بررسی خوردگی در آزمونه‌های بتنی مسلح با نسبت آب به سیمان مختلف واقع در شرایط رویارویی پاشش در منطقه خلیج فارس

محمد شکرچی‌زاده *[۱]، مهدی ولی‌پور[۲] و فرهاد پرگر [۳]

[۱] دانشیار دانشکده مهندسی عمران و سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

[۲] کارشناس ارشد انستیتو مصالح ساختمانی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

[۳] دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه Delft هلند

چکیده

امروزه پدیده خوردگی در سازه‌های بتنی اجرا شده در مناطق جنوبی کشور یکی از معضلات مهم جامعه مهندسی کشور می‌باشد. پدیده خوردگی هر ساله هزینه‌های هنگفت مالی بر کشور تحمیل می‌کند. با این وجود، می‌توان با شناخت بهتر عوامل و دلایل آن در منطقه خلیج فارس، گام‌های مؤثرتری در راستای پیشگیری از خسارت‌های احتمالی و بهبود وضعیت موجود برداشت. در این تحقیق، با توجه به اینکه شرایط رویارویی پاشش یکی از مناطق حساس برای خوردگی آرماتور و در نتیجه تخریب بتن در محیط‌های دریایی می‌باشد، با ساخت آزمونه‌های بتنی مسلح با نسبت‌های آب به سیمان مختلف (۰/۳۵، ۰/۴۰، ۰/۴۵ و ۰/۵) واقع در این شرایط رویارویی در منطقه خلیج فارس (جزیره قشم)، وضعیت خوردگی آرماتور با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله جریان ماکروپیل، پتانسیل نیم پیل و نرخ خوردگی آرماتور در طول ۱۸ ماه بررسی شده است. بر اساس نتایج حاصله، کاهش نسبت آب به سیمان اثرات قابل‌ملاحظه‌ای بر کنترل خوردگی و تعویق زمان شروع خوردگی خواهد داشت. همچنین مقایسه روش‌های مورد استفاده برای بررسی خوردگی نشان از دقت مناسب آن‌ها برای تخمین شروع احتمالی خوردگی دارد.

واژگان کلیدی: پایایی بتن، خوردگی آرماتور، ناحیه پاشش، نسبت آب به سیمان، جریان ماکروپیل، پتانسیل نیم پیل، نرخ خوردگی.

۱- مقدمه

مهم‌ترین عامل بروز پدیده خوردگی در منطقه خلیج فارس مشکلات متعددی مانند طراحی نامناسب، ضعف در اجرا و شرایط محیطی خورنده با حداکثر مقدار دمای میانگین ۳۴/۶ درجه سانتیگراد و حداکثر رطوبت نسبی ۷۳ درصد می‌باشد. شیوع این پدیده عمر مفید سازه‌های بتنی اجرا شده در این منطقه را با چالش‌های جدی مواجه کرده است. در نتیجه این مشکلات اجرایی که حاصل آن بتن نامرغوب‌تر و نفوذپذیرتر است، نفوذ یون کلر توسط آب دریا یا خاک منطقه موجب تسریع زمان شروع خوردگی شده و در نهایت شاهد کاهش چشمگیر عمر مفید سازه‌ها در این منطقه می‌باشیم [۱-۴]. با این وجود، با توجه به گستردگی ابعاد این مشکل، مطالعات و تحقیقات جامع اندکی برای حل این معضل و ارائه راهکارهای عملی در این مورد انجام شده است. بدون تردید هزینه‌های زیاد در جهت بهبود عمر سازه‌های جدید به همان اندازه مورد نیاز می‌باشد که برای ضمانت سازه‌های موجود و تعمیر آن‌ها نیاز است.

در همین راستا و برای شناخت و درک بهتر وضعیت موجود و ارائه راهکارهای عملی و اجرایی برای حل مشکلات موجود، انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران پس از احداث اولین سایت دانشگاهی- تحقیقاتی کشور در زمینه پایایی بتن در بندرعباس در سال ۱۳۸۲، با پشتیبانی سازمان منطقه آزاد قشم دومین سایت تحقیقاتی- دانشگاهی پایایی بتن کشور را در سال ۱۳۸۶ در جزیره قشم احداث نموده است (شکل (۱)).

شکل ۱- سایت تحقیقاتی پایایی بتن در جزیره قشم

* نویسنده مسئول

دریافت ۹۰/۷/۱ پذیرش ۹۱/۲/۱۱

www.SID.ir
Archive of SID

در این تحقیق بلند مدت، روش‌هایی مانند جریان ماکروپیل، پتانسیل نیم‌پیل و اندازه‌گیری نرخ خوردگی برای بررسی وضعیت خوردگی آرماتورها در منطقه خلیج فارس مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقاله، نتایج بررسی وضعیت خوردگی آزمونه‌های بتن مسلح با نسبت آب به سیمان (۰/۳۵، ۰/۴، ۰/۴۵و ۰/۵) پس از ۱۸ ماه از ساخت آن‌ها در شرایط رویارویی پاشش ارائه شده است.

