نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و ششم، شماره اول، ۱۳۹۸
۱۱۷-۱۲۸
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2019.15667.1770

پیش‌اختلاط بسپار نگهدارنده پروتئین سویا ایزوله با پرکننده کربنات کلسیم رسوبی بر ویژگی‌های کاغذ بازیافتی چاپ و تحریر

علی صفی‌زاده[۱]، *حسین جلالی ترشیزی[۲]، حمیدرضا رودی[۲] و علی پرتوی‌نیا[۲]

[۱]کارشناس‌ارشد دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی،
[۲]استادیار دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۷

چکیده

سابقه و هدف: کاغذ به‌عنوان کامپوزیتی از الیاف لیگنوسلولزی، افزودنی‌های معدنی و آلی شناخته می‌شود. کمبود الیاف لیگنوسلولزی و نیز جنبه‌های فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی، به‌طور روزافزونی مصرف پرکننده‌های معدنی در کاغذسازی را افزایش داده است. اخیراً برای بهبود ویژگی‌ها در خمیرکاغذهای بازیافتی، افزودن پرکننده مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، تأثیر کربنات کلسیم رسوبی (PCC) و نیز پیش‌اختلاط آن با پروتئین سویا ایزوله بر ویژگی‌های کاغذ بازیافتی از کاغذهای باطله چاپ و تحریر بررسی شد.

مواد و روش‌ها: خمیرکاغذ بازیافتی از کاغذهای باطله چاپ و تحریر و فاقد افزودنی از نقطه قبل از ارسال به ماشین کاغذ در کارخانه اترک تهیه شد. پرکننده کربنات کلسیم رسوبی در سطوح ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد جرم کاغذ و پروتئین سویا در سطوح ۱۰ و ۱۵ درصد جرم PCC به‌طور منفرد و نیز به‌صورت پیش‌اختلاط یافته به دوغاب خمیرکاغذ بازیافتی اضافه شد. کاغذهای دست‌ساز با گراماژ $60 \pm 3\ g/m^2$ تهیه شد و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، ویژگی‌های روشنی، ماتی، ضخامت، گراماژ، حجیمی و شاخص مقاومت به ترکیدن در کاغذهای آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها: تصاویر SEM حضور پرکننده در ساختار کاغذ و نیز دلمه‌شدن آن‌ها بر اثر کاربرد بسپار پروتئین را تأیید نمود. افزایش کاربرد پرکننده کربنات کلسیم رسوبی به‌جای الیاف بازیافتی منجر به کاهش پیوسته ضخامت، گراماژ و مقاومت ترکیدن و افزایش پیوسته حجیمی و روشنی کاغذ گردید. کاربرد منفرد پروتئین سویا بدون پرکننده منجر به افزایش گراماژ و ضخامت و کاهش شاخص ترکیدن گشته و تاثیری بر دیگر ویژگی‌ها نداشته است. پیش‌اختلاط پرکننده- پروتئین بهبود چشمگیر ضخامت، حجیمی و گراماژ کاغذ را درپی داشته، ولی روشنی و ماتی کاغذ در مقایسه با عدم کاربرد پروتئین بدون تأثیر بوده است.

نتیجه‌گیری: پیش‌اختلاط پروتئین سویا با پرکننده منجر به افزایش حجیمی، ضخامت، گراماژ و روشنی و در برخی موارد شاخص ترکیدن در خمیرکاغذ بازیافتی چاپ و تحریر گردید. نقش نگهدارندگی بسپار پروتئینی علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی، توسط مشاهدات میکروسکوپ الکترونی نیز تأیید گردید که مزیت مهمی از جنبه‌های اقتصادی به‌واسطه افزایش بهره‌وری تولید،

* مسئول مکاتبه: h_jalali@sbu.ac.ir

زیست‌محیطی به‌دلیل کاهش اتلاف مواد زیستی؛ و فرآوری ناشی از کاهش انسدادها و افزایش سرعت تولید می‌تواند محسوب گردد. بخش چربی‌دوست پروتئین احتمالاً منجر به اختلال در پیوندیابی و عدم افزایش یکنواخت مقاومت است.

