



مروری بر عملکرد پوشش‌های آلی مختلف در حفاظت از سازه‌های بتنی در برابر حمله عوامل مخرب

هادی جانپور^{۱*}، علی اله وردی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز تحقیقات سیمان، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۳۱۱۴-۱۶۸۴۶

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز تحقیقات سیمان، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۳۱۱۴-۱۶۸۴۶

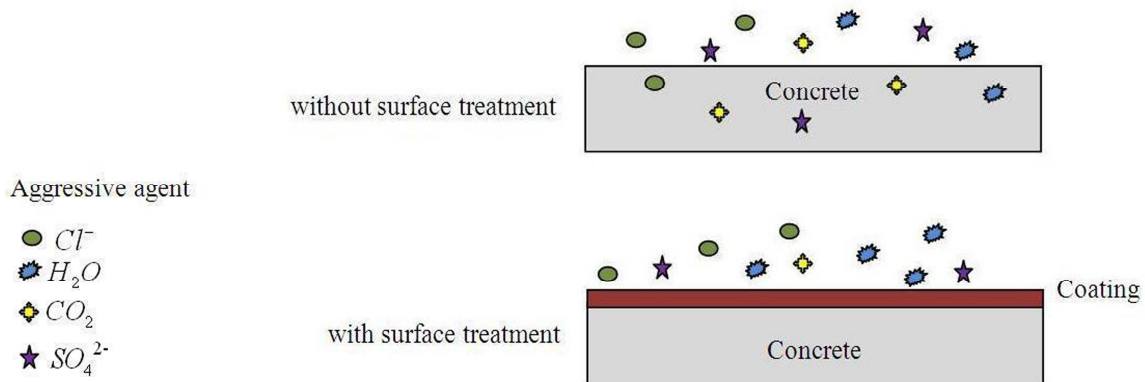
تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۵ بازبینی: ۹۱/۴/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۳۱

چکیده

امروزه ضرورت کاربرد حفاظت مکمل از بتن‌هایی که در معرض محیط‌های مهاجم قرار دارند به خوبی احساس می‌شود. لازمه دستیابی به سازه‌های بتنی با دوام، علاوه بر فرمولاسیون صحیح ترکیبات سازنده بتن متناسب با کاربرد آن، استفاده از روش‌های حفاظتی مناسب جهت جلوگیری از تخریب و فرسایش آن در اثر شرایط نامطلوب محیطی است. یکی از راه‌های افزایش دوام بتن، استفاده از پوشش بر روی سطح بتن است. پوشش‌های سطح با ایجاد یک لایه متراکم بر روی سطح بتن، به طور موثری از نفوذ آب، گاز و یون‌های شیمیایی مخرب به داخل بتن جلوگیری می‌کنند. این امر در کاهش تخریب سازه‌های بتنی و افزایش طول عمر آنها نقش تعیین کننده‌ای دارد. در این مقاله عملکرد پوشش‌های مختلف در حفاظت از سازه‌های بتنی در برابر حمله عوامل مخرب مرور شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد پوشش‌های آلی همچون اپوکسی، پلی یورتانی و آکرلیک عملکرد بهتری در مقابل نفوذ یون کلر، سولفات، گاز دی اکسید کربن و آب در مقایسه با پوشش‌های معدنی و آستری همچون سیلیکات سدیم و سیلان/سیلوکسان دارند.

واژه‌های کلیدی

پوشش سطح، دوام بتن، حفاظت بتن، محیط مخرب.



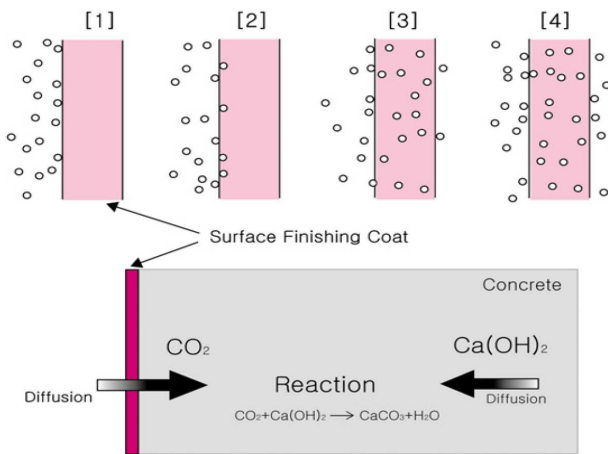
۱- مقدمه

استفاده از پوشش‌های آلی به منظور کاهش فضای خالی^۶ سطح بتن و ایجاد یک لایه متراکم در برابر نفوذ عوامل مخرب در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۲۶-۲۰]. در این مطالعه هدف بررسی تعدادی از کارهای جامع انجام شده در این زمینه است.

۲- آزمون‌های اندازه‌گیری

۱-۲- نفوذ کلرید

برای بررسی میزان نفوذ کلرید پوشش‌های سطح انتخاب شده را، بر روی دو وجه بالایی و پایینی نمونه‌های بتنی استوانه‌ای شکل، به قطر ۷۵ mm و ارتفاع ۵۰ mm اعمال کرده و سطوح جانبی استوانه‌ها را با موم کاملاً عایق می‌کنند. سپس نمونه‌ها را با آب به مدت ۲۲ ساعت اشباع کرده و مطابق روند استاندارد ASTM C 1202/97 در شرایط خلاء قرار می‌دهند. در انتها نمونه‌ها را در دستگاه اندازه‌گیری قابلیت نفوذپذیری کلرید، (شکل ۲) قرار داده و نتایج را ثبت می‌کنند.



شکل ۱- نفوذ دی‌اکسید کربن و کربنات‌یون بتن [۱۳].



شکل ۲- دستگاه اندازه‌گیری قابلیت نفوذپذیری کلرید.

نحوه عملکرد دستگاه به این شرح است که نمونه بتن در میان دو سلول قرار می‌گیرد. سلولی که به قطب مثبت دستگاه متصل است محتوی محلول هیدرواکسید سدیم با غلظت ۰/۳ نرمال و سلولی که به قطب منفی دستگاه

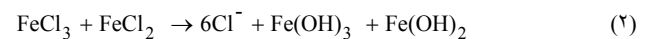
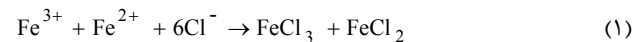
بتن که در ساختمان‌سازی‌های مدرن امروزی نقش اساسی دارد، مخلوطی است از سیمان، شن و خرده سنگ که معمولاً به نسبت ۴:۲:۱ می‌باشد. دوام و استحکام بتن بستگی به مواد تشکیل دهنده آن، نحوه عمل‌آوری بتن و محیط قرار گرفتن آن دارد [۱،۲]. پیشرفت سریع جوامع بشری و به دنبال آن گسترش شهرهای بزرگ باعث افزایش آلودگی محیط زیست، برای مثال آلودگی هوا شده است. سازه‌های بتنی که در چنین محیط‌های آلوده‌ای قرار دارند، در معرض حمله مواد شیمیایی مخرب هستند. این عوامل باعث کاهش دوام این سازه‌ها و همچنین کاهش عمر مفید آنها می‌شوند. اصلی‌ترین عوامل تخریب بتن به ترتیب اهمیت را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم‌بندی کرد [۷-۳]:

۱. خوردگی فلز داخل بتن (آرماتور)^۱

۲. حمله سولفات

۳. حل و شسته شدن اجزای سیمان^۲

یکی از عوامل اصلی تخریب سازه‌های بتنی، خوردگی فلز داخل بتن است. این مشکل در حضور یون کلر و گاز دی‌اکسید کربن شدت می‌یابد. بتنی که در محیط آلوده به کلر قرار دارد سرانجام در معرض نفوذ کلر و خطرات ناشی از آن قرار می‌گیرد [۸-۱۱]. خوردگی به‌واسطه نفوذ کلر یک فرآیند پیوسته است، چون همان‌طور که در واکنش‌های شیمیایی ۱ و ۲ نشان داده شده است یون کلر در واکنش به عنوان کاتالیزور عمل کرده و در حین واکنش مصرف نمی‌شود.



در آبکافت گاز کلر آزاد شده، واکنش خوردگی ادامه پیدا می‌کند [۱۲]. دی‌اکسید کربن موجود در هوا هر چند دارای غلظت کمی (بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ ppm) است، با محصولات هیدراتاسیون^۳ سیمان وارد واکنش می‌شود و قلیایی بودن محیط را کاهش می‌دهد. این روند که در شرایط مساعد به تدریج از سطح باز بتن شروع می‌شود و به‌طرف داخل آن پیش می‌رود کربنات‌یون^۴ نامیده می‌شود. خطر اصلی کربنات‌یون بتن کاهش قلیایی بودن محیط داخل بتن، (تغییر pH از ۱۲/۵ به ۹) و فعال شدن محیط اطراف آرماتورهای فولادی و در نتیجه خورده شدن آنهاست. شکل ۱ نحوه نفوذ دی‌اکسید کربن به داخل بتن و انجام واکنش کربنات‌یون را نشان می‌دهد [۱۳،۱۴]. نوع دیگر تخریب نتیجه حمله سولفات است. یون سولفات با نفوذ در بتن و واکنش با محصولات هیدراتاسیون تولید اترینگات^۵ می‌کند. این واکنش شدیداً با افزایش حجم همراه است. حمله سولفات باعث ایجاد شکاف، پوسته شدن، افزایش نفوذپذیری و کاهش استحکام فشاری بتن می‌شود [۱۷-۱۵]. بنابراین یکی از راه‌های جلوگیری از فرآیند خوردگی آرماتور و کاهش استحکام فشاری بتن ممانعت از نفوذ این عوامل مهاجم به داخل بتن و سطح آرماتور است [۱۹-۴،۱۸].

¹ Rebar

² Concrete deterioration by leaching

³ Hydration

⁴ Carbonation of concrete

⁵ Ettringite

⁶ Pore

میزان استحکام فشاری آنها را مطابق استاندارد ASTM C 109 با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری مقاومت فشاری (شکل ۵) بر حسب MPa به‌دست می‌آورند. در انتها با استفاده از رابطه ۱ میزان کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتن در معرض محلول سولفات را به‌دست می‌آورند.

$$R_c = \frac{C_w - C_s}{C_w} \quad (1)$$

در این رابطه، C_w مقاومت فشاری نمونه‌های قرار داده شده در آب و C_s مقاومت فشاری نمونه‌های در معرض محلول سولفات است [۲۸، ۲۹].

۲-۴- جذب آب

برای بررسی عملکرد پوشش‌ها در مقابل نفوذ آب، مطابق استاندارد ASTM C1585 پوشش‌های انتخاب شده را از تمام جهات بر روی سطح نمونه‌های بتنی استوانه‌ای شکل اعمال و سپس نمونه‌های پوشش داده شده را به دقت وزن می‌کنند. در مرحله بعد نمونه‌ها را درون مخزن آب بر روی یک شبکه فلزی به صورتیکه تنها وجه پایینی همواره در تماس با آب باشد، قرار می‌دهند. در انتها افزایش وزن نمونه‌ها ناشی از جذب آب را در فاصله‌های زمانی متناوب تا مدت زمان معینی ثبت و بر اساس زمان رسم می‌کنند [۱، ۳۰].

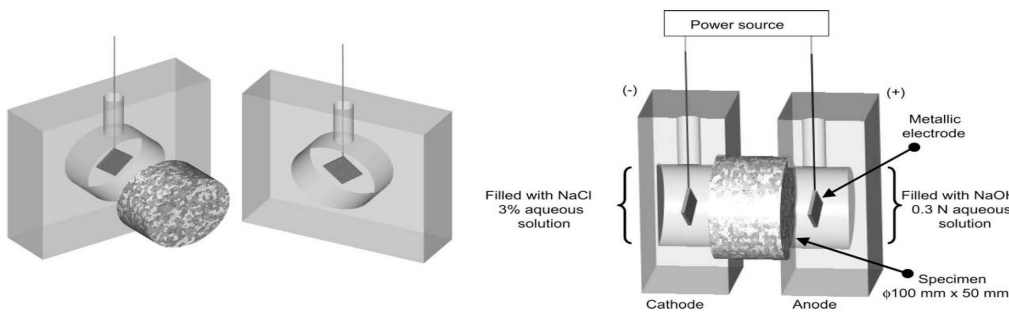
متصل است محتوی کلرید کلسیم با غلظت ۳٪ است. جریانی مستقیم با ولتاژ ۶۰ ولت از سلول‌ها عبور می‌کند. بدین ترتیب هرچه بتن قابلیت نفوذ بالاتری داشته باشد جریان الکتریکی بیشتری از آن عبور می‌کند. شکل ۳ شمای کلی از اجزای اصلی دستگاه و نحوه عملکرد را نشان می‌دهد [۱۲، ۲۷].

۲-۲- کربناسیون

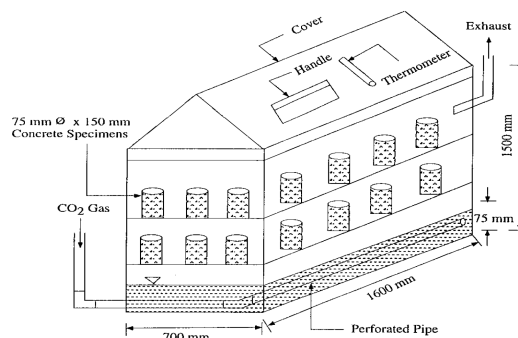
برای بررسی میزان نفوذ دی‌اکسیدکربن در بتن، نمونه‌های بتنی استوانه‌ای را از تمام وجوه با پوشش‌های انتخابی می‌پوشانند. سپس نمونه‌ها را در معرض محیط کربناسیونی تشدید درون اتاقکی در حضور گاز دی‌اکسیدکربن برای مدتی معین قرار می‌دهند. نحوه آماده‌سازی و قرار دادن نمونه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. نمونه‌ها را در پایان هر دوره، از خط تقارن طولی، برش داده و با پاشیدن معرف فتل فتالین و مشاهده تغییر رنگ آن، میزان نفوذ دی‌اکسیدکربن و عمق کربناسیون را تعیین می‌کنند [۲۸].

۲-۳- حمله سولفات

به منظور بررسی عملکرد پوشش‌ها در برابر حمله سولفات، نمونه‌های استوانه‌ای شکل را از تمام وجوه با پوشش‌های انتخابی می‌پوشانند. سپس نیمی از نمونه‌ها را در محلول ۳٪ سولفات سدیم و نیمی دیگر را در آب آشامیدنی قرار می‌دهند. طی یک دوره معین به‌طور متناوب نمونه‌ها را از آب و محلول سولفات بیرون آورده و



شکل ۳- نمای برش خورده اجزای اصلی دستگاه اندازه‌گیری نفوذ کلرید [۱۲]



شکل ۴- اتاقک آزمایش کربناسیون [۲۸]

شده است. برای ساخت نمونه‌های بتنی، از یک نوع سیمان پرتلند برزیلی معادل استاندارد ASTM C 595 استفاده شده است. نسبت اجزای سازنده بتن به این صورت بوده است: ۱ (سیمان پرتلند نوع V): ۱/۸ (سنگدانه ریز): ۲/۷ (سنگدانه درشت). همچنین نسبت آب به سیمان ۰/۵۲ بوده است عمل‌آوری نمونه‌ها در رطوبت ۱۰۰٪ و دمای ۲۴°C طی ۹۰ روز انجام شده است.

۳- نتایج تحقیقات:

۳-۱- نفوذ کلرید

پوشش‌های به‌کار برده شده توسط مدرسو و همکارانش^۱ [۱۲] در جدول ۱ گردآوری

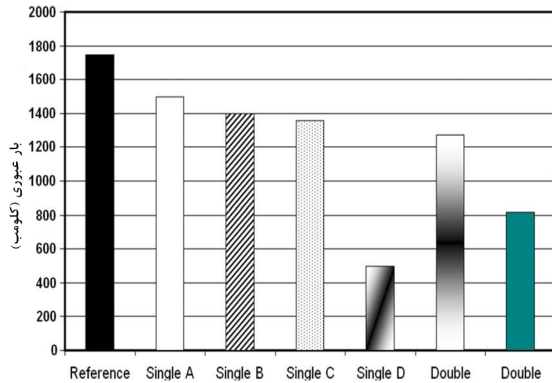
^۱ Medeiros

جدول ۱- پوشش‌های به‌کار رفته برای آزمایش تراوایی کلرید [۱۲].

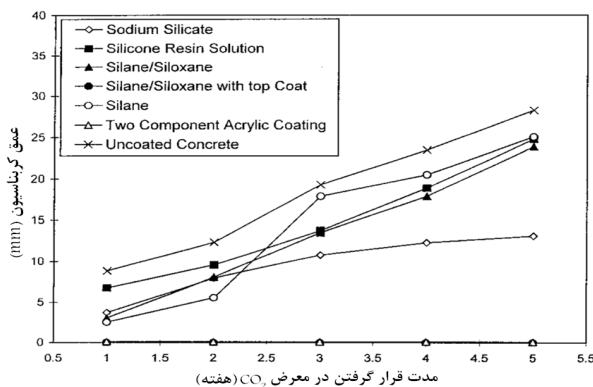
سیستم	محصول
تکی A	سیلان/ سیلوکسان پخش شده در آب (A)
تکی B	سیلان/ سیلوکسان پخش شده در حلال (B)
تکی C	آکرلیک پخش شده در حلال (C)
تکی D	پلی یورتانی (D)
دوتایی A+C	(A+C)
دوتایی B+C	(B+C)



شکل ۵- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت فشاری.



شکل ۶- نمودار بار عبوری از نمونه‌های بتنی با پوشش و بدون پوشش [۱۲].



شکل ۷- نمودار عمق کربناسیون در نمونه‌های بتنی با پوشش و بدون پوشش [۲۸].

جدول ۲- عمق کربناسیون نمونه‌های بتنی پس گذشت از ۵ هفته انجام آزمایش [۲۸].

عمق کربناسیون (mm)	آستری / پوشش
۲۸/۳	نمونه بدون پوشش
۱۳/۱	سیلیکات سدیم
۲۴/۸	محلول رزین سیلیکونی
۲۳/۹	سیلان/ سیلوکسان
۰	سیلان/ سیلوکسان با پوشش رویه آکرلیک
۲۵/۱	سیلان
۰	پوشش آکرلیک

همان‌طور که از نتایج جدول ۲ مشخص است عمق کربناسیون در نمونه‌های بتنی پوشیده با پوشش کمتر از نمونه بتن بدون پوشش است. در این میان عمق کربناسیون

استحکام فشاری نمونه‌ها پس از ۲۸ روز ۳۲ MPa بوده است. میزان بار الکتریکی عبوری از نمونه‌های بتن با پوشش و بدون پوشش در شکل ۶ آمده است. بار عبوری از نمونه‌ها نشان دهنده میزان نفوذپذیری نمونه‌ها در برابر یون کلرید است، بدین معنی که هر چه میزان بار عبوری پایین‌تر باشد، میزان نفوذپذیری کلرید در بتن نیز کمتر خواهد بود. همان‌طور که از نتایج شکل ۶ پیدا است. در مجموع نمونه‌های بتنی با پوشش عملکرد بهتری در مقایسه با نمونه بتن بدون پوشش در برابر نفوذ کلرید دارند. نمونه بتن پوشش داده شده با پوشش پلی یورتانی بهترین کارایی و نمونه بتن بدون پوشش بیشترین نفوذپذیری در برابر کلرید را دارند.

۲-۳- کربناسیون

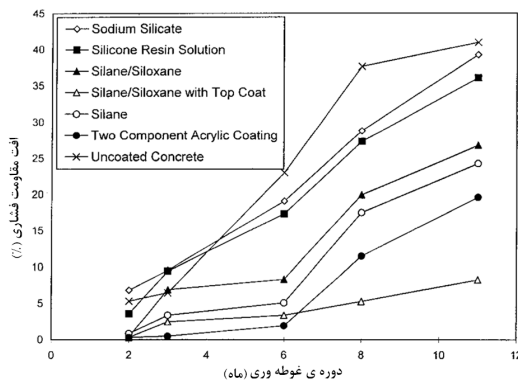
پوشش‌های به‌کار رفته توسط ابراهیم^۱ و همکارانش [۲۸] در زیر آمده است.

- سیلیکات سدیم
- محلول رزین سیلیکونی
- سیلان/ سیلوکسان
- سیلان/ سیلوکسان با پوشش رویه آکرلیک
- آلکیل- آلکوکسی سیلان
- پوشش آکرلیک دو جزئی

نمونه‌های بتنی بصورت استوانه‌سای شکل به قطر ۷۵ mm و ارتفاع ۱۵۰ mm و محتوی 350 kg/m^3 سیمان، نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و نسبت سنگدانه درشت به ریز ۱/۶۳ بوده است. عمل آوری بتن به مدت دو هفته در آب انجام و سپس نمونه‌ها خشک و پوشش‌ها بر روی آنها اعمال شده است. عمق کربناسیون در نمونه‌های بتن پوشش داده شده و بدون پوشش در طی یک دوره ۵ هفته‌ای با گذشت زمان در شکل ۷ آمده است. همچنین در جدول ۲ عمق کربناسیون پس از پایان ۵ هفته آمده است. همان‌طور که از شکل ۷ پیدا است در تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان عمق کربناسیون افزایش یافته است ولی میزان این افزایش در نمونه بتن بدون پوشش بیشتر بوده است.

^۱ Ibrahim

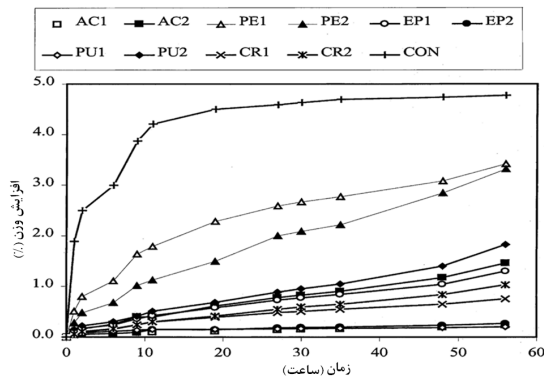
افزایش وزن بوده‌ایم که این میزان برای نمونه بتن بدون پوشش در مقایسه با سایر نمونه‌ها بیشتر بوده است. اعداد جدول ۵ نشان می‌دهد پوشش‌های مشابه از شرکت‌های مختلف، عملکرد متفاوتی در کاهش میزان نفوذ آب داشته‌اند و صرف نام یک پوشش نمی‌توان به کارآیی خوب آن اعتماد کرد ولی در مجموع می‌توان گفت که پوشش‌های اپوکسی، آکریلیک و پلی یورتان بهترین عملکرد را در جلوگیری از نفوذ آب به بتن دارند و پوشش پلیمری امولسیون کمترین کارآیی را دارد.



شکل ۸- کاهش استحکام فشاری نمونه‌های بتنی در معرض محلول سولفات [۲۸].

جدول ۴- افزایش وزن نمونه‌های معلق در آب پس از گذشت ۵۶ ساعت [۳۱].

پوشش‌ها	افزایش وزن (%)
پوشش آکریلیک، AC _۱	۰/۲۳
پوشش آکریلیک، AC _۲	۱/۴۶
پوشش پلیمری امولسیونی، PE _۱	۳/۴۲
پوشش پلیمری امولسیونی، PE _۲	۳/۳۲
پوشش اپوکسی، EP _۱	۱/۳۰
پوشش اپوکسی، EP _۲	۰/۲۷
پوشش پلی یورتانی، PU _۱	۰/۳۱
پوشش پلی یورتانی، PU _۲	۱/۸۳
پوشش لاستیک کلردار شده، CR _۱	۰/۷۶
پوشش لاستیک کلردار شده، CR _۲	۱/۰۴
بدون پوشش، CON	۴/۷۸



شکل ۹- افزایش وزن نمونه‌های بتنی ناشی از جذب آب [۳۱].

در نمونه‌های بتنی با پوشش آکریلیکی و سیلان/سیلوکسانی در پایان پنجمین هفته صفر است و بهترین عملکرد را در مقایسه با پوشش‌های دیگر داشته‌اند.

جدول ۳- میزان کاهش مقاومت فشاری برای نمونه‌های بتنی در معرض محلول سولفات بعد از گذشت ۳۳۰ روز [۲۸]

کاهش استحکام فشاری	آستری/پوشش
۴۱	نمونه بدون پوشش
۳۹/۳	سیلیکات سدیم
۳۶/۱	محلول رزین سیلیکونی
۲۶/۸	سیلان/سیلوکسان
۸/۳	سیلان/سیلوکسان با پوشش رویه آکریلیک
۲۴/۳	سیلان
۱۹/۶۳	پوشش آکریلیک

۳-۳- حمله سولفات

روند کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی با پوشش‌های به کار رفته توسط ابراهیم و همکارانش [۲۸] با گذشت زمان در شکل ۸ نشان داده شده است. میزان کاهش استحکام فشاری نیز پس از پایان یازده هفته در جدول ۳ آمده است. همان‌طور که از نتایج شکل ۸ مشخص است در تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان مقاومت فشاری بتن کاهش می‌یابد و این کاهش برای نمونه بتنی بدون پوشش بیشتر است.

در مجموع می‌توان گفت نمونه بتن پوشیده با لایه آستری سیلان/سیلوکسان و پوشش رویه آکریلیک بهترین عملکرد را در کاهش مقاومت فشاری بتن به واسطه کاهش نفوذ سولفات داشته است.

۴-۳- جذب آب

پوشش‌های به کار رفته توسط ال موسلام و همکارانش^۱ در زیر آمده است [۳۱].

- پوشش آکریلیک، AC
- پوشش پلیمری امولسیونی، PE
- پوشش اپوکسی، EP
- پوشش پلی یورتان، PU
- پوشش لاستیک کلردار شده، CR

وی برای بررسی تاثیر پوشش‌های مشابه تولید شده توسط شرکت‌های متفاوت از هر نوع پوشش دو نمونه متفاوت انتخاب کرده‌اند و برای تهیه نمونه‌های بتنی از سیمان پرتلند نوع V مطابق استاندارد ASTM C 150 استفاده شد. نمونه‌ها محتوی 370 kg/m^3 سیمان و نسبت آب به سیمان 0.45 و سنگدانه‌های درشت 62% کل سنگدانه‌ها و مابقی ماسه بوده است. برای عمل آوری مناسب، نمونه‌ها را در دمای 25°C و رطوبت 100% به مدت ۲۸ روز نگهداری شد. روند افزایش وزن نمونه‌ها با گذشت زمان در شکل ۹ آمده است. وزن کل افزایش یافته برای نمونه‌های پوشش‌دار و بدون پوشش بعد از ۵۶ ساعت در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که از نتایج شکل ۹ مشخص است در تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان شاهد

^۱ Almusallam

۴- نتیجه‌گیری

است. نمونه بتن پوشیده با پوشش آکرلیک پس از یازده هفته، بیش از دو برابر استحکام فشاری بالاتری در مقایسه با بتن بدون پوشش داشته‌اند. همچنین عمق نفوذ دی‌اکسیدکربن در آن پس از ۵ هفته حدوداً صفر بوده در حالیکه این میزان برای بتن بدون پوشش بسیار بالاتر بوده است. نمونه‌های بتنی با پوشش‌های پلی یورتانی، آکرلیک و اپوکسی کمترین درصد افزایش وزن، را در مقایسه با بتن بدون پوشش به‌واسطه جذب آب داشته‌اند.

در مجموع استفاده از پوشش بر روی سطح نمونه‌های بتنی باعث افزایش عمر و بهبود عملکرد آنها در مقایسه با نمونه‌های بدون حفاظ شده است پوشش‌های سیلان/سیلوکسان و آکرلیک تاثیر چندانی نداشته‌اند، به‌طور خاص پوشش پلی یورتانی در برابر نفوذ کلر عملکرد بسیار مناسبی داشته در حالیکه، در این رابطه کمترین بار الکتریکی عبوری مربوط به نمونه بتن پوشیده با پلی یورتانی بوده و بیشترین میزان مربوط به بتن بدون پوشش

۱۲- مراجع

- J. Castro, D. Bentz, J. Weiss, "Effect of sample conditioning on the water absorption of concrete", *Cem. Concr. Compo.*, 33, 805-813, **2011**.
- M. P. Rodrigues, M. R. Costa, A. M. Mendes, "Effectiveness of surface coatings to protect reinforced concrete in marine environments", *Mater. Struct.*, 33, 618-626, **2000**.
- M. Maslehuddin, M. Mehthel, M. Shameem, M. Ibrahim "Performance evaluation of repair systems under varying exposure conditions", *Cement & Concrete Composites*, .27, 885-897, **2005**.
- R. Bassi, S. K. Roy, "Handbook of Coatings for Concrete", 2nd ed, USA, Jon Wiley & sons, **2002**.
- H. Young, D. G. Shin, D. S. Choi, "Evaluation of the durability of mortar and concrete applied with inorganic coating material and surface treatment system", *Constr. Build. Mater.*, 21, 362-369, **2007**.
- M. Shekarchi, F. Moradi, F. Pargar, "Study on corrosion damage of a reinforced concrete jetty structure in coastal region of Persian Gulf a case study", *J. Struct. Infrastruct Eng.*, 2, 1-13, **2009**.
- J. Liu, D. H. Deng, T. L. Zhao, "A review on measures for prolonging the service life of marine concrete construction", *Corros. Protec.*, 29, 329-333, **2008**.
- R. N. Swamy, S. Tanikawa, "An external surface coating to protect concrete and steel from aggressive environments", *Mater. Struct.*, 26, 465-478, **1993**.
- U. Angst, B. Elsener, C. K. Larsen, "Critical chloride content in reinforced concrete - A review", *Cem. Concr. Res.*, 39, 1122-1138, **2009**.
- M. H. Medeiros, "Contribution to the durability study of surface treated concrete exposed to chloride ions action. Doctoral Thesis", Department of Civil Engineering, School of Engineering, University of São Paulo, Brazil, **2008**.
- F. Bolzoni, M. Ormellose, A. Brenna, "Efficiency of concrete coatings on chloride-induced corrosion of reinforced concrete structures", *NACE- International Corrosion Conference Series*, 33, 25-31, **2011**.
- M. H. Medeiros, P. Heleneb, "Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption", *Constr. Build. Mater.*, 23, 1476-1484, **2009**.
- D. C. Park, "Carbonation of concrete in relation to CO₂ permeability and degradation of coatings", *Constr. Build. Mater.*, 22, 473-481, **2008**.
- P. A. Basheer, D. J. Cleland, A. E. Long, "Surface treatments for concrete: assessment methods and reported performance", *Constr. Build. Mater.*, .1, 413-429, **1997**.
- A. H. Nielsen, J. Iertsen, H. S. Jensen, T. W. Andersen. "Influence of pipe material and surfaces on sulfide related odor and corrosion in sewers" *Water Res.*, 42, 4206-4214, **2008**.
- M. Maslehuddin, H. Saricimen, A. Mana, M. Shamim, "Performance of concrete in a high-chloride sulfate environment", *ACI SP*, .122, 469-94, **1990**.
- O. B. Al-Amoudi, M. Maslchucludin, "The effect of chloride and sulfate ion on reinforcement corrosion", *Cem. Concr. Res.*, 12, 139-146, **1993**.
- Z. Kamaitis, "Modeling of corrosion protection for reinforced concrete structures with surface coatings", *J. Civ. Eng. Manage.*, 14, 241-249, **2009**.
- M. Maslehuddin, "Concrete durability the Persian Gulf experience", Ph. D. thesis, Research Institute King Fahd University of Petroleum and Minerals Dhahran, Saudi Arabia, **1999**.
- S. MortezaNia, F. Othman, "Cost analysis of pipes for application in sewage systems", *Mater. Des.*, 33, 356-361, **2012**.
- C. Vipulanandan, J. Liu, "Performance of polyurethane-coated concrete in sewer environment", *Cem. Concr. Res.*, 35, 1754-1763, **2005**.
- T. Zafeiropoulou, E. Rakanta, G. Batis, "Performance evaluation of organic coatings against corrosion in reinforced cement mortars" *Prog. Org. Coat.*, 72, 175-180, **2011**.
- M. Khanzadeh, M. Shekarchi, M. Hoseini, "Time-dependent performance of concrete surface coatings in tidal zone of marine environment", *Constr. Build. Mater.*, 30, 198-205, **2012**.
- J. B. Aguiar, A. Camões, P. M. Moreira, "Coatings for concrete protection against aggressive environments", *J. Adv. Concr. Technol.*, 6, 243-250, **2008**.
- Y. Watanabe, S. Aramaki, Y. Matsuda, T. Yamada, "Evaluation of concrete surface coating method applied to san-yo shinkansen rc structures", *Zairyo/Journal of the Society of Materials Science, Japan* . 58, 691-696, **2009**.
- J. Aguiar, P. Moreira, Lukowski, P. Czarnecki, "Ranking procedure for polymeric coatings and hydrophobic agents for concrete protection", *Restor. Build. Monuments*, .13, 251-264, **2007**.
- Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration, "ASTM C 1202 - 97", American Society for Testing and Materials, USA, **1997**.
- M. Ibrahim, A. S. Al-Gahtani, M. Maslehuddin, "Use of surface treatment materials to improve concrete durability", *ACI Mater J*, 2, 36-40, **1999**.
- Standard Method for Determining Compressive Strength of Hydraulic Mortars, "ASTM Designation C 109", American Society for Testing and Materials, **1999**.
- Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes, "ASTM C1585", American Society for Testing and Materials, **2004**.
- A. A. Almusallam, F. M. Khan, S. U. Dulaijan, O. S. B. Al-Amoudi, "Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability", *Cem. Concr. Compos.*, 25, 473-481, **2003**.