۲- بررسی خوردگی فولاد در بتن در اثر نفوذ یون کلر

خوردگی فولاد در بتن یکی از مهم‌ترین مسائلی است که در طول عمر سازه‌های بتنی مسلح وجود دارد. خوردگی شامل دو فرآیند است که عبارتند از فرآیند آندی، جایی که اکسید شدن رخ می‌دهد و فرآیند کاتدی جایی که احیا شدن اتفاق می‌افتد. همچنین برای خوردگی، هدایت کننده الکتریکی (میلگرد) و الکترولیت (رطوبت) لازم است. آند و کاتد در بتن آرمه می‌توانند در یک میلگرد یا در دو میلگرد مجزا باشند. رطوبت بتن یک مسیر الکترولیتی را برای انتقال الکترون از آند به کاتد فراهم می‌آورد. میلگرد هدایت‌کننده الکتریکی است که پیل خوردگی را تکمیل می‌کند. خوردگی فولاد مسلح کننده در محیط قلیایی بتن شامل واکنش‌های آندی و کاتدی است که منجر به ایجاد حالت مقاوم در میلگرد می‌شود. واکنش آندی شامل اکسید شدن آهن و تولید اکسید فریک یا اکسید فروس است و واکنش کاتدی شامل احیا شدن می‌باشد که در نتیجه آن یون هیدروکسیل تولید می‌شود [۵].

تاکنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی خوردگی آرماتور در بتن بکار برده شده‌اند. بسیاری از آن‌ها به تحقیقات آزمایشگاهی محدود شده و تنها تعداد کمی از آن‌ها در عمل قابل استفاده هستند. از جمله این روش‌ها روش جریان ماکروپیل، پتانسیل نیم‌پیل و روش اندازه‌گیری نرخ خوردگی است.

روش ماکروپیل برای اندازه‌گیری جریان بین دو میلگرد موجود در بتن بکار می‌رود. برای این منظور کافیست تا شرایط رویارویی را به نحوی برای آرماتورهای فولادی تغییر دهیم که بر اثر نفوذ یون کلر یا کربناتاسیون فعال شدن تنها در یک آرماتور رخ داده و سایر آرماتورها مقاوم باقی بمانند. این کار برای فولاد داخل بتن به آسانی قابل اجرا است. جریان ماکروپیل می‌تواند با استفاده از اندازه‌گیری ولتاژ بین دو آرماتور کاتد پایینی و یک آرماتور آند بالایی به راحتی اندازه‌گیری شده و سپس با استفاده از رابطه I=V/R مقدار جریان محاسبه شود. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که با افزایش مقدار جریان ماکروپیل به بیش از ۱۰μA خوردگی بر روی میلگرد قابل مشاهده خواهد بود. دو روش استاندارد انجام این آزمایش، روش آزمایشگاهی مرکز راه و ترابری آمریکا و روش ASTM G109 است. در تحقیق حاضر، روش اندازه‌گیری جریان ماکروپیل بر اساس استاندارد ASTM G109 است [۶].

در روش نیم‌پیل وقتی یک فلز در یک محلول غوطه‌ور می‌شود، در سطح بین مایع و جامد به دلیل توزیع غیر یکنواخت بار در فازهای مایع و جامد، اختلاف پتانسیل به وجود می‌آید. تعیین اختلاف پتانسیل ثابت در سطح بین میلگرد و بتن غیر ممکن می‌باشد. بنابراین لازم است که الکترود دیگری برای تکمیل مدار الکتریکی تعریف شود. پتانسیل اندازه‌گیری شده بین این دو الکترود پتانسیل پیلی نامیده می‌شود که مجموع پتانسیل دو نیم‌پیل است. در این آزمایش که طبق استاندارد ASTM C876 انجام می‌شود، اندازه‌گیری‌ها مستقل از اندازه المان بتن آرمه و ضخامت پوشش روی آرماتور می‌باشند و در هر زمان از عمر سازه قابل انجام هستند. در تحقیق حاضر، الکترود مورد استفاده برای اندازه‌گیری پتانسیل آرماتورها Ag/AgCl است. با توجه به مقدار پتانسیل اندازه‌گیری شده با استفاده از الکترود Ag/AgCl احتمالات زیر متصور است:

پتانسیل: با احتمال بیش از ۹۰ درصد هیچ خوردگی آرماتور در زمان آزمایش وجود ندارد. mV ۸۳- < پتانسیل

فعالیت خوردگی در آن ناحیه نامشخص است. : mV ۲۳۳- < پتانسیل < mV ۸۳-

پتانسیل: با احتمال بیش از ۹۰ درصد در آرماتور آن ناحیه در زمان آزمایش خوردگی وجود دارد. mV ۲۳۳- > پتانسیل

کاهش مقدار پتانسیل به مقادیر کمتر از ۲۳۳- میلی ولت می‌تواند به عنوان معیاری برای شروع خوردگی در سطح آرماتور به حساب آید [۷].