واژه‌های کلیدی: پروتئین سویا، کربنات کلسیم رسوبی، ویژگی‌های کاغذ بازیافتی چاپ و تحریر

مقدمه

امروزه به‌دلایل متعدد زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و آینده‌نگری؛ صنایع مبتنی بر الیاف لیگنوسلولزی در سراسر دنیا با مشکلات و محدودیت‌هایی مواجه بوده و صنایع کاغذسازی به‌دلیل تأثیرپذیری بیش‌تر از کیفیت الیاف در مقایسه با دیگر صنایع وابسته؛ حساسیت بالاتری را در این زمینه داراست (۱۲). بنابراین، کمبود ماده اولیه لیگنوسلولزی در صنایع کاغذسازی، به‌ویژه در ایران که دچار فقر منابع لیفی است و نیز توسعه روزافزون نیاز به فرآورده‌های مختلف کاغذی؛ استفاده بیش‌تر از پرکننده‌های معدنی در ترکیب دوغاب خمیرکاغذ را به‌عنوان راهکاری برتر ارائه نموده است. پس از الیاف سلولزی، پرکننده‌های معدنی دومین ماده ساختاری مهم کاغذ بوده و تقریباً در اغلب کاغذهای چاپ و تحریر استفاده می‌شوند (۱۳ و ۱۶). سوای از مزایای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی کاربرد پرکننده‌ها، مواردی هم‌چون حجم و بار آلودگی پساب، سرعت تولید در ماشین کاغذ و شکل‌گیری و کیفیت‌های مقاومتی و نوری مناسب، بایستی در به‌کارگیری پرکننده‌های معدنی در کاغذ مورد بررسی قرار گیرد (۱۱). به‌طورکلی هدف اصلی استفاده از پرکننده‌های معدنی، بهبود ویژگی‌های نوری و چاپ‌پذیری کاغذ و نیز کاهش هزینه‌ها و مصرف الیاف می‌باشد، اما گراماژ کاغذ تولیدی به‌واسطه ماندگاری پایین‌تر پرکننده‌ها در مقایسه با الیاف؛ افت کرده و باعث ناپایداری فرایند تولید و نیز فرآورده می‌شود (۸). به‌کارگیری بسپارهای متنوع کمک نگهدارنده در دوغاب خمیرکاغذ رایج بوده و اخیراً پیش‌اختلاط پرکننده‌ها با بسپارها به دلایل فنی و اقتصادی مدنظر قرار گرفته است (۱۴). به‌علاوه انواع پرکننده‌ها بسته به ویژگی‌های ذاتی، اثرات متفاوتی در ویژگی‌های کاغذ دارند. از جمله پرکننده‌های معدنی که مورد توجه صنایع کاغذسازی است، کربنات کلسیم رسوبی [1](PCC)، کربنات کلسیم آسیاب شده [2](GCC) و کائولین [3] می‌باشند (۲ و ۳). کربنات کلسیم رسوبی پرکننده نسبتاً ارزان، در دسترس و کارآمدی است که نسبت به سایر پرکننده‌ها؛ به لحاظ ایجاد توازن بهتر بین خواص چاپ‌پذیری و خواص مقاومتی کاغذ، مزیت دارد (۱ و ۵). بنابراین در صورت کاربرد تلفیقی کربنات کلسیم رسوبی و بسپارها، نه‌تنها می‌توان از مزایای مصرف بیش‌تر پرکننده‌ها در کاغذسازی به‌منظور کاهش هزینه‌ها استفاده نمود؛ بلکه توازن مناسب‌تری نیز بین ویژگی‌های فرآورده‌ای و فرایندی ایجاد می‌گردد. اخیراً فرآورده‌های مبتنی بر پروتئین سویا، پتانسیل جذاب و جدیدی را به‌عنوان نسل آتی افزودنی‌های زیست‌بنیان کاغذسازی به‌ویژه برای بهبود مقاومت خشک کاغذ، ارائه نموده است. سویا از مهم‌ترین منابع پروتئین گیاهی بوده که پس از روغن‌کشی از دانه‌های سویا، حذف پوسته و آسیاب‌کردن، پودر سویا به‌صورت مخلوطی از تقریباً ٪۳۲ کربوهیدرات، ٪۵۱ پروتئین، ٪۵> چربی و نیز بقیه آب، ویتامین‌ها و مواد معدنی ارائه می‌گردد (۱۰). پروتئین سویا واجد

1- Precipitated Calcium Carbonate
2- Ground Calcium Carbonate
3- Clay

زنجیره‌ای بلند (دامنه وزن مولکولی ۶۰۰-۱۵۰ کیلودالتون) از بسپار خطی اسیدهای آمینه قطبی و غیرقطبی است که بخش قطبی آن می‌تواند جایگاه اتصال شیمیایی و اتصال عرضی بوده که در نتیجه آن، بهبود ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی و گرمائی و همچنین کاهش آبدوستی حاصل می‌گردد (۶). گروه‌های عاملی هیدروکسیلی، آمینی، کربوکسیلی موجود در ساختار پروتئین، علاوه بر اعطای ماهیت آمفوتری (دارا بودن هر دو گروه کاتیونی و آنیونی)، پتانسیل پیوندیابی مناسبی با الیاف سلولزی را داراست (۹). در این راستا، کاربرد آرد سویا در خمیرکاغذهای کرافت، OCC و NSSC، افزایش مقاومت‌های کششی، ترکیدن و STFI را نشان داده است (۱۵). طیب و همکاران (۲۰۱۷) نیز با مطالعه تأثیر پروتئین سویا بر کاغذ بازیافتی، افزایش شاخص کشش و بهبود زبری، تخلخل و شکل‌گیری کاغذ را گزارش نمودند (۱۷). ژو و همکاران (۲۰۱۵) پروتئین چربی‌زدائی شده را به‌عنوان شرایط بهینه افزایش مقاومت خشک در خمیرکاغذ OCC معرفی نمودند (۱۸).

