

تولید نانو کامپوزیت حاصل از دو پیوند دهنده اکسی کلرید منیزیم و تری پلی فسفات سدیم و اکسید روی به همراه نانوسیلیس

افسانه زارعی^{۱*}، احمد منشی^۲، علی صفار تلوری^۳

۱- دانشجوی کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۲- استاد، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

*Afsaneh_z85@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۰۳، تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۲۰)

چکیده:

در این تحقیق تولید نانو کامپوزیت سرامیکی حاصل از دو پیوند دهنده اکسی کلرید منیزیم (سورل) و تری پلی فسفات سدیم و اکسید روی به همراه نانوسیلیس به روش ریخته گری جرمی مورد مطالعه قرار گرفت. برای مشخصه یابی محصول کامپوزیتی تولید شده از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) و جهت بررسی ریز ساختار و تایید فازهای تشکیل شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به آنالیز EDX استفاده گردید. نتایج نشان داد که با افزایش تری پلی فسفات سدیم و اکسید روی، استحکام و درصد انحلال در آب، درصد جذب آب و درصد تخلخل روند کاهشی داشته است. با افزودن نانوسیلیس به زمینه کامپوزیت استحکام و خواص فیزیکی بهبود یافت. بالاترین استحکام در ۱ درصد نانوسیلیس همراه با ۲ درصد وزنی افزودنی های تری پلی فسفات سدیم و اکسید روی به دست آمد که افزایش استحکام حدود ۵۰ درصد نسبت به سیمان سورل پایه بود. بهترین انحلال در آب در نمونه شامل ۱/۵ درصد نانوسیلیس همراه با ۲ درصد وزنی افزودنی های تری پلی فسفات سدیم و اکسید روی حاصل گردید.

واژه های کلیدی:

سیمان اکسی کلرید منیزیم، نانو کامپوزیت، ریخته گری جرمی، نانوسیلیس.

۱- مقدمه

آلی در مقادیر زیاد از ویژگی های سیمان سورل می باشد [۲-۳]. از کاربردهای اصلی و تجاری سیمان سورل، کف سازی صنعتی و استفاده در چرخ های ساینده است [۴]. سیمان سورل دارای چهار فاز ۲، ۳، ۵ و ۹ می باشد.

فاز ۲ $2Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 4H_2O$

فاز ۳ $3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$

فاز ۵ $5 Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$

سیمان اکسی کلرید منیزیم که به عنوان سیمان سورل شناخته شده است توسط سورل در سال ۱۸۶۷ کشف شد. این سیمان از طریق واکنش های اکسید منیزیم با کلرید منیزیم و آب با نسبت های معینی تشکیل می شود [۱]. استحکام بالا، گیرش سریع، مقاومت به سایش بالا، هدایت حرارتی پایین، ضریب انبساط حرارتی پایین، ضد حریق بودن، مقاوم بودن تحت شرایط دما بالا و مناسب برای استفاده با انواع اگریگیت های آلی و غیر

فاز ۹ $9Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 5H_2O$

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- مواد

در این پژوهش از پودرهای تجاری اکسید منیزیم ساخت شرکت منیزیت ایران با میزان خلوص ۹۶ درصد، کلرید منیزیم ساخت هند با میزان خلوص ۹۷ درصد، اکسید روی ساخت شرکت سیمینه روی قم با خلوص ۹۹/۹۹ درصد، تری پلی فسفات سدیم ساخت چین با خلوص ۹۸ درصد و نانوسیلیس ساخت اتریش با خلوص ۹۹/۸ درصد به منظور تولید نانو کامپوزیت سرامیکی ذکر شده استفاده گردید.

فاز ۳ و ۵ در دمای اتاق و فاز ۲ و ۹ در دمای بالاتر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد پایدار می باشند [۵]. فاز ۵ به علت ساختار سوزنی شکل باعث استحکام بالا در این سیمان می باشد. سیمان سول مقاومت به آب ضعیفی دارد و زمانی که در معرض آب قرار می گیرد، استحکام آن کاهش می یابد. این امر کاربردهای مهندسی سیمان سول را محدود می کند. یک روش موثر برای بهبود مقاومت به آب، اضافه کردن افزودنی هایی مانند فسفات های فلزی به سیمان می باشد [۶-۷].

۲-۲- آماده سازی زمینه کامپوزیت با استفاده از دو پیوند دهنده سیمان اکسی کلرید منیزیم و اکسید روی و تری پلی فسفات سدیم (نمونه های سری A)

برای تهیه زمینه از ترکیبات نشان داده شده در جدول (۱) استفاده شد. به منظور آماده سازی سیمان، ابتدا نمک کلرید منیزیم را به آب اضافه کرده و آن را همزده تا حل شود، سپس تری پلی فسفات سدیم را به آن افزوده و بعد از آن اکسید روی به محلول اضافه شد. در اینجا از دو نوع اکسید منیزیم با نسبت های مساوی استفاده شد. اکسید منیزیم زرد که حاوی آهن و اکسید منیزیم سفید که حاوی آهک می باشد. سپس اکسید منیزیم به محلول افزوده و به مدت ۵ دقیقه هم زده شد. خمیر آماده شده به داخل قالب های فولادی به ابعاد $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ ریخته گری جرمی شدند. بعد از ریختن در قالب ها، به منظور خارج ساختن حباب های هوای ایجاد شده در اثر هم زدن، از ویبراتور به مدت زمان ۱ دقیقه استفاده شد.

سیمان فسفات روی یک ترکیب غیر سمی می باشد که به علت انحلال کم در آب ویژگی های ضد خوردگی عالی دارد و همچنین مقاومت به آب خوبی دارد و ضد حریق است. این سیمان زمان گیرش کوتاهی دارد و می تواند استحکام مکانیکی بالایی را ایجاد کند [۸-۹]. سیمان فسفات روی از ترکیب اکسید روی همراه با ۱۰-۲ درصد اکسید منیزیم، محلول آبی اسید فسفریک با غلظت ۶۵-۴۵ درصد با مقادیر کمی اکسید آلومینیم و اکسید روی تشکیل می شود [۱۰]. استفاده از ذرات ساینده در زمینه سیمانی موجب افزایش مقاومت به سایش فاز سیمانی می شود. یکی از رایج ترین افزودنی ها در ترکیب سیمان، سیلیس می باشد که به عنوان فیلر تقویت کننده در صنعت سایش استفاده می شود که تاثیرات قابل توجهی بر روی ویژگی های کامپوزیت دارد [۱۱].

گنجاندن الیاف و ذرات تقویت کننده در یک زمینه سرامیکی می تواند به تهیه یک ماده سرامیکی چقرم منجر شود. این بدان دلیل است که ترکی که در زمینه ایجاد می شود توسط ذرات، رشته ها یا ویسکرها متوقف می شود [۱۲].

هدف از این پروژه، تهیه کامپوزیت نانوسیلیس با دو پیوند دهنده اکسی کلرید منیزیم و فسفات های روی و بررسی فازهای تشکیل شده می باشد. همچنین خواص مکانیکی و فیزیکی از جمله استحکام، درصد جذب آب، تخلخل و درصد انحلال در آب بررسی می شود.

جدول (۱): درصد وزنی مواد اولیه مصرفی زمینه

شماره نمونه	اکسید منیزیم	کلرید منیزیم	آب	اکسید روی	تری پلی فسفات سدیم
A1	۴۹/۶۵	۲۸/۸۲	۲۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۵۳
A2	۴۹/۱۲	۲۸/۵۱	۲۰/۲۶	۱/۰۵	۱/۰۶
A3	۴۸/۵۹	۲۸/۱۹	۲۰/۰۳	۱/۵۹	۱/۶
A4	۴۴/۸۶	۲۶/۰۴	۱۸/۴۹	۵/۲۹	۵/۳۲

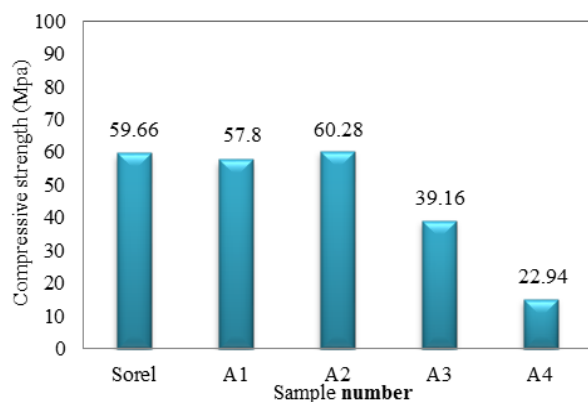
آزمون استحکام فشاری، XRD و خواص فیزیکی بر روی نمونه‌ها همان طور که اشاره شد، انجام گرفت.

جدول (۲): درصد وزنی مواد اولیه نانو کامپوزیت

شماره نمونه	اکسید منیزیم	کلرید منیزیم	آب	اکسید روی	تری پلی فسفات سدیم	نانو سیلیس
B1	۴۹/۰۳	۲۸/۴۲	۲۰/۱۴	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۵
B2	۴۸/۹۳	۲۸/۳۲	۲۰/۰۴	۰/۸۵	۰/۸۶	۱
B3	۴۸/۸۳	۲۸/۲۲	۱۹/۹۴	۰/۷۵	۰/۷۶	۱/۵

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی خواص مکانیکی و فیزیکی نمونه‌های سری A به منظور بررسی استحکام، آزمون استحکام فشاری از نمونه‌های سری A صورت گرفت. نمودار استحکام فشاری نمونه‌های سری A در شکل (۱) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، با زیاد شدن درصد تری پلی فسفات سدیم و اکسید روی تا ۲ درصد، استحکام نسبت به سیمان سورل تغییر چندانی نمی‌کند و سپس کاهش می‌یابد. این بدان علت است که فازهای فسفاتی پیوند بین فازهای ۵ و زمینه را کم کرده و فاز ۵ خاصیت تقویت کنندگی خود را تا حدودی از دست می‌دهد. این موضوع را می‌توان به کاهش ترشوندگی فازهای سوزنی ۵ و زمینه سیمان نسبت به ترشوندگی فازهای سوزنی ۵ و فاز فسفاتی دانست.



شکل (۱): تغییرات استحکام نمونه‌های سری A بعد از ۱۴ روز

افزودن مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۱۰ درصد وزنی تری پلی فسفات سدیم و اکسید روی به سیمان سورل به ترتیب A1، A2، A3، A4 در نظر گرفته شد.

استحکام فشاری (CCS) بعد از ۱۴ روز از نمونه‌ها گرفته شد و قطعات خرد شده به صورت پودر برای (XRD) به منظور شناسایی فاز و ساختار آماده شد. مورفولوژی و ریز ساختار محصولات واکنش توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مشخص شد. خواص فیزیکی نمونه‌ها (درصد جذب آب، درصد تخلخل ظاهری و درصد انحلال در آب) طبق استاندارد ASTM C0020-00R05 انجام گرفت [۱۳-۱۴]:

W_1 : وزن خشک نمونه قبل از قرار گرفتن در آب

W_2 : وزن نمونه بعد از قرار گرفتن در آب به مدت ۲ ساعت W_3 :

وزن غوطه وری نمونه در آب

W_4 : وزن سیمان بعد از قرار گرفتن در آب به مدت ۱۰ روز

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100$$

$$\text{درصد تخلخل ظاهری} = \frac{w_2 - w_1}{w_2 - w_3} \times 100$$

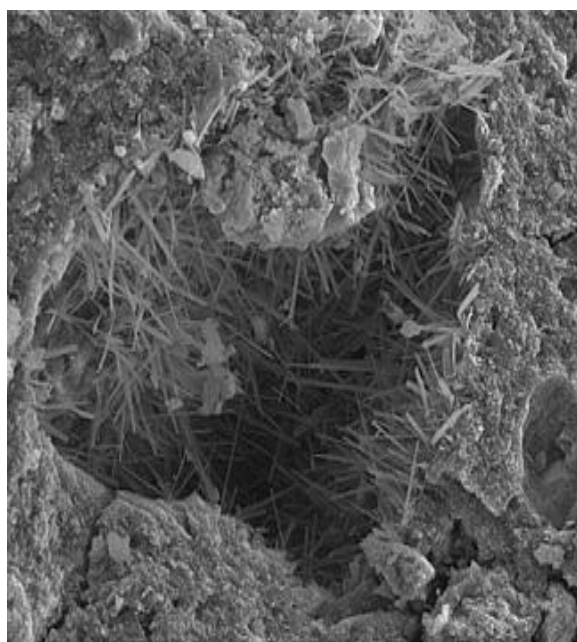
$$\text{دانشیه} = \frac{w_1}{w_2 - w_3}$$

$$\text{درصد انحلال در آب} = \frac{w_2 - w_4}{w_2} \times 100$$

۳-۲- آماده‌سازی نانو کامپوزیت با استفاده از ذرات تقویت کننده نانوسیلیس

برای تهیه این کامپوزیت، نمونه A2 به عنوان زمینه انتخاب شد. از مواد اولیه با درصد وزنی طبق جدول (۲) استفاده شد. قبل از افزودن اکسید منیزیم به محلول، ابتدا نانوسیلیس را با اکسید منیزیم به صورت خشک کاملاً مخلوط کرده و سپس به محلول اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شد. سپس خمیر آماده شده به داخل قالب ریخته شد. خمیر ۳ مرتبه و هر بار در فواصل ۵ دقیقه در قالب هم زده شد و به مدت زمان ۱ دقیقه از ویبراتور استفاده شد.

زمینه می‌تواند به خاطر همین موضوع باشد که اطراف آن را فسفات احاطه کرده است و مانع رشد آنها می‌شود. نظر به این که وزن قطعه تابع مستقیم حجم مواد اولیه موجود است و به علت یکسان بودن دانسیته پودری هماهنگ با یکدیگر کم و زیاد می‌شوند بنابراین با یکسان بودن دانسیته در دو نمونه A2 و A3، حجم تخلخل کل شامل تخلخل باز و بسته باید یکسان باشد و اگر کاهشی در تخلخل باز رخ می‌دهد به معنای افزایش تخلخل بسته است که می‌تواند ارتباط با گازهای ایجاد شده داشته باشد.



شکل (۲): جوانه زنی فاز سوزنی درون تخلخل در زمینه سیمانی

یکی از کاربردهای سیمان سورل استفاده در سنگ ساب‌ها می‌باشد، بنابراین به علت وجود آب جهت خنک کردن ابزارهای سایشی و خارج ساختن اجزای جدا شده در حین سایش، مقاومت این سیمان در برابر آب باید بالا باشد ولی به علت تجزیه و انحلال فازهای سوزنی شکل در آب، این سیمان‌ها مقاومت به آب ضعیفی دارند. یکی از روش‌های اندازه‌گیری مقاومت به آب برای این نوع سیمان اندازه‌گیری درصد انحلال در آب است. تغییرات درصد انحلال در آب برای نمونه‌های

تغییرات درصد تخلخل، درصد جذب آب و دانسیته با تغییر درصد وزنی برای نمونه‌های سری A در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول (۳): تغییرات درصد تخلخل، درصد جذب آب و دانسیته برای

نمونه‌های سری A

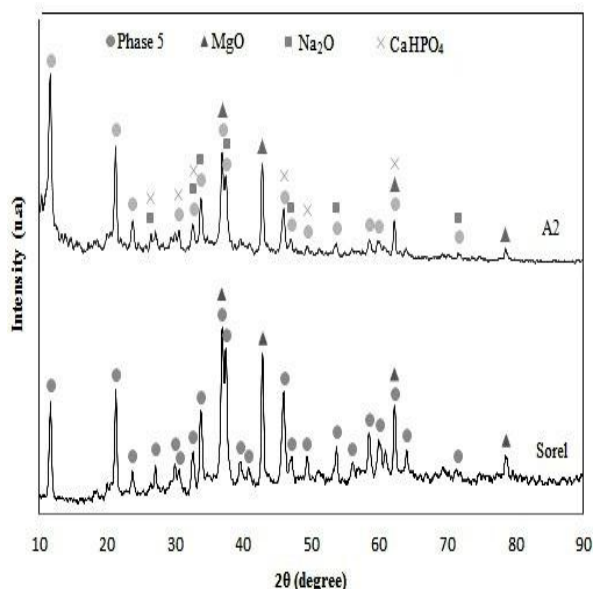
شماره نمونه	Sorel	A1	A2	A3	A4
درصد تخلخل	۷/۴	۷/۲۲	۶/۹۱	۵/۶۸	۴/۳۴
درصد جذب آب	۳/۸۱	۳/۵۷	۳/۴	۲/۵۶	۲/۱۳
دانسیته	۲/۰۸	۲/۰۴	۲/۱۶	۲/۱۹	۲/۰۳

نکته قابل توجه این است که طبق معادله (۱)، استحکام (S) رابطه عکس با تخلخل (P) دارد این در حالی است که در سیستم سیمانی سری A با افزایش مقدار تخلخل، استحکام سیمان نیز افزایش یافته است.

$$S = S_0 \exp(-bp) \quad (1)$$

مقدار S_0 استحکام قطعه بدون تخلخل و P درصد تخلخل و عدد b ثابت سیستم می‌باشد که برای یک مجموعه پارامترهای مشخص، مقدار ثابتی است. به نظر می‌رسد تخلخل‌ها به علت انرژی سطحی زیاد درون آنها، مکان‌هایی برای جوانه‌زنی فازهای سوزنی شکل بوده و با افزایش میزان تخلخل این مکان‌های جوانه‌زنی نیز افزایش می‌یابد و از طرفی به علت وجود فضای بیشتر درون حفره، امکان رشد بیشتر این فازهای سوزنی نیز فراهم می‌شود [۱۵]. جوانه‌زنی فازهای سوزنی شکل درون تخلخل در زمینه سیمانی در شکل (۲) نشان داده شده است. با افزایش مقدار اکسید روی و تری پلی فسفات سدیم، از آنجا که شدت فاز سوزنی تشکیل شده، کاهش می‌یابد همین امر موجب کاهش استحکام سیمان می‌شود. برای کاهش دو مکانیسم احتمالی وجود دارد: (۱) فاز فسفاتی اطراف فاز ۵ را گرفته و مانع از اتصال آن به زمینه می‌شود و از قدرت تقویت‌کنندگی زمینه می‌کاهد، (۲) به علت حضور فاز فسفاتی به طور کلی طول سوزن‌های فاز ۵ کم می‌شود. یکی از دلایل کاهش فاز ۵ در

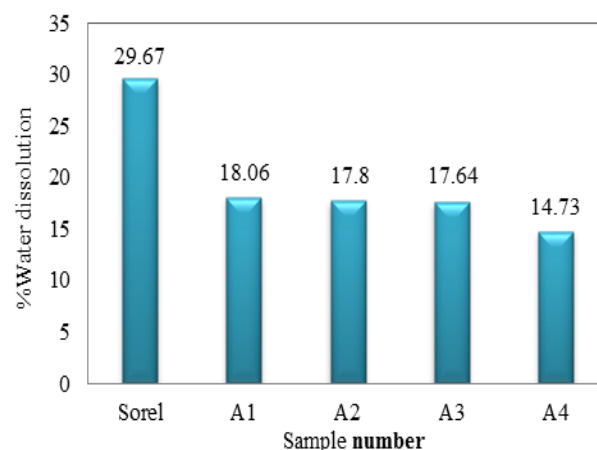
مشاهده می‌شود شدت فاز ۵ در سیمان سورل از نمونه A2 بیشتر است. این بدان علت است که فازهای فسفاتی تشکیل شده در نمونه A2، اطراف فاز ۵ را گرفته و با جذب مقداری از پرتو ایکس باعث کاهش مقدار پرتو پراش یافته و ثبت کوتاهتر پیک‌های فاز ۵ در نمونه A2 شده است.



شکل (۴): الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌های سیمان سورل و A2

۳-۳- بررسی خواص مکانیکی و فیزیکی نمونه‌های سری B
نمونه A2 به عنوان زمینه کامپوزیت انتخاب شد که دارای بالاترین استحکام در بین نمونه‌های سری A است. استحکام کامپوزیت نمونه A2 با مقادیر مختلف نانوسیلیس، بعد از ۱۴ روز اندازه‌گیری شد. تغییرات استحکام نمونه‌های سری B در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزودن نانوسیلیس، استحکام نسبت به نمونه A2 افزایش یافته است که به دلیل اتصال خوب نانوسیلیس با زمینه سیمان می‌باشد. در اینجا نانوسیلیس به عنوان جواز عمل کرده و ترشوندگی نانوسیلیس با زمینه بیشتر از ترشوندگی ذرات نانوسیلیس با یکدیگر است که تا ۱ درصد باعث افزایش استحکام می‌شود، اما بعد از آن با افزایش میزان نانوسیلیس، نقش آگلومره شدن غالب می‌باشد و استحکام پایین می‌آید.

سری A در شکل (۳) ارائه شده است. انحلال در آب نمونه‌ها با افزایش اکسید روی و تری پلی فسفات سدیم کاهش می‌یابد. در اثر واکنش یون‌های فسفات با یون‌های Mg^{2+} ، فسفات‌های نامحلول تشکیل می‌شود. این فسفات‌های نامحلول سطح ذرات فاز ۵ را می‌پوشاند و تماس بین ساختار داخلی و آب خارج از سیستم را کاهش می‌دهد و باعث بهم چسبیدن کریستال‌ها و متراکم شدن آن‌ها می‌شود. پس نفوذ پذیری آب را به داخل سیمان اکسی کلرید منیزیم کاهش می‌دهد. فاز ۵ با یون‌های فسفات بسیار پایدار می‌شود و می‌تواند در آب بدون تغییر باقی بماند. بنابراین مقاومت به آب سیمان اکسی کلرید منیزیم بهبود داده می‌شود [۱۶].



شکل (۳): تغییرات درصد انحلال در آب برای نمونه‌های سری A

۳-۲- مطالعه به کمک الگوی پراش پرتو ایکس

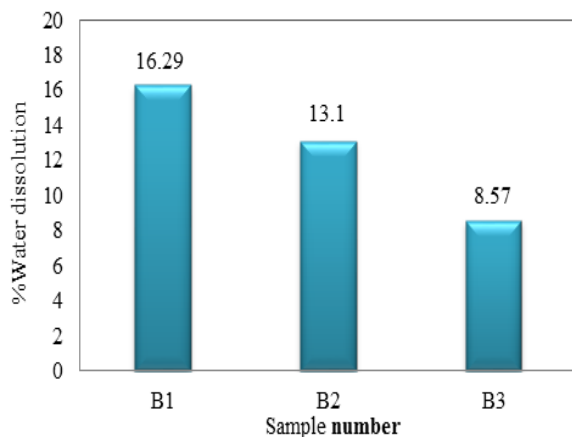
نتایج حاصل از آنالیز XRD مربوط به نمونه سیمان سورل و A2 در شکل (۴) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در نمونه A2 پیک‌های مربوط به فاز ۵، اکسید منیزیم و واکنش نکرده، اکسید سدیم و $CaHPO_4$ به ترتیب با پیک‌های ایجاد شده همخوانی مناسبی با شماره کارت‌های استاندارد ۰۴۲۰-۰۰۷-۰۰، JCPDS ۰۱-۰۷۷-۰۲۰۸، JCPDS ۰۱-۰۷۱-۱۱۷۶ و JCPDS ۰۰-۰۰۱-۰۶۵۳ و در نمونه سیمان سورل پیک‌های مربوط به فاز ۵ و اکسید منیزیم و واکنش نکرده، دیده می‌شود. Na_2O از تری پلی فسفات سدیم مشتق شده است. همان‌طور که

نسبت به نمونه A2 می‌شود، چون نانوسیلیس حفرات موجود در نمونه را پر می‌کند. از آنجا که تخلخل با جذب آب رابطه مستقیم دارد پس کاهش تخلخل، باعث کاهش نفوذ پذیری و جذب آب نیز می‌شود. عامل اصلی در تراکم، تخلخل است. پس کاهش تخلخل نسبت به نمونه پایه باعث افزایش دانسیته شده است. نانوسیلیس به دلیل ریز بودن و داشتن وزن مخصوص پودری کم، فضاگیر است اما مقداری از این فضای مربوط به نانوسیلیس تخلخل را پر می‌کند که باعث افزایش تراکم می‌شود.

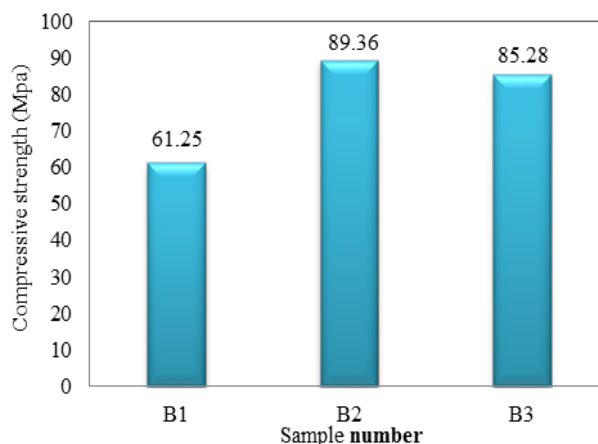
جدول (۴): تغییرات درصد تخلخل، درصد جذب آب و دانسیته برای

نمونه‌های سری B			
شماره نمونه	B1	B2	B3
درصد تخلخل	۶/۳۸	۵/۲۶	۴/۲۴
درصد جذب آب	۳/۰۴	۲/۴۹	۱/۹۷
دانسیته	۲/۰۹	۲/۱۱	۲/۱۵

علاوه بر فازهای فسفاتی موجود در نمونه A2، نانوسیلیس نقش موثری بر روی کاهش درصد انحلال در آب نسبت به نمونه A2 داشته است. به نظر می‌رسد نانوسیلیس سطح سیمان را پوشانده و باعث تشکیل یک لایه آب‌گریز بر روی سیمان شده و نفوذ رطوبت به داخل ذرات را مشکل می‌کند و باعث پایداری فازهای اصلی سیمان در آب می‌شود. تغییرات درصد انحلال در آب نمونه‌های سری B در شکل (۷) نشان داده شده است.

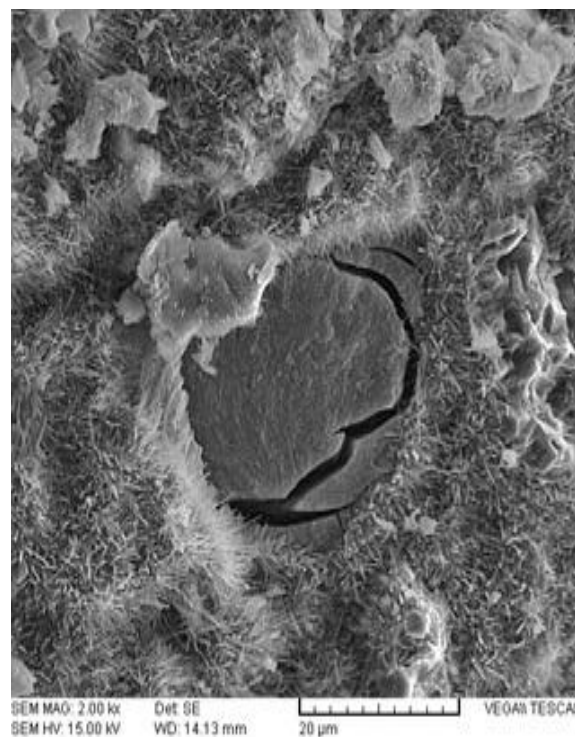


شکل (۷): تغییرات درصد انحلال در آب برای نمونه‌های سری B



شکل (۵): استحکام نمونه‌های سری B بعد از ۱۴ روز

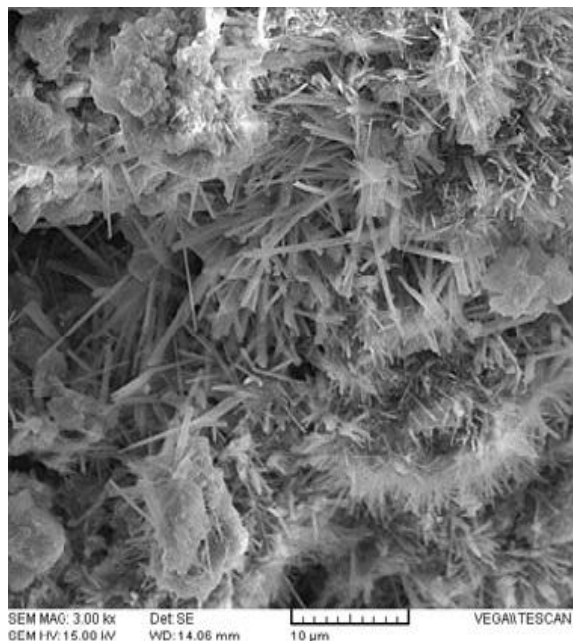
تصویر میکروسکوپ الکترونی برای نانوکامپوزیت B1 در شکل (۶) نشان داده شده است. با توجه به تصویر به خوبی مشاهده می‌شود که ترشوندگی فاز ۵ و زمینه سیمان سورل زیاد است و باعث ایجاد یک ترک عرضی در زمینه شده است.



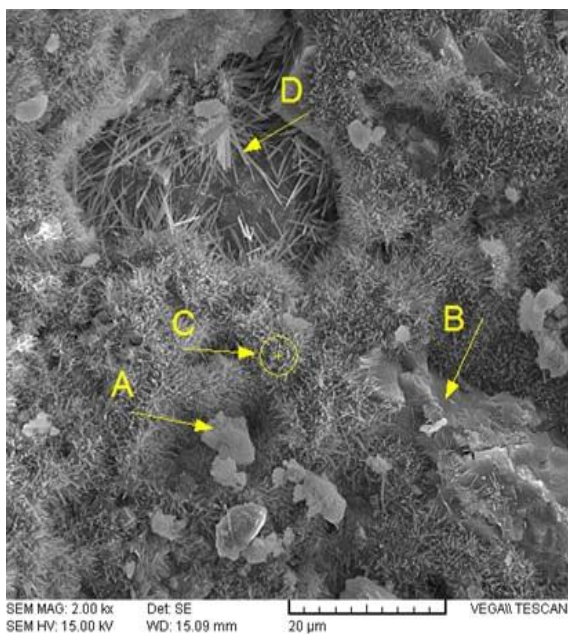
شکل (۶): تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه B1

تغییرات درصد تخلخل، درصد جذب آب و دانسیته برای نمونه‌های سری B در جدول (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش نانوسیلیس باعث کاهش تخلخل

همچنین آگلومره‌های نانوسیلیس (B) که به زمینه سیمان سورل چسبیده‌اند در کنار نقاط C و D که بیانگر فازهای ۵ است، دیده می‌شود که فاز فسفاتی در اطراف این نقاط قرار دارد. آنالیز ۴ نقطه نشان داده شده در شکل (۱۰) در شکل (۱۱) آورده شده است.



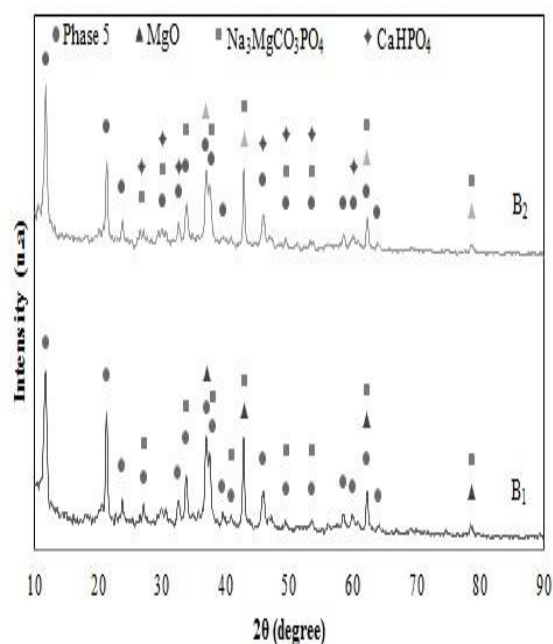
شکل (۹): تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه B1



شکل (۱۰): تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه B2

۳-۴- مطالعه به کمک میکروسکوپ الکترونی روشی و الگوی پراش پرتو ایکس

نتایج حاصل از آنالیز XRD مربوط به نمونه‌های B1 و B2 در شکل (۸) نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در نمونه B1 و B2 پیک‌های مربوط به فاز ۵ و اکسید منیزیم واکنش نکرده، CaHPO_4 ، $\text{Na}_3\text{MgCO}_3\text{PO}_4$ وجود دارد. مقداری دی اکسید کربن از هوا جذب می‌شود و مقداری هم از تکلیس ناقص کربنات منیزیم وارد می‌شود که به صورت فاز $\text{Na}_3\text{MgCO}_3\text{PO}_4$ دیده می‌شود.



شکل (۸): الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌های B1 و B2

تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه B1 در شکل (۹) نشان داده شده است. با بررسی تصویر SEM تشکیل فازهای کریستالی و سوزنی شکل ۵ به خوبی مشاهده می‌شود.

ریز ساختار سطح مقطع شکست نمونه B2 در شکل (۱۰) نشان داده شده است. نمونه B2 دارای بالاترین استحکام در بین تمام نمونه‌های سری A و B می‌باشد. همان گونه که از شکل مشخص می‌باشد سطح نمونه دارای فازهای کریستالی ریز اما بسیار می‌باشد که نشان دهنده فاز سوزنی ۵ است که دلیل استحکام بالای این نمونه است. در این تصویر ذرات منیزیت (A) و

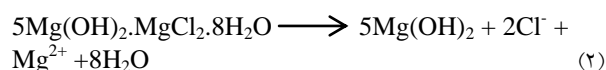
در جدول (۵) درصد فازها یا اکسیدهای اندازه گیری شده در آنالیز EDX مربوط به نمونه B2 نشان داده شده است.

جدول (۵): درصد فازها یا اکسیدهای اندازه گیری شده در آنالیز EDX مربوط

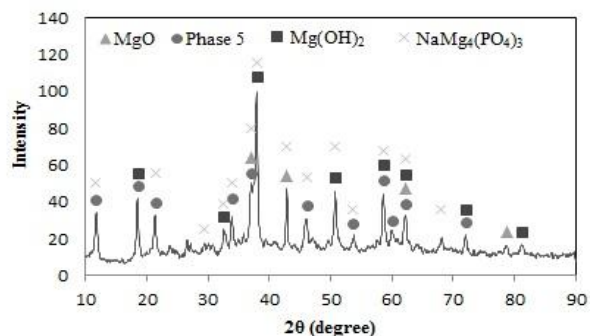
به شکل B2

شماره نقاط	MgO	Phase 5	ZnO	PO ₄	SiO ₂	CaO
A	۴۸/۸۳	۴۰/۷۰	۰/۴۲	۲/۸۷	۴/۷۲	۲/۴۳
B	۴/۵۷	۲۸/۳۵	۰/۱۷	۰/۹۴	۶۴/۹۹	۰/۹۵
C	۹/۴۶	۸۵/۵۶	۰/۲۸	۰/۸۷	۲/۱۹	۱/۶۱
D	۱۱/۲۷	۷۸/۹۱	۰/۷۸	۰/۸۹	۳/۳۵	۴/۷۷

بر طبق تئوری حلالیت بلور یونی، زمانی که سیمان سورل سخت شده در آب قرار می گیرد، فاز ۵ در نمونه ناپایدار می باشد و ترکیبات فاز در آب تغییر می کند و به $Mg(OH)_2$ و چندین یون های محلول طبق معادله (۲) تجزیه می شود و استحکام به شدت پایین می آید.

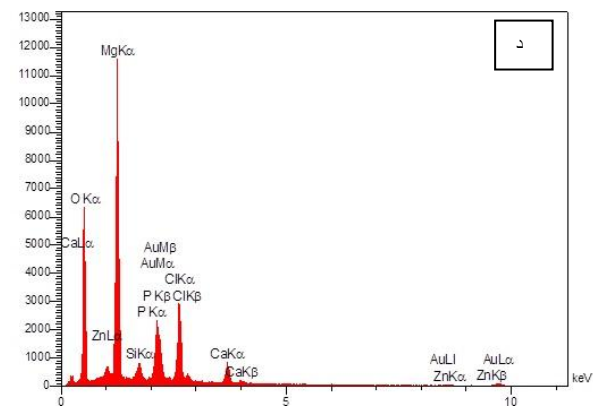
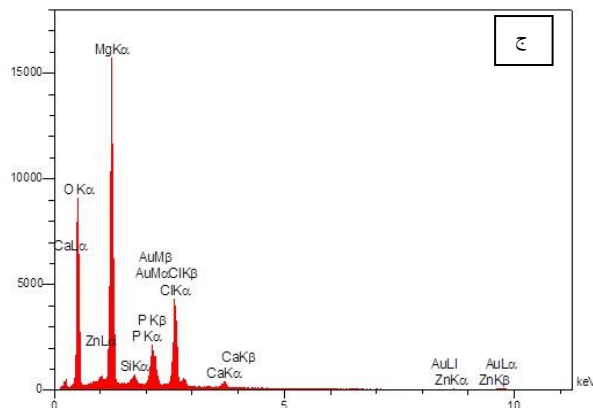
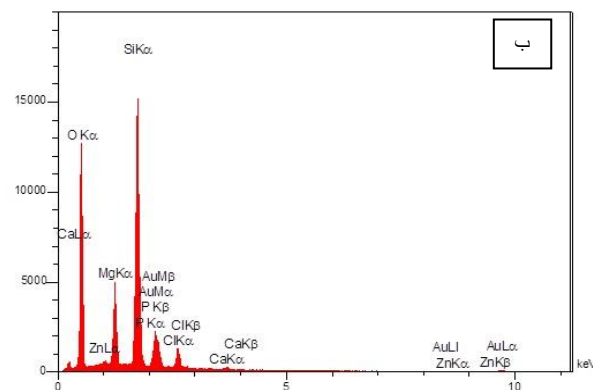
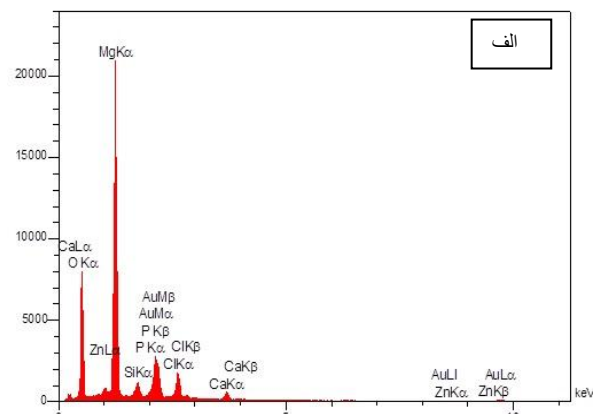


اما فسفات های نامحلول باعث پایداری فازهای اصلی در آب شده و از تغییر در ترکیبات فاز جلوگیری می کند [۱۴]. نتایج حاصل از آنالیز XRD مربوط به نمونه B3 که به مدت ۱۰ روز در آب قرار گرفته است در شکل (۱۲) نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می شود که به علت وجود فاز فسفاتی و همچنین نانوسیلیس، فاز ۵ در آب باقی مانده و استحکام خود را حفظ کرده است.



شکل (۱۲): الگوی پراش پرتو ایکس نمونه B3 بعد از قرار گرفتن در آب به مدت

۱۰ روز



شکل (۱۱): آنالیز EDX از نمونه B2

- [4] A. K. Misra, R. Mathur, "Magnesium Oxychloride cement concrete", Indian Academy of Sciences, Vol. 30, pp.239-246, 2007.
- [5] C. K. Chau, Z. Li, "Microstructures of magnesium Oxychloride", Materials and Structures, Vol. 41, pp. 853-862, 2008.
- [6] H.P. Lu, P.L. Wang & N. X. Jiang, "Design of additives for water-resistant magnesium oxychloride cement using pattern recognition", Materials Letters, Vol. 20, pp. 217- 223, 1994.
- [7] D. Deng, "The mechanism for soluble phosphates to improve the water resistance of magnesium oxychloride cement", Cement and Concrete Research, Vol. 33, pp. 1311-1317, 2003.
- [8] B. Grzmil, B. Kic & K. Lubkowski, "Studies on obtaining of zinc phosphate nanomaterials", Institute of Chemical and Environment Engineering, Vol. 14, pp. 46-48, 2007.
- [9] L. Dias, A. Giovani, Y. Silva sousa, L. Vansan, E. Alfredo, M. Sousa-Neto & S. Paulino, "Effect of eugenol-based endodontic sealer on the adhesion of intraradicular posts cemented after different periods", Journal of Applied Oral Science, Vol. 17, pp. 579-583, 2009.
- [10] K. Ladha, M. Verma, "Conventional and contemporary luting cements", Journal of Indian Prosthodont Soc, Vol.10, pp. 79-88, 2010.
- [11] V. Ershadi, T. Ebadi, A.R. Rabani, L. Ershadi & H. Soltanian, "The effect of nanosilica on cement matrix permeability in oil well to decrease the pollution of receptive environment ", International Journal of Enviromental Science and Development, Vol. 2, pp. 128-132, 2011.
- [12] اف. ال. ماتیس، آر. دی. راولینگز، ترجمه شکوه فر، سبزواری و اردکانی، علم و مهندسی مواد مرکب، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۴.
- [13] Y. Karimi, A. Monshi, "Effect of magnesium chloride concentrations on the properties of magnesium oxychloride cement for nano SiC composite purposes ", Ceramics International, Vol. 37, pp. 2405-2410, 2011.

۴- نتیجه گیری

- ۱- اضافه کردن تری پلی فسفات سدیم و اکسید روی تا ۲ درصد، استحکام سیمان سول را تغییری نمی دهد و سپس استحکام کاهش می یابد. سایر خواص نظیر درصد جذب آب، تخلخل و انحلال در آب بهبود می یابد.
- ۲- انحلال در آب نمونه ها با افزایش اکسید روی و تری پلی فسفات سدیم کاهش می یابد. دلیل این موضوع آن است که فسفات های نامحلول سطح ذرات فاز ۵ را می پوشاند و تماس بین ساختار داخلی و آب خارج از سیستم را کاهش می دهد و باعث متراکم شدن آن ها می شود. پس نفوذ پذیری آب را به داخل سیمان سول کاهش می دهد و مانع انحلال آن می شود. اما نظر به کاهش استحکام، استفاده صنعتی ۲ درصد توصیه می شود.
- تغییرات دانسیته به خاطر خروج آب های اضافی است که در حین ساخت، افزودن آن مورد نیاز بوده و در موقع مصرف آب در واکنش های شیمیایی، مازاد آن خارج شده است.
- ۳- با افزودن نانوسیلیس به نمونه A₂، استحکام افزایش می یابد. دلیل آن این است که نانوسیلیس اتصال خوبی با زمینه سیمان برقرار کرده است.
- ۴- با افزودن نانوسیلیس، تخلخل و جذب آب و انحلال در آب نسبت به نمونه A₂ بهبود یافته است.

۵- مراجع

- [1] T. Tadele, "Analysis of fillers for production of alternative building materials using magnesia cement", Addis Ababa University, 2008.
- [2] L. Guozhong, Y. Yanzhen, L. Jianquan, W. Yingzi & L. Huashi, "Experimental study on urban refuse/magnesium Oxychloride cement compound floor tile", Cement and Concrete Research, Vol. 33, pp. 1663-1668, 2003.
- [3] W. Fan, X. Song, S. Sun & X. Zhao, " Hydrothermal formation and characterization of magnesium hydroxide chloride hydrate nanowires", Journal of Crystal Growth, Vol. 305, pp. 167-174, 2007.

[16] D. Deng, "The mechanism for soluble phosphates to improve the water resistance of magnesium oxychloride cement", *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp. 1311-1317, 2003.

[۱۴] ا. منشی، سرامیکها و مواد نسوز، انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ سوم، ۱۳۷۵.

[15] Monshi, M. Kalantar, "Investigation of sintering in Chamotte Refractory", *European ceramic*, Vol. 3, pp. 271-276, 1993.