیم‌ساعته و سه‌روزه را به ترتیب ۶۰٪، ۶۵٪ و ۱۳٪ کاهش می‌یابند.

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

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 ازجمله 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 مورداستفاده قرار گرفته است [۸ -۲۵]. ازاین‌رو 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. درنتیجه 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.

الف *ب*

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 بررسی‌شده نیز ارائه شده است. به‌عنوان‌مثال، 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 [۱۰و۱۲]. 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

---

[۱] *Agus Maryoto*

تا اثر یک افزودنی نم‌بند مانند استئارات کلسیم بر مشخصات مکانیکی، دوامی و خواص بتن تازه خودتراکم مشخص شود. ازاین‌رو، 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 این ماده بر چگالی بتن تازه، قابلیت عبور و قابلیت پرکنندگی بتن خودتراکم مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش دوم، تأثیرگذاری استئارات کلسیم بر دوام بتن در شرایط عدم وجود فشار هیدرو استاتیک به‌وسیله آزمایش‌های جذب آب مویینه و جذب آب حجمی بررسی می‌شود. سپس، عملکرد این ماده به‌وسیله سایر آزمایش‌های دوام بتن مانند آزمایش‌های مقاومت الکتریکی و مهاجرت تسریع‌شده یون‌های کلراید ارزیابی می‌شود. درنهایت آزمایش‌های مقاومت فشاری و چگالی بتن سخت‌شده برای بررسی اثر این افزودنی بر مشخصات مکانیکی در نظر گرفته شده است.

برنامه آزمایشگاهی

۲,۱- مصالح

سیمان پرتلند[۲] به‌کاررفته برای ساخت مخلوط‌های بتنی، سیمان پرتلند نوع ۲ با چگالی ۳/۱۵ گرم بر سانتی‌متر و نرمی (بلین) ۳۱۶۰ سانتی‌متر مربع بر گرم می باشد که آنالیز شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور حصول کارایی مطلوب در فاز بتن خودتراکم تازه، مخلوط ریزدانه مصرفی، ترکیبی از ۹۲٪ ماسه و ۸٪ پودرسنگ می‌باشد. همچنین درشت‌دانه مصرفی نیز ترکیبی از دو شن نخودی و بادامی با نسبت‌های اختلاط ۲۰٪ و ۸۰٪ می باشد. دانه‌بندی مخلوط‌های نهایی ریزدانه و درشت‌دانه مصرفی در شکل ۲ نشان داده شده است. جدول ۲ نیز وزن مخصوص و درصد جذب آب مصالح مصرفی را نشان می‌دهد. آب مصرفی، آب شهری تصفیه‌شده است. فوق روان کننده مصرفی با پایه شیمیایی پلی کربوکسیلات اتر دارای وزن مخصوص ۱/۰۷ و با قابلیت حفظ کارایی بالا (فاقد ماده دیر گیر کننده) می‌باشد. نهایتاً استئارات کلسیم مصرفی به‌صورت پودری سفیدرنگ با چگالی ۱۴۰ گرم بر لیتر می‌باشد.

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

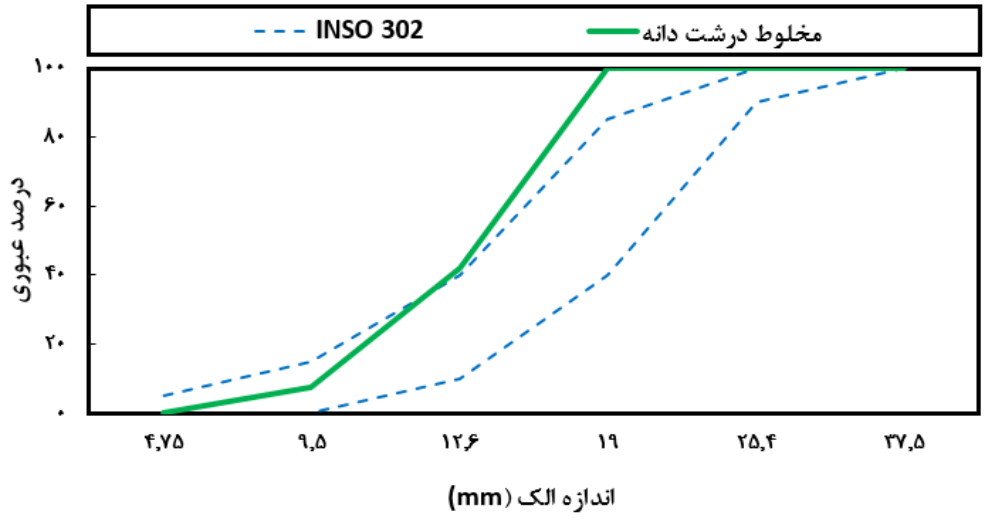
نام ترکیب	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
درصد ترکیب	۶۴/۲	۲۰/۷	۴/۷	۴/۰	۱/۳	۰/۶۵	۰/۳۲	۶۰	۱۴	۶	۱۲

