

اثرات درازمدت پوشش سطحی 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 موادی که از آن در سازه‌های بتن‌آرمه‌ای که در این شرایط خورنده ساخته می‌شوند استفاده می‌شود پوشش‌های سطحی‌اند. در این تحقیق عملکرد شش نوع پوشش سطحی پر کاربرد در محیط‌های دریایی بررسی می‌شود که این پوشش‌ها عبارت‌اند از: سیمانی اصلاح‌شده با پلیمر آکریلیکی (دو نوع تجاری)، اپوکسی پلی اورتان، آلیفاتیک آکریلیک، سیمانی و استایرن آکریلیک. نمونه‌های بتنی پوشش داده‌شده با مواد ذکر شده به مدت هفت سال در شرایط رویارویی گوناگون در محیط خلیج فارس قرار داده شده‌اند. شرایط رویارویی شامل اتمسفر، مدفون در خاک، 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 پوشش آلیفاتیک آکریلیک عملکرد مناسبی از نظر مقاومت ذکر شده در اکثر شرایط رویارویی و در زمان‌های متفاوت از خود نشان داده است.

سطح بتن به عنوان خط مقدم دفاع در برابر نفوذ عناصر مخرب محسوب می‌شود. بنابراین بر اساس این نظریه، آسیب‌دیدگی سازه‌ها ناشی از عوامل محیطی، کاملاً به عملکرد و کیفیت لایه سطحی بتن در مقابل نفوذ عناصر مخرب بستگی دارد. ساختار لایه سطح بتن (حدود ۵۰ میلی‌متر) با دیگر نقاط بتن، مخصوصاً مغزه بتن، کاملاً تفاوت دارد و مقدار و اندازه تخلخل‌ها در این قسمت، بیشتر از مغزه بتن می‌باشد. بنابراین لایه سطحی بتن آمادگی بیشتری برای نفوذ عوامل مخرب دارد. پوشش‌های سطحی بتن، به عنوان خط مقدم دفاع، نرخ نفوذ آب به داخل بتن را محدود می‌کنند و بنابراین، پایایی درازمدت بتن‌های مسلح را به وسیله کاهش نفوذ یون کلر، بهبود می‌بخشند. آنچه در این بین جای سؤال است این است که این پوشش‌ها وقتی در معرض شرایط محیطی مختلف قرار می‌گیرند، چقدر موثر هستند. در این تحقیق، ۶ نوع مختلف پوشش سطحی متداول در نواحی جنوب کشور، با پایه‌های: سیمانی، سیمانی اصلاح‌شده با پلیمر (۲ نوع تجاری)، پلی اورتان، آکرلیک استایرن، آلیفاتیک آکرلیک، قیر و قیرولاستیک انتخاب شده و تأثیر آن‌ها بر روی ضریب انتشار پذیری و مقدار کلر سطحی بتن بررسی شده است. همچنین آزمون‌ها در چهار ناحیه روبروئی اتمسفر، خاک، جزر و مد و مغروق قرار گرفتند. در این تحقیق، از ۸ نوع پوشش سطحی انتخاب شده، ۴ نوع در هر چهار شرایط روبرویی اشاره شده و ۲ نوع دیگر هر کدام در ۲ شرایط روبرویی قرار داده شدند. همچنین تمام پوشش‌ها بر روی بتن‌هایی با طرح اختلاط یکسان با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و بدون میکروسلیس اعمال شدند که بدین ترتیب با در نظر گرفتن آزمون بدون پوشش به عنوان شاهد، جمعاً ۲۵ آزمون منشوری ساخته شد. البته باید توجه داشت که انتخاب نسبت آب به سیمان زیاد برای نمونه‌های پوشش دار به علت مقایسه عملکرد پوشش‌ها در مقایسه با نتایج نسبت آب به سیمان‌های کم می‌باشد و اینکه این پوشش‌ها به چه اندازه در کاهش نفوذ یون کلر به داخل بتن‌های باکیفیت ضعیف و افزایش زمان شروع مرحله خوردگی آن‌ها موثر هستند.