به‌طورکلی، انتخاب صحیح افزودنی مقاومت خشک از طریق بررسی‌های آزمایشگاهی کلید موفقیت در کاغذسازی برای به حداقل رسانیدن هزینه‌ها است و معرفی هر افزودنی جدید، نیازمند بررسی پژوهشی تأثیرات آن می‌باشد. بنابراین در این پژوهش برای کاهش مصرف الیاف از طریق جایگزینی الیاف با پرکننده، تأثیر کاربرد کربنات کلسیم رسوبی و پروتئین سویا به‌صورت منفرد و نیز پیش‌اختلاط یافته، بر کاغذ بازیافتی از کاغذهای باطله چاپ و تحریر بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

خمیرکاغذ: الیاف مورد استفاده در این پژوهش از نوع خمیرکاغذ بازیافتی از مخلوط کاغذهای باطله چاپ و تحریر بوده که از نقطه آماده ارسال به ماشین کاغذ در کارخانه خمیر و کاغذ اترک و با درجه روانی کانادائی (CSF) ۴۰۰±۵۰ میلی‌لیتر و میزان خاکستر ۷/۲ درصد دریافت و پس از آبگیری توسط الک با مش ۴۰۰، هواخشک و بسته‌بندی شد.

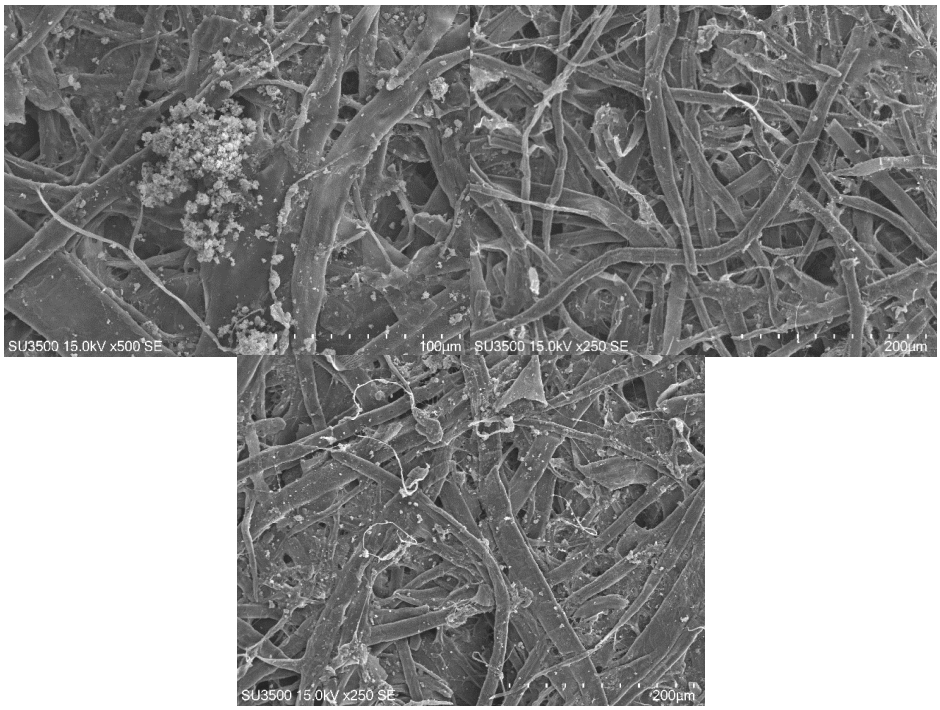
مواد افزودنی: پرکننده کربنات کلسیم رسوبی (PCC) به شکل پودر سفید و بی‌بو با خلوص ٪۹۸/۵ از موجودی مصرفی صنایع چوب و کاغذ مازندران تهیه و در سه سطح ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد بر مبنای وزن خشک کاغذ استفاده شد. پروتئین سویای ایزوله‌شده تولیدی شرکت Tianjing چین با درجه غذائی به‌صورت پودر زردرنگ و با میزان پروتئین بیش از ٪۸۵ از مؤسسه تحقیقات کشاورزی گرگان تهیه شد. به‌منظور پیش‌اختلاط، پروتئین سویا در آب مقطر به‌مدت ۱۰ دقیقه با شدت ۸۰ نوسان[1] در دستگاه التراسونیک[2] حل‌شده و سپس در دو سطح ۱۰ و ۱۵ درصد وزن PCC به PCC افزوده شد. روش انحلال کامل پروتئین به‌صورت تجربی به‌دست آمد که در شرایط ملایم‌تر، ذرات پروتئین به‌صورت کلوئیدی رسوب می‌نمود.

