

بررسی رابطه پارامترهای خوردگی میلگرد با میزان نفوذپذیری بخار آب در بتن‌های تعمیر شده با مواد حفاظت سطحی

پرویز قدوسی^۱، اصغر حبیب نژاد کورایم^۲، علی اکبر شیرزادی جاوید^{۳*}، محمدعلی اورعی^۴، حسین عاشق^۵

- ۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۴- کارشناس ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۵- دانشجوی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه علم و صنعت ایران

shirzad@iust.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۶/۱۰/۰۹]

تاریخ دریافت: [۹۶/۰۳/۲۳]

چکیده

بطور کلی وظیفه حفاظت سطحی در بتن جلوگیری از آسیب‌های ناشی از عوامل مهاجم از جمله جلوگیری یا تاخیر در خوردگی آرماتور یا ایجاد حفاظت در برابر نفوذ یون است. در این پژوهش عملکرد سه ماده حفاظت سطحی بتن روی دو نوع بتن خودتراکم با نسبت‌های آب به سیمان متفاوت و یک نوع بتن معمولی، ارزیابی شد. آزمایش‌های نفوذپذیری بخار آب، اختلاف پتانسیل نیم پیل، شدت خوردگی و زاویه تماس آب و تصاویر SEM برای ارزیابی عملکرد این مواد انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از مواد حفاظت سطحی تأثیر زیادی در کاهش نفوذپذیری، اختلاف پتانسیل نیم پیل و شدت خوردگی و در مجموع افزایش دوام بتن خواهد داشت به طوری که نمونه‌های حفاظت شده به غیر از یک مورد تا هفته ۴۹ وارد فاز فعال خوردگی نشدند. افزایش نسبت آب به سیمان بتن پایه موجب تضعیف عملکرد مواد حفاظت سطحی خواهد شد. همچنین نتایج گویای این مطلب بوده است که مواد حفاظتی که اجازه تخییر آب محبوس را به اندازه کافی نمی‌دهند نسبت به موادی که اجازه عبور بخار آب می‌دهند تأثیر کمتری در کاهش خوردگی دارند. نمونه حفاظت شده با سیلان-سیلوکسان و نمونه حفاظت شده با اپوکسی به ترتیب ۹۲٪ و ۳۵٪ نسبت به بتن شاهد اجازه عبور بخار آب را می‌دهند و نمونه EP-SCC2 در همان هفته‌های ابتدایی وارد فاز فعال خوردگی شده است و اختلاف پتانسیل بیش از ۲۷۰- نشان داده است.

واژگان کلیدی: حفاظت سطحی بتن، دوام بتن، خوردگی بتن، تنفس بتن.

۱- مقدمه

متخصصین و پژوهشگران دانش بتن بوده است. وجود محیط قلیایی در بتن به طور معمول از خوردگی آرماتورها جلوگیری می‌کند، اگر این محیط قلیایی در بتن در اثر کربناسیون یا ورود

در دهه‌های گذشته ساخت یک بتن با دوام بالا که در معرض شرایط محیطی سخت قرار دارد، یکی از مسائل اصلی برای

بدهد و نوع سیستم حفاظت سطحی بر اساس شرایط پیرامونی، بایستی انتخاب شود.

از دیگر مقالات مهم در این حوزه مقاله بشیر و همکارانش است [12]. با توجه به وجود سازه‌های متعدد در معرض خوردگی در کشور ما، به ویژه در سواحل خلیج فارس انجام چنین پژوهش‌هایی برای افزایش دوام سازه‌های بتن مسلح اجتناب ناپذیر است. موضوع حفاظت سطحی با وجود این که موضوع جدیدی نیست خلاهای پژوهشی فراوانی هم دارد؛ از جمله بررسی تاثیر کیفیت و نوع بتن پایه بر عملکرد ماده حفاظتی و یا بررسی تاثیر میزان عبور بخار آب از بتن حفاظت شده بر کاهش میزان خوردگی میلگردهای مدفون در بتن که در این پژوهش به آنها پرداخته شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

بتن‌های پایه: در این پژوهش برای بررسی تاثیر نوع و کیفیت بتن پایه بر عملکرد مواد حفاظتی از سه نوع بتن استفاده شده است. یکی از اهداف این پژوهش بررسی تاثیر بتن پایه خودمتراکم در مقایسه با بتن پایه عادی بود. بنابراین بتن‌های پایه شامل دو نوع بتن خود تراکم با نسبت آب به سیمان و یک بتن عادی با طرح مخلوط مشابه با یکی از بتن‌های خود متراکم است که طرح مخلوط آنها در جدول (۱) ارائه شده است. در ساخت بتن‌ها از سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه تهران و هم چنین از پودر سنگ کارخانه ایران سنگ زاگرس استفاده شد.

یون کلر از بین برود، خوردگی آرماتورها میتواند به وقوع بپیوندد. همان طور که خوردگی بیشتر می‌شود این امر موجب ترک خوردن پوشش بتن می‌شود که می‌تواند در بلند مدت به تخریب کل یک سازه بتنی منجر شود [1-3]. هم چنین برخی پژوهش‌ها تصریح کرده‌اند که افزایش نرخ خوردگی آرماتورها موجب تخریب سازه‌ها به صورت ترد می‌شود [4].

یکی از روش‌های افزایش دوام سازه‌های بتنی استفاده از مواد حفاظت سطحی بتن است [5-10]. در آیین‌نامه اروپا [11] این مواد به سه دسته تقسیم می‌شود که سازو کار عملکردی آنها به صورتی که در شکل (۱) نشان داده شده است به این شرح است: ۱- اشباع کننده‌های آبگریز ۲- اشباع کننده‌ها یا مسدودکننده‌ها ۳- پوشش‌ها و اندودها

با توجه به پژوهش‌هایی که در این حوزه انجام شده است مشخص شده که استفاده از مواد حفاظت سطحی تاثیر چشمگیری در کاهش انتشار اکسیژن، رطوبت و یون کلرید در بتن خواهد داشت [12-14].

یکی از پژوهش‌های انجام شده در این حوزه به پژوهش قدوسی و همکاران مربوط است [15]. در این پژوهش تاثیر کیفیت بتن ساخته شده بر عملکرد ۴ نوع سیستم حفاظت سطحی بررسی شد.

نتایج این پژوهش گویای این مطلب است که همه انواع حفاظت سطحی عملکرد همه بتن‌ها را بهبود بخشید اما تاثیر حفاظت‌های مختلف وابسته به کیفیت بتن ساخته شده بازگشت می‌کند و نیز نتایج نشان می‌دهد که یک نوع حفاظت وجود ندارد که برای انواع خرابی‌ها و شرایط محیطی بهترین نتیجه را

شکل ۱. انواع روش‌های حفاظت سطحی: الف- مواد آبگریز ب- مواد نفوذگر ج- اندودها [۱۱]

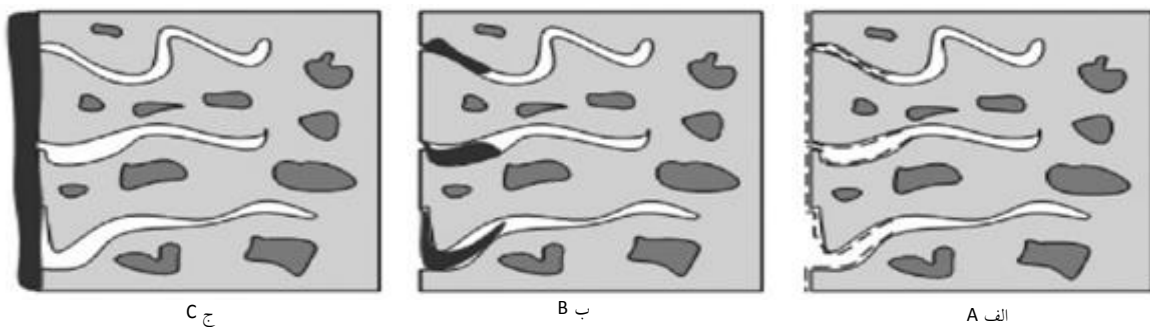


Fig.1. Surface protection methods. A) Hydrophobic impregnation B) Impregnation C) Coating.

این مواد در کاهش خوردگی و بررسی تاثیر مقدار تنفس بتن- های حفاظت شده بر کاهش خوردگی مورد مطالعه قرار گرفت. اندود اپوکسی دو جزئی پس از توزین و اختلاط به وسیله قلمو به اندازه ۵۰۰ گرم در هر متر مربع اجرا شد. سیلان و سیلوکسان نیز به وسیله قلمو و به اندازه ۷۰۰ گرم در هر متر مربع به صورت خیس روی خیس بر کل سطح نمونه ها اعمال شد. نمونه های حفاظت شده به مدت اعلام شده توسط کارخانه تولید کننده در دمای آزمایشگاه قرار داده شدند تا به مقاومت مد نظر برسند.

۲-۲- روش آزمایش ها

۲-۲-۱- آزمایش های خواص بتن تازه

آزمایش های کارایی بتن خودتراکم شامل آزمایش جریان اسلامپ و حلقه J مطابق دستور العمل بتن خودتراکم شماره ض ۷۰۶ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی [16] انجام شدند.

۲-۲-۲- آزمایش مقاومت فشاری بتن تازه

پس از ۲۸ روز عمل آوری در حوضچه آب با دمای ۲۳ درجه مقاومت فشاری نمونه های مکعبی ۱۰ در ۱۰ طبق استاندارد ۳۲۰۶ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران [17] انجام شد. تعداد سه نمونه برای هر پارامتر مورد آزمایش قرار گرفت و میانگین نتایج به عنوان مقاومت مشخصه گزارش شد.

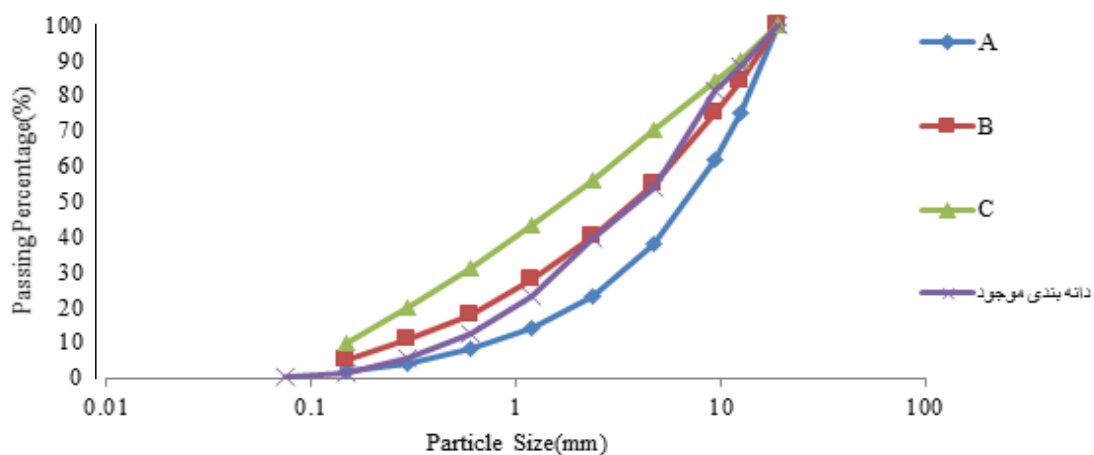
مصالح سنگی: مصالح سنگی مورد استفاده در این پژوهش به شرح زیر است:

سنگدانه های درشت: سنگدانه های درشت با اندازه حداکثر سنگدانه ۱۹ میلی متر از نوع شکسته استفاده شد و که از معادن شهریار تامین شده است. سنگدانه های ریز: این بخش از سنگدانه ها از نوع طبیعی شکسته و از معادن شهریار تامین شد.

مخلوط سنگدانه ها: سنگدانه های موجود را با توجه به منحنی دانه بندی C19 طرح ملی مخلوط بتن ایران دانه بندی کردیم. در شکل (۲) منحنی دانه بندی های مرجع کران بالا و پایین و نیز دانه بندی مصالح سنگی هر سه نوع بتن، آورده شده است. افزودنی شیمیایی از نوع فوق روان کننده با پایه کربوکسیلاتی و چگالی وزنی ۱,۰۱ gr/cm³ در این پژوهش استفاده شد. نسبت مخلوط انواع بتن ساخته شده در این پژوهش در جدول شماره (۱) آورده شده است. نسبت شن به ماسه ۴۰ به ۶۰ و نسبت شن درشت به شن ریز نیز ۴۰ به ۶۰ در نظر گرفته شد. هم چنین میزان فوق روان کننده به اندازه ای در نظر گرفته شد که به میزان جریان اسلامپ هدف رسانده شود.

مواد حفاظت سطحی: هم چنین از دو نوع ماده حفاظتی سیلان-سیلوکسان و اپوکسی استفاده شده است. ضمن بررسی سازوکار عملکرد آنها، آزمایش های نفوذپذیری بخار آب و اختلاف پتانسیل نیم پیل و شدت خوردگی برای بررسی تاثیر

شکل ۲. منحنی دانه بندی طرح مخلوط ایران با حداکثر اندازه ۱۹ میلی متر و منحنی دانه بندی مصالح سنگی در طرح مخلوط بتن ها



شکل ۲. منحنی دانه بندی طرح مخلوط ایران با حداکثر اندازه ۱۹ میلی متر و منحنی دانه بندی مصالح سنگی در طرح مخلوط بتن ها
Fig.2.Iranian mix design grading curve with max particle size 19mm and aggregate grading curve in 4 samples mix design.

جدول ۱. ترکیب مخلوط انواع بتن خود تراکم ساخته شده.

Plasticizer (percentage of cement)	Aggregate(kg/m3)	Limestone powder(kg/m3)	Cement(kg/m3)	W/C	Sample Name
1.32%	1496.57	150	450	0.45	SCC1
0	1496.57	0	450	0.45	NC
0.67%	1419.52	150	400	0.45	SCC2

Table.1. SCC samples mix design

تماس با بخار آب است. (بر حسب متر مربع) نتایج این آزمایش به مدت حدود ۳۵۰ ساعت برداشت شدند.

۲-۲-۶- آزمایش پتانسیل خوردگی (نیم پیل)

یکی از آزمایش‌های خوردگی شامل اندازه‌گیری پتانسیل خوردگی (اختلاف پتانسیل) با تعیین ولتاژ بین دو منطقه آند و کاتد است. دستورالعمل استاندارد توسط ASTM C876 [20] برای تعیین استعداد فعالیت خوردگی در محل تدوین شده است.

پس از عمل آوری نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۶۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۵۰ میلی‌متر، نمونه‌ها درون ظرفی قرار داده شد و تا دو سوم ارتفاع نمونه‌ها، محلول آب نمک ۵ درصد ریخته شد.

شکل ۳. آماده سازی نمونه و روش اندازه‌گیری پتانسیل و شدت خوردگی

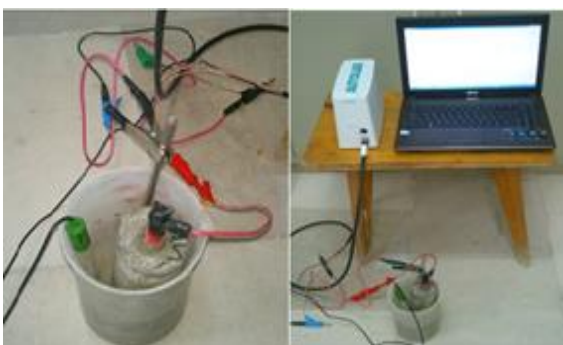


Fig.3. Sample preparing and test method of Corrosion Potential and Corrosion Intensity.

از الکتروود مرجع کالومل برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل بین آن و میل‌گرد تعبیه شده در نمونه‌های بتنی استفاده شد. با قرار دادن الکتروود مرجع درون آب و اتصال دستگاه ولت‌متر به

۲-۲-۳- آزمایش تعیین اندازه زاویه تماس آب

یکی از شاخصه‌های مهم مواد حفاظت سطحی (به خصوص مواد آبگریز) اندازه زاویه تماس آب است. آزمایش زاویه تماس بر اساس ASTM D7334 [18] توسط دستگاه DATA PHYSICS - OCA 15 PLUS انجام شد.

۲-۲-۴- آزمایش SEM

برای بررسی ریزساختار و سازوکار عملکرد پوشش‌های اعمال شده روی نمونه‌های بتنی از تصاویر تهیه شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی JEOL 7001F FEG A استفاده شد. تکه‌ای از هر یک از نمونه‌های بتنی پوشش داده شده با مواد حفاظت سطحی با پوششی از نانوذرات طلا-پالادیوم به ضخامت ۲ نانومتر پوشش داده شد تا هادی جریان الکتریکی شود و سپس تصاویر نمونه‌ها تحت ولتاژ 5 keV گرفته شد.

۲-۲-۵- آزمایش تعیین نفوذپذیری بخار آب (تنفس بتن)

این آزمایش بر اساس دستورالعمل ASTM E96 [19] انجام شد. مواد حفاظت سطحی مختلف روی یک وجه مربعی نمونه‌های بتنی عمل‌آوری شده خشک اعمال شد. به مدت دو هفته کاهش وزن ناشی از تبخیر آب از سطح نمونه بتنی، با اندازه‌گیری مداوم وزن مجموع بدست آمد. سطح مقطع ظروف که در واقع سطح مقطع در تماس با بخار آب نمونه‌های بتنی است نیز اندازه‌گیری شد.

نرخ عبور بخار آب به وسیله رابطه (۳) اندازه‌گیری می‌شود.

$$WVT = G / (t.A) \quad g / (h.m^2) \quad (3)$$

در این رابطه G تغییر وزن (بر حسب گرم)، t زمان سپری شده بر حسب ساعت و A مساحت سطح مقطعی از نمونه، که در

۳-۳- تصاویر SEM

در شکل (۵) عکس های SEM نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است. عکس ج و ب مربوط به نمونه های شاهد و سیلان-سیلوکسان تفاوت خاصی با یکدیگر ندارند و مانند آن چه در بخش و شکل (۱) در خصوص سازوکار عملکرد مواد حفاظتی ذکر شده است مواد آبرگیرز تفاوتی در لایه سطحی ایجاد نمی نماید و تنها زاویه تماس آب را افزایش می دهد که در شکل (۴) مشاهده می شود. چنانچه در شکل (۵) مشخص است اپوکسی با ایجاد لایه ضخیم مانع ورود آب و یون های مخرب به داخل بتن می شود.

جدول ۲. محدوده های شدت خوردگی

Jcorr < 0.2μA.cm-2	Corrosion won't happen.
Jcorr 0.2 - 1.0 μA.cm-2	Corrosion is likely to happen next 10-15 years
Jcorr 1.0 - 10 μA.cm-2	Corrosion is likely to happen next 2-10 years
Jcorr > 10 μA.cm-2	Corrosion is likely to happen less than 2 years later.

Table.2. Corrosion Intensity Range.

شکل ۴. نتیجه ی آزمایش زاویه تماس آب

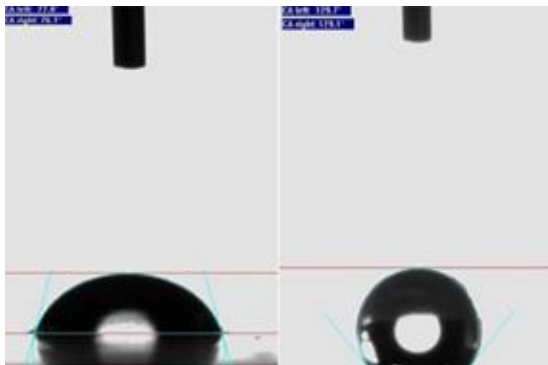


Fig.4. Water Contact Angle test result.

میلگرد مدفون در آزمون اختلاف پتانسیل به دست آمد (شکل ۳). در این پژوهش پتانسیل های نیم پیل هر هفته و به مدت ۴۹ هفته برای کلیه نمونه ها اندازه گیری شدند.

برای ارزیابی احتمال خوردگی با توجه به اختلاف پتانسیل قرائت شده از ضوابط موجود در ASTM C876 [20] و تحقیقات پیشین [21] استفاده شد.

۲-۲-۱- آزمایش شدت خوردگی

در این تحقیق برای اطلاع از وضعیت دقیق خوردگی میلگردها در بتن های مختلف از آزمایش شدت خوردگی بهره برده شد. بر این اساس آزمایش شدت خوردگی با استفاده از دستگاه پتانسیوستات انجام شد. بر اساس نظر برومفیلد [22]، محدوده های شدت (نرخ) خوردگی را به صورت بازه های جدول (۲) توصیه کرده است.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۱-۳- کارایی و مقاومت فشاری بتن خودتراکم

نتایج آزمایش های رئولوژی و مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های مکعبی برای مخلوط های بتن بدون حفاظت در جدول (۳) نشان داده شده است.

۲-۳- زاویه تماس آب

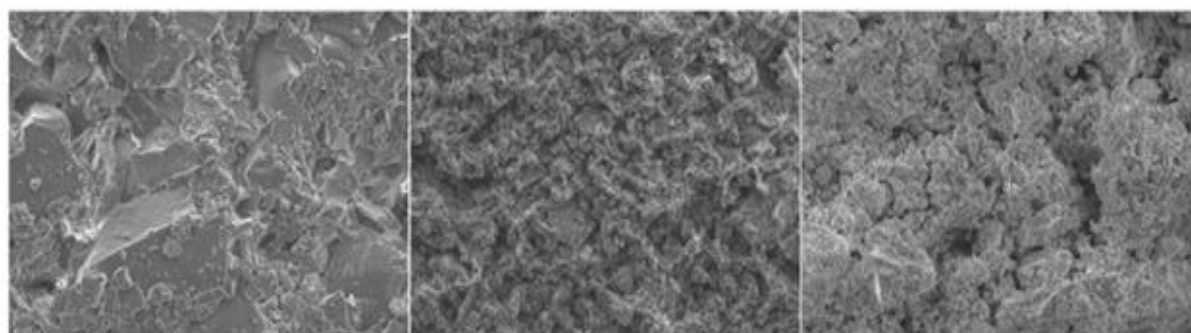
در شکل (۴) نتایج آزمایش زاویه تماس آب مشاهده می شود. همان گونه که مشخص است زاویه تماس نمونه حاوی سیلان-سیلوکسان ۱۲۹ درجه و نمونه حاوی اپوکسی ۷۷ درجه است. این در حالی است که طبق منبع [23] بتن به تنهایی دارای زاویه تماس در حدود ۴۰ درجه گزارش شده است.

جدول ۳. نتایج آزمایش های رئولوژی و مقاومت فشاری

J-Ring(mm)	J-Ring Index(mm)	Slump Flow(mm)	28days Compressive Strength (Mpa)	Sample Name
540	7	650	57.3	SCC1
560	8	670	44.2	SCC2
-	-	-	40	NC

Table 3. Rheology and compressive strength tests results

شکل ۵. تصاویر SEM نمونه‌ها: الف- نمونه شاهد ب- سیلان سیلوکسان ج- اپوکسی



الف A) Normal concrete ب B) Silane-siloxane ج C) Epoxy Resin

Fig.5. SEM pictures of samples : A)Normal concrete B)Silane-siloxane C)Epoxy Resin

شکل ۶. نمودار اختلاف پتانسیل خوردگی نمونه‌ها

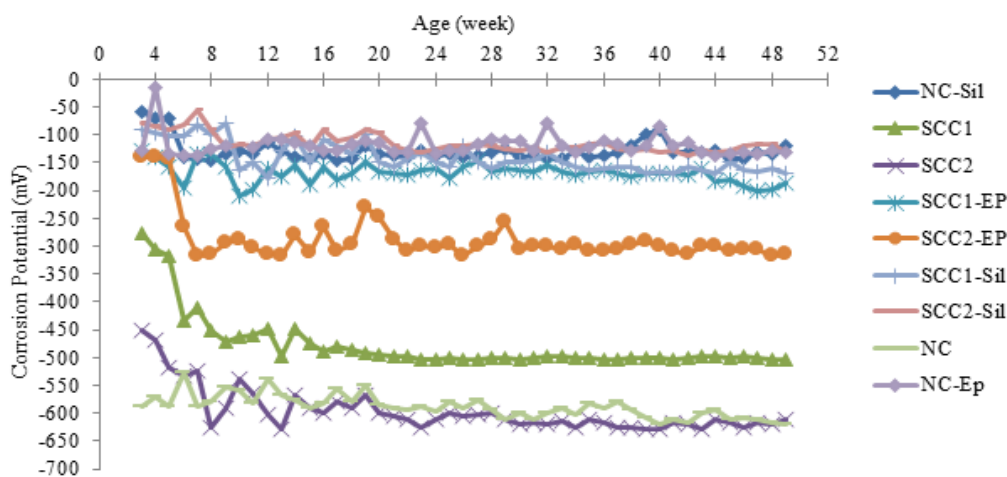


Fig.6. Corrosion Potential of samples

شکل ۷. نمودار شدت خوردگی کلیه نمونه‌ها

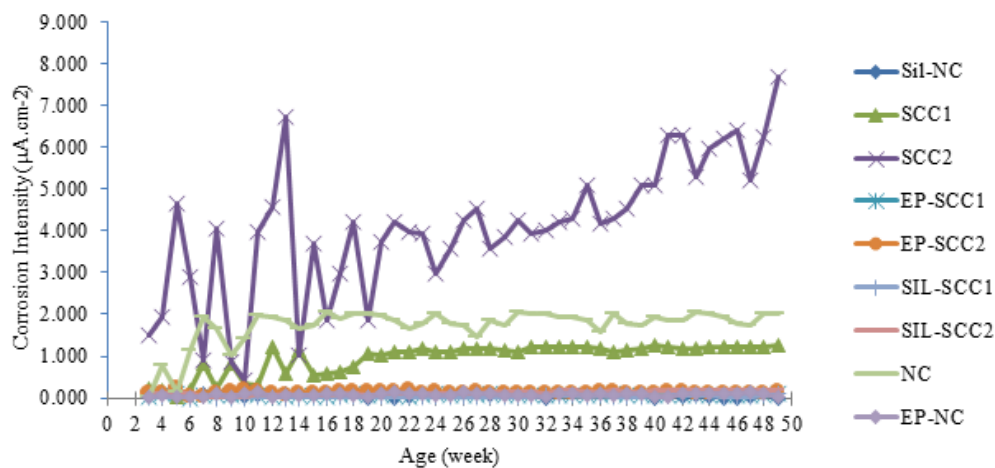


Fig.7. Corrosion Intensity of all samples

شکل ۸. نمودار شدت خوردگی نمونه‌های حفاظت شده

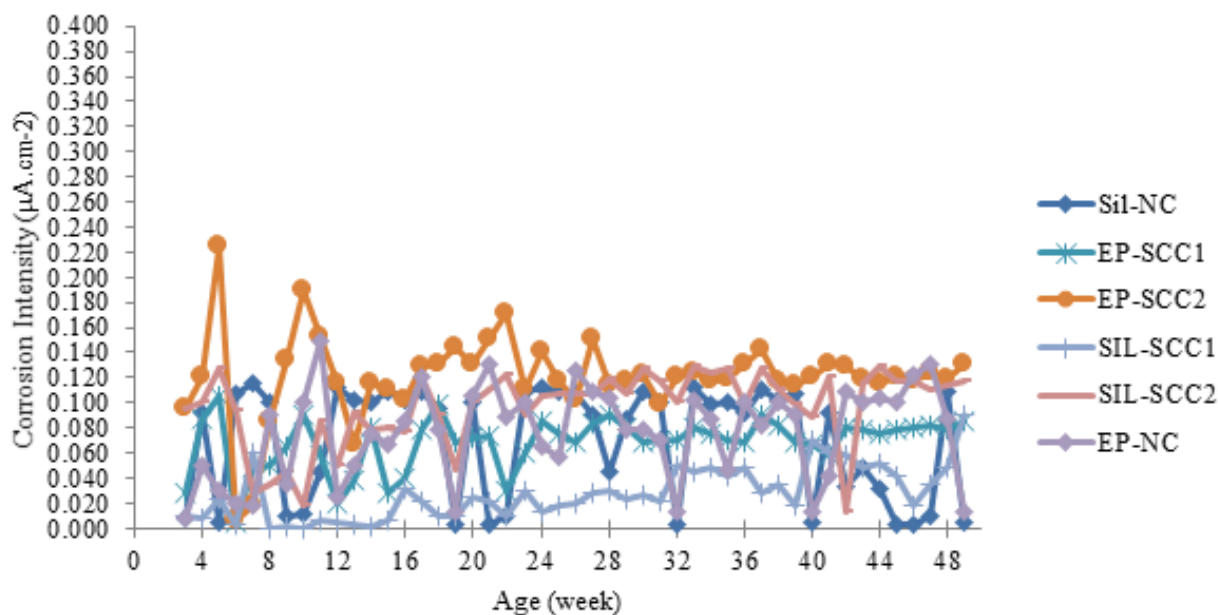


Fig.8. Corrosion Intensity of protected samples

های حفاظت شده به جز EP-SCC2 شدت خوردگی تا ۴۹ هفته کمتر از ۰/۲ بوده است و این یعنی بر اساس نظر برومفیلد، احتمال خوردگی تا حداقل ۱۵ سال برای آنها نمی‌رود.

می‌توان نتیجه گرفت، عملکرد مواد حفاظت سطحی ارتباط زیادی با نسبت آب به سیمان بتن پایه دارد و عوامل دیگر مثل تغییر بتن پایه معمولی به بتن پایه خودتراکم تقریباً تاثیری در عملکرد مواد حفاظتی ندارد.

شدت خوردگی SiI- SCC1 و SiI- SCC2 بر خلاف نتایج پژوهش‌های پیشین تفاوت قابل ذکری ندارند [24]. این در حالی است که EP- SCC2 شدت خوردگی به مراتب بیشتری نسبت به EP- SCC1 نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش نسبت آب به سیمان بتن پایه تاثیر بیشتری بر کاهش عملکرد مواد پوششی (اندود) در خوردگی نسبت به مواد آبرگیز دارد. علت این موضوع احتمالاً به سازوکار عملکرد مواد حفاظتی برمی‌گردد. اندودهای حفاظتی باید روی

۳-۴- آزمایش تنفس بتن

نتایج مربوط به آزمایش نفوذپذیری در جدول (۴) ارائه می‌شود.

۳-۵- نتایج آزمایش پتانسیل خوردگی و شدت خوردگی

در شکل (۶) نمودار اختلاف پتانسیل خوردگی نمونه‌ها تا هفته ۴۹، در شکل (۷) شدت خوردگی کلیه نمونه‌ها و در شکل (۸) شدت خوردگی نمونه‌های حفاظت شده تا هفته ۴۹ ملاحظه می‌شود.

جدول ۴. نرخ عبور بخار آب

Permeability percentage compared with NC	WVT gr/(hr.m ²)	Sample Name
100	2.224	NC
91.2	2.030	SIL
35.2	0.784	EP

Table.4. Water Vapor Permeability

۳-۶- تحلیل نتایج

نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مواد حفاظت سطحی باعث کاهش شدت خوردگی شده است تا حدی که در کل نمونه-

این، مواد حفاظتی که اجازه عبور آب محبوس در بتن را نمی‌دهند در مقایسه با آن دسته از موادی که اجازه عبور بخار آب را می‌دهند تاثیر کمتری در کاهش شدت خوردگی بتن مسلح خواهد داشت.

References

۵- منابع

- 1-Almusallam, A., et al., Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability. *Cement and Concrete Composites*, 2003. 25(4): p. 473-481.
- 2-McCurich, L., G. Whitaker, and M. Humpage. Reduction in rates of carbonation and chloride ingress by surface impregnation. in *Proceedings of 2nd International Conference on Structural Faults and Repair*. 1985.
- 3-Shaw, J., Water repellent systems. *Construction Repair*, 1989: p. 8-9.
- 4-Almusallam, A.A., Effect of degree of corrosion on the properties of reinforcing steel bars. *Construction and Building Materials*, 2001. 15(8): p. 361-368.
- 5-Ghodousi, P., et al. The use of surface treatment compounds to enhance durability of reinforced concrete. in *Concrete Repair, Rehabilitation, and Protection: Proceedings of the International Conference Held at the University of Dundee, Scotland, UK on 24-26 June 1996*. 1996. Taylor & Francis.
- 6-Hou, P., et al., Characteristics of surface-treatment of nano-SiO₂ on the transport properties of hardened cement pastes with different water-to-cement ratios. *Cement and Concrete Composites*, 2015. 55: p. 26-33.
- 7-Medeiros, M. and P. Helene, Efficacy of surface hydrophobic agents in reducing water and chloride ion penetration in concrete. *Materials and Structures*, 2008. 41(1): p. 59-71.
- 8-pfeifer, D.W., Carbonation of silane treated reinforced concrete. 1986.
- 9-Scarfato, P., et al., Preparation and evaluation of polymer/clay nanocomposite surface treatments for concrete durability enhancement. *Cement and Concrete Composites*, 2012. 34(3): p. 297-305.
- 10-Zhu, Y.-G., et al., Influence of silane-based water repellent on the durability properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 2013. 35(1): p. 32-38.
- 11-EN, B., BS EN 1504-2, Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity. *Surface protection systems for concrete*. 2004.
- 12-Basheer, L. and D.J. Cleland, Durability and water absorption properties of surface treated concretes. *Materials and structures*, 2011. 44(5): p. 957-967.
- 13-Basheer, L., J. Kropp, and D.J. Cleland, Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review. *Construction and building materials*, 2001. 15(2): p. 93-103.

ترک‌ها پل بزنند [25-28] در حالی که مواد آبرگیر کننده از طریق افزایش زاویه تماس آب مانع نفوذ آب می‌شوند [23, 29-31]. در بتن با نسبت آب به سیمان بیشتر ترک‌های مویینه سطحی بیشتری نسبت به بتن به نسبت آب به سیمان پایین تر ایجاد می‌شود [32-34]. بنابر این خاصیت پل زدن روی ترک‌ها در خصوص اندودها بایستی بروز کند. بنابراین مقدار جذب آب بیشتر EP-SCC2 نسبت به سایر نمونه‌ها و خوردگی بیشتر آن را بایستی مرتبط به این موضوع دانست.

یکی از نتایج مهم این بوده است که با وجود تشابه بسیار زیاد مقدار جذب آب EP و SIL در بتن های پایه یکسان که در پژوهش‌های پیشین [35] ذکر شده است اما خوردگی EP از SIL تا حدودی بیشتر است که در نمودار اختلاف پتانسیل و شدت خوردگی مشخص است. برای نمونه مقایسه اختلاف پتانسیل EP-SCC1 و SIL-SCC1 این نتیجه را نشان می‌دهد. علت این موضوع را بایستی در اختلاف مقدار نفوذپذیری بخار آب اپوکسی و سیلان-سیلوکسان جستجو نمود. همان طور که نتایج نفوذپذیری بخار آب مشخص است سیلان-سیلوکسان تقریباً نتیجه ای مشابه بتن بدون حفاظت دارد بنابراین اجازه خشک شدن بتن را خواهد داد. اما اپوکسی اجازه تنها ۳۵٪ نمونه شاهد اجازه عبور بخار آب را می‌دهد و آب ورودی اجازه خروج از بتن را تقریباً پیدا نمی‌کند و رطوبت که عامل لازم برای خوردگی می‌باشد درون بتن محبوس می‌شود بنابراین خوردگی آن نسبت به نمونه های حفاظت شده با سیلان-سیلوکسان بیشتر می‌باشد. این نتیجه، گزارشات ارائه شده در تحقیقات پیشین را تایید می‌کند [36-37].

۴- جمع بندی

نتایج این تحقیق گویای این مطلب می‌باشد که استفاده از مواد حفاظت سطحی برای کاهش نرخ خوردگی بسیار موثر است و نیز استفاده از بتن با نسبت آب به سیمان بالاتر موجب تضعیف عملکرد مواد حفاظت سطحی خواهد شد. علاوه بر