اندازه‌گیری نرخ خوردگی با استفاده از دستگاه گالواپالس نیز یک روش پلاریزاسیون سریع برای تعیین میزان خوردگی در آزمایشگاه و سازه‌های بتن آرمه به حساب می‌آید. این روش به خاطر مشکلات اندازه‌گیری پتانسیل نیم‌پیل در محیط‌های مرطوب و یا نیمه مرطوب به علت کمبود اکسیژن، تأثیر شرایط محیطی و همین‌طور سرعت زیاد آن در به دست آوردن میزان خوردگی آرماتور در بتن، توسعه یافته است [۸].

۳- ساخت آزمونه‌ها

برای انجام این تحقیق آزمونه‌های بتنی مسلح به ابعاد ۵۵×۳۰×۲۰ سانتی‌متر برای ارزیابی خوردگی آرماتور ساخته شده

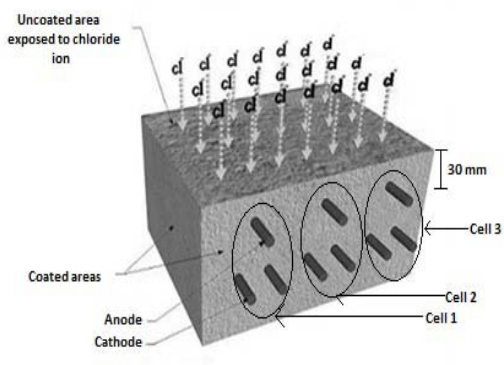
Archive of SID

www.SID.ir

است. در طرح اختلاط این آزمونه‌ها از سیمان پرتلند تیپ دو کارخانه سیمان هرمزگان استفاده شده است. جداول (۱) و (۲) به ترتیب نشان دهنده آنالیز شیمیایی سیمان و مشخصات طرح‌های اختلاط آزمونه‌های بتنی می‌باشند. در این آزمونه‌ها مجموع سنگ‌دانه‌ها به طور تقریبی ۱۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و بزرگترین اندازه سنگ‌دانه مورد استفاده ۱۹ میلی‌متر می‌باشد. همچنین در طرح اختلاط آزمونه‌ها از فوق روان کننده با پایه پلی‌کربکسیلاتی استفاده شده است. مدت زمان عمل‌آوری ۳ روز در شرایط محیطی منطقه بوده و ضخامت پوشش بتنی بر روی آرماتورها ۳ سانتی‌متر می‌باشد. دلیل انتخاب پوشش بتن به ضخامت ۳ سانتیمتر، سرعت بخشیدن به شروع خوردگی و مطالعه خوردگی در مدت زمان کوتاه می‌باشد. در نهایت، آزمونه‌های بتنی برای بررسی وضعیت خوردگی در طول مدت زمان در شرایط رویارویی پاششی در منطقه خلیج فارس (جزیره قشم) قرار داده شدند.

لازم به ذکر است که در آزمونه‌های بتنی مسلح این تحقیق به ازای سه میلگرد آند در بالا، شش میلگرد کاتد در پایین آزمونه وجود دارد. به طوری که هر آزمونه با در نظر گرفتن یک میلگرد آند در بالا و دو میلگرد کاتد در پایین در مجموع تشکیل سه سیستم ماکروپیل را می‌دهد. بنابراین در هر روش بررسی خوردگی در این تحقیق برای هر سیستم ماکروپیل یک قرائت انجام شده که در مجموع سه قرائت برای هر آزمونه وجود داشته است (شکل (۲)). لازم به ذکر است که سه ماه پس از شروع زمان رویارویی اولین قرائت انجام شده و حداکثر فاصله زمانی بین قرائت‌ها یک ماه می‌باشد.

همچنین در این تحقیق همزمان با ساخت آزمونه‌های بتنی مسلح، آزمونه‌های بتنی منشوری (غیرمسلح) با ابعاد ۶۰×۱۵×۱۵ سانتی‌متر برای اندازه‌گیری میزان نفوذ یون کلر و تعیین میزان کلر بحرانی ساخته و در شرایط مشابه با آزمونه‌های بتنی مسلح در ناحیه پاشش قرار داده شدند. پس از گذشت نه ماه از زمان رویارویی، مقدار نفوذ یون کلر در این آزمونه‌ها برای تعیین میزان کلر بحرانی اندازه‌گیری شده است.



