

## تأثیر استفاده از لجن فعال، نشاسته کاتیونی و نانوکیتوزان بر ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی خمیر کاغذ بازیافتی

نغمه امانی<sup>۱</sup>، رامین ویسی<sup>۲\*</sup>، مجید کیانی<sup>۲</sup>، عبدالله نجفی<sup>۲</sup>، سید اسحاق عبادی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری صنایع چوب و کاغذ واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

۲. دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

۳. استادیار گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۳۰

### چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر افزودن لجن فعال کارخانه کاغذسازی، نشاسته کاتیونی و نانوکیتوزان بر ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی خمیر کاغذ بازیافتی انجام گرفت. به همین منظور، ابتدا لجن فعال در زمان ۳۰ دقیقه با فورفورال ۳ درصد پیش تیمار و سپس در حمام بن‌ماری با دمای ۷۵ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۴۵ و ۹۰ دقیقه تیمار شد و با نسبت‌های مختلف با خمیر روزنامه باطله، مخلوط و پالایش شده و نشاسته کاتیونی ۱/۵ درصد و نانوکیتوزان ۲ درصد به آن افزوده شد. نمونه‌های آزمون مطابق با استاندارد TAPPI با وزن پایه ۱۲۰ گرم بر متر مربع تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی آنها اندازه‌گیری و مقایسه شد. نتایج نشان داد که با افزایش لجن فعال تیمارنشده به خمیر کاغذ بازیافتی، مقاومت به پارگی، مقاومت به حلقه شدن، مقاومت به ترکیدن و تعداد تا شدن کاهش و جذب آب افزایش یافت. با تیمار شیمیایی لجن فعال با فورفورال، افزایش محسوسی در مقاومت به پارگی، مقاومت به حلقه شدن، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به تا شدن و کاهش مقاومت کششی و جذب آب مشاهده شد. با افزودن نشاسته کاتیونی و نانوکیتوزان، افزایش چشمگیری در همه ویژگی‌های مقاومتی و کاهش جذب آب نمونه‌ها مشاهده شد. بررسی طیف FT-IR نمونه‌های تیمار شده نشان داد که تیمار فورفورال موجب تقویت و فعال شدن گروه‌های عاملی هیدروکسیل موجود در سطح الیاف لجن فعال شده می‌شود، به‌طوری که مناسب‌ترین ویژگی‌ها در سطح ۵ درصد لجن در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۹۰ دقیقه بوده است.

واژه‌های کلیدی: فورفورال، کاغذ باطله، لجن فعال، نانوکیتوزان، نشاسته کاتیونی.

### مقدمه

مقیاس جهانی، تخمین زده می‌شود که تولید سالانه زیاله، ۱۹ بلیون تن تا سال ۲۰۲۵ خواهد بود. از این‌رو، آلودگی‌های زیست‌محیطی پسماندهای کشاورزی و صنعتی ممکن است به نگرانی جهانی تبدیل شود [۱]. بنابراین یافتن راه حل مناسب اجتماعی، فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌منظور داشتن محیط زیست سبزتر و پاک‌تر بسیار مهم است. چند کشور سعی دارند این مشکل

امروزه افزایش جمعیت و ارتقای استانداردهای زندگی، مصرف و تولید کاغذ را در کنار دیگر محصولات صنعتی و کشاورزی افزایش داده و در نتیجه، مقدار و تنوع پسماندهای جامد تولیدشده آن افزایش یافته است. در

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۱۹۵۲۹۴۴

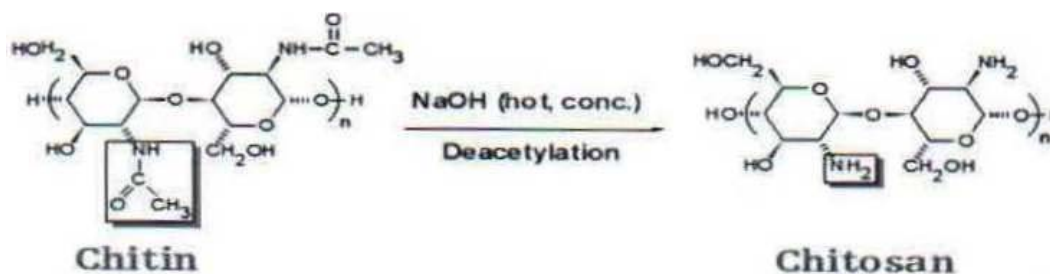
Email: Vaysi\_r452@yahoo.com

افزایش ویژگی‌های مقاومتی محصولات مورد نظر بوده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به پالایش بیشتر، افزودن الیاف بکر و استفاده از مواد افزودنی کاتیونی، استفاده از پسماندهای صنعتی همانند لجن فعال کارخانه کاغذسازی، به‌همراه انواع افزودنی رایج و در حال توسعه با هدف بهبود مقاومت‌ها و خواص نوری و فیزیکی کاغذ اشاره کرد [۱۰]. با توجه به اینکه مصرف کاغذهای بازیافتی نیز محدودیت‌هایی دارد، افزودن مواد شیمیایی می‌تواند موجب افزایش و بهبود برخی از ویژگی‌های کاغذهای بازیافتی حاصل و استفاده بهینه از آنها شود. به همین منظور، از افزودنی‌هایی همانند نشاسته کاتیونی، کیتوزان یا لجن فعال که پسماند کارخانه کاغذسازی است و نیز از فورفورال می‌توان استفاده کرد [۸]. فورفورال با فرمول شیمیایی  $C_5H_4O_2$  در ساختار خود دارای یک حلقه با چهار اتم کربن و یک اتم اکسیژن است. فورفورال ماده‌ای آلی است که از منابع تجدیدپذیر مثل ضایعات کشاورزی یا صنعتی (چوب ذرت، پوسته برنج، جوی دوسر و کاه گندم) و از طریق هیدرولیز اسیدی پتوزان‌های پلیمری، در پی آبزدایی اسیدی آلدوپتوزان‌ها تولید می‌شود. منبع اصلی تجاری فورفورال، باگاس و پسماندهای کشاورزی است. فورفورال به‌علت واکنش‌پذیری خوب، قابلیت تشکیل پلیمر قوی، فرار بودن به‌نسبت کم و تهیه از بافت گیاهی، نوعی آلدئید برتر به‌شمار می‌رود و کاربردهای فراوانی در صنایع شیمیایی، رنگ و رزین دارد [۱۱].

از طرف دیگر، نشاسته به‌دلیل قیمت مناسب و قابلیت بهبود مقاومت‌های مکانیکی کاغذ، به‌طور سنتی در بخش تر ماشین کاغذ استفاده می‌شود. مصرف حدود ۱ تا ۲ درصد نشاسته کاتیونی به‌علت وجود بارهای مثبت و تشکیل پیوند الکترواستاتیک و هیدروژنی سبب بهبود چشمگیر استحکام در واحد سطح اتصال کاغذ نهایی می‌شود، ولی مصارف بیشتر آن مشکلات فرایندی را به‌ویژه در آب سفید به‌شدت تشدید می‌کند [۱۲]. نشاسته

را از راه بازیافت پسماندها حل کنند [۲، ۳]. مجتمع صنایع چوب و کاغذ مازندران برای تولید سالانه حدود ۷۵۰۰۰ تن کاغذ فلوتینگ، ۵۲۰۰۰ تن کاغذ روزنامه و ۳۸۰۰۰ تن کاغذ چاپ و تحریر طراحی شده است [۴]. در این کارخانه، مقدار زیادی لجن از اکسیژن‌دهی سریع فاضلاب در کلاریفایرهای ثانویه تولید می‌شود که به آن لجن فعال‌شده می‌گویند. متوسط لجن فعال (آلی و غیرآلی) تولیدی در این کارخانه حدود ۱۷۰۰ تن در ماه است که ماده خشک آن حدود ۲۵ درصد است. روزانه حدود ۱۴ تن لجن کاملاً خشک در این کارخانه تولید می‌شود که عملاً بدون استفاده است و فعلاً دفن می‌شود. این لجن فعال نیمه‌خشک شامل مواد آلی و غیرآلی است که از اجزای آنها می‌توان سدیم، گوگرد، مواد استخراجی، چربی‌ها، موم‌ها، استرول‌ها و نرمه‌های فیبری و کربنات کلسیم به‌همراه پوست درختان را نام برد [۵]. دفن پسماند کارخانه کاغذسازی، افزون‌بر اقتصادی نبودن، مسائل زیست‌محیطی و آلودگی آب‌های زیرزمینی را نیز موجب می‌شود و به زمین وسیعی هم نیاز دارد [۶]. برخی از کارخانه‌ها نیز برای کاهش حجم لجن کارخانه کاغذ، آن را می‌سوزانند، اما این عمل ممکن است مشکلاتی را برای محیط زیست به وجود آورد. در سیستم‌های نوین صنعتی می‌توان از این پسماندها و حتی کاغذهای باطله، موادی همانند کامپوزیت‌های سبز یا سازگار با محیط زیست تهیه کرد. در این زمینه، امروزه صنعت خمیر و کاغذ، به‌دلیل کمبود منابع اولیه چوبی و تقاضای روزافزون برای فرآورده‌های کاغذ و مقوا، از نظر اقتصادی و توجه به مسائل زیست‌محیطی، به بازیافت پسماندها و کاغذهای باطله نیاز دارد [۷، ۸]. با وجود این، فرایند بازیافت با وجود برتری‌ها و پتانسیل‌های ذاتی، اغلب با کاهش شدید کیفیت و ویژگی‌های مقاومتی محصول همراه است و این مسئله از مشکلات اساسی بیشتر تولیدکننده‌های کاغذهای استفاده‌شده است [۹]. از این‌رو در فرایند بازیافت، همواره توسعه روش‌های مختلف به‌منظور بهبود اتصال بین الیاف و

کربن شماره ۲ کیتوزان است که به واکنش‌پذیری بیشتر آن با الیاف سلولزی نیز کمک می‌کند (شکل ۱) [۱۳]. از تحقیقات قبلی گزارش شده است که آمینوپلی‌ساکارید کیتوزان، پیونددهنده بسیار خوبی برای ساختارهای الیاف سلولزی است و می‌تواند تا بیش از ۴۰ درصد کارآمدتر از نشاسته عمل کند. کیتوزان به دلیل داشتن بارهای مثبت و بارهای مخالف (منفی) مواد سلولزی موجب تشکیل پیوندهای قوی‌تر و تولید کاغذ مقاوم‌تر می‌شود [۱۴]. سلما و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تیمار استری و استیله کردن لجن کارخانه کاغذسازی در ساخت کامپوزیت‌ها، مقاومت کششی و مدول یانگ کامپوزیت‌ها را بهبود بخشید، اما جذب آب آنها را کاهش داد. همچنین آنها نتیجه گرفتند که اسید استیک، سطح مشترک بین لجن کاغذ و ماتریکس PP/EPDM را افزایش می‌دهد [۱۵].



شکل ۱. نحوه تشکیل کیتوزان از کتین [۸]

کاغذ دست‌ساز از خمیر کاغذ بازیافتی (OCC) را بررسی کردند و گزارش دادند که استفاده از ۲ درصد نشاسته کاتیونی و ۴ درصد نانوسلولز در ساخت کاغذ از OCC سبب بهبود شاخص مقاومت به کشش، ترکیدن حتی بیشتر از اثر پالایش شد [۱۷]. پورکریم دودانگه و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی عملکرد سامانه بیوپلیمری نانوالیاف سلولز و کیتوزان بر ویژگی‌های خمیر کاغذ و کاغذ بازیافتی از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) پرداختند. نتایج بررسی تأثیر منفرد و توأم بیوپلیمرهای کیتوزان و نانوالیاف سلولز بر ویژگی‌های خمیر کاغذ و کاغذ بازیافت نشان داد که بهبود همه ویژگی‌های مقاومتی و دانسیته کاغذ، آبگیری و

کاتیونی به دلیل داشتن بارهای مثبت و بارهای مخالف مواد سلولزی (با بار منفی)، موجب ماندگاری بیشتر و تشکیل پیوندهای قوی‌تر، تولید کاغذ و بیوکامپوزیت مقاوم‌تر می‌شود. همچنین کیتین، دومین بیوپلیمر فراوان طبیعی بعد از سلولز بوده و از نظر ساختاری شبیه سلولز است، با این تفاوت که کیتین دارای گروه‌های استات‌آمید (-NHCOCH<sub>3</sub>) در موقعیت کربن C<sub>2</sub> است. مشتق استیل‌زدایی شده کیتین ماده‌ای به نام کیتوزان است. کیتوزان نوعی زیست‌تخریب‌پذیر، زیست‌سازگار، ضد باکتری و ضد قارچ است و از منابع تجدیدشونده‌ای مانند سخت‌پوستان دریایی تهیه می‌شود. شباهت کیتوزان به سلولز سبب شده است که سازگاری خوبی با سلولز الیاف خمیر کاغذ داشته باشد، چراکه تفاوت این دو بیوپلیمر، در قرار گرفتن گروه عاملی NH<sub>2</sub> به جای گروه هیدروکسیل

احمدی لاجیمی و همکاران (۱۳۹۸)، با بررسی تأثیر ماده تثبیت‌کننده کاتیونی بر پایه پلی‌دادمک بر ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ OCC، گزارش دادند که این پلیمر کاتیونی احتمالاً با تأثیر بر شکل‌گیری و پیوندیابی بین الیاف، با ختنی‌سازی و تثبیت و دلمه کردن نرمه‌ها موجب بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز شده است. این افزایش در مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به فشار لهیدگی لبه در حالت حلقه، مقاومت به فشار لبه میانی و مقاومت به پاره شدن محسوس است [۱۶]. چرانسی و همکاران (۱۳۹۷)، تأثیر استفاده از نانوسلولز و نشاسته کاتیونی با پالایش بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

استاندارد تایپی T205 sp-95 [۱۹] با وزن پایه  $120 \text{ g/m}^2$  تهیه شدند (جدول ۱).

جدول ۱. نسبت لجن به روزنامه باطله در ساخت نمونه‌های آزمونی

ردیف	لجن (درصد)	روزنامه باطله (درصد)
۱	۰	۱۰۰
۲	۵	۹۵
۳	۱۰	۹۰
۴	۱۵	۸۵
۵	۲۰	۸۰

### آماده‌سازی کیتوزان

کیتوزان که پودری کرم‌رنگ و شفاف است از شرکت Seafresh تایلند با وزن مولکولی ۲۷۰ دالتون و درجه استیلاسیون ۹۳ درصد تهیه شد. برای تزریق محلول کیتوزان به دوغاب خمیرکاغذ، مقدار مورد نیاز کیتوزان در محیط اسید استیک ۱ درصد حل شد. بدین منظور محلول ذکر شده به مدت ۲ ساعت در دمای محیط به هم زده شد. به‌هنگام ساخت نمونه آزمایشگاهی، ابتدا پلیمر کیتوزان در سطح ۲ درصد به خمیرکاغذ در حال تلاطم با شدت دورانی ۳۰۰-۵۰۰ دور در دقیقه افزوده شد [۲۰].

### آماده‌سازی نشاسته کاتیونی

نشاسته کاتیونی استفاده‌شده در این تحقیق دارای pH حدود ۶، درجه استخلاف (DS) حدود (مول/مول) ۰/۰۱۶/۰۲۰-۰/۰، مقدار پروتئین حدود ۱/۵ درصد، نیتروژن حدود ۰/۲۵ درصد، خاکستر کمتر از ۲ درصد، ویسکوزیته بعد از پخت (محلول ۲ درصد) حدود ۸۰ سانتی‌پواز و رطوبت حدود ۱۱ درصد بود و از شرکت فلوکاء تهیه شد. به‌منظور انحلال‌پذیر شدن نشاسته در آب، بشر محتوی آب و نشاسته با غلظت ۵ درصد به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و در نهایت به‌منظور پخش و جذب بهینه روی سطح الیاف، این محلول در سطح ۱/۵ درصد نسبت به وزن خشک خمیرکاغذ به دوغاب خمیر با درصد خشکی ۰/۰۵ درصد به نمونه‌ها اضافه شد [۲۱].

ماندگاری خمیرکاغذ به‌هنگام شکل‌گیری و کاهش اتلاف مواد در مقایسه با تیمار شاهد قابل‌دستیابی است [۱۸]. از این‌رو این تحقیق، با هدف بررسی تأثیر استفاده از لجن فعال کارخانه کاغذسازی بر ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی خمیرکاغذ بازیافتی انجام گرفت تا با افزودن نشاسته کاتیونی و نانوکیتوزان به آنها، گروه‌های عاملی بیشتری در سطح لجن فعال تیمار شده در دسترس قرار گیرد و با تقویت سطح اتصال، سطح پیوندی و مقاومت اتصال، تأثیر آنها در بهبود ویژگی‌های خمیرکاغذ بازیافتی حاصل ارزیابی شود.

### مواد و روش‌ها

#### تهیه نمونه‌های آزمونی

برای اجرای این تحقیق، ۱۰ کیلوگرم روزنامه باطله تهیه و به اندازه‌های ۵×۵ سانتی‌متری بریده شد. تکه‌های روزنامه ۲۴ ساعت در آب نگه داشته شده و سپس در یک دستگاه دسیتتیگراتور (الیاف‌بازکن) با ۳۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه به خمیرکاغذ تبدیل شدند. لجن فعال خشک از کارخانه چوب و کاغذ مازندران واقع در پهنه‌کلای ساری تهیه شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. ۲ کیلوگرم از لجن فعال در آب به مدت ۲۴ ساعت خیسانده شد. بعد از آن، دو ماده توسط دستگاه الیاف‌بازکن با ۳۰۰ دور در دقیقه مخلوط شدند. سپس خمیر روزنامه با مش ۴۰ و لجن با مش ۲۰۰ آبیگری شدند و در پایان، درصد خشکی سوسپانسیون خمیر روزنامه و لجن ضایعاتی محاسبه شد. خمیر روزنامه باطله و لجن فعال به مقدار لازم برای آزمایش براساس جدول ۱ محاسبه و مخلوط شدند. خمیرکاغذهای روزنامه باطله و لجن فعال با استفاده از دستگاه پالایشگر PFI با ۳۰۰ دور در دقیقه پالایش شد. سپس نمونه‌های آزمونی از مخلوط لجن بدون تیمار با خمیرکاغذ روزنامه در پنج سطح لجن به خمیرکاغذ ۰ به ۱۰۰، ۵ به ۹۵، ۱۰ به ۹۰، ۱۵ به ۸۵ و ۲۰ به ۸۰ مطابق

## آماده‌سازی فورفورال

برای آماده‌سازی فورفورال، ابتدا لجن فعال با آب مخلوط شد تا کاملاً مرطوب شود. سپس اسید کلریدریک غلیظ قطره‌قطره به آن اضافه شد تا به pH حدود ۲ برسد. در این مرحله، فورفورال به صورت دوره‌ای و گام‌به‌گام، همراه با هم زدن شدید به لجن اضافه شد و سپس سوسپانسیون حاصل به مدت یک ساعت تا دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. در انتها با سرد کردن محلول و تنظیم pH آن با هیدروکسید سدیم، نمونه تیمار شده جمع‌آوری شد و از فورفورال ۴۵ درصد، فورفورال ۳ درصد به دست آمد [۲۲].

## تیمار شیمیایی لجن

به منظور حذف آلودگی لجن فعال و بهتر کردن شرایط اختلاط با خمیر روزنامه، لجن با نسبت‌های مندرج در جدول ۱ به طور جداگانه در یک بشر به مدت ۳۰ دقیقه در فورفورال ۳ درصد قرار داده شد و سپس در حمام بن‌ماری با دماهای ۷۵ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۴۵ و ۹۰ دقیقه تیمار شد. سپس نمونه‌های آزمایشی براساس استاندارد تاپی T205 sp-95 [۱۹] و با وزن پایه ۱۲۰ گرم بر متر مربع تهیه و پرس شدند و نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در حلقه‌های مخصوص قرار گرفته و خشک شدند. در نهایت خواص مقاومتی و جذب آب کاغذهای حاصل از لجن فعال و خمیر روزنامه باطله اندازه‌گیری شدند. بعد از اندازه‌گیری ویژگی‌های خمیر بازیافتی حاصل، بهترین شرایط تیمار از نظر خواص فیزیکی و مقاومتی انتخاب شده (جدول ۲) و به مناسب‌ترین تیمارها، نشاسته کاتیونی ۱/۵ درصد و نانوکیتوزان ۲ درصد افزوده شد.

## اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی نمونه‌های آزمونی

مقاومت کششی، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به پاره شدن، تا خوردن، ضخامت، رطوبت و جذب آب به ترتیب

با استفاده از آزمون‌های TAPPI 494 om-96، TAPPI 423 om-97، TAPPI 496 sp-99، TAPPI 403 om-97، TAPPI 441 om-90 و TAPPI 411 om-97، تعیین شد [۲۳-۲۸].

## آزمون زیست‌تخریب پذیری

آزمون زیست‌تخریب‌پذیری در شرایط هوازی (با استفاده از خاک) مطابق استاندارد ASTM D5988-03 انجام گرفت [۲۹]. به همین منظور، ۱۰۰ گرم خاک در ظروف مخصوص ریخته شد. سپس نمونه به ابعاد 10 × 30 میلی‌متر تهیه شد و در داخل خاک قرار گرفت. از آنجا که تمرکز این تحقیق بر مبنای شبیه‌سازی زیست‌تخریب‌پذیری نمونه‌ها در طبیعت بود، ظروف در شرایط دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰-۳۵ درصد نگهداری شدند. در طول آزمایش و در فواصل مورد نظر، هر سه روز یک‌بار آب مقطر به ظروف اضافه شد. برای تعیین شدت تخریب و کاهش وزن، نمونه‌ها در زمان‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۲۰، ۱۳۵ و ۱۵۰ روز از زیر خاک خارج شدند و سطح آنها از طریق شست‌وشو با آب مقطر پاک‌سازی شد. نمونه‌ها برای رسیدن به وزن ثابت به مدت ۲۴ ساعت در آون تحت دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. با عنایت به اینکه کاهش وزن در طول زمان برای ارزیابی مقدار زیست‌تخریب‌پذیری نمونه‌ها مدنظر بود، کاهش وزن نمونه‌ها در زمان‌های یاد شده به مدت ۱۵۰ روز با استفاده از رابطه زیر محاسبه و تعیین شد.

$$W\% = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100$$

W: درصد کاهش وزن،  $W_0$ : وزن خشک اولیه و  $W_t$ : وزن خشک ثانویه نمونه‌هاست.

## طیف‌سنجی FT-IR

نمونه‌های لجن تیمار نشده و تیمار شده برای تعیین وضعیت گروه‌های فعال موجود، تحت طیف‌سنجی FT-IR قرار گرفت. بدین منظور از دستگاه CARY 630 ساخت ایالات متحده آمریکا استفاده شد.

## تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق، تأثیر لجن فعال بر خواص فیزیکی و مقاومتی خمیر کاغذ بازیافتی حاصل از اختلاط لجن فعال و کاغذ باطله روزنامه ارزیابی آماری شد. تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS، در قالب آزمون تجزیه واریانس یکطرفه صورت گرفت. در نهایت گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۱ درصد انجام گرفت.

محسوسی را نشان داد، اما با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از خواص مقاومتی و جذب آب، بهترین شرایط تیمار انتخاب شد که مربوط به تیمار با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۹۰ دقیقه بود (جدول ۲). به سوسپانسیون این تیمار نشاسته کاتیونی و نانوکیتوزان با اختلاط ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد افزوده شد و سپس خواص مقاومتی و جذب آب نمونه‌های مورد نظر اندازه‌گیری و مقایسه شد (شکل‌های ۲ تا ۷).

## نتایج و بحث

مقایسه خواص مقاومتی و جذب آب لجن فعال تیمار شده و نشده و افزودن نشاسته کاتیونی و نانوکیتوزان نشان داد که با افزودن ۵ درصد لجن فعال تیمار نشده، همه ویژگی‌های مقاومتی و جذب آب کاهش یافت. در سطح ۵ درصد مقدار خواص مقاومتی و جذب آب در لجن تیمار شده با فورفورال، نسبت به لجن تیمار نشده افزایش

## مقایسه میانگین مشخصه‌های کمی در سطح متغیرها

میانگین ویژگی‌های مقاومتی و فیزیکی خمیر کاغذ بازیافتی حاصل از اختلاط کاغذ روزنامه باطله و لجن فعال تیمار شده به همراه کیتوزان و نشاسته کاتیونی، براساس آزمون دانکن مقایسه و بررسی شد. نتایج نشان داد که بین میانگین همه شاخص‌ها در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳).

جدول ۲. نتایج برخی ویژگی‌های حاصل از افزودن ۵ درصد لجن فعال به نمونه‌های آزمونی

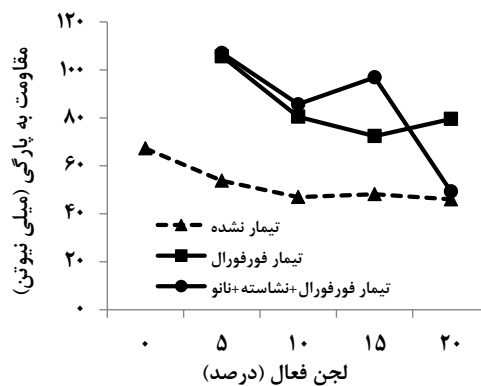
ویژگی‌ها (۵ درصد لجن فعال)	مقاومت به پارگی (mN)	مقاومت کششی (N/m)	RCT (N)	مقاومت به ترک‌یدن (kPa)	جذب آب (g/m <sup>2</sup> )
شاهد (بدون لجن فعال)	۶۷/۳	۲۶۲۸	۱/۱	۲۴/۹	۲۲۹
لجن تیمار نشده	۵۲/۸	۲۸۸۸	۰/۹	۲۳	۲۳۸/۵
لجن تیمار شده (دما ۷۵ درجه و زمان ۴۵ دقیقه)	۷۹/۵	۲۹۲۲	۰/۸	۲۲	۳۳۴
لجن تیمار شده (دما ۷۵ درجه و زمان ۹۰ دقیقه)	۱۰۲	۴۰۵۵	۰/۹	۲۴	۲۵۹/۵
لجن تیمار شده (دما ۱۰۰ درجه و زمان ۴۵ دقیقه)	۱۰۱	۴۰۰۰	۰/۹	۲۳	۲۸۹
لجن تیمار شده (دما ۱۰۰ درجه و زمان ۹۰ دقیقه)	۱۰۵/۷	۴۲۲۲	۰/۹۵	۲۵/۱	۳۵۶/۵

جدول ۳. تجزیه واریانس یکطرفه ویژگی‌های نمونه‌های آزمونی

مشخصه متغیر	مقاومت به حلقه شدن	جذب آب (Cobb <sub>60</sub> )	مقاومت به پارگی	مقاومت کششی	مقاومت به ترک‌یدن
آماره F	معنی داری	آماره F	معنی داری	آماره F	معنی داری
۱۳/۳۲۹	۰/۰۰۰۱	۳۳/۹۷۹	۰/۰۰۰۱	۳۴/۴۱۱	۷/۲۲۶
تیمار با فورفورال + نشاسته + نانو					۰/۰۰۰۱

## مقاومت به پارگی

با افزودن نشاسته و نانوکیتوزان به نمونه‌های تیمار شده با فورفورال، در سطح اختلاط ۲۰ درصد بهبود در ویژگی مقاومت به پارگی حاصل نشد (شکل ۲). ولی در سطوح اختلاط ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد، این ویژگی افزایش نشان داد. با افزودن نشاسته کاتیونی، مقاومت به پارگی کاغذ حاصل افزایش محسوسی می‌یابد. افزودن نشاسته کاتیونی به الیاف، توان اتصال این نوع الیاف را افزایش می‌دهد و در نهایت موجب بهبود این ویژگی می‌شود [۳۰]، زیرا افزودن نشاسته کاتیونی سبب باردار شدن سطح الیاف (بار کاتیونی) خواهد شد که در مرحله بعد با افزودن لجن فعال (با بار آنیونی در اجزای کلئیدی آن) آن را جذب خواهد کرد. در واقع، استفاده متوالی از پلی‌الکترولیت‌های مثبت و منفی مقدار بیشتری از آنها را روی الیاف ماندگار می‌کند و مقاومت خشک بیشتری حاصل می‌شود [۳۱].

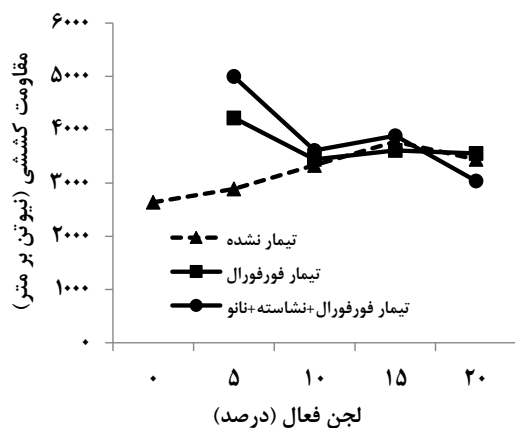


شکل ۲. مقایسه مقاومت به پارگی نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله

## مقاومت کششی

با افزودن نشاسته و نانوکیتوزان به نمونه‌های تیمار شده با فورفورال، میانگین مقاومت کششی در سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش نشان داد، اما مقاومت کششی در نمونه‌های تیمار شده با فورفورال، نشاسته و نانوکیتوزان در سطح اختلاط ۲۰ درصد نسبت به نمونه تیمار شده با فورفورال کاهش نشان داد. مقاومت در برابر کشش از ویژگی‌هایی

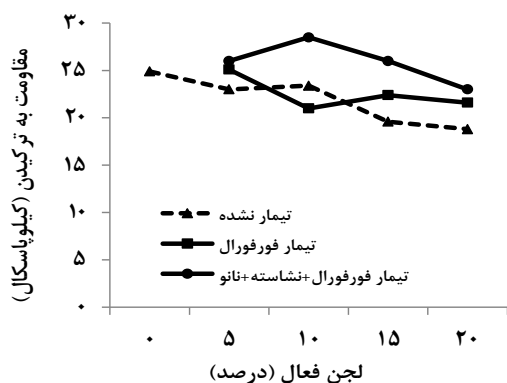
است که به اتصالات الیاف سلولزی بستگی دارد. کیتوزان به‌عنوان نوعی ماده افزودنی مقاومت خشک، ساختاری شبیه به رشته‌های سلولزی دارد و در نتیجه با استفاده از پیوندهای هیدروژنی و واندروالسی سبب بهبود اتصالات بین الیاف و به‌دنبال آن سبب بهبود مقاومت در برابر کشش می‌شود [۳۲]. نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان داده است که با به‌کارگیری نشاسته کاتیونی و بار مثبت در الیاف خمیر کاغذ، مقاومت کششی کاغذ حاصل افزایش می‌یابد [۳۳]. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت کششی تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه مقاومت کششی نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله

## مقاومت به حلقه شدن

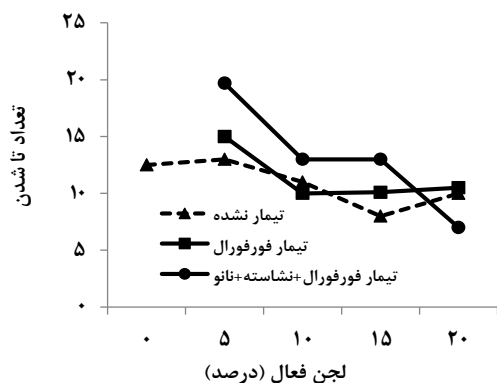
با افزودن نشاسته و نانوکیتوزان به نمونه‌های تیمار شده با فورفورال، میانگین مقاومت به حلقه شدن در همه سطوح اختلاط افزایش نشان داد و بیشترین مقاومت به حلقه در سطح اختلاط ۱۰ درصد مشاهده شد. پورکریم دودانگه و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی عملکرد سامانه بیوپلیمری نانوالیاف سلولز و کیتوزان بر ویژگی‌های خمیر کاغذ و کاغذ بازیافتی از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) پرداختند و دریافتند که کاربرد منفرد کیتوزان بهبود معنی‌داری را در همه ویژگی‌های مقاومتی و دانسیته کاغذ و



شکل ۵. مقایسه مقاومت به ترکیدن نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله

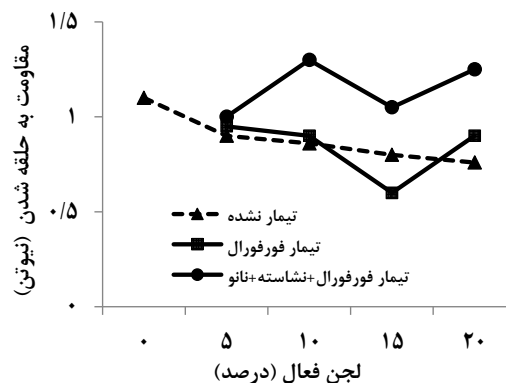
#### مقاومت به تا خوردن

با افزودن نشاسته و نانوکیتوزان به نمونه‌های تیمار شده با فورفورال، در میانگین تعداد تا شدن در سطوح اختلاط ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد بهبود حاصل شد، اما تعداد تا شدن در نمونه‌های تیمار شده با فورفورال، نشاسته و نانوکیتوزان در سطح اختلاط ۲۰ درصد نسبت به نمونه تیمار شده با فورفورال کاهش نشان داد. رسول‌پور هدایتی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که توانایی کیتوزان در ایجاد سه نوع پیوند هیدروژنی، یونی و کووالانسی می‌تواند به تنهایی یا همراه با نشاسته بار مثبت، سیستم دوتایی موفقیت‌آمیزی تشکیل دهد [۳۵]. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین تا خوردن تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۶).



شکل ۶. مقایسه تعداد تا شدن نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله

همچنین ماندگاری خمیر کاغذ به هنگام شکل‌گیری ایجاد کرد [۱۸]. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به حلقه شدن تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه مقاومت به حلقه شدن نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله

#### مقاومت به ترکیدن

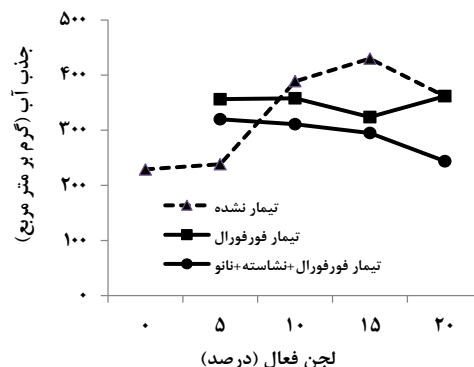
با افزودن نشاسته و نانوکیتوزان به نمونه‌های تیمار شده با فورفورال، در میانگین مقاومت به ترکیدن نمونه‌ها در سطوح اختلاط ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد بهبود حاصل شد. در این زمینه، پلیمرهای کاتیونی مانند کیتوزان به سبب چگالی بار مثبت زیاد، به راحتی می‌توانند با الیاف سلولزی اتصال ایجاد کنند. این ویژگی سبب افزایش ماندگاری نرמה می‌شود. از این رو می‌توان گفت کیتوزان افزون‌بر عملکردش به عنوان ماده افزایش‌دهنده مقاومت خشک، با کمک در افزایش ماندگاری نرמה نیز می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ شود. نتایج تحقیقات دیگر نشان داد که به کارگیری خمیر کاغذ با شار منفی به همراه نشاسته کاتیونی با شار مثبت، در ارتقای ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ بازیافتی مؤثر بوده است [۳۴]. تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به ترکیدن تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۵).



آلدهیدی الیاف، از جمله تئوری‌های پیونددهی کیتوزان با سطح الیاف سلولزی است که سبب کاهش برخی از گروه‌های جذب‌کننده آب می‌شوند [۳۶]. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین جذب آب تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۷).

#### مقایسه طیف FT-IR نمونه‌های لجن فعال

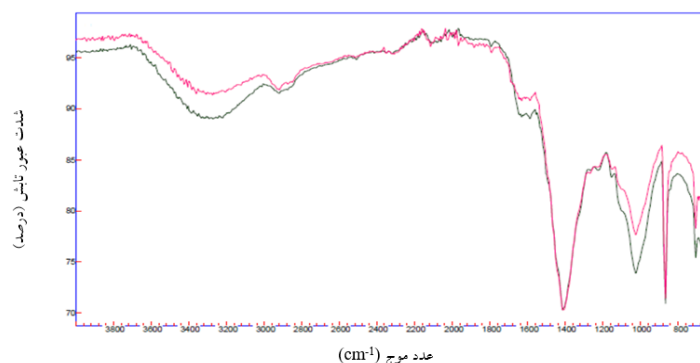
بررسی طیف FT-IR نمونه‌های لجن فعال تیمارنشده و تیمار شده نشان داد که تیمار لجن فعال با فورفورال، سبب تقویت و فعال شدن ارتعاشات کششی فورفورال در محدوده عدد موجی  $1590 \text{ cm}^{-1}$  و در اجزای کلویدی لجن فعال شد. همچنین عدد موجی  $3200 \text{ cm}^{-1}$  تا  $3400 \text{ cm}^{-1}$  نیز مربوط به گروه‌های فعال هیدروکسیل است [۳۷]. فعال شدن، دسترسی و تقویت بیشتر فورفورال و گروه‌های عاملی موجود در اجزای کلویدی و سطح لجن فعال، موجب تقویت و افزایش سطح اتصال، سطح پیوندی و در نتیجه افزایش مقاومت اتصال در اختلاط آن با الیاف کاغذ بازیافتی شد (شکل ۸). در این زمینه، کرد و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر اصلاح شیمیایی آرد چوب بر خواص مکانیکی استاتیکی و دینامیکی کامپوزیت‌ها پرداختند و نتایج نشان داد که با اصلاح شیمیایی آرد چوب، استحکام مکانیکی و مدول ذخیره نمونه‌ها افزایش یافت. کاهش شدت گروه هیدروکسیل در محدوده جذب  $3420-3425 \text{ cm}^{-1}$  بیانگر تغییر ساختار شیمیایی الیاف به واسطه اصلاح شیمیایی است [۳۸].



شکل ۷. مقایسه جذب آب نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله

#### جذب آب

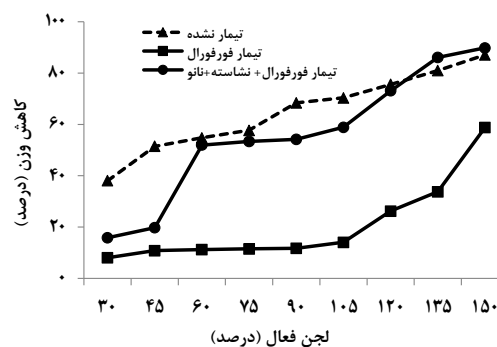
با افزودن نشاسته و نانوکیتوزان به نمونه‌های تیمار شده با فورفورال، میانگین جذب آب در همه سطوح اختلاط کاهش یافت. این کاهش جذب آب، ویژگی خوبی است و کمترین جذب آب در سطح اختلاط ۲۰ درصد مشاهده شد. در حالی که با افزودن همزمان لجن فعال، نشاسته کاتیونی و کیتوزان، کاهش محسوس در جذب آب کاغذ حاصل مشاهده شد، اما این کاهش جذب آب بیشتر تحت تأثیر کیتوزان بوده است. توانایی برقراری پیوند هیدروژنی بین گروه‌های آمینی کیتوزان و گروه‌های هیدروکسیلی الیاف، امکان تشکیل پیوندهای الکتروستاتیکی بین آنیون-های سطح الیاف و لجن فعال به‌ویژه گروه‌های کربوکسیل و گروه‌های کاتیونی آمینی و همچنین قابلیت تشکیل پیوند کووالانسی از طریق واکنش گروه‌های کیتوزان با گروه



شکل ۸. مقایسه طیف FT-IR لجن تیمار نشده (خط قرمز) و تیمار شده (خط سیاه) با فورفورال

## مقایسه زیست تخریب پذیری نمونه‌های آزمونی

در پژوهش‌های مختلف از کاهش وزن نمونه‌ها به عنوان ابزاری کیفی برای ارزیابی اثر محیط خاک بر رفتار تخریب مواد استفاده شده است [۳۹]. شکل ۹، درصد کاهش وزن نمونه‌های مختلف را به عنوان تابعی از زمان نشان می‌دهد. در همه نمونه‌های بررسی شده، روند تخریب پس از گذشت زمان یک هفته شروع شد. شدت تخریب زیستی نمونه‌های حاوی لجن تیمارنشده در طی ۱۵۰ روز، ۸۷/۱ درصد بود. شدت تخریب نمونه‌های حاوی لجن تیمارنشده با فورفورال، نشاسته و نانوکیتوزان حدود ۹۰ درصد بود که بیانگر تخریب بیشتر است. ۵۰ درصد تخریب نمونه‌های حاوی لجن تیمارنشده در مدت زمان ۴۵ روز ایجاد شد. تخریب پذیری نمونه‌های حاوی لجن تیمارنشده با فورفورال سرعت کمتری داشت، اما نمونه‌های حاوی لجن تیمارنشده با فورفورال، نشاسته و نانوکیتوزان در محدوده زمانی ۱۰۵ تا ۱۵۰ روز سرعت بیشتری گرفت و درصد تخریب زیادی داشت، به طوری که حدود ۳۰ درصد تخریب در طی این مدت زمان ایجاد شد (شکل ۹).



شکل ۹. مقایسه زیست تخریب پذیری نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله

## نتیجه گیری

بررسی طیف FT-IR نمونه‌های تیمارنشده نشان داد که تیمار فورفورال در لجن فعال، موجب تقویت و فعال شدن ارتعاشات کششی در محدوده عدد موجی  $1590 \text{ cm}^{-1}$  شد

که مربوط به فورفورال است، فعال شدن، دسترسی و تقویت بیشتر فورفورال و گروه‌های عاملی موجود در اجزای کلوییدی و سطح لجن فعال، موجب تقویت و افزایش سطح اتصال، سطح پیوندی و در نهایت سبب افزایش برخی از مقاومت‌های محصول حاصل از کاغذ بازیافتی شد. افزایش لجن فعال تیمارنشده کارخانه کاغذسازی به کاغذ باطله، برخی از مقاومت‌های مکانیکی (مقاومت پارگی، مقاومت به حلقه شدن، مقاومت به ترکیدن و تعداد تا شدن) را به طور میانگین تا ۲۲ درصد کاهش و جذب آب نمونه‌های آزمونی حاصل را به طور میانگین تا ۳۵ درصد افزایش داد. تیمار شیمیایی لجن فعال با فورفورال و افزودن نشاسته و نانوکیتوزان به کاغذ باطله، سبب افزایش اکثر ویژگی‌های مکانیکی (مقاومت به پارگی، مقاومت کششی، مقاومت به حلقه شدن، مقاومت به ترکیدن و تعداد تا شدن) شد، به طوری که افزودن نشاسته و کیتوزان به خمیر کاغذ باطله، مقاومت‌های مکانیکی را در مقایسه با تیمار فورفورال تنها، حدود ۴۰ درصد افزایش و جذب آب را نیز حدود ۳۲ درصد کاهش داد. افزایش محسوس در مقاومت به پارگی، مقاومت کششی، مقاومت به حلقه شدن و کاهش جذب آب ویژگی‌های بسیار مناسبی برای نمونه‌های ساخته شده است. بهترین درصد اختلاط برای نمونه‌های دست‌ساز، استفاده از ۵ درصد لجن تیمارنشده با فورفورال ۳ درصد و افزودن نشاسته و نانو به خمیر روزنامه باطله در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۹۰ دقیقه بود. در این زمینه، افزودن نشاسته کاتیونی و نانوکیتوزان هر دو با بار مثبت، موجب تقویت بار کاتیونی در سطح الیاف سلولزی کاغذ (با بار آنیونی) خواهند شد که با افزودن لجن فعال (با بار آنیونی در اجزای کلوییدی آن) این افزودنی‌ها، سطح کلوییدی موجود در لجن فعال دارای بار منفی را جذب می‌کنند. در واقع استفاده متوالی از پلی‌الکترولیت‌های مثبت و منفی، مقدار بیشتری از لجن فعال و نرمه‌ها را در کاغذ تر ماندگارتر می‌کند و در نتیجه مقاومت خشک

کاغذهای بازیافتی حاصل را بهبود می‌بخشد. با توجه به اینکه هم لجن فعال و هم کاغذ روزنامه باطله مواد ضایعاتی، پسماند و دورریزند، با افزودن نشاسته کاتیونی و نانوکیتوزان به آنها، می‌توان کامپوزیتی (انواع گلدان، سطل زباله، ظروف نشاکاری و ...) ساخت که در فضای سبز شهری و گلخانه‌ای به صورت فرآورده‌های کاربردی با عنوان بیوکامپوزیت‌های سبز و سازگار با محیط زیست کاربرد داشته باشد.

## References

- [1]. Soucy, J., Koubaa, A., Migneault, S., and Riedl, B. (2014). The potential of paper mill sludge for wood-plastic composites. *Journal of Industrial Crops and Products*, 54: 248-256.
- [2]. Lertsutthiwong, P., Khunthon, S., Siralertmukul, K., Noomun, K., and Chandkrachang, S. (2008). New insulating particleboards prepared from mixture of solid wastes from tissue paper manufacturing and corn peel. *Bioresource Technology*, 99: 4841-4845.
- [3]. Pappu, A., Saxena, M., and Asolekar, S.R. (2007). Solid wastes generation in india and their recycling potential in building materials. *Building and Environment*, 42: 2311-2320.
- [4]. Ghafari, M., Ghasemian, A., Resalati, H., and Asadpoor, GH. (2012). Determination of the optimum use of cationic starch on the basis of the mechanical strengths of mixed OCC and virgin NSSC pulps. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*. 2(2): 121-133.
- [5]. Jungil Son., Hyun-Joong Kim., and Phi-Woo Lee. (2001). Role of paper sludge particle size and extrusion temperature on performance of paper sludge-thermoplastic polymer composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 82: 2709-2718.
- [6]. Donmez Cavdar, A., Yel, H., Boran, S., and Pesman, E. (2017). Cement type composite panels manufactured using paper mill sludge as filler. *Journal Construction and Building Materials*, 142: 410-416.
- [7]. Horace, K. Moo, Y., and Charles E, Ochola. (1999). The future of paper industry waste management. P 81-99, In: *Proceedings of the Middle Atlantic Regional Conference*, Department of Civil and Environmental Engineering, Lehigh University, Bethlehem, PA, USA.
- [8]. Mirshokraiee, S.A. (1995). *Pulp & Paper Technology*, Payame Noor University, Tehran, Iran.
- [9]. Mandeep, M., Kumar Gupta, G., and Shukla, P. (2020). Insights into the resources generation from pulp and paper industry wastes: Challenges, perspectives and innovations. *Bioresource Technology*, 297. Article 122496
- [10]. Rudi, H.R. (2018). Bonding improvement of three times recovered Kraft fibers through coating of chitosan/carboxyl methyl cellulose multilayers. *Iranian Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 25(4): 87-101.
- [11]. Schafer, M., and Raffael, E. (2000). On the Formaldehyde Release of Wood. *Holzalsroh-Und Werkstoff*, 58(4): 259-264.
- [12]. Yoon, S.Y., and Deng, Y. (2006). Clay-starch composites and their application in papermaking. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(2): 1032-1038.
- [13]. Rahmaninia, M., Rohi, M., Ramezani, O., and Zabihzadeh, S.M. (2015). The effect of pulp suspension pH on the performance of chitosan-nanobentonite as a dry strength additive in hardwood CMP pulp. *Journal of Forest and Wood Products*, 68(2): 347-357.
- [14]. Vanerek, A., Alince, B., and Van de ven, T.G.M. (2006). Bentonite delamination induced by pulp fibers under high shear monitored by calcium carbonate deposition, colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 280(1-3):1-8.
- [15]. Salmah, H. Ismail., and Abubakar, A.A. (2006). Effects of chemical modification of paper sludge filled polypropylene (PP)/Ethylene Propylene Diene Terpolymer (EPDM) composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25:43.

- [16]. Ahmadi Lajimi, A., Azad Fallah, M., Hamzeh, Y., and Rahmaninia, M. (2020). Effect of cationic poly DADMAC based fixing agent on strength properties OCC pulp. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 10(4): 605-616.
- [17]. Rezayati Charani, P. and Moradian, M. H. (2019). Utilization cellulose nanofibers and cationic polymers to improve breaking length of paper. *Journal of Cellulose Chemistry and Technology*, 53(7-8): 767-774.
- [18]. Pourkarim Dodangeh, H., Jalali Torshizi, H., Rudi, H., and Ramzani, O. (2016). Performance of nano fibrillated cellulose (NFC) and chitosan bio-polymeric system on recycled and paper properties of old corrugated containers. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Industries*, 7(2): 297-309.
- [19]. Standard Test Method for Forming handsheets for physical tests of pulp, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA. T205 sp-95 (1995).
- [20]. Nicu, R., Bobu, E., and Desbrieres, J. (2011). Chitosan as cationic polyelectrolyte in wet-end papermaking systems. *Cellulose Chemistry and Technology Journal*, 45(1): 105-111.
- [21]. Ekhtera, M.H., Rezayati Charani, P., Ramezani, O., and Azadfallah, M. (2008). Effects of polyaluminum chloride, starch, alum and rosin on the rosin sizing, strength and microscopic appearance of paper prepared from old corrugated container (OCC) pulp. *Bioresources*, 3(2): 383-402.
- [22]. Donger, P., Driscoll, M., Amidon, T., and Bujanovic, B. (2015). Lignin-Furfural Based Adhesives. *Energies*, 8(8): 7897-7914.
- [23]. Standard Test Method for Forming handsheets for Bursting strength of paper, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA. T403 om-97 (1997).
- [24]. Standard Test Method for Thickness (caliper) of paper, paperboard, and combined board, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA. T411 om-97 (1997).
- [25]. Standard Test Method for Folding endurance of paper (Schopper type tester), TAPPI Press, Atlanta, GA, USA. T423 om-89 (1991).
- [26]. Standard Test Method for water absorptiveness of sized (nonbibulous) paper and paperboard (Cobb test), TAPPI Press, Atlanta, GA, USA. T441 om-90 (1991).
- [27]. Standard Test Method for Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA. T494 om-96 (1996).
- [28]. Standard Test Method for Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA. T496 sp-99 (1999).
- [29]. Standard Test Method for determining aerobic biodegradation in soil of plastic materials or residual plastic materials after composting, Annual book of ASTM, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. D5988-03, 2003.
- [30]. Heermann, M., Welter, S., and Hubbe, M. A. (2006). Effects of high treatment levels in a dry-strength additive program based on deposition on polyelectrolyte complexes: How much glue is too much?. *TAPPI journal*, 5(6): 9-14.
- [31]. Hadilam, M., Afra, E., and Yousefi, H. (2013). Effect of cellulose nano-fibers on the properties of bagasse paper. *Journal of Forest and Wood Products*, 66(3): 351-366.
- [32]. Li, H., Du, Y., and Xu, Y. (2004). Interaction of cationized chitosan with components in a chemical pulp suspension. *Carbohydrate Polymers Journal*, 58(2): 205-214.
- [33]. Velho, J. (2002). How mineral fillers influence paper properties: Some guidelines. *Proceedings of Ibero American Congress on Pulp and Paper Research (CIADICY P 2002)*, São Paulo, Brazil.
- [34]. Ashoori, A., Raverty, W.D., Harun, j. (2005). Effect of chitosan addition on the surface properties of kenaf (*Hibiscus cannabinus*) paper. *Fibers and Polymers*, 6(2): 174-179.
- [35]. Nicu, R. (2010). Chitosan as cationic polyelectrolyte in wet-end papermaking system. *Cellulose Chemistry and Technology*, 45(1): 105-111.

- [36]. Myllytie, P., Salmi, J., Laine, J. (2009). The influence of PH on the adsorption and interaction of chitosan with cellulose. *BioResources*, 4(4): 1647-1662.
- [37]. Passoni, V., Scarica, C., Levi, M., Turri, S., and Griffini, G. (2016). Fractionation of industrial softwood kraft lignin: Solvent selection as a tool for tailored material properties. *Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(4): 2232-2242.
- [38]. Kord, B., and Taghizadeh Haratbar, D. (2014). Influence of fiber surface treatment on the physical and mechanical properties of wood flour-reinforced polypropylene bionanocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 29(7): 979-992.
- [39]. Lv, S., Zhang, Y., Gu, J., and Tan, H. (2017). Biodegradation behavior and modelling of soil burial effect on degradation rate of PLA blended with starch and wood flour. *Celloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 159(1): 800-808.

## Effect of using activated sludge, cationic starch and nano-chitosan on physical and strength properties of old newspaper recycled pulp

**N. Amani**; Ph.D. Student, Department of Wood Science and Paper Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, I.R. Iran

**R. Vaysi\***; Assoc., Prof., Department of Wood and Paper Engineering, Chaloos Branch, Islamic Azad University, Chaloos, I.R. Iran

**M. Kiaei**; Assoc., Prof., Department of Wood and Paper Engineering, Chaloos Branch, Islamic Azad University, Chaloos, I.R. Iran

**A. Najafi**; Assoc., Prof., Department of Wood and Paper Engineering, Chaloos Branch, Islamic Azad University, Chaloos, I.R. Iran

**S.E. Ebadi**; Assist., Prof., Department of Wood and Paper Engineering, Chaloos Branch, Islamic Azad University, Chaloos, I.R. Iran

(Received: 14 February 2020, Accepted: 19 March 2020)

### ABSTRACT

This study aimed to study the effect of using paper making activated sludge, cationic starch and nano-chitosan on physical and strength properties of old newspaper recycled pulp (ONP). For this purpose, the activated sludge was pre-treated for 30 min in 3% furfural and then treated with it in a water bath at 75 and 100 ° C for 45 and 90 min. Afterwards, it was mixed and refined with waste newsprint paper pulp at different mixing ratios. Finally, cationic starch 1.5% and nano-chitosan 2% were added. The test specimens were prepared from pulps with 120 gr/m<sup>2</sup> basis weight according to TAPPI standard and the physical and strengths properties were measured and compared. The results showed that the strengths properties (tear, ring crush test, burst, folding strength) decreased and the physical properties (water absorption) increased with the increase of untreated sludge in ONP. Chemical treatment with furfural sludge showed a tangible increase in tear strength, ring crush test, burst strength and folding strength and a decrease in tensile strength and water absorption. Also, the addition of cationic starch and nano-chitosan significantly increased the strengths properties and decreased water absorption of the samples. FT-IR spectrum of the treated samples showed that treatment with furfural strengthen and activate the functional groups on the surface of sludge fibers. The most appropriate mixing ratio of sludge was at 5% level at 100° C, and 90 min.

**Keywords:** furfural, newsprint paper, activated sludge, nano-chitosan, cationic starch.

---

\*Corresponding Author, Email: vaysi\_r452@yahoo.com, Tel: +989111952944