بررسی امکان استفاده از ترکیب الیاف بازیافتی مختلف در ساخت کاغذ بسته‌بندی

چکیده

در این تحقیق امکان ساخت کاغذ بسته‌بندی با استفاده از الیاف بازیافتی مختلف بررسی شد. هم‌چنین اثر استفاده از نشاسته بر ویژگی‌های کاغذهای ساخته‌شده از الیاف بازیافتی و تأثیر پالایش بر کیفیت کاغذهای ساخته‌شده از الیاف بازیافتی MDF مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌های کاغذ با گراماژهای ۷۵، ۱۲۰، ۱۲۷ g/m^2 ساخته شدند. برای اطمینان از اثر بخشی تیمار نشاسته و هم‌چنین تفاوت بین ساختار شیمیایی الیاف، از آزمون طیف‌سنجی با اشعه مادون‌قرمز استفاده شد. ویژگی‌های مکانیکی کاغذها نیز بررسی شد. نتایج مربوط به FT-IR نشان‌دهنده تفاوت جزئی در ساختار شیمیایی الیاف بازیافتی مختلف بود. تیمار نشاسته ساختار شیمیایی الیاف را تغییر داده است و منجر به اضافه‌شده پیک جدید در طول‌موج حدود ۱/cm ۱۱۰۰ شده است. بررسی ویژگی‌های کاغذها نشان‌دهنده اثر مثبت استفاده از نشاسته بود. بهترین ترکیب الیاف برای ساخت کاغذ، استفاده از ترکیب الیاف کاغذ باطله و کارتن کهنه بود و کمترین مقاومت‌ها در کاغذهای ساخته‌شده از ترکیب کارتن کهنه و الیاف بازیافتی MDF مشاهده شد. پالایش الیاف بازیافتی MDF شاخص مقاومت کششی کاغذهای ساخته‌شده را بهبود داد، اما منجر به کاهش شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای حاصل شد. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که امکان ساخت کاغذ بسته‌بندی از الیاف بازیافت شده از پسماند MDF در ترکیب با سایر الیاف بازیافتی وجود دارد، اما برای دست‌یابی به ویژگی‌های مناسب در کاغذهای ساخته-شده باید حتماً پالایش همراه با بخارزنی روی الیاف انجام شود و از مواد افزودنی مناسب استفاده شود.

واژگان کلیدی: بسته‌بندی، بازیافت، پسماند، مواد افزودنی.

آذرنگ فعال [۱]
بیتا معزی پور [۲*]
آیدا معزی پور [۳]
معراج شرری [۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

[۲] استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اردبیل، ایران

[۳] دکتری صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

[۴] دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اردبیل، ایران

مسئول مکاتبات:
b.moezzipour@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴

مقدمه

کاغذ و مقوا از جمله فرآورده‌های موردنیاز برای جوامع پیشرفته و صنعتی است که کارکرد اصلی آن انتقال اطلاعات و محافظت از کالا در زمان حمل‌ونقل و توزیع است. تولید جهانی کل کاغذ و مقوا ۴۰۰ میلیون تن است. سهم عمده تولید مربوط به تولید کاغذ بسته‌بندی و مقوایی است که در سال‌های اخیر با گسترش خرید آنلاین، تقاضای آن رو به افزایش است [۱]. تأمین ماده اولیه موردنیاز یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های کارخانه‌های تولیدکننده کاغذ است و از طرفی به دلیل محدودیت منابع چوبی و اهمیت صیانت از جنگل‌ها، یافتن جایگزین مناسب برای چوب و استفاده از سایر منابع و مواد برای تولید کاغذ ضروری است [۲]. الیاف بازیافتی یکی از مهم-ترین منابع مورداستفاده برای ساخت کاغذ بسته‌بندی به شمار می‌روند، در این میان کارتن کهنه به شکل گسترده مورداستفاده قرار می‌گیرد [۱]. کاغذ باطله اداری نیز یکی

دیگر از منابع الیاف بازیافتی مهم و شناخته‌شده می‌باشد. یکی دیگر از منابعی که برای تأمین الیاف مورداستفاده در کاغذ بسته‌بندی قابل‌استفاده است پسماند MDF است. تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF) یک محصول چوبی مهندسی‌شده است که با استفاده از الیاف لیگنوسلولزی و اختلاط با درصد مشخصی از رزین به شکل پانل ساخته می‌شود. MDF به‌صورت گسترده در صنایع مختلف مبلمان و کابینت سازی استفاده می‌شود. با توجه به تولید روزافزون MDF، حجم زیادی از پسماند آن به وجود آمده که پیش‌بینی می‌شود در آینده نیز روند رو به رشد آن ادامه داشته باشد. بنابراین چاره‌اندیشی برای مدیریت و کنترل پسماند MDF از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۳]. در استفاده از الیاف بازیافت شده باید این نکته را در نظر داشت که علاوه بر تغییر در مرفولوژی، کیفیت الیافی که یک‌بار در معرض چسب‌زنی و پرس قرار گرفته‌اند قابل‌مقایسه با الیاف بکر نمی‌باشد، زیرا وجود بقایای پلیمر شده رزین، حرارت و فشار پرس ماهیت الیاف را ازنظر شیمیایی دستخوش تغییرات اساسی می‌کند [۴]. با توجه به محدودیت‌ها و ویژگی‌های متفاوت الیاف بازیافت شده از پسماندMDF پیشنهادشده است که از این الیاف در ساخت سایر فرآورده‌ها مانند تخته فیبر عایق، تخته خرده چوب، کامپوزیت چوب پلاستیک، چوب سیمان، نانو سلولز، کربن فعال، سوخت‌های زیستی و کمپوست و مالچ استفاده شود [۵-۸]. یکی دیگر از کاربردهای الیاف بازیافت شده از پسماند MDF می‌تواند ساخت کاغذ بسته-بندی باشد [۳]. طبیعتاً کاغذ و مقوای تولیدشده از الیاف بازیافتی به دلیل کیفیت پایین این الیاف در مقایسه با الیاف بکر، ویژگی‌های مقاومتی ضعیف‌تری دارند [۳]. بنابراین یافتن راهکاری مناسب برای بهبود کیفیت کاغذهای ساخته‌شده از الیاف بازیافتی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. یکی از روش‌های بهبود کیفیت کاغذ بسته‌بندی استفاده از تیمار نشاسته کاتیونی است. با استفاده از مواد بهبوددهنده مقاومت خشک می‌توان پیوندهای هیدروژنی بین الیاف را به شمار زیادی افزایش داد [۹]. نشاسته یکی از ارزان‌ترین و پرمصرف‌ترین تقویت‌کننده‌های کاغذ است. نشاسته‌های کاتیونی که دارای ساختار و رفتار شیمیایی مشابه به هم هستند باعث بهبود خواص کاغذ تیمارشده می‌شوند [۹]. مهم‌ترین اثر نشاسته ایجاد پیوند هیدروژنی در جهت z کاغذ می‌باشد که باعث تقویت اتصالات الیاف به یکدیگر می‌شود [۱۰]. کالای بسته‌بندی شده و نیروهای وارده به کارتن به ویژگی‌های مقاومتی نیاز دارد که نشاسته باعث بهبود این ویژگی‌ها می‌شود. از نشاسته کاتیونی در پایانه مرطوب ماشین‌های کاغذسازی به‌منظور ماندگاری الیاف و ذرات ریز و همین‌طور افزایش مقاومت خشک کاغذ، ایجاد چسبندگی بین الیاف، ایجاد پایداری ابعاد در کاغذ استفاده می‌شود [۱۱]. هدف از این تحقیق بررسی امکان ساخت کاغذ بسته‌بندی از ترکیب الیاف بازیافتی مختلف و به‌طور خاص الیاف بازیافت شده از پسماند MDF به عنوان یک منبع جایگزین جدید برای الیاف بکر است. هم‌چنین با توجه به کیفیت پایین الیاف بازیافتی به‌منظور بهبود ویژگی‌های کاغذ از نشاسته کاتیونی استفاده شد و اثر آن موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، به‌منظور ساخت کاغذ بسته‌بندی، از مواد اولیه صد در صد بازیافتی شامل کارتن کهنه، کاغذ باطله اداری و الیاف بازیافت شده از پسماند MDF خام استفاده شد.