شکل ۲- جزئیات آزمونه‌های بتنی مسلح

جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان

عنوان	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	L.O.I
سیمان	۲۱	۵	۳/۵	۶۳	۱/۸	۱/۶	۰/۵	۰/۶	۲

جدول ۲- مشخصات طرح‌های اختلاط

کد آزمونه	نسبت آب به سیمان	عیار سیمان (kg/m^3)	مقدارآب (kg/m^3)	اسلامپ (سانتی متر)	فوق روان‌کننده (درصد وزنی سیمان)
C1	۰/۳۵	۴۰۰	۱۴۰	۸	۰/۳۵
C2	۰/۴	۴۰۰	۱۶۰	۷	۰/۲
C3	۰/۴۵	۴۰۰	۱۸۰	۱۵	۰/۱
C4	۰/۵	۴۰۰	۲۰۰	۱۸	۰

۴- نتایج تحقیق و بحث

همان‌طور که اشاره شد در این تحقیق از سه روش اندازه‌گیری جریان ماکروپیل، پتانسیل نیم‌پیل و نرخ خوردگی برای بررسی وضعیت خوردگی آزمونه‌ها در بلند مدت و تعیین میزان کلر بحرانی در شرایط رویارویی پاشش در منطقه خلیج فارس استفاده شده است. با توجه به وجود سه ماکروپیل در هر آزمونه، سه قرائت برای هر آزمونه انجام شده و حد آستانه هر روش در نمودارهای مربوطه مشخص شده است. همچنین در هر روش مورد بررسی، تغییرات ناگهانی در روند قرائت‌های انجام شده برای هر آزمونه با در نظر گرفتن حد آستانه، معیار شروع

Archive of SID

www.SID.ir

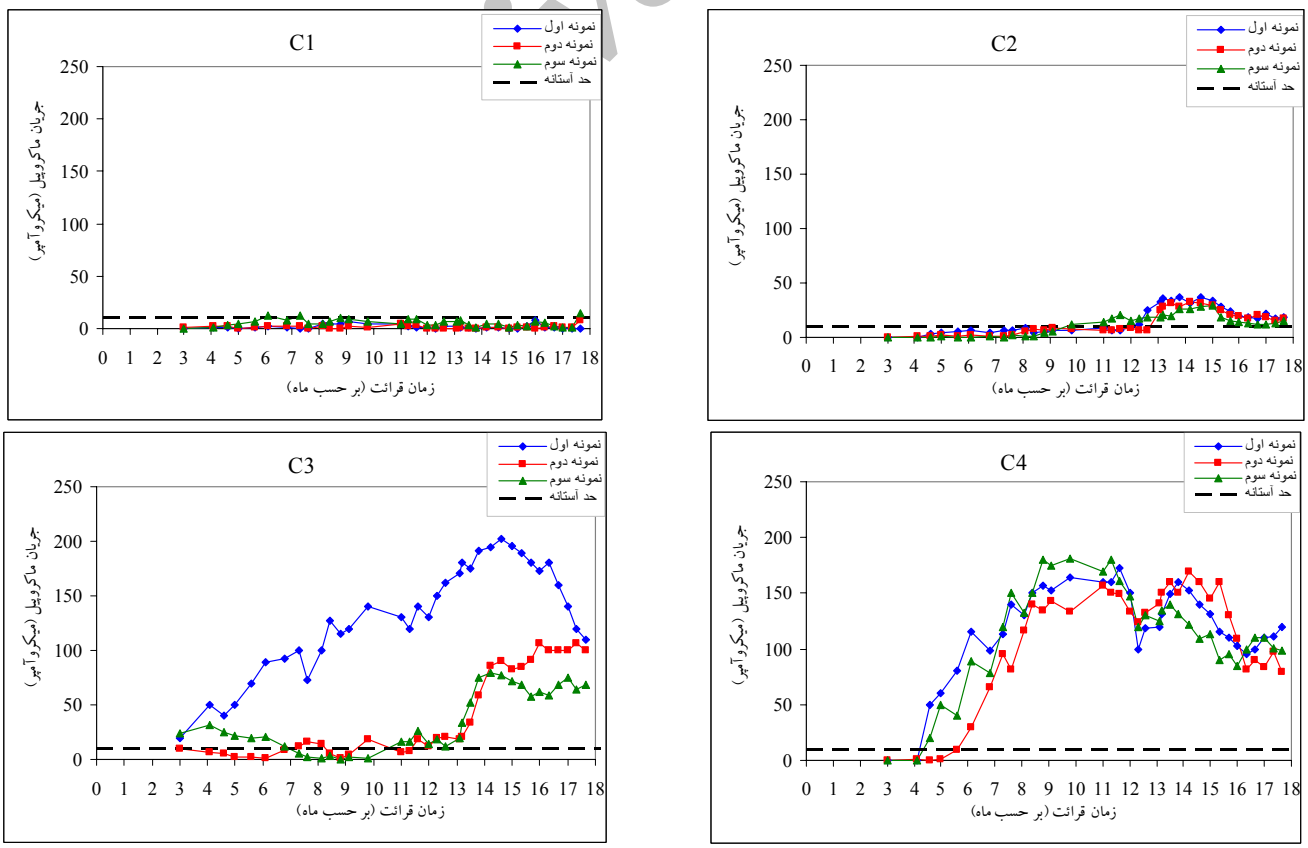
احتمالی خوردگی در نظر گرفته شده است. در نهایت با مقایسه وضعیت خوردگی حاصل از روش‌های جریان ماکروپیل و پتانسیل نیم‌پیل با مقادیر به دست آمده از روش اندازه‌گیری نرخ خوردگی، ارزیابی از دقت روش‌های مورد بررسی انجام شده و سپس با اندازه‌گیری میزان نفوذ یون کلر در سطح آرماتور، مقدار کلر بحرانی در ناحیه پاشش در منطقه خلیج فارس تخمین زده شده است.

