

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی



## تولید مواد آلفا-سلولز و کربوکسی متیل سلولز (CMC) از ضایعات پنبه

احمد هیوه‌چی<sup>۱</sup>، سید هژیر بهرامی<sup>۱\*</sup>، مختار آرامی<sup>۱</sup> و افضل کریمی<sup>۲</sup>

۱- تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی

۲- تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، گروه مهندسی شیمی

\* نویسنده مسئول: [hajirb@aut.ac.ir](mailto:hajirb@aut.ac.ir)

## چکیده:

در این مقاله به تولید مواد آلفا-سلولز و کربوکسی متیل سلولز (CMC) که از لحاظ اقتصادی ارزش افزوده بالایی دارند، از ضایعات پنبه پرداخته خواهد شد. برای تولید آلفا-سلولز، ضایعات پنبه (لیتر) در محلول ۳۰ g/L سدیم هیدروکسید به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۳۰°C پخت شد؛ سپس از آب اکسیژنه ۴٪ (وزنی/وزنی) برای سفیدگری الیاف استفاده شد. برای سنتز کربوکسی متیل سلولز، ابتدا آلفا-سلولز تولید شده در محلول ۳۰٪ (وزنی/وزنی) سدیم هیدروکسید قرار داده شد و سپس با مونوکلرواستیک اسید با نسبت مولی سلولز:سدیم هیدروکسید:مونوکلرواستیک اسید ۱:۲:۱ به مدت ۴۰ دقیقه در دمای ۵۰°C واکنش داده شد. در نهایت برای بررسی نهایی مواد تولید شده از طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) برای بررسی گروه‌های عاملی، پراش اشعه ایکس (XRD) برای مقایسه تبلور مواد، آنالیز حرارتی (TGA) برای تعیین رفتار حرارتی و میکروسکوپ روبشی الکترونی (SEM) برای مشاهده مورفولوژی الیاف استفاده شد.

**کلمات کلیدی:** ضایعات پنبه، آلفا-سلولز، کربوکسی متیل سلولز، پخت، سفیدگری

## مقدمه:

سلولز یکی از فراوان‌ترین و پراستفاده‌ترین ماده پلیمر طبیعی در جهان است. از آنجایی که سلولز عمده‌ترین قسمت تشکیل دهنده گیاهان است، سالانه مقدار زیادی از این مواد از طریق فتوسنتز تولید می‌شوند. از جمله ناخالصی‌های همراه سلولز می‌توان به لیگنین، پکتین، همی سلولز، چربی و پروتئین اشاره کرد. به همین دلیل منابع سلولزی، به خالص سازی برای استخراج سلولز نیاز دارند (Ott, Spurlin, & Graffline, 1954).

سلولز مولکول با زنجیر بلندی است که ساختاری انعطاف ناپذیر و سختی دارد. گروه تشکیل دهنده آن  $\beta$ -4,1-D گلوکوپیرانوز می‌باشد که به وسیله پیوند گلوکودی بین کربن ۱ و ۴ به هم متصل می‌شوند. هر واحد انیدروگلوکز دارای ۳ گروه هیدروکسیل می‌باشد که هیدروکسیل متصل به کربن ۶ از نوع اول و دو هیدروکسیل متصل به کربن ۲ و ۳ از نوع دوم است. با توجه به حضور سه گروه هیدروکسیل، سلولز مولکولی مستعد برای انجام واکنش‌های شیمیایی، نظیر استریفیکاسیون، اتریفیکاسیون، اکسیداسیون، تورم شده است (Hsieh, 2007). با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد سلولز و ارزش بالای این مواد دانشمندان زیادی بر روی



استخراج این ماده از ضایعات مواد کشاورزی نظیر ساقه پنبه (Zhang, Zhang, Deng, & Sun, 2011)، الیاف کوتاه کتان (Pushpamalar, Langford, Ahmad, & Lim, 2006) و ضایعات نخل (Kutsenko, Bochek, Vlasova, & Volchek, 2005) ساقه درخت موز (Adinugraha, Djagal W., & Haryadi, 2005) مطالعه کرده‌اند.

کربوکسی متیل سلولز (CMC)، یک پلی‌الکترولیت با ثابت اسیدی حدود ۴ (نزدیک قدرت اسیدی استیک اسید) می‌باشد. این ماده معمولاً به صورت نمکی سنتز و تهیه می‌شود و حالت اسیدی آن حلالیت ناچیزی در آب خواهد داشت. CMC برای اولین بار در سال ۱۹۱۸ تولید و ثبت اختراع شده است و تا کنون تلاش‌های زیادی برای بهینه کردن شرایط آن صورت گرفته است. تولید کربوکسی متیل سلولز دارای دو مرحله، تبدیل سلولز به سلولز قلیایی در محیط غلیظ سدیم هیدروکسید و واکنش سلولز قلیایی با کلرواستیک اسید در محیط‌های الکلی نظیر ایزوپروپیل الکل، متانول، اتانول و ... می‌باشد (Nevell & Zeronian, 1987).

هدف از این تحقیق تبدیل ماده بی‌ارزش ضایعات پنبه به محصولاتی ارزشمند و ارزش افزوده بیشتر می‌باشد. برای این منظور ابتدا با پخت ضایعات پنبه، آلفا-سلولزی خالص تهیه شده که در ادامه با روش سنتز دو مرحله‌ای کربوکسی متیل سلولز از آلفا سلولز تهیه خواهد شد که کاربردهای زیادی در صنایع نساجی، نفت، داروسازی و ... دارد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد و دستگاه‌ها

ضایعات پنبه استفاده شده در این تحقیق لیتر پنبه (الیاف کوتاه) بوده که از شرکت وش دشت گنبد کاووس تهیه شد. از سولفوریک اسید ( $H_2SO_4$ )، کلرواستیک اسید ( $ClCH_2CO_2H$ )، اتانول ( $C_2H_6O$ ) و کاغذ pH شرکت مرک، سدیم هیدروکسید (NaOH) شرکت آلد ریچ و آب اکسیژنه صنعتی برای انجام آزمایشات استفاده شد. دستگاه HT (High Temperature) شرکت Hanau، ترازوی سه رقم اعشار شرکت OHAUS، هیتر استیرر شرکت Heidolph و الیاف باز کن شرکت Sherly از جمله تجهیزات استفاده شده در این تحقیق هستند.

### ۲-۲- تولید آلفا سلولز

برای استخراج آلفا سلولز ابتدا الیاف در دستگاه الیاف بازکن شرلی قرار داده می‌شوند تا ناخالصی‌های بزرگ و جامد نظیر ساقه و قوزه پنبه از الیاف جدا شوند. برای خالص سازی الیاف، ابتدا ۷ گرم از الیاف حلاجی شده را توسط ترازو وزن شده و درون ۱۴۰ ml محلول سدیم هیدروکسید ۳۰ g/L قرار داده می‌شود. برای انجام عملیات پخت، محلول و الیاف را به سلول‌های دستگاه HT (High Temperature) قرار داده می‌شوند. دستگاه به گونه‌ای تنظیم می‌شود که دمای درون سلول پخت به  $130^{\circ}C$  برسد. الیاف به مدت ۲ ساعت درون دستگاه پخت شده و پس از پایان عملیات، پساب پخت و الیاف از هم جدا می‌شوند. برای از بین بردن رنگ الیاف پخت شده از آب اکسیژنه برای سفیدگری استفاده می‌شود؛ از نسخه زیر برای سفیدگری الیاف استفاده شد:



H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	x% (OWF)
NaOH	0.3-0.8%
Sodium Silicate	2-3%
Magnesium Sulphate (Epsom's salt)	0.5%
Time	90 min
pH	9

سفیدگری در دمای ۹۰°C به مدت ۹۰ دقیقه انجام شد.

### ۲-۳- سنتز کربوکسی متیل سلولز (CMC)

برای سنتز CMC، ۴ گرم سلولز وزن کرده و ۵۰ ml سدیم هیدروکسید (وزنی-وزنی) ۲۰٪ به مواد اضافه شده و طبق طراحی آزمایش، مواد در معرض امواج فراصوت قرار داده می شود. پس از کامل شدن این مرحله سلولزهای قلیایی شده به مدت ۲ دقیقه در ۵۰۰۰ rpm توسط دستگاه سانتریفیوژ آبیگری می شود. سپس ۲/۱۸ gr کلرواستیک اسید در ۴۰ ml اتانول حل کرده و به سلولزهای سانتریفیوژ شده، اضافه می شود. مواد را بر روی هیتر قرار داده و واکنش به مدت ۴۰ دقیقه در دمای ۵۰°C انجام می شود. پس از کامل شدن سنتز، تحلیل های مناسب روی آن صورت می گیرد.

### ۲-۴- آنالیز دستگاهی

برای بررسی رفتار حرارتی آلفا-سلولز و ضایعات پنبه از آنالیز حرارتی (TGA) استفاده شد. آنالیز از دمای محیط (۲۵°C) تا ۵۰۰°C با شیب حرارتی ۱۰°C/min همراه با دمش گاز نیتروژن (N<sub>2</sub>) صورت گرفت. دستگاه استفاده شده ساخت شرکت Perkin Elmer آمریکا، مدل Pyris Diamond می باشد.

به منظور بررسی خروج ناخالصی ها از ضایعات پنبه و کربوکسی متیل سلولز تولید شده از طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) استفاده شد. برای بررسی طیف، پودر نمونه با نمک KBr مخلوط شده و تحت فشار قرص حاصل از آن ایجاد شد. از دستگاه مدل Nexus 670 ساخت شرکت Thermo Nicolet آمریکا برای اندازه گیری طیف مادون قرمز استفاده شد.

پراش اشعه ایکس (XRD) توسط دستگاه دیفرکتومتر مدل PANalytical X'Pert Pro MPD ثبت شد. از این آنالیز برای تحلیل تبلور لیاف سلولزی قبل و بعد از سنتز کربوکسی متیل سلولز استفاده می شود. اندازه گیری در محدوده ۳۰-۵° با سرعت ۰/۲۵°/min و با آشکارساز مس (λ=1.54Å) انجام و از نرم افزار X'Pert Highscore برای تحلیل نتایج استفاده شد. درصد تبلور از رابطه (Segal, 2004):



$$CrI = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100$$

که:

$$I_{002} = I_{cr} = I_{2\theta=22.6}$$

$$I_{am} = I_{2\theta=18}$$

و برای اندازه گیری اندازه ی بلورها از رابطه شرر (French &amp; Cintron, 2013):

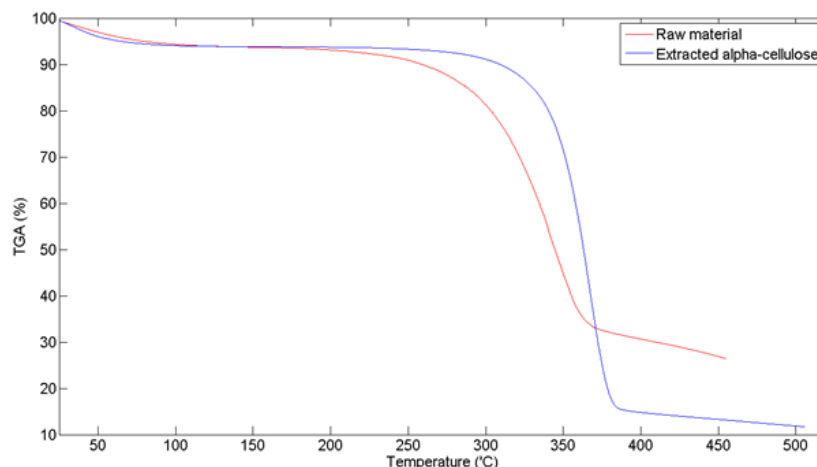
$$\tau = \frac{0.9 \times \lambda}{\beta \times \cos(\theta)}$$

که در این رابطه  $\tau$  برابر اندازه بلور،  $\lambda$  طول موج اشعه ایکس،  $\beta$  عرض پیک در نیمه ارتفاع و  $\theta$  برابر زاویه براگ می باشد. در نهایت برای بررسی موفولوژی نهایی ماده خام، آلفا-سلولز و CMC از میکروسکوپ روبشی الکترونی (SEM) استفاده شد. عکسبرداری با میکروسکوپ الکترونی Philips XL30 صورت گرفت.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تولید آلفا سلولز