جدول ۲- وزن مخصوص و درصد جذب آب مصالح

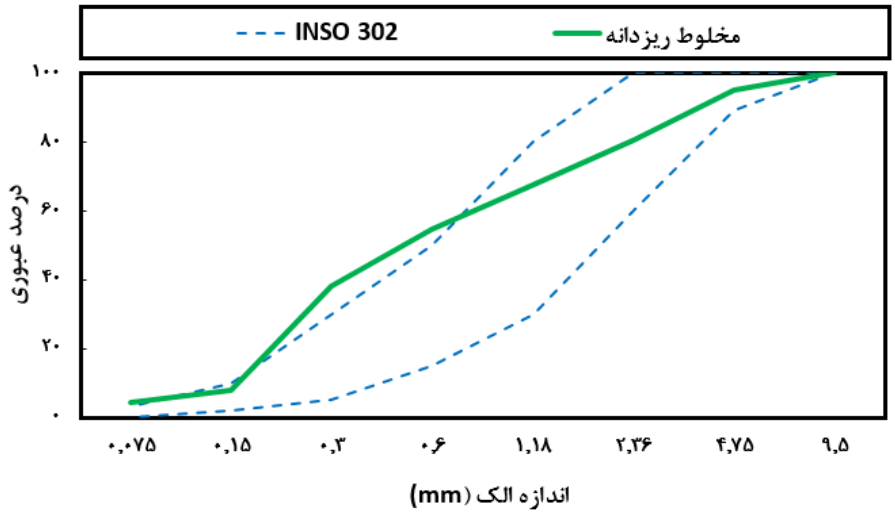
مصالح	وزن مخصوص اشباع با سطح خشک	درصد جذب آب
شن بادامی	۲/۷۰	۱/۰
شن نخودی	۲/۶۵	۱/۰
ماسه	۲/۶۵	۲/۳
پودر سنگ	۲/۲۳	۱۲/۳۰

[۲] تولید شرکت سیمان دلیجان

[۳] جهت محاسبه درصد جذب آب پودرسنگ، ابتدا تا حدی که انجام آزمایش مقدور باشد ماسه با پودرسنگ جایگزین شده و درصد جذب آب مخلوط ماسه و پودرسنگ در حالت اشباع با سطح خشک بدست آمده است. نهایتا برای محاسبه درصد جدب آب پودر سنگ در حالت اشباع با سطح خشک از روابط برون یابی استفاده شده است.



(الف): ترکیب نخودی و بادمی (درشت‌دانه مصرفی)



ب: ترکیب ماسه و پودرسنگ (ریزدانه مصرفی)

شکل ۲- دانه‌بندی مصالح مصرفی و حدود توصیه شده [37]

۲,۲- طرح‌های مخلوط

برای بررسی اثر استئارات کلسیم بر خواص مکانیکی، دوام و مشخصات بتن تازه خودتراکم، ۷ طرح مخلوط[۴] در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ شامل مقادیر مختلف استئارات کلسیم در یک مترمکعب ساخته شده است. طرح مخلوط این بتن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین ذکر این نکته ضروری است که با توجه به نامحلول بودن استئارات کلسیم در آب، برای کلیه بتن‌ها (اعم از بتن کنترل و بتن‌های حاوی استئارات کلسیم)، ۱۰ دقیقه زمان اختلاط در مخلوط‌کن تابه‌ای در نظر گرفته شده است و در بتن‌های حاوی ماده نم‌بند، استئارات کلسیم در دقیقه سوم پس از شروع اختلاط به مخلوط اضافه شده است. همچنین، مقدار فوق روان کننده اضافه‌شده به‌تمامی نمونه‌ها ثابت بوده تا تنها یک عامل متغیر (مقدار استئارات کلسیم) در تمامی آزمایش‌ها وجود داشته باشد.

[۴] در ارائه طرح های مخلوط از مفاهیم روش ملی طرح مخلوط استفاده شده است.

جدول ۳- طرح مخلوط بتن‌های 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 استئارات (kg/m^3)	مقدار استئارات (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

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، جریان حلقه J، قیف V شکل، چگالی بتن تازه [۲۸-۳۱] و افت جریان اسلامپ در نظر گرفته شده است. ذکر این نکته ضروری است که برای اندازه‌گیری افت جریان اسلامپ، جریان اسلامپ بلافاصله پس از ساخت بتن و یک ساعت پس از ساخت بتن اندازه‌گیری شده و تفاضل این دو مقدار به‌عنوان پارامتر افت جریان اسلامپ گزارش شده است. به‌منظور انجام آزمایش افت جریان اسلامپ 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 مورد استفاده 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 استئارات کلسیم) انجام شود.

۲,۳,۲- برنامه آزمایش‌های بتن سخت شده

به‌منظور بررسی تأثیر استئارات کلسیم بر مشخصات مکانیکی، مقاومت فشاری [۳۲] در سنین مختلف، میانگین مقاومت فشاری سه آزمونه مکعبی با ابعاد ۱۰سانتی‌متر 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 اثر استئارات کلسیم بر مشخصات دوامی بتن‌های خودتراکم، طیف گسترده‌ای از آزمایش‌های دوامی در نظر گرفته شده است. برای انجام آزمایش مقاومت الکتریکی ویژه، [۳۶] این آزمایش بر روی یک استوانه با قطر ۱۰ سانتی متر و ارتفاع ۲۰سانتی متر در سنین ۱۴، ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز انجام شده است. ذکر این نکته ضروی است که میانگین ۸ قرائت به عنوان مقاومت الکتریکی ویژه یک نمونه گزارش شده است. برای انجام آزمایش‌های جذب آب موئینه [۳۳] ، جذب آب حجمی [۳۴] و مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید [۳۵] از یک استوانه با قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، سه آزمونه (دیسک) با قطر ۱۰ و ارتفاع ۵ سانتی‌متر تهیه شده است. در آزمایش جذب آب موئینه، نمودار جذب آب موئینه و عمق نهایی نفوذ موئینه پس از ۱۴ روز قرارگیری آزمونه‌ها در آب به‌دست‌آمده است. این نکته مهم است که به‌جای شرایط رطوبتی اولیه که در استاندارد ASTM C1585 برای آزمونه‌ها ذکر شده است، آزمونه‌های این پژوهش تا

رسیدن به وزن یکسان در گرمخانه خشک شده‌اند. در آزمایش جذب آب حجمی، با توجه به افزایش جرم آزمونه 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 آزمونه در حالت‌های اشباع با سطح خشک(A) و کاملاً خشک (B) طبق معادله ۱ به دست آمده است.