۴-۱- نتایج خوردگی آزمونه‌های واقع در ناحیه پاشش

در این تحقیق بررسی جریان ماکروپیل و پتانسیل نیم‌پیل آزمونه‌ها در طول ۱۸ ماه از زمان رویارویی در بازه‌های زمانی یک ماهه در ناحیه پاشش انجام شده است که اولین قرائت ۳ ماه پس از زمان آغاز رویارویی ثبت شده است. روند تغییرات مربوط به جریان ماکروپیل و پتانسیل نیم‌پیل آزمونه‌های با نسبت‌های آب به سیمان مختلف به ترتیب در شکل (۳) و (۴) ارائه شده است.

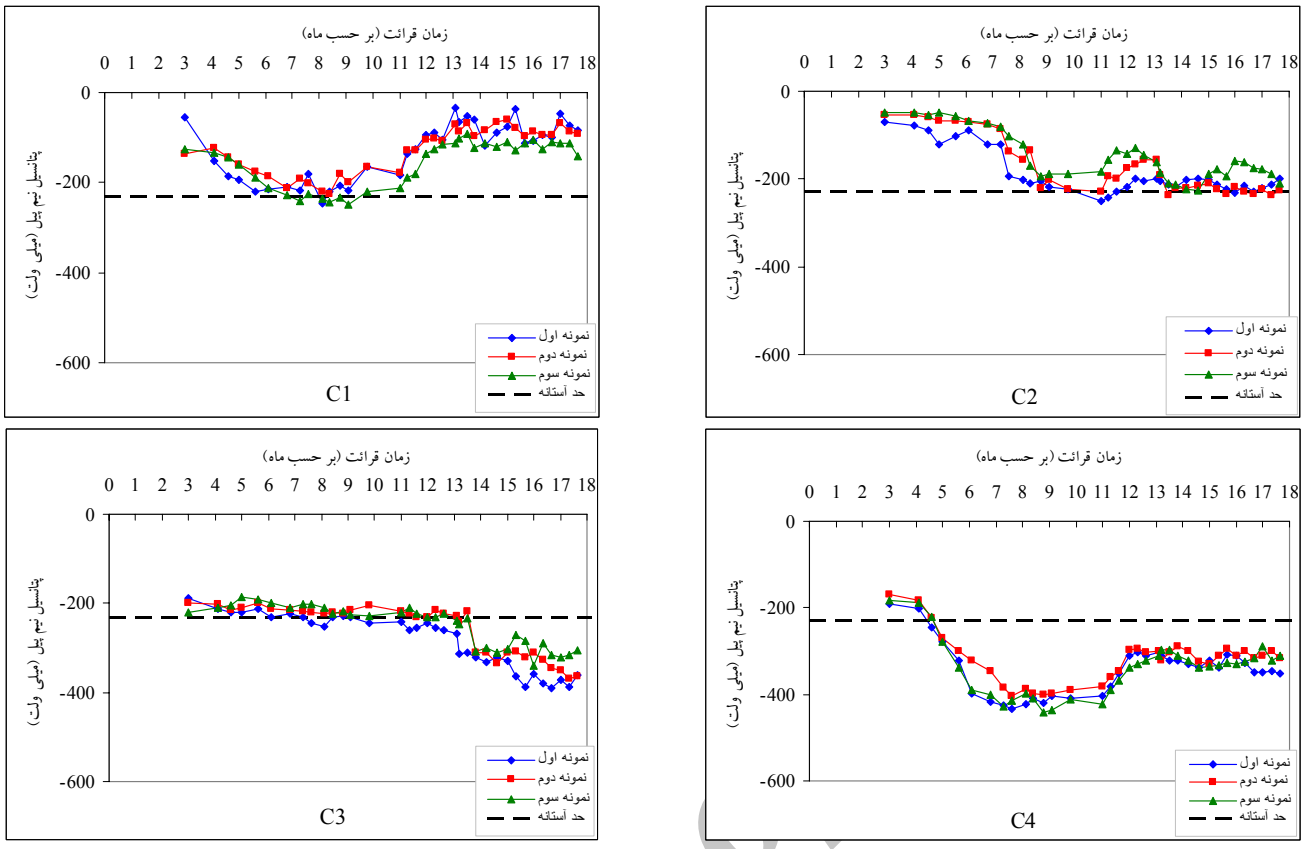
همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، روند تغییرات جریان ماکروپیل در آزمونه C1 با گذشت ۱۸ ماه از زمان رویارویی زیر حد آستانه بوده و در طول این مدت تغییرات محسوسی مشاهده نمی‌شود. با این حال جریان ماکروپیل در آزمونه‌های C2 و C3 هر دو پس از گذشت حدود ۱۳ ماه و در آزمونه C4 پس از گذشت ۵ ماه از زمان رویارویی از حد آستانه خوردگی مورد نظر تجاوز کرده است. البته در بررسی روند تغییرات آزمونه‌های C2 و C4 بعد از مدتی افت جریان ماکروپیل مشاهده می‌شود. دلیل وقوع این افت نیازمند بررسی بیشتر در طول مدت زمان با توجه به روند تغییرات جریان در دیگر آزمونه‌ها می‌باشد. در ضمن تغییرات غیرطبیعی نمونه اول آزمونه C3 را می‌توان ناشی از عدم اسید شویی مناسب در زمان ساخت آزمونه و وجود ذرات خوردگی بر روی میلگرد دانست.

