



دانشگاه گوارش و معده

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و هفتم، شماره دوم، ۱۳۹۹

۶۳-۷۸

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2020.17780.1858

تأثیر افزودن لجن فعال و فورفورال بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خمیر کاغذ بازیافتی

نغمه امانی^۱، رامین ویسی^۲، مجید کیائی^۱، عبدالله نجفی^۲ و سید اسحاق عبادی^۳

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

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

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: یکی از پسماندهای مهم در صنعت خمیر و کاغذ، وجود لجن فعال است. در مجتمع صنایع چوب و کاغذ مازندران روزانه حدود ۱۴ تن لجن فعال تولید می‌شود که آلودگی زیست‌محیطی زیادی را به دنبال دارد؛ بنابراین لزوم استفاده از این ماده در صنایع مختلف بسیار ضروری است. یکی از روش‌های حذف آلودگی زیست‌محیطی و فلزات سنگین، تیمار شیمیایی با فورفورال است. این پژوهش با هدف تیمار شیمیایی لجن فعال کارخانه کاغذسازی با فورفورال و تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی خمیر کاغذ بازیافتی انجام شد.

مواد و روش‌ها: برای تهیه نمونه کاغذهای دست‌ساز، لجن فعال با درصدهای مختلف ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد با خمیر کاغذ روزنامه باطله اختلاط و پالایش گردیدند. به همین منظور، ابتدا لجن فعال به مدت ۳۰ دقیقه در فورفورال ۳ درصد پیش‌تیمار و سپس در حمام آب با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۹۰ دقیقه تیمار شدند و مجدداً نمونه‌ها با نسبت‌های یادشده با خمیر کاغذ روزنامه باطله بر اساس استاندارد تاپی تهیه شدند. در نهایت جذب آب و خواص مکانیکی آن‌ها به‌خصوص شاخص مقاومت‌های کششی، شاخص مقاومت به پارگی، مقاومت به حلقه شدن، شاخص مقاومت به ترک‌شدن و مقاومت به تاخوردگی اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که لجن فعال تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مقاومتی و جذب آب نمونه‌ها داشته است. اختلاف معنی‌دار از نظر شاخص مقاومت به پارگی و جذب آب در بین نمونه‌های کاغذ دست‌ساز ساخته‌شده از لجن فعال تیمار شده و لجن فعال تیمار نشده مشاهده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش لجن فعال تیمار نشده در نمونه‌ها ویژگی‌های مقاومتی کاهش و جذب آب افزایش یافت. تیمار شیمیایی لجن فعال با فورفورال منجر به افزایش در ویژگی‌های مقاومتی و کاهش در مقدار جذب آب گردید. نتایج FT-IR نشان داد که تیمار فورفورال باعث تقویت و فعال شدن گروه‌های عاملی موجود در سطح الیاف لجن فعال شده است. همچنین تخریب زیستی نمونه‌های تیمار شده با فورفورال نسبت به نمونه‌های لجن فعال تیمار نشده و نمونه‌های ساخته‌شده از خمیر کاغذ روزنامه باطله با سرعت کندتری صورت پذیرفت، به طوری که نمونه‌های تیمار شده در طی زمان ۱۲۰ روز به مقدار ۲۶ درصد تخریب داشته است. نمونه‌های ساخته‌شده از خمیر کاغذ روزنامه باطله و نمونه‌های لجن تیمار نشده در طی زمان ۱۲۰ روز حدود ۸۳ و ۷۵ درصد کاهش وزن نشان داده است.

* مسئول مکاتبه: vaysi_r452@yahoo.com

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده، درصد اختلاط ۵ درصد لجن تیمار شده با فورفورال از نظر ویژگی‌های مقاومتی و جذب آب مناسب‌تر بوده است. استفاده از لجن فعال در درصد‌های بالاتر برای محصول ساخته‌شده به‌دلیل کاهش ویژگی‌های مقاومتی و افزایش مقدار جذب آب توصیه نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: خمیر کاغذ بازیافتی، فورفورال، لجن فعال، ویژگی مقاومتی

مقدمه

امروزه، افزایش جمعیت و بالا رفتن استانداردهای زندگی مصرف و تولید کاغذ را در کنار سایر محصولات صنعتی و کشاورزی افزایش داده و در نتیجه میزان و تنوع پسماندهای جامد تولیدشده آن افزایش یافته است. در مقیاس جهانی مقدار تخمین سالانه زباله، ۱۹ بیلیون تن تا سال ۲۰۲۵ خواهد بود (۱۱). از این رو، آلودگی‌های زیست‌محیطی پسماندهای کشاورزی و صنعتی را می‌تواند به یک نگرانی جهانی تبدیل کند، بنابراین، یافتن راه‌حل مناسب اجتماعی، فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌منظور داشتن محیط‌زیست سبزتر و پاک‌تر بسیار مهم و دارای اهمیت است. چندین کشور سعی دارند تا این مشکل را توسط بازیافت پسماندها حل کنند (۱۵). در این ارتباط، مجتمع صنایع چوب و کاغذ مازندران برای تولید سالانه ۷۵۰۰۰ تن کاغذ فلوتینگ، ۵۲۰۰۰ تن کاغذ روزنامه و ۳۸۰۰۰ تن کاغذ چاپ و تحریر طراحی گردیده است. در این کارخانه، مقدار قابل‌ملاحظه‌ای لجن از اکسیژن دهی سریع فاضلاب در زلال‌سازهای ثانویه تولید می‌شود که به آن لجن فعال می‌گویند (۱۸). متوسط لجن فعال (آلی و غیرآلی) تولیدی در این کارخانه حدود ۱۷۰۰ تن در ماه است که درصد ماده خشک آن ۲۵ درصد است؛ بنابراین، در ماه حدود ۴۲۵ تن ماده خشک تولید می‌شود، به طوری که روزانه حدود ۱۴ تن لجن کاملاً خشک در این کارخانه تولید می‌گردد که بلااستفاده است و عملاً دفن می‌گردد. این لجن فعال نیمه‌خشک

شامل مواد آلی و غیرآلی می‌باشد که از اجزای آن می‌توان سدیم، گوگرد، مواد استخراجی، چربی‌ها، موم‌ها، استرول‌ها و نرمه‌های فیبری و کربنات کلسیم به همراه پوست درختان نام برد (۹). در این ارتباط، دفن پسماند کارخانه کاغذسازی در زمین، علاوه بر اقتصادی نبودن، مسائل زیست‌محیطی و آلودگی آب‌های زیرزمینی را نیز موجب می‌گردد، همچنین برای دفن این پسماندها نیاز به سطح وسیعی از زمین می‌باشد. برخی از کارخانه‌ها برای کاهش حجم لجن کارخانه کاغذ، آن را می‌سوزانند، اما این عمل می‌تواند مشکلاتی را برای محیط‌زیست به وجود آورد. در سیستم‌های نوین صنعتی می‌توان از این پسماندها و حتی کاغذهای باطله موادی همانند کامپوزیت‌های سبز و یا دوستدار محیط‌زیست تهیه کرد. در این ارتباط، 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 نیاز به بازیافت پسماندها و کاغذهای باطله دارد (۶ و ۱۴). با این وجود، فرآیند بازیافت باوجود برتری‌ها و پتانسیل‌های ذاتی، اغلب با کاهش شدید کیفیت و ویژگی‌های مقاومتی محصول همراه است و این مسأله یکی از مشکلات اساسی بیش‌تر تولیدکننده‌های کاغذهای مورد استفاده است، چرا که کاغذهای باطله و الیاف بازیافتی، از مهم‌ترین منابع تأمین مواد اولیه برای تولید مقوا و کاغذهای بسته‌بندی می‌باشند و این دسته از محصولات، نیازمند حد معینی از مقاومت‌ها هستند تا