به‌منظور انجام این تحقیق، پسماند حاصل از برش تخته‌های MDF از کارگاه‌های تولید مبلمان و کابینت واقع در شهرک صنعتی اردبیل جمع‌آوری شدند و به کارگاه صنایع چوب گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه محقق اردبیلی منتقل شدند. کاغذ باطله و کارتن کهنه موردنیاز تحقیق نیز از سطح دانشگاه محقق اردبیلی جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه منتقل شد.

نشاسته کاتیونی مورداستفاده در این تحقیق از کارخانه چوکا تهیه شد. مشخصات نشاسته تهیه شده در جدول ۱ ارائه‌شده است.

جدول ۱- مشخصات نشاسته کاتیونی

درجه استخلاف (درصد)	درصد رطوبت (درصد)	دمای ژله‌ای شدن (درجه سلسیوس)	دمای پخت (درجه سلسیوس)	pH	گرانروی (سانتی پواز (CP	درصد خاکستر (درصد)	رنگ محلول پخته شده
۳۵	۹/۳	۶۷-۶۲	۸۱-۷۹	۵/۷۳	۷۵/۷	۱/۸۴	سفید کرومات

عوامل متغیر در این تحقیق، شامل نسبت ترکیب الیاف مختلف و مقدار مصرف نشاسته کاتیونی می‌باشد. هم‌چنین در مورد الیاف بازیافت شده از پسماند MDF الیاف به‌صورت پالایش شده و بدون پالایش موردبررسی قرار گرفتند. از ترکیب این عوامل متغیر در سطوح مختلف به همراه نمونه‌های شاهد ۱۲ تیمار حاصل شد و برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته‌شده. کد مربوط به تیمارها در جدول ۲ تعریف‌شده است.

جدول ۲- تعریف کد تیمارها بر اساس عوامل متغیر

کد تیمار	الیاف	مقادیر نشاسته
O	٪۱۰۰کارتن کهنه (نمونه شاهد)	٪۰
O-P	٪۵۰ کارتن کهنه-٪۵۰ کاغذ باطله	٪۰
M-O	٪۵۰ کارتن کهنه-٪۵۰MDF	٪۰
M-P	٪۵۰ کاغذ باطله-٪۵۰ MDF	٪۰
O-S	٪۱۰۰ کارتن کهنه	٪۱
O-P-S	٪۵۰ کارتن کهنه-٪۵۰ کاغذ باطله	٪۱
M-O-S	٪۵۰ کارتن کهنه-٪۵۰MDF	٪۱
M-P-S	٪۵۰ کاغذ باطله-٪۵۰MDF	٪۱
M-O-R	٪۵۰ MDF پالایش شده- ٪۵۰ کارتن کهنه	٪۰
M-P-R	٪۵۰ MDF پالایش شده- ٪۵۰ کاغذ باطله	٪۰
M-O-R-S	٪۵۰ MDF پالایش شده- ٪۵۰ کارتن کهنه	٪۱
M-P-R-S	٪۵۰ MDF پالایش شده- ٪۵۰ کاغذ باطله	٪۱

آماده‌سازی الیاف بازیافتی

به‌منظور استفاده از کاغذ باطله و کارتن کهنه در ساخته کاغذ بسته‌بندی، مواد جمع‌آوری‌شده پس از پاک‌سازی خرد شده، رطوبت آنها اندازه‌گیری شد و پس از توزین در دستگاه پالپر از آن‌ها خمیر تهیه شد. پسماند MDF جمع آوری شده ابتدا به‌صورت چیپس‌های با ابعاد ۳×۳×۰/۵ سانتی‌متر خرد شدند. چیپس‌های حاصل از ضایعات MDF به مدت ۲۴ ساعت در آب غوطه‌ور شدند. سپس قطعات خرد شده پسماند MDF در دیگ پخت با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و مدت‌زمان ۵ دقیقه حرارت-دهی شدند و بعد از انجام مراحل تخلیه و آبگیری، در هوای آزاد خشک شدند.

آماده‌سازی نشاسته کاتیونی

در این تحقیق از نشاسته کاتیونی برای تقویت ویژگی-های کاغذهای ساخته‌شده استفاده شد. با توجه به اینکه نشاسته در آب سرد نامحلول است، برای حل شدن باید پخته شود. به‌منظور آماده‌سازی نشاسته کاتیونی، میزان مورد نظر از نشاسته داخل بشر دارای مقدار کمی آب به‌تدریج اضافه شد، سپس به میزان ۸۰۰میلی‌لیتر آب ۸۰ درجه سانتی‌گراد به آن افزوده و بشر به مدت ۲۰ دقیقه بر روی هیتر قرار داده شد. لازم به یادآوری است که در همه مدت، مخلوط مورد نظر برای جلوگیری از رسوب نشاسته کاتیونی در ته ظرف و پراکنده نشدن ذرات آن هم زده‌شده است.

پالایش الیاف

برای بهبود ویژگی‌های کاغذهای ساخته‌شده از الیاف بازیافتی از پالایش الیاف با دستگاه PFI Mill Type Beater استفاده شد. به این منظور الیاف بازیافت شده از پسماند MDF به آزمایشگاه خمیرکاغذ موسسه تحقیقات چوب و کاغذ البرز واقع در شهرستان کرج منتقل شدند. فشار دستگاه در حد۳/۳۳ N/mm و سرعت پالایش در حد ۱۱۰۰۰rpmتنظیم شد. در هر مرحله ۲۳۰ گرم الیاف وارد دستگاه شد.

بررسی ساختار شیمیایی الیاف

جهت بررسی ساختار شیمیایی الیاف بازیافتی مختلف و بررسی اثر تیمار نشاسته از آزمون طیف‌سنجی با اشعه مادون قرمز با دستگاه طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز آزمایشگاه شیمی آلی دانشگاه محقق اردبیلی استفاده شد. اندازه‌گیری به روش قرص برمید پتاسیم انجام شد.

ساخت کاغذ دست‌ساز

پس از تهیه الیاف، با ترکیب‌های ذکر شده در جدول، در گراماژهای ۷۵، ۱۲۰ و ۱۲۷g/m^2 کاغذهای آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه کاغذسازی ساخته شد. ساخت کاغذ دست‌ساز طبق استاندارد TAPPI شماره T205-SP-02 انجام شد. برای ساخت کاغذ پس از اختلاط نسبت‌های تعریف‌شده، خمیرکاغذ با استفاده از دستگاه پالپر تهیه گردید. به میزان موردنیاز از سوسپانسیون‌ها درون بشر ریخته شد و همچنین برای پخش یکنواخت الیاف با مقدار یک لیتر آب در مخلوط‌کن هم زده شد و سپس وارد دستگاه کاغذسازی شد و بعد به مدت ۳۰ دقیقه زیر پرس سرد قرار گرفت. پس از آن کاغذهای ساخته‌شده در دمای محیط خشک شدند. هم‌چنین لازم به یادآوری است که در زمان استفاده از نشاسته جهت ساخت کاغذ دست‌ساز، نشاسته به مدت ۵ دقیقه در تماس با سوسپانسیون برای پخش یکنواخت هم زده شد.