شکل (۴) نیز نشان‌دهنده روند تغییرات پتانسیل نیم‌پیل می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند این تغییرات در آزمونه C1 در طول ۱۸ ماه از حد آستانه خوردگی تجاوز نکرده و تقریبا روند ثابت و یکنواختی در ماه‌های انتهایی داشته است. مشابه این روند در جریان ماکروپیل مربوط به این آزمونه هم تکرار شده است. در آزمونه C2 نیز با وجود این‌که مقادیر پتانسیل نیم‌پیل بخصوص در ماه‌های انتهایی در محدوده نزدیک به حد آستانه بوده‌اند ولی در طول مدت زمان مورد بررسی از حد آستانه خوردگی تجاوز نکرده‌اند.



شکل ۳- تغییرات پتانسیل ماکروپیل آزمونه‌های واقع در ناحیه پاشش برای طرح‌های اختلاط مختلف

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴- تغییرات پتانسیل نیم‌پیل آزمونه‌های واقع در ناحیه پاشش برای طرح‌های اختلاط مختلف

مقادیر مربوط به آزمونه C3 نیز پس از ۱۴ ماه به مقادیر منفی‌تر از مقدار ۲۳۰- میلی ولت (حد آستانه) رسیده است. این در حالی است که پتانسیل نیم‌پیل هر سه میلگرد آند آزمونه C4 بعد از ماه پنجم منفی‌تر از ۲۳۰- میلی‌ولت بوده که نشان می‌دهد خوردگی با احتمال بیش از ۹۰ درصد بعد از ماه پنجم رخ داده است. مشابه آزمونه C1، روند تغییرات پتانسیل نیم‌پیل در آزمونه‌های C2، C3 و C4 نیز تقریباً مشابه روند تغییرات جریان ماکروپیل در این آزمونه‌ها می‌باشد.

در این راستا، جدول (۳) مدت زمان تخمینی عبور از حد آستانه خوردگی در روش‌های پتانسیل نیم‌پیل و جریان ماکروپیل در آزمونه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مدت زمان تخمینی عبور مقادیر قرائت شده از حد آستانه خوردگی

کد آزمونه	جریان ماکروپیل (بر حسب ماه)	پتانسیل نیم‌پیل (بر حسب ماه)
C1	بدون خوردگی	بدون خوردگی
C2	۱۳	بدون خوردگی
C3	۱۳	۱۴
C4	۵	۵

مقادیر این جدول نشان می‌دهند که نتایج حاصل از دو روش بررسی خوردگی، تأیید کننده نتایج همدیگر می‌باشند و تطابق مناسب و قابل قبولی نسبت به یکدیگر دارند. همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود با افزایش نسبت آب به سیمان مدت زمان رسیدن مقادیر جریان ماکروپیل و پتانسیل نیم‌پیل به حد آستانه خوردگی کاهش می‌یابد. به طوری که در آزمونه C1 (کمترین نسبت آب به سیمان) با توجه به بهبود ریزساختار بتن در اثر کاهش نسبت آب به سیمان، مقادیر قرائت شده در هر دو روش اندازه‌گیری با گذشت ۱۸ ماه از زمان رویارویی به حد آستانه خوردگی نرسیده‌اند که این نشان‌دهنده عدم وجود خوردگی در طول این مدت در این آزمونه می‌باشد.

با توجه به اینکه پس از ۹ ماه از زمان رویارویی، میزان نفوذ یون کلر در آزمونه‌های مذکور اندازه‌گیری شده است، بنابراین مدت زمان نه ماه به عنوان مبنای زمانی مقایسه میزان نفوذ یون کلر (محلول در اسید) و تغییرات جریان ماکروپیل، پتانسیل نیم‌پیل و نرخ خوردگی، برای تخمین میزان کلر بحرانی در نظر گرفته شده است. نتایج اشاره شده در مقطع زمانی نه ماه پس از رویارویی در ناحیه پاشش در جدول (۴) ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۴- نتایج درصد کلر، نرخ خوردگی و پتانسیل نیم‌پیل آزمونه‌ها در ناحیه پاشش پس از ۹ ماه رویارویی

کد آزمونه	درصد کلر در عمق آرماتور	نرخ خوردگی				پتانسیل نیم‌پیل				جریان ماکروپیل			
		میزان خوردگی	قرائت‌ها ($\mu A/cm^2$)			میزان خوردگی	قرائت‌ها (mV)			وضعیت خوردگی	قرائت‌ها (μA)		
C1	۰/۰۵	ندارد	۰/۴	۰/۴	۰/۳	ندارد	-۲۳۲	-۱۸۰	-۲۰۷	ندارد	۱۰	۰	۴
C2	۰/۰۸	ندارد	۰/۴	۰/۴	۰/۵	ندارد	-۱۹۴	-۲۳۳	-۲۰۵	ندارد	۴	۶	۵
C3	۰/۱۱	دارد	۰/۸	۰/۵	۲	دارد	-۲۱۱	-۲۲۴	-۲۵۳	دارد	۵	۱۴	۱۰۰
C4	۰/۱۶	دارد	۱	۲/۵	۲	دارد	-۴۴۲	-۴۰۰	-۴۲۰	دارد	۲۰۷	۱۳۵	۱۵۷

نتایج ارائه شده در جدول (۴) نشان می‌دهند که کلیه مقادیر خوردگی در هر سه روش مورد استفاده و همچنین مقادیر نفوذ یون کلر، با افزایش نسبت آب به سیمان افزایش می‌یابند، به طوری که در آزمونه‌های C4 و C1 میزان نفوذ یون کلر، مقادیر پتانسیل نیم‌پیل، جریان ماکروپیل و نرخ خوردگی به ترتیب بیشترین و کمترین می‌باشند. مقایسه بین روند تغییرات دو روش اندازه‌گیری جریان ماکروپیل و پتانسیل نیم‌پیل نشان از دقت و مطابقت قابل قبول این دو روش نسبت به یکدیگر در تخمین زمان احتمالی شروع خوردگی دارد. همچنین نتایج نرخ خوردگی نیز تأیید کننده نتایج حاصل از دو روش اندازه‌گیری مذکور می‌باشد. از طرفی مقایسه مقادیر نفوذ یون کلر و مقادیر خوردگی آزمونه‌های با نسبت آب به سیمان مختلف نشان می‌دهد که مقدار کلر بحرانی در ناحیه پاشش در منطقه خلیج فارس در حدود ۰/۱۱ درصد وزنی بتن می‌باشد.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که در طراحی و اجرای سازه‌های بتنی در منطقه خلیج فارس باید شرایط حاد و خورنده این منطقه به خصوص در شرایط رویارویی پاشش را بیش از پیش مورد توجه قرار داد. به طوری که برای شرایط رویارویی پاشش در محیط خورنده خلیج فارس حتی نسبت آب به سیمان ۰/۴ نیز مطمئن نبوده و در صورت استفاده از بتن‌های با این نسبت آب به سیمان باید استفاده از روش‌های دیگر محافظتی از جمله پوزولان‌های مناسب با درصد بهینه و یا استفاده از پوشش‌های محافظتی مد نظر قرار گیرند.