شیمیایی $C_5H_4O_2$ در ساختار خود دارای یک حلقه با چهار اتم کربن و یک اتم اکسیژن می‌باشد (۲). فورفورال ماده‌ای آلی است که از منابع تجدیدپذیر، مانند ضایعات کشاورزی و یا صنعتی (چوب؛ ذرت، پوسته برنج، جوی دوسر و کاه گندم) تولید می‌شود (۴). منبع اصلی تجاری فورفورال، باگاس و پسماندهای کشاورزی است. فورفورال به‌علت واکنش‌پذیری خوب، قابلیت تشکیل پلیمر قوی، فراریت نسبتاً کم و نیز با توجه به این‌که از بافت گیاهی به‌دست می‌آید، به‌منزله آلدئید برتر شناخته شده است و کاربردهای فراوانی در صنایع شیمیایی، رنگ و رزین داشته است (۲۰).

احمدی لاجیمی و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی تأثیر ماده تثبیت‌کننده کاتیونی بر پایه پلی دادمک (DADMAC) بر ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ (OCC) گزارش دادند که این پلیمر کاتیونی احتمالاً با متأثر ساختن شکل‌گیری و پیوندیابی بین الیاف با خنثی‌سازی و تثبیت نرمه‌ها باعث بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز شده است، این افزایش در مقاومت به کشش، مقاومت به ترک‌یدن، مقاومت به فشار لبه میانی و مقاومت به پارگی محسوس می‌باشد (۱).

پورکریم دودانگه و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی عملکرد سامانه بیوپلیمری نانوالیاف سلولز و کیتوزان بر ویژگی‌های خمیرکاغذ و کاغذ بازیافتی از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) پرداختند و نتایج بررسی تأثیر منفرد و توأم بیوپلیمرهای کیتوزان و نانوالیاف سلولز بر ویژگی‌های خمیرکاغذ و کاغذ بازیافتی نشان داد که بهبود تمامی ویژگی‌های مقاومتی و دانسیته کاغذ، آبگیری و ماندگاری خمیرکاغذ به هنگام شکل‌گیری و کاهش اتلاف مواد در مقایسه با تیمار شاهد قابل دستیابی است (۱۷).

پاسخگوی نیاز بازار مصرف باشند. از این‌رو در فرآیند بازیافت، همواره توسعه روش‌های مختلف به‌منظور بهبود اتصال بین الیاف و افزایش ویژگی‌های مقاومتی محصولات مدنظر بوده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به پالایش بیش‌تر، افزودن الباف بکر و استفاده از مواد افزودنی کاتیونی، استفاده از پسماندهای صنعتی همانند لجن فعال کارخانه کاغذسازی، به‌همراه انواع افزودنی‌های رایج و درحال‌توسعه با هدف بهبود مقاومت‌ها و خواص نوری و فیزیکی کاغذ اشاره کرد. سهولت خمیر کردن کاغذهای باطله و شکل‌دهی مجدد آن‌ها همواره سبب شده تا تمایل به سمت بازیافت آن‌ها افزایش یابد. از عمده‌ترین عوامل تولید کاغذهای باطله می‌توان به زباله‌های خانوارها، مدارس، ادارات، کاغذهای ضایعاتی صحافی، عکاسان، فتوکپی‌ها، چاپخانه‌ها و واحدهای سازنده جعبه‌های مقوایی و غیره اشاره کرد. بازیافت کاغذ موجب کاهش هزینه‌ها و درعین‌حال کاهش انتشار آلاینده‌ها، کاهش بهره‌برداری از درختان شده و درعین‌حال باعث اشتغال‌زایی بیش‌تری نسبت به تولید خمیرکاغذ حاصل از چوب می‌گردد. هم‌چنین با برگرداندن کاغذهای باطله به چرخه مصرف، بخش عمده‌ای از نیاز کشور به کاغذهای وارداتی برطرف می‌شود و از خروج قابل‌ملاحظه ارز از کشور نیز جلوگیری می‌شود. بازیافت کاغذ با وجود مزیت‌ها و پتانسیل‌ها، با کاهش ویژگی‌های کیفی همراه است (۱۴). با توجه به این‌که مصرف کاغذهای بازیافتی نیز محدودیت‌هایی را در پی دارد، افزودن مواد شیمیایی می‌تواند باعث افزایش و بهبود برخی از ویژگی‌های کاغذهای بازیافتی حاصل و استفاده بهینه از کاغذهای باطله در طی بازیافت کاغذ باشد. به همین منظور از افزودنی‌هایی همانند نشاسته کاتیونی و یا لجن فعال که پسماند کارخانه کاغذسازی و فورفورال را نیز می‌توان در این ارتباط استفاده نمود. فورفورال با فرمول

کاغذ افزایش یافت، زیاد شد. به‌خصوص مدول کششی با افزایش مقادیر لجن کاغذ بهبود یافت. مدول و مقاومت خمشی روندهای مشابه خواص کششی نشان دادند. با افزودن عوامل جفت‌کننده خواص کششی و خمشی به‌طور قابل‌توجهی در مقایسه با نمونه‌های کنترل (بدون هیچ‌گونه عامل جفت‌کننده) بهبود یافت (۸).

در این پژوهش سعی بر آن است تا با استفاده از فورفورال، لجن فعال حاصل از کارخانه کاغذسازی را تیمار و تعدیل کرد تا در سطح اجزای کلوئیدی لجن فعال تیمار شده با فورفورال، گروه‌های عاملی بیشتری در دسترس قرار گرفته، در نتیجه سطح اتصال، سطح پیوندی و مقاومت اتصال حاصل تقویت شده و تأثیر آن در ویژگی‌های مقاومتی و فیزیکی خمیرکاغذ بازیافتی ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های آزمونی: برای انجام این پژوهش مقدار ۱۰ کیلوگرم روزنامه باطله تهیه و به قطعات ۵ سانتی‌متری تکه‌تکه گردید. تکه‌های روزنامه به مدت ۲۴ ساعت در آب نَگه داشته شده و سپس در یک دستگاه الیاف بازکن با دور ۳۰۰ RPM به مدت ۳۰ دقیقه به خمیرکاغذ تبدیل شدند. علاوه بر این لجن فعال از کارخانه چوب و کاغذ مازندران واقع در پهنه‌کلا (کیلومتر ۱۰ جاده سمنان) ساری تهیه و به آزمایشگاه انتقال یافت، سپس حدود ۲ کیلوگرم از آن در آب به مدت ۲۴ ساعت خیسانده شد. هر دو ماده توسط دستگاه الیاف بازکن با دور ۳۰۰ RPM مخلوط گردیدند و خمیرکاغذ روزنامه با مش ۴۰ و لجن با مش ۲۰۰ آگیری شدند. در پایان درصد خشکی سوسپانسیون خمیرکاغذ روزنامه (الیاف بازیافتی) و لجن فعال محاسبه شدند.

رضایتی چرانی و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر استفاده از نانوسلولز و نشاسته کاتیونی با پالایش بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ دست‌ساز از خمیرکاغذ بازیافتی (OCC) را بررسی کردند و گزارش دادند که استفاده از ۲ درصد نشاسته کاتیونی و ۴ درصد نانوسلولز در ساخت کاغذ از (OCC) باعث بهبود شاخص مقاومت به کشش، ترکیدن برابر و حتی بیش‌تر از اثر پالایش گردید (۱۹).

گیرونس و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند که افزایش میزان لجن کارخانه کاغذ در کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن، موادی با مقاومت کششی کم‌تری حاصل می‌شود؛ بنابراین در کامپوزیت‌های در معرض نیروی کششی، لجن کارخانه کاغذ به‌عنوان فیلر و زمانی که مواد تحت نیروی خمشی قرار می‌گیرند، لجن تا حدی مانند تقویت‌کننده عمل می‌کند (۵).

حسینسیا و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که تیمار استری و استیله شدن لجن کارخانه کاغذسازی مقاومت کششی و مدول یانگ را بهبود بخشیدند، اما جذب آب کامپوزیت‌ها را کاهش دادند. هم‌چنین حضور اسید استیک و اکریک سطح مشترک بین لجن کاغذ و ماتریکس PP/EPDM (چندسازه متشکل از پلی‌پروپیلن/ اتیلن پروپیلن دین ترپلیمر) را افزایش می‌دهد (۷).

جانگیل و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی اثر نسبت اختلاط لجن کاغذ و انواع و تمرکز عوامل جفت‌کننده بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های لجن کاغذ ترموپلاستیک پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که دانسیته چندسازه افزایش یافت اما شاخص جریان مذاب زمانی که مقادیر لجن کاغذ زیاد شد، کاهش یافت. واکنشیدگی ضخامت و جذب آب چندسازه اندکی با افزودن لجن کاغذ در مقایسه با نمونه‌های کنترل بهبود یافت. خواص کششی چندسازه به‌طور معنی‌داری وقتی نسبت اختلاط لجن

از لجن بدون تیمار در پنج سطح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد با خمیرکاغذ بازیافتی مطابق استاندارد تاپی T205 sp-95 (1995) (۲۱) با وزن پایه 120 gr/m^2 تهیه شد (جدول ۱).

خمیرکاغذ روزنامه باطله (الیاف بازیافتی) و لجن فعال به مقدار لازم برای انجام آزمایش طبق جدول ۱ محاسبه و مخلوط گردیدند. خمیرکاغذهای بازیافتی و لجن فعال با استفاده از دستگاه پالایشگر PFI با دور RPM ۳۰۰ پالایش گردید. سپس نمونه‌های آزمونی

جدول ۱- درصد اختلاط لجن فعال و خمیرکاغذ بازیافتی.

Table 1. Mixing ratios of activated sludge and Old pulp (ONP).

خمیرکاغذ بازیافتی (درصد) Old pulp (ONP) (%)	لجن فعال (Activated sludge)		ردیف Number
	تیمارنشده Untreated	تیمارشده Treated	
100	-	-	1
95	-	5	2
90	-	10	3
85	-	15	4
80	-	20	5
95	5	-	6
90	10	-	7
85	15	-	8
80	20	-	9

کردن شرایط اختلاط با خمیرکاغذ بازیافتی، لجن با نسبت‌های مندرج در جدول ۱ به‌طور جداگانه در یک بشر به مدت ۳۰ دقیقه در فورفورال ۳ درصد قرار داده شدند. سپس در حمام آب با دما ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۹۰ دقیقه تیمار شدند. سپس نمونه‌های آزمونی طبق استاندارد تاپی T205 sp-95 (۲۱) و با وزن پایه 120 gr/m^2 تهیه و پرس شدند و به مدت ۴۸ ساعت در حلقه‌های مخصوص قرار داده و خشک شدند.

آماده‌سازی فورفورال: برای آماده‌سازی فورفورال، ابتدا به لجن فعال مخلوط شده با آب، اسیدکلریدریک غلیظ قطره‌قطره اضافه گردید تا pH به حدود ۲ برسد. در این مرحله فورفورال به‌صورت دوره‌ای همراه با همزنی شدید افزوده می‌شود. سوسپانسیون حاصل به مدت یک ساعت تا دمای 90°C حرارت داده شد. در انتها با سرد نمودن محلول و رساندن pH آن به مقدار پایین‌تر، نمونه تیمار شده جمع‌آوری گردید و از فورفورال ۴۵ درصد، فورفورال ۳ درصد تهیه شد (۲). تیمار شیمیایی لجن فعال و تهیه کاغذ دست‌ساز: به‌منظور حذف آلودگی موجود در لجن فعال و بهتر

نرم‌افزار SPSS، در قالب آزمون تجزیه واریانس دوطرفه مورد ارزیابی آماری قرار گرفت. در نهایت گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

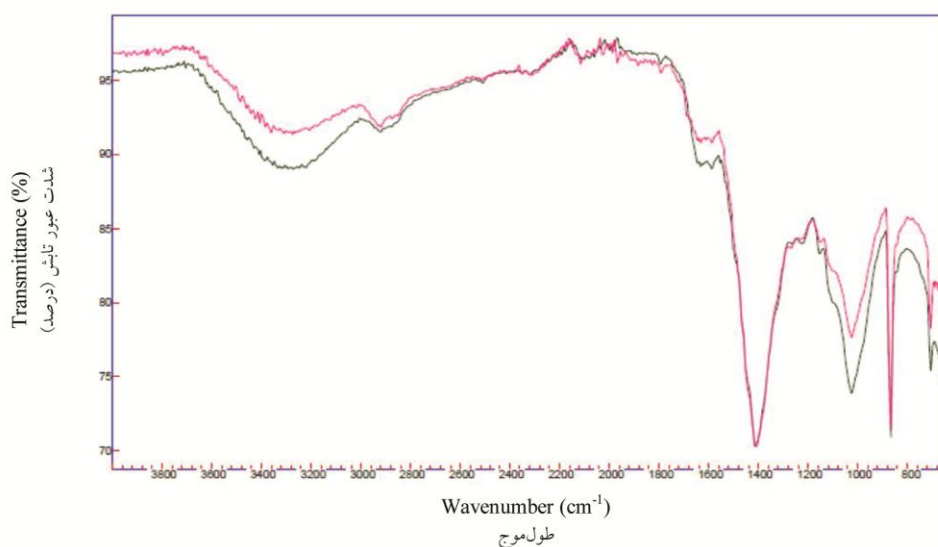
مقایسه طیف FT-IR نمونه‌های لجن فعال: بررسی طیف FT-IR نمونه‌های لجن فعال تیمارنشده و تیمارنشده نشان داد که تیمار لجن فعال با فورفورال، باعث تقویت و فعال شدن ارتعاشات کششی در محدوده عدد موجی 1590 cm^{-1} و در اجزای کلوئیدی لجن فعال گردیده است، هم‌چنین عدد موجی 3200 cm^{-1} تا 3400 cm^{-1} نیز مربوط به گروه‌های فعال هیدروکسیل می‌باشد. فعال شدن، دسترسی و تقویت بیش‌تر فورفورال و گروه‌های عاملی موجود در اجزای کلوئیدی و سطح لجن فعال، باعث تقویت و افزایش سطح اتصال، سطح پیوندی و در نتیجه افزایش مقاومت اتصال در اختلاط آن با الیاف کاغذ بازیافتی شده است (۱۶). در این ارتباط، 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 cm^{-1} – 3425 cm^{-1} بیانگر تغییر ساختار شیمیایی الیاف به واسطه اصلاح شیمیایی است (۱۰).

آزمون فیزیکی و مکانیکی: اندازه‌گیری شاخص مقاومت کششی، شاخص مقاومت به ترک‌شدن، شاخص مقاومت به پاره شدن، تا خوردن، ضخامت، رطوبت و جذب آب به ترتیب با استفاده از آزمون‌های TAPPI T403 om-97، TAPPI T494 om-96، TAPPI T423 om-89، TAPPI T496 sp-99، TAPPI T441 om-90 و TAPPI T411 om-97 انجام شد (۲۲).

آزمون زیست‌تخریب‌پذیری: کاهش وزن یکی از ابزارهای کیفی مهم برای ارزیابی تأثیر محیط خاک بر تخریب کاغذهای ساخته‌شده از لجن فعال محسوب می‌شود که در شرایط هوازی (با استفاده از خاک) بر اساس استاندارد ASTM D5988-03 (۲۱) انجام شدند. سه دسته از نمونه‌های کاغذ دست‌ساز (کاغذ ساخته‌شده از خمیر کاغذ بازیافتی، کاغذ ساخته‌شده از لجن فعال تیمارنشده و کاغذ ساخته‌شده از لجن فعال تیمارنشده با فورفورال) در خاک به مدت زمان ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵ و ۱۲۰ روز قرار داده شدند و مقدار کاهش وزن نیز اندازه‌گیری شد.

آزمون FTIR: نمونه‌های لجن تیمارنشده و تیمارنشده برای تعیین وضعیت گروه‌های فعال موجود مورد آزمایش FT-IR با مدل دستگاه CARY 630 قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: در این پژوهش، تأثیر کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده از لجن فعال تیمارنشده و تیمارنشده با فورفورال در درصدهای مختلف (۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) بر خواص فیزیکی و مقاومتی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی با استفاده از



شکل ۱- مقایسه طیف FT-IR لجن فعال تیمارنشده (خط قرمز) و تیمار شده (خط سیاه) با فورفورال.

Figure 1. Comparison of the FT-IR spectra of the untreated (red line) and treated (black line) activated sludge with furfural.

با فورفورال، باعث تقویت و فعال شدن ارتعاشات کششی در برخی از اجزای کلوئیدی لجن فعال گردیده است. فعال شدن، دسترسی و تقویت بیش‌تر فورفورال و گروه‌های عاملی موجود در اجزای کلوئیدی و سطح لجن فعال، باعث تقویت و افزایش سطح اتصال، سطح پیوندی و در نتیجه افزایش مقاومت اتصال در اختلاط آن با الیاف کاغذ بازیافتی شده است. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مستقل درصد لجن فعال و نمونه‌های کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده از لجن فعال تیمار شده و تیمارنشده بر شاخص مقاومت به پارگی نمونه حاصل از لجن فعال و خمیر کاغذ بازیافتی معنی‌دار بودند (جدول ۲).

شاخص مقاومت به پارگی: اگرچه نمونه‌های ساخته‌شده از لجن فعال تیمار شده از مقاومت بالاتری نسبت به نمونه‌های تیمارنشده برخوردار است، ولی با افزودن لجن فعال تیمارنشده از ۰ تا ۲۰ درصد، مقدار شاخص مقاومت به پارگی به مقدار ۴۰ درصد کاهش داشته است. با عنایت به این‌که طول الیاف و دانسیته خطی الیاف و نرمه‌ها در لجن فعال کم‌تر از اجزای کاغذ باطله است، افزودن لجن فعال تیمارنشده به نمونه‌ها باعث کاهش شاخص مقاومت به پارگی شده است (۱۳). بالاترین مقدار شاخص مقاومت به پارگی مربوط به نمونه‌های ساخته‌شده از لجن فعال تیمار شده در سطح ۵ درصد است که نسبت به سایر نمونه‌ها، ۷۴ درصد بالاتر بوده است، تیمار لجن فعال

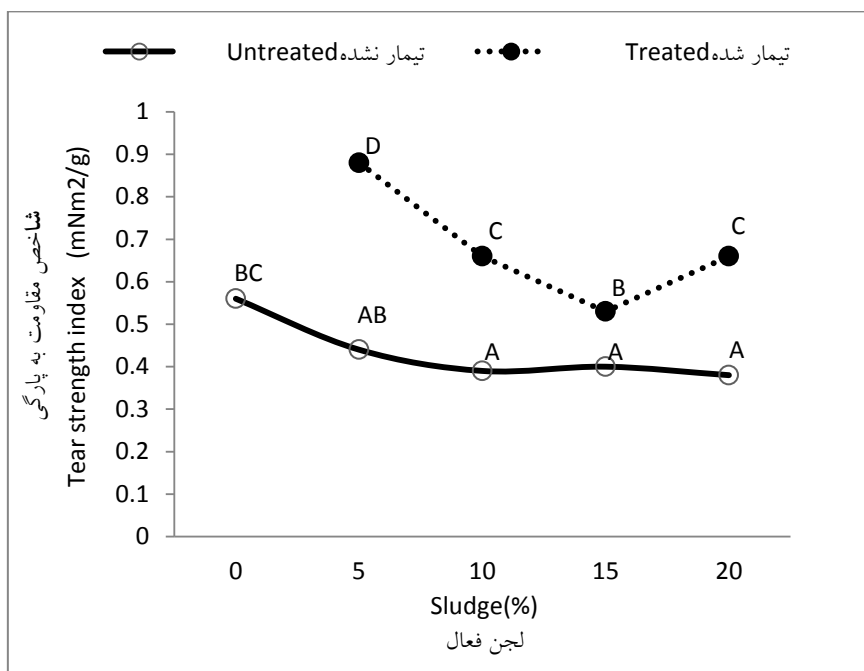
جدول ۲- آزمون تجزیه واریانس خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های ساخته‌شده از لجن فعال و خمیر کاغذ بازیافتی.

Table 2. ANOVA results for physical and mechanical properties of specimens made from activated sludge and Old pulp (ONP).