بررسی ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای ساخته‌شده

شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذها مطابق با استاندارد TAPPI T414 om-04 اندازه‌گیری شد.

شاخص مقاومت به کشش نمونه‌ها با استفاده از استاندارد TAPPI T 494 om-01 موردبررسی و اندازه-گیری قرار گرفت.

مقاومت به لهیدگی حلقوی RCT[1] کاغذها مطابق با استاندارد TAPPI 822 om-02گیری شد.

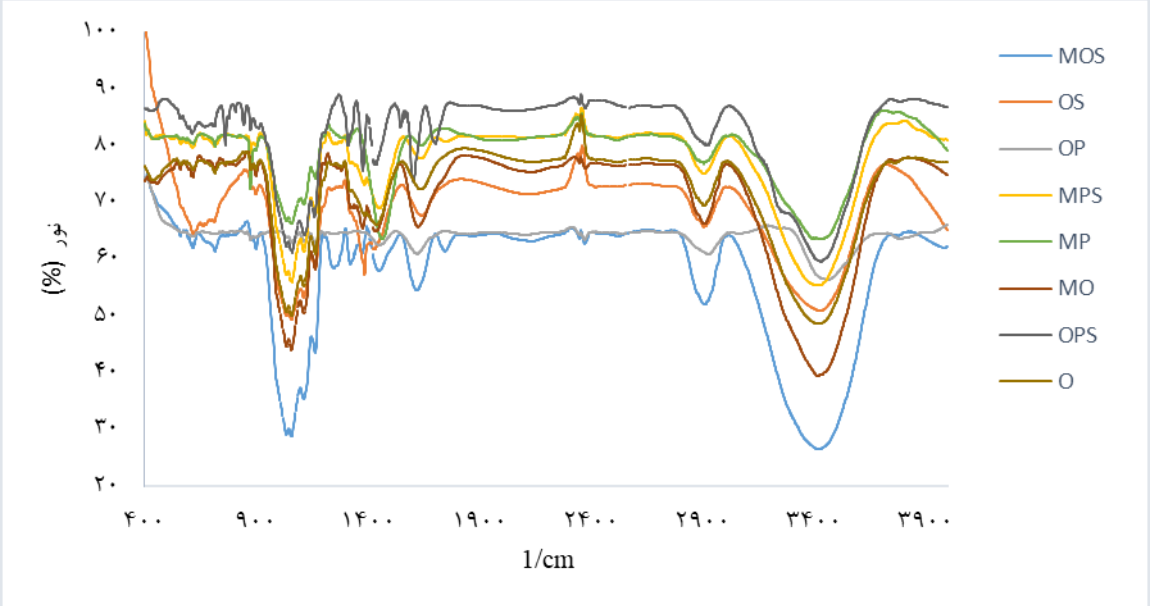
جهت تجزیه تحلیل آماری نتایج از نرم‌افزار SPSS، آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد و سپس گروه‌بندی میانگین‌ها با کمک آزمون دانکن صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

بررسی ساختار شیمیایی سطح الیاف به‌وسیله آزمون طیف‌سنجی با اشعه مادون قرمز:

FTIR الیاف مختلف مورداستفاده در ساخت کاغذها با نشاسته و بدون نشاسته در شکل۱ نشان داده‌شده است.

[1] Ring Crush Test



شکل۱- FT-IR الیاف مختلف مورداستفاده در ساخت کاغذها با نشاسته و بدون نشاسته

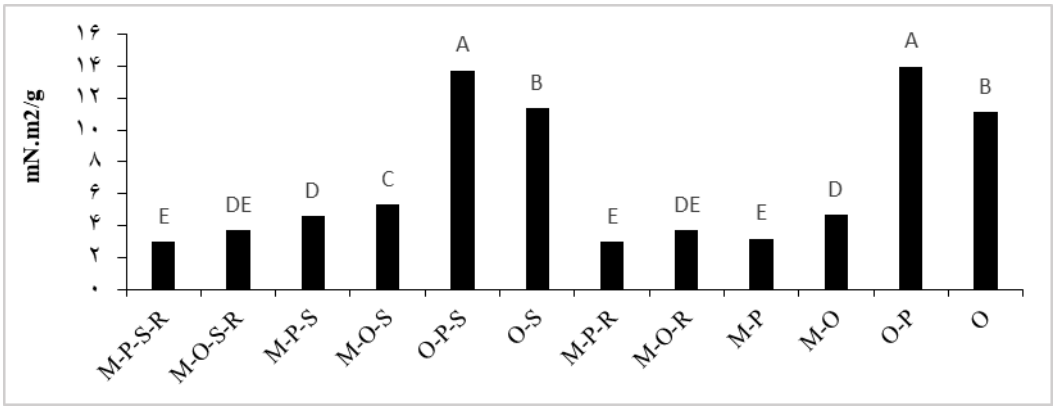
از مقایسه طیف‌های مربوط به تیمارهای دارای نشاسته با تیمارهای بدون نشاسته مشخص شد که یک پیک جدید در طول‌موج ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ cm^{-1}، اضافه شده است که نشان‌دهنده کشش در پیوند C-O است و تأثیر نشاسته بر ساختار شیمیایی سطح الیاف را اثبات می‌کند [۱۲]. افزایش شدت پیک‌ها در حدود طول‌موج‌های ۱۱۵۶cm^{-1}، ۱۰۸۰cm^{-1} و ۱۰۱۰cm^{-1} ارتعاش کششی C-O-C و C-O-H را در پیوندهای گلیکوزیدی نشان می‌دهد که از ویژگی‌های پلی‌ساکاریدهاست [۱۲].

وقتی از نشاسته برای آهارزنی کاغذ استفاده می‌شود پیک ۱۴۲۰cm^{-1} که نشان‌دهنده ارتعاش کششی C=C است به ۱۳۵۷cm^{-1} تغییر می‌کند. هم‌چنین شدت پیک در طول‌موج حدود ۳۰۰۰cm^{-1} که مربوط به O-H است افزایش می‌یابد [۱۲]. در تیمارهای OPS، OS، MPS و MOS این موارد به خوبی قابل مشاهده است، زیرا نرمه‌ها به دلیل سطح ویژه بالایی که دارند، بیشتر از الیاف نشاسته را جذب می‌کنند [۱۳]. در تیمار OPS پیک جدید در حدود طول‌موج ۳۰۰۰ cm^{-1} دیده می‌شود. در کاغذهای رنگبری شده پیک ۳۲۰۰ cm^{-1} تا ۳۶۰۰ cm^{-1} نشان‌دهنده ارتعاش کششی O-H و C-O در سلولز است [۱۳]. پیک ۲۸۵۰ cm^{-1} و ۲۹۲۳ cm^{-1} ارتعاش کششی C-H را نشان می‌دهد. نبود پیک در ۱۲۵۰cm^{-1} برای کاغذهای رنگبری شده نشان می‌دهد که لیگنین، پکتین، موم و همی‌سلولزها تا حد زیادی حذف شده‌اند [۱۴]. لیگنین پیک‌های مشخص در طول‌موج‌های ۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰ cm^{-1} دارد که مربوط به ارتعاش اسکلتال آروماتیک است. هم‌چنین به دلیل وجود گروه‌های متوکسیل O-CH3، C-O-C و C=C در الیاف بازیافت شده از پسماند MDF، جذب در ناحیه ۱۷۳۰cm^{-1} و ۱۸۳۰cm^{-1} مشاهده می‌شود [۱۲]. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود کمترین شدت این پیک‌ها مربوط به ترکیب الیاف دارای کاغذ باطله است. نتایج مربوط به تجزیه واریانس اثر عوامل متغیر مختلف بر ویژگی‌های کاغذهای ساخته‌شده در گراماژهای مختلف در جدول ۳ ارائه‌شده و نتایج مربوط به مقایسه میانگین این ویژگی‌ها و گروه‌بندی دانکن در شکل‌های ۱ تا ۱۰ نشان داده‌شده است.

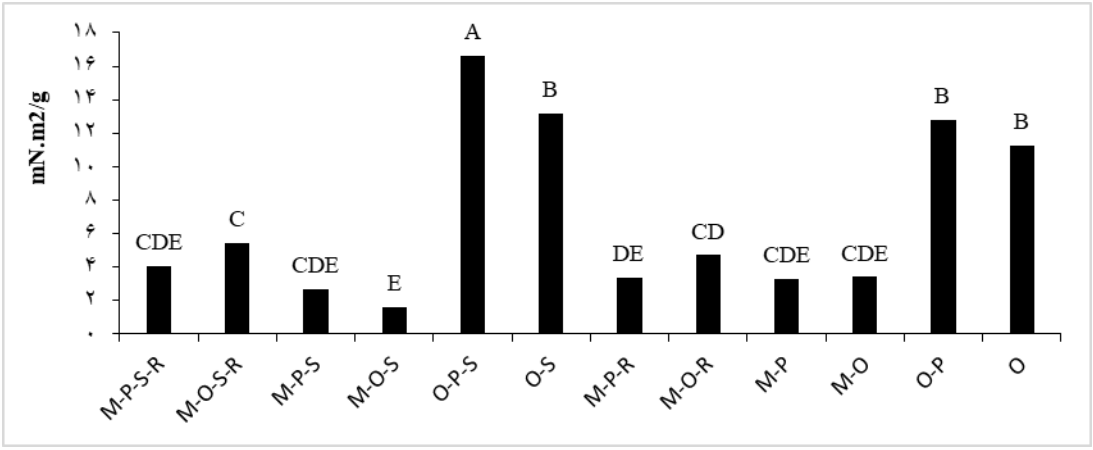
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر عوامل متغیر بر ویژگی‌های کاغذهای ساخته‌شده با گراماژهای مختلف

ویژگی‌ها	گراماژ g/m^2	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
شاخص مقاومت به پاره شدن (بین گروه‌ها)	۷۵	۱۱	۳۴۲۹۶/۴۵۴	۲۸/۵۹۶	۰/۰۰۰
شاخص مقاومت به پاره شدن (بین گروه‌ها)	۱۲۰	۱۱	۱۹۸۷۴۴۴/۹۳	۵۴/۱۴۴	۰/۰۰۰
شاخص مقاومت به پاره شدن (بین گروه‌ها)	۱۲۷	۱۱	۱۳۱۰۱۴۸/۹۵۲	۳۷/۵۸۴	۰/۰۰۰
شاخص مقاومت کششی (بین گروه‌ها)	۷۵	۱۱	۳/۵۰۲	۱۹/۳۵۵	۰/۰۰۰
شاخص مقاومت کششی (بین گروه‌ها)	۱۲۰	۱۱	۵/۶۷۸	۱۰۸/۵۲۳	۰/۰۰۰
شاخص مقاومت کششی (بین گروه‌ها)	۱۲۷	۱۱	۳/۵۱۸	۲۹/۱۲۹	۰/۰۰۰
مقاومت لهیدگی (بین گروه‌ها)	۷۵	۱۱	۰/۵۲۱	۲۲/۲۳	۰/۰۰۰
مقاومت لهیدگی (بین گروه‌ها)	۱۲۰	۱۱	۰/۵۶۸	۲۷/۲۸	۰/۰۰۰
مقاومت لهیدگی (بین گروه‌ها)	۱۲۷	۱۱	۱/۲۳۹	۲۳/۶۸۴	۰/۰۰۰

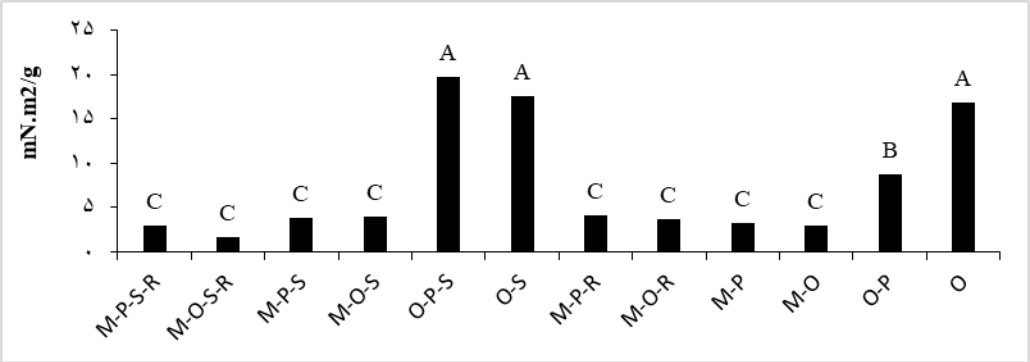
نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر عوامل متغیر مختلف بر تمامی ویژگی‌های کاغذهای ساخته‌شده در گراماژهای مختلف در سطح احتمال ۹۹٪ ازنظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد. شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای ساخته‌شده در گراماژهای مختلف در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان داده‌شده است. طول الیاف از ویژگی‌های مهم مؤثر بر شاخص مقاومت به پاره شدن است.



شکل ۲- شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف در گراماژ $۷۵gr/m^2$



شکل ۳- شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف در گراماژ $۱۲۰gr/m^2$



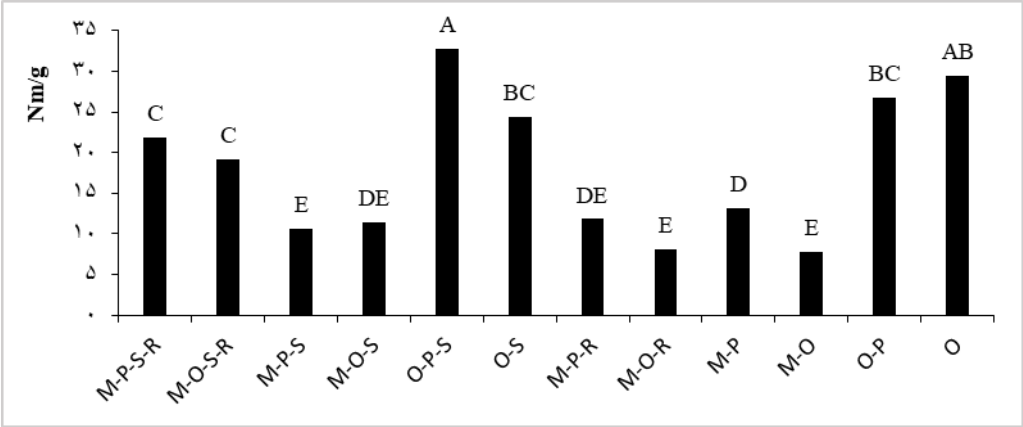
شکل ۴- شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف در گراماژ $۱۲۷gr/m^2$

همان‌طور که در شکل‌های ۲ تا ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین شاخص مقاومت به پاره شدن مربوط به تیمار O-P-S می‌باشد که در آن از ترکیب کارتن کهنه و کاغذ باطله همراه با نشاسته کاتیونی در ساخت کاغذ استفاده شده است. کمترین مقدار شاخص مقاومت به پارگی مربوط به تیمارهایی بود که در آن از ترکیب الیاف بازیافت شده از پسماند MDF همراه با کارتن کهنه استفاده شده بود و در آن از نشاسته کاتیونی استفاده نشده بود. بر اساس نتایج، در شرایطی که از کاغذ باطله در ساخت کاغذ بسته‌بندی استفاده شود، شاخص مقاومت به پاره شدن افزایش می‌یابد که علت آن استفاده از مخلوط پهن برگان و سوزنی‌برگان در کاغذ باطله است، که موجب می‌شود خواص کاغذ حاصل شبیه به کاغذ ساخته‌شده از خمیر پهن برگان بکر باشد [۱۵]. طول الیاف در کاغذ باطله بیشتر از الیاف بازیافتی کارتن کهنه است، بنابراین همان‌طور که انتظار می‌رود، استفاده از این الیاف در ساخت کاغذ بسته‌بندی در ترکیب با سایر الیاف بازیافتی اثر مثبت روی مقاومت به پاره شدن کاغذهای حاصل دارد.

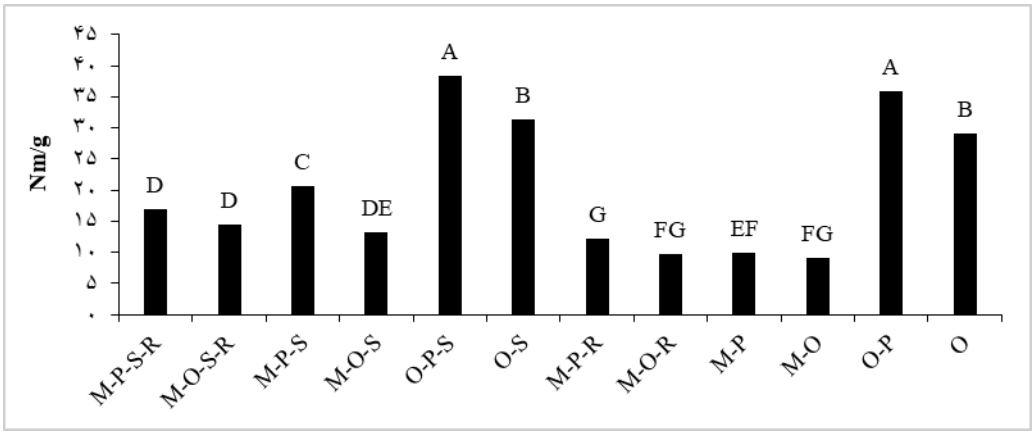
همان‌طور که شکل‌های ۲ تا ۴ نشان می‌دهد، مصرف نشاسته کاتیونی منجر به بهبود مقاومت به پاره شدن کاغذ می‌شود، زیرا افزودن نشاسته به الیاف بازیافتی منجر به احیای بخش‌های آسیب‌دیده در سطح الیاف می‌شود و توان اتصال الیاف را افزایش می‌دهد و درنهایت باعث بهبود این ویژگی می‌شود [۱۴]. نشاسته کاتیونی به ایجاد اتصالات هیدروژنی بین الیاف کمک می‌کند و به همین دلیل منجر به افزایش مقاومت‌های کاغذ می‌شود. در سایر تحقیقات نیز اثر مثبت نشاسته بر مقاومت‌های کاغذ اثبات‌شده است. نشاسته با توجه به اثری که بر آبگیری و تشکیل دلمه‌ها دارد می‌تواند روی شکل‌گیری کاغذ تأثیر داشته باشد و همچنین مقاومت پیوند و سطح پیوند یافته در صورت استفاده از نشاسته بهبود می‌یابد [۱۶-۱۸]. پالایش در گراماژهای پایین تأثیر منفی بر مقاومت به پاره شدن کاغذهای ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده از پسماند MDF در ترکیب با سایر الیاف داشته است. در اثر پالایش شاخص مقاومت به پاره شدن کاهش می‌یابد که علت آن کاهش طول الیاف است. در اثر پالایش میزان نرمه افزایش می‌یابد و طول الیاف کاهش پیدا می‌کند [۱۹].

شاخص مقاومت کششی

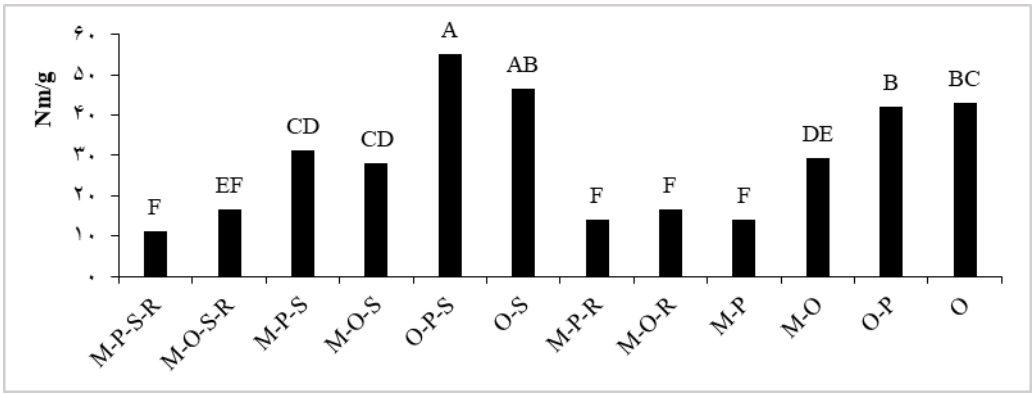
نتایج مربوط به مقادیر میانگین شاخص مقاومت کششی کاغذهای ساخته‌شده در گراماژهای مختلف در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده‌شده است. تعداد و کیفیت اتصالات بین الیاف مهم‌ترین عامل مؤثر بر مقاومت کششی است [۱۷].



شکل ۵- شاخص مقاومت به کشش کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف در گراماژ $75\ g/m^2$



شکل ۶ - شاخص مقاومت به کشش کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف در گراماژ $120 gr/m^2$



شکل۷- شاخص مقاومت به کشش کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف در گراماژ $127 gr/m^2$

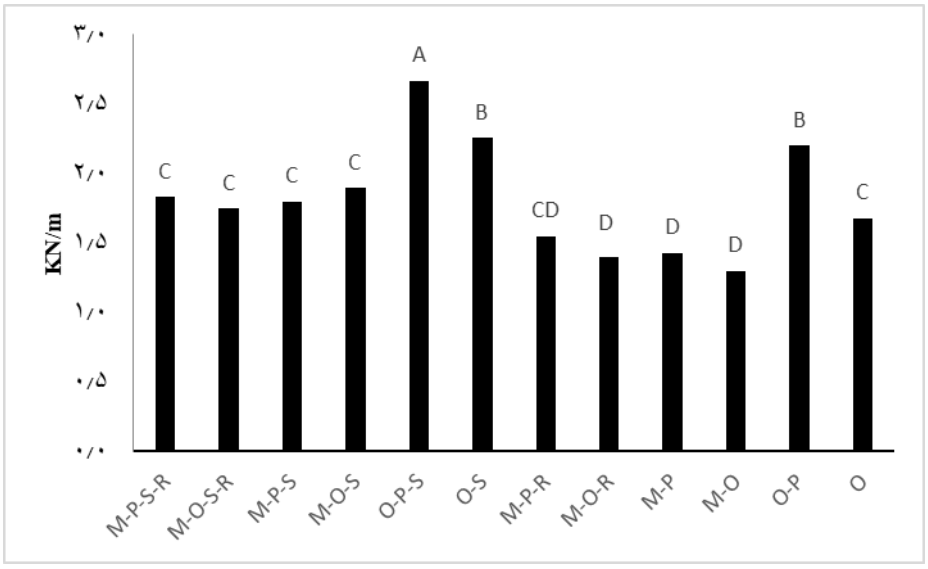
همان‌طور که شکل‌های ۵ تا ۷ نشان می‌دهد، شاخص مقاومت به کشش کاغذهای بسته‌بندی که در ترکیبشان از کارتن کهنه و کاغذ باطله استفاده شده است به مراتب مطلوب‌تر از کاغذهایی است که با استفاده از ترکیب الیاف بازیافت شده از پسماند MDF ساخته‌شده‌اند. همچنین بیشترین مقدار شاخص مقاومت به کشش به ترتیب مربوط به تیمار O-P-S می‌باشد، که ترکیب آن از کارتن کهنه و کاغذ باطله است و جهت بهبود مقاومت‌ها از نشاسته استفاده شده است و کمترین مقدار مربوط به تیمارهای ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده از پسماند MDF در ترکیب با سایر الیاف می‌باشد.

نتـایج به‌دسـت‌آمده نشـان‌دهنـده توانـایی کـم الیـاف بازیافت شده از پسماند MDF، در تشکیل کاغذ مخصوصاً در گراماژهای پایین است. وقتی از ترکیب کـارتن کهنـه و کاغذ باطله استفاده می‌شـود مقاومـت کششـی کاغـذهای ساخته‌شده بهبود می‌یابد. بررسـی روی خـواص مقـاومتی مقوای تولیدی در کارخانه چوکا در سال ۱۹۹۵ نشـان داد که استفاده از کاغذ باطله منجر به بهبود خـواص مقـاومتی آن‌ها می‌شود که علت آن کیفیت بـالای الیـاف موجـود در کاغذ باطله است [۱۵].

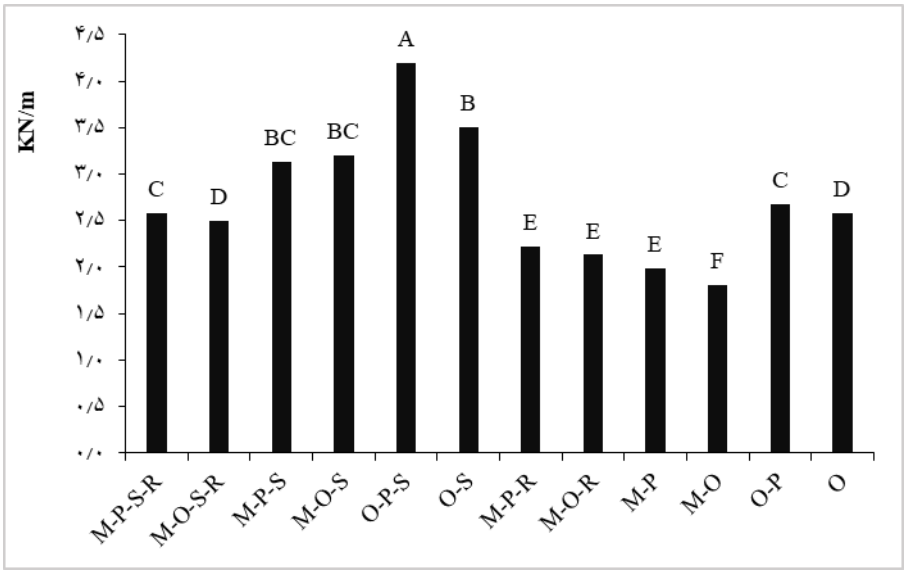
از مقایسه مقاومت کششی تیمارهای دارای نشاسـته و بدون نشاسته مشخص است که مصـرف نشاسـته مقاومـت کششی کاغذ را بهبود می‌دهد، زیرا نشاسته باعـث افـزایش توان اتصال بین الیاف می‌شود و به عنـوان مـاده چسـبنده عمل می‌کند و همچنین با الیاف موجود در سـاختار کاغـذ پیوند برقرار می‌کند [۱۷]. همان‌طور که نتایج نشـان مـی-دهد، شاخص مقاومت کشش در کاغـذهای ساخته‌شـده از ترکیب الیاف بازیافت شده از پسماند MDF با سـایر الیـاف بازیافتی با پـالایش بهبـود مـی‌یابـد، زیـرا در اثـر پـالایش مساحت سطحی الیاف افزایش می‌یابد [۱۹]

شاخص مقاومت لهیدگی حلقوی

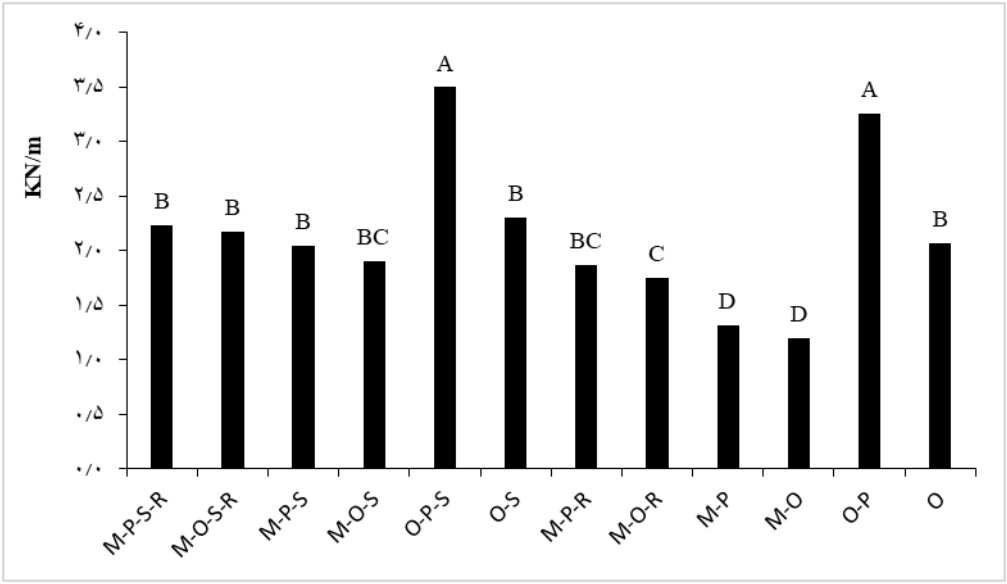
نتـایج مربـوط بـه مقـادیر میـانگین شـاخص مقاومـت لهیدگی کاغذهای ساخته‌شده در شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشـان داده‌شده است.



شکل ۸- مقاومت لهیدگی کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف در گراماژ ۷۵gr/m²



شکل ۹- مقاومت لهیدگی کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف در گراماژ $۱۲۰gr/m^2$



شکل ۱۰- مقاومت لهیدگی کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف در گراماژ $۱۲۷gr/m^2$

بر اساس نتایج شکل‌های ۸ تا ۱۰، بیشترین شاخص مقاومت لهیدگی حلقوی در کاغذهای ساخته‌شده از تیمار O-P-S به‌دست آمد و کمترین میزان این شاخص در کاغذهای ساخته‌شده از ترکیب الیاف بازیافت شده از MDF و کارتن کهنه مشاهده شد.

همان‌طور که در شکل‌های ۸ تا ۱۰ مشاهده می‌شود، مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذهای بسته‌بندی ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده از پسماند MDF، در مقایسه با دو ویژگی قبلی وضعیت قابل قبول‌تری دارد و اختلاف مقادیر میانگین این مقاومت در مقایسه با سایر تیمارها نسبتاً کمتر است که علت آن سفتی کاغذهای ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده از پسماند MDF در ترکیب با الیاف دیگر است که منجر به افت کمتر مقاومت به لهیدگی حلقوی کاغذهای ساخته‌شده می‌شود. با مصرف نشاسته مقاومت به لهیدگی حلقوی کاغذها بهبود می‌یابد چراکه با افزایش پیوند بین الیاف سفتی کاغذ افزایش می‌یابد [۱۷]. همچنین با توجه به عملکرد نشاسته در پیوندیابی بین الیاف استفاده از آن منجر به افزایش چگالی کاغذ می‌شود [۱۷]. کاغذ دارای چگالی و سفتی بیشتر مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه بیشتری دارد [۱۷]. مقاومت به

لهیدگی کاغذهای ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده از پسماند MDFدر اثر پالایش بهبود می‌یابد زیرا پیوندپذیری الیاف افزایش می‌یابد [۱۷].

به‌طورکلی در مورد هر سه ویژگی شاخص مقاومت کششی، شاخص مقاومت به پاره شدن و شاخص مقاومت لهیدگی حلقوی، بهترین نتایج در مورد کاغذهای ساخته‌شده از ترکیب کاغذ باطله و کارتن کهنه حاصل شده و کمترین مقاومت‌ها در کاغذهای ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده از پسماند MDF و کارتن کهنه به‌دست‌آمده است. طول بلند الیاف کاغذ باطله و پیوندپذیری خوب این الیاف منجر به ویژگی‌های مقاومتی بالا در کاغذ بسته‌بندی ساخته‌شده از آن می‌شود [۱۵]. با توجه به این که الیاف موجود در کارتن کهنه بازیافتی هستند، استفاده از این الیاف منجر به کاهش مقاومت‌های کاغذهای ساخته‌شده می‌شود. کارتن بازیافتی لیگنین بیشتری نسبت به کاغذ باطله دارد و به همین دلیل شاخص مقاومت به کشش در صورت استفاده از این الیاف کاهش می‌یابد [۱۵]. با افزایش مقدار الیاف کارتن کهنه شاخص مقاومت به کشش کاغذ کاهش می‌یابد که علت آن کم شدن تعداد اتصالات هیدروژنی است. با افزایش مقدار الیاف کارتن کهنه شاخص مقاومت به پاره شدن نیز کم می‌شود، علت آن کاهش انعطاف‌پذیری و ظرفیت تشکیل اتصالات بین الیاف است [۱۵].

نتایج مربوط به کاغذهای ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده از پسماند MDF، نشان‌دهنده ضعف این الیاف در مقایسه با الیاف متداول مورداستفاده در تشکیل کاغذ است. علت این امر ماهیت متفاوت این الیاف است. الیاف بازیافت شده از پسماند MDF خشک و زبر هستند و از انعطاف‌پذیری کمی برخوردارند که خود مانع از تشکیل پیوندهای مستحکم بین الیاف می‌شود. همچنین قابلیت آبگیری این الیاف کم است [۳ و ۱۹]. کاهش قابلیت ترشوندگی الیاف بازیافت شده از پسماند MDF در مقایسه با الیاف بکر به معنای کاهش گروه‌های هیدروکسیل و قابلیت ایجاد اتصال است [۴]. ضمناً در فرایند تولید MDF بخارزنی چوب، منجر به نرم شدن لیگنین می‌شود. لیگنین روی سطح الیاف را می‌پوشاند که این امر از دفیبره شدن الیاف در پالایش جلوگیری می‌کند [۳]. اگر از تیمار بخار همراه با پالایش استفاده شود در شدت بالای پالایش می‌تواند منجر به نرم شدن الیاف و انعطاف‌پذیری آن‌ها شود که قابلیت ایجاد اتصالات در کاغذ را بهبود خواهد داد [۳]. استفاده از نشاسته برای جبران ضعف الیاف MDF راهکاری مناسب است. بار مثبت نشاسته کاتیونی و تمایل آن به جذب روی الیاف که دارای بار منفی هستند منجر به اثر مضاعف آن می‌شود [۱۷ و ۱۸]. راهکار دیگر پالایش الیاف است که منجر به افزایش انعطاف‌پذیری و سطح الیاف و بهبود ایجاد اتصالات می‌شود. البته، کاهش طول الیاف منجر به افت مقاومت به پاره شدن کاغذ می‌شود [۲۰]. برای دست‌یابی به نتایج مطلوب باید پالایش الیاف بازیافت شده از پسماند MDF همراه با بخارزنی باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق امکان استفاده از الیاف بازیافتی مختلف در ساخت کاغذ بسته‌بندی موردبررسی قرار گرفت. به این منظور از ترکیب الیاف بازیافت شده از پسماند MDF، الیاف کارتن کهنه و کاغذ باطله استفاده شد. همچنین اثر مصرف نشاسته بر بهبود ویژگی‌های کاغذهای ساخته‌شده موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور بهبود شکل‌گیری کاغذ و تشکیل اتصالات اثر پالایش بر الیاف بازیافت شده از پسماند MDF نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از نشاسته می‌تواند تأثیر مثبت بر افزایش شاخص مقاومت کششی، شاخص مقاومت به پاره شدن و مقاومت لهیدگی کاغذهای ساخته‌شده داشته باشد. مخصوصاً در مورد کاغذهای ساخته‌شده از الیاف بازیافت شده از پسماند MDF استفاده از چنین مواد افزودنی مؤثری اهمیت بیشتری دارد. در مورد ترکیب الیاف، نتایج نشان داد که استفاده از کاغذ باطله در ترکیب با کارتن کهنه و الیاف بازیافت شده از پسماند MDF می‌تواند منجر به بهبود چشمگیر در شاخص مقاومت به پاره شدن، مقاومت کششی و مقاومت لهیدگی کاغذهای ساخته‌شده شود که دلیل آن وجود الیاف بلند و با کیفیت در ساختار کاغذ باطله است. الیاف بازیافت شده از پسماند MDF ضعیف‌تر از سایر الیاف حتی کارتن کهنه می‌باشند. امکان استفاده از الیاف بازیافت شده از پسماند MDF به دلیل کمبود منابع الیاف چوبی بسیار حائز اهمیت است. آنچه از این تحقیق نتیجه‌گیری می‌شود این است که می‌توان از الیاف بازیافتی

از MDF در ساخت کاغذ بسته‌بندی استفاده کرد اما برای بهبود مقاومت‌های کاغذهای ساخته‌شده باید از مواد افزودنی مناسب استفاده کرد و هم‌چنین از ترکیب با سایر الیاف بهره برد. در ضمن پالایش بدون بخارزنی تأثیر چندانی بر بهبود ویژگی‌های این الیاف نخواهد داشت و حتماً باید همراه با پالایش از بخارزنی استفاده شود تا اثرگذاری کافی روی ویژگی‌های الیاف و بهبود ویژگی‌های کاغذهای حاصل داشته باشد. استفاده از الیاف بازیافت - شده از پسماند MDF مستلزم این است که ویژگی‌های این الیاف مورد مطالعه قرارگیرد و برای استفاده از پتانسیل این الیاف محدودیت‌های آنها در نظر گرفته شود.

منابع

[1] Ebrahimi, P. and Tavakoli, H.R., 2015. Starch application as dry strength additives in papermaking, Polimerization 5(3): 90-101. (In persian).

[2] Bayatkashkoli, A., Rafeghi, A., Azizi,M., Amiri, S. and Kabourani, A., 2008. Estimate of timber and wood products export and import trend in Iran, J. Agric. Sci. Natur. Resour., 15(1): 73-83. (In persian).

[3] Hangel, S., Joy, J., Cicala, G. and Saake, B., 2021. Recycling of waste MDF by steam refining evaluation of fiber and paper strength properties, Waste and Biomass Valorization Joournal,12: 5701-5713.doi: 10.1007/s12649-021-01391-4.

[4] Moezzipour, B., Ahmadi, M. and Moezzipour, A., 2020. Recycling of medium density fiberboard wastes, Jahad daneshgahi, Ardabil, Iran, 112 p. (In persian).

[5] Moezzipour, B., Abdolkhani, A., Doost-hoseini, K., Ahmad Ramazani, S.A. and Tarmian, A., 2018. Practical properties and formaldehydeemission of medium density fiberboards (MDFs) recycled by electrical method. Eur. J. Wood Wood Prod, 76, 1287–1294, https: //doi.org/10.1007/s0010 7-018-1291-2.

[6] Roffael, E. and Huster, H.G., 2012. Complex chemical interactions on thermo hydrolythic degradation of urea formaldehyde resins (UF-resins) in recycling UF-bonded boards, Eur. J. Wood. Prod, 70: 401-405.

[7] Couret, L., Irle, M., Bellonche, C. H. and Cathala, B., 2017. Extraction and characterization nanocrystals from post-consumer wood fiberboard waste, Cellulose: 1352-7.

[8] Hagel, S. and Saake, B., 2020. Fractionation of waste MDF by steam refining, Molecules, (25) 2165, doi: 10.3390/molecules25092165.

[9] Doelle, K., Sonntag, J., Ficher, K. and Dominessey, T., 2020. Improvement of fiber fines retention and machanical properties of board paper using cron and tapioca starch-A handsheet study, journal of enginerring reserch and reports, 20(1):39-50.

[10] Asadpour, G.H., Amouei, N., Zabihzadeh, M. and Sheikhi, P., 2021, The effect of cationic starch on the mechanical properties of paper Fluting mixing soda bagasse pulp and OCC, Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 12(1): 121-130. (In persian)

[11] Jalali Torshizi, H., Jahan-Latibari, A., Mirshokraei, A. and Faezipour, M., 2008, Investigation on the performance of cationic starch and CMC addition on strength properties of fluting paper produced from OCC, Pajouhesh & Sazandegi Journal, 81 :69-76. (In persian)

[12] Selmlali, F.Z, Salim, M.H., Zineb, K., Sehaqui, H., Ablouh, H., Bouhfid, R., Qaiss, A. and Alchaby, M., 2022. Cross linked starch coated cellulosic papers as alternative food packaging materials, RCS. Advances, 12: 8536-8546.

[13] Ozcan, A., Kaudirmaz, E. and Hayta, P., 2019. Exmination of effect of melamine as a filler in paper coating on print quality, Cellulose chemistry and technology, 53 (3-4): 307-313.

[14] Heermann, M., Welter, S. and Hubbe, M., 2006. Effect of high treatment levels in a dry strength additive: program based on deposition of polyelectrolyte complexes How much glue is too much? Tappi journal, 5: 9-14.

[15] Khalili, A., Ghasemian, A. and Saraeian, A.R., 2009. Optimization of the use of recovered OCC/ONP in mixture with virgin hardwood kraft pulp to produce kraft liner paper, Journal of Wood and Forest Science and Technology, 16 (3): 107-120. (In persian).

[16] Nazarnejhad, N.A., Moosavi, S.N. and Zabihzadeh, M., 2016. Comparing the performance of corn and tapioca cationic starch, corn to improve the strength characteristics of paper from old corrugated containers, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31 (4): 662-670. (In persian).

[17] Ghaffari, M., Ghasemian, A., Resalati, H. and Asadpour, G.H., 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.(In persian).

[18] Hasanpour,G.H., Khosravani, A. and Tjvidi, M., 2022. Enhancement of recycled board strength by surface treatment and additives on size-press, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 13 (1): 97-106. (In persian).

[19] Andalibian, M.A., Mahdavi, S., Kermanian, H. and Ramezani, O., 2013. The influence of OCC pulp refining to improve the properties of test liner board, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 28 (1): 77-88. (In persian).

[20] Khantayanuwang,s., 2006. Effect of beating and recycling on strength of pulp fibers and paper. Kasetsart Journal(Nat.Sci), 5 (2): 193-199.

Utilization of the various recycled fibers composition in producing packaging paper

Abstract

In this research, producing packaging paper by utilization of various recycled fibers was investigated. Also, the effect of using starch on the characteristics of manufactured papers and the effect of refining on the properties of the papers made from fibers recycled from MDF wastes were studied. Paper samples were produced in grammage of of 75, 120, 127 g/m^2. To be ensure of the effectiveness of the starch treatment and the differences between the chemical structure of the fibers, the infrared spectroscopy test was utilized. The mechanical properties of papers were also investigated. The results of the infrared spectroscopy test showed a slight difference in the chemical structure of different recycled fibers. Also, the results showed that the starch treatment has changed the chemical structure of the fibers well, which has led to the addition of a new peak at a wavelength of about 1100 cm^{-1}. The results of paper properties showed the positive effect of utilization of starch. The best combination of fibers for producing paper is to use the mixture of waste paper fibers and old cardboard, and the lowest resistances were observed in papers made from the mixture of old cardboard and recycled fibers from MDF wastes. Refinement of recycled fibers from MDF wastes improved the tensile strength of the manufactured papers, but led to a decrease in the tear resistance of the manufactured papers. Generally, it can be concluded that it is possible to produce packaging paper from recycled fibers from MDF waste in composition with other recycled fibers, but in order to achieve suitable properties in the manufactured papers, it is necessary to refine them along with steaming and effective additives should be used.

Keywords: Packaging, Recycling, The wastes, Additives.

A. Faal[1]
B. Moezzipour[2*]
A. Moezzipour[3]
M. Sharari[4]

[1] MSc Student, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran

[2] Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran

[3] PhD in Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

[4] Associated Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran

Corresponding author:
b.moezzipour@uma.ac.ir

Received: 2023/04/15
Accepted: 2023/05/14