۵- نتیجه‌گیری

خلاصه نتایج بدست آمده از این تحقیق را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

۱- با بررسی مقدار پتانسیل نیم‌پیل و جریان ماکروپیل و مقایسه آن‌ها با روش اندازه‌گیری نرخ خوردگی می‌توان دریافت که روش‌های پتانسیل نیم‌پیل و جریان ماکروپیل دارای دقت مناسبی در اندازه‌گیری زمان شروع خوردگی می‌باشند. بنابراین با توجه به شرایط و امکانات موجود می‌توان از این روش‌ها برای بررسی میزان وضعیت خوردگی سازه‌های موجود در منطقه خلیج فارس استفاده کرد.

۲- در این تحقیق مقدار کلر بحرانی برای شروع خوردگی در ناحیه پاشش ۰/۱۱ درصد وزنی بتن در شرایط محیطی خلیج فارس تخمین زده شده است.

۳- استفاده از بتن با نسبت آب به سیمان زیاد در سازه‌های بتنی در منطقه خلیج فارس موجب بروز پدیده خوردگی زودهنگام در این سازه‌ها می‌شود. به گونه‌ای که مشاهده شد، در شرایط محیطی خلیج فارس و در ناحیه پاشش، طی مدت زمان کوتاهی در آزمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴ و بیشتر با ضخامت پوشش ۳ سانتی‌متر، بدون پوزولان و بدون استفاده از سیستم‌های پوشش سطحی و حفاظت کننده نظیر حفاظت کاتدی، خوردگی شروع شده و یا در آستانه شروع خوردگی قرار گرفته‌اند.

۴- این تحقیق نشان می‌دهد که در اجرای سازه‌های مهم، دو عامل ضعف در کنترل کیفی و ضخامت پوشش کم موجب خوردگی سریع در این سازه‌ها می‌شود.

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از همکاری‌ها و حمایت‌های مالی سازمان منطقه آزاد قشم به ویژه معاونت عمرانی این سازمان در احداث این سایت تحقیقاتی کمال تشکر و قدردانی را دارند.

۷- مراجع

[1] Neville, A., "Good Reinforced Concrete in the Persian Gulf", Materials and Structures Journal, 2000, 33, 655-664.

[2] Shekarchi, M., Moradi-Marani, F., Pargar, F., "Corrosion Damage of a Reinforced Concrete Jetty Structure in the Persian Gulf: A Case

Archive of SID

www.SID.ir

Study", Structure and Infrastructure Engineering. 2009, 2, 1-13.

[3] Shekarchi, M., Rafiee, A., Layssi, H., "Long-Term Chloride Diffusion in Silica Fume Concrete in Harsh Marine Climates", Cement & concrete composite. 2009, 31 (10), 769-775.

[4] Ghods, P., Chini, M., Alizadeh, A., Hoseini, M., Shekarchi, M., Ramezanianpour, A. A., "The Effect of Different Exposure Conditions on the Chloride Diffusion into Concrete in the Persian Gulf Region", 3th ConMat'05, Vancouver, Canada, 2007.

[5] Benture, A., Diamond, S., Berke, N. S., "Steel Corrosion in Concrete, Fundamentals and Civil Engineering Practice", E & FN Spon, 1997.

[6] ASTM G109, "Determining the Effects of Chemical Admixtures on the Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments", 2003.

[7] ASTM C876, "Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete", 2003.

[۸] پرگر، ف.، "بررسی پارامترهای مؤثر بر غلظت کلر بحرانی برای شروع خوردگی میلگردهای فولادی در بتن"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۵.

Archive of SID

www.SID.ir

Study of Corrosion in Reinforced Concretes with Different Water to Cement Ratios at Splash zone

M. Shekarchizadeh*[1], M. Valipour [2], F. Pargar [3]
[1] Construction Materials Institute (CMI), University of Tehran
[2] Graduate Research Assistant of Construction Materials Institute (CMI), University of Tehran
[3] Delft University of Technology, CiTG, Materials & Environment

Abstract

Concrete structures in aggressive environments greatly suffer from corrosion which causes a premature failure in their life span. Persian Gulf region is one of the most aggressive environments in which concrete structures need further attention in order to increase their durability and serviceability as well. In the present investigation the half-cell potential and corrosion resistance of rebar embedded in concrete with different water to cement ratios exposed to splash zones in Qeshm Island for 18 month was studied. The results demonstrated that concretes with lower water to cement ratio perform better in terms of corrosion protection and process retardation.

Keywords: Concrete durability, Corrosion, Splash zone, W/C ratio, Macrocell, Half cell, Corrosion rate.

Archive of SID

Received: October 2011
Accepted: May 2012

www.SID.ir