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% 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 روبروئی تمهیدات لازم برای روبروئی 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 روبروئی اتمسفر نیز سکویی ساخته شد تا آزمون‌ها بر روی آن قرار گیرند و زیر آزمون‌ها هم از نوارهای چوبی برای 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 رویارویی توسط آره 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 میلی‌متر در مساحت‌های قابل تنظیم در سطوح دایروی از آزمون‌ها تهیه می‌شود. جنس این مته از آلیاژ 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:

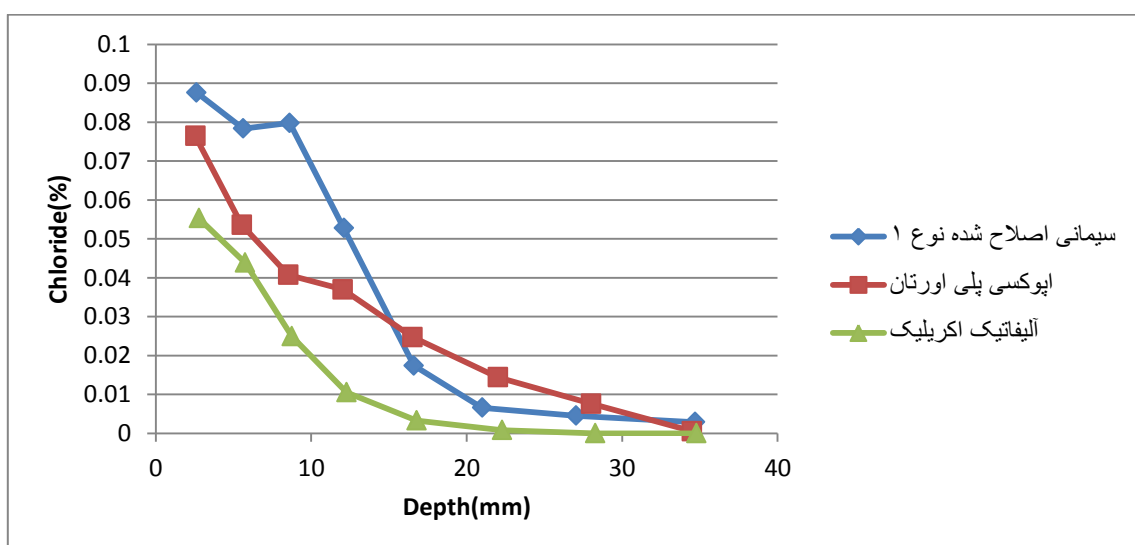
$$C(x, t) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_c t}} \right) \right] \quad (2-2)$$

که در آن x فاصله از سطح بتن بر حسب متر، t مدت زمان رویارویی 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

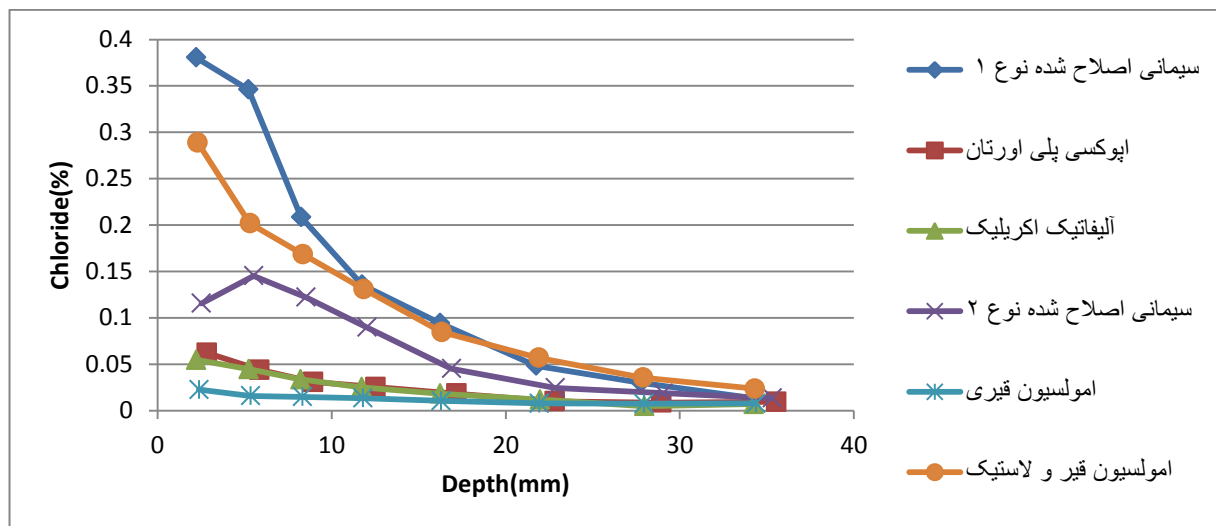
۳-۱ نتایج پروفیل نفوذ یون کلر

همانطور که گفته شد نمونه‌های ساخته‌شده در این بخش در ۴ ناحیه رویارویی قرار داده شده‌اند که در ادامه به بررسی پروفیل نفوذ یون کلر در آن‌ها پرداخته می‌شود. شکل ۱ پروفیل نفوذ یون کلر را برای آزمون‌های ناحیه اتمسفر نشان می‌دهند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در این ناحیه و در مدت ۷ سال بهترین عملکرد از نظر نفوذ یون کلر به داخل بتن را پوشش آلیفاتیک آکرلیک داشته است. ادامه و در بخش ضریب انتشار پذیری خواهیم دید که این پوشش از نظر کاهش ضریب انتشار پذیری نیز بهترین عملکرد را داشته است.

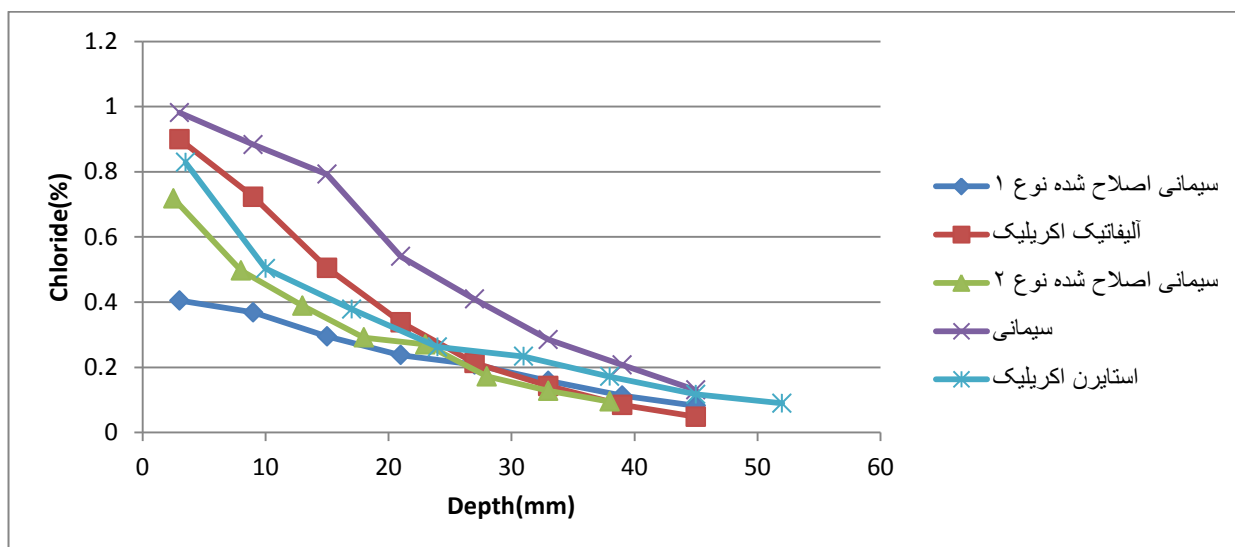


شکل ۱: پروفیل نفوذ یون کلر در بتن فاقد میکروسیلیس و W/C برابر با ۰/۵ با پوشش‌های متفاوت در ناحیه اتمسفر در طی مدت ۷ سال

در شکل ۲ پروفیل نفوذ یون کلر در آزمون‌های مختلف مدفون در خاک پس از مدت ۷ سال، آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این ناحیه بهترین عملکرد را پوشش‌های امولسیون قیری، آلیفاتیک اکریلیک و اپوکسی پلی اورتان داشته‌اند. پروفیل یون کلر در زمان ۵ سال در آزمون‌های مستقر در ناحیه جزر و مد در نمودار شکل ۳ ترسیم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این ناحیه، در اغلب آزمون‌ها مقدار نفوذ و نیز غلظت یون کلر نسبتاً زیاد است که این امر، نشان‌دهنده شرایط حاد این ناحیه است. در این ناحیه نیز روی هم‌رفته بهترین عملکرد مربوط به پوشش آلیفاتیک اکریلیک است.

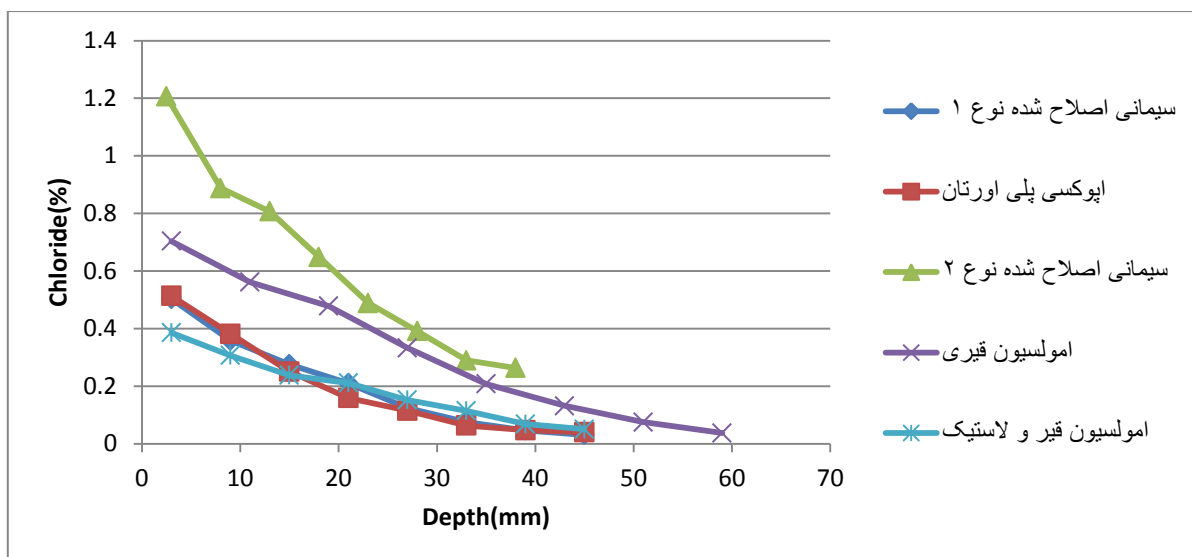


شکل ۲: پروفیل نفوذ یون کلر در بتن فاقد میکروسیلیس و W/C برابر با ۰/۵ با پوشش‌های متفاوت در ناحیه خاک در طی مدت ۷ سال



شکل ۳: پروفیل نفوذ یون کلر در بتن فاقد میکروسیلیس و دارای W/C برابر با ۰/۵ با پوشش‌های متفاوت در ناحیه جزر و مد در طی مدت ۵ سال

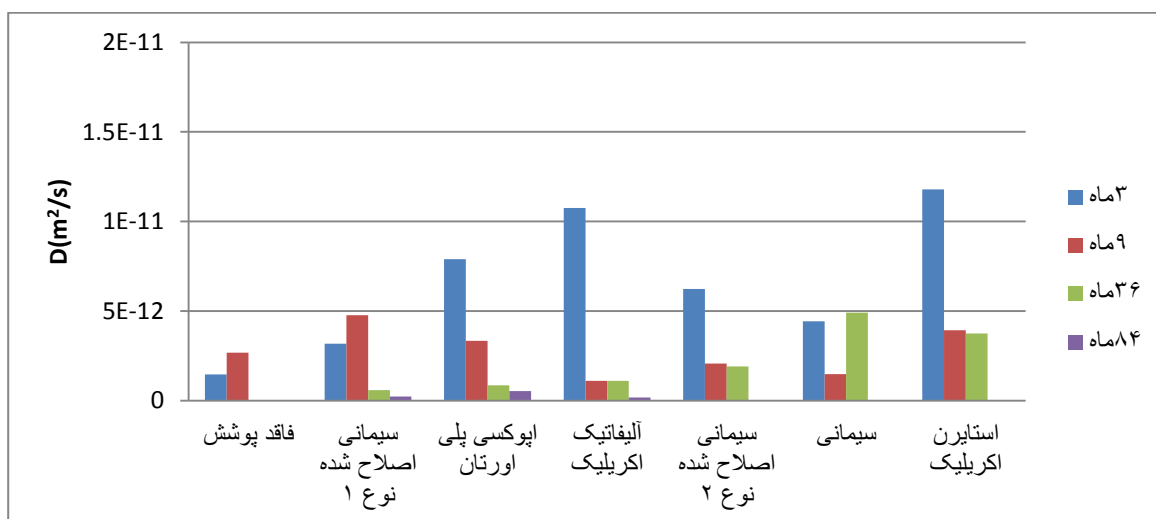
پروفیل یون کلر آزمون‌های مستقر در ناحیه مستغرق در نمودارهای شکل ۴ ترسیم شده است. به طوری که مشاهده می‌شود، در این ناحیه هم در مدت ۵ سال، کلر توانسته به داخل بتن کاملاً نفوذ کند. هرچند که پوشش اپوکسی پلی اورتان و امولسیون قیر و لاستیک به نسبت سایر پوشش‌ها عملکرد بهتری داشته‌اند.



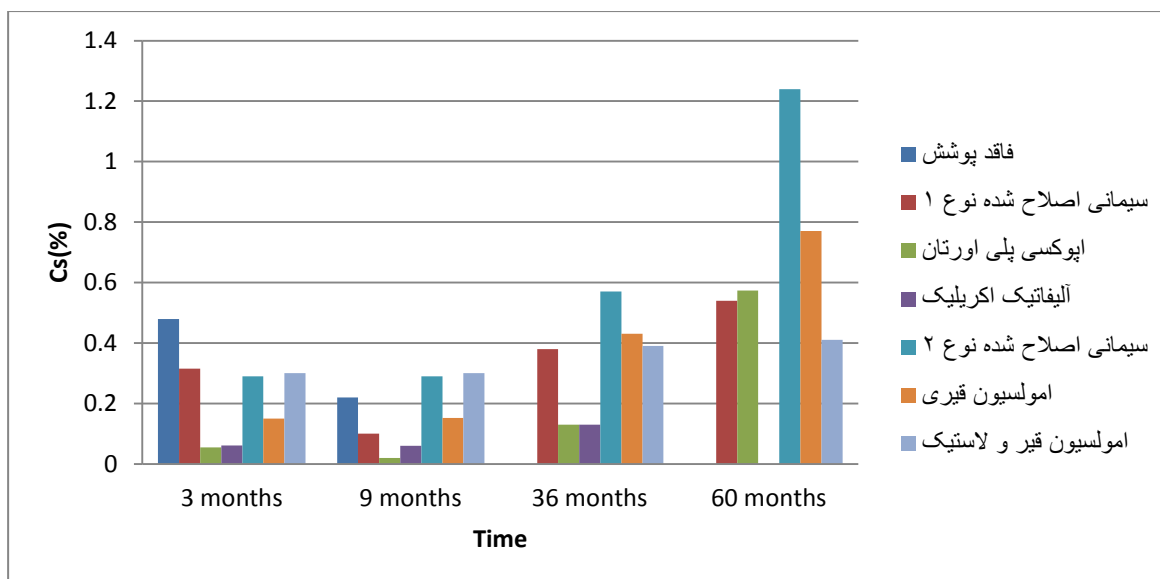
شکل ۴: پروفیل نفوذ یون کلر در بتن با پوشش‌های متفاوت در ناحیه مستغرق در طی مدت ۵ سال

۲-۳ نتایج ضریب انتشارپذیری و مقدار کلر سطحی

در این بخش قضاوت درباره عملکرد پوشش‌ها بر اساس جلوگیری از نفوذ یون کلر و کاهش ضریب انتشارپذیری و میزان کلر سطحی و با استفاده از تمام نتایج ۳ ماهه، ۹ ماهه، ۳ ساله، ۵ ساله و ۷ ساله صورت گرفته است. به منظور حفظ اختصار تنها دو نمونه از نتایج به دست آمده برای مقدار ضریب انتشارپذیری و میزان کلر سطحی آورده شده است و پس از آن نتایج نهایی مربوط به کل نمودارها در جداول مربوط به هر ناحیه رویارویی آورده شده است. شکل ۵ مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه اتمسفر برای تمامی پوشش‌ها و در طی زمان را نشان می‌دهد و شکل ۶ میزان کلر سطحی را برای ناحیه مستغرق در طی زمان و برای تمامی پوشش‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۵: نمودار مقایسه مقدار ضریب انتشارپذیری در زمان‌های مختلف در ناحیه اتمسفر برای نمونه‌های فاقد میکروسیلیس با پوشش‌های سطحی مختلف



شکل ۶: نمودار مقایسه مقدار کلر سطحی در زمان‌های مختلف در شرایط مستغرق برای نمونه فاقد میکروسیلیس با پوشش‌های سطحی مختلف

به علت تعدد نمونه‌ها و نتایج به دست آمده در این بخش سعی بر گردآوری نتایج به صورت خلاصه شده است. همان طور که از جداول ۱ تا ۴ پیداست عملکرد پوشش‌ها از دو دیدگاه کاهش ضریب انتشارپذیری و همچنین کاهش میزان کلر سطحی مد نظر بوده است و بدترین (ضعیف‌ترین) عملکرد در زمان‌های متفاوت به تفکیک در این جداول آورده شده است. همان طور که مشهود است در ناحیه اتمسفر بهترین عملکرد در مجموع و به کمک قضاوت مهندسی مربوط به پوشش آلیفاتیک اکریلیک و سیمانی اصلاح‌شده با پلیمر است. در این ناحیه پوشش‌های سیمانی و اپوکسی پلی اورتان دارای ضعیف‌ترین عملکرد در هر دو بخش ضریب انتشارپذیری و میزان کلر سطحی هستند. همچنین مطابق جداول در ناحیه خاک بهترین عملکرد در بخش کاهش ضریب انتشارپذیری در مجموع و به کمک قضاوت مهندسی مربوط به پوشش سیمانی اصلاح‌شده با پلیمر اکریلیکی ۲ است. پوشش آلیفاتیک اکریلیک دارای عملکرد مطلوب از لحاظ میزان کلر سطحی است. در این بخش ضعیف‌ترین عملکرد مربوط به امولسیون قیری، امولسیون قیر و لاستیک و سیمانی اصلاح‌شده با پلیمر اکریلیکی ۱ می‌باشد که در هر دو بخش ضریب انتشارپذیری و کلر سطحی ضعیف عمل کرده‌اند.

مشابه به شرایط رویارویی اتمسفر، در ناحیه جزرومد نیز بهترین عملکرد مربوط به پوشش آلیفاتیک اکریلیک است. از دیدگاه کاهش ضریب انتشارپذیری در مجموع می‌توان استاتین اکریلیک را بدترین نوع پوشش دانست. از نظر میزان کلر سطحی پوشش سیمانی ضعیف‌ترین عملکرد را در شرایط جزرومد به خود اختصاص داده است. لازم به ذکر است که پوشش آزمون دارای پوشش استاتین اکریلیک و پایه سیمانی طی رویارویی بلندمدت، دچار تخریب شده بود. این پوشش در حقیقت تشکیل یک فیلم نازکی روی سطح بتن می‌دهند و بیشتر جنبه تزئینی دارد. از دلایلی که به نظر می‌رسد در تخریب این پوشش سهم عمده‌ای داشته‌اند می‌توان به تابش آفتاب و گرمای زیاد، تر و خشک شدن متوالی و ضربه امواج اشاره کرد. همچنین لازم به یادآوری است که آزمون‌های منطقه جزر و مد دارای شدت بیشتری از این عوامل مانند تر و خشک شدن، تابش آفتاب و نیز جریان باد که می‌تواند باعث سریع‌تر خشک شدن سطح گردد، هستند. از روی نتایج ضریب انتشارپذیری و کلر سطحی، مشخص است که دو پوشش آلیفاتیک اکریلیک و اپوکسی پلی اورتان در ناحیه مستغرق به ترتیب عملکرد مطلوبی را در جلوگیری از نفوذ یون کلر با کاستن ضریب انتشارپذیری و همچنین کاهش میزان کلر سطحی داشته‌اند و توانسته‌اند مقدار نفوذ و غلظت یون کلر را به میزان قابل‌ملاحظه‌ای کاهش دهند. امولسیون قیری در بخش ضریب انتشارپذیری و سیمانی اصلاح‌شده با پلیمر اکریلیکی ۲ در کاهش کلر سطحی ضعیف‌ترین عملکردها را در این ناحیه دارا بودند.

جدول ۱: عملکرد پوشش‌های سطحی از نظر ضریب انتشارپذیری و کلر سطحی در زمان‌های متفاوت در ناحیه اتمسفر

عملکرد از نظر مقدار کلر سطحی در ناحیه اتمسفر				عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه اتمسفر				زمان
۷ سال	۳ سال	۹ ماه	۳ ماه	۷ سال	۳ سال	۹ ماه	۳ ماه	
آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی	آلیفاتیک اکریلیک	بدون پوشش	بهترین عملکرد
اپوکسی پلی اورتان	سیمانی	سیمانی	سیمانی	اپوکسی پلی اورتان	سیمانی	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی	استایرن اکریلیک	بدترین عملکرد

جدول ۲: عملکرد پوشش‌های سطحی از نظر ضریب انتشارپذیری و کلر سطحی در زمان‌های متفاوت در ناحیه خاک

عملکرد از نظر مقدار کلر سطحی در ناحیه خاک				عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه خاک				زمان
۷ سال	۳ سال	۹ ماه	۳ ماه	۷ سال	۳ سال	۹ ماه	۳ ماه	
آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	اپوکسی پلی اورتان	آلیفاتیک اکریلیک	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۲	امولسیون قیر و لاستیک	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۲	بدون پوشش	بهترین عملکرد
سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۱	امولسیون قیر و لاستیک	امولسیون قیر و لاستیک	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۱	امولسیون قیری	امولسیون قیری	اپوکسی پلی اورتان	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۱	بدترین عملکرد

جدول ۳: عملکرد پوشش‌های سطحی از نظر ضریب انتشارپذیری و کلر سطحی در زمان‌های متفاوت در ناحیه جزرومد

عملکرد از نظر مقدار کلر سطحی در ناحیه جزرومد				عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه جزرومد				زمان
۵ سال	۳ سال	۹ ماه	۳ ماه	۵ سال	۳ سال	۹ ماه	۳ ماه	
آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۲	آلیفاتیک اکریلیک	بهترین عملکرد
سیمانی	سیمانی	سیمانی	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۱	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۱	استایرن اکریلیک	اپوکسی پلی اورتان	سیمانی	بدترین عملکرد

جدول ۴: عملکرد پوشش‌های سطحی از نظر ضریب انتشارپذیری و کلر سطحی در زمان‌های متفاوت در ناحیه مستغرق

عملکرد از نظر مقدار کلر سطحی در ناحیه مستغرق				عملکرد از نظر مقدار ضریب انتشارپذیری در ناحیه مستغرق				زمان
۵ سال	۳ سال	۹ ماه	۳ ماه	۵ سال	۳ سال	۹ ماه	۳ ماه	
امولسیون قیر و لاستیک	اپوکسی پلی اورتان	اپوکسی پلی اورتان	اپوکسی پلی اورتان	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۲	آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	آلیفاتیک اکریلیک	بهترین عملکرد
سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۲	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۲	سیمانی اصلاح شده با پلیمر اکریلیکی ۲	بدون پوشش	امولسیون قیری	امولسیون قیری	اپوکسی پلی اورتان	امولسیون قیری	بدترین عملکرد

۴- نتیجه‌گیری

- ۱- در ناحیه اتمسفر و در مدت ۷ سال بهترین عملکرد از نظر نفوذ یون کلر به داخل بتن را پوشش آلیفاتیک اکریلیک داشته است.
- ۲- در ناحیه مدفون در خاک بهترین عملکرد را پوشش‌های امولسیون قیری، آلیفاتیک اکریلیک و اپوکسی پلی اورتان داشته‌اند.
- ۳- در ناحیه اتمسفر بهترین عملکرد از نظر ضریب انتشارپذیری و کلر سطحی در مجموع و به کمک قضاوت مهندسی مربوط به پوشش آلیفاتیک اکریلیک و سیمانی اصلاح شده با پلیمر است. در این ناحیه پوشش‌های سیمانی و اپوکسی پلی اورتان دارای ضعیف‌ترین عملکرد در هر دو بخش ضریب انتشارپذیری و میزان کلر سطحی هستند.
- ۴- در مجموع بهترین عملکرد از نظر مقاومت در برابر نفوذ یون کلراید مربوط به پوشش آلیفاتیک اکریلیک است.

۵- مراجع

- [1]. ACI 211.1R, Guide for Selecting Proportions for Trial Mixture of Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
- [2]. ASTM C33-99a, Standard Specification for Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02.
- [3]. NordTest NT Build 443, "Concrete, Hardened: Accelerated Chloride Penetration," ESPOO, Finland, 1995.