تاثیر ماده جفت کننده بر خاصیت جذب آب نانو کامپوزیت‌های الیاف طبیعی - سیمان

علی ورشویی تبریزی[1]، رضا حسین پورپیا[2]، مجتبی سلطانی[3]، محمد طلایی پور[4]

تاریخ دریافت: 89/6/3 تاریخ پذیرش: 89/10/2

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر ماده جفت‌کننده بر خصوصیات میکروسکوپی و جذب آب در نانو کامپوزیت‌های ساخته‌شده از الیاف دورریز خمیر کاغذ سولفیت و سیمان انجام گرفته‌است. در این پژوهش هشت تیمار شامل تأثیر دو سطح ماده جفت‌کننده بر پایه آمینو سیلان (0 و6 درصد وزنی الیاف) و چهار سطح نانو سیلیس (0، 0/5، 1 و 3 درصد جایگزینی وزنی سیمان) به‌عنوان عوامل متغیر و میزان الیاف و آب به‌ترتیب در سطح 10 درصد و نسبت یک به یک وزنی سیمان ثابت، بر خصوصیت جذب آب نمونه‌های ساخته‌شده مورد بررسی قرار گرفت. کلیه نمونه‌ها مطابق با استاندارد BS 1881: Part 122-1983 در سه مرحله جامد، مایع و اختلاط نهایی ساخته و مورد آزمایش قرار گرفتند. تصاویر میکروسکوپیSEM[5] جهت بررسی خواص ریز ساختاری کامپوزیت‌ها از نمونه‌ها تهیه‌شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش مقدار نانو ذرات سیلیس، جذب آب در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافت، همچنین افزودن ماده جفت کننده موجب افزایش جذب آب گردید. از طرفی اثر متقابل نانوذرات سیلیس و ماده جفت کننده در مقایسه با نمونه‌های شاهد که حاوی مقدار 10 درصد الیاف آزبست بوده‌اند، نشان دهنده کاهش میزان جذب آب بوده‌است. نمونه‌های حاوی 3 درصد نانو ذرات سیلیس و 6 درصد ماده جفت‌کننده دارای کمترین میزان جذب آب بوده‌اند. همچنین تصاویر SEM حاکی از بهبود ریزساختاری نانوکامپوزیت‌ها با افزودن ماده جفت کننده بود.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت، خمیر کاغذ سولفیت، نانو سیلیس، جفت کننده، آزبست

1- استادیار گروه صنایع چوب وکاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

2- دانش آموخته کارشناسی ارشد صنایع چوب وکاغذ و عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، نویسنده مسوول rhosseinpour74@ yahoo.com

3- استادیار گروه صنایع چوب وکاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

4- استادیار گروه صنایع چوب وکاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

[5] - Scanning Electron Microscope

مقدمه

آزبست به‌دلیل مقاومت بسیار بالا، عایق گرما و الکتریسیته و پایداری در برابر حرارت دارای کاربردهای بسیار زیادی است. الیاف آزبست دارای مصارف متعددی در ساخت اوراق سیمانی(ایرانیت و آرداواز) به واسطه انعطاف پذیری مناسب و استحکام بالای خود، می‌باشد [3]. در مقابل مزایای مطلوب، استفاده از آزبست سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی بسیاری گردیده‌است. مطالعات زیادی در مورد اثرات آزبست بر ریه و به وجود آمدن سرطان‌های وخیم دستگاه تنفسی انجام گردید و پژوهشگران در اغلب آنها بین فساد الیاف آزبست و ایجاد تومورهای سرطانی ارتباط نزدیکی یافتند [5]. به‌دنبال این موضوع، بسیاری از محققین در پی یافتن جایگزینی برای این ماده سرطانزای معدنی، الیاف طبیعی را پیشنهاد نمودند. طاهری‌نیا و ورشویی(1387) امکان استفاده از کاغذ بازیافتی در ساخت فرآورده مرکب الیاف- سیمان را مورد مطالعه قرار داده و بیان نمودند تخته‌های ساخته شده با 10 درصد الیاف کاغذ بازیافتی و 5 درصد کلریدکلسیم بالاترین خواص فیزیکی و مکانیکی را دارا می‌باشند [1]. قاسمی پور و طلائی پور (1387) در بررسی ویژگی‌های کامپوزیت‌های سیمانی تقویت شده با خمیر الیاف کارتن بازیافتی [OCC]، که این کامپوزیت‌ها با ذرات میکروسیلیس تقویت شده بود در مقایسه با نمونه‌های بدون الیاف به این نتیجه دست یافتند که استفاده از الیاف سبب افزایش مقدار جذب آب گردیده است [2]. امروزه علم و فناوری نانو نقش مؤثری را در پیشبرد علم و اهداف علمی ایفا می‌نمایند. در همین اثنا، دانش امروزه بتن نیز با ورود نانوذرات و نانوابزارها به‌عنوان مهمترین محصولات علم و فناوری نانو با سرعت بیشتری در حال رشد و توسعه می‌باشد. در همین رابطه نتایج تحقیقات نشان از بهبود خواص مکانیکی، دوامی و رئولوژیک کامپوزیت‌های پایه سیمانی در کنار نانو ذرات دارند [9و8]. حسینی و همکاران(2009) در پژوهشی تحت عنوان تأثیر نانو سیلیس بر ساختار میکروسکوپی و خواص مکانیکی بتون‌های سیمانی بیان نمودند که نانو سیلیس سبب بهبود رفتارهای فیزیکی و مکانیکی بتون‌های حاصله در مقایسه با نمونه‌های بدون این ذرات گردیده است [6]. تونولی و همکاران[1] (2009) مطالعه‌ای بر روی استفاده از الیاف سلولزی اصلاح شده به وسیله دو نوع ماده جفت‌کننده در ساخت کامپوزیت‌های پایه سیمانی انجام دادند. دراین بررسی بهترین سطح استفاده از ماده جفت کننده 6% وزنی الیاف معرفی گردید. نتایج به‌دست آمده حاکی از این بود که حفره سلولی الیاف با استفاده از ماده جفت‌کننده به‌حالت معدنی شدند و در نتیجه این عمل چسبندگی در بین مواد آلی(الیاف) ومواد معدنی (سیمان) بهبود یافت [11]. بیلبا و همکاران[2] (2008) در بررسی خواص الیاف باگاس تیمار شده با سیلان در ساخت کامپوزیت‌های سیمانی بیان نمودند که سیلان سبب تغییراتی در ساختار الیاف از قبیل واکشیدگی و افزایش ابعاد آن شده است [4]. در میان انواع الیاف طبیعی مورد استفاده در ساخت کامپوزیت‌های پایه سیمانی،

[1] Tonoli
[2] Bilba

الیاف خمیر کاغذ سولفیت که به صورت تجاری برای مصارف زیادی از جمله تولید کاغذهای چاپ و تحریر، فتوکپی، دستمال کاغذی و کاغذهای بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بسیار جالب توجه می‌باشد. برخی از کارخانجات تولید کننده محصولات سلولزی بهداشتی پس از در اختیار گرفتن الیاف سولفیت تجاری که به‌شکل ورقه‌هایی با ضخامت‌های متفاوت می‌باشد، آنها را به‌وسیله آسیابی سوزنی به‌سرعت 3000 دور در دقیقه و بعد از عبور از مش 60 به اندازه مورد نظر خود، درآورده و مورد استفاده قرار می‌دهند. مساله حایز اهمیت این است که بسیاری از این تولید کنندگان به‌دلیل در اختیار نداشتن تکنولوژی مناسب، الیاف با طول کمتر را به‌عنوان ضایعات از چرخه تولید خارج می‌نمایند. با توجه به آنچه ذکر گردید، هدف از این تحقیق استفاده از الیاف ضایعاتی خمیر کاغذ سولفیت، نانو ذرات سیلیس و ماده جفت کننده بر پایه آمینوسیلان جهت دستیابی به ترکیبی جدید در ساخت کامپوزیت‌های الیاف-سیمان و بررسی خواص فیزیکی آن در مقایسه با کامپوزیت آزبست-سیمان بود.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده

سیمان: سیمان استفاده شده در این پژوهش، پرتلند نوع 2 محصول شرکت فراز فیروزکوه بوده که آزمون‌های لازم برای شناخت ویژگی‌های آن بر اساس استاندارد 398 ایران انجام و مورد تأیید قرارگرفت.

آب: آب مورد استفاده آب شرب بود.

الیاف: الیاف مورد استفاده در این تحقیق به دو گروه الیاف طبیعی که الیاف حاصل از خمیر کاغذ سولفیت (تهیه شده از کارخانه پاک‌پر) و الیاف آزبست کریزوتیل که به‌عنوان نمونه شاهد مورد استفاده قرار گرفته است، تفکیک می‌گردد. مشخصات الیاف خمیر کاغذ سولفیت مورد استفاده در این بررسی در هنگام ورود به کارخانه در جدول(1) آورده شده است. لازم به ذکر است، قسمتی از این الیاف پس از سپری نمودن فرآیند تولید، به محدوده‌ی طولی کمتر از 3000 میکرون رسیده و به‌عنوان ضایعات از چرخه تولید خارج می‌گردند. در این پژوهش از الیاف خمیر کاغذ سولفیت که حاصل از دور ریز کارخانجات تولید کننده محصولات سلولزی- بهداشتی بود با طول حدود1500 میکرون استفاده گردید.

جدول 1- مشخصات الیاف سولفیت تجاری مورد استفاده

طول الیاف cm	pH	سفیدی %	خاکستر %	نوع فرآیند
2/4	7	84	12	سولفیت

نانو سیلیس: در این بررسی از نانوذرات سیلیس کلوییدی (دارای مقدار وزنی 40 درصد جامد و 60% آب) به اندازه 40 نانومتر تهیه شده از شرکت آسانسرام تهران، به‌عنوان نانوذرات تقویت کننده ماتریس سیمان-الیاف طبیعی استفاده شده است .

ماده جفت‌کننده: جفت‌کننده مورد استفاده، 3-آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان با فرمول ساختاری: $C_9H_{23}NO_3Si$ ساخت کمپانی MERCK آلمان، که مشخصات آن در جدول2 آورده شده است.

جدول2- مشخصات ماده جفت کننده

جرم مولی gr/mol	درجه خلوص %	دمای اشتعال ^oC	دانسیته gr/cm^3	pH
221/37	>98	300	0/951	11

آزبست: آزبست مورد استفاده برای تهیه نمونه شاهد از نوع کریزوتیل با طول حدود 3cm، موجود در بازار بوده است.

ساخت نمونه‌های آزمون

در این تحقیق سیمان، آب و الیاف (آزبست وخمیر کاغذ سولفیت در سطح10% وزنی سیمان) به‌عنوان عوامل ثابت، مقدار نانو ذرات سیلیس در چهار سطح (0%، 0/5%، 1% و 3% وزنی خشک سیمان) و ماده جفت کننده در دو سطح (0% و 6% وزنی الیاف) به‌عنوان عوامل متغیر به‌طوری‌که در جدول 3 آورده شده است، در نظر گرفته شدند. اختلاط مواد در دو فاز جامد و مایع انجام شد، طوری‌که ابتدا سیمان و الیاف در یک فاز جامد مخلوط گردید و از طرفی آب و نانوسیلیس کلوئیدی نیز در یک فاز مایع به وسیله یک همزن با سرعت حدود 600 دور در دقیقه با هم مخلوط شدند. در مرحله بعد این دو مخلوط در یک همزن ملات با یکدیگر ترکیب شده و درنهایت عمل قالب‌ریزی صورت گرفت.

جدول3- فرمولاسیون تیمارهای مختلف(بر اساس گرم)

شماره	کد تیمار	سیمان gr	آب gr	نوع الیاف	الیاف %	نانو سیلیس %	جفت کننده %
1	An0	1500	1500	سولفیت	%10	%0	%0
2	An1	1492/5	1488/75	سولفیت	%10	%0/5	%0
3	An2	1485	1477/5	سولفیت	%10	%1	%0
4	An3	1455	1432/5	سولفیت	%10	%3	%0
5	Anc0	1500	1500	سولفیت	%10	%0	%6
6	Anc1	1492/5	1488/75	سولفیت	%10	%0/5	%6
7	Anc2	1485	1477/5	سولفیت	%10	%1	%6
8	Anc3	1455	1432/5	سولفیت	%10	%3	%6
9	AZ	1500	1500	آزبست	%10	%0	%0

اندازه‌گیری میزان جذب آب

اندازه‌گیری جذب آب به‌عنوان نماینده آزمون‌های دوام فیزیکی بیانگر شمای کلی از ساختار نفوذپذیری مصالح سیمانی می‌باشد. ابعاد نمونه در این آزمون مطابق با استاندارد BS 1881: Part 122-1983 با اندازه 5cm×5cm×5cm تهیه گردید. بر اساس استاندارد، نمونه‌های ساخته شده در فاصله‌های زمانی 7و28 روز از عمل‌آوری به‌مدت 72 ساعت در اون و در دمای 105 درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. پس از خنک شدن در هوا (دمای 0/5±22 درجه سانتی‌گراد)، نمونه‌ها به‌مدت 30 دقیقه در آب غوطه‌ور گردید. میزان جذب آب نمونه‌ها با اندازه‌گیری وزن خشک (قبل از گذاشتن نمونه در آب) و وزن تر (پس از قرارگیری به‌مدت 30 دقیقه در آب) بر اساس معادله (1) محاسبه شد.

$$WA = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100$$

معادله (1)

که در معادله بالا، WA درصد جذب آب و W_w و W_d به‌ترتیب وزن نمونه در حالت تر و خشک می‌باشد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

جهت انجام بررسی‌های SEM از نمونه‌های 28 روزه آزمون جذب آب نمونه‌برداری گردید. بلافاصله پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها با طلا پوشش داده شدند و مورد تست SEM قرار گرفتند. دستگاه SEM به‌کارگرفته‌شده جهت بررسی‌های ریزساختاری کامپوزیت‌های پایه سیمانی Philips XL 30 می‌باشد و ولتاژ تست در آن برابر 25 کیلوولت تنظیم گردید.

روش آماری

برای بررسی اثر مستقل ومتقابل عوامل متغیر بر خاصیت فیزیکی (جذب آب) کامپوزیت ساخته شده، از آزمون فاکتوریل دو عامله در قالب طرح کاملاً تصادفی سنجیده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده گردید. در تمام مراحل، تجزیه و تحلیل آماری در سطح اطمینان 95% انجام شد.

نتایج

نتایج مربوط به آنالیز تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر جذب آب 7 روز و 28 روز کامپوزیت‌های ساخته شده از الیاف طبیعی- سیمان در جداول 4و5 ارائه شده‌است. همان‌گونه‌که مشاهده می‌گردد در جذب آب 7 روز، اثر مستقل مقدار نانو و اثر متقابل ماده جفت کننده و نانو سیلیس در سطح 99% معنی دار بوده و اثر مستقل ماده جفت کننده در سطح 95% معنی‌دار گزارش گردید. بر اساس جدول5، اثر مستقل مقدار نانو و اثر متقابل ماده جفت کننده و نانو سیلیس در سطح 99% معنی‌دار می‌باشد ولی بر اساس نتایج، اطلاعات لازم برای معنی‌داری بودن اثر مستقل ماده جفت کننده بر جذب آب 28 روز در کامپوزیت‌های الیاف طبیعی- سیمان به دست نیامده است. آزمون دانکن نیز اثر مستقل نانو ذرات سیلیس بر جذب آب 7 و28 روز کامپوزیت‌های الیاف طبیعی- سیمان را به‌ترتیب در سه و دو سطح طبقه‌بندی نموده است.

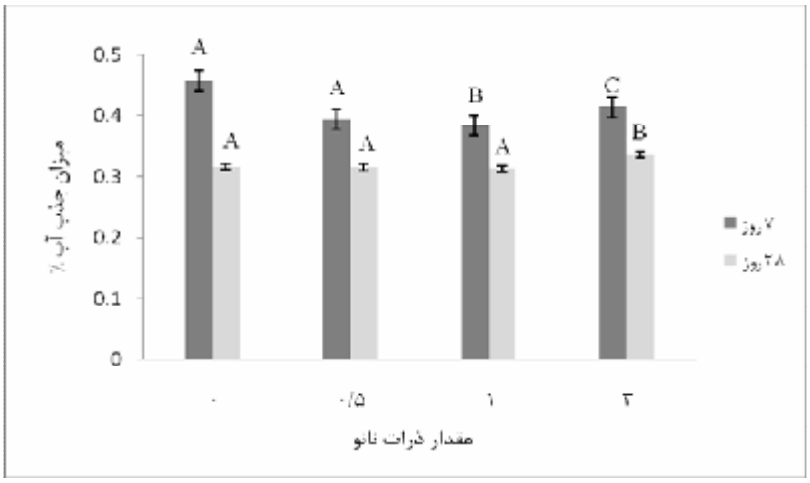
جدول4- جدول تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر جذب آب 7 روز کامپوزیت‌های الیاف طبیعی- سیمان

منبع تغییرات	SS	df	MS	F محاسباتی	Sig
مقدار ماده جفت کننده	0/004	1	0/004	6/663	/019
مقدار نانو	0/097	3	0/032	61/614	/000
جفت کننده و نانو	0/045	3	0/15	28/297	/000
خطا	0/009	18	0/001	0	0
کل	5/532	27	0	0	0

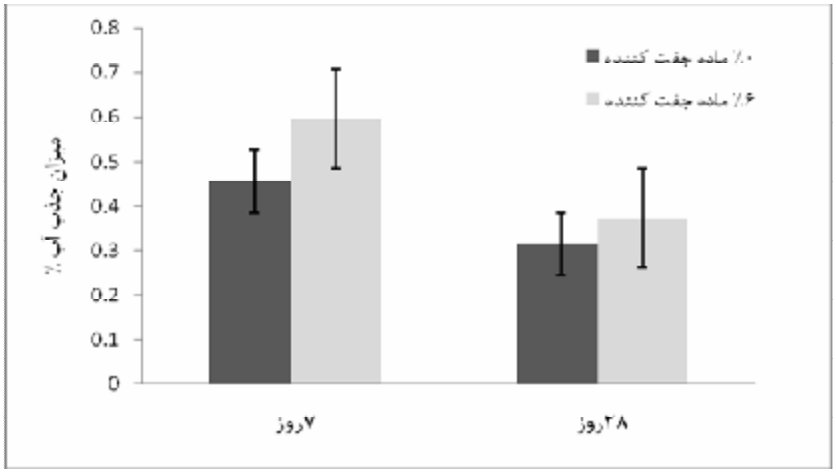
جدول5- جدول تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر جذب آب 28 روز کامپوزیت‌های الیاف طبیعی- سیمان

منبع تغییرات	SS	df	MS	F محاسباتی	Sig
مقدار ماده جفت کننده	0/000	1	0/000	4/340	/052
مقدار نانو	0/004	3	0/001	15/091	/000
جفت کننده و نانو	0/006	3	0/002	24/010	/000
خطا	0/001	18	8/126E-5	0	0
کل	3/207	27	0	0	0

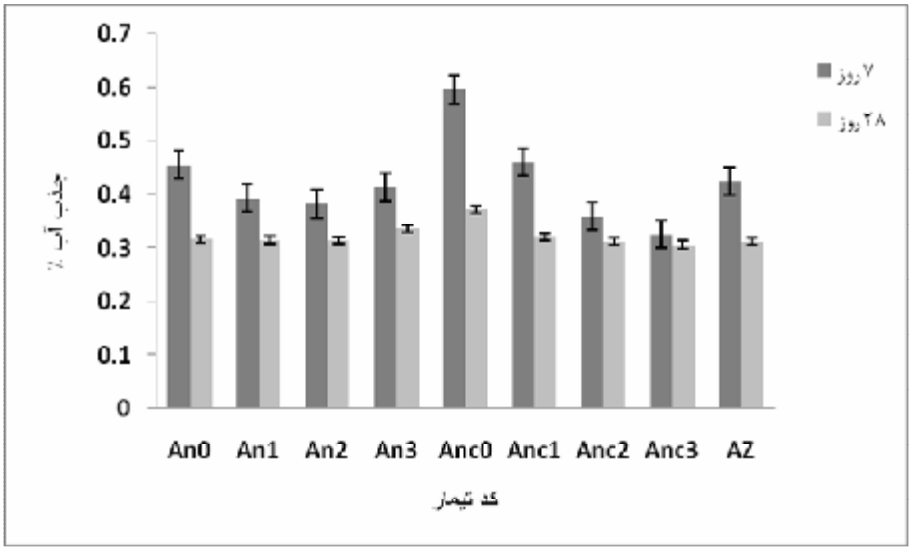
با توجه به شکل 1، افزودن نانو ذرات در سطوح کم (0/5% و 1%) سبب کاهش جذب آب در دو بازه زمانی (7 و28 روز) گردیده ولی در سطح 3% نانو ذرات سیلیس جذب آب در دو بازه زمانی مذکور افزایش یافته است. با در نظر گرفتن شکل 2، افزودن ماده جفت‌کننده در دو بازه زمانی (7 و28 روز) سبب افزایش میزان جذب آب گردیده‌است. بر اساس شکل3، اثر متقابل ماده جفت‌کننده و نانوذرات سیلیس سبب کاهش جذب آب در کامپوزیت‌های الیاف- سیمان گردید، به‌طوری‌که کمترین میزان جذب آب در فرآورده‌های حاوی 3% نانو ذرات سیلیس و ماده جفت‌کننده مشاهده شد. همچنین مطابق شکل3، با افزودن ماده‌جفت کننده در حضور کمترین سطح نانوذرات سیلیس (0/5%)، جذب آب نسبت به نمونه شاهد (آزبست) به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داده‌است.



شکل 1- اثر مستقل نانو بر جذب آب 7 و 28 روز



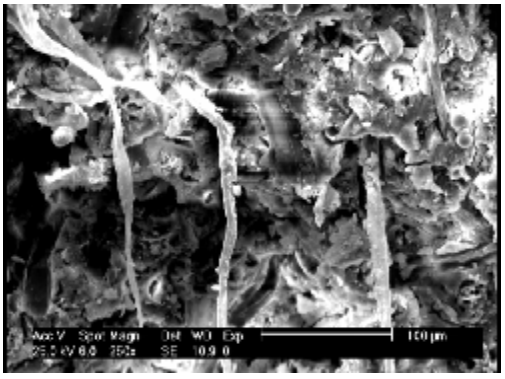
شکل 2- اثر مستقل ماده جفت کننده بر جذب آب 7 و 28 روز



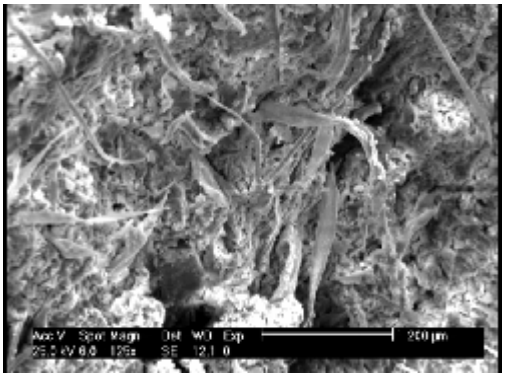
شکل 3- اثر متقابل ذرات نانو و ماده جفت کننده بر جذب آب 7 و 28 روز

نتایج ریز ساختاری(SEM)

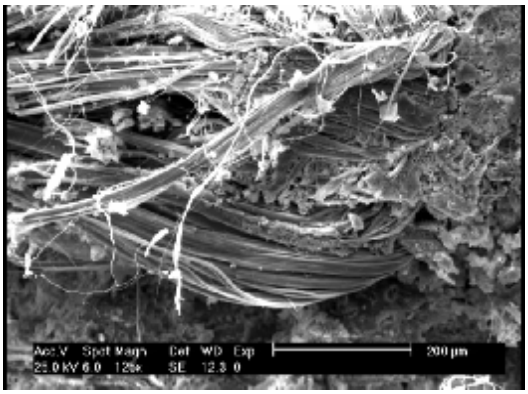
مطابق با شکل4، الیاف خمیر کاغذ سولفیت دارای کمترین میزان چسبندگی با بستر سیمانی می‌باشد. این چسبندگی با افزودن نانوذرات سیلیس بر اساس شکل5 بهبود یافته‌است. همان-طورکه در شکل 6 مشخص می‌باشد، حضور ماده جفت‌کننده سبب بهبود همبستگی بین الیاف و همچنین الیاف و سیمان گردید. بر اساس شکل7، ساختار کامپوزیت الیاف طبیعی- سیمان در حضور نانو ذرات سیلیس و ماده جفت کننده بسیار بهبود یافت. همان‌طورکه در اشکال میکروسکوپی مشخص است، بر اساس اثر متقابل نانو ذرات سیلیس و ماده جفت کننده چسبندگی بین الیاف آلی و بستر سیمان معدنی بیشتر شده و همچنین میزان تخلخل ساختار سیمان بر اساس ایجاد محصولات هیدراسیون کاهش یافته است.



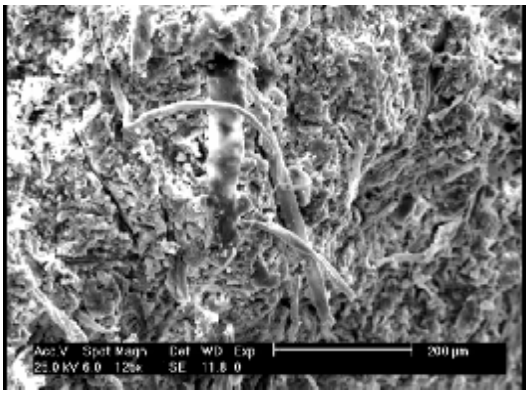
شکل4- نمونه فاقد نانوذرات سیلیس و ماده جفت کننده



شکل5- نمونه دارای 3% نانو ذرات سیلیس



شکل6- نمونه دارای ماده جفت کننده



شکل7- نمونه دارای 3% نانو ذرات سیلیس و ماده جفت کننده

بحث و نتیجه‌گیری

جذب آب کامپوزیت‌های سیمانی به میزان نفوذپذیری نمونه‌ها و به بیانی دیگر به ارتباط بین حفرات موجود در ساختار وابسته است. بر همین اساس، با افزایش نانوذرات سیلیس به ماتریس خمیر سیمان، ازآنجاکه این افزایش به سفت‌تر شدن خمیر تازه می‌انجامد، به‌علت افزایش گرانروی و چسبندگی بالای خمیر ساخته شده، در حین تراکم، ورود هوا و ایجاد تخلخل در ساختار نمونه‌های سیمانی مشهود بود که این امر خود متعاقبا به‌علت سفت‌تر بودن خمیر تازه سیمان، منجر به ایجاد ترک‌های ریز شده لذا می‌توان با افزایش مقادیر نانوذرات سیلیس، انتظار ایجاد ساختاری با نفوذپذیری نامناسب‌تری را داشت[10]. با این وجود، در بیشترین میزان نانوذرات سیلیس (3%)، جذب آب نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد، افزایش یافت. علت این وضعیت را می‌توان به کلوخه‌شدگی نانوذرات در ماتریس و ایجاد حفرات کم مقاومت که علاوه برکاهش ویژگی‌های مقاومتی، موجب برقراری ارتباط بین حفرات موجود نیز می‌گردند و همچنین سفتی بیش از حد نمونه‌ها، نسبت داد. در نتیجه، این اثرات جانبی نامطلوب از تأثیر مثبت عملکرد سوپر پوزولانی نانوذرات، پیشی گرفته و میزان نفوذپذیری کامپوزیت را نامناسب‌تر می‌نمایند. بر این اساس، در نتیجه عملکرد مناسب سوپر پوزولانی نانوذرات سیلیس در سطح کمتر از 1%، شاهد بهبود نفوذپذیری و در نتیجه کاهش جذب آب نمونه‌ها می‌باشیم. اما در سطوح بالاتر نانوذرات سیلیس (3%)، بنابه‌دلایل بیان شده، روند جذب آب در نخستین روزهای پس از تولید، اگر چه نسبت به نمونه شاهد، بهبود می‌یابد، اما نسبت به نمونه‌هایی با مقادیر کمتر نانوذرات سیلیس، جذب آب بیشتری را شاهد می‌باشیم. از آن‌جایی‌که با گذشت زمان، میزان نفوذپذیری (صرف نظر از نوع افزودنی) بهبود می‌یابد، لذا در دوره‌های آزمون طولانی‌تر (28 روزه)، کاهش جذب آب نسبت به نمونه‌های شاهد مشاهده شد. البته با یک استثناء برای نمونه‌ی واجد 3% نانوذرات سیلیس که، بنابر توضیح ارایه شده پس از 28 روز دارای جذب آب بالاتری نسبت به نمونه شاهد می‌باشد.

با توجه به نتایج آزمون جذب آب کوتاه مدت، به‌کارگیری جفت‌کننده آمینوسیلان، بر میزان نفوذپذیری تاثیر معنی‌داری داشته است. این موضوع باعث افزایش جذب آب کامپوزیت واجد آمینو سیلان نسبت به نمونه‌های شاهد (بدون آمینوسیلان و نانوذرات سیلیس) می‌گردد. این پدیده را می‌توان ناشی از ورود هوا به ماتریس سیمانی توسط آمینوسیلان دانست [7و10]، که در نتیجه میزان نفوذپذیری تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

با به‌کارگیری نانوذرات سیلیس در کنار آمینوسیلان و افزایش مقادیر نانوذرات سیلیس، میزان نفوذپذیری بهبود می‌یابد. این موضوع ناشی از عملکرد توأمان نانوذرات و آمینوسیلان می‌باشد. در نتیجه این موضوع با افزایش سطح نانو ذرات سیلیس از 0 تا 3%، شاهد کاهش جذب آب می‌باشیم. شدت این روند کاهشی به حدی می‌باشد که درسطوح بالاتر از 0/5% نانوسیلیس، میزان جذب آب کمتر از نمونه‌های شاهد بود.

درخاتمه، می‌توان اظهار داشت که به‌کارگیری الیاف سولفیت به جای آزبست، در ابتدا خاصیت جذب آب کامپوزیت حاصل را افزایش(نمونه‌های فاقد مواد افزودنی) و سپس(با ورود افزودنی‌ها) کاهش داده است چراکه تعداد بیشتر الیاف سولفیت،که دارای سطح موثر بیشتری نسبت به الیاف آزبست می‌باشند، به‌طور موثرتری بین ریزترک‌ها ایجاد پل کرده و در نتیجه نفوذپذیری به‌میزان قابل ملاحظه‌ای نسبت به کامپوزیت‌های دارای الیاف آزبست، بهبود یافته‌است. از طرفی بر اساس تصاویر SEM، اثر متقابل ماده جفت‌کننده و نانو ذرات سیلیس در پیوند با الیاف خمیر کاغذ سولفیت توانسته‌است سبب بهبود ریز ساختار و کاهش خاصیت جذب آب شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد می باشد و بدین وسیله از زحمات بی دریغ اساتید محترم راهنما و مشاور که در انجام این پژوهش راهنمایی‌های بسیار ارزشمند نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نماید. و همچنین تشکر ویژه از باشگاه پژوهشگران واحد چالوس به‌دلیل فراهم آوردن امکانات مالی این پژوهش بعمل می آید.

منابع

1- طاهری‌نیا، ع. 1387. امکان استفاده از کاغذ بازیافتی در ساخت فرآورده مرکب الیاف-سیمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

2- قاسمی پور، ح . بابائی فر، س. طلایی پور، م. 1387. بررسی ویژگی‌های کامپوزیت های سیمانی تقویت شده با خمیر الیاف کارتن بازیافتی، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران

3- وزارت صنایع طرح جامع معدن آزبست مصوب 1380

4-Bilba ,K, Arsense, M.A., 2008, Silane treatment of bagasse fiber for reinforcement of cementitious composites. Composites Journal:Part A 39, 1488–1495

5- David ,M. Bernstein & John A. Hoskins, 2006, The health effects of Chrysotile: current perspective based upon recent data: Regulatory Toxicology and Parmacology.

6- Hosseini, P., Booshehrian, A., Farshchi, S., 2010, Influence of nano-SiO_2 addition on microstructure and mechanical properties of cement mortars for ferrocement, Transportation Research Record, 2141, 15-20.

7-Ji, T., 2005, Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO_2, Cement and Concrete Research, 35, 1943-1947.

8- Li, H., Xiao, H.G., Yuan, J., Ou, J., 2004, Microstructure of cement mortar with nano-particles, Composites: Part B., 35, 185-189.

9- Sneff, L., Labrincha, J.A., Ferreira, V.M., Hotza, D., Repette, W.L., 2009,Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars, Construction and Building Materials, 23, 2487-2491.

10- Svegl, F., Suput-Strupi, J., Skrlep, L., Kalcher, K., 2008, The influence of aminosilanes on macroscopic properties of cement paste, Cement and concrete Research, 38, 945-954.

11- Tonoli, G.H.D., Rodrigues Filho, U.P., Savastano Jr, H., Bras, J., Belgacem, M.N., Rocco Lahr, F.A., 2009, Cellulose modified fibers in cement based composites, Compoites: Part A., 40,2046-2053.