

اثرات درازمدت عمل آوری بر نفوذ کلراید در بتن در محیط خلیج فارس

محمد شکرچی زاده^۱، سیامک ریاضی^{۲*}، خدیجه صبری رزم^۳

۱- استاد دانشکده عمران دانشگاه تهران، مدیر انستیتو مصالح ساختمانی Email: shekarch@ut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشکده عمران دانشگاه تهران

Email:siariazi@ut.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران دانشگاه تهران

Email:k.sabrirazm@ut.ac.ir

چکیده:

محیط‌های دریایی یکی از اصلی‌ترین مکان‌هایی است که در آن از بتن در صنعت ساخت و ساز به طور گسترده استفاده می‌گردد. از طرفی شرایط رویارویی دریا به علت دارا بودن دما و رطوبت بالا و همچنین میزان زیاد یون و املاح، محیطی خورنده برای سازه‌های بتن‌آرمه ایجاد می‌کند. یکی از اصلی‌ترین راه‌کارهایی که به کمک آن می‌توان به بتنی مقاوم در برابر نفوذ یون کلراید دست یافت عمل آوری است. در این تحقیق عملکرد پنج نوع عمل آوری مختلف در محیط‌های دریایی بررسی می‌شود که عبارت‌اند از: عمل آوری ۲۷ روز با آب، عمل آوری ۶ روز با آب، عمل آوری ۳ روز با آب، عمل آوری ۱ روز با آب، عمل آوری با ماده عمل آور و بدون عمل آوری. نمونه‌های بتنی با عمل آوری های ذکر شده به مدت هفت سال در شرایط رویارویی گوناگون در محیط خلیج فارس قرار داده شده‌اند. شرایط رویارویی شامل اتمسفر، مستغرق و جزرومد بوده و نمونه‌گیری در زمان‌های سه ماه، نه ماه، سه سال، پنج سال و هفت سال انجام شده و به کمک پروفیل نفوذ یون کلراید مقدار ضریب انتشارپذیری و کلر سطحی در تمامی نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است. بر اساس نتایج بدست‌آمده بهترین عملکرد از نظر مقاومت در برابر نفوذ یون کلراید بسته به شرایط رویارویی متفاوت است. با این وجود مشاهده می‌شود که عمل آوری با ماده عمل آور عملکرد مناسبی از نظر مقاومت ذکر شده در اکثر شرایط رویارویی و در زمان‌های متفاوت از خود نشان داده است.

۱- مقدمه

از میان عوامل مختلفی که از هنگام طرح اختلاط تا ساختن و بهره‌برداری از بتن بر ویژگی‌های آن تأثیر می‌گذارند، عمل‌آوری یکی از ابتدایی‌ترین و ساده‌ترین و درعین‌حال از مهم‌ترین عوامل است که در مشخصه‌های اصلی بتن مانند مقاومت فشاری و نفوذپذیری نقش بسزایی ایفا می‌کند [۱]. همچنین عمل‌آوری صحیح در دستیابی به ریزساختار متراکم و پیوسته منافذ حفره‌ای قبل از قرارگیری در معرض یون کلر و مواد مضر دیگر اهمیت دارد [۲]. طبق استاندارد ACI 308، عمل‌آوری عبارت است از حفظ میزان رطوبت و دمای مناسب در طول سنین اولیه بتن بطوریکه خواص مورد نظر و دلخواه توسعه یابند [۳]. عمل‌آوری برای تولید بتنی که ویژگی‌های مطلوب را داشته باشد امری ضروری است. طبق تعریف آیین‌نامه بتن ایران، عمل‌آوری فرایندی است که طی آن از افت رطوبت بتن جلوگیری و دمای بتن در حدی رضایت‌بخش حفظ می‌شود. طبق این استاندارد عمل‌آوردن متشکل از سه قسمت مراقبت، محافظت و پروراندن می‌باشد. مراقبت به مجموعه تدابیر برای حفظ رطوبت به منظور رسیدن به حداکثر میزان آبیگری گفته می‌شود. محافظت، جلوگیری از اثر نامطلوب عوامل خارجی و پروراندن، سرعت بخشیدن به گرفتن و سخت شدن بتن به وسیله حرارت می‌باشد. [۴]. به طور دقیق‌تر، هدف از عمل‌آوری، نگهداری بتن در شرایط اشباع یا نزدیک به اشباع است تا فضاهایی که در ابتدا با آب پر شده بودند، توسط محصولات هیدراتاسیون سیمان تا حد مطلوب پر شوند. در این تحقیق ۶ حالت عمل‌آوری (شامل بدون عمل‌آوری، عمل‌آوری در آب به مدت ۱، ۳، ۶ و ۲۷ روز و عمل‌آوری با ماده عمل‌آور) در نظر گرفته شده که تأثیر آن بر روی دو نوع بتن ساده و آمیخته با دوده سیلیس بررسی شده است. همچنین آزمون‌ها در سه ناحیه رویارویی اتمسفر، جزرومد و مغروق قرار گرفتند. برای این تحقیق با توجه به ۶ حالت عمل‌آوری، ۳ ناحیه قرارگیری و دو نوع طرح اختلاط بتن، جمعاً ۳۶ آزمون منشوری ساخته شد.

۲- آزمایش‌ها

آزمون‌های منشوری در ابعاد $15 \times 15 \times 60$ cm به عنوان آزمون‌های اصلی برای قرارگیری در محیط خلیج فارس انتخاب شد. طرح اختلاط بتن بر اساس دستیابی به کارایی یکنواخت با اسلامپ ۵ تا ۸ سانتی‌متر برای تمامی حالات انجام شد. مقدار عیار مواد سیمانی با توجه به تجربیات مشابه در دیگر پروژه‌های تحقیقاتی که به منظور دستیابی به مقدار بهینه مواد سیمانی انجام گرفته بود و همچنین برای مقایسه نتایج با طرح‌های دیگر پژوهشی به میزان ثابت 400 kg/m^3 در نظر گرفته شد. برای طرح اختلاط ابتدا شن و ماسه با حداکثر اندازه دانه 12 mm ، دانه‌بندی شد. مدول نرمی ریزدانه در حدود $4/3$ بود، ولی به دلیل استفاده از ACI 211 [۱] در طراحی و همچنین وجود حدود $37/3$ ریزدانه در مصالح درشت‌دانه، دانه‌بندی اصلاح گردید تا به حد مورد قبول در استاندارد برسد. به این ترتیب که ریزدانه را الک کرده و به دو قسمت زیر الک 1 mm و روی الک تقسیم گردید. سپس ریزدانه مصرفی را به نسبت ۵ به ۱ از مصالح زیر الک 1 mm و روی آن تهیه گردید تا مدول نرمی به $3/2$ برسد. دانه‌بندی طرح‌ها ملزومات ASTM C33 را برآورده می‌کند [۲].

