

بررسی تاثیر پدیده‌ی کرناسیون بر مشخصات فنی روسازی بتن غلتکی (RCCP)

مهرداد فرداد*، دانشجوی دکتری عمران - مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mehرداد.fardad2002@gmail.com

دریافت: ۹۷/۰۴/۱۰ - پذیرش: ۹۷/۰۷/۰۲

صفحه ۱۵۹-۱۴۵

چکیده

بتن غلتکی در دو زمینه کاملاً مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. اولین زمینه کاربرد بتن غلتکی در سدسازی و دومین زمینه کاربرد آن در روسازی راه می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم که امروزه در بحث اجرای انواع سازه‌های بتنی مورد توجه است، مسئله‌ی دوام آن می‌باشد. طراحان سازه‌های بتنی بیشتر به مشخصات مقاومتی این ماده توجه دارند درحالی که خرابی زودرس سازه‌های بتنی در مواردی که مشخصات مقاومت نیز رعایت شده درس‌های ارزشمندی را در مورد کنترل عامل‌های موثر در عدم دوام سازه‌های بتنی به ما می‌دهند. با توجه به استفاده بتن غلتکی روسازی در نواحی مختلف با شرایط گوناگون محیطی بررسی پارامترهای دوام بسیار حائز اهمیت می‌باشد، لذا هدف اصلی در این تحقیق بررسی اثر پدیده کرناسیون در بتن غلتکی روسازی می‌باشد. در این تحقیق بتن غلتکی با نسبت آب به سیمان ثابت ۰/۳۲ در عیارهای ۲۷۰، ۳۰۰، ۳۳۰ و ۳۵۰ ساخته شده و آزمایشات مقاومت فشاری، جذب موینتگی، مقاومت الکتریکی در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز انجام شده است. در نهایت نتایج حاکی از آن است که افزایش عیارسیمان پارامترهای دوامی را بهبود بخشیده است. همچنین وقوع پدیده کرناتاسیون تاثیر بسزایی در عملکرد فیزیکی و دوامی بتن غلتکی ایجاد نموده است. در نتیجه می‌توان گفت استفاده از بتن غلتکی روسازی در محیط شهری که پدیده کرناسیون در آن محتمل‌تر است، بلامانع است.

واژه‌های کلیدی: بتن غلتکی روسازی (RCCP)، کرناسیون، مقاومت الکتریکی

۱-مقدمه

برای بدست آوردن یک بتن با کیفیت خوب باشد. اولین نکته مهم در مورد آب است چرا که آب عنصر اولیه بوجود آوردن و تخریب بسیاری از مصالح طبیعی و همچنین منشأ اغلب مسایل مربوط به دوام بتن می‌باشد. در بتن انواع حرکات داخلی و تغییرات ساختار آب علت انواع مختلف تغییرات حجمی موجب گسیختگی و خرابی‌های فیزیکی کاهنده کیفیت شناخته شده است. همچنین آب به عنوان وسیله ای برای انتقال یونهای مهاجم، می‌تواند سرچشمه فرایندها و خرابی‌های

بتن با دوام بتنی است که شکل اولیه، کیفیت و قابلیت خدمت دهی خود را در شرایط محیطی حفظ کند چراکه رابطه نزدیکی بین دوام بتن و شرایط محیطی وجود دارد (Hilsdorf, 2004) تحول و تکامل تدریجی کیفیت و عملکرد بتن در حضور محیط‌های خشن و تهاجمی به منظور تخمین هزینه چرخه عمر (life cycle cost) یک سازه مورد توجه است. آنالیز هزینه چرخه عمر، یک طرح عمومی و کلی برای رسیدن به دوام است که می‌تواند راه مستدل و معقولی

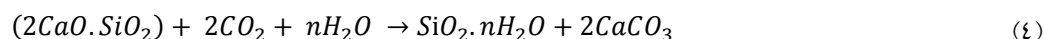
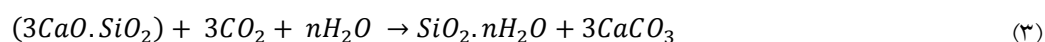
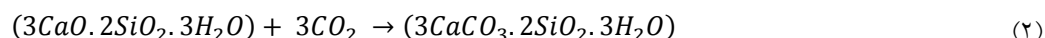
کربناتاسیون بتن روی نمی‌دهد. در حالتی که منافذ از آب اشباع شوند، به علت نرخ انتشار کم گاز دی اکسید کربن در آب، کربناتاسیون به سختی روی خواهد داد. اگر منافذ به صورت جزئی از آب پر شوند (حالتی که معمولاً در سطح بتن وجود دارد)، کربناتاسیون می‌تواند پیشروی کند (Jiang, 2000).

۲- فرآیند شیمیایی - فیزیکی کربناتاسیون

کربناتاسیون به خشی شدن یا کاهش قلیائیت بتن در نتیجه واکنش با CO_2 گفته می‌شود. در این عمل گاز CO_2 موجود در هوا یا محلول در آب (اسید کربنیک) با هیدروکسید کلسیم خمیر سیمان واکنش داده و تولید کربنات کلسیم می‌نماید (Chi, 2004). عمق کربناتاسیون در بتن با کیفیت مناسب پس از چندین سال بیش از ۱/۲۵ میلیمتر نمی‌باشد. با این وجود در بتنهای با کیفیت کم و متخلخل، کربناتاسیون میتواند موجب خوردگی میلگرد شده و در نتیجه به ترک خوردگی و پوسته شدن بتن بیانجامد. عوامل متعددی بر آهنگ کربناتاسیون مؤثر می‌باشند که عبارتند از: حجم حفره‌ها، مقاومت بتن، در معرض رطوبت بودن یا سیکلهای متناوب تر و خشک شدن و اختلاف دمائی دو طرف بتن. معمولاً زمانی که کربناتاسیون اصلی‌ترین عامل تخریب باشد، متناوباً رسوبات سفید رنگی در اطراف سنگدانه‌ها و در سطوح داخلی ترک‌ها مشاهده می‌شود. (Kurtis, 2000) معادلات شیمیایی فرآیند کربناتاسیون بتن عبارتند از (Papadakis, 1999).

شیمیایی کاهنده کیفیت نیز باشد. دومین نکته مهم این است که پدیده های فیزیکی و شیمیایی مرتبط با حرکات آب در اجسام متخلخل را نفوذپذیری جامدات کنترل می‌کند. سومین نکته این است که میزان آسیب دیدگی تحت تأثیر نوع و غلظت یونهای داخل آب و ترکیب شیمیایی جسم است (Mehta, 1986) تغییر در pH بتن در اثر نفوذ و انتشار گازهای موجود در محیط و تشکیل اسیدها می‌باشد. از گازهای موثر اصلی می‌توان به CO_2 هوا ($0.6-1 \text{ gr/m}^3$) و SO_3 موجود در آب باران ($6-10 \text{ mg/lit}$) اشاره کرد (Chi, 2004). در این میان دی اکسید کربن موجود در هوا از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد و در نتیجه نفوذ آن به درون بتن پدیده کربناتاسیون روی خواهد داد. کربناتاسیون بتن یک واکنش شیمیایی بین دی اکسید کربن نفوذ کرده به درون بتن با محصولات قلیایی حاصل از هیدراتاسیون سیمان در بتن می‌باشد. این واکنش، جزو واکنشهای تبدالی بین سیال مهاجم و خمیر سیمان که منجر به تشکیل نمک های کلسیم قابل حل می‌شوند، تقسیم بندی می‌شود.

لازم به ذکر است که تفاوت بسیار زیادی بین نرخ انتشار دی اکسید کربن در هوا و نرخ انتشار آن در آب وجود دارد. در آب نرخ انتشار دی اکسید کربن در حدود ۱۰۰۰۰ بار کمتر از هوا می‌باشد (Chi, 2004). از آنجا که بتن ماده‌ای متخلخل با منافذ ریز (micro porous) می‌باشد، نفوذ دی اکسید کربن به شکل ساختاری منافذ اشباع و غیر اشباع از آب بستگی خواهد داشت. اگر منافذ خشک باشند، گاز دی اکسید کربن به راحتی نفوذ می‌کند ولی به علت کمبود آب، فرآیند



که در حد امکان در چارچوب محدوده دانه بندی توصیه شده توسط مراجع معتبر قرار گیرد.

۴-۴- آب

آب مورد استفاده در ساخت آزمون‌های بتنی و ملات، آب شرب شهر تهران است که برای ساخت بتن کیفیت مطلوبی را داراست.

۴-۵- طرح اختلاط

جهت شروع کار و ساخت آزمون‌های اولیه از تجربه‌های گذشته و روادیدهای [11] ACI 325 استفاده شد. در این پروژه تعداد ۴ طرح با درصد‌های سیمان‌های مختلف (۲۷۰-۳۵۰) ساخته شد و با سنجش مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه و همچنین بررسی پدیده کربناسیون که به عنوان یکی از اصلی‌ترین پارامترهای دوام بتن به شمار می‌رود، به طور کامل مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد. طرح‌های ساخته شده به شرح زیر است.

۵- ساخت بتن و آزمون‌های بتنی

بدلیل ماهیت نسبتاً خشک بتن RCCP برای ساخت این بتن از بچینگ‌هایی که برای بتن‌های معمولی به کار گرفته می‌شود نمی‌توان استفاده کرد، لذا در آزمایشگاه از یک بچینگ زمینی ۶۰ لیتری که دارای بازوهای محرک برای مخلوط کردن بتن است، استفاده شد.

برای ساخت آزمون‌های بتن RCCP طبق ASTM C1176 [۱۲] باید از قالب‌های استوانه‌ای $30 \times 15 \text{ cm}$ استفاده کرد. طریقه‌ی ساخت بدین شرح است که در سه مرحله، هر مرحله یک‌سوم قالب را از بتن پر کرده و سپس روی میز وی‌بی محکم کرده و صفحه‌ی مدور با شعاعی کمتر از قالب را که وزنه‌ی $9/1 \text{ kg}$ روی آن قرار دارد بر روی بتن درون قالب گذاشته و دستگاه را روشن می‌کنیم تا حلقه‌ی ملات از اطراف صفحه نمایان شود و سپس خاموش می‌کنیم. تا سه مرحله این کار را تکرار می‌شود. لازم به ذکر است در هر مرحله سطح بتن متراکم مرحله‌ی قبل را اندکی مضرس کرده تا پیوستگی مناسبی بین لایه‌ها حاصل شود.

عوامل بسیاری بر روند فرآیند کربناتاسیون بتن تاثیر گذار می‌باشند. بطور کلی می‌توان عوامل موثر بر کربناتاسیون بتن را به سه گروه عمده‌ی عوامل داخلی یا ساختاری بتن، عوامل خارجی یا شرایط محیطی، تاثیر شرایط اجرایی و بهره برداری تقسیم بندی نمود (Browner, 1982).

برنامه آزمایشگاهی

لزوم تامین مقاومت و دوام در روسازی، انتخاب مصالح برای مخلوط‌های بتن غلطکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مصالح مورد استفاده در بتن غلطکی شامل آب، مواد سیمانی، ریزدانه و درشت دانه می‌باشد که در ادامه شرح داده می‌شود.

۴- مصالح مصرفی

۴-۱- مواد سیمانی

مواد سیمانی به کار رفته در ساخت آزمون‌ها شامل سیمان پرتلند تیپ ۱-۴۲۵ می‌باشد. سیمان از کارخانه سیمان تهران تهیه شده است.

۴-۲- سنگدانه‌ها

سنگدانه مصرفی در این پروژه آزمایشگاهی، از معدن متوساک تأمین گردید و داخل ماشین به محل آزمایشگاه مصالح و بتن شد و به داخل آزمایشگاه برای ثابت ماندن رطوبت انتقال یافت (شکل ۳-۱). ماسه مصرفی، ماسه طبیعی تمیز و شن مصرفی، شن شکسته با حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلیمتر در دو بخش نخودی و بادامی می‌باشد. همانطور که در شکل ۳-۲ ملاحظه می‌شود، دانه بندی شن و ماسه مصرفی در ناحیه مورد پذیرش استاندارد ACI 325 برای دانه بندی با حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلیمتر می‌باشد. مشخصات فیزیکی سنگدانه مصرفی در جدول ۳ ارایه شده است (ویژگیها، ۱۳۸۱).

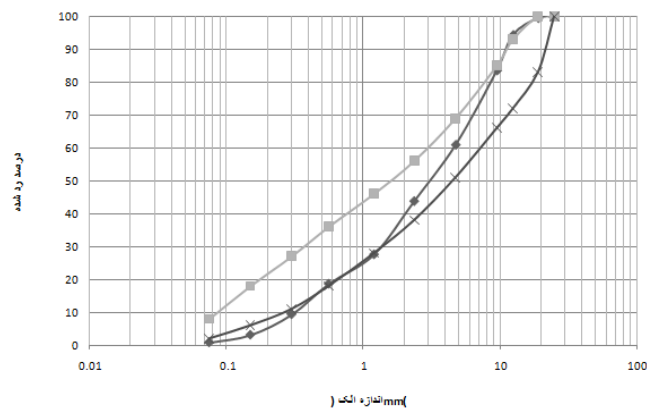
۴-۳- آزمایش دانه بندی

دانه بندی ترکیبی شن و ماسه، به نحوی انتخاب شد

جدول ۱. مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند نوع ۱ مصرفی

درصد وزنی	اجزاء و ترکیبات شیمیایی	درصد وزنی	اجزاء و ترکیبات شیمیایی
۶۲/۹	Calcium Oxide (CaO)	۴۹/۷	C ₃ S
۲۱/۳۶	Silicon Dioxide (SiO ₂)	۲۳/۸	C ₂ S
۳/۱۹	Magnesium Oxide (MgO)	۷/۷	C ₃ A
۵/۰۵	Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃)	۱۰/۳	C ₄ AF
۳/۳۹	Ferric Oxide (Fe ₂ O ₃)	۱/۵۱	کاهش وزن در اثر سرخ شدن (LOI)
۱/۷۶	Sulphate Oxide (SO ₃)	۰/۴۳	درصد باقیمانده نامحلول
۰/۸۴	Potassium Oxide (K ₂ O)	۰/۹۸	آهک آزاد
مقایسه مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند نوع ۱ مصرفی با محدودیت‌های استاندارد ۳۸۹ ایران			
سیمان مصرفی	محدودیت استاندارد ۳۸۹ ملی ایران	ترکیب شیمیایی	
۳/۱۹	< ۵	Magnesium Oxide (MgO)	
۱/۷۶	< ۳/۵	Sulphate Oxide (SO ₃)	
۱/۵۱	< ۳	(درصد کاهش وزن در اثر سرخ شدن) LOI	
۰/۴۳	< ۰/۷۵	درصد باقیمانده نامحلول	

منحنی دانه بندی



شکل ۱. منحنی دانه بندی سنگدانه مصرفی و محدوده‌های

جدول ۲. مشخصات فیزیکی سنگدانه مصرفی

سنگدانه	چگالی (gr/cm ³)	جذب آب (%)	حداکثر قطر مخلوط سنگدانه	مدول نرمی مخلوط سنگدانه
ماسه	۲/۵۶	۳	۱۹ میلیمتر	۴/۹
شن نخودی	۲/۵۷	۲/۳		
شن بادامی	۲/۵۸	۱/۱		



شکل ۲. نمونه‌های ساخته شده



شکل ۳. نمونه‌های آزمایش جذب مویستگی در آون پیش از آزمایش



شکل ۴. دستگاه آزمایش مقاومت الکتریکی

۶- آزمایش‌ها

۶-۳- آزمایش مقاومت الکتریکی (FM 5-578)

در صورتیکه مقاومت الکتریکی بیش از ۲۰ کیلو اهم- سانتیمتر باشد، نرخ خوردگی ناچیز می باشد و در صورتیکه کمتر از ۵ کیلو اهم- سانتیمتر باشد، نرخ خوردگی خیلی زیاد است و بین این دو مقدار نیز خوردگی محتمل می باشد. نمونه‌های استوانه‌ای بتنی با ابعاد ۳۰×۱۵ سانتیمتر برای این آزمایش تهیه می شوند. در هر سری انجام آزمایش ابتدا دستگاه آزمایش مقاومت الکتریکی کالیبره شده و سپس آزمایش انجام می گیرد. مقاومت الکتریکی برای هر قطاع ۹۰ درجه نمونه‌های بتنی اندازه‌گیری شده و نهایتاً میانگین مقادیر به عنوان مقاومت الکتریکی نهایی گزارش خواهد شد [۱۵].

رطوبت نمونه بتنی بر روی نتایج اثر می گذارد. از این رو باید نمونه های بتنی پس از خارج شدن از محلول آب آهک به سرعت مورد آزمایش قرار گیرند.

۷- تحلیل نتایج آزمایشگاهی

۷-۱- آزمایش مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی

آزمایش مقاومت فشاری معمولترین آزمایش برای ارزیابی نمونه های بتنی است. از آنجا که از هر بتنی یک مقاومت حداقل انتظار می رود، این آزمایش مهم و اساسی به نظر می رسد. مقاومت فشاری نمونه بتنی می تواند نمایانگر روند فعالیت های سیمانی و کیفیت ماتریس سیمانی بتن و پیوستگی آن با سنگدانه ها باشد. جدول ۴ و ۵ تغییرات مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی و نمونه‌های کربناته شده با درصد سیمان‌های مختلف را در سنین مختلف نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود، در تمامی نمونه‌های شاهد و اصلی (جدول ۴) مقاومت ۲۸ مگاپاسکال در تمامی طرح‌ها حاصل شده است. با مشاهده نتایج آزمایش درمی یابیم که به طور کلی مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی با افزایش سن آن افزایش می یابد، که این به دلیل پیشرفت فرآیند هیدراتاسیون با توجه به سن آزمونه‌ها می باشد. همچنین با توجه به چگالی آزمونه‌ها که در فصل گذشته ذکر شد، می توان مشاهده کرد که با افزایش چگالی مقاومت فشاری نیز افزایش می یابد، زیرا با افزایش چگالی حجم خلل و فرج‌ها کاسته شده و در عوض حجم مواد سیمانی و سنگدانه‌ها که دارای مقاومت هستند افزایش می یابد. همچنین مشخص است که با افزایش میزان سیمان در بتن، مقاومت

۶-۱- آزمایش مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی

(استاندارد ۳۲۰۶ ایران)

عواملی مانند نسبت W/C و درجه هیدراتاسیون، ویژگی های سیمان و مواد جایگزین سیمان، ویژگی های سنگدانه و مقدار حباب هوای موجود در مقاومت بتن مؤثر است. اساساً مقاومت بتن تابعی از حجم حفرات در بتن است. با افزایش مقدار حباب هوا در بتن مقاومت بتن کاهش می یابد. برای جبران این کاهش مقاومت می توان از سیمان بیشتر و یا W/C کمتر استفاده کرد. با توجه به موارد یاد شده در بالا، یکی از پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه، مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی می باشد. آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز بر روی تمامی آزمونه‌های بتنی انجام شد. به منظور بررسی این پارامتر، آزمونه‌های بتن استوانه ای با ابعاد ۳۰×۱۵ سانتیمتر ساخته شد، که این آزمونه‌ها تا سن آزمایش در محلول آب آهک اشباع عمل آوری شدند. در هر دوره آزمایش، آزمونه‌ها مطابق با استاندارد ۳۲۰۶ ملی ایران مورد آزمایش قرار می گرفتند [۱۳].

۶-۲- آزمایش جذب موئینگی آب آزمونه‌های بتنی

(استاندارد ASTM C 1585)

آزمونه‌های استوانه ای ۳۰×۱۵ سانتیمتری تهیه شده برای این آزمایش تا سن آزمایش در محلول آب آهک اشباع در دمای آزمایشگاه (۲۲ تا ۲۵ درجه سانتیگراد) نگهداری شدند. برای انجام آزمایش جذب آب موئینه مطابق با استاندارد ASTM C1585، با فرا رسیدن سن آزمایش، آزمونه‌ها به مدت ۱۴ روز در آون با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد تا تمامی حفرات آنها از آب خالی شود [۱۴]. در طی این مدت آزمونه‌ها به وزن ثابت رسیدند و پس از توزین، درون ظرف آبی قرار داده شدند به گونه‌ای که سطح آب به اندازه ۵ میلیمتر از تراز کف آزمونه‌ها بالاتر قرار گرفت. به بیان دیگر، آزمونه‌ها باید به اندازه ۵ میلیمتر در آب فرو روند، ضمن آنکه آب با کف آزمونه تماس کامل داشته باشد. سپس وزن آزمونه‌ها پس از ۳، ۶، ۲۴ و ۷۲ ساعت قرارگیری در آب، قرائت شد. این آزمایش در سن ۷، ۲۸ و ۹۰ روز بر روی تمامی آزمونه‌ها انجام شد.

زیاد مایع منفذی، در حدود ۱۲/۵ تا ۱۳/۵، در حالت تعادل پایدار قرار دارد. لذا اگر خمیر سیمان در تماس با محیط اسیدی قرار بگیرد، در حالت نامتعادل شیمیایی خواهد بود. از نظر تنوری، هر محیطی با pH کمتر از ۱۲/۵ ممکن است مهاجم باشد، زیرا کاهش درجه قلیایی مایع منفذی، نهایتاً منجر به ناپایدار سازی محصولات سیمانی ناشی از هیدراتاسیون می‌گردد. کاهش مقاومت فشاری یکی از معایب کربناته شدن است. مقایسه مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی کربناته شده به آزمون‌های بتنی بدون کربناسیون ایجاد شده در سنین مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است.

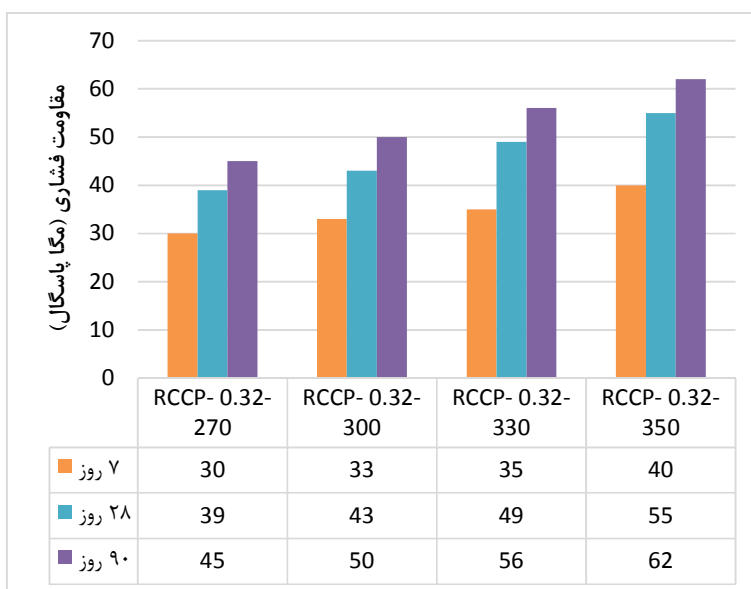
فشاری نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند. در شکل ۵ و ۶ روند افزایش مقاومت فشاری در نمونه‌های مختلف آزمایش به طور کامل نمایش داده شده است. همانگونه که در شکل ۴ و ۵ ملاحظه می‌شود، مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی کربناته شده، کمتر از مقاومت فشاری نمونه‌های معمولی بتنی است. علت این پدیده نفوذ گاز دی-اکسید کربن به داخل بتن و در نتیجه ایجاد محیط اسیدی است. در یک خمیر سیمان پرتلند خوب هیدراته شده، فاز جامد که اساساً از هیدرات‌های نسبتاً نامحلول کلسیم (مانند C-S-H و CH و C-A-S-H) تشکیل شده است، با pH