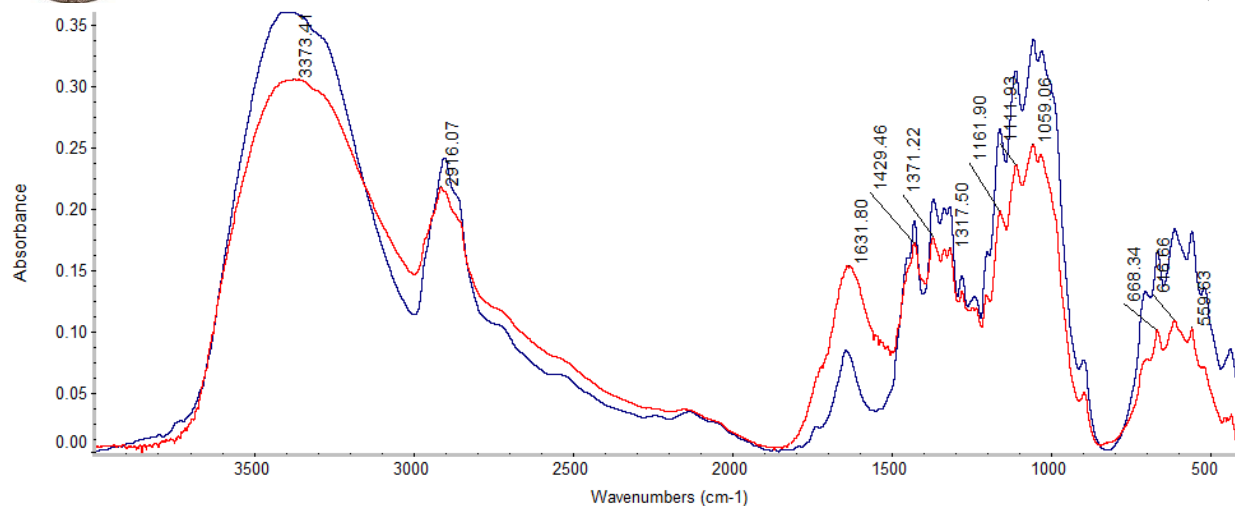
در مرحله اول به بحث در مورد صحت خالص شدن سلولز پرداخته خواهد شد. برای بررسی این موضوع می توان از آنالیز حرارتی (TGA) و طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) استفاده کرد. همانگونه که در مقدمه اشاره شد، سلولز در طبیعت عموماً به صورت ناخالص و به همراه لیگنین و همی سلولز یافت می شود. لیگنین مولکولی آمورف با ساختاری آروماتیک و وزن مولکولی نسبتاً پایین است. همی سلولز نیز پلیمری شاخه ای از کربوهیدرات ها می باشد که وزن مولکولی پایین داشته و از لحاظ ساختمانی مولکولی بی نظم به شمار می رود. سلولز پلیمری خطی با وزن مولکولی بالا می باشد. این تفاوت در ساختار باعث تفاوت در رفتار حرارتی مواد خواهد شد (Carrier et al., 2011). نمودار آنالیز حرارتی (TGA) نمونه آلفا سلولز و ماده خام در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمودار آنالیز حرارتی (TGA) ماده خام و آلفا سلولز

همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، تخریب ماده خام و آلفا سلولز از دو مرحله تشکیل شده است. مرحله اول شامل کاهش وزن در دمای حدود  $95^{\circ}\text{C}$  به دلیل خروج آب جذب شده توسط الیاف می‌باشد (Liu et al., 2014)، و مرحله دوم کاهش وزن در محدوده  $200-400^{\circ}\text{C}$  به علت تخریب مواد لیگنوسلولزی اتفاق می‌افتد. تخریب ماده خام از دمای حدود  $200-350^{\circ}\text{C}$  اتفاق می‌افتد و وزن باقی مانده نهایی در دمای حدود  $28\%$  می‌باشد. آلفا سلولز تولید شده تخریب خود را از دمای  $300^{\circ}\text{C}$  شروع کرده و در دمای  $380^{\circ}\text{C}$  به اتمام می‌رسد و وزن باقی مانده نهایی حدود  $12\%$  می‌باشد. در تحقیقات دیگر گزارش شده که همی سلولز در محدوده دمای  $200-300^{\circ}\text{C}$  تخریب و وزن باقی مانده آن حدود  $20\%$  خواهد بود، لیگنین به علت ساختار آروماتیک خود در محدوده وسیعتری تخریب شده و تخریب آن در بازه  $300-900^{\circ}\text{C}$  صورت می‌گیرد و وزن باقی مانده نهایی آن حدود  $45\%$  گزارش شده است. سلولز نیز در دمای حدود  $350-400^{\circ}\text{C}$  تخریب و وزن باقی مانده حدود  $6\%$  خواهد داشت (Yang, Yan, Chen, Lee, & Zheng, 2007). لذا می‌توان نتیجه گرفت هر چه وزن باقی مانده نهایی کمتر باشد، مقدار لیگنین ماده لیگنوسلولزی کمتر خواهد بود. از سوی دیگر دمای تخریب بالاتر، نشان دهنده حذف همی سلولز از ساختار ماده لیگنوسلولزی می‌باشد. با توجه به نتایج، به دلیل افزایش دمای شروع تخریب، آلفا سلولز تولید شده فاقد همی سلولز بوده، همچنین به دلیل کم شدن وزن باقی مانده نهایی می‌توان نتیجه گرفت لیگنین‌های موجود در ساختار ماده لیگنوسلولزی تا حدود زیادی از ماده حذف شده‌اند.