- Colloquium "Industrial Floors. 1995.
- 27-Delucchi, M., A. Barbucci, and G. Cerisola, Crack-bridging ability and liquid water permeability of protective coatings for concrete. *Progress in Organic Coatings*, 1998. 33(1): p. 76-82.
- 28-Delucchi, M., et al., Study of the crack-bridging ability of organic coatings for concrete: analysis of the mechanical behaviour of unsupported and supported films. *Progress in organic coatings*, 2002. 44(4): p. 261-269.
- 29-De Muyneck, W., et al., Bacterial carbonate precipitation as an alternative surface treatment for concrete. *Construction and Building Materials*, 2008. 22(5): p. 875-885.
- 30-Fürstner, R., et al., Wetting and self-cleaning properties of artificial superhydrophobic surfaces. *Langmuir*, 2005. 21(3): p. 956-961.
- 31-Ji, T., Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO₂. *Cement and Concrete Research*, 2005. 35(10): p. 1943-1947.
- 32-Alonso, C., et al., Factors controlling cracking of concrete affected by reinforcement corrosion. *Materials and structures*, 1998. 31(7): p. 435-441.
- 33-Gowripalan, N., V. Sirivivatnanon, and C. Lim, Chloride diffusivity of concrete cracked in flexure. *Cement and Concrete Research*, 2000. 30(5): p. 725-730.
- 34-Song, H.-W., et al., Predicting carbonation in early-aged cracked concrete. *Cement and Concrete Research*, 2006. 36(5): p. 979-989.
- 35-Ghodsouzi, P., et al. Study of the polymeric surface protection materials performance on permeability of self-consolidating concrete. *National conference on polymer in construction*, p 133-141. (In Persian)
- 36-Basheer, P., et al., Surface treatments for concrete: assessment methods and reported performance. *Construction and Building Materials*, 1997. 11(7): p. 413-429.
- 37-Safiuddin, M. and K.A. Soudki, Water vapor transmission and waterproofing performance of concrete sealer and coating systems. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2015. 21(7): p. 837-844.
- 14-Smith, M.D., Silane chemical protection of bridge decks, Oklahoma department of transportation. 1986.
- 15-Ghodsouzi, P., A. Raiss Ghasemi, and T. Parhizkar. The effect of concrete quality on performance of surface treatment materials. in Proceedings of the *International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. 2007.
- 16-Self-consolidating concrete instructor, Road, Housing and Development Research Center, Journal No.706 (In Persian).
- 17-Concrete- Compressive strength of specimens- Test method, 1992 (In Persian).
- 18-ASTM, ASTM D7334-08-Standard Practice for Surface Wettability of Coatings, Substrates and Pigments by Advancing Contact Angle Measurement. 2013.
- 19-ASTM, ASTM E96 / E96M-16, Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials, ASTM International, West Conshohocken. 2016.
- 20-ASTM, ASTM C876-15, Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, ASTM International, West Conshohocken,. 2015.
- 21-Song, H.-W. and V. Saraswathy, Corrosion monitoring of reinforced concrete structures-a. *Int. J. Electrochem. Sci*, 2007. 2: p. 1-28.
- 22-Broomfield, J.P., Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair. 2006: CRC Press.
- 23-Dang, Y., et al., Accelerated laboratory evaluation of surface treatments for protecting concrete bridge decks from salt scaling. *Construction and Building Materials*, 2014. 55: p. 128-135.
- 24-Basheer, P., et al. Durability of surface treated concrete. in Protection of Concrete: Proceedings of the *International Conference, University of Dundee*, September 1990. 2003. CRC Press.
- 25-Barbucci, A., M. Delucchi, and G. Cerisola, Organic coatings for concrete protection: liquid water and water vapour permeabilities. *Progress in Organic coatings*, 1997. 30(4): p. 293-297.
- 26-Czarnecki, L. and A. Garbacz. Evaluation of polymer coating-crack-bridging ability. in *International*

Investigation of corrosion parameters relationship of reinforcement by vapor permeability in the surface treated concretes

P. Ghoddousi¹, A. Habibnejad Korayem², A.A. Shirzadi Javid^{*3}, M.A. Oraei⁴, H. Ashegh⁵

1- Associate Prof., School of Civil Eng., Iran University of science and Technology

2- Assistant Prof., School of Civil Eng., Iran University of science and Technology

3- Assistant Prof., School of Civil Eng., Iran University of science and Technology

4- M.Sc. in Construction Engineering and Management, Iran University of science and Technology

5- M.Sc. Student in Construction Engineering and Management, Iran University of science and Technology

* shirzad@iust.ac.ir

Abstract:

The surface protection materials have effective results to prevent concretes from corrosion. Reinforced concrete structures have the potential to be very durable and capable of withstanding a variety of adverse environmental conditions. However, failure in the structures does still occur as a result of premature reinforcement corrosion. There are corrosion protection systems and methods to extend the long-term durability of steel reinforced concrete. For example, application of zinc rich or cement based protective primers to reinforcement, surface protection systems of concrete, Cathodic protection using sacrificial zinc anodes, and conductive anode overlays within an impressed current cathodic protection system. In general, the main duty of surface protection is controlling both physical and chemical damages to concrete in order of preventing or reducing from steel bar corrosion and creating a coat of safekeeping against penetration of chloride ion, carbon dioxide, oxygen, and most importantly water. According to European Norm, three types of protection materials are existed based on function mechanism. Coating, hydrophobic impregnation, and impregnation materials are these systems, and two types of them used in this study. In this study, two materials of surface protection have used on the surface of three types of concrete. Two types of self compacting concrete with different w/c ratio and one ordinary concrete with similar mixture design to one of those SCC were used for estimating of durability of concrete. Epoxy resin and silane-siloxane were two types of surface treatment materials used in this study. SEM analysis and water contact angle test were done to study the function mechanism of surface protection material. The other tests are water vapor permeability, corrosion potential, and corrosion intensity. Some of the results of this study is that using this materials have effective impact on declining of corrosion potential, decreasing of corrosion intensity, and after all increasing durability of concrete. As shown in this paper, all of the protected samples except one, until 49th week did not have a sign of corrosion active phase. Increasing in ratio of W/C in the substrate makes weakness in function of this materials. In the other hand, results of half-cell potential of unprotected samples show SCC2 with 0.55 w/c ratio and NC with 0.45 w/c ratio shift from passive to active state in first days and SCC1 with 0.45 w/c ratio attained its active state in 5 weeks. However once corrosion has started in SCC2-EP in 8 weeks, corrosion rate was lower than unprotected samples. In the presence of surface protection systems, due to their ability to reduce water ingress in concrete, the corrosion intensity in all samples were lower than 0.23 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. The results of water vapor permeability test showed that epoxy can decrease the water vapor permeability up to 65% instead of unprotected concrete. In the meantime, silane-siloxane doesn't have effective results in concrete breathability and have a similar performance to unprotected concrete. The results show using SCC don't have much different effect on quality of the materials function instead of ordinary concrete. Another important result is that protection materials which don't let to enough evaporate, are cause of much corrosion in compare of those that let concrete to breath.

Keywords: Surface protection, Durability of concrete, Corrosion, Concrete breathability.