$$TWA = \left(\frac{A - B}{B} \right) * 100 \qquad \text{معادله ۱}$$

نتایج و تفسیر

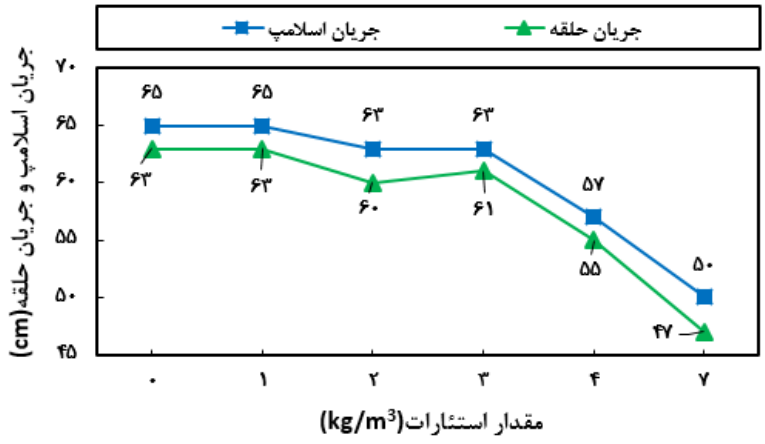
۱،۳. بتن تازه

به‌طورکلی استئارات کلسیم بر افت جریان اسلامپ این بتن‌ها تأثیرگذار نبوده است زیرا افت جریان اسلامپ قرائت شده در در تمامی بتن ها برابر با صفر بوده 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.

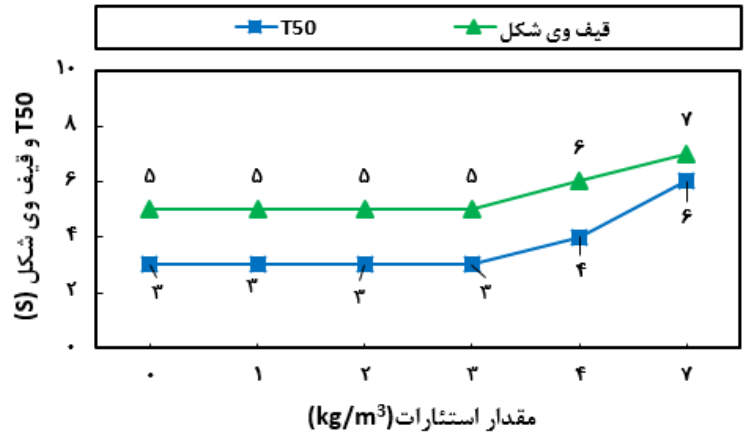
شکل ۳- الف تأثیر استئارات کلسیم را بر جریان اسلامپ و جریان حلقه J بتن‌های خودتراکم نشان می‌دهد. به‌طورکلی استئارات کلسیم باعث کاهش قابلیت پرکنندگی و قابلیت عبور شده است. بررسی دقیق‌تر این نمودار نشان می‌دهد که استئارات کلسیم تا مقدار مصرف ۳ کیلوگرم بر مترمکعب، تأثیر چندانی بر قابلیت‌های پرکنندگی و عبور نداشته است اما در مقادیر مصرف بیشتر کاهش قابل‌توجهی در این پارامترها قابل‌مشاهده است. به‌طوری‌که استفاده از ۷ کیلوگرم بر مترمکعب از این ماده جریان اسلامپ و جریان در حلقهJ را حدود ۲۵٪ کاهش داده است. نهایتاً روند مشاهده‌شده مبنی بر کاهش کارایی بتن تازه با روند مشاهده‌شده در مرجع شماره [۲۷] سازگار است. گرچه در این تحقیق اشاره شده است که استفاده از ۲ کیلوگرم بر مترمکعب استئارات روی و استئارات کلسیم، جریان اسلامپ بتن‌های عادی را تا ۴۰٪ کاهش می‌دهد، نتایج پژوهش حاضر حاکی از عدم تأثیرگذاری ۲ کیلوگرم بر مترمکعب استئارات کلسیم بر کارایی بتن‌های خودتراکم است.

شکل ۳- ب تأثیر استفاده از استئارات کلسیم را بر زمان تخلیه قیف V شکل و زمان رسیدن بتن خودتراکم به قطر پخش‌شدگی ۵۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد، همان‌گونه که مشخص است مقادیر پارامترهای ذکرشده با افزایش استفاده از این ماده زیاد شده‌اند. با توجه به شکل ۳- ب استئارات کلسیم تا مقدار مصرف ۳ کیلوگرم بر مترمکعب تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای 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.

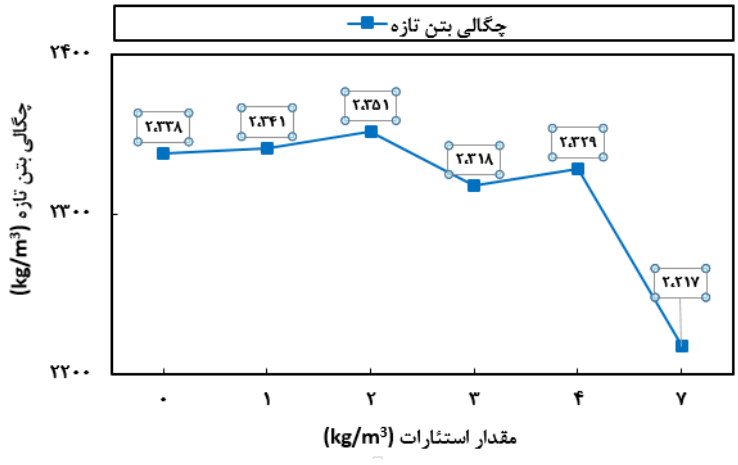
شکل ۳- ج نیز چگالی بتن‌های تازه حاوی استئارات کلسیم و بتن کنترل را باهم مقایسه می‌کند. همان‌طور که مشخص است استفاده از استئارات کلسیم تا مقدار ۴ کیلوگرم بر مترمکعب تأثیر چندانی بر چگالی بتن تازه نداشته است اما استفاده از ۷ کیلوگرم در مترمکعب از این ماده چگالی بتن خودتراکم تازه تا حدود ۵٪ کاهش می‌دهد. این یافته‌ها، نتایج ارائه‌شده در مرجع شماره [۲۷] را تائید می‌کند. مرجع شماره [۲۷] نشان داد که هوای بتن تازه در صورت استفاده از ۲ کیلوگرم بر مترمکعب در حد بسیار ناچیز افزایش می یابد. از مقایسه نتایج این دو تحقیق می توان نتیجه گرفت که کاهش چگالی بتن تازه به دلیل افزایش هوای بتن رخ داده است.



(الف): جریان اسلامپ و جریان حلقه بتن های خودتراکم



(ب): T50 و زمان تخلیه قیف وی شکل



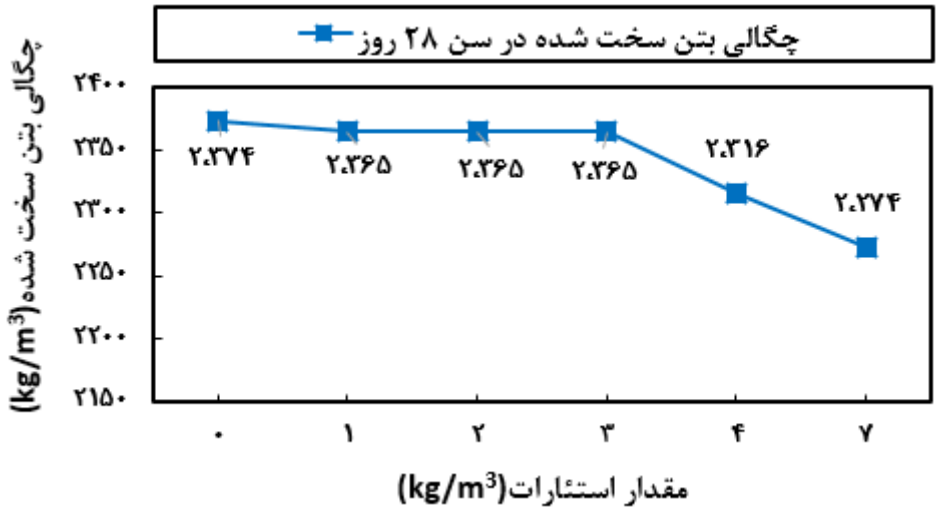
(ج): چگالی بتن تازه

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

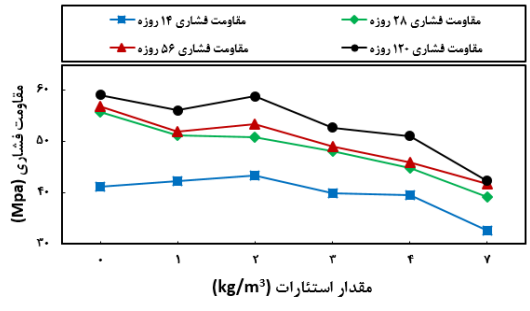
۲,۳. مشخصات مکانیکی

شکل ۴ تأثیر استئارات کلسیم را بر چگالی بتن سخت‌شده نشان می‌دهد. نگاه اجمالی به این نمودار نشان می‌دهد که چگالی بتن سخت شده نیز مانند چگالی بتن تازه کاهش می‌یابد. نگاه دقیق‌تر به این نمودار نشان می‌دهد که

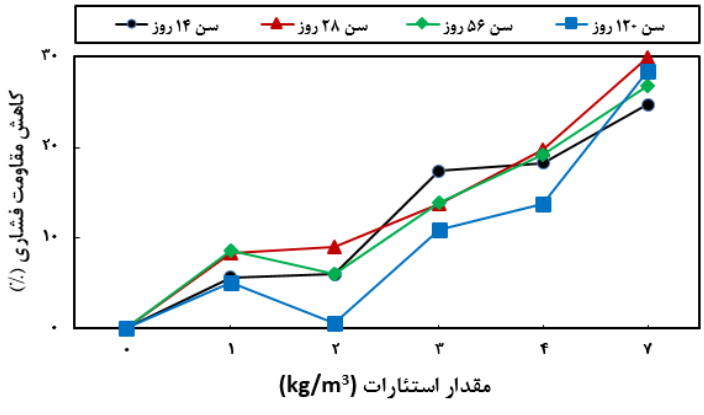
استئارات کلسیم تا مقدار مصرف ۳ کیلوگرم بر مترمکعب تأثیر چندانی بر چگالی بتن سخت شده ندارد اما در مقادیر مصرف بالاتر چگالی بتن سخت شده کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که در صورت استفاده از ۷ کیلوگرم استئارات کلسیم به ازای یک مترمکعب، چگالی بتن سخت‌شده در سن ۲۸ روز، ۴٪ درصد کاهش یافته است.



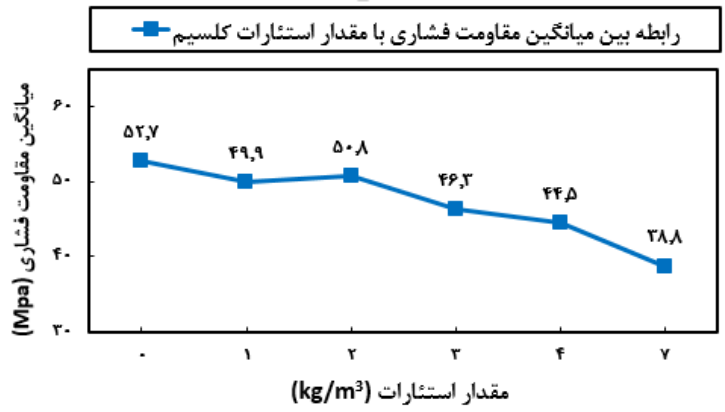
شکل ۴ - تأثیر استئارات کلسیم بر چگالی بتن سخت‌شده



(الف): مقاومت فشاری در سنین مختلف



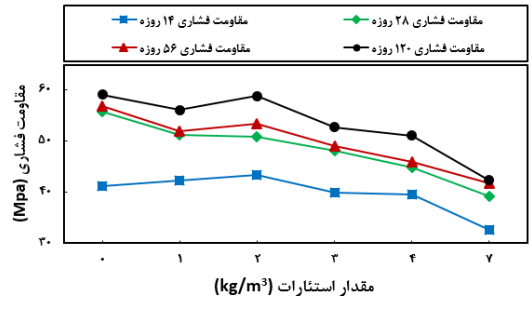
(ب): کاهش مقاومت در سنین مختلف



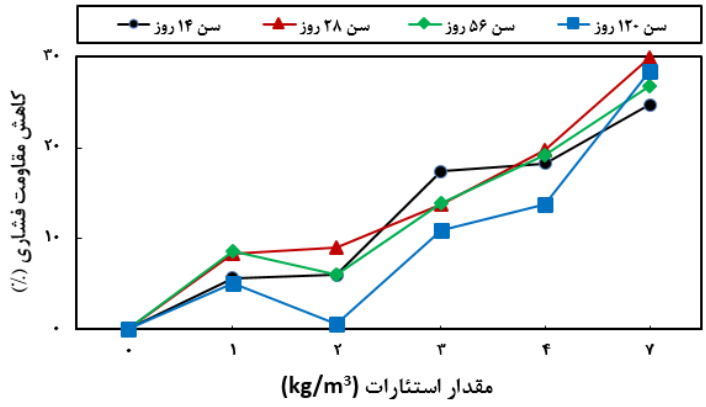
(ج): رابطه بین میانگین مقاومت فشاری با مقدار استئارات

شکل ۵شکل۵- الف و ب تأثیر استئارات کلسیم بر مقاومت فشاری بتن تازه و کاهش مقاومت هر نمونه را نشان می‌دهد. طبق این شکل در تمامی سنین موردبررسی با افزایش مقدار استئارات کلسیم، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که 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٪ کاهش‌یافته‌اند. 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 سخت شده نشان می‌دهد که شاید بخشی از کاهش مقاومت مشاهده‌شده به دلیل حباب‌زایی استئارات کلسیم در بتن و بخش دیگری از آن می تواند 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 رخداده به‌واسطه استفاده از افزودنی‌های نم بند در مخلوط نیست. زیرا پارامترهای چگالی بتن سخت‌شده و مقاومت فشاری به‌واسطه شکل گرفتن یک‌لایه آب‌گریز در دیواره منافذ مویینه کاهش نمی‌یابند. علاوه بر ایجاد شدن لایه مذکور، افزایش درصد حباب هوای بتن تازه و به‌تبع آن کاهش چگالی و مقاومت بتن سخت‌شده نیز ازجمله سایر تغییرات رخداده در مخلوط می باشد.

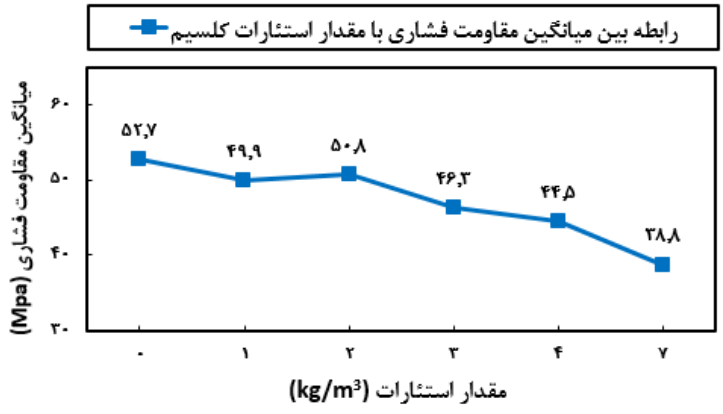
شکل۵-ج رابطه بین میانگین نمونه‌های حاوی مقدار ثابت استئارات در سنین مختلف را با مقدار این افزودنی نشان می‌دهد. این شکل نیز مانند شکل‌های شکل ۵-الف و ب نشان می‌دهد که در صورت استفاده از استئارات کلسیم مقاومت فشاری کاهش می‌یابد اما رابطه خاصی بین مقاومت فشاری و مقدار استئارات به لحاظ خطی یا غیرخطی بودن مشاهده نمی‌شود.



(الف): مقاومت فشاری در سنین مختلف



(ب): کاهش مقاومت در سنین مختلف



(ج): رابطه بین میانگین مقاومت فشاری با مقدار استئارات

شکل ۵- تأثیر استئارات کلسیم بر مقاومت فشاری

۲,۳. دوام

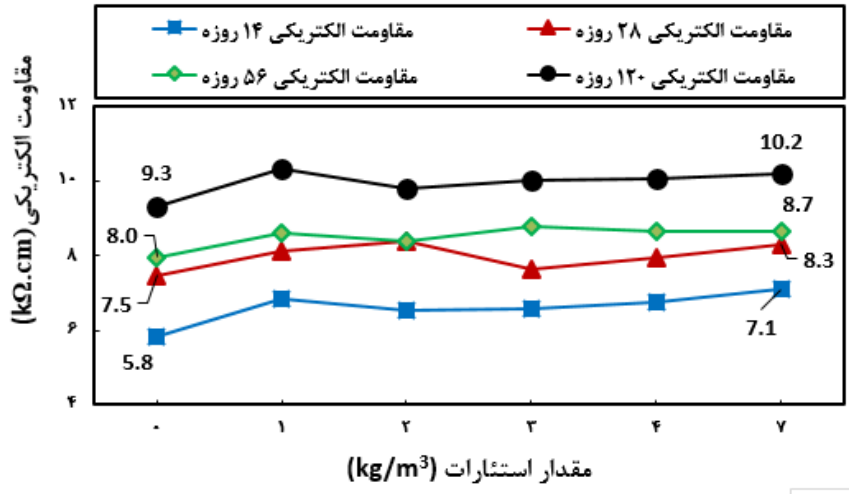
۱,۲,۳. مقاومت الکتریکی ویژه

مقاومت الکتریکی ویژه کلیه نمونه‌ها در سنین مختلف در شکل ۶ نمایش داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که استئارات کلسیم توانایی افزایش مقاومت الکتریکی ویژه را ندارد. این نتایج، مکانیسم عملکرد افزودنی‌های نم بند را که در مرجع شماره [۲۶] ارائه شده است را تائید می‌کند. طبق مرجع شماره [۲۶] افزودنی‌های نم بند توانایی مسدود کردن یا افزایش پیچاپیچی منافذ مویینه را ندارد و این موضوع با عدم‌تغییر 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 ویژه نشده است. ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت که کاهش مقاومت فشاری در بتن‌های حاوی استئارات کلسیم، لزوماً با کاهش مقاومت الکتریکی ویژه همراه نیست.

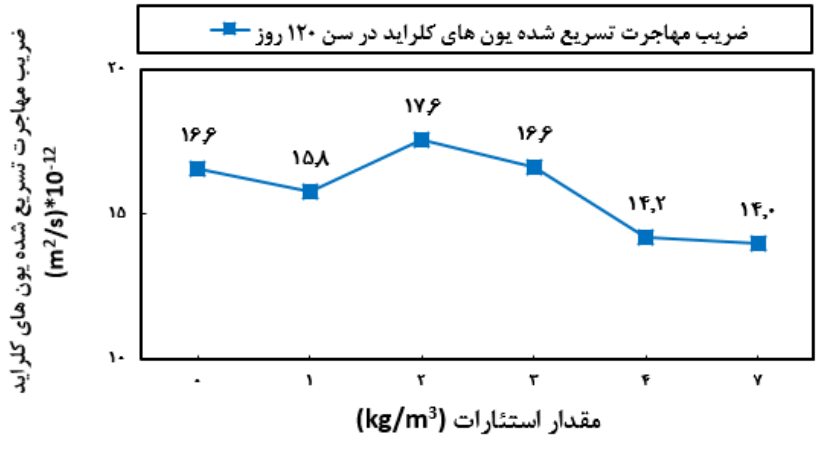
۲,۲,۳. مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید

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 ویژه بیان شد، کاهش مقاومت فشاری در اثر مصرف ۷ کیلوگرم استئارات کلسیم نه‌تنها باعث افزایش ضریب مهاجرت تسریع شده یون های 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 به‌طورکلی، نتایج آزمایش‌های مقاومت الکتریکی و مهاجرت تسریع‌شده 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 پیچاپیچی در تخلخل مویینه بتن، قطع شدن ارتباط بین آن‌ها و به‌طورکلی بهبود ساختار منافذ مویینه است. اما چنین بهبودی از نتایج آزمایش‌های مقاومت الکتریکی ویژه و مهاجرت تسریع‌شده یون‌های کلراید قابل حصول نیست. زیرا چنانچه ساختار منافذ مویینه بهبود یابد، مقاومت الکتریکی ویژه افزایش و مهاجرت تسریع‌شده یون‌های کلراید به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.



شکل ۶- تأثیر استئارات کلسیم بر مقاومت الکتریکی ویژه



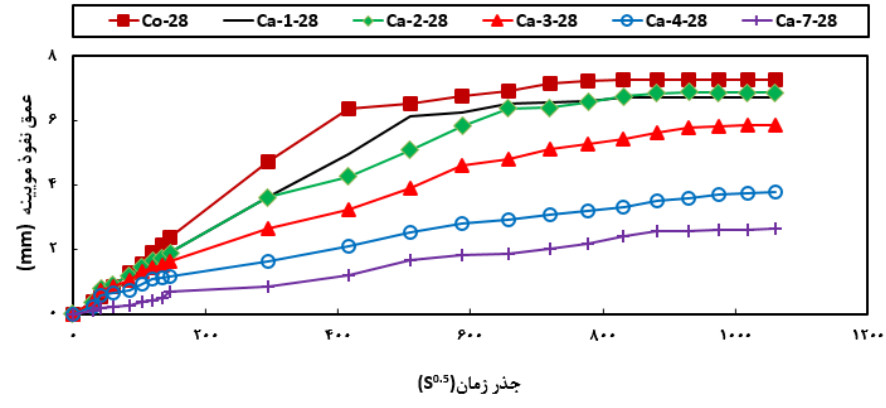
شکل ۷- اثر استئارات کلسیم بر مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید

۳،۲،۳. جذب آب مویینه

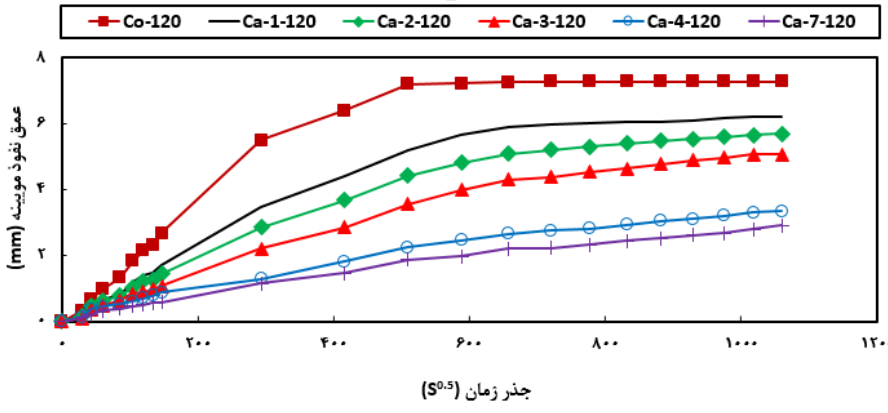
شکل ۸ تأثیر استئارات کلسیم را بر نرخ جذب آب و عمق نفوذ مویینه نشان می‌دهد. طبق این شکل با افزایش مقدار استئارات کلسیم، نرخ و عمق نهایی نفوذ مویینه به‌شدت کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که استفاده از ۷ کیلوگرم استئارات کلسیم در سن ۲۸ و ۱۲۰ روز، عمق نهایی نفوذ مویینه را حدود ۶۰ درصد کاهش داده است.

دلیل این پدیده را می‌توان مستقیماً به لایه آب‌گریز موجود در سطح منافذ موبینه نسبت داد. همچنین همان‌طور که مشخص است کاهش مقاومت رخداده در صورت استفاده از استئارات‌ها نه‌تنها باعث افزایش نفوذپذیری نشده است، بلکه نرخ و عمق نهایی نفوذ موبینه را به‌شدت کاهش داده است. این بدین معناست که لایه آب‌گریز موجود در سطح منافذ تأثیر به‌مراتب قوی‌تری نسبت به افزایش تخلخل در پدیده نفوذ موبینه دارد. همچنین در شکل ۸-الف مشخص است که استفاده از ۱ کیلوگرم استئارات کلسیم تأثیر بهتری نسبت به ۲ کیلوگرم بر مترمکعب از این ماده دارد. به نظر می‌رسد که دلیل این پدیده خطاهای رایج در فرآیند انجام آزمایش باشد تا رفتار متفاوت استئارات کلسیم در این مقدار مصرف.

همچنین شکل ۹ درصد کاهش در عمق نهایی نفوذ موبینه را پس از ۲۸ و ۱۲۰ روز عمل‌آوری مقایسه می‌کند. این نمودار نشان می‌دهد که رابطه درصد کاهش در این پارامتر با میزان استئارات خطی نیست. هم‌چنین به‌طورکلی کاهش عمق نهایی نفوذ موبینه در سن ۱۲۰ روز به‌مراتب بیشتر از سن ۲۸ روز بوده است. این پدیده را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که با پیشرفت هیدراسیون توزیع و اندازه منافذ موبینه کاهش‌یافته و نتیجتاً تراکم استئارات بر دیواره منافذ افزایش یافته است. تراکم بیشتر استئارات کلسیم بر دیواره منافذ موبینه می‌تواند دلیل رخداد این پدیده باشد. البته این نتیجه‌گیری برای مقدار مصرف ۷ کیلوگرم بر مترمکعب استئارات کلسیم صحیح نمی‌باشد زیرا درصورت مصرف ۷ کیلوگرم بر مترمکعب از این ماده درصد کاهش در عمق نهایی نفوذ موبینه در سنین ۲۸ و ۱۲۰ روز تقریباً برابر بوده است. این مشاهده بیان می‌کند که در مقادیر مصرف بالا، اثر استئارات کلسیم آن‌قدر 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 موبینه نداشته است.