جدول ۴. نتایج مقاومت فشاری آزمون‌ها (MPa)

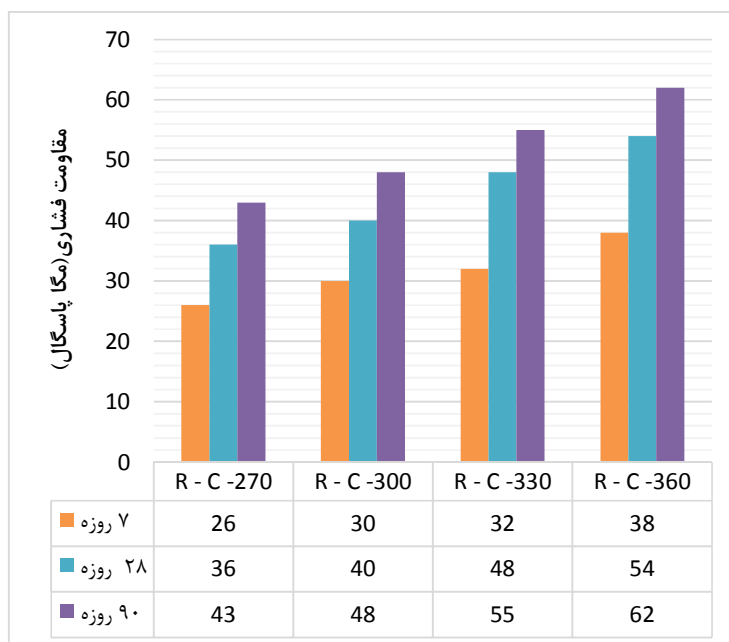
نام طرح	۷روزه	۲۸روزه	۹۰روزه
R-۲۷۰-۰،۳۲	۳۰	۳۹	۴۵
R-۳۰۰-۰،۳۲	۳۳	۴۳	۵۰
R-۳۳۰-۰،۳۲	۳۵	۴۹	۵۶
R-۳۵۰-۰،۳۲	۴۰	۵۵	۶۲

جدول ۵. نتایج مقاومت فشاری آزمون‌های کربناته شده (MPa)

نام طرح	۷روزه	۲۸روزه	۹۰روزه
R-۲۷۰-۰،۳۲	۲۶	۳۶	۴۳
R-۳۰۰-۰،۳۲	۳۰	۴۰	۴۸
R-۳۳۰-۰،۳۲	۳۲	۴۸	۵۵
R-۳۵۰-۰،۳۲	۳۸	۵۴	۶۲



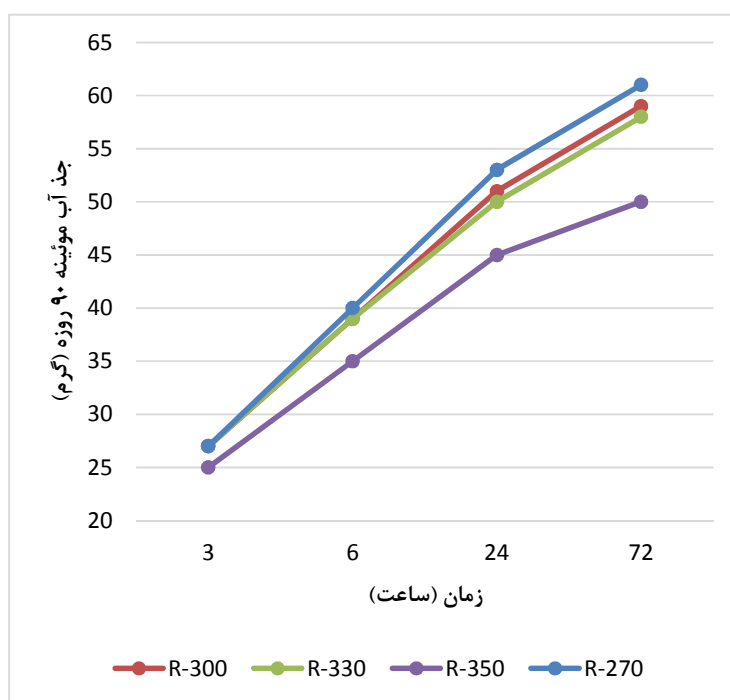
شکل ۵. نمودارهای مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین مختلف



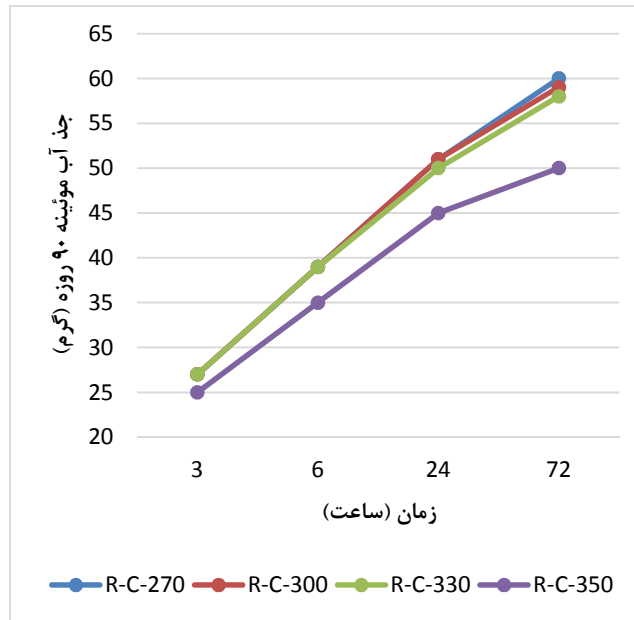
شکل ۶. نمودارهای مقاومت فشاری نمونه‌های کربناته شده در سنین مختلف

جدول ۶. مقایسه مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی کربناته شده به آزمون‌های بتنی کربناته نشده

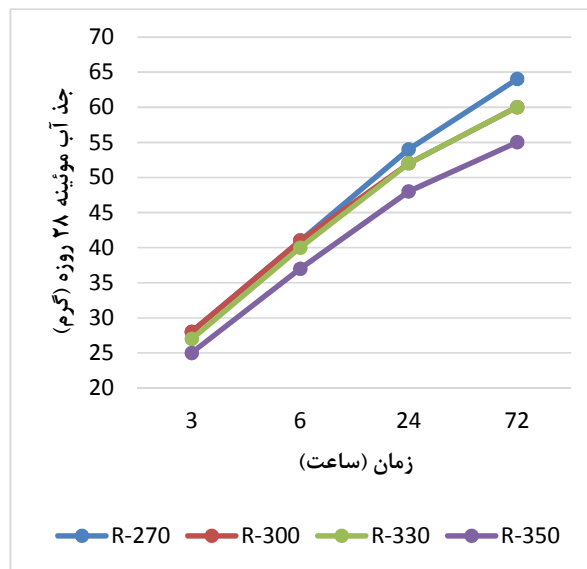
۹۰ روزه		۲۸ روزه		آزمون‌های ۷ روزه		نام طرح
معمولی	کربناته	معمولی	کربناته	معمولی	کربناته	
۴۵	۴۳	۳۹	۳۶	۳۰	۲۶	R-۲۷۰-۰،۳۲
۵۰	۴۸	۴۳	۴۰	۳۳	۳۰	R-۳۰۰-۰،۳۲
۵۶	۵۵	۴۹	۴۸	۳۵	۳۲	R-۳۳۰-۰،۳۲
۶۲	۶۲	۵۵	۵۴	۴۰	۳۸	R-۳۵۰-۰،۳۲



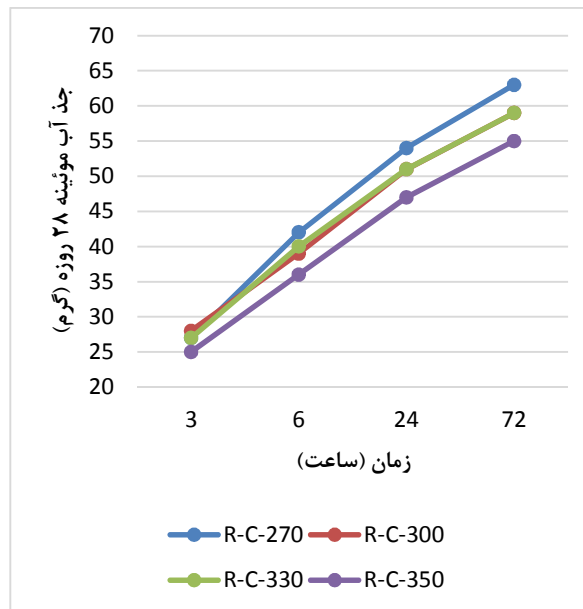
شکل ۷. نتایج جذب آب موئینه در سن ۹۰ روز نمونه‌ها



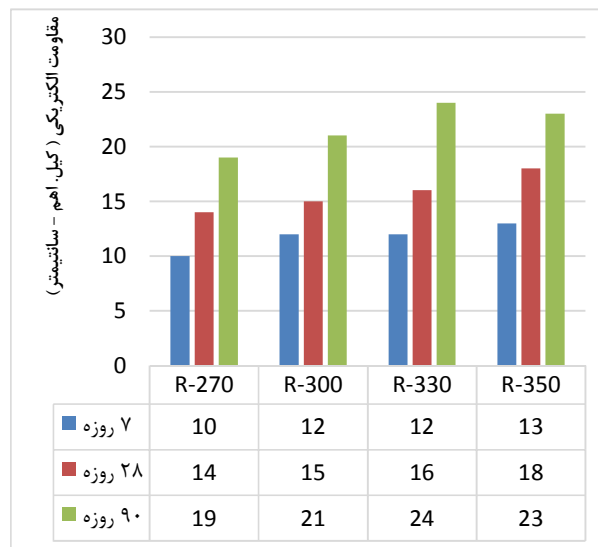
شکل ۸. نتایج جذب آب مویینه در سن ۹۰ روز نمونه‌های کربناته شده



شکل ۹. نتایج جذب آب مویینه در سن ۲۸ روز نمونه‌ها



شکل ۱۰. نتایج جذب آب مویینه در سن ۲۸ روز نمونه‌های کربناته شده



شکل ۱۱. نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی نمونه‌ها

میزان سیمان کمتر، میزان رشد مقاومت در سن ۷ روز بیشتر سایر نمونه‌ها می‌باشد. علت این پدیده انجام فرآیند هیدراتاسیون کامل‌تر برای بیشتر ذره‌های سیمان در سن ۷ روز در این نمونه‌ها می‌باشد. در صورتی که

میزان رشد مقاومت فشاری در تمامی طرح‌ها در بازه‌های زمانی مختلف، در شکل ۶ نمایش داده شده است. با توجه به روند کسب مقاومت آزمون‌های بتن غلتکی به وضوح مشخص است که در نمونه‌های با

به هر حال می‌توان گفت که تشکیل ژل‌های سیمانی و محصولات هیدراتاسیون در نمونه‌های پرسیمان بیشتر بوده که این باعث کاهش میزان حفرات داخلی بتن گشته که در نهایت میزان جذب آب کاهش یافته و دوام بتن افزوده می‌شود.

۷-۳- آزمایش مقاومت الکتریکی (اهمی)

نمونه‌های استوانه‌ای بتنی با ابعاد 15×30 سانتیمتر برای این آزمایش تهیه و در آب آهک عمل آوری گردیدند. در هر سری انجام آزمایش ابتدا دستگاه آزمایش مقاومت الکتریکی کالیبره می‌شد و سپس آزمایش انجام می‌گردید.

مقاومت الکتریکی بر وجوه مختلف هر نمونه بتنی اندازه‌گیری گردید (شکل ۱۱). رطوبت نمونه بتنی بر روی نتایج اثر می‌گذارد، از اینرو باید نمونه‌های بتنی پس از خارج شدن از محلول آب آهک به سرعت مورد آزمایش قرار گیرند.

آزمایش‌های گوناگونی توسط دستگاه مقاومت الکتریکی در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه برای طرح اختلاط‌های مورد نظر انجام گرفت که در جدول ۸ و نمودارهای شکل ۱۱، مقادیر مقاومت الکتریکی برای نمونه‌های مختلف مشاهده می‌شود. با توجه به جدول و شکل‌های مزبور مشاهده می‌شود که اولاً افزایش میزان سیمان در نمونه‌ها باعث افزایش مقاومت الکتریکی و در نتیجه دوام بتن شده است.

همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش سن نمونه‌ها با توجه به این فرآیند هیدراتاسیون کامل‌تر شده است در نتیجه مقاومت الکتریکی نیز افزایش پیدا کرده است.

در نمونه‌های با میزان سیمان بیشتر این روند در روزهای ابتدایی با سرعت کمتری انجام می‌شود و میزان رشد مقاومت آن‌ها کمتر می‌باشد.

۷-۲- آزمایش جذب موئینگی آب آزمونه‌های بتنی

یکی از آزمایش‌هایی که برای بررسی نفوذپذیری بتن استفاده می‌شود، آزمایش جذب موئینگی آب است. این آزمایش می‌تواند تصویری از مقدار فضاهای موئینه آزمونه‌های بتنی، شکل و پیوستگی آن‌ها را ارائه دهد. آزمایش مذکور بر اساس استاندارد EN5-480 روی آزمونه‌های بتن استوانه‌ای با ابعاد 30×15 سانتیمتر انجام گرفت. شکل‌های ۷ و ۸ روند جذب آب آزمونه‌ها را در طول ۷۲ ساعت در سن ۹۰ روز و شکل‌های ۹ و ۱۰ روند جذب آب آزمونه‌ها را در طول ۷۲ ساعت در سن ۲۸ روز نشان می‌دهد.

میزان آب جذب شده از سطح آزمونه‌های بتنی پس از ۷۲ ساعت، در جدول ۷ آمده است.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۷ درمی‌یابیم که با بالا رفتن سن آزمونه‌ها، کاهش جذب موئینگی آب در تمامی آزمونه‌های بتنی مشاهده می‌شود که امری طبیعی است و حاکی از کامل‌تر شدن واکنش‌های هیدراتاسیون، بهبود تخلخل و کاهش فضاهای موئینه است. که با مقایسه‌ی میزان جذب موئینگی نمونه‌های با میزان سیمان مختلف مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار سیمان میزان جذب آب نهایی کمتر شده است در آزمونه‌های حاوی سیمان بیشتر بدلیل کمتر بودن مقدار حفرات موئینه یا به دلیل شکل و ساختار این حفرات (منقطع بودن حفرات از یکدیگر) جذب آب نسبتاً کم بوده است.

جدول ۷. جذب نهایی پس از ۷۲ ساعت (g/cm^2)

نام طرح		آزمونه‌های ۷ روزه		۲۸ روزه		۹۰ روزه	
		معمولی	کربناته	معمولی	کربناته	معمولی	کربناته
R-۲۷۰-۰۰,۳۲	۰,۳۸	۰,۴۰	۰,۳۶	۰,۳۶	۰,۳۴	۰,۳۵	۰,۳۵
R-۳۰۰-۰۰,۳۲	۰,۳۷	۰,۳۸	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۳۳
R-۳۳۰-۰۰,۳۲	۰,۳۶	۰,۳۷	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۳۴	۰,۳۳	۰,۳۳
R-۳۵۰-۰۰,۳۲	۰,۳۳	۰,۳۵	۰,۳۱	۰,۳۱	۰,۳۱	۰,۲۸	۰,۲۸

جدول ۸. نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی در سنین مختلف ($K\Omega\text{-cm}$)

	۷ روز	۲۸ روز	۹۰ روز
R-۲۷۰-۰۰,۳۲	۱۰	۱۴	۱۹
R-۳۰۰-۰۰,۳۲	۱۲	۱۵	۲۱
R-۳۳۰-۰۰,۳۲	۱۲	۱۶	۲۴
R-۳۵۰-۰۰,۳۲	۱۳	۱۸	۲۳

۸- نتیجه گیری

افزایش سن نمونه‌ها از میزان کاهش مقاومت کاسته می‌شود. همچنین میزان کاهش مقاومت در اثر کربناته شدن با افزایش عیار بتن کاسته می‌شود.

با در نظر گرفتن مقاومت فشاری استاندارد، کاهش مقاومت فشاری در اثر کربناته شدن خللی در عملکرد بتن غلتکی ایجاد نمی‌کند.

علت کاهش مقاومت فشاری در نمونه‌های کربناته شده پدیده نفوذ گاز دی‌اکسید کربن به داخل بتن است که باعث کاهش قلیائیت و در نتیجه ایجاد محیط اسیدی می‌باشد. اگر خمیر سیمان در تماس با محیط اسیدی قرار بگیرد، در حالت نامتعادل شیمیایی خواهد بود. از

در این بخش به مرور اجمالی نتایج آزمایش‌های گوناگون صورت گرفته بر روی آزمونه‌های بتنی پرداخته و جمع‌بندی نهایی ارائه می‌گردد:

در طرح‌های ساخته شده، نمونه‌های بتن غلتکی با عیار سیمان ۲۷۰، ۳۰۰، ۳۳۰ و ۳۵۰ همگی حداقل مقاومت فشاری استاندارد را برآورد می‌کنند. همچنین با افزایش عیار سیمان از ۲۷۰ تا ۳۵۰ در نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ثابت، مقاومت فشاری حدود ۳۰ درصد افزایش پیدا کرده است.

در صورت نفوذ کربن دی‌اکسید در نمونه‌های بتن غلتکی، از مقاومت فشاری آن‌ها کاسته می‌شود که با

دوامی بتن می‌باشد. در تمامی آزمون‌ها بهبود پارامترهای دوام در بازه‌ی ۲۸ روز تا ۹۰ روز مشاهده گردید، که این امر حاکی از کامل‌تر شدن واکنش‌های هیدراتاسیون و کاسته شدن تخلخل و حفرات موئینه و کاهش پیوستگی آن‌ها است. به طور کلی از نتایج بدست آمده می‌توان چنین دریافت که آزمایش‌های گوناگون دوام بتن به علت ماهیتی که این آزمایش‌ها دارند همدیگر را تأیید می‌نمایند. زیرا هرچه نفوذپذیری بتن بیشتر باشد، یون‌ها با سهولت و سرعت بیشتری می‌توانند به داخل محیط بتن راه یابند.

۹- مراجع

-اکبری، د.ع. و رضایی. ع.، (۱۳۸۹)، "بررسی اثر کربناتاسیون در میزان نفوذ یون کلرید در بتن‌های حاوی دوده سیلیس"، رساله دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

-"تعیین مقاومت فشاری آزمون‌های بتن: استاندارد ۳۲۰۶"، (۱۳۸۱)، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

-Hilsdorf, H. and J. Kropp, (2004), "Performance criteria for concrete durability". Vol. 12. CRC Press.

-Mehta, P.K., (1986), "Concrete, Structure, properties and materials".

-Chi, J.M., Huang, R., & Yang, C. C, (2002), "Effects of carbonation on mechanical properties and durability of concrete using accelerated testing method".

-Jiang, L., B. Lin, and Y. Cai, (2000), "A model for predicting carbonation of high-volume fly ash concrete. Cement and Concrete Research, 2000. 30(5): pp. 699-702.

-Papadakis, V., M. Fardis, and C. Vayenas, (1992), "Effect of composition, environmental factors and cement-lime mortar coating on concrete carbonation". Materials and Structures, 25(5): pp. 293-304.

نظر تئوری، هر محیطی با PH کمتر از ۱۲/۵ ممکن است مهاجم باشد، زیرا کاهش درجه قلیایی مایع منفذی، نهایتاً منجر به ناپایدار سازی محصولات سیمانی ناشی از هیدراتاسیون می‌گردد. با افزایش سن نمونه‌ها از میزان جذب آب موئینی در آن‌ها کاسته می‌شود که دلیل آن تکمیل شدن فرآیند هیدراتاسیون و کاهش خلل و فرج می‌باشد. با افزایش عیار سیمان در نمونه‌ها، ضریب جذب موئینی کاسته شده است. بدلیل کمتر بودن مقدار حفرات موئینه یا به دلیل شکل و ساختار این حفرات (منقطع بودن حفرات از یکدیگر) جذب آب نسبتاً کم بوده است. به هر حال می‌توان گفت که تشکیل ژل‌های سیمانی و محصولات هیدراتاسیون در نمونه‌های پرسیمان بیشتر بوده که این باعث کاهش میزان حفرات داخلی بتن گشته که در نهایت میزان جذب آب کاهش یافته و دوام بتن افزوده می‌شود.

میزان جذب موئینی برای نمونه‌های کربناته شده در مقایسه با نمونه‌هایی که کربناته نشده‌اند تقریباً یکسان بوده و تغییرات بسیار کمی مشاهده می‌شود. اما در سنین کمتر مقداری تغییرات مشاهده شده که نشان‌دهنده کاهش جذب موئینی نمونه‌های کربناته شده نسبت به نمونه‌های کربناته نشده است. دلیل این امر تشکیل کربنات کلسیم و آب طی واکنش کلسیم هیدروکسید و گاز کربن دی اکسید در فرآیند کربناتاسیون می‌باشد.

برای همه‌ی طرح‌های اختلاط، با افزایش میزان مقاومت فشاری آزمون‌ها، از میزان جذب موئینی آب در آن‌ها کاسته می‌شود. همچنین با افزایش میزان مقاومت فشاری از عمق نفوذ گاز دی اکسید کربن کاسته شده و مقاومت الکتریکی نمونه‌ها و دوام آن‌ها افزایش می‌یابد. افزایش میزان سیمان در نمونه‌ها باعث افزایش مقاومت الکتریکی شده است. همچنین با افزایش سن نمونه‌ها با توجه به این فرآیند هیدراتاسیون کامل‌تر شده است در نتیجه مقاومت الکتریکی نیز افزایش پیدا کرده است که نشان‌دهنده بهبود عملکرد

-COMMIITEE, A., 325 (1995), "State-of-the-Art Report on Roller-Compacted Concrete Pavements", ACI: pp. 325-95.

-ASTM, ASTM C1176 / C1176M - 13, (2013), "Standard Practice for Making Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table". ASTM International, West Conshohocken, PA.

-Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic Cement Concretes. ASTM C, (1585).

-Florida Method of Test for Concrete Resistivity as an Electrical Indicator of its Permeability. FM 5-578.

-Kurtis, K.E., & Monteiro, P. J, (1999), "Analysis of durability of advanced cementitious materials for rigid pavement construction in California".

-Papadakis, V.G., C.G. (1991), "Vayenas, and M.N. Fardis, Fundamental modeling and experimental investigation of concrete carbonation". ACI materials journal, pp . 88(4).

-Browner, R.D., (1982), "Design prediction of the life for reinforced concrete in marine and other chloride environments".