اثر متقابل Interaction (A × B)		تیمار شده/نشده Treated/Untreated (B)		درصد لجن فعال (A) Activated sludge (A)		خواص Properties
معنی‌داری Sig	درجه آزادی F	معنی‌داری Sig	درجه آزادی F	معنی‌داری Sig	درجه آزادی F	
0.007	5.656	0.001	115.314	0.001	11.437	مقاومت به پارگی Tear strength
0.001	10.890	0.854	0.035	0.001	21.107	مقاومت به حلقه شدن Ring crush test
0.001	34.693	0.648	0.215	0.001	9.575	مقاومت کششی Tensile strength
0.001	84.139	0.001	33.256	0.001	43.618	جذب آب Water absorption
0.003	6.587	0.833	0.022	0.001	16.144	مقاومت به ترکیدن Burst strength
0.493	0.833	0.135	2.444	0.001	12.224	تعداد تا شدن Folding strength

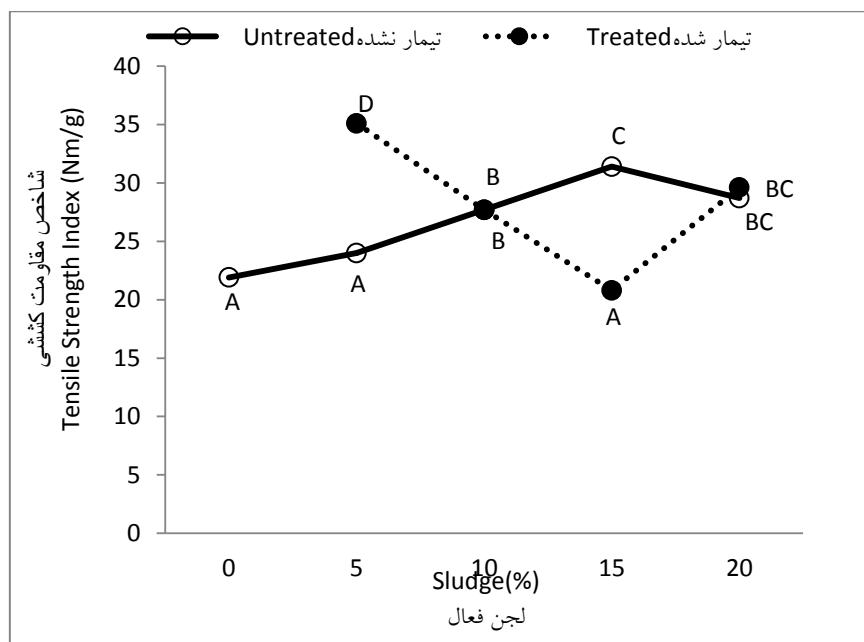
گرفتند، حضور اسید استیک سطح مشترک بین لجن کاغذ و ماتریکس PP/EPDM چندسازه متشکل از (پروپیلن / اتیلن پروپیلن دین ترپلیمر) را افزایش می‌دهد (۷). بالاترین مقدار شاخص مقاومت کششی مربوط به نمونه‌های ساخته از لجن فعال تیمار شده در سطح ۵ درصد است. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مستقل نمونه‌های کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده از لجن فعال تیمار شده و تیمار نشده بر شاخص مقاومت کششی غیرمعنی‌دار، ولی تأثیر مستقل درصد لجن فعال بر این ویژگی معنی‌دار بودند (شکل ۳).

شاخص مقاومت کششی: نتایج نشان داد که در نمونه‌های تیمار نشده، با افزودن لجن فعال از ۰ تا ۱۵ درصد شاخص مقاومت کششی افزایش و سپس تا ۲۰ درصد کاهش یافته است. در حالی که در نمونه‌های تیمار شده تا ۱۵ درصد کاهش و سپس در ۲۰ درصد افزایش داشته است با این تفاوت که این افزایش از مقدار شاخص مقاومت کششی در نمونه‌های ۵ درصد کم‌تر است. در این ارتباط حسینیا و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که تیمار استری و استیله کردن لجن کارخانه کاغذسازی در ساخت چندسازه، مقاومت کششی و مدول یانگ کامپوزیت‌ها را بهبود بخشید، اما جذب آب آن‌ها را کاهش داد. همچنین آن‌ها نتیجه



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

Figure 2. Comparison of the tear strength of prepared specimens from the addition of activated sludge to the ONP.

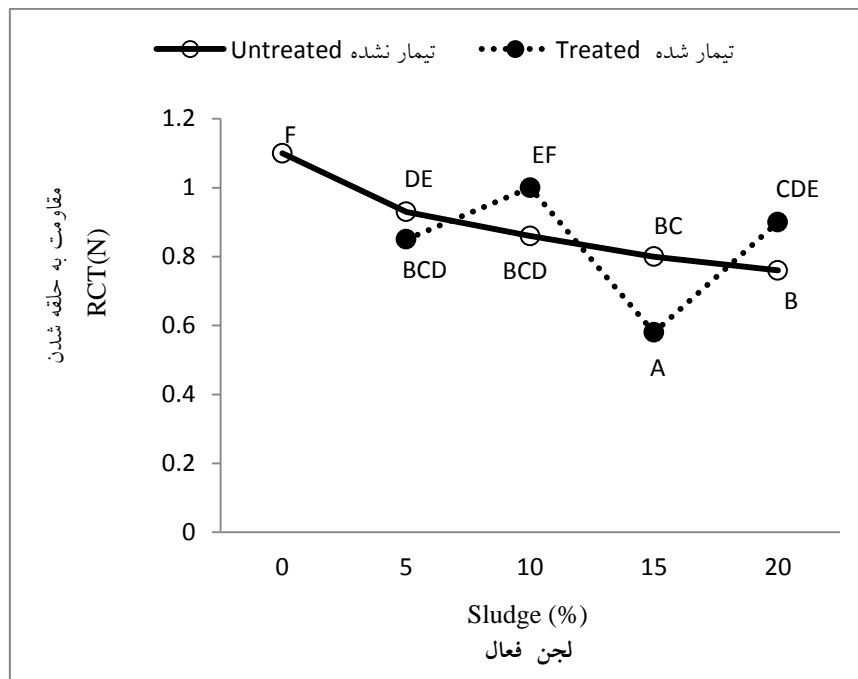


شکل ۳- مقایسه مقاومت کششی نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله.

Figure 3. Comparison of the tensile strength of prepared specimens from the addition of activated sludge to the ONP.

باشد، به دلیل ایجاد اتصال هیدروژنی بیشتر، پیوندهای بین الیاف افزایش یافته و در نتیجه مقاومت کاغذ به حلقه شدن افزایش می‌یابد (۲۳). نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مستقل نمونه‌های کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده از لجن فعال تیمار شده و شده بر مقاومت به حلقه شدن غیرمعنی‌دار، ولی تأثیر مستقل درصد لجن فعال بر این ویژگی معنی‌دار بودند (شکل ۴).

مقاومت به حلقه شدن: نتایج نشان داد که در نمونه‌های تیمار نشده با افزودن لجن فعال در نمونه‌ها مقدار این مقاومت کاهش شدید داشته است؛ اما با اعمال تیمار شیمیایی لجن فعال با فورفورال در سطح ۱۰ و ۲۰ درصد نسبت به نمونه‌های تیمار نشده بهبود حاصل شده است، در حالی که این ویژگی در نمونه‌های تیمار شده در سطح ۵ و ۱۵ درصد نسبت به نمونه‌های تیمار نشده در همان سطوح کمتر بود. هرچه سطح ویژه در الیاف بیشتر، الیاف نازک‌تر و انعطاف‌پذیرتر

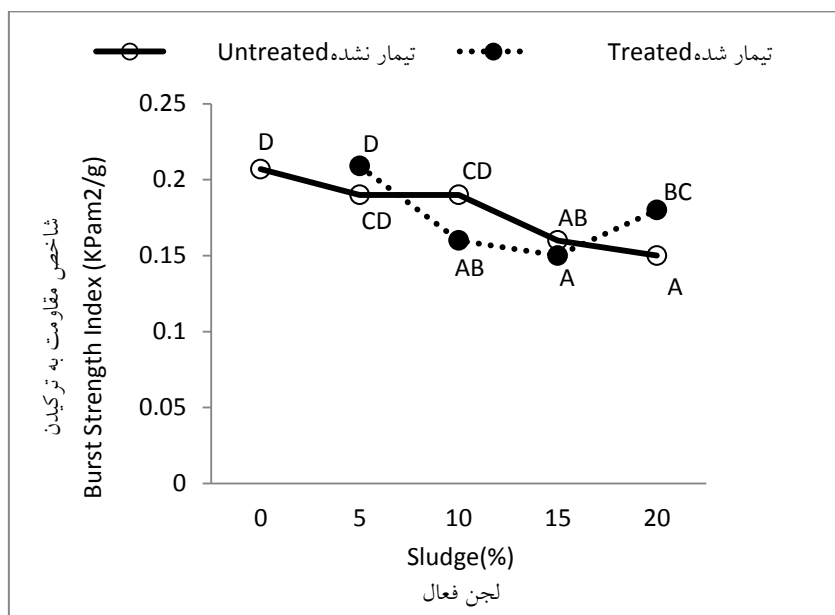


شکل ۴- مقایسه مقاومت به حلقه شدن نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله.

Figure 4. Comparison of the tensile strength of prepared specimens from the addition of activated sludge to the ONP.

آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مستقل نمونه‌های کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده از لجن فعال تیمار شده و تیمار نشده بر شاخص مقاومت به ترکیدن غیرمعنی‌دار، ولی تأثیر مستقل درصد لجن فعال بر این ویژگی معنی‌دار بودند. (شکل ۵).

شاخص مقاومت به ترکیدن: نتایج نشان داد که روند نزولی در میزان شاخص مقاومت به ترکیدن نمونه‌ها با افزودن درصد لجن فعال مشاهده شده است. با تیمار شیمیایی لجن فعال با فورفورال شاخص مقاومت به ترکیدن در سطح ۵ و ۲۰ درصد نسبت به نمونه‌های تیمار نشده در همان سطوح افزایش یافته است. نتایج

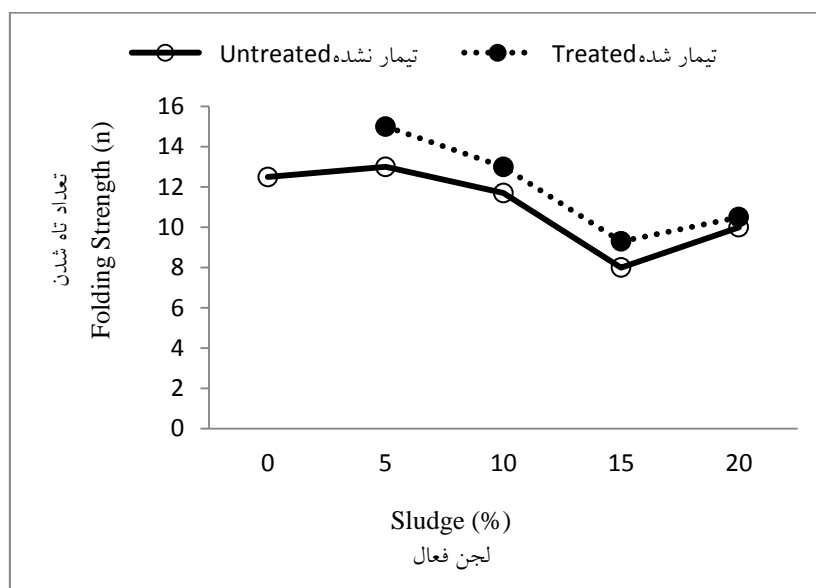


شکل ۵- مقایسه مقاومت به ترکیدن نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله.

Figure 5. Comparison of the burst strength of prepared specimens from the addition of activated sludge to the ONP.

تیمارنشده بهبودیافته بود. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مستقل نمونه‌های کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده از لجن فعال تیمار شده و تیمارنشده بر مقاومت به تاه خوردن غیرمعنی‌دار، ولی تأثیر مستقل درصد لجن فعال بر این ویژگی معنی‌دار بودند (شکل ۶).

مقاومت به تاه خوردن: نتایج نشان داد که با افزودن درصد لجن فعال تیمار شده و تیمارنشده، روند نزولی در میزان مقاومت به تاه خوردن نمونه‌های ساخته‌شده از الیاف روزنامه باطله و لجن فعال مشاهده شده است. مقاومت به تاه خوردن نمونه‌های ساخته‌شده با اعمال تیمار شیمیایی با فورفورال نسبت به نمونه‌های

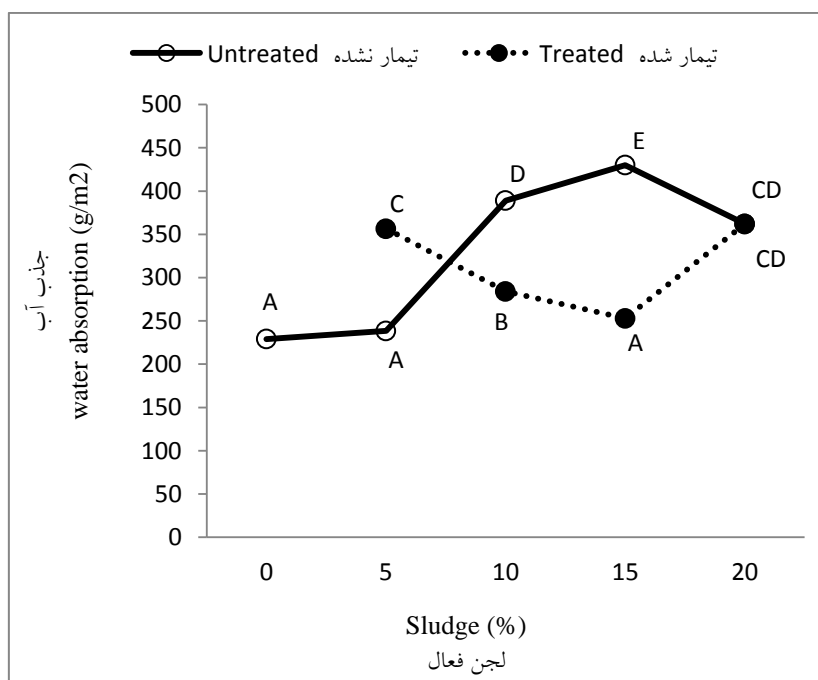


شکل ۶- مقایسه تعداد تاه شدن نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله.

Figure 6. Comparison of the folding strength of prepared specimens from the addition of activated sludge to the ONP.

نتایج اندازه‌گیری جذب آب نمونه‌ها پس از غوطه‌وری در آب نشان داد که مقدار جذب آب بستگی به میزان افزایش وزن نمونه‌ها دارد و با افزایش وزن، جذب آب کاهش می‌یابد نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مستقل درصد لجن فعال و نمونه‌های کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده از لجن فعال تیمار شده و تیمار نشده بر جذب آب نمونه حاصل از لجن فعال و خمیر کاغذ روزنامه باطله معنی‌دار بودند (۳) (شکل ۷).

مقایسه جذب آب نمونه‌های آزمونی: نتایج نشان داد که با افزایش لجن فعال در نمونه ساخته‌شده، مقدار جذب آب افزایش یافته است اما با اعمال تیمار شیمیایی، میزان این شاخص بهبود یافته است. بالاترین و نامناسب‌ترین نمونه از نظر جذب آب به نمونه تیمار نشده در سطح ۱۵ درصد مربوط می‌شود. در این ارتباط افهامی سیسی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی ترکیب فورفورال-اوره برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب توس گزارش دادند که



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

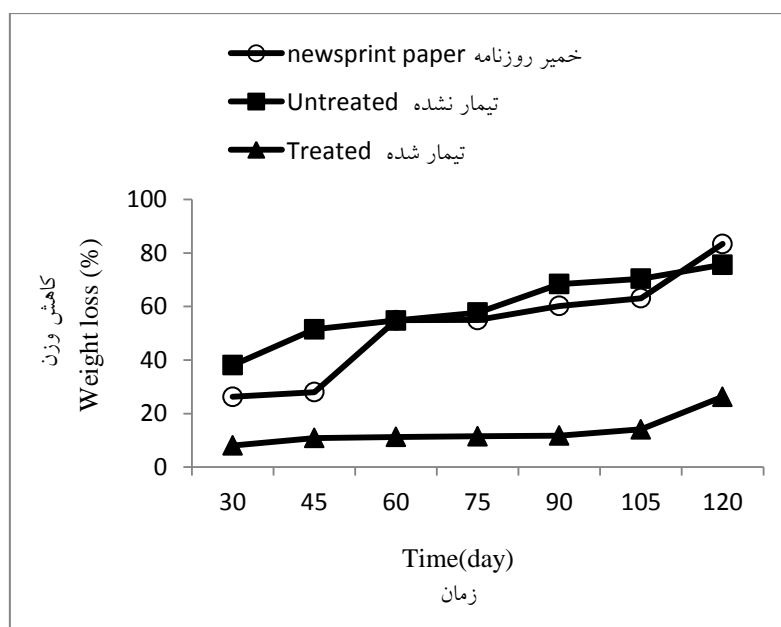
Figure 7. Comparison of the water absorption of prepared specimens from the addition of activated sludge to the ONP.

آزمون زیست‌تخریب‌پذیری: در پژوهش‌های مختلف از کاهش وزن نمونه‌ها به‌عنوان یک ابزار کیفی برای ارزیابی اثر محیط خاک بر رفتار تخریب مواد استفاده شده است (۱۲). شکل ۸ درصد کاهش وزن نمونه‌های مختلف را به‌عنوان تابعی از زمان نشان می‌دهد. در همه نمونه‌های مورد بررسی، روند تخریب پس از گذشت زمان یک هفته شروع شد. میزان

تخریب زیستی نمونه‌های حاوی الیاف روزنامه باطله (بدون لجن فعال) و حاوی لجن تیمار نشده در طی ۱۲۰ روز به ترتیب ۸۳ و ۷۵ درصد بود. تخریب زیستی نمونه‌های حاوی لجن تیمار شده با فورفورال حدود ۲۶ درصد بوده است که سرعت آن نسبت به سایر نمونه‌ها کم‌تر بود. ۵۰ درصد تخریب نمونه‌های کاغذ دست‌ساز ساخته‌شده از لجن فعال تیمار نشده و

۱۰۵ تا ۱۲۰ روز سرعت بیشتری گرفته است به طوری که حدود ۱۲ درصد تخریب در طی این زمان انجام شده است (شکل ۸).

نمونه‌های حاوی الیاف روزنامه به ترتیب در مدت زمان ۴۵ و ۶۰ روز حاصل شد. تخریب‌پذیری نمونه‌های حاوی لجن فعال تیمار شده با فورفورال از



شکل ۸- مقایسه زیست تخریب‌پذیری نمونه‌های حاصل از افزودن لجن فعال به کاغذ باطله.

Figure 8. Comparison of the biodegradable of prepared specimens from the addition of activated sludge to the ONP.

باعث زیست تخریب‌پذیری نمونه‌ها در طی ۴ ماه ۲۶ درصد می‌گردد. بهترین درصد اختلاط لجن فعال تیمار شده و فورفورال به خمیر کاغذ بازیافتی برای نمونه‌های دست‌ساز حاصل ۵ درصد در ویژگی‌های مقاومتی و ۱۵ درصد در ویژگی جذب آب مشاهده شد. با عنایت به این که لجن فعال و کاغذ باطله (الیاف بازیافتی) هر دو به عنوان مواد ضایعاتی، پسماند و دورریز هستند، می‌توان از آن‌ها محصولات کامپوزیتی (انواع گلدان، سطل زباله، ظروف نشاکاری و ...) ساخت که در فضای سبز شهری و گلخانه‌ای به عنوان فرآورده‌های کاربردی تحت عنوان بیوکامپوزیت سبز و یا دوستدار محیط‌زیست مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر استفاده از لجن فعال کاغذسازی و فورفورال بر خواص فیزیکی و مقاومتی خمیر کاغذ بازیافتی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که افزایش لجن فعال تیمار نشده کارخانه کاغذسازی به کاغذ باطله، میانگین برخی از ویژگی‌های مقاومتی (شاخص مقاومت به پارگی، مقاومت به حلقه شدن، شاخص مقاومت به ترکیدن و تعداد تاه شدن) را به طور میانگین تا ۲۲ درصد کاهش و شاخص مقاومت کششی ۲۷ درصد افزایش و جذب آب ۵۵ درصد افزایش داد. تیمار شیمیایی لجن فعال با فورفورال و افزودن آن به کاغذ باطله، باعث افزایش بیش‌تر مقاومت‌های مکانیکی به طور میانگین تا ۵۰ درصد و همچنین کاهش جذب آب تا ۴۰ درصد و

منابع

1. Ahmadi Lajimi, A., Azadfallah, M., Hamzeh, Y., and Rahmaninia, M. 2020. Effect of cationic poly DADMAC based fixing agent on strength properties OCC pulp. *Iranian J. of Wood and Paper Industries*. 10: 4. 605-616. (In Persian)
2. Donger, P., Driscoll, M., Amidon, T., and Bujanovic, B. 2015. Lignin-Furfural based adhesive. *Energies*. 8: 8. 7897-7914.
3. Efhami Sisi, D., Sharifat, M., France Tunan, M., Taromian, A., and Jonoobi, M. 2018. Evaluation of furfural/urea complexes to improve physico-mechanical properties of birch wood. *Wood and Forest Science and Technology Research J*. 25: 4. 117-134. (In Persian)
4. Ghafari, R., Doost Hosseini, K., Mirshokraiee, S.A., and Abdolkhani, A. 2015. The study of thermal behavior and diffusion of furfural modified aldehyde resin urea form. *J. of Forest and Wood Product*. 68: 3. 479-490. (In Persian)
5. Girones, J., Pardini, G., Vilasea, F., Pelach, M.A., and Mutje, P. 2010. Recycling of paper mill sludge as filler/reinforcement in polypropylene composites. *J. of Polymers and the Environment*. 18: 3. 407-412.
6. 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.*
7. Husseinayah, S., Ismail, H., and Bakar, A. 2005. The effect of paper sludge content and size on properties of PP/EPDM composites. *J. of Reinforced Plastic and Composites Polymer*. 24: 2. 147-159.
8. Jungil, S., Han-Seung, Y., and Hyun-Joong, K. 2004. Physico-mechanical properties of paper sludge-thermoplastic polymer composites. *Thermoplastic Composite Materials J*. 17: 6. 509-522.
9. Jungil, S., Hyun-Joong, K., and Phi-Woo, L. 2001. Role of paper sludge particle size and extrusion temperature on performance of paper sludge-thermoplastic polymer composites. *Applied Polymer Science J*. 82: 11. 2709-2718.
10. Kord, B., and Taghizadeh Haratbar, D. 2014. Influence of fiber surface treatment on the physical and mechanical properties of wood flour-reinforced polypropylene bionanocomposites. *J. of Thermoplastic Composite Materials*. 29: 7. 979-992. (In Persian)
11. Lertsutthiwong, P., Khunthon, S., Siralermukul, 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 J*. 99: 11. 4841-4845.
12. Lv, S., Zhang, Y., Gu, J., and Tan, H. 2017. Biodegradation behavior and modeling of soil burial effect on degradation rate of PLA blended with starch and wood flour. *Celloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 159: 800-808.
13. Miri, S.M., Ghasemian, A., and Ariaiee Monfared, M.H. 2016. Investigation of optical and mechanical properties of neutralized wastewater composite pulp. *Gorgan, J. of Wood and Forest Science and Technology*. 23: 4. 293-314 (In Persian)
14. Mirshokraiee, S.A. 1995. *Pulp and paper technology*. Payame noor Publication. Tehran, Iran, Press, 500p. (In Persian)
15. Pappu, A., Saxena, M., and Asolekar, S.R. 2007. Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials. *Building and Environment. Science Direct J*. 42: 6. 2311-2320.
16. 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. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering J*. 4: 4. 2232-2242.
17. Pourkarim Dodangeh, H., Jalali Torshizi, H., Rudi, H., and Ramezani, O. 2016. Performance of nano fibrillated cellulose (NFC) and chitosan biopolymeric system on recycled and paper properties of old corrugated containers. *Iranian J. of Wood and Paper Science Industries*. 7: 2. 297-309. (In Persian)

18. Pourmahmoudi, S., Torabi Vostikolaee, I., and Omidbakhsh Amiri, E. 2017. Simulation of liquor concentration unit in Mazandaran wood and paper industry. Iranian J. of Wood and Paper Science Research. 32: 4. 565-575.
19. Rezayati Charani, P., and Moradian, M.H. 2019. Utilization cellulose nanofibers and cationic polymers to improve breaking length of paper. J. of Cellulose Chemistry and Technology. 53: 7-8. 767-774. (In Persian)
20. Schafer, M., and Raffael, E. 2000. On the Formaldehyde Release of Wood. Holzalsroh-Und Werkstoff. 58: 4. 259-264.
21. 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.
22. Technical association of pulp and paper industry. 2009. Standard test methods. Tappi Press, Atlanta, GA. USA.
23. Vaysi, R., and Kord, B. 2013. The effect of H₂O₂ are bleaching and DTPA spraying on the brightness stability of hornbeam CMP pulp following accelerated irradiation aging. Bioresource J. 8: 2. 1909-1917. (In Persian)



Effect of using activated sludge and furfural on the physical and strength properties of old recycled pulp

N. Amani¹, *R. Vaysi², M. Kiaei², A. Najafi² and S.E. Ebadi³

¹Ph.D. Student, Dept. of Wood Science and Paper Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran,

²Associate Prof., Dept. of Wood Science and Paper Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran,

³Assistant Prof., Dept. of Wood Science and Paper Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

Received: 04.04.2020; Accepted: 08.17.2020

Abstract

Background and Objectives: One of the major problems in the pulp and paper industry is the presence of activated sludge. The Mazandaran wood and paper industry produces about 14 tons of activated sludge daily, which results in high environmental pollution. Therefore, the necessity of using this material in different paper industries is very important. Chemical treatment with furfural is one of the methods of modification of activated sludge and for removal of environmental pollution and heavy metals. The aim of this study was to chemically treat of activated sludge with furfural of 3% and its effect on the physical and mechanical properties of recycled paper pulp.

Materials and Methods: Initially, for the preparation of test specimens, the activated sludge was mixed and refined with old newspaper pulp (ONP) at ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%. The activated sludge was treated in a beaker for 30 min in 3% furfural and then in a water bath at 100 °C for 90 min. After that, the treated activated sludge was mixed and refined with old newspaper pulp at ratios of 0, 5, 10, 15 and 20% and again, the samples with the above ratios were prepared with old newspaper pulp according to TAPPI standard. Finally, water absorption and their mechanical properties, especially tensile strength index, tear strength index, RCT, burst strength index and folding strength were measured.

Results: The results of statistical analysis showed that activated sludge had a significant effect on the mechanical strength and water absorption of samples. Significant differences in tear strength index and water absorption were observed between the treated and untreated samples. The results showed that the mechanical properties decreased and the water absorption increased by increasing the untreated activated sludge in the samples. Chemical treatment of activated sludge with furfural led to an increase in the mechanical properties and a decrease in water absorption. FT-IR spectra results of the treated samples showed that treatment with furfural resulted in strengthen and activation of the functional groups on the surface of activated sludge fibers. Biodegradation of the treated samples by furfural was also lower than reference samples and samples made only from ONP. So that the furfural treated samples had 26% degradation amount over 120 days. Samples ONP and untreated sludge samples showed about 83% and 75% weight loss over 120 days, respectively.

Conclusion: According to the results, mixing ratio of 5% of treated sludge by furfural with ONP was better in terms of strength and water absorption properties. The use of activated sludge at higher ratios is not recommended due to reduced mechanical strength and increased water absorption.

Keywords: Activated sludge, Furfural, Old newspaper pulp, Strength properties

*Corresponding author: vaysi_r452@yahoo.com