

بررسی عملکرد نانوعایق پایه سیلانی بر روی بتن

کدمقاله: E-159

معصومه افشار^۱، پویا شکیبای^۲

^۱مدیر فنی آزمایشگاه، مجتمع تحقیقاتی - تولیدی ایران فریمکو

afshar_ma@yahoo.com ,

^۲مدیر کنترل کیفیت و تحقیق و توسعه، مجتمع تحقیقاتی - تولیدی ایران فریمکو

pouyashakiba82@gmail.com

در این پژوهش تاثیر استفاده از نوعی نانوعایق رطوبتی پایه سیلانی بنام زایکوسیل بر روی خواص مختلف بتن بررسی شده است. فیلم نازکی از نانو زایکوسیل بر روی نمونه‌های مختلف اسپری شده و پس از انجام آزمایش‌های جذب آب، نفوذپذیری، مقاومت در برابر شرایط جوی و مقاومت در برابر سایش نتایج حاصل با نمونه‌های شاهد مقایسه شد. تغییرات ساختاری و میکروسکوپی حاصل از کاربرد نانوزایکوسیل نیز به کمک تصاویر SEM و طیف EDS بررسی شد. طبق نتایج، زایکوسیل میزان نفوذپذیری آب در بتن را تا ۸۵ درصد و میزان جذب آب را نیز تا ۹۳ درصد کاهش داد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی شرایط جوی نیز افزایش مقاومت بتن دارای زایکوسیل را در برابر آثار مخرب اشعه خورشید و تغییر دمای تا ۹۰ درصد نشان داد. طبق بررسی‌های میکروسکوپی نیز نانوزایکوسیل با نفوذ کامل در خلل و فرج و واکنش با ساختار سطح بتن سد رطوبتی یکنواختی را در بتن ایجاد می‌کند که همین عامل طول عمر و عملکرد آن را افزایش می‌دهد.

واژه های کلیدی: نانوعایق، زایکوسیل، بتن، نفوذپذیری، جذب آب، دوام

Investigation on performance of nano silane -based sealer onto concrete

In this study it was been investigated the effect of nano silane-based sealer named Zycosil on the concrete. Thin film of nano zycosil was sprayed on the specimens and after that various tests such as water absorption, penetration of water, UV stability and abrasion strength was accomplished. Then test results were compared with results of control samples. Microscopic and structural changes due to application of nano zycosil were studied by SEM images and EDS spectra. According to results zycosil decreased the penetration of water in the concrete to 85 percent and the water absorption to 93 percent. Derived results from simulation of aeration indicated the 90 percent increase in UV stability. According to microscopic investigations zycosil accused a humidity dam with complete penetration inside of porosities.

Keywords: nano sealer, Zycosil , Concrete, penetration, water absorption, Stability

مصالح ساختمانی سیمانی به ویژه بتن، دچار واکنش‌های شیمیایی مخربی می‌شوند. در برخی از این واکنش‌ها آب واکنش دهنده است، ولی در بیشتر واکنش‌ها آب نقش حلال و واسطه واکنش را ایفا می‌کند. این مصالح را می‌توان در مقابل نفوذ آب با استفاده از تکنولوژی‌های مختلف، محافظت کرد. انتخاب روش مناسب که محافظتی طولانی مدت ایجاد کند؛ از اهمیت خاصی برخوردار است. در حال حاضر استفاده از لایه‌های پوششی بسیار متداول است. با این وجود به علت عوامل جوی و قرار گرفتن در معرض اشعه فرابنفش، محصولات پوششی عمر کوتاهی داشته و نیازمند تعمیرات دوره‌ای هستند [۱].

نیاز به یافتن راه‌حلی برای ارتقای کیفیت و کارایی مصالح بتنی، موجب روی آوردن این صنعت به فناوری‌های نوین شده است. یکی از مطرح‌ترین فناوری‌های نوین در قرن حاضر نانوفناوری است که استفاده از آن در راستای برطرف کردن نیازهای صنعت بتن و ساختمان می‌تواند راهگشا باشد [۲]. نانو فناوری توانایی ساخت، کنترل و استفاده مواد در ابعاد نانومتری است. اندازه ذرات در نانوفناوری بسیار مهم است، زیرا در مقیاس نانویی، ابعاد ماده در خصوصیات آن بسیار تأثیرگذار است و خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تک تک اتم‌ها و مولکول‌ها با خواص مواد در حالت بزرگتر و توده‌ای متفاوت است [۳].

با توجه به نوپا بودن فناوری نانو، هر سال کاربردهای جدیدی از آن در صنعت ساختمان معرفی می‌شود. یکی از این محصولات نوعی نانوعایق رطوبتی است که تحت عنوان زایکو سیل^۱ به عنوان "ضد آب ساز محلول در آب" معرفی شده که جزئی محصولات ارگانو سیلان^۲ و سازگار با محیط زیست است. این محصول به عنوان عایق رطوبتی هوشمند که اجازه تنفس را به بتن می‌دهد؛ نیز شناخته شده است [۴]. پیوند شیمیایی زایکوسیل، قابلیت تنفس سازه را حفظ کرده و باعث پوسته شدن رنگ نمی‌شود. زایکوسیل به دلیل واکنشی بودن و تشکیل پیوند شیمیایی با مصالح ساختمانی معدنی، در اثر بارش مداوم شسته نمی‌شود، در برابر اشعه فرابنفش مقاوم و غیر قابل اشتعال است. از سوی دیگر میزان مواد آلی فرار موجود در آن ۸۰ درصد نسبت به فناوری‌های مشابه در هر متر مربع کمتر است. از دیدگاه اقتصادی این نکته قابل توجه است که مواد ضد آب که از نانوذرات ساخته می‌شوند؛ با نفوذ مناسب در مواد، محافظت طولانی مدتی را برای سطوح ایجاد می‌کنند [۵] به گونه‌ای که اندازه نانو زایکوسیل باعث نفوذ عمیق و واکنش آن با سطح شده و سطح را آب‌گریز می‌کند. در نتیجه باعث محافظتی طولانی مدت بیش از بیست سال در برابر صدمات ساختاری و ظاهری ناشی از جذب آب مانند شوره زدگی، یخ زدگی، رشد قارچ و کپک و ... می‌شود؛ در حالیکه عمر مفید سایر پوشش‌ها بین ۵-۲ سال گزارش شده است [۴ و ۱].

در حال حاضر، صنعت بتن با طیف گسترده‌ای از افزودنی و پوشش‌های محافظتی روبرو است که اغلب آنها به لحاظ ترکیب و عملکرد شبیه یکدیگر بوده و تفاوت عمده آنها در نام تجاری‌شان می‌باشد. در حالیکه زایکوسیل به عنوان محصول یک فناوری نوین، ویژگی‌های متفاوتی را به همراه دارد. بر همین اساس در این پژوهش تلاش شد تا تأثیر زایکوسیل بر روی بتن در مقیاس آزمایشگاهی بررسی شود تا با مشخص شدن جزئیات بیشتری از ویژگی‌های آن، بتوان کاربرد این محصول را در صنعت بتن ارتقا داد.

۲- مواد و روش‌های آزمایش

۲-۱- مواد و مصالح مصرفی

نمونه زایکوسیل مورد استفاده در آزمایش‌ها از شرکت اکسیر شرق تهیه شد. به منظور بررسی اندازه ذرات تشکیل دهنده زایکوسیل ابتدا بررسی توزیع ابعادی ذرات در محیط آبی با استفاده از دستگاه (PSA)^۳ در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی انجام شد. که طبق نتایج این تست، بخش قابل توجهی از ذرات تشکیل دهنده زایکوسیل در محدوده ابعادی ۲۰-۴۰ نانومتر قرار دارند.

جهت ساخت نمونه‌های بتن نیز از سیمان آبیک تیپ ۲ و سنگدانه‌های تولید شده در واحد معدن مجتمع تحقیقاتی - تولیدی ایران فریمکو استفاده شد. دانه‌بندی سنگدانه‌های مورد استفاده بصورت جدول (۱) بوده است. جهت تنظیم روانی نیز از فوق روانساز پایه کربوکسیلاتی نوع sbp10 محصول شرکت بتن پایدار ایرانیان استفاده شد.

¹ Zycosil

² Organo Silane

³ Particle Size Analyzer

جدول (۱) دانه بندی سنگدانه‌های مورد استفاده در ساخت نمونه های بتنی

درشت دانه		ریز دانه	
درصد عبوری از الک (%)	اندازه الک (mm)	درصد عبوری از الک (%)	اندازه الک (mm)
۱۰۰	۲۵	۶۶	۲/۳۶
۸۴	۱۹	۳۳	۱/۱۸
۳۹	۱۲/۵	۱۶	۰/۶
۱۴	۹/۵	۶	۰/۳
۴	۴/۷۵	۱	۰/۱۵

۲-۲- آماده سازی نمونه‌ها

طبق توصیه شرکت سازنده و با بررسی پژوهش‌های مشابه ۲۵ میلی‌لیتر از نمونه زایکوسیل خریداری شده با ۲۵۰ میلی‌لیتر آب با نسبت ۱ به ۱۰ رقیق شده [۵-۷] و ۴۸ ساعت قبل از انجام آزمایش‌های نفوذپذیری، جذب آب، مقاومت در برابر سایش و عوامل جوی و آنالیز میکروسکوپی بر روی نمونه‌های مورد نظر اسپری شد.

برای آماده‌سازی نمونه‌های بتنی با شرایط یکسان، بتن با طرح اختلاط مطابق جدول (۲) در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شد و سپس نمونه‌های مورد نیاز جهت انجام آزمایش‌ها طبق جدول (۳) تهیه شد.

جدول (۲) طرح اختلاط بتن ساخته شده برای هر متر مکعب

سیمان (kg)	ماسه (kg)	شن (kg)	فوق روانساز	نسبت آب به سیمان
۳۵۰	۱۲۰۰	۶۰۰	۰/۵ درصد وزنی سیمان	۰,۴۲

جدول (۳) ابعاد و تعداد نمونه‌های آماده سازی شده جهت انجام آزمایش‌ها

ردیف	ابعاد نمونه (cm)	تعداد نمونه	نوع آزمون	توضیحات
۱	۱۵*۱۵*۱۵	۶	نفوذپذیری	
۲	۱۰*۱۰*۱۰	۲	جذب آب	
۳	۲۰*۲۰*۶	۱۶	مقاومت در برابر سایش	
۴	۱۰*۱۰*۲	۲	آنالیز میکروسکوپی	به ابعاد ۱*۱*۱ cm برش داده شد.
۵	۲۰*۲۰*۴	۲	مقاومت در برابر شرایط جوی	به ابعاد ۴*۷*۱۰ cm برش داده شد.

۲-۳- آزمایش تعیین عمق نفوذپذیری

برای بررسی تاثیر زایکوسیل بر میزان نفوذ آب در بتن روش آزمون ارایه شده طبق استاندارد ISIRI 1608-8 در محل آزمایشگاه صنعت شیمی ساختمان اجرا شد. همانطور که در جدول (۳) ذکر شده است؛ برای انجام این آزمون تعداد ۶ عدد نمونه مکعبی با ابعاد ۱۵ سانتی-متر تهیه شد. پس از طی دوره ۲۸ روزه، محلول زایکوسیل آماده‌سازی شده بر روی سطوح سه آزمون اسپری شد. سه آزمون باقی مانده نیز بعنوان نمونه‌های کنترلی در نظر گرفته شد. هر ۶ نمونه پس از ارسال به محل آزمایشگاه، مورد آزمایش نفوذپذیری تحت فشار آب قرار گرفته و بیشترین میزان نفوذ آب پس از دو نیم کردن نمونه‌ها بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد که نتایج آن در بخش نتایج و یافته‌ها بررسی شده است.

۲-۴- آزمایش جذب آب

به منظور بررسی تاثیر زایکو سیل بر میزان جذب آب بتن، مطابق استاندارد ASTM D6489 عمل شد. با این تفاوت که به دلیل عدم امکان مغزه‌گیری، نمونه‌های مکعبی ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی‌متر تهیه شد. محلول زایکو سیل بر روی سطوح یکی از آزمون‌ها اسپری شد و

آزمونه دوم بعنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد.

نمونه‌ها پس از اندازه‌گیری و ثبت وزن اولیه، داخل سبد مشبک فلزی بمدت ۴۸ ساعت در حوضچه حاوی آب بصورت غوطه ور قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها از آب خارج شده و سطح آنها با یک دستمال حوله‌ای خشک شد. وزن نهایی نمونه‌ها دوباره اندازه‌گیری و ثبت شد. میزان جذب آب نمونه‌ها از رابطه (۱) محاسبه شد که در آن W_1 جرم خشک اولیه و W_2 جرم نهایی نمونه‌ها در حالت اشباع می‌باشد [۸].

$$W_a = 100 (W_2 - W_1) / W_1 \quad (1)$$

برای مقایسه سرعت جذب آب در نمونه‌ها نیز از روش آزمایش لوله رایلم الگو برداری شد. قسمت انتهایی یک استوانه مدرج پلاستیکی به قطر مشخص سوراخ شد. سپس این لوله بوسیله چسب آکوارיום بر روی سطح یک نمونه دارای زایکوسیل به گونه‌ای چسبانده شد که احتمال هیچ‌گونه نشتی وجود نداشته باشد. مقداری آب با حجم مشخص داخل لوله ریخته شد و بمدت ۲۴ ساعت باقی ماند. برای به حداقل رساندن تاثیر هرگونه تبخیر سطحی و جزیبی نیز قسمت فوقانی لوله با درپوش پلاستیکی بسته شد. در طی این ۲۴ ساعت هیچ تغییری در ارتفاع آب موجود در لوله مشاهده نشد که نشان دهنده عدم جذب آب در طی ۲۴ ساعت بود. همین آزمایش بر روی نمونه کنترلی بدون زایکوسیل نیز انجام شد که پس از ۲۴ ساعت، حجم آب موجود در لوله به مقدار ۳ میلی‌لیتر افت داشت [۹].

۲-۵- آزمایش پایداری در برابر شرایط جوی

برای بررسی میزان پایداری نانوزایکوسیل در برابر شرایط جوی، روش آزمون ارایه شده طبق استاندارد ASTM D5071 در محل آزمایشگاه نیکان اکسیر آزما اجرا شد. برای سنجش دقیق وضعیت پایداری زایکوسیل در این آزمایش، محلول زایکوسیل بر روی نمونه‌های رنگی اعمال شد تا امکان انجام اندازه‌گیری دقیق توسط دستگاه کالری‌متر وجود داشته باشد. دو نمونه کفپوش بتنی قرمز رنگ به ابعاد $4 * 20 * 20$ سانتی‌متر تهیه و قبل از ارسال به آزمایشگاه به ابعاد $4 * 7 * 10$ برش داده شد. سپس محلول زایکوسیل بر روی یکی از نمونه‌ها اسپری شد. نمونه دوم نیز بعنوان نمونه شاهد بدون زایکوسیل باقی ماند. هر دو نمونه پس از ارسال به آزمایشگاه توسط دستگاه کالری‌متر مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و سه پارمتر رنگ سنجی a, b, I تعیین و ثبت شد. پس از تعیین پارامترهای اولیه، نمونه‌ها در کابین شرایط جوی به مدت ۱۵ ساعت تحت تابش مستقیم اشعه UV با دمای $70^{\circ}C$ و رطوبت 50% قرار گرفتند. پس از اتمام زمان ۱۵ ساعت، نمونه‌ها دوباره مورد آزمون کالری‌متری قرار گرفته و سه پارمتر رنگ سنجی a, b, I در حالت دوم اندازه‌گیری و ثبت شد. نتایج این بخش نیز در قسمت یافته‌ها بررسی شده است [۱۰].

۲-۶- آزمایش مقاومت در برابر سایش

همواره احتمال تخریب پوشش دهنده‌های مختلف بر اثر سایش وجود دارد که این احتمال در مورد پوشش‌های مورد استفاده در کف بیشتر است. به منظور بررسی میزان مقاومت نانوزایکوسیل در برابر سایش، تعداد ۱۶ عدد نمونه کفپوش بتنی به ابعاد $6 * 20 * 20$ سانتی-متر با الگوبرداری از استاندارد ISIRI755 و به روش چرخ عریض مورد آزمایش سایش قرار گرفته و طول سایش آنها اندازه‌گیری شد. این نتایج نیز در بخش نتایج و یافته‌ها ارایه شده است.

۲-۷- آنالیز میکروسکوپی

به منظور بررسی نحوه تاثیر زایکوسیل بر ساختار بتن، تصاویری از نمونه دارای زایکوسیل و نمونه بدون زایکوسیل توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی^۴ (SEM) در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معنی ایران تهیه و بررسی شد. ضمن اینکه به منظور اطلاع از ساختار داخلی نمونه‌ها، نمودار مربوط به طیف (EDS) نمونه‌ها نیز تهیه شد. روش EDS که تحت عنوان "میکروآنالیز به روش تفکیک انرژی" شناخته می‌شود؛ جزو تکنیک‌های پرتوی الکترونی است که در آن آنالیز مواد توسط تابش پرتوهای الکترونی به جسم انجام می‌شود. با برخورد یک باریکه الکترونی به نمونه، مجموعه‌ای از سیگنال‌های مختلف مانند پرتوی ایکس، نورمرئی یا ماوراءبنفش تولید می‌شوند که با آنالیز این سیگنال‌ها می‌توان اطلاعات مفیدی درباره ترکیب شیمیایی و اجزای سازنده مواد به دست آورد [۱۱]. تصاویر و نمودارهای حاصل از این آنالیزها در قسمت نتایج و یافته‌ها مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

۳- نتایج و یافته‌ها

۳-۱- نتایج نفوذپذیری و جذب آب

⁴ Scanning Electron Microscope (SEM)

⁵ Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

عمق نفوذ پذیری نمونه‌های شاهد و نمونه های حاوی زایکوسیل بصورت جدول (۴) گزارش شد. همانطور که از نتایج این جدول مشخص

جدول (۴) - میزان نفوذ آب در نمونه‌های بتن

کد نمونه	عمق نفوذ (mm)	
	نمونه دارای زایکوسیل	نمونه شاهد
IFC-1	بدون نفوذ	۱۸
IFC-2	۴	۲۰
IFC-3	۵	۲۰

در نمونه اول، زایکوسیل میزان نفوذ آب را ۱۰۰ درصد و در نمونه دوم تا ۸۰ درصد، در نمونه سوم تا ۷۵ درصد و بطور میانگین تا ۸۵ درصد کاهش داده است.

نتایج اندازه‌گیری و محاسبات آزمایش جذب آب نیز نشان داد که جذب آب نمونه دارای زایکوسیل به میزان ۰/۴۶ درصد و جذب آب نمونه شاهد نیز به میزان ۶/۵ درصد بود. بر طبق این نتایج، نانوزایکوسیل میزان جذب آب بتن را تا ۹۳ درصد کاهش داده است.

۳-۲- نتایج پایداری در برابر شرایط جوی

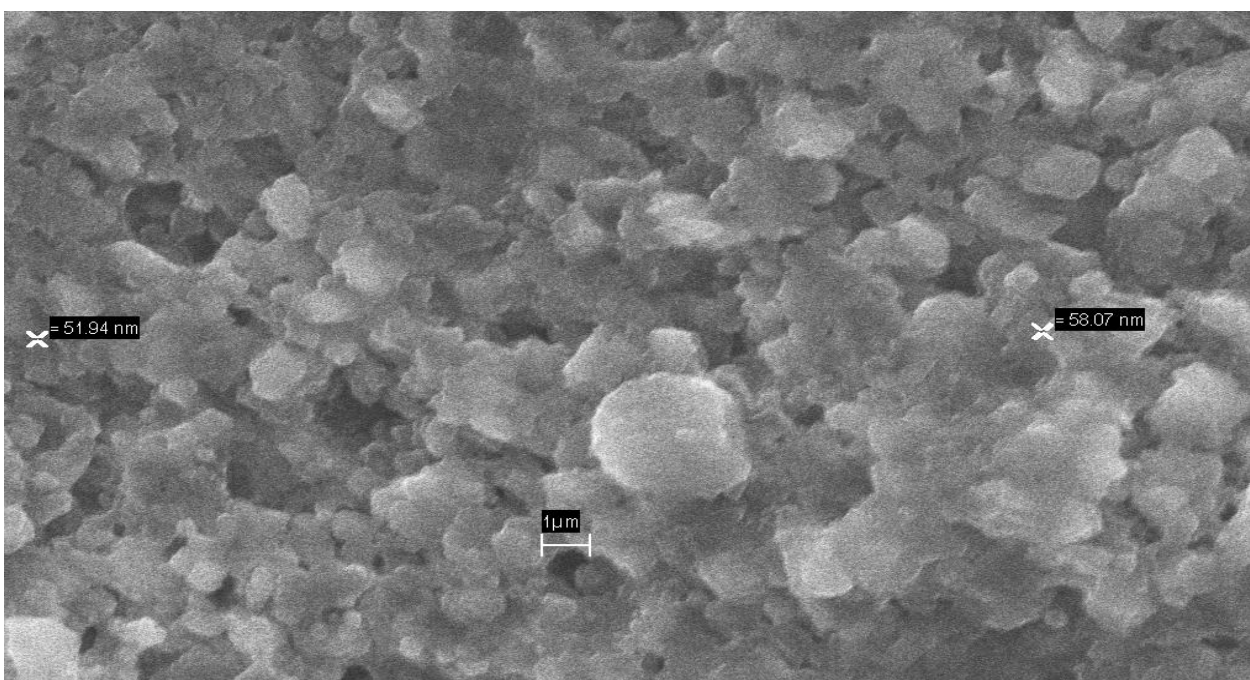
برای مقایسه و بررسی میزان پایداری نمونه‌ها در برابر شرایط جوی و تابش اشعه UV از رابطه (۲) استفاده شد که در این رابطه

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2} \quad (2)$$

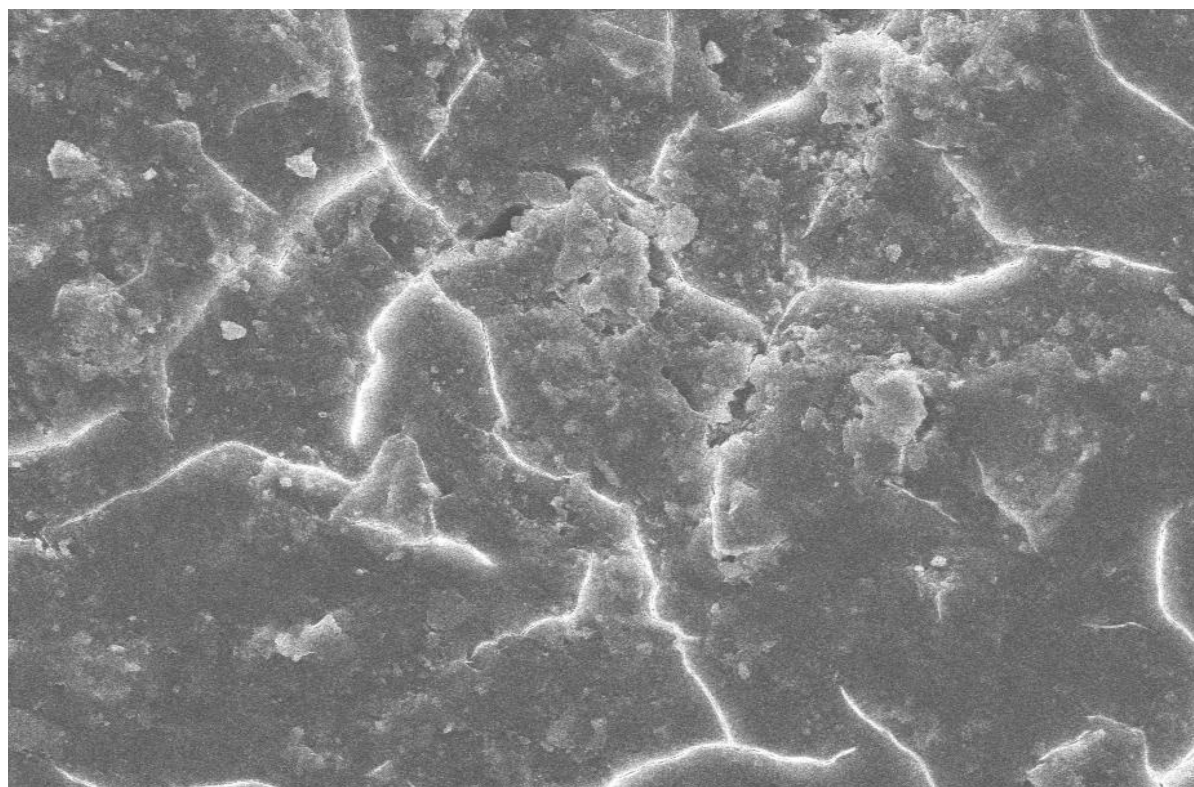
پارامترهای L , a , b به ترتیب اعداد مربوط به طیف‌های رنگی سیاه تا سفید، قرمز تا سبز و آبی تا زرد هستند که توسط دستگاه کالری‌متر ثبت شده و ΔE میزان تغییر فام‌های رنگی را نشان می‌دهد. طبق نتایج گزارش شده از آزمون شبیه‌سازی شده‌ی شرایط جوی، میزان تغییرات ΔE برای نمونه شاهد ۸/۳۴ واحد بود. در حالیکه این تغییرات در مورد نمونه حاوی زایکوسیل تنها ۰/۹ واحد بود که این امر نشان می‌دهد حضور نانوزایکوسیل بر روی نمونه‌های بتنی مقاومت آنها را در برابر شرایط جوی و تابش اشعه خورشید تا حدود ۹۰ درصد افزایش داده است.

۳-۳- نتایج آنالیز میکروسکوپی

تصاویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی برای نمونه بتن شاهد و نمونه بتن حاوی زایکوسیل در تصاویر ۱ و ۲ با یکدیگر مقایسه شده است. در شکل (۱) ذرات درهم قفل شده سیمان و سنگدانه‌ها و ژل سیمانی دیده می‌شود که در برخی قسمت‌ها تخلخل‌هایی با ابعاد ۱۰۰۰ - ۵۰ نانومتر دیده می‌شود.

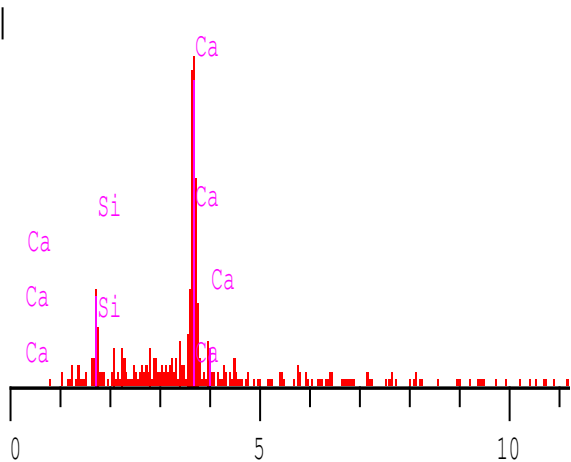


شکل (۱) - تصویر (SEM) سطح نمونه بتن شاهد

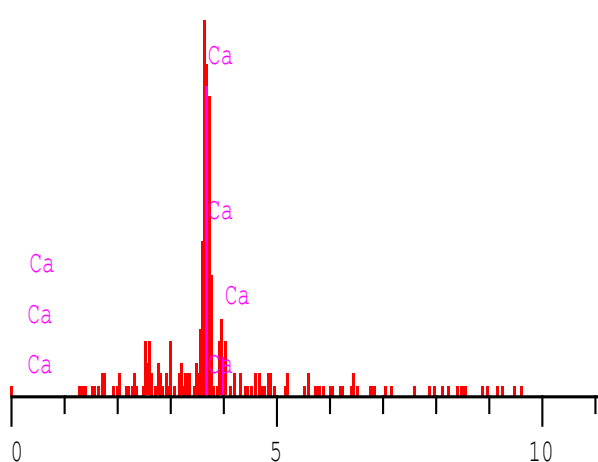


شکل (۲) - تصویر (SEM) سطح نمونه بتن دارای زایکوسیل

مقایسه تصویر میکروسکوپی نمونه حاوی زایکوسیل در شکل (۲) با تصویر نمونه شاهد در شکل (۱) نشان می‌دهد که لایه زایکوسیل برجستگی‌های موجود در شکل (۱) را پوشانده و ترکیب تقریباً یکنواخت و هم سطحی را بوجود آورده که اکثر تخلخل‌ها نیز در آن حذف شده است. این امر ناشی از نفوذ زایکوسیل به داخل تخلخل‌ها در تمامی ابعاد است. لایه زایکوسیل نه تنها در تخلخل‌ها نفوذ کرده و آنها را پوشانده بلکه به عنوان بستری عمل کرده که زبری و اختلاف ارتفاع در سطوح واکنش سنگدانه - خمیر سیمانی را از بین برده و احتمال هرگونه بیرون زدگی حفرات را به حداقل رسانده است. از آنجا که عمل اسپری کردن نانوزایکوسیل بصورت دستی انجام شده و در هر بار اسپری کردن سطح کوچکی از بتن با نانوزایکوسیل پوشانده شده است و در دفعات بعدی، سطوح قبلی نیز دوباره مورد اسپری قرار گرفته‌اند، نقاط تمرکز زایکوسیل بصورت مرزهایی با رنگ سفید در تصویر دیده می‌شوند. این رنگ سفید ناشی از حضور سیلیس در ترکیب زایکوسیل است که نمودارهای (EDS) در شکل‌های ۳ و ۴ نیز حضور آن را تایید می‌کند.



شکل (۴) - نمودار طیف (EDS) نمونه دارای نانوزایکوسیل



شکل (۳) - نمودار طیف (EDS) نمونه شاهد

۳-۴- نتایج مقاومت در برابر سایش

بیشینه طول سایش در نمونه‌های کفپوش دارای پوشش زایکوسیل به میزان ۵/۵ میلی‌متر و در نمونه شاهد به میزان ۱۶/۱ میلی‌متر گزارش شد که بر اساس آن مقاومت سایشی نمونه‌های دارای زایکوسیل نسبت به نمونه‌های بدون پوشش تا ۶۵٪ افزایش یافته است.

۵- نتیجه گیری

به طوری که معلوم گردیده در عالی‌ترین و با کیفیت‌ترین نوع بتن، اندازه منافذ حداقل ۵ نانومتر است که حدود ۲۵ برابر اندازه یک مولکول آب می‌باشد؛ بنابراین نفوذپذیری هر نوع بتن در مقابل آب اجتناب‌ناپذیر خواهد بود [۱۱]. در تولید و کاربرد زایکوسیل به قطر منافذ بتن توجه شده است. به گونه‌ای که این نوع آب بند قادر است؛ ضمن نفوذ در منافذ بتن با ترکیبات سیمانی واکنش داده و عایق رطوبتی با کیفیتی را ایجاد کند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که نانوزایکوسیل، میزان نفوذپذیری و جذب آب بتن را تا حدود ۹۰ درصد کاهش داده و علاوه بر آن با دارا بودن مقاومت قابل توجه در برابر سایش، شرایط محیطی و اشعه UV می‌تواند به عنوان نوعی عایق چند منظوره با کارایی و طول عمر بالا عمل کند.

سپاسگزاری

از کارشناسان مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، آزمایشگاه صنعت شیمی ساختمان و آزمایشگاه نیکان اکسیر آزما جهت انجام آنالیزهای دستگاهی سپاسگزاری می‌شود.

منابع:

- ۱ - بختیاری، ن.، قاسمی، ا.، سلیمانی، م.، نقش زایکوسیل در افزایش دوام بتن (بررسی موردی: ضد آب نمودن سازه استخر واحد صنعتی)، همایش ملی استفاده از فناوری‌ها و تکنولوژی‌های نوین طراحی، محاسبه و اجرا در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، مراغه، ۱۳۹۴.
- ۲ - جان بزرگی، ا.، فناد، ز.، کاربرد تکنولوژی نانو در صنعت ساختمان، فصلنامه کیسون، شماره ۴۴، بهار ۱۳۸۹.
- ۳ - رحیمی اصل، م.، علیزاده، ا.، آسیایی، م.، فناوری ضد آب کردن کریستالی و زایکوسیل در محیط‌های دریایی، اولین همایش بین‌المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت، ۱۳۹۰.
- ۴ - فریدنیا، ل.، فریدنیا، م.، فناوریهای نوین در بخش ساختمان و گاه اتلاف انرژیهای پایدار: معرفی زایکوسیل «ZYCOSIL»، نانوفتوکاتالیست، فایبرینگ فورس «FRP»، اولین همایش ملی انرژی‌های نو و پاک، همدان، شرکت هم‌اندیشان محیط زیست فردا، ۱۳۹۲.
5. Zycosil Multi Surface Sealer, www.ashgrovepkg.com.
6. Mehta, P., Ranka, A., Nano Technology in Water Proofing Building Materials For achieving goals of Long life Economical & Eco-friendliness.
7. Azizi, Z., Application of Nanotechnology in the Concrete Industry Improve the Performance of Sustainable Buildings, International Academic Journal of Science and Engineering Vol. 3, No. 3, 2016, pp. 89-97.
8. ASTM D 6489, "Standard Test Method for Determining the Water Absorption of Hardened Concrete Treated With a Water Repellent Coating".
9. ASTM E 514, "Standard Test Method for Water Penetration and Leakage through Masonry"
10. ASTM D5071, Standard Practice for Exposure of Photodegradable Plastics in a Xenon Arc Apparatus
- ۱۱ - گلستانی‌فرد، ف.، بهره‌ور، م.، صلاحی، ا. (۱۳۸۳) "روش‌های شناسایی و آنالیز مواد"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.