آزمون کاغذ دست‌ساز: ساخت کاغذ آزمایشگاهی و ارزیابی ویژگی‌های آن بر اساس استانداردهای آئین‌نامه TAPPI به‌شرح زیر انجام گرفت: تهیه کاغذ دست‌ساز (T 205 SP-02)، ضخامت (T 411 om-05)، گراماژ (T 410 om-02)، حجیمی (T411om-05)، براقیت (T 452 om-02)، ماتی (T 425 om-01)، شاخص ترکیدن (T 403 om-02). از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Hitachi ساخت ژاپن موجود در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید بهشتی برای تهیه ریزنگاره از نمونه‌های کاغذ استفاده شد.

1- Amplitude
2- Ultrasonic

نتایج و بحث

تصاویر میکروسکوپ الکترونی: مقایسه سطوح کاغذهای حاوی و فاقد پرکننده در میکروسکوپ الکترونی روبشی، به‌خوبی حضور و دلمه‌های پرکننده‌ها را نشان داد. با این‌حال ذراتی در تصویر نمونه شاهد قابل مشاهده است که با توجه به ماهیت خمیرکاغذ بازیافتی از انواع کاغذهای چاپ و تحریر واجد پرکننده، به ذرات پرکننده اولیه موجود در کاغذهای بکر اولیه و انتقال آن‌ها به کاغذ بازیافتی مستند می‌گردد.

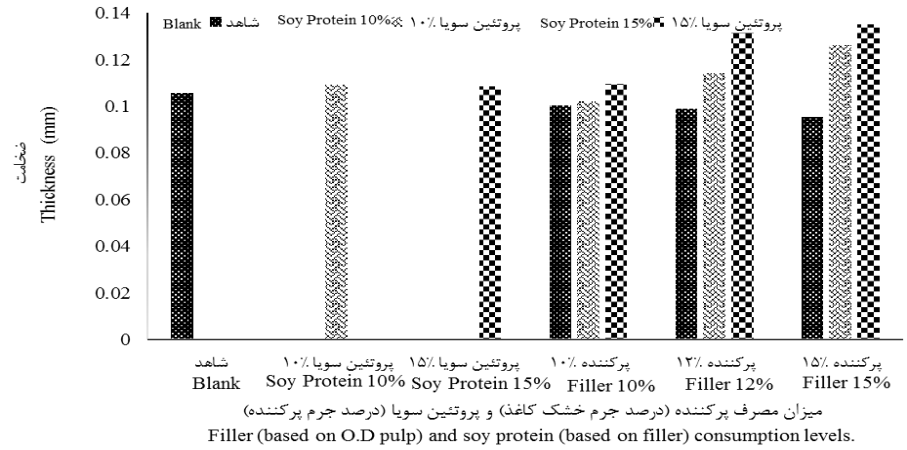


شکل ۱- تصاویر SEM از سطح کاغذهای حاوی پرکننده و پروتئین سویا پیش‌اختلاط‌شده (راست)، شاهد (چپ) و پرکننده منفرد (پائین).

Figure 1. The SEM images of premixed filler and soy protein (right), blank (left) and individually filler (bottom) paper surfaces.

ضخامت: ضخامت کاغذ از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی کاغذ و مقوا است که از منظر کاربردهای بسته‌بندی، نوسانات ضخامتی بسیار مهم و حساس می‌باشد. این ویژگی جنبه تأثیرگذار مهمی بر سفتی خمشی بوده که در مقواها دارای اهمیت بسیار است. در کاربرد منفرد پروتئین سویا، افزایش اندک ضخامت کاغذ از ۱۰۵ به ۱۰۹ میکرومتر مشاهده گردید که می‌تواند به محتوی چربی موجود در پروتئین و کاهش ماهیت آبدوستی دوغاب و در نتیجه افت نیروی موئینگی در فشرده‌سازی نمد الیاف خیس مربوط گردد. افزایش ضخامت کاغذ بر اثر حضور عوامل آبگریز در ساختار کاغذ که منجر به ممانعت از تراکم و فشردگی کاغذ می‌شود در آهاردهی نیز ثابت شده است (۷). در نقطه مقابل، کاربرد منفرد پرکننده و جایگزینی الیاف توسط آن، به‌طور پیوسته منجر به کاهش ضخامت کاغذ به ۹۵ میