



الیاف آلیجنات روی همراه با نانوافزودنی سیلیکا (SiO_2)

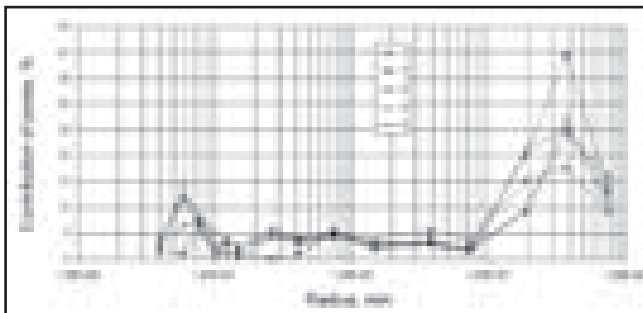
چکیده

در پی مطالعات انجام شده پیرامون تولید الیاف نانوکامپوزیتی آلیجنات روی با نانوافزودنی تری کلسیم فسفات (TCP)، شرایط تولید الیاف آلیجنات روی با نانوافزودنی سیلیکا (SiO_2) نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق تاثیر پارامترهای اساسی در مرحله ی شکل گیری الیاف نظیر نسبت کشش نخ نوریس و تغییر شکل مربوطه در مرحله ی کشش بر خلل و فرج و ساختار سوپرامکولی و همچنین جذب و خواص استحکامی نانوالیاف آلیجنات روی حاوی سیلیکا مورد بررسی قرار می گیرد. یک آنالیز مقایسه ای بین ساختار و خواص الیاف حاوی نانوافزودنی های تری کلسیم فسفات و سیلیکا نیز صورت گرفت و تاثیر نوع نانوافزودنی بر ساختار و خواص الیاف مورد مطالعه مشخص شد.

مقدمه

جنبه مهم استفاده از الیاف نانوکامپوزیتی آلیجنات بر اساس استفاده از آن ها در تولید یک بیوکامپوزیت لیفی دو لایه و همچنین دارا بودن نانوالیاف متشکل از پلیمرهایی است که قابلیت جذب دوباره آن ها کمتر می باشد. تحقیق حاضر ادامه تحقیقات پیشین پیرامون تعیین شرایط تولید الیاف آلیجنات روی حاوی نانوافزودنی های سرامیکی مختلف می باشد. ساختار و ویژگی های الیاف حاوی نانوافزودنی SiO_2 با الیاف حاوی نانوافزودنی TCP مقایسه خواهد شد. یک آنالیز نسبی نیز بین ساختار سوپرامکولی دو نوع الیاف نانوکامپوزیتی آلیجنات روی صورت خواهد گرفت.

هدف از این تحقیق تعیین تاثیر پارامترهای اصلی فرایند مانند نسبت کشش نخ نوریس و تغییر شکل مربوطه در مرحله کشش بر روی ساختار متخلخل و سوپرامکولی و همچنین جذب و خواص استحکامی الیاف آلیجنات روی حاوی نانوافزودنی های SiO_2 می باشد.



شکل ۱- درصد سهم منافذ به صورت تابعی از شعاع الیاف آلیجنات روی حاوی نانوافزودنی SiO_2 AZS ۱-۱ نسبت کشش نخ نوریس ۳۰٪، ۲-۲ AZS نسبت کشش نخ نوریس ۵۰٪، ۳-۳ AZS نسبت کشش نخ نوریس ۷۰٪، ۴-۴ AZS نسبت کشش نخ نوریس ۹۰٪، ۵-۵ AZS نسبت کشش نخ نوریس ۱۱۰٪.

بخش تجربی

مواد اولیه و روش ها

تعریف پلیمر، نانوافزودنی و محلول ریسندگی

در مورد پلیمر مورد استفاده برای تشکیل الیاف آلیجنات روی در زیر توضیحاتی داده شده است.

علت استفاده از الیاف آلیجنات در پزشکی به ویژه باندها و منسوجات مخصوص زخم، ویژگی های خاص آن است که باعث تسریع در فرایند بهبود زخم می شود. منسوجات مخصوص زخم که با استفاده از الیاف آلیجنات تولید می شوند و در بازار در دسترس هستند عبارتند از Kaltocarb, Kaltogel (Conva Tec), Sorbsan (Pharma-Plast), Sorbalgon (Hartmann) و Algisite M (Smith & Nephew). البته هنوز محصولی که از الیاف آلیجنات روی تشکیل شده باشد در بازار موجود نیست. اصلاح ماده ی اولیه الیاف از طریق افزودن آنتی بیوتیک ها یا نانوافزودنی های نقره در حین فرایند شکل گیری الیاف یک خاصیت ضد میکروبی به آن می دهد یا ویژگی های خاصی را در منسوج مورد نظر ایجاد می کند. خواص جذب بالای الیاف آلیجنات نیز نقش مهمی ایفا می کند چون باعث برطرف شدن رطوبت از زخم و در نتیجه ایجاد محیط مناسب در محل زخم برای فرایند بهبود می شود.

دست یابی به بیوکامپوزیت های حاوی الیاف آلیجنات کلسیم با انواع مختلفی از نانوافزودنی های سرامیکی نظیر هیدروکسی آپاتیت (Hap)، تری کلسیم فسفات (TCP)، سیلیکا (SiO_2) و مونتموریونیت (MMT) باعث گسترش کاربرد آن ها و تولید ایمپلنت های مدرن برای پشتیبانی از بازسازی مجدد بافت استخوان می شود. کامپوزیت های پلیمری لیفی پیشرفت بزرگی محسوب می شوند که می توانند جایگزین ایمپلنت های فلزی قدیمی شوند. این به دلیل شباهت ساختار سه بعدی این کامپوزیت ها به ساختار طبیعی استخوان و همچنین حضور نانوافزودنی ها در الیاف با تاثیر osteoconductive و osteoinductive می باشد.

وجود الیاف آلیجنات در چنین بیوکامپوزیت هایی، سازگاری ایمپلنت را با سلول های استخوان بهبود می بخشد. عرضه ی الیاف آلیجنات از آلیجنات روی بدین معناست که سطح ایمپلنت تحت تاثیر سیالات بدن اصلاحات را تحمل خواهد کرد. در نتیجه ی جذب مجدد الیاف آلیجنات نانوکامپوزیتی، یک ساختار متخلخل تشکیل می شود که به چسبندگی سلول های تازه تشکیل شده و یکپارچگی بهتر ایمپلنت با بافت بدن بیمار کمک می کند. علاوه بر آن نانوافزودنی آزاد شده به صورت osteoconductive عمل می کند.



منحنی های دیفراکسیون با روش انعکاسی و اندازه گیری مرحله به مرحله ثبت شدند. منحنی های تفرق WAXS برای الیفات آلجینات با استفاده از برنامه ی کامپیوتری WAXSFIT تجزیه و تحلیل شد.

الیفات آلجینات روی طی یک فرایند تر از محلول پلیمری که در آن آب مقطر به عنوان حلال استفاده شده بود، تهیه شدند. فرایند انعقاد در حمامی حاوی کلرید روی و اسید کلریدریک در دمای 40°C انجام شد. غلظت محلول ریسندگی آلجینات سدیم $7/4\%$ بود. فرایند کشش در دو مرحله انجام شد: مرحله اول در یک حمام پلاستیزاسیون حاوی کلرید روی و $3/0/0\%$ اسیدکلریدریک و در دمای 67°C و مرحله دوم در فضای بخار مافوق گرم و در دمای 135°C انجام شد.

الیفات پس از مرحله کشش، شستشو و خشک شدند. برای تشکیل الیفات از یک ماشین ریسندگی آزمایشگاهی با مقیاس بزرگ استفاده شده است. این ماشین طوری ساخته شده تا بتواند پارامترهای تکنولوژیکی را کنترل و تثبیت کند و سرعت سیستم های کشش را تنظیم نماید.

برای ثابت نگه داشتن غلظت حمام های انعقاد و پلاستیزاسیون حرکت دورانی یکنواختی در آن ها ایجاد کردیم، همچنین برای ثابت نگه داشتن دما نیز از ترموستات استفاده شده است.

نازل های ریسندگی مورد استفاده دارای 240 سوراخ با قطر 0.08 mm بودند. الیفات در شرایطی که پیش از این برای تولید الیفات آلجینات روی با نانوافزودنی TCP تعریف شده بود، تولید شدند.

پارامتر متغیر در این فرایند میزان نسبت کشش نخ نورس بود که بین 30% تا 110% تغییر می کرد. تغییر شکل مربوطه در مرحله ی کشش نیز با تغییر این پارامتر، تغییر می کرد.

بحث و بررسی نتایج

تجزیه و تحلیل خصوصیات جذبی الیفات آلجینات روی نانوافزودنی SiO_2 نشان می دهد که جذب این الیفات نیز مانند الیفات آلجینات روی حاوی TCP تا حد زیادی وابسته به طبیعت آبدوست مواد اولیه است. جذب رطوبت در رطوبت نسبی 65% بین $20/67$ تا $22/19$ می باشد که اندکی پایین تر از الیفات حاوی نانوافزودنی TCP می باشد. این مقدار در الیفات مذکور بین $23/70$ تا $25/04$ بود. البته لازم به ذکر است که در رطوبت نسبی 100% میزان اختلاف چشمگیرتر و حدود 10% بود. در الیفات آلجینات روی حاوی SiO_2 ، مقدار آن بین $35/86$ تا $36/88$ و در الیفات آلجینات روی حاوی TCP بین $41/87$ تا $43/72$ بود.

نانوافزودنی مورد استفاده در الیفات مورد مطالعه، SiO_2 (محصول کمپانی Sigma Aldrich) و مقدار آن 3 درصد جرم پلیمر بود. غلظت محلول ریسندگی نیز متناسب با آن بود.

پارامترهای محلول ریسندگی حاوی نانوافزودنی SiO_2 عبارت است از: $n=0/709$, $K=34/183$.

روش های تجربی

با استفاده از تکنیک تفرق دینامیک نور مشخص شد که اندازه ی نانوافزودنی مورد استفاده متوسط است. جزییات نانوافزودنی مورد استفاده شامل توزیع کمی و حجمی ذرات بررسی شده است. روش های مورد استفاده برای تعیین خواص الیفات و ساختار متخلخل آن ها نیز شرح داده شده است.

برای بررسی ساختار ماکروسکوپی، از میکروسکوپ الکترونی پویشی JEOL JSM 5400 استفاده شد.

توزیع نانوافزودنی در الیفات بر اساس تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی پویشی JSM 5400 بررسی شد. نتایج آنالیز EDX (انرژی اشعه ایکس متفرق کننده) به صورت طیف EDX نشان داده شد و نقشه ی توزیع عناصر انتخابی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نقشه برداری سطح الیفات نیز با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) انجام شد.

شاخص تغییر شکل مقطع عرضی الیفات از روی تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی پویشی JSM 5400 و با اندازه گیری کوچک ترین دایره ی محیطی و بزرگ ترین دایره ی محاطی مقطع عرضی تعیین شد. اندازه گیری ها با استفاده از برنامه کامپیوتری CSS Scan Multi Scan انجام شد. مقدار شاخص تغییر شکل مقطع عرضی به صورت نسبت کوچک ترین دایره ی محیطی به بزرگ ترین دایره ی محاطی تعریف شد. این مقدار می تواند از 1 تا بینهایت تغییر کند. هرچه قدر مقدار آن بیشتر باشد، انحراف مقطع عرضی الیفات از حالت دایره ای بیشتر خواهد بود. میانگین تورم الیفات با استفاده از میکروسکوپ بیولوژی متصل به یک سیستم کامپیوتری بررسی شد و اندازه گیری قطر الیفات متورم نیز ممکن گشت. آزمایشات تا زمان ثابت ماندن اندازه های قطر الیفات در شرایط ثابت انجام شد. میانگین مقدار تورم الیفات به صورت نسبت تفاوت بین قطر الیفات تر و خشک به قطر الیفات خشک و به صورت درصدی بیان شد.

درجه بلورینگی نیز با روش WAXS³ و با استفاده از دیفراکتومتر Seifert URD 6 که دارای لامپ مسی با تشعشعاتی به طول موج $\lambda=0/154\text{ nm}$ و با منبع تامین $I=30\text{ mA}$ و $U=40\text{ Kv}$ است، تعیین می شود.

جدول 1- خواص جذبی و ساختار متخلخل الیفات آلجینات روی حاوی نانوافزودنی SiO_2

نمونه	نسبت کشش نخ نورس، %	حجم کلی منافذ، cm^3/g	P_n , cm^3/g	مجموع سطح داخلی منافذ، m^2/g	جذب رطوبت در رطوبت نسبی 65%	جذب رطوبت در رطوبت نسبی 100%	میزان نگرهداری آب، %	غلظت روی/نگهداری آب، %
AZS1	+30	0/332	0/1680	35/942	20/67	36/48	73/43	10/40
AZS2	+50	0/231	0/0625	10/371	22/08	36/88	66/26	10/81
AZS3	+70	0/354	0/2040	43/144	20/81	35/86	59/67	11/41
AZS4	+90	0/351	0/1796	37/361	21/64	36/40	56/35	11/00
AZS5	+110	0/291	0/1234	24/933	22/19	36/57	62/05	10/70



جدول ۲- خواص استحکامی و شرایط تشکیل الیاف آلجینات روی حاوی نانوافزودنی SiO_۲

نمونه	نسبت کشش نخ نورس، %	نسبت کشش، %			تنش در هنگام کشش، cN/tex			تغییر شکل کلی	جرم خطی، tex	استحکام کششی، cN/tex	انحراف از استاندارد، cN/ tex	ازدیاد طول تا حد پارگی، %
		R _۱	R _۲	R _c	σ _{coag}	σ _{plast}	σ _{steam}					
AZS _۱	+۳۰	۱۷۹/۸۳	۴/۷۷	۱۹۳/۱۸	۰/۰۳۸	۱/۵۹۸	۰/۸۴۸	۳/۸۱	۵۴/۰۷	۲۲/۷۴	۰/۶۱	۵/۷۳
AZS _۲	+۵۰	۱۴۶/۷۷	۱۵/۷۹	۱۸۵/۷۳	۰/۰۴۴	۱/۸۲۰	۱/۱۰۴	۴/۲۹	۴۸/۶۷	۲۲/۹۹	۰/۵۷	۵/۶۴
AZS _۳	+۷۰	۱۵۰/۲۱	۲۲/۷۳	۲۰۷/۰۸	۰/۰۵۱	۲/۲۸۵	۱/۴۶۳	۵/۲۲	۳۹/۶۳	۲۴/۳۸	۰/۷۲	۵/۶۹
AZS _۴	+۹۰	۱۳۷/۳۳	۲۸/۳۱	۲۰۴/۵۲	۰/۰۵۳	۲/۱۷۵	۱/۶۲۳	۵/۷۹	۳۷/۴۷	۲۱/۹۰	۱/۲۱	۴/۸۲
AZS _۵	+۱۱۰	۱۳۴/۷۷	۹/۲۷	۱۵۶/۵۴	۰/۰۶۳	۲/۷۰۴	۰/۹۴۶	۵/۳۹	۳۸/۰۳	۲۱/۳۶	۱/۰۶	۴/۶۵

زمانی که مبحث سطح بالای نگهداری آب در الیاف حاوی نانو SiO_۲ مطرح می شود، باید به مساله تورم این الیاف بر اساس تغییر در قطر آن ها نیز توجه کرد. میانگین درجه تورم (شکل ۲) در مقایسه با میزان نگهداری آب بسیار پایین تر است. لازم به ذکر است که این شاخص متناسب با نسبت کشش نخ نورس افزایش می یابد در صورتی که در مورد نگهداری آب چنین ارتباطی مشاهده نشده است.

برای تعیین درجه تورم، تغییرات در مدت زمان ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد، منحنی های نشان دهنده ی سینتیک تورم مشخص می کند که پس از مدت زمان مشخص فرایند به ثبات می رسد (شکل ۲).

تجزیه و تحلیل خواص استحکامی الیاف نانوکامپوزیتی آلجینات روی حاوی نانوافزودنی SiO_۲ (جدول ۲) نشان می دهد که استحکام کششی الیاف به شدت تحت تاثیر مقدار نسبت کشش نخ نورس و تغییر شکل وابسته به آن در مرحله کشش می باشد. بیشترین مقدار این شاخص در الیافی مشاهده شد که در نسبت کشش نخ نورس +۷۰٪ تشکیل شدند نظیر الیاف آلجینات کلسیم حاوی SiO_۲. البته در مورد الیاف آلجینات روی حاوی نانوافزودنی TCP بیشترین استحکام کششی در نسبت +۳۰٪ برای کشش نخ نورس حاصل شد. علاوه بر آن خواص استحکامی برای هر دو نوع الیاف نانوکامپوزیتی آلجینات روی مشابه است: ۲۴/۳۸ cN/tex و ۲۴/۷۲ cN/tex (برای الیاف آلجینات روی حاوی TCP). در این حالت فاکتور تعیین کننده ی بیشترین خواص استحکامی، بیشترین مقدار ممکن برای نسبت کشش (در سطح ۳۰/۲۴۴٪) بود. در مورد الیاف حاوی SiO_۲ عامل تعیین کننده، تغییر شکل جریان پلیمری ساکن است زمانی که نسبت کشش کل ۴۰٪ پایین تر از الیاف حاوی TCP می باشد.

این اختلافات ممکن است از طبیعت ساختار متخلخل و مقدار حجم کلی منافذ نشأت بگیرد. با توجه به ساختار متخلخل الیاف، P_۱ حجم کلی منافذ موجود در الیاف به منافذ موجود در شعاع ۴ تا ۱۰۰۰ نانومتری است که به تخلخل الیاف اولیه نسبت داده می شود. P_۲ حجم کلی منافذ موجود در نمونه با شعاع بین ۴ تا ۵۰۰ نانومتر است که شامل تخلخل مواد اولیه ی لیفی به اضافه ی P_۱ می شود.

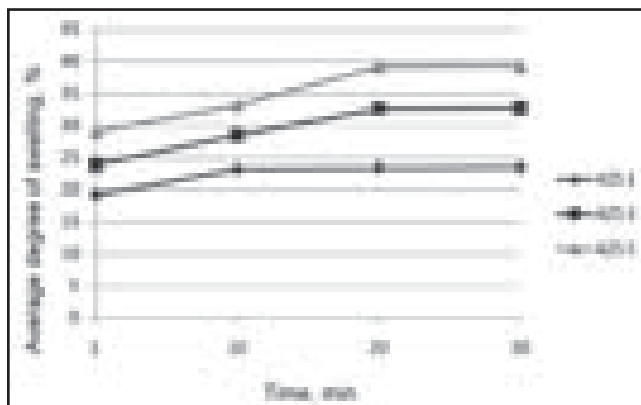
مقایسه ی حجم کلی منافذ در دو نوع مختلف الیاف نانوکامپوزیتی آلجینات روی نشان می دهد که مقدار پایین تر P_۱ در الیاف حاوی SiO_۲ (۰/۲۰۴ cm^۲/g) مقابل (۰/۳۴۳ cm^۲/g) به جذب رطوبت پایین تر الیاف حاوی نانوافزودنی SiO_۲ در رطوبت نسبی ۱۰۰٪ نیز مربوط می شود. این متناظر است با ارتفاع اولین نقطه ماکزیمم بر روی گراف نشان داده شده در شکل ۱ که در آن درصد منافذ به صورت تابعی از شعاع آن ها نشان داده شده است. به علاوه حالت دو قله ای در منحنی توزیع حفره ها در هر دو نوع لیف نانوکامپوزیتی مشابه هم است.

مقدار نگهداری آب که در سطح بالایی در حدود ۷۳/۴۳-۵۶/۳۵٪ قرار دارد (جدول ۱) نیز با نسبت منافذ در مواد اولیه لیفی با قطر بین ۱۰۰۰ تا ۷۵۰۰ nm متناسب است. این حفره ها با آخرین نقطه ماکزیمم بر روی گراف متناظر بوده و نشان دهنده ی درصد توزیع منافذ به صورت تابعی از شعاع آن هاست (شکل ۱).

این نوع از تخلخل احتمالاً به دلیل حضور فضاهای خالی بین مونوفیلامنت ها و غیریکنواختی سطح الیاف می باشد. در چنین فضاهایی به دلیل اتصال خوشه های پلی مورفیک از طریق پل های هیدروژنی با گروه های OH غیر قابل جایگزینی در ماده اولیه امکان نگهداری آب وجود دارد. تخلخل بیش از ۵۰٪ در محدوده ی ۱۰۰۰ تا ۷۵۰۰ nm یک مزیت است چون به نفوذ سیال بدن و چسبندگی سلول های تازه تشکیل شده به ایمپلنت های متشکل از چنین الیافی کمک خواهد کرد.

جدول ۳- درجه بلورینگی و ابعاد بلورها در الیاف آلجینات روی حاوی نانوافزودنی SiO_۲ (AZS ۱،۳،۵) و TCP (۱،۳) و بدون نانوافزودنی (AZ ۲)

نمونه	نسبت کشش نخ نورس، %	نسبت کشش کل، %	درجه بلورینگی، %	ابعاد بلورها		
				D _{۱۰۰} (M), nm	D _{۱۱۰-۱۱۱} (G), nm	D _{۱-۱۰} (M/G), nm
AZS ۱	+۳۰	۱۹۳/۱۸	۱۸	۵/۶	۴/۷	۵/۷
AZS ۲	+۷۰	۲۰۷/۰۸	۱۶	۴/۸	۴/۲	۵/۲
AZS ۵	+۱۱۰	۱۵۶/۵۴	۲۰	۵/۴	۴/۲	۴/۹
AZT ۱	+۳۰	۲۳۱/۷۵	۱۷	۴/۲	۳/۹	۳/۴
AZT ۲	+۷۰	۱۶۹/۹۷	۱۵	۴/۷	۴/۱	۳/۷
AZT ۲	+۵۰	۲۴۶/۴۶	۱۶	۳/۹	۳/۱	۳/۵



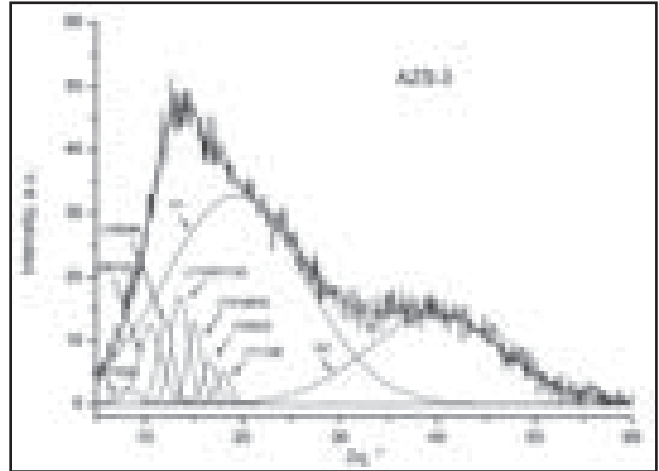
شکل ۲- سینتیک تورم الیاف آلجینات روی حاوی نانوافزودنی SiO_۲



نوریس ۳۰٪ (AZS ۱) نیز می شود.

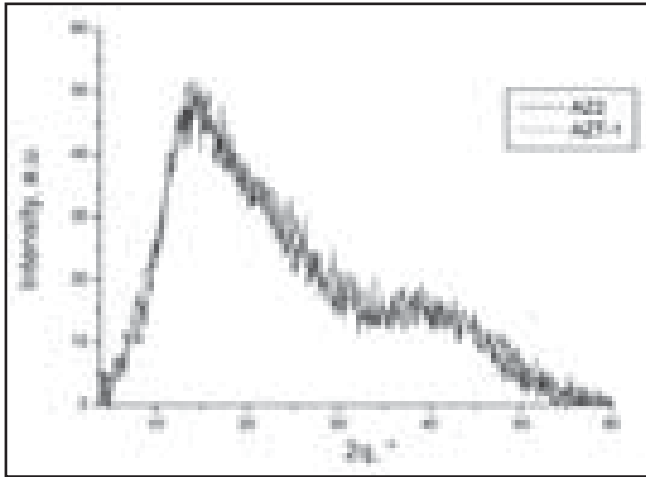
در شکل ۳ نمونه ای از توزیع منحنی تفرق در پیک های بلوری الیاف حاوی SiO_2 که در نسبت کشش نخ نوریس ۷۰٪ در اثر حضور بلورهای تشکیل شده از بلوک های مانورونیک (M) و گلورونیک (G) شکل گرفته اند، نشان داده شده است. مقایسه ی دیفراکتوگرام های الیاف حاوی نانو SiO_2 که در مقادیر مختلف از نسبت کشش نخ نوریس شکل گرفته اند نیز در شکل ۴ مشخص است. در شکل ۵ نیز می توان مقایسه ی بین دیفراکتوگرام های الیاف آلجینات روی حاوی نانو TCP و الیاف آلجینات روی فاقد نانوافزودنی را مشاهده کرد.

مقادیر بلورینگی و ابعاد بلورهای موجود در الیاف در جدول ۳ ارائه شده است.



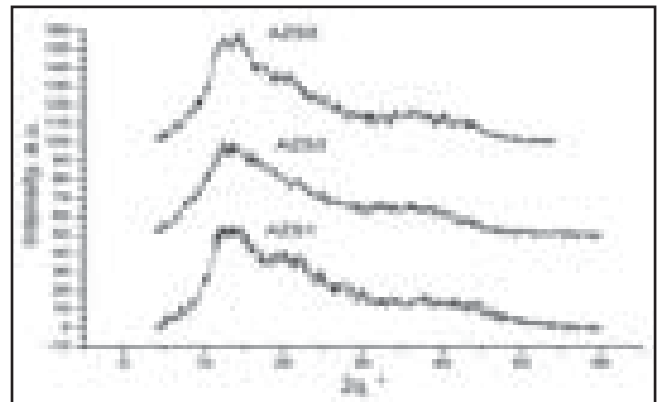
شکل ۳-توزیع منحنی تفرق الیاف آلجینات روی حاوی نانوافزودنی SiO_2

در فرایند انعقاد، ساختار الیاف حاوی SiO_2 در مقایسه با الیاف حاوی نانوافزودنی TCP تحت تاثیر تنش های بیشتری شکل گرفت (جدول ۲). این موضوع در حالت خاص برای الیاف دارای بیشترین خواص استحکامی به کار گرفته شد. تنش ها در فرایند انعقاد برای الیاف حاوی SiO_2 دو برابر الیاف حاوی نانوافزودنی TCP می باشد که نشان دهنده ی شباهت خواص استحکامی دو نوع الیاف نانوکامپوزیتی علی رغم پایین تر بودن مقدار نسبت کشش کل برای الیاف حاوی SiO_2 می باشد. واضح است که برای تغییر شکل و خواص استحکامی بالاتر تنش بیشتری مورد نیاز است. خواص استحکامی الیاف آلجینات به تعداد پیوندهای بین ماکروملکول ها، روی و تعداد پیوندهای ثانویه بستگی دارد. این خصوصیات همچنین به ساختار جعبه تخم مرغی و سوپراملکولی نیز وابسته است. یک آنالیز جزئی از تاثیر دو عامل فوق بر خصوصیات الیاف آلجینات کلسیم حاوی نانوافزودنی ها نیز پیش از این انجام شده بود.

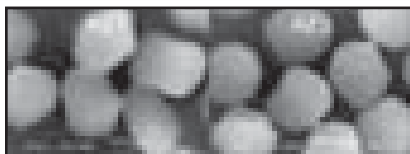
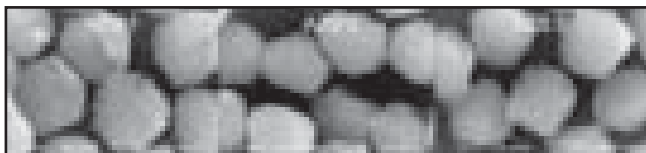


شکل ۴-مقایسه دیفراکتوگرام های الیاف آلجینات روی حاوی نانوافزودنی TCP (AZT ۱) و الیاف آلجینات روی فاقد نانوافزودنی (AZ ۲)

بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج ارائه شده در جدول ۳ می توان نتیجه گرفت که اضافه کردن نانوافزودنی های SiO_2 یا TCP به الیاف و همچنین مقدار نسبت کشش نخ نوریس تاثیر چندانی بر درجه بلورینگی ندارد و منجر به تفاوت چشمگیری در ابعاد بلورها نمی شود. بلورینگی الیاف آلجینات روی مورد بررسی عملاً در محدوده ی خطای اندازه گیری قرار می گیرد و می توان آن را یکسان در نظر گرفت. در مورد ابعاد بلورها نیز وضعیت مشابه است.

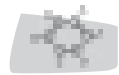


شکل ۵-مقایسه دیفراکتوگرام های الیاف آلجینات روی حاوی نانوافزودنی SiO_2



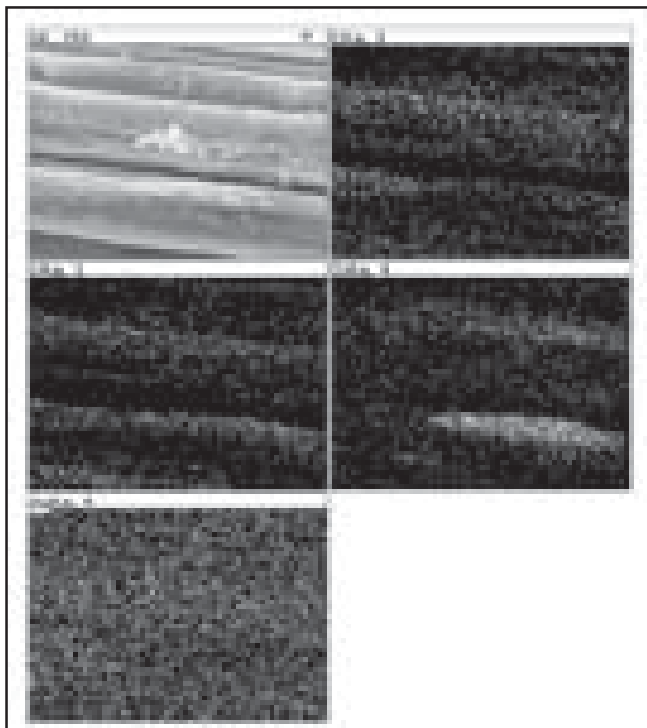
شکل ۶-مقطع عرضی الیاف آلجینات حاوی نانوافزودنی SiO_2 (AZS ۱، ۳، ۵) و الیاف فاقد نانوافزودنی (AZ ۲، ۱)

تجزیه و تحلیل ساختار بلوری الیاف آلجینات روی ساختار بلوری الیاف آلجینات روی برای الیاف فاقد نانوافزودنی (AZ ۲) و الیاف حاوی نانوافزودنی های SiO_2 و TCP (AZS ۲، AZT ۱) دارای بیشترین خواص استحکامی، بررسی شد. آزمایش ها همچنین شامل الیاف حاوی نانوذرات TCP تشکیل شده در نسبت کشش نخ نوریس ۷۰٪ (AZT ۳) و الیاف حاوی نانوذرات SiO_2 تشکیل شده در نسبت کشش نخ



و عرض های مختلف مشاهده شد که این علامت الیافی است که طی یک فرایند تریبسی از حلال شکل گرفته اند. تجزیه و تحلیل توپوگرافی سطح الیاف که با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی انجام شد، نشان دهنده ی وجود خراشیدگی هایی بر روی سطح بود. در شکل ۷ این خراشیدگی را می توان بر روی سطح الیاف فاقد نانوافزودنی مشاهده کرد. نایکنواختی سطح الیاف را که به حضور آگلومرات های نانوافزودنی SiO_2 مربوط می شود، در شکل ۸ نشان داده شده است. هر دو پدیده ی فوق با توجه به چسبندگی سلول های تازه تشکیل شده، مطلوب است.

حضور عناصر شیمیایی حاصل از الیاف و نانوافزودنی ها توسط آنالیز SEM+EDS تعیین شد. توزیع نانوافزودنی بر روی سطح الیاف نسبتا یکنواخت است (شکل ۹). عناصر حاصل از SiO_2 تنها به صورت رندوم بر روی سطح الیاف به چشم می خورد.



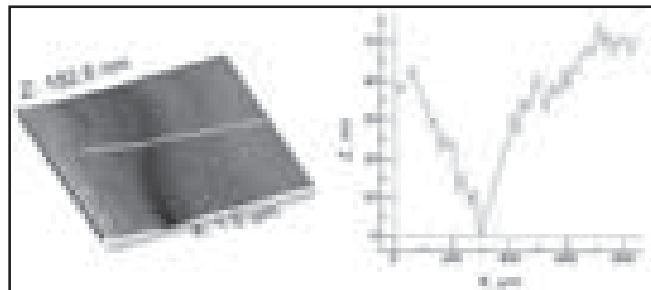
شکل ۹- نقشه توزیع عناصر بر روی سطح الیاف آلیجینات روی حاوی نانوسیلیکا (SiO_2)

نتیجه گیری

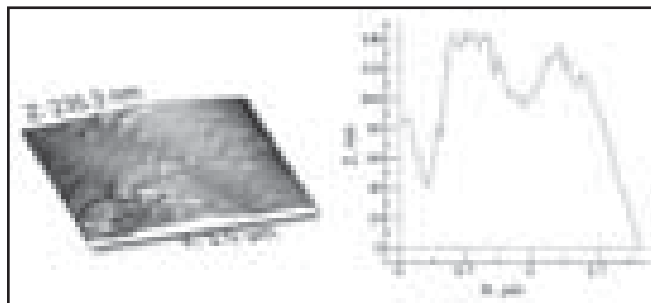
خواص جذبی الیاف نانوکامپوزیتی آلیجینات روی از روی طبیعت آبدوست مواد اولیه تشکیل می شود. جذب رطوبت الیاف حاوی نانو- SiO_2 در رطوبت نسبی ۱۰۰٪، تقریبا ۱۰٪ کمتر از الیاف حاوی نانو-TCP است که این به طبیعت ساختار متخلخل آن ها بازمی گردد. تفاوت در میزان نگهداری آب در هر دو نوع لیف به تخلخل مواد لیفی مرتبط است.

الیاف حاوی نانو- SiO_2 در مقایسه با الیاف حاوی نانو-TCP برای این که به استحکام کششی $24/3 \text{ cN/tex}$ برسند، باید در نسبت بالاتری از میزان کشش نخ نوریس تشکیل شوند (حدود 70%).

1. Energy-dispersive X-ray
2. Atomic force microscope
3. Wide-angle X-ray diffraction



شکل ۷- تجزیه و تحلیل توپوگرافی سطح الیاف آلیجینات روی فاقد نانوافزودنی



شکل ۸- تجزیه و تحلیل توپوگرافی سطح الیاف آلیجینات روی حاوی نانوافزودنی SiO_2

تجزیه و تحلیل سطح، شکل مقطع عرضی و توزیع نانوافزودنی در الیاف آلیجینات روی

شکل سطح مقطع عرضی الیاف فاقد نانوافزودنی و حاوی نانوافزودنی SiO_2 تقریبا دایره ای بوده (شکل ۶) و شاخص تغییرات مقطع عرضی نیز در محدوده ی $1/26-1/21$ می باشد (جدول ۴).

جدول ۴- شاخص تغییر شکل مقطع عرضی الیاف آلیجینات روی حاوی نانوافزودنی SiO_2 (AZS ۱،۳،۵) و الیاف فاقد نانوافزودنی (AZ ۱،۲)

نمونه	نسبت کشش نخ نوریس، %	شاخص تغییر شکل	انحراف از استاندارد	استحکام کششی cN/tex
AZS۱	+۳۰	۱/۲۶	۰/۲۵	۲۲/۷۴
AZS۳	+۷۰	۱/۲۳	۰/۲۲	۲۴/۳۸
AZS۵	+۱۱۰	۱/۱۸	۰/۱۹	۲۱/۳۶
AZ۱	+۳۰	۱/۲۱	۰/۱۸	۲۷/۹۸
AZ۲	+۵۰	۱/۲۲	۰/۲۳	۲۸/۶۹

برای الیاف حاوی SiO_2 که در مقدار بینهایت مثبت نسبت کشش نخ نوریس شکل گرفته اند، مقدار شاخص اندکی پایین تر و برابر $1/18$ است. این امر ممکن است به این واقعیت مرتبط باشد که هرچه نسبت کشش نخ نوریس افزایش می یابد (الیاف تشکیل شده از ژل با قطر کمتر)، فرایند سینرسیس ژل یکنواخت تر می شود. در حین فرایند انعقاد الیاف آلیجینات، فرایند تعویض یون و تشکیل ژل نیز با فرایند تقسیم فازی و سینرسیس ژل همراه است برای مثال حلال از سیستم خارج شده و شبکه جمع می شود.

بر روی سطح الیاف حاوی نانوافزودنی SiO_2 ترک ها و خراشیدگی هایی با طول