

## تهیه چندسازه سلولز- نایلون در مرحله مایع با کمک امواج ماکروویو

ابراهیم حجتی مروسست<sup>۱\*</sup>، علی عبدالخانی<sup>۲</sup> و علی نقی کریمی<sup>۳</sup>

۱- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

پست الکترونیک: Ebrahim\_hojati@ut.ac.ir

۲- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳- استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، مؤسسه تحقیقاتی INTROP، دانشگاه پوترا، مالزی

تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۲

### چکیده

در این مطالعه به بررسی انحلال و ساخت چندسازه سلولز- نایلون در مرحله مایع پرداخته شد. به این منظور حلال یونی BMIMCl در آزمایشگاه سنتز و برای انحلال مورد استفاده قرار گرفت. پس از انحلال پلیمرها، چندسازه سلولز- نایلون به صورت فیلم تهیه و پس از آماده سازی، ویژگی های فیزیکی و مکانیکی شامل شفافیت، جذب آب، و اکسیدگی ضخامت، نفوذپذیری بخار آب و مقاومت کششی مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین ساختار شیمیایی چندسازه تهیه شده با استفاده از تکنیک FTIR مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که حلال یونی قادر به انحلال سلولز و نایلون می باشد و در اثر انحلال و اختلاط پیوندهای هیدروژنی بین هر دو پلیمر ایجاد می گردد. شفافیت، جذب آب و اکسیدگی ضخامت چندسازه جدید نسبت به فیلم سلولزی خالص، کاهش ولی نفوذپذیری بخار آب آن افزایش را نشان می دهد. البته مقاومت مکانیکی و مدول یانگ چندسازه ساخته شده نسبت به فیلم سلولزی مقدار کمتری را نشان می دهد.

واژه های کلیدی: سلولز، نایلون، حلال یونی، خواص فیزیکی و خواص مکانیکی.

### مقدمه

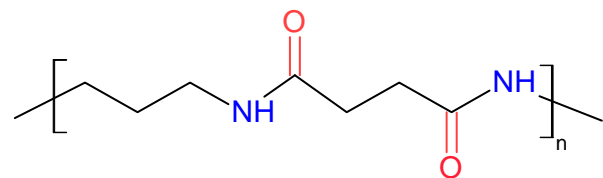
تخریب پذیری، قابلیت بازیافت و خواص مکانیکی فوق العاده سلولز می باشد (Zhu et al., 2006). البته چندسازه های متداول کنونی اغلب در مرحله جامد تهیه می شوند. چندسازه های رایج چوب - پلاستیک از آرد یا الیاف چوب یا دیگر مواد لیگنوسلولزی و همچنین پلاستیک های گرمانرم خام یا ضایعاتی ساخته می شوند. مواد لیگنوسلولزی به شکل آرد یا الیاف با پلاستیک مخلوط شده و به صورت ماده خمیری شکلی از درون

امروزه فرآورده های چوب-پلاستیک به صورت گسترده در کشورهای صنعتی تولید و مورد استفاده قرار می گیرد. در همین راستا، تلاش های بی شماری روی استفاده از منابع قابل تجدید به عنوان عوامل تقویت کننده در چندسازه ها متمرکز شده است (Peresin et al., 2010). استفاده از سلولز در ساخت چندسازه های مختلف توجه زیادی را به خود جلب نموده است که ناشی از زیست

نایلون در استفاده به عنوان ماتریس پلیمری چندسازه‌های چوب پلاستیک است (Chen & Gardner, 2008). پایداری حرارتی بالا، آب‌دوستی اندک و سازگاری مناسب با مواد لیگنوسلولزی نیز از دیگر مزایای نایلون است. از طرفی، دمای بالای ذوب پلیمر سبب تخریب حرارتی الیاف در طی ساخت چندسازه لیگنوسلولزی با نایلون می‌شود (Tajvidi et al., 2009). گزارش تحقیقات علمی بر روی چندسازه نایلون با الیاف طبیعی نادر است که عمدتاً به دلیل وجود مشکلات در تولید چندسازه بدون تخریب حرارتی قابل ملاحظه الیاف طبیعی می‌باشد (Tajvidi et al., 2009).

اخیراً استفاده از حلال‌های یونی به عنوان "حلال‌های سبز" در فرایندهای مختلف شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. این حلال‌ها در واقع نمک‌های مذابی هستند که فشار بخار آنها در دمای محیط و بالاتر از آن در حد صفر است. این حلال‌ها توانایی‌های وسیعی برای انحلال پلیمرها و مونومرهای طبیعی و مصنوعی را دارا هستند. انحلال سلولز و نایلون در حلال‌های یونی، مصرف همه جانبه این مواد را با ترکیب کردن دو اصل مهم شیمی سبز یعنی با استفاده از حلال‌های سازگار با محیط‌زیست و بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر را فراهم می‌سازد. توانایی انحلال مواد سلولزی و پلیمرها در حلال‌های یونی به خصوص در شرایط ملایم موجب افزایش دسترس‌پذیری ساختار این مواد و امکان ساخت چندسازه جدید می‌شود. Kang et al., 2012 نایلون را در حلال یونی  $BmimPF_6$  به وسیله تکنیک الکترواسپینینگ حل نمودند. Zhu et al., 2006 مروری بر انحلال سلولز و کاربرد آن انجام دادند و اظهار کردند که گرمادهی با ماکروویو فرایند انحلال را تسریع می‌کند. در این تحقیق به منظور تهیه چندسازه

قالبی تحت فشار به شکل نهایی خارج و یا به صورت اشکال دلخواه قالب‌گیری می‌شوند. در این روش به دلیل ناهمگنی، اختلاط فیزیکی ضعیف و عدم سازگاری دمایی و شیمیایی پلیمرها با هم به‌ویژه با مواد لیگنوسلولزی، چندسازه حاصل دارای کیفیت بهینه‌ای نیست. به علاوه اینکه انجام چنین فرایندهایی همواره با تخریب ماده اولیه، مصرف انرژی بالا و مواد شیمیایی آلوده‌کننده همراه است. انتخاب پلاستیک برای تولید چندسازه مواد لیگنوسلولزی-پلاستیک برای تهیه مواد ترموپلاستیک به دلیل تخریب حرارتی مواد لیگنوسلولزی در هنگام ذوب برخی پلاستیک‌ها (به‌خصوص نایلون) دارای محدودیت‌هایی می‌باشد (Klyosov, 2007). نایلون (Nylon) نام کلی برای خانواده‌ای از پلیمرهاست که به نام پلی‌آمید شناخته می‌شود. نایلون‌ها پلیمرهای نیمه متبلوری هستند. انواع نخ‌های نایلونی با استحکام بالا در مواردی مثل تقویت تایر خودرو و هواپیما مورد استفاده قرار می‌گیرند. این الیاف دارای مقاومت عالی در مقابل سایش می‌باشند. الیاف نایلونی با توجه به استحکام بالا و سختی برای تولید وسایلی مانند طناب، کمر بند ایمنی، چتر نجات، نخ و تور ماهیگیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل ۱ ساختار شیمیایی نایلون را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ساختار شیمیایی نایلون

استفاده از نایلون به عنوان ماتریس پلیمری در WPCs مزایا و معایبی دارد. داشتن سختی بالا یکی از مزایای

به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و فرایند انحلال در ظروف درب‌دار شیشه‌ای انجام شد.

لینتر پنبه به نسبت وزنی ۱:۲۵ (حلال:لینتر) با حلال یونی مخلوط شد، سپس به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مغناطیسی در دمای ۷۰-۹۰ درجه سلسیوس هم خورد تا به انحلال کامل برسد. سرعت متوسط همزن در ۱۰ دقیقه اول rpm ۵۰۰ و ۱۰ دقیقه دوم rpm ۲۵۰ و ۱۰ دقیقه سوم rpm ۱۰۰ بود. در این شرایط دما هم به ترتیب ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سلسیوس تنظیم شد. کاهش میزان دور همزن همراه با گذشت زمان به دلیل ویسکوز شدن محلول به علت حل شدن سلولز در حلال یونی بود. نایلون به نسبت وزنی ۱:۱۰ (حلال: نایلون) با حلال یونی مخلوط شد. به منظور تسریع فرایند انحلال از امواج ماکروویو به صورت تناوبی استفاده شد. فرایند عمل‌آوری با امواج ماکروویو به صورت تناوبی طی ۶ دوره با مدت زمان ۱۰ ثانیه در هر دوره انجام شد.

### ساخت چندسازه

پس از انحلال، سلولز و نایلون حل شده به نسبت ۵۰:۵۰ با هم مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۰°C با همزن مغناطیسی به طور یکنواخت و همگن با یکدیگر مخلوط شدند. سپس مخلوط مواد لیگنوسلولزی و پلیمر به درون یک پتری‌دیش ریخته شد. برای از بین بردن حباب‌های هوای احتمالی در فیلم تشکیل شده، پتری‌دیش حاوی محلول مواد لیگنوسلولزی، پلیمر و حلال یونی به مدت ۳۰ دقیقه داخل آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و بعد به آرامی تا صفر درجه سلسیوس سرد شد. در انتها،

سلولز- نایلون، از روشی که نیاز به دمای بالا ندارد، یعنی انحلال پلیمرها در حلال یونی به منظور ساخت چندسازه سلولز- نایلون در مرحله مایع استفاده شد.

## مواد و روش‌ها

### مواد

از لینتر پنبه به عنوان سلولز خالص استفاده شد. همچنین نایلون ۶ از نوع صنعتی تهیه شد.

### حلال یونی

مایع یونی براساس روش به کاربرده در مطالعه قبلی تهیه شد (Abdolkhani *et al.*, 2013). مقدار مول برابر (۰/۲۵) از ۱-کلروپوتان و ۱-متیل ایمیدازول (d6) در بالون ته گرد قرار داده شد و پس از متصل کردن بالون به کندانسور، مجموعه به مدت ۳ روز در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به صورت مغناطیسی هم زده شد تا محلول دو مرحله‌ای تشکیل گردد. مرحله فوقانی شامل ترکیبات واکنش داده نشده از محلول خارج و با کمک اتیل استات استخراج گردید. عملیات استخراج ۳ مرتبه تکرار شد و پس از مرحله نهایی بقیه اتیل استات به وسیله خالص و دمای ۷۰ درجه سلسیوس از محلول تبخیر شد. ۱- بوتیل-۳-متیل ایمیدازولیوم کلرید محلولی زرد رنگ است که باتوجه به مقدار آب موجود در دمای محیط کریستالی می‌باشد.

### انحلال

برای جلوگیری از اثر رطوبت بر روی قدرت انحلال حلال یونی تمامی مواد در آون  $3 \pm 102$  درجه سلسیوس

## نفوذپذیری و میزان عبور بخار آب ( WVP & WVTR)<sup>۱</sup>

نفوذپذیری در برابر بخار آب بر طبق استاندارد ASTM E96-90 انجام شد. از نمک کلرید کلسیم (CaCl<sub>2</sub>) برای ایجاد اختلاف رطوبت نسبی استفاده شد. میزان انتقال بخار آب از تقسیم شیب خط تغییرات وزن نسبت به زمان (g/s) بر سطح فیلم طبق رابطه ۲ بدست آمد (Su *et al.*, 2007, Wu *et al.*, 2004).

$$WVTR = \frac{\text{شیب خط تغییرات وزن نسبت به زمان}}{\text{مساحت فیلم}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

با داشتن داده‌ای مقدار ضخامت فیلم و اختلاف فشار بین رطوبت نسبی درون فنجان‌ها و رطوبت نسبی کلیما، نفوذپذیری به بخار آب با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید.

$$WVP = \frac{\text{ضخامت فیلم} \times WVTR}{\text{اختلاف فشار}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

## میکروسکوپ الکترونی SEM<sup>۲</sup>

برای عکس برداری میکروسکوپی، ابتدا نمونه‌ها در آون ۱۰۲±۳ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت خشک شدند، سپس با ذرات طلا اندود گردیدند. ولتاژ در هنگام تهیه عکس‌ها ۱۷ کیلو ولت تنظیم شد.

حلال یونی با استفاده از متانول شستشو شد و فیلم‌های تهیه شده بین صفحات فلزی مخصوص قرار داده شد و در دمای ۴۰ درجه سلسیوس خشک شدند.

## ویژگی‌های فیزیکی شفافیت

شفافیت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه لوکسومتر مدل Testo 540 pocket sized lux meter, UK با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری شفافیت از نمونه‌های سالم (برش نخورده) به تعداد حداقل ۵ تکرار برای هر تیمار انجام شد. (رابطه ۱)

$$100 \times \frac{\text{مقدار لوکس نور عبوری از نمونه}}{\text{مقدار لوکس نور اولیه}} = \text{درصد شفافیت}$$

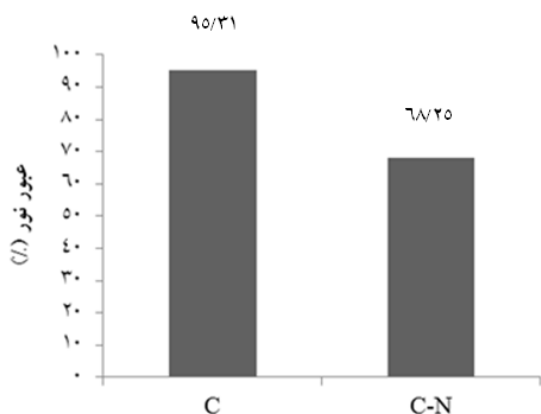
## جذب آب و واکنشیدگی ضخامت

برای اندازه‌گیری میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت از هر تیمار سه نمونه با ابعاد ۱×۱/۵ سانتی متر تهیه شد و پس از خشک کردن در دمای ۶۰°C به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شدند و میزان جذب آب در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شد. همچنین تغییر ابعاد نمونه‌ها نیز برای واکنشیدگی ضخامت اندازه‌گیری گردید (Laxmeshwar *et al.*, Kim & Cai, 2008). (2012).

1- Water Vapor Permeability & Water Vapor Transpiration Rate

2 - Scanning Electron Microscopy

سازگاری عناصر یک چندسازه می باشد ( Abdolkhani *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2011). شفافیت کامپوزیت سلولز- ابریشم نسبت به فیلم سلولزی کاهش یافت که ناشی از رنگ سفید پلیمر نایلون بود.



شکل ۲- شفافیت چندسازه‌های سلولزی؛ C: سلولز و C-N: سلولز- نایلون

### میکروسکوپ الکترونی

شکل ۳ نگاره میکروسکوپ الکترونی از فیلم‌های چندسازه‌ای را نشان می‌دهد. در نگاره میکروسکوپ الکترونی چندسازه سلولز- نایلون دارای یک سطح تقریباً زیر نسبت به فیلم سلولزی می‌باشد که این می‌تواند به دلیل اختلاط پذیری سلولز- نایلون، درشت و حجیم بودن پلیمر نایلون باشد. اما همان‌طور که مشاهده می‌شود در تصاویر الیاف و تکه‌های حل نشده سلولز و نایلون دیده نمی‌شود، همچنین تصاویر مربوط به کامپوزیت سلولز- نایلون کاملاً یک‌دست می‌باشد و یک ماتریس دو مرحله‌ای را تشکیل نداده است.

### طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه<sup>۱</sup>

برای تعیین گروه‌های عاملی و تغییرات آنها در اثر ترکیب (Composition) سلولز با پلیمر از آزمون مادون قرمز تبدیل فوریه استفاده شد. بدین منظور نمونه‌های نازک از چندسازه‌ها تهیه شد و به وسیله دستگاه اسپکترومتر مادون قرمز مدل Perkin Elmer Spectrum RXI مورد تحلیل قرار گرفت.

### بررسی خواص مکانیکی

#### آزمون کشش

آزمون کشش با استفاده از دستگاه کشش استاتیکی مدل Testometric M350-10CT در دمای اتاق بر طبق استاندارد ASTM D882 انجام شد. قبل از انجام آزمون نمونه‌ها به مدت دو هفته در داخل اتاق کلیما با دمای  $20^{\circ}\text{C}$  و رطوبت نسبی  $5 \pm 65\%$  قرار داده شدند. نمونه‌ها دارای طول ۲۰ و پهنا ۵ میلی‌متر بودند. فاصله دهانه فک‌های دستگاه ۱ سانتی‌متر تنظیم شد. بار با سرعت ۵ میلی‌متر بر دقیقه اعمال شد و سلول بار دستگاه ۵۰۰ نیوتن بود. مقدار متوسط مقاومت کششی، مدول یانگ و کرنش در نقطه شکست ۵ نمونه از هر تیمار اندازه‌گیری شد.

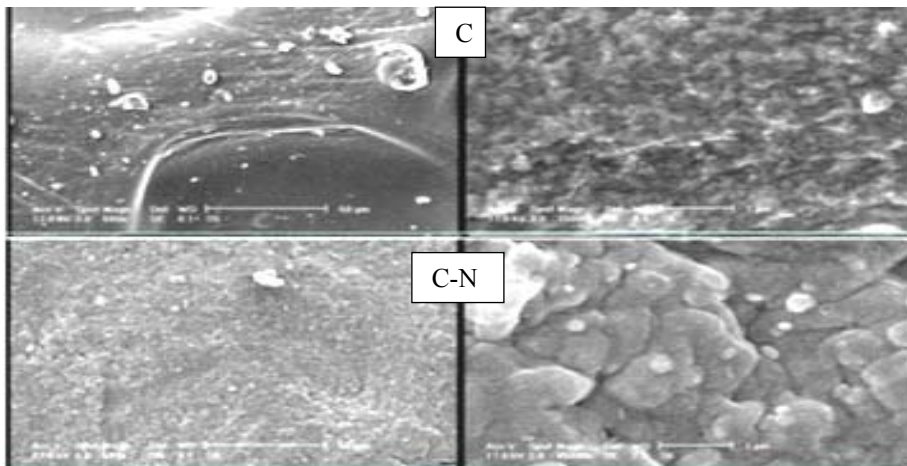
### نتایج

#### ویژگی‌های فیزیکی

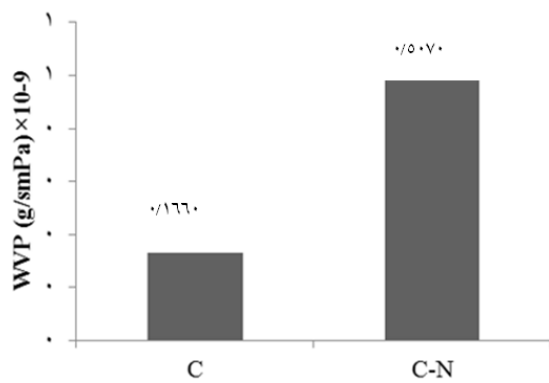
##### شفافیت

درصد عبور نور از نمونه‌ها به‌عنوان شاخصی از شفافیت مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن برای چندسازه‌های سلولزی مختلف در شکل ۲ آمده است. شفافیت یک معیار مفید برای بررسی اختلاط و

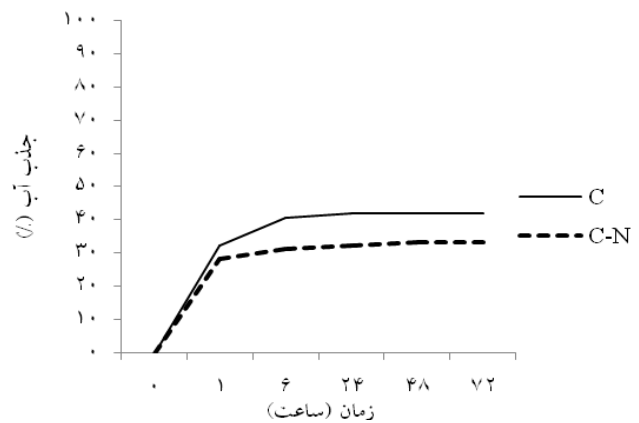
<sup>۱</sup> - FTIR



شکل ۳- نگاره میکروسکوپ الکترونی از فیلم‌های چندسازه‌ای؛ C: سلولز و C-N: سلولز-نایلون



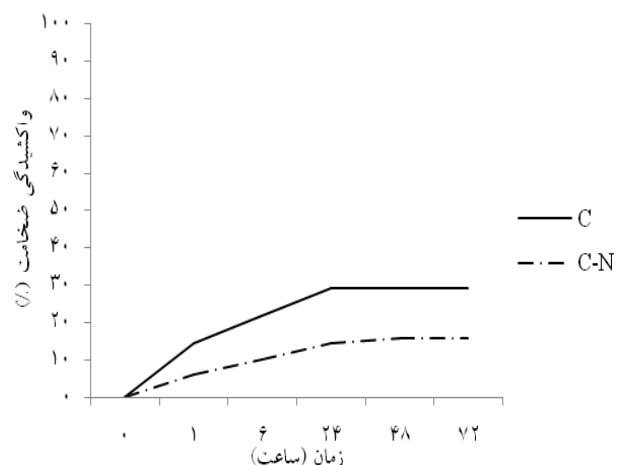
شکل ۶- نفوذپذیری بخار آب چندسازه‌های سلولزی؛ C: سلولز و C-N: سلولز-نایلون



شکل ۴- جذب آب چندسازه‌های سلولزی؛ C: سلولز و C-N: سلولز-نایلون

### جذب آب

شکل ۴ روند جذب آب چندسازه‌های سلولزی را در طی ۷۲ ساعت نشان می‌دهد. بیشترین جذب آب در یک ساعت اولیه رخ داد. در فیلم‌های تهیه شده از سلولز جذب آب در یک ساعت ابتدایی ۳۲/۳۸ درصد، در ۲۴ ساعت ۴۲/۱۴ درصد بود و بعد از آن تغییری در جذب آب دیده نشد. چندسازه سلولز-نایلون نسبت به سلولز جذب آب کمتری را داشت که این چندسازه در یک ساعت آغازین بیشترین جذب آب خود را داشت



شکل ۵- واکنش‌پذیری ضخامت چندسازه‌های سلولزی؛ C: سلولز و C-N: سلولز-نایلون

(شکل ۷). باند پهن بین ناحیه  $3700-3000\text{ cm}^{-1}$  که ناشی از ارتعاش OH کششی می‌باشد. اطلاعات صحیحی در مورد پیوندهای هیدروژنی می‌دهد (Ciolacu *et al.*, 2010). هرچه پهنای پیک OH کمتر باشد بدین معناست که پیوندهای هیدروژنی رفتار یکسانی (شبهه OH الکلی) دارند (Ilharco *et al.*, 1997). پیک  $2900\text{ cm}^{-1}$  مربوط به C-H کششی می‌باشد. پیک  $1372\text{ cm}^{-1}$  و  $1430\text{ cm}^{-1}$  که به ترتیب مربوط به C-H کششی نامتقارن و ارتعاش خمشی  $\text{CH}_2$  متقارن می‌باشد و به عنوان پیک کریستالی و پیک  $898\text{ cm}^{-1}$  که مربوط به C-O-C کششی در پیوند  $\beta$  - (1 $\rightarrow$ 4) glycosidic می‌باشد نیز به عنوان پیک جذب آمورف نامیده می‌شود (Ciolacu *et al.*, 2010). پیک  $3299\text{ cm}^{-1}$  مربوط به N-H کششی نایلون و پیک  $2930\text{ cm}^{-1}$  مربوط به  $\text{CH}_2$  کششی می‌باشد که به دلیل همپوشانی این پیوندها با پیوندهای OH هیدروکسیلی و CH کششی سلولز در این ناحیه، در چندسازه سلولز-نایلون پیک‌های این منطقه در اثر جذب زیاد به صفر درصد رسید که می‌تواند دلیل بر وجود پیوندهای ضعیف هیدروژنی بین ساختار سلولز و نایلون باشد. پیک  $1372\text{ cm}^{-1}$  مربوط به C-N کششی که با پیک کریستالی سلولز (1372) همپوشانی دارد. پیک  $1201\text{ cm}^{-1}$  مربوط به آمید II و پیک  $1547\text{ cm}^{-1}$  مربوط به آمید II و  $\text{CH}_2$  نامتقارن می‌باشد. پیک  $1464\text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه‌های نامتقارن  $\text{CH}_3$  می‌باشد (Kang *et al.*, 2012).

### خواص مکانیکی

جدول ۱ خواص مکانیکی چندسازه‌های سلولز را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص می‌باشد در اثر ترکیب سلولز با پلیمر، خواص مکانیکی کاهش

(۳۲ درصد) ولی بعد از آن تا ۴۸ ساعت جذب آب ادامه داشت و تا ۳۳ درصد رسید و ثابت شد.

### واکشیدگی ضخامت

شکل ۵ واکشیدگی ضخامت چندسازه‌های سلولزی در اثر جذب آب تا ۷۲ ساعت را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار واکشیدگی ضخامت در یک ساعت ابتدایی رخ داد. در فیلم سلولزی در یک ساعت آغازین ۱۵ درصد، در ۶ ساعت ۲۲ درصد و نهایتاً در ۲۴ ساعت تا ۲۴ درصد افزایش یافت و پس از آن ثابت شد. میزان واکشیدگی ضخامت در نمونه سلولز-نایلون نسبت به فیلم سلولزی خالص کمتر بود. در یک ساعت آغازین ۶ درصد، در ۶ ساعت ۱۰ درصد، در ۲۴ ساعت ۱۵ درصد و نهایتاً در ۴۸ ساعت تا ۱۶ درصد افزایش یافت و پس از آن ثابت شد.

### نفوذپذیری بخار آب

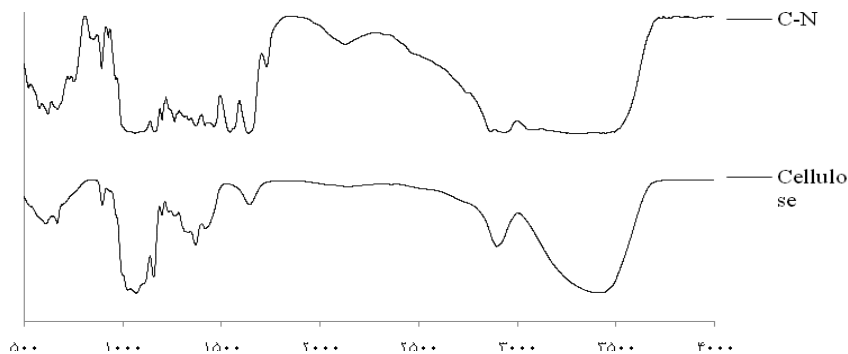
نفوذپذیری بخار آب به عواملی همانند سالم بودن فیلم، میزان آب‌دوستی و آب‌گریزی، میزان کریستالی و آمورف بودن و پویایی زنجیره‌های پلیمری بستگی دارد (Laxmeshwar *et al.*, 2012). نفوذپذیری بخار آب فیلم‌ها اندازه‌گیری شد. نفوذپذیری چندسازه سلولز-نایلون  $0.507 \times 10^{-9}\text{ g/smPa}$  می‌باشد که نسبت به سلولز ( $0.166 \times 10^{-9}\text{ g/smPa}$ ) افزایش یافته است (شکل ۵).

### طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه

الگوی پیوندهای هیدروژنی یکی از فاکتورهای قوی در تعیین ساختار و مشخصات مواد لیگنوسلولزی می‌باشد

پلیمرهای مختلف موجب کاهش درهم‌رفتگی و در نتیجه کاهش خواص مکانیکی می‌شود. در چندسازه سلولز-نایلون کاهش شدید در مقاومت کششی و مدول یانگ مشاهده شد.

یافته است. در اثر ترکیب (Composition) مولکول‌های پلیمری بینابین زنجیره‌های سلولزی قرار گرفته و مانع از ایجاد پیوندهای هیدروژنی قوی و منظم در ساختار سلولز می‌شود. ناهمگنی اجزای ساختمانی، ابعاد و شکل



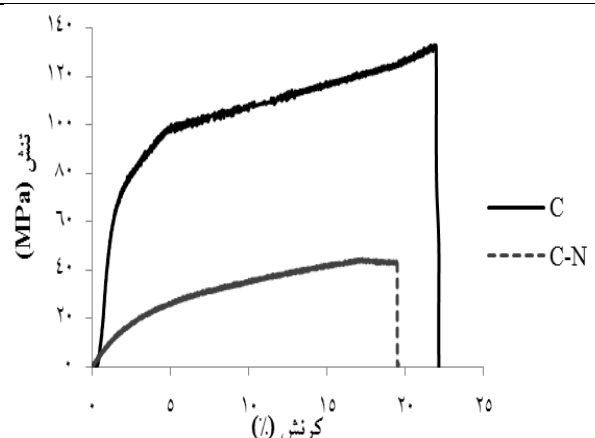
شکل ۷- طیف مادون قرمز چندسازه‌های سلولزی؛ C: سلولز و C-N: سلولز-نایلون

### بحث

با توجه به نتایج بدست آمده امکان انحلال نایلون ۶ در حلال یونی و همچنین تهیه چندسازه سلولز-نایلون در مرحله مایع از طریق انحلال پلیمرها در حلال یونی وجود دارد. شفافیت چندسازه سلولز-نایلون نسبت به سلولز خالص کاهش چشمگیری داشت که ناشی از رنگ سفید پلیمر نایلون بود. اما در کل کامپوزیت سلولز-نایلون از شفافیت مناسبی برخوردار بود که نشان‌دهنده اختلاط خوب این دو پلیمر می‌باشد. با این حال، نایلون یک هموپلیمر است که تمایل به مات بودن دارد، به طوری که شفافیت به تنهایی یک معیار برای ارزیابی اختلاط و سازگاری نیست (Nishio et al., 1990). در تصاویر میکروسکوپ الکترونی هیچ اثری از الیاف حل نشده و دو مرحله‌ای بودن کامپوزیت دیده نشد که به نوبه خود می‌تواند حکایت از اختلاط مناسب پلیمرها داشته باشد. جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت چندسازه سلولز-نایلون نسبت به

### جدول ۱- خواص مکانیکی چندسازه‌های سلولز

مقاومت کششی	مدول یانگ	کرنش در نقطه شکست	
MPa	MPa	%	
۱۲۹/۶۸	۱۱۵/۵۷	۲۴/۷	C
۳۵/۲۴	۶/۱۳	۲۰/۴۷	C-N



شکل ۸- رفتار مقاومت کششی چندسازه‌ها؛ C: سلولز و C-N: سلولز-نایلون



- blend electro-active paper. *Smart Mater. Struct.*, 17: 035028 (8pp).
- C-hen, J. and Gardner, D.J., 2008. Dynamic mechanical properties of extruded nylon-wood composites. *Polymer Composites*, 29(4): 372-379.
- Ciolacu, D., Kovac, J. and Kokol, V., 2010. The effect of the cellulose-binding domain from *Clostridium cellulovorans* on the supramolecular structure of cellulose fibers. *Carbohydrate research*, 345(5): 621-630.
- Ilharco, L.M., Garcia, A.R., Silva, J.L.D. and Ferreira, L.F.V., 1997. Infrared Approach to the Study of Adsorption on Cellulose: Influence of Cellulose Crystallinity on the Adsorption of Benzophenone. *Langmuir*, 13: 4126-4132.
- Kang, E., Kim, M., Oh, J.S., Park D.W. and Shim, S.E., 2012. Electrospun BMIMPF6/Nylon 6,6 Nanofiber Chemiresistors as Organic Vapour Sensors. *Macromolecular Research*, Vol. 20, No. 4, 372-378.
- Klyosov, A.A., 2007. *Wood-Plastic Composites*, New Jersey, USA, p 698.
- Laxmeshwar, S.S., Kumar, D.J.M., Viveka, S. and Nagaraja, G.K., 2012. Preparation and Properties of Biodegradable Film Composites Using Modified Cellulose Fiber-Reinforced with PVA. *ISRN Polymer Science*, Article ID 154314, 8 pp.
- Li, W., Sun, N., Stoner, B., Jiang, X., Lu, X. and Rogers, R.D., 2011. Rapid dissolution of lignocellulosic biomass in ionic liquids using temperatures above the glass transition of lignin. *Green Chemistry*, 13(8): 2038-2047.
- Nishio, Y. and Manley, R., 1990. Blends of cellulose with nylon 6 and poly ( $\epsilon$ -caprolactone) prepared by a solution-coagulation method. *Polymer Engineering & Science*, 30(2): p. 71-82.
- Peresin, M.S., Habibi, Y., Zoppe, J.O., Pawlak, J.J. and Rojas, O.J., 2010. Nanofiber Composites of Polyvinyl Alcohol and Cellulose Nanocrystals: Manufacture and Characterization. *Biomacromolecules*, 11: 674-681.
- Su, J.F., Huang, Zh., Liu, K., Fu, L.L. and Liu, H.R., 2007. Mechanical Properties, Biodegradation and Water Vapor Permeability of Blend Films of Soy Protein Isolate and Poly(vinyl alcohol) Compatibilized by Glycerol. *Polymer Bulletin*, 58: 913-921.
- Tajvidi, M. and Feizmand, M., Falk, R.H., Felton, C., 2009. Effect of Cellulose Fiber Reinforcement on the Temperature Dependent Mechanical Performance of Nylon 6. *Journal of REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES*, 28: 2781-2790.
- Wu, Y.B., Yue, Sh.H., Mia, F.L., Wu, Ch.W., Shyu, Sh., Peng, Ch.K. and Chao, A.Ch., 2004. Preparation and characterization on mechanical and antibacterial properties of chitsoan/cellulose blends. *Carbohydrate Polymers*, 57: 435-440.
- Zhu, S., Wu, Y., Chen, Q., Yu, Z., Wang, C., Jin, S., Ding, Y. and Wu, G., 2006. Dissolution of cellulose with ionic liquids and its application: a mini-review. *Green Chem*, 8: 325-327.
- سلولز خالص کاهش یافت. علت کاهش جذب آب چندسازه سلولز نایلون مربوط به خاصیت آب‌گریزی مولکول‌های نایلون می‌باشد. اما پیش‌بینی می‌شد که این کاهش در جذب آب چندسازه سلولز نایلون بیشتر از این باشد که علت آن می‌تواند نازک بودن فیلم (که منجر به افزایش سطح جذب) باشد که باعث در دسترس قرار گرفتن ساختار سلولزی به خصوص از نوع آمورف شد. علت دیگر آن ناهمگنی اجزای تشکیل‌دهنده و ایجاد فاصله بین ذرات و کاهش درهم‌رفتگی می‌باشد. نفوذپذیری بخار آب فیلم سلولز-نایلون نسبت به فیلم سلولز خالص افزایش یافت که می‌توان افزایش نفوذپذیری بخار آب را به دلیل حجیم‌تر شدن گروه عاملی جانبی پلیمر نسبت به سلولز (فاصله افتادن بین زنجیرهای مولکولی و ایجاد فضای خالی) و کاهش پیوند هیدروژنی بین رشته سلولزی و پلیمر نسبت به سلولز-سلولز که نهایتاً منجر به کاهش درصد کریستالی و افزایش آب‌دوستی رشته‌های سلولز است، نسبت داد. نتایج طیف بینی مادون قرمز حکایت از وجود پیوند هیدروژنی بین سلولز و نایلون داشت. بررسی خواص مکانیکی فیلم‌های تهیه شده نشان داد که مقاومت مکانیکی و مدول یانگ چندسازه سلولز نایلون نسبت به فیلم سلولز خالص کاهش نشان داد. دلیل آن نامنظمی و درشت بودن مولکول‌های نایلون (در جهت عرضی)، کاهش پیوند هیدروژنی بین سلولز و نایلون می‌باشد. همچنین به دلیل خاصیت پلاستیک نایلون شکل نمودار تنش-کرنش مربوط به چندسازه سلولز نایلون بیشتر رفتار پلاستیک را نشان می‌دهد.

### منابع مورد استفاده

- Abdulkhani, A., Hojati Marvast, E., Ashori, A. and Karimi, A.N., 2013. Effects of dissolution of some lignocellulosic materials with ionic liquids as green solvents on mechanical and physical properties of composite films. *Carbohydrate Polymers*, 95(1): 57-63.
- Cai, Zh. and Kim, J., 2008. Characterization and electromechanical performance of cellulose-chitosan

## Preparation of cellulose-nylon composite in liquid phase using macro-waves

HojatiMarvast, E.<sup>1\*</sup>, Abdulkhani, A.<sup>2</sup> and Karimi, A.N.<sup>3</sup>

1\*- Corresponding author, M.Sc., Student, Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Tehran University, Iran.

E-mail: Ebrahim\_hojati@ut.ac.ir

2- Assistant Prof. Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Tehran University, Iran

3 -Professor Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Tehran University, Iran, and INTROP Research Institute, Putra, Malaysia.

Received: April, 2013

Accepted: Nov., 2013

### Abstract

Dissolution and Cellulose-Nylon composites preparation in liquid phase was studied. BMIMCl ionic liquid was synthesized in the laboratory and was used to perform the dissolution purpose. After the dissolution of the polymers, Cellulose and Cellulose-Nylon composite films were prepared and processed. Then the transparency, water absorption and thickness swelling, water vapor permeability and tensile strength of the composite were determined. Further characterization was performed using SEM and FTIR techniques. Results showed that both polymers were compatibly dissolved in Ionic liquid and homogenously blended which indicates chemical bonding was established between the polymers. Transparency, water absorption and thickness swelling decreased and water vapor permeability of the composites increased compared to pure cellulosic film. Also, mechanical strength, Young's modulus and strain at break point of the composite were decreased compared to reference cellulosic film.

**Key words:** Cellulose, nylon, Ionic liquid, physical and mechanical properties.