پس از آماده سازی سایت آزمون‌های منشوری که در آزمایشگاه ساخته شده بودند به محل منتقل شدند. در هر قسمت رویارویی تمهیدات لازم برای رویارویی کنترل شده و حفاظت آزمون‌ها انجام گرفته بود بطوریکه در قسمت جزر و مد، آزمون‌ها داخل سبدهای مشبک پلاستیکی قرار گرفتند و کلیه سبدها به هم بسته شدند، در ناحیه مغروق آزمون‌ها داخل وان‌های پلی‌اتیلن قرار گرفتند که همواره پر از آب باشند. این وان‌ها با میله‌های داربست محافظت می‌شد تا در مقابل نیروی موج دریا جابجا نشوند. برای شرایط رویارویی اتمسفر نیز سکویی ساخته شد تا آزمون‌ها بر روی آن قرار گیرند و زیر آزمون‌ها هم از نوارهای چوبی عبور هوا استفاده شد. برای شرایط مدفون در خاک با حفر گودالی در کنار سکوی حالت اتمسفر، آزمون‌های مربوطه داخل آن قرار گرفتند. کلیه آزمون‌های منشوری به صورتی قرار داده شدند که سطوح پوشیده نشده در بالا و پایین باشد. در حالت پاشش نیز آزمون‌ها داخل سبدهای مشبک پلاستیکی بر روی

سکوی بتنی دیوار ساحل، که تراز آن حدود ۱ الی ۲ متر از حداکثر ارتفاع مد منطقه بالاتر می‌باشد، قرار داده شدند، بطوریکه بر اثر برخورد موج با دیواره ساحلی، آزمون‌ها در معرض پاشش آب دریا قرار گیرند.

پس از قرارگیری آزمون‌های منشوری در محل سایت پایایی بتن در بندرعباس در پنج دوره زمانی ۳ ماهه، ۹ ماهه، ۳ ساله، ۵ ساله و ۷ ساله عملیات نمونه‌برداری برای آزمایش تعیین میزان یون کلر انجام شد. آزمون‌های شرایط مختلف روبرویی توسط اهر برقی بریده و نام‌گذاری می‌شود، سطح بریده‌شده آزمون باقیمانده با پوشش پایه پلی اورتان پوشانده می‌شود تا آماده قرارگیری در محل برای آزمایش‌ها در دوره‌های زمانی بعد شود. پس از انتقال نمونه‌های بریده‌شده به تهران، کار پودرگیری از آزمون‌ها طبق استاندارد NTBuild 443 در آزمایشگاه مصالح ساختمانی آغاز شد. برای این منظور، از قبل دستگاه پروفیل‌گیری تهیه و گیره نگهداری متناسب با آزمون‌های منشوری طراحی و ساخته شده بود. در این دستگاه با دو نوع چرخش مته بر روی سطح پروفیل‌هایی با دقت عمق ۰/۵ میلی متر در مساحت‌های قابل تنظیم در سطوح دایروی از آزمون‌ها تهیه می‌شود. جنس این مته از آلایژ خاصی بوده که احتیاج به سرد کردن با آب نداشت [۳]. روش‌های اسکپترو فتومتری از جمله روش‌های بسیار حساس و با حد تشخیص پایین، برای اندازه‌گیری آنالیت‌های گوناگون می‌باشند. اساس این روش بر مبنای برهمکنش نور با یک ماده قرار دارد. در این تحقیق روش مورد استفاده برای اندازه‌گیری یون کلراید روش اسکپترو فتومتری بوده است.

میزان نفوذ یون کلر بر حسب عمق از سطح بتن در زمان مشخص توسط قانون دوم انتشار پذیری فیک بیان می‌شود [۱۰]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1-2)$$

پس از حل، معادله دیفرانسیل فوق به صورت زیر درمی‌آید:

$$C(x, t) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_c t}} \right) \right] \quad (2-2)$$

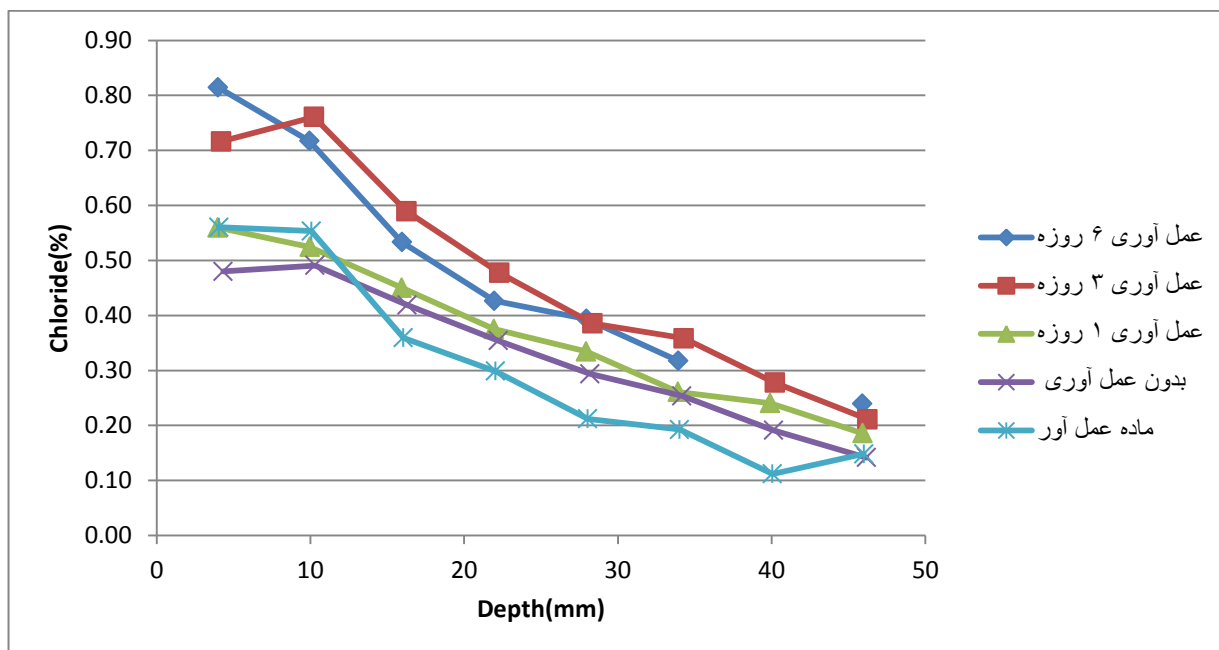
که در آن x فاصله از سطح بتن بر حسب متر، t مدت زمان روبرویی بر حسب ثانیه، D_c ضریب انتشار پذیری بتن بر حسب مترمربع بر ثانیه، C_0 میزان درصد وزنی یون کلر در سطح بتن و $C(x, t)$ میزان درصد وزنی یون کلر در عمق x نسبت به سطح و در زمان t است

۳- بحث و نتیجه

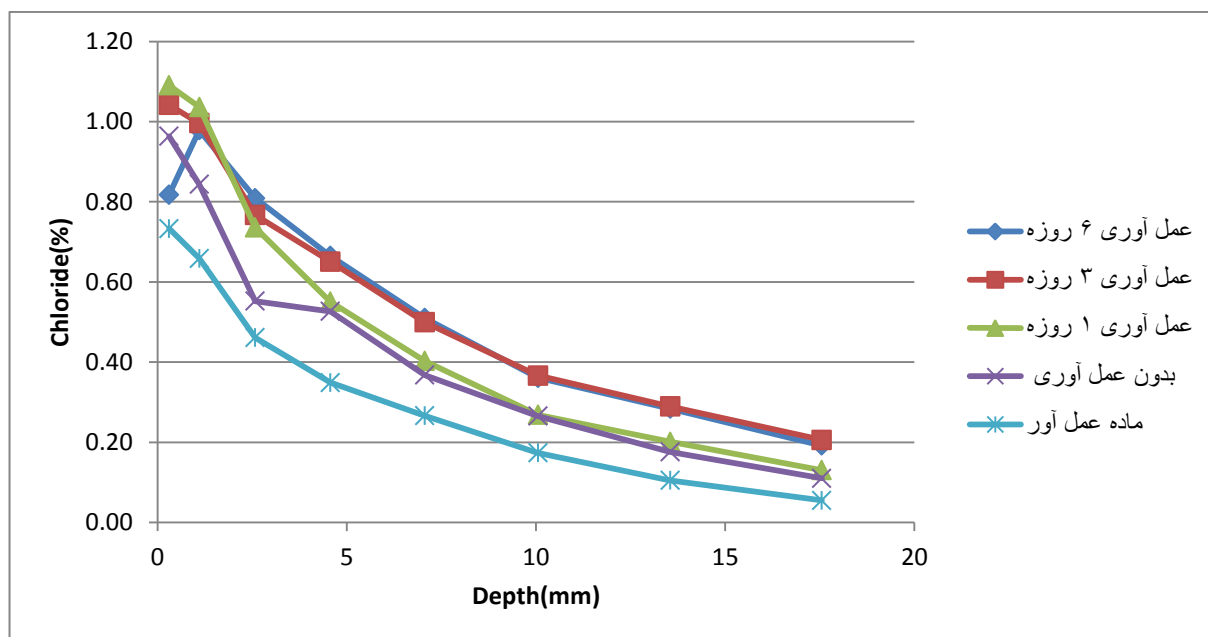
۳-۱ نتایج پروفیل نفوذ یون کلر

یکی از پدیده‌های جالب مشاهده شده در نتایج بلندمدت این است که هرچه زمان عمل‌آوری بیشتر شده میزان نفوذ یون کلر در بتن نیز بیشتر شده است که این امر به وضوح در نمودار شکل ۱ نمایان است. عمل‌آوری تأثیر بسزایی در آهنگ نفوذ یون کلر در سنین اولیه قرارگیری در محیط دارد ولی در سنین بعدی این تأثیر کاهش می‌یابد. این مسئله می‌تواند به علت آن باشد که عمل‌آوری در لایه‌های سطحی بتن موثر است و نفوذ در سنین اولیه که داخل این محدوده است متأثر از عمل‌آوری خواهد شد، ولی پس از آن که نفوذ به لایه‌های داخلی می‌رسد، تأثیر عمل‌آوری ناچیز است. از دلایل نفوذ بیشتر کلراید در بتن در هنگام بیشتر شدن زمان عمل‌آوری می‌توان به این موضوع اشاره کرد که در نمونه‌های با عمل‌آوری طولانی مدت‌تر با آب، رطوبت نسبی بتن (RH) در لایه‌های درونی‌تر از سطح نمونه بیشتر می‌شود که از آنجایی که یون کلراید توسط این رطوبت حفره‌ای به داخل بتن نفوذ می‌کند، این پدیده باعث بیشتر شدن نفوذ یون کلر در نمونه می‌شود. نتایج بدست‌آمده در این پروژه مطابق مشاهدات Oh و Jang (۲۰۰۷) می‌باشد [۸]. همچنین نتایج بدست‌آمده نشان‌دهنده کاهش ضریب انتشارپذیری با کاهش مدت‌زمان عمل‌آوری است که دلیل این موضوع را نیز می‌توان علت ذکر شده دانست. از طرف دیگر طبق مشاهدات Mangat و Khatib (۲۰۰۲)، عمل‌آوری در دمای زیاد باعث ایجاد منافذ حفره‌ای بیشتر و در نتیجه نفوذ کلر بیشتر می‌شود [۹]. پس در نتیجه با توجه به شرایط دمایی و رطوبت خلیج‌فارس می‌توان اینطور برداشت کرد که در مجموع در این ناحیه عمل‌آوری بلندمدت تأثیر مثبتی ندارد و همچنین استفاده از ماده عمل‌آور مناسب می‌باشد، هرچند که نظر قطعی را پس از مطالعات بیشتر می‌توان ارائه داد.

در ناحیه مستغرق بهترین عملکرد از لحاظ کاهش نفوذ یون کلر را نمونه حاوی ماده عمل آور و پس از آن نمونه بدون عمل آوری دارند و عمل آوری با آب، نفوذ یون کلر را بیشتر نموده است. همچنین پدیده ذکر شده در نمونه‌های ۵ ساله برای محیط جزرومد در شکل ۲ مشهود است.



شکل ۱: نمودار مقایسه مقدار پروفیل یون کلر در شرایط مستغرق برای نمونه‌های ۳ ساله فاقد میکروسیلیس با عمل آوری‌های مختلف

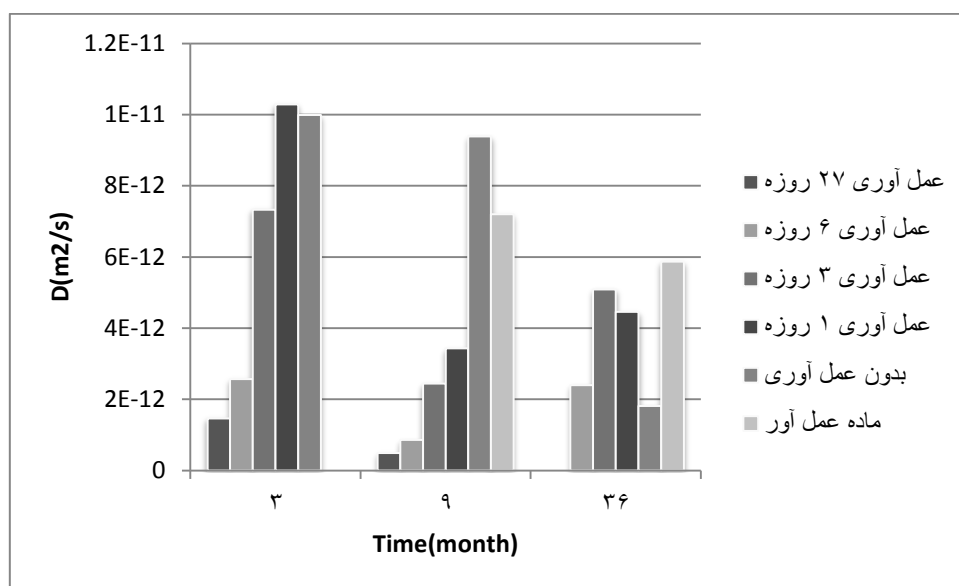


شکل ۲: نمودار مقایسه مقدار پروفیل یون کلر در شرایط جزرومد برای نمونه‌های ۵ ساله فاقد میکروسیلیس با عمل آوری‌های مختلف

۳-۲ نتایج ضریب انتشارپذیری

با بررسی نتایج به دست آمده در کوتاه‌مدت این طور برداشت می‌شود که به طور کلی روند کاهشی ضریب انتشارپذیری در بتن‌های فاقد میکروسیلیس در عمل آوری‌های بیش از ۳ روز در آب کمتر می‌شود. این موضوع می‌تواند به علت روند تکمیل شدن ریز

ساختار منافذ حفره‌ای در عمل‌آوری‌های بیشتر باشد. همان‌طور که در فصل سوم بیان شد آهنگ افزایش درجه هیدراتاسیون سیمان در طی زمان و در اثر افزایش مدت زمان عمل‌آوری، نزولی است. بدین معنی که اکثر واکنش‌های هیدراتاسیون در روزهای اول سن بتن اتفاق افتاده و پس از آن به علت مسدود شدن راه‌های ارتباطی حفره‌ای احتمال تکمیل واکنش‌های ناقص کمتر می‌شود. اگرچه در بلندمدت این‌طور برداشت می‌شود که نمونه بدون عمل‌آوری و با ماده عمل‌آور کاهش ضریب انتشارپذیری بیشتری را تجربه کرده است به طوری که در زمان مشابه برای نمونه‌های ۵ ساله کمترین مقدار D برای این دو نمونه می‌باشد که دلیل این پدیده را باید با مطالعات بیشتر بررسی کرد. در جدولی که در ادامه آورده شده است مبنای قضاوت داده‌های بلندمدت بوده است. مطابق شکل ۳ و جدول ۱ بهترین عملکرد را در مجموع عمل‌آوری میان مدت برای هر دو طرح اختلاط حاوی میکروسیلیس و فاقد میکروسیلیس داشته است و بدترین عملکرد در نمونه‌های با ماده عمل‌آور و عروزی عمل‌آوری بوده است.

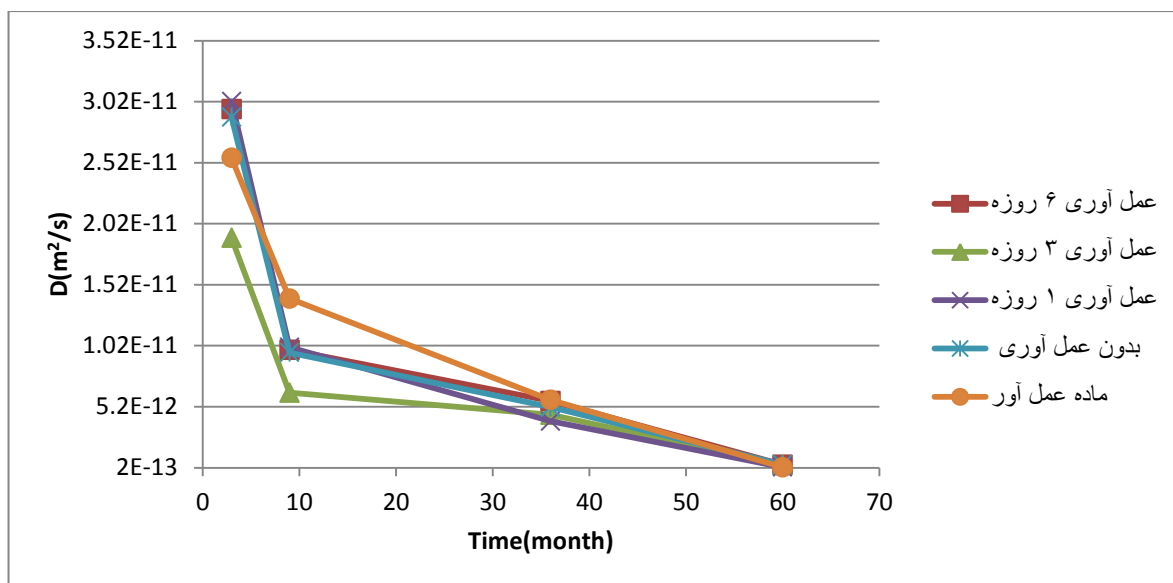


شکل ۳: نمودار مقدار ضریب انتشارپذیری در زمان‌های متفاوت برای بتن فاقد میکروسیلیس و با نسبت آب به سیمان ۰/۵ در محیط اتمسفر

جدول ۱ عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه اتمسفر

عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه اتمسفر در آزمون‌های حاوی میکروسیلیس		عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه اتمسفر در آزمون‌های بدون میکروسیلیس		
۱ روز با آب	۳ روز با آب	۶ روز با آب	بدون عمل‌آوری	بهترین عملکرد
-	۶ روز با آب	۳ روز با آب	ماده عمل‌آور	بدترین عملکرد

در ناحیه جزرومد، برای هر دو طرح اختلاط حاوی میکروسیلیس و فاقد میکروسیلیس بهترین عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری مربوط به نمونه‌های بدون عمل‌آوری است و ضعیف‌ترین عملکرد برای نمونه‌های ۶ روز عمل‌آوری می‌باشد که علت این پدیده پیش‌تر نیز ذکر شد (جدول ۲) (شکل ۴).



شکل ۴: نمودار مقدار ضریب انتشارپذیری در زمان‌های متفاوت برای بتن فاقد میکروسیلیس و با نسبت آب به سیمان ۰/۵ در محیط جزرومد

جدول ۲: عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه جزرومد

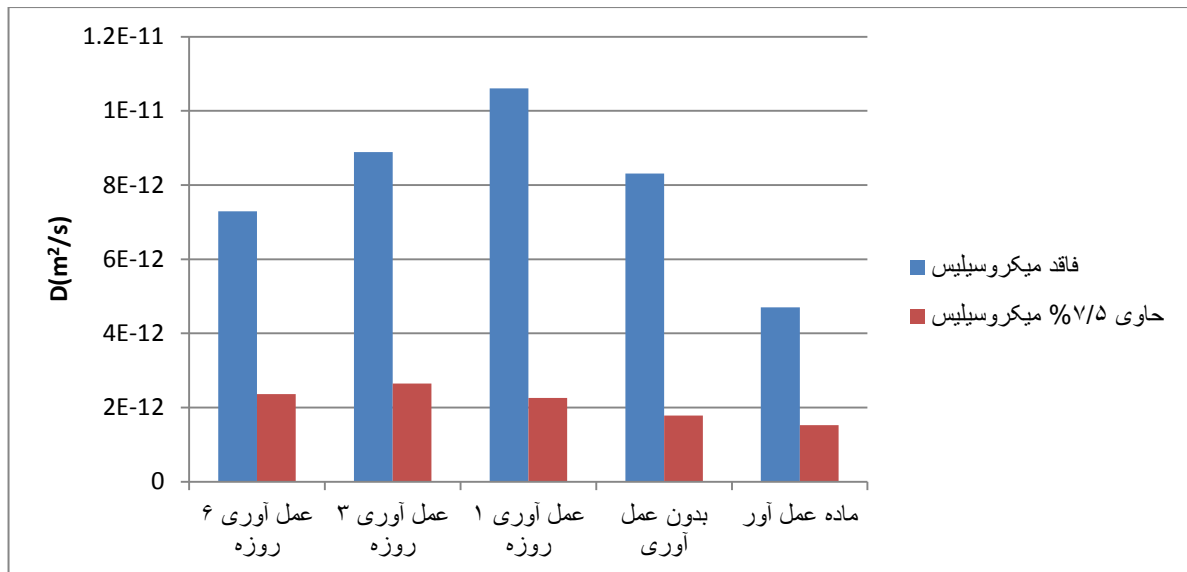
عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه جزرومد در آزمون‌های حاوی میکروسیلیس		عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه جزرومد در آزمون‌های بدون میکروسیلیس		
۱ روز با آب	بدون عمل آوری	۱ روز با آب	بدون عمل آوری	بهترین عملکرد
ماده عمل آور	۶ روز با آب	ماده عمل آور	۶ روز با آب	بدترین عملکرد

مطابق جدول ۳، در ناحیه مستغرق برای هر دو طرح اختلاط حاوی میکروسیلیس و فاقد میکروسیلیس بهترین عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری برای نمونه‌های با ماده عمل آور و بدون عمل آوری است و ضعیف‌ترین عملکرد برای نمونه‌های با عمل آوری میان‌مدت می‌باشد.

جدول ۳: عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه مستغرق

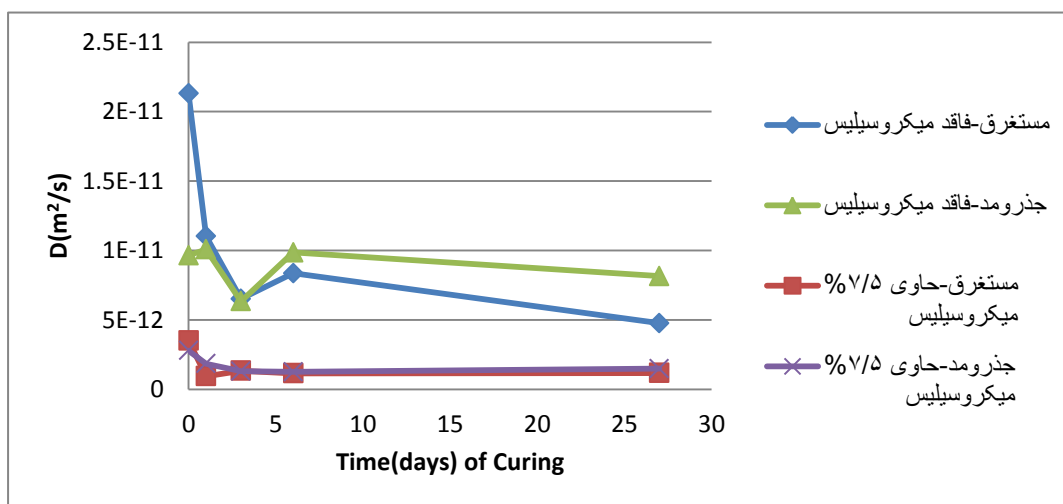
عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه مستغرق در آزمون‌های حاوی میکروسیلیس		عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه مستغرق در آزمون‌های بدون میکروسیلیس		
ماده عمل آور	بدون عمل آوری	بدون عمل آوری	ماده عمل آور	بهترین عملکرد
۶روز با آب	۳روز با آب	۱روز با آب	۳روز با آب	بدترین عملکرد

از دیگر نتایج بلندمدت بدست‌آمده در این بخش می‌توان به این اشاره کرد که طبق نتایج بدست‌آمده در سایر بخش‌ها، در تمامی نمونه‌ها، افزودن میکروسیلیس ضریب انتشارپذیری را کاهش داده است. برای نمونه نمودار آزمون‌های ۳ساله ناحیه مستغرق ارائه شده است. (شکل ۵)

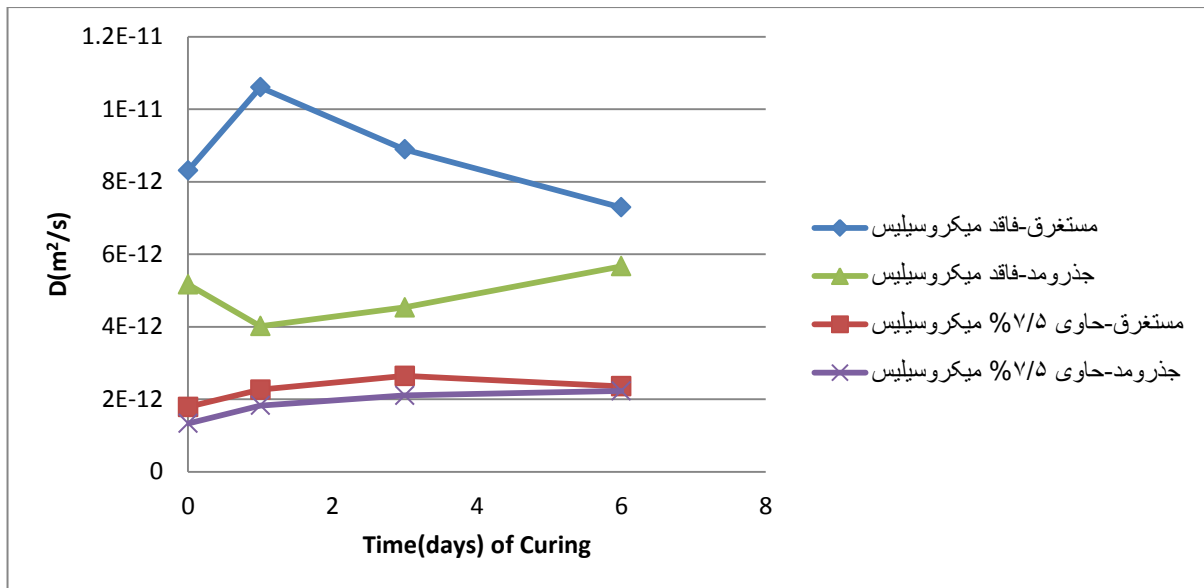


شکل ۵: نمودار مقایسه مقدار ضریب انتشارپذیری در شرایط مستغرق برای نمونه‌های ۳ ساله حاوی میکروسیلیس و فاقد آن با عمل‌آوری‌های مختلف

همچنین در نمودارهای شکل ۶ و ۷ که به ترتیب برای نمونه‌های ۹ ماهه و ۳ ساله رسم شده است می‌توان رفتار مقدار ضریب انتشارپذیری در زمان‌های متفاوت عمل‌آوری را در دو محیط جزرومد و مستغرق مشاهده کرد که همان طور که مشخص است در نمونه‌های حاوی میکروسیلیس مقدار ضریب انتشارپذیری در هر دو محیط جزرومد و مستغرق تقریباً یکسان است و این در حالی است که نتایج حاصل از نمونه‌های فاقد میکروسیلیس موید این مطلب هستند که در بلندمدت محیط مستغرق محیط حادثری از نظر نفوذ یون کلر به داخل بتن است. باید متذکر شد که طبق نتایج به دست آمده، با بررسی نمودارهایی که در آن‌ها نتایج ضریب انتشارپذیری بین حالات حاوی و فاقد میکروسیلیس مقایسه شده است می‌توان مشاهده کرد که جایگزین کردن سیمان با ۷/۵ درصد دوده سیلیس تا ۷۰ درصد در کاهش ضریب انتشار پذیری یون کلر در بتن موثر بوده است. این نسبت در حالت‌های عمل‌آوری کوتاه‌تر، بیشتر می‌شود.



شکل ۶: نمودار مقایسه مقدار ضریب انتشارپذیری در شرایط مستغرق و جزرومد برای نمونه‌های ۹ ماهه حاوی ۷/۵ درصد میکروسیلیس و فاقد میکروسیلیس در زمان‌های عمل‌آوری مختلف



شکل ۷: نمودار مقایسه مقدار ضریب انتشارپذیری در شرایط مستغرق و جزرومد برای نمونه‌های ۳ساله حاوی ۷/۵ درصد میکروسیلیس و فاقد میکروسیلیس در زمان‌های عمل‌آوری مختلف

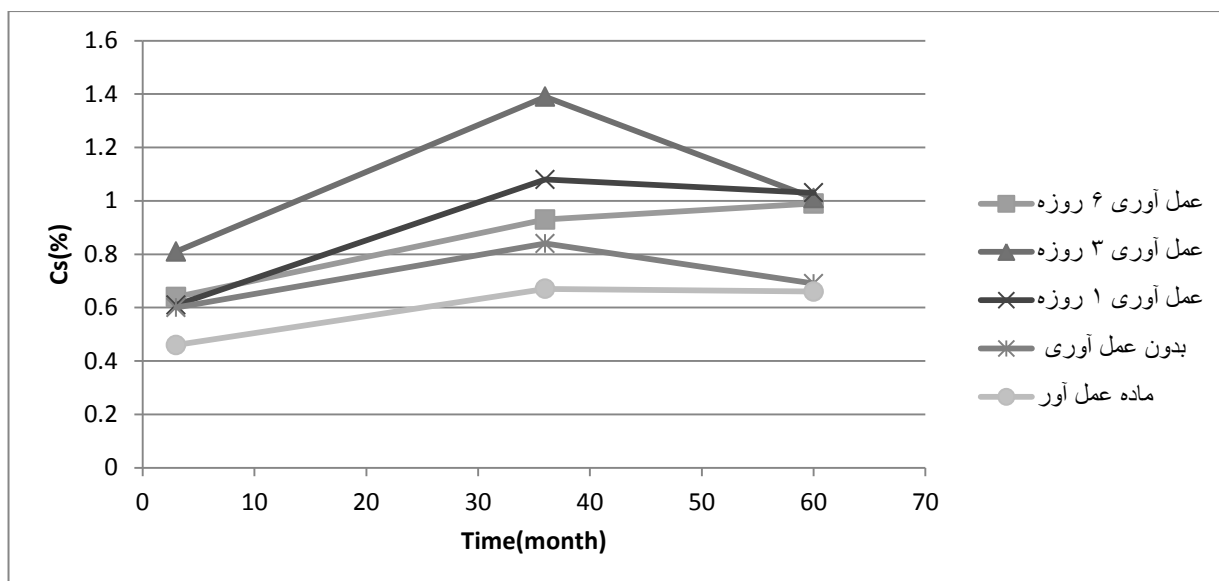
۳-۳- نتایج مقدار کلر سطحی

در بررسی مقدار کلر سطحی، بهترین و بدترین عملکرد به ترتیب به کمترین و بیشترین مقدار کلر سطحی نسبت داده شده است. مطابق جدول ۴ در ناحیه اتمسفر از نظر میزان کلر سطحی، عمل‌آوری ۳ روزه دارای بهترین عملکرد و نمونه‌های بدون عمل‌آوری دارای ضعیف‌ترین رفتار بوده‌اند.

جدول ۴: عملکرد از نظر مقدار کلر سطحی در ناحیه اتمسفر

عملکرد از نظر مقدار کلر سطحی در ناحیه اتمسفر در آزمایش‌های حاوی میکروسیلیس		عملکرد از نظر مقدار کلر سطحی در ناحیه اتمسفر در آزمایش‌های بدون میکروسیلیس		
۲۷ روز با آب	۳ روز با آب	۱ روز با آب	۳ روز با آب	بهترین عملکرد
بدون عمل‌آوری	۱ روز با آب	بدون عمل‌آوری	ماده عمل‌آور	بدترین عملکرد

مطابق شکل ۸ و جدول ۵، در ناحیه جزر و مد، برای هر دو طرح اختلاط حاوی میکروسیلیس و فاقد میکروسیلیس بهترین عملکرد از نظر میزان کلر سطحی برای نمونه‌های بدون عمل‌آوری و با ماده عمل است و ضعیف‌ترین عملکرد برای نمونه‌های با عمل‌آوری میان مدت ۳ روزه و ۶ روزه می‌باشد.

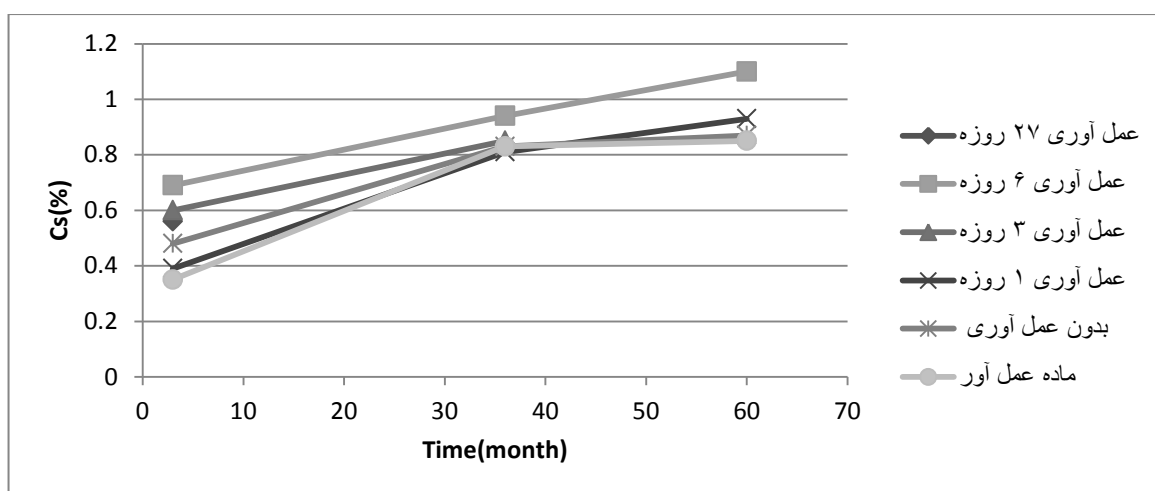


شکل ۸: نمودار مقدار کالر سطحی در زمان‌های متفاوت برای بتن فاقد میکروسیلیس و دارای نسبت آب به سیمان ۰/۵ در محیط جزرومد

جدول ۵: عملکرد از نظر مقدار کالر سطحی در ناحیه جزرومد

عملکرد از نظر مقدار کالر سطحی در ناحیه جزرومد در آزمون‌های حاوی میکروسیلیس		عملکرد از نظر مقدار کالر سطحی در ناحیه جزرومد در آزمون‌های بدون میکروسیلیس		
بدون عمل آوری	ماده عمل آور	بدون عمل آوری	ماده عمل آور	بهترین عملکرد
۱ روز با آب	۳ روز با آب	۶ روز با آب	۳ روز با آب	بدترین عملکرد

همچنین در ناحیه مستغرق، برای هر دو طرح اختلاط حاوی میکروسیلیس و فاقد میکروسیلیس بهترین عملکرد از نظر میزان کالر سطحی برای نمونه‌های با ماده عمل آور و بدون عمل آوری است و ضعیف‌ترین عملکرد برای نمونه‌های با عمل آوری بلندمدت ۲۷ روزه و میان‌مدت ۶ روزه می‌باشد (جدول ۶) (شکل ۹).

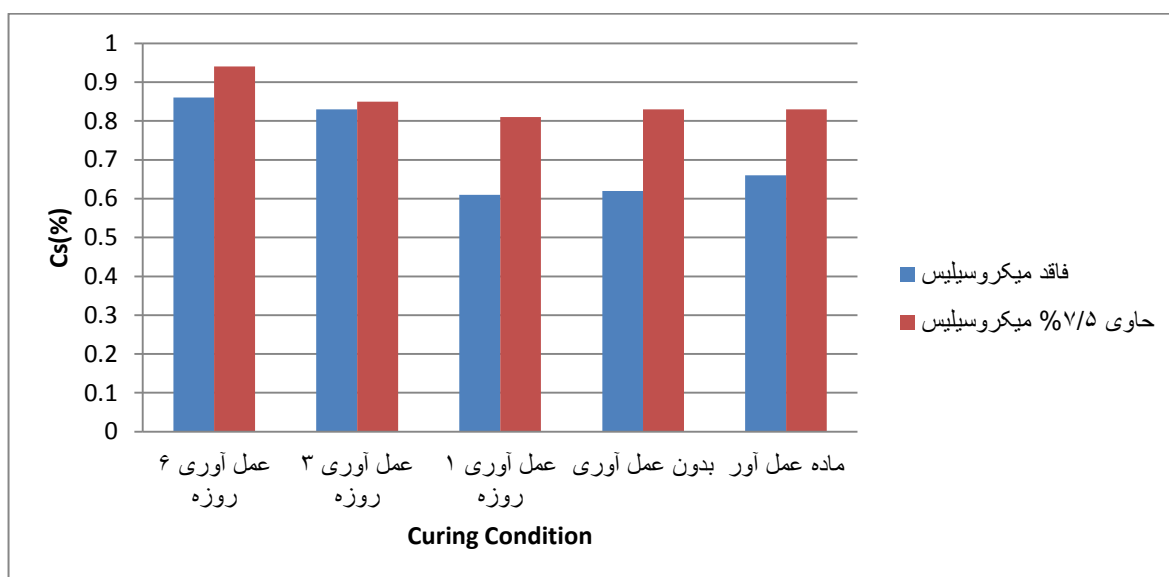


شکل ۹: نمودار مقدار کالر سطحی در زمان‌های متفاوت برای بتن حاوی ۷/۵ درصد میکروسیلیس و با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۵ در محیط مستغرق

جدول ۶: عملکرد از نظر مقدار کلر سطحی در ناحیه مستغرق

عملکرد از نظر مقدار کلر سطحی در ناحیه مستغرق در آزمون‌های حاوی میکروسیلیس		عملکرد از نظر مقدار کلر سطحی در ناحیه مستغرق در آزمون‌های بدون میکروسیلیس		
بدون عمل‌آوری	ماده عمل‌آور	ماده عمل‌آور	۱ روز با آب	بهترین عملکرد
۳ روز با آب	۶ روز با آب	۶ روز با آب	۲۷ روز با آب	بدترین عملکرد

همچنین همان‌طور که از شکل ۱۰ برای نمونه‌های مستغرق ۳ ساله پیداست، افزودن میکروسیلیس باعث افزایش میزان کلر سطحی شده است. این پدیده در سایر نمونه‌ها نیز به چشم می‌خورد که علت این امر را می‌توان در این جست که با افزودن میکروسیلیس، ریز ساختار بتن بهبود یافته و یون کلر به سختی می‌تواند در بتن نفوذ کند و این امر باعث انباشت این یون در پوسته بتن می‌شود. همچنین گفته شد که مقدار CS در اثر افزایش مدت زمان عمل‌آوری در بتن‌های حاوی دوده سیلیس بیشتر می‌شود که می‌تواند به همین علت باشد و شاید نشان‌دهنده تأثیر بهتر افزایش مدت زمان عمل‌آوری برای این‌گونه بتن‌ها باشد. اما در بتن‌های فاقد میکروسیلیس تغییرات CS نامنظم و عموماً کاهشی است.



شکل ۱۰: نمودار مقایسه مقدار کلر سطحی در شرایط مستغرق برای نمونه‌های ۳ ساله حاوی میکروسیلیس و فاقد آن با عمل‌آوری‌های مختلف

۴- نتیجه‌گیری

۱- به‌طور کلی در ناحیه جزرومد، عمل‌آوری بتن در کوتاه‌مدت در حدود ۱۰ درصد از مقدار ضریب انتشارپذیری می‌کاهد. این در حالی است که با توجه به نتایج نفوذ یون کلر بدست‌آمده در بلندمدت در هر سه ناحیه اتمسفر، جزرومد و مستغرق اثر مثبت عمل‌آوری در نتایج دیده نمی‌شود. با این وجود باید به این نکته مهم توجه داشت که اهمیت عمل‌آوری در سازه‌های بتنی در کنترل ترک‌های پلاستیک و جلوگیری از نفوذ تسریع‌شده یون کلراید از طریق این ترک‌ها می‌باشد.

۲-افزودن میکروسیلیس باعث افزایش میزان کلر سطحی می‌شود. این پدیده در همه نمونه‌ها به چشم می‌خورد که علت این امر را می‌توان در این جست که با افزودن میکروسیلیس، ریز ساختار بتن بهبود یافته و یون کلر به سختی می‌تواند در بتن نفوذ کند و این امر باعث انباشت این یون در پوسته بتن می‌شود.

۳-در ناحیه مستغرق، برای هر دو طرح اختلاط حاوی میکروسیلیس و فاقد میکروسیلیس بهترین عملکرد از نظر میزان کلر سطحی برای نمونه‌های با ماده عمل‌آوری و بدون عمل‌آوری است و ضعیف‌ترین عملکرد برای نمونه‌های با عمل‌آوری بلندمدت ۲۷ روزه و میان‌مدت ۶ روزه می‌باشد.

۴- در ناحیه جزر و مد، برای هر دو طرح اختلاط حاوی میکروسیلیس و فاقد میکروسیلیس بهترین عملکرد از نظر میزان کلر سطحی برای نمونه‌های بدون عمل‌آوری و با ماده عمل‌آوری است و ضعیف‌ترین عملکرد برای نمونه‌های با عمل‌آوری میان‌مدت ۳ روزه و ۶ روزه می‌باشد.

۵-مراجع

[1]. Ghalibafian M., Ghods P., Alizadeh R., Chini M., Hoseini M., Montazer Sh., Effect of Curing Conditions on the Diffusion of Chloride Ion into Concrete in Persian Gulf Region and Implications on Service Life Prediction, CONSEC'04, Korea, 2004.

[2]- Taheri-Motlagh A., Durability of Reinforced Concrete Structures in Aggressive Marine Environment, PhD thesis, IHE Delft, 1998.

[3]- ACI 308-92, Standard Practice for Curing Concrete, Reapproved 1997, American Concrete Institute.

[۴] آیین‌نامه بتن ایران (آبا)، بخش اول، نشریه شماره ۱۲۰، معاونت امور فنی دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، انتشارات سازمان برنامه و بودجه، چاپ سوم، ۱۳۷۶.

[5]. ACI 211.1R, Guide for Selecting Proportions for Trial Mixture of Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.

[6]. ASTM C33-99a, Standard Specification for Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02.

[7]. NordTest NT Build 443, "Concrete, Hardened: Accelerated Chloride Penetration," ESPOO, Finland, 1995.

[8]. Oh H.B., Jang. Y.S., Effects of material and environmental parameters on chloride penetration profiles in concrete structures, Cement and Concrete Research 37, 2007, pp. 47-53.

[9]. Khatib J.M., Mangat P.S., Influence of High Temperature and Low-Humidity Curing on Chloride Penetration in Blended Cement Concrete, Cement and Concrete Research 32, 2002, pp. 1743-1753.