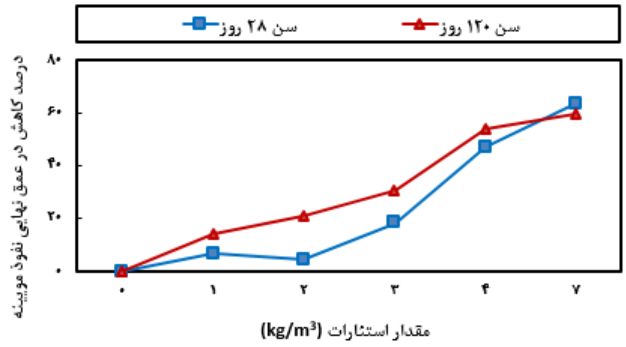


(الف): پس از ۲۸ روز عمل آوری مرطوب



(ب):پس از ۱۲۰ روز عمل آوری مرطوب

شکل ۸- تأثیر استئارات کلسیم بر جذب آب موبینه

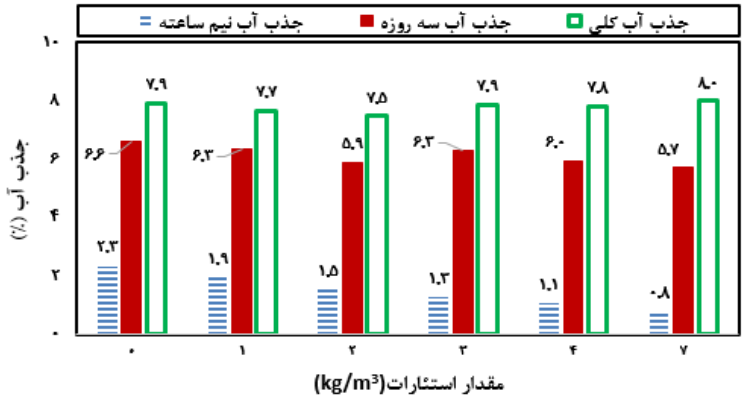


شکل ۹- مقایسه عمق نهایی نفوذ مویینه در سنین ۲۸ و ۹۰ روز

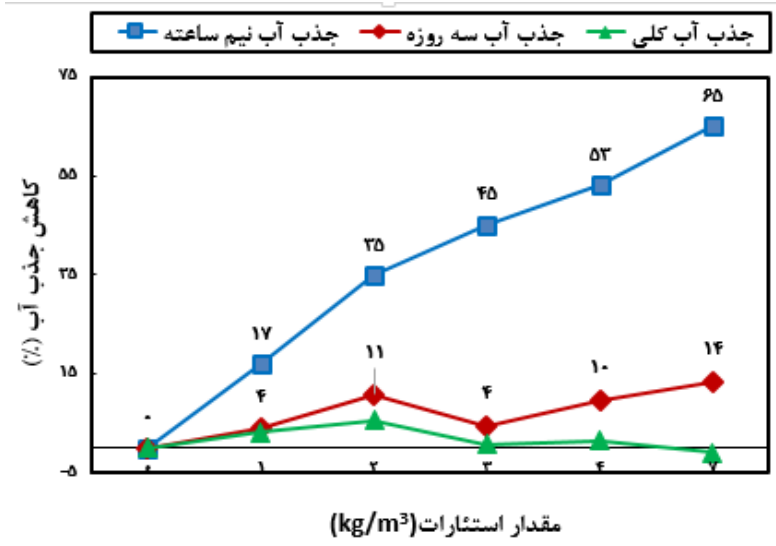
۴،۲،۳. جذب آب حجمی

شکل ۱۰- الف تأثیر استئارات کلسیم را بر پارامتر جذب آب نمایش می‌دهد. به‌طورکلی پارامترهای جذب آب نیم‌ساعته و سه‌روزه بااستفاده از استئارات کلسیم کاهش یافته‌اند اما این ماده بر جذب آب کل بتن تأثیرگذار نبوده است.

شکل ۱۰- ب نشان می‌دهد که با افزایش مقدار استئارات 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 استئارات کلسیم بر جذب آب کوتاه‌مدت بسیار بیشتر از جذب آب سه‌روزه است. دلیل این مشاهده را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که استئارات 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 استئارات 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 استئارات تقریباً خطی است و با افزایش هر ۱ کیلوگرم استئارات 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.



(الف): جذب آب حجمی



(ب): کاهش در جذب آب حجمی

شکل ۱۰- تأثیر استئارات کلسیم بر جذب آب

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر استئارات کلسیم بر مشخصه‌های بتن‌های خودتراکم تازه و سخت شده 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 جریان 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 کاهش‌یافته‌اند. این پارامترها در صورت استفاده از ۷ کیلوگرم بر مترمکعب استئارات کلسیم به ترتیب ۶۵٪، ۶۰٪ و ۱۳٪ کاهش یافته اند.
- رابطه بین درصد کاهش در جذب آب نیم‌ساعته با مقدار استئارات کلسیم در بازه مصرف ۱ الی ۴ کیلوگرم خطی می باشد. اما این رابطه در مقادیر مصرف بالاتر (بین ۴ الی ۷ کیلوگرم بر مترمکعب) غیرخطی است.

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.

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 Ca(C18H35O2)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. Lanas, 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 ناصرالاسلامی، مهدی نعمتی چاری، مجتبی حاجی مهدی، محمدعلی یعقوبی. بررسی اثر استئارات ها بر مشخصات مکـانیکی و دوام بتن. اولین کنفرانس ملی دوام بتن اردیبهشت ۹۷.

[۲۸] بتن- اندازه گیری جریان اسلامپ بتن خودتراکم- روش آزمون- استاندارد ملی INSO 11270
[۲۹] بتن- اندازه گیری قابلیت عبور بتن خودتراکم با استفاده از حلقه جی- روش آزمون- استاندارد ملی INSO 11270.
[۳۰] آزمون بتن تازه- بتن خودتراکم- آزمون قیف وی شکل- استاندارد ملی INSO 3203-9
[۳۱] بتن تازه- وزن مخصوص- روش آزمون- استاندارد ملی ISIRI 3203-6
[۳۲] بتن سخت شده- تعیین مقاومت فشاری آزمونه ها- روش آزمون- استاندارد ملی INSO 1608-3
[33] ASTM C1585-13. Standard test method for measurement of the rate of absorption of water by hydraulic cement. American Society for Testing and Materials. 2013.
[34] BS-EN 1881-122. Testing concrete- Part 122: Method for determination of water absorption. 2011.
[35] NT BIULD 492. Chloride Migration Coefficient from non-steady state migration experiment. 1999
[36] AASHTO T358-17. Standard Method of Test for Surface Resistivity indicating Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. Standard by American Association of State and Highway Transport Officials, 2017.
[۳۷] سنگدانه های بتن- ویژگی ها- استاندارد ملی ۳۰۲ تجدید نظر سوم- INSO 302

Influence of Calcium Stearate on the Properties of Self-Consolidating Concretes

Ramin Naseroleslami*
Master of structural engineering, Tafresh university
Ramin.Naseroleslami1@gmail.com

Javad Bakhshi
Master of structural engineering student, Shahab Danesh

Mehdi Nemati Chari
Assistant professor, Road, House and urban development research center (BHRC)

Mojtaba Haji Mahdi
Research and development department, Nano beton Amin

ABSTRACT
Moisture and water transfer into concrete can be considered as a major threat to the durability of concrete. Damp-proofing admixtures like calcium stearate (CS) can provide a water repellent layer along the capillary pores. As a result, water and moisture transfer into concrete will be restricted by means of this layer. Accordingly, this research studied the effects of CS on the properties fresh and hardened self-consolidating concrete (SCCs). The evaluation of fresh concrete properties demonstrated that the density of fresh SCCs, passing and filling ability were reduced due to incorporation of CS. Moreover, reduction in density and compressive strength of the hardened concrete can be deemed as the major impacts of CS on mechanical properties of SCCs. In fact, the last-mentioned parameters were decreased by respectively 4% and 30% due to inclusion of 7kg/m^3 CS. Furthermore, utilizing CS can not be taken into account as a constructive approach to improve the durability chracteristics under hydrostatic condition. Because no considerable improvement can to be detected in the results of electrical resistivity and rapid chloride migration tests. Eventually, CS drastically enhanced the permeability of the concrete under non-hydrostatic condition. To be more precise, addition of 7kg/m^3 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, Ddurability, Self-Consolidating Concrete, Water Absorption