برای تایید حذف همی سلولز و لیگنین از ساختار ماده لیگنوسلولزی از طیف سنجی مادون قرمز استفاده شد که در شکل ۲ نشان داده شده است.

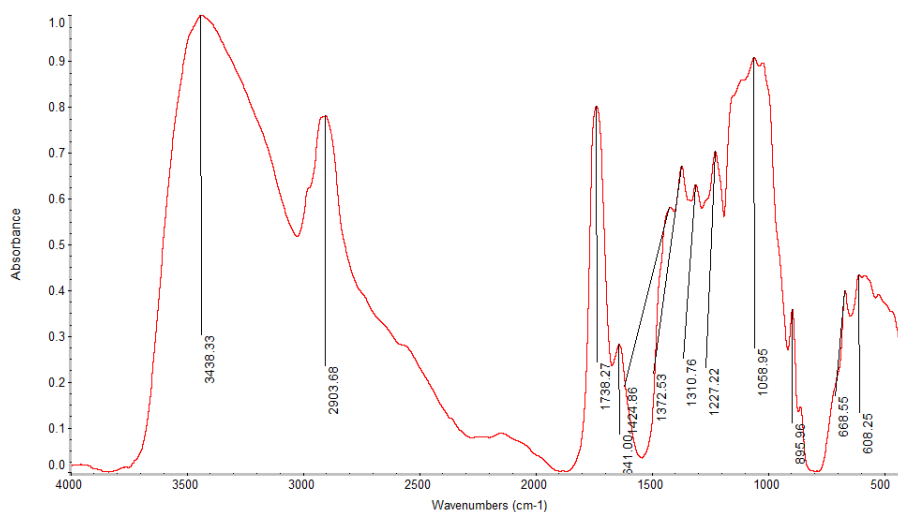


شکل ۲- طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) آلفا سلولز و ماده خام

همانگونه که در طیف مادون قرمز مشاهده می‌شود، وجود پیک در عددهای موجی  $3350$  (O-H stretch)،  $2900$  (C-H sp<sup>3</sup> stretch)،  $1160$  (C-O ether stretch)،  $1429$  (CH scissoring bending)،  $1110$  (C-O stretch 2° alcohol)،  $1060$  (C-O stretch 1° alcohol) و  $900$  (Linkage of cellulose) نشان دهنده‌ی حضور سلولز است. پیک مشاهده شده در حدود  $1640$  به دلیل هیدروکسیل خمشی آب جذب شده توسط الیاف می‌باشد (Abidi, Cabrales, & Haigler, 2014). لیگنین به علت ساختار آروماتیک خود پیک‌هایی در محدوده  $1600-1500$  نشان می‌دهد که مربوط به پیوند دوگانه کششی مزدوج آروماتیک می‌باشد، از طرفی همی سلولز نیز به علت پیک کربونیل استری کششی پیک‌هایی در محدوده  $1750-1700$  نشان می‌دهد (Luzi et al., 2014). با توجه به شکل ۲ می‌توان دید که در نمونه الیاف خام پیک مربوط به همی سلولز و لیگنین با پیک آب جذب شده تداخل کرده و باعث تشدید این پیک شده و می‌توان این پیک‌ها را به صورت شانه در طیف مشاهده کرد. این پیک‌ها در الیاف پخت شده حذف شده که نشان دهنده خروج ناخالصی‌های الیاف می‌باشد که نتایج مربوط به آنالیز حرارتی را تایید می‌کند.

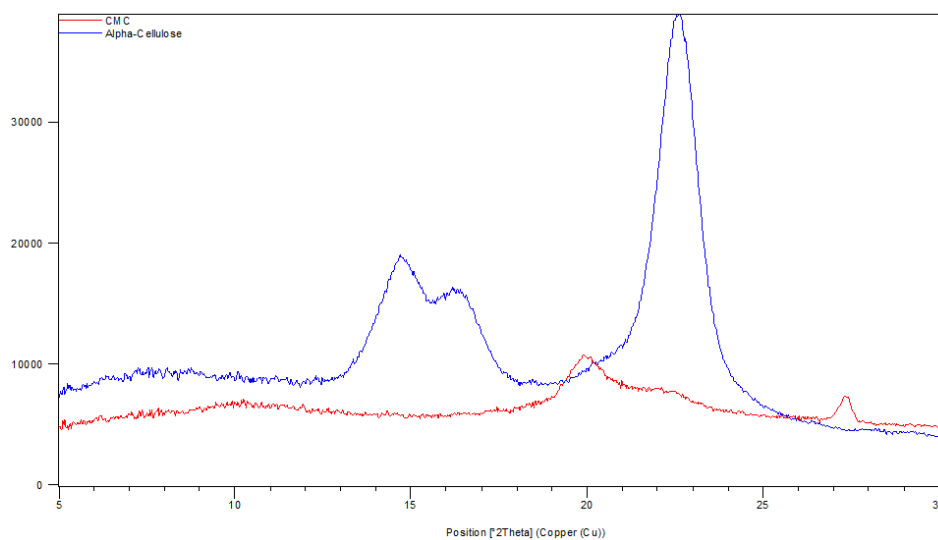
### ۲-۳- سنتز کربوکسی متیل سلولز (CMC)

کربوکسی متیل سلولز از آلفا سلولز استخراج شده طبق روش ارائه شده سنتز شد و برای تایید انجام واکنش از طیف سنجی مادون قرمز و پراش اشعه ایکس استفاده شد. هنگامی که واکنش انجام می‌شود، گروه کربوکسی متیل با گروه هیدروکسیل جایگزین شده و گروه کربونیلی اسیدی در ساختار سلولز تشکیل می‌شود، لذا در طیف سنجی مادون قرمز انتظار می‌رود شاهد ایجاد پیک کربونیل باشیم. از سوی دیگر اتصال مونوکلرو استیک اسید به سلولز باعث تغییر در ساختار بلور می‌شود. لذا یکی از روش‌های بررسی انجام واکنش، طیف پراش اشعه ایکس می‌باشد. طیف مادون قرمز و پراش اشعه ایکس به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴- طیف سنجی مادون قرمز کربوکسی متیل سلولز (CMC)

پیک‌های  $1738$  و  $1641 \text{ cm}^{-1}$  به ترتیب وجود پیوندهای  $\text{C}=\text{O}$  و  $\text{C}-\text{O}$  کششی کربوکسیلیک اسید را تایید می‌کنند. لذا می‌توان نتیجه گرفت پیوند بین مونو کلرواستیک اسید و سلولز با موفقیت صورت گرفته است.



شکل ۵- طیف پراش اشعه ایکس آلفا سلولز و کربوکسی متیل سلولز

همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، نه تنها درصد تبلور الیاف در اثر سنتز CMC تغییر کرده بلکه ساختار بلوری نوع ۱ سلولز به نوع ۲ سلولز تبدیل شده است که نشان دهنده انجام واکنش و اتصال مونوکلرو استیک اسید به سلولز می‌باشد. برای مشخص شدن بهتر موضوع درصد تبلور و اندازه بلورها با استفاده از نرم افزار تحلیل و نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- جزئیات بلورهای سلولز و کربوکسی متیل سلولز



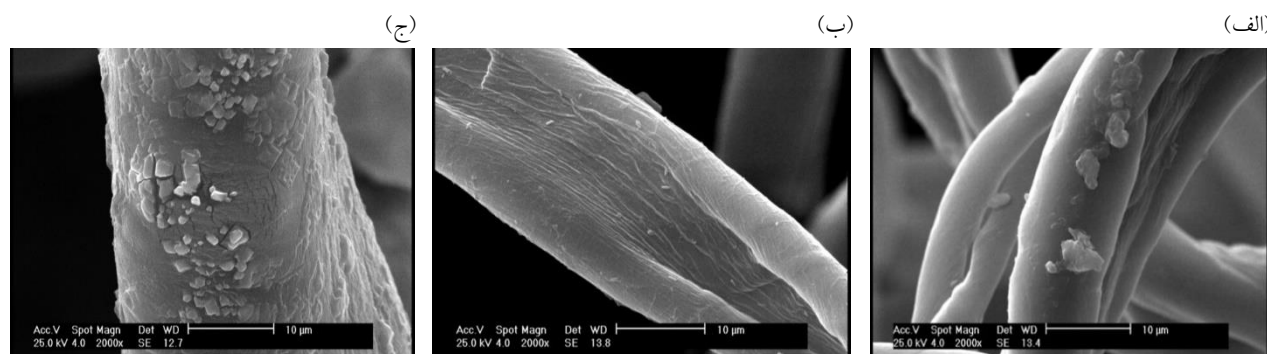


ماده	نوع ساختار	اندیس میلر	زاویه (2θ)°	عرض پیک در نصف ارتفاع (°)	d-spacing (Å)	اندازه بلورها (Å)	درصد تبلور (%)
آلفا سلولز	سلولز ۱	۱-۱۰	۱۴/۶۹	۰/۶۱	۶/۰۱	۱۴۴/۹۷	۶۶/۲۵
		۱۱۰	۱۶/۵۴	۰/۶۳	۵/۴۰	۱۴۱/۱۵	
		۲۰۰	۲۲/۶۶	۰/۱۳	۳/۹۳	۷۰۳/۹۳	
کربوکسی متیل سلولز	سلولز ۲	۱۱۰	۱۹/۸۸	۰/۳۱	۴/۴۵	۲۹۱/۹۳	۳۹/۱۸
		۲۰۰	۲۲/۵۶	۰/۳۱	۳/۹۵	۲۹۳/۲۲	

با توجه به نتایج بالا می توان نتیجه گرفت که تبلور الیاف سلولز پس از واکنش با مونوکلرواستیک اسید به شدت کاهش یافته است که تاییدی دیگر بر انجام واکنش می باشد.

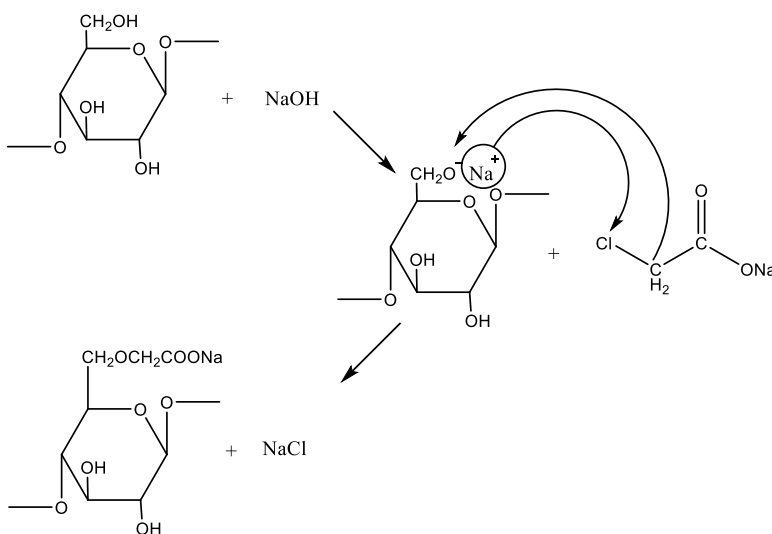
### ۳-۳- بررسی مورفولوژی

در نهایت برای بررسی و مقایسه ماده خام، آلفا سلولز و کربوکسی متیل سلولز از میکروسکوپ الکترونی (SEM) استفاده شد که نتایج آن را در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- تصاویر SEM (الف) الیاف خام، (ب) آلفا سلولز و (ج) کربوکسی متیل سلولز

با توجه به شکل ۶ می توان نتیجه گرفت که روش استفاده شده برای پخت ضایعات پنبه مناسب بوده و به خوبی توانسته ناخالصی های سطحی که در شکل ۶ (الف) مشاهده می شود، از بین ببرد به گونه ای که در شکل ۶ (ب) هیچ گونه ناخالصی سطحی وجود ندارد. سطح مقطع الیاف پخت شده و خام به صورت روبانی می باشد. پس از سنتز کربوکسی متیل سلولز، ذراتی بر روی سطح ایجاد شدند که بلورهای نمک حاصل از واکنش شکل ۷ می باشند:



شکل ۷- واکنش سلولز قلیایی و مونوکلرواستیک اسید و تشکیل CMC

همچنین مشاهده می‌شود که الیاف پس از واکنش کاملاً متورم شده و از حالت روبانی به دایره تبدیل شده‌اند که به دلیل پیوند کوالانسی بین مونوکلرواستیک اسید و سلولز بوده که منجر به افزایش فاصله بین زنجیرهای پلیمری سلولز و در نهایت تورم الیاف شده است.

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق آلفا سلولز از پخت ضایعات پنبه در محیط قلیایی  $30\text{ g/L}$  به مدت ۲ ساعت در دمای  $130^\circ\text{C}$  به دست آمد. برای تولید هیومیک اسید، پساب تولید شده توسط اسید سولفوریک  $10\%$  خنثی شده و با ته نشینی از محلول جدا شد. کربوکسی متیل سلولز نیز از سنتز دو مرحله‌ای تولید شد. نتایج به دست آمده از آنالیز حرارتی و طیف سنجی مادون قرمز خروج ناخالصی‌ها از ضایعات پنبه را تایید کرد. هیومیک اسید استخراج شده نیز توسط طیف سنجی مادون قرمز بررسی شد و نتایج تایید کننده این ماده بوده‌اند. طیف سنجی مادون قرمز و پراش اشعه ایکس نیز اتصال مونوکلرو استیک اسید به سلولز و تشکیل CMC را تایید کردند. در نهایت تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز خروج ناخالصی‌ها و تشکیل CMC را تایید کرد.

#### مراجع:

1. Abidi, N., Cabrales, L., & Haigler, C. H. (2014). Changes in the cell wall and cellulose content of developing cotton fibers investigated by FTIR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, 100, 9-16 .
2. Adinugraha, M. P., Djagal W., M., & Haryadi;. (2005). Synthesis and characterization of sodium carboxymethylcellulose from cavendish banana pseudo stem (*Musa cavendishii* LAMBERT). *Carbohydrate Polymers*, 62, 164-169 .
3. Carrier, M., Loppinet-Serani, A., Denux, D., Lasnier, J.-M., Ham-Pichavant, F., Cansell, F., & Aymonier, C. (2011). Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 298-307 .
4. French, A. D., & Cintron, M. S. (2013). Cellulose polymorphy, crystallite size, and the Segal Crystallinity Index. *Cellulose*, 20, 583-588 .



5. Hsieh, Y. L. (2007). Chemical structure and properties of cotton. In S. Gordon & Y. L. Hsieh (Eds.), *Cotton: Science and technology*. Cambridge, England: Woodhead Publishing.
6. Kutsenko, L. I., Bocek, A. M., Vlasova, E. N., & Volchek, B. Z. (2005). Synthesis of Carboxymethyl Cellulose Based on Short Fibers and Lignified Part of Flax Pedicels (Boon). *Macromolecular Chemistry and Polymeric Materials*, 12, 2045-2049 .
7. Liu, Y., Wanga, H., Yu, G., Yu, Q., Li, B., & Mu, X. (۲۰۱۴). A novel approach for the preparation of nanocrystalline cellulose by using phosphotungstic acid. *Carbohydrate Polymers*, 110, 415-422 .
8. Luzi, F., Fortunati, E., Puglia, D., Lavorgna, M., Santulli, C., Kenny, J., & Torre, L. (2014). Optimized extraction of cellulose nanocrystals from pristine and carded hemp fibres. *Industrial Crops and Products*, 56, 175-186 .
9. Nevell, T. P., & Zeronian, S. H. (1987). *Cellulose Chemistry and Its Applications*: Ellis Horwood.
10. Ott, E., Spurlin, H. M., & Graffline, M. W. (1954). *Cellulose and Cellulose Derivatives* (second ed. Vol. 1): Interscience.
11. Pushpamalar, V., Langford, S. J., Ahmad, M., & Lim, Y. Y. (2006). Optimization of reaction conditions for preparing carboxymethyl cellulose from sago waste. *Carbohydrate Polymers*, 64, 312-318 .
12. Segal, L. (2004). *Decrystallized Cotton*: Merrow Publishing
13. Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86(12), 1781-1788 .
14. Zhang, G., Zhang, L., Deng, H., & Sun, P. (2011). Preparation and characterization of sodium carboxymethyl cellulose from cotton stalk using microwave heating. *Society of Chemical Industry*, 86, 584-589. doi: 10.1002/jctb.2556

# SID



سرویس های  
ویژه



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



عضویت در  
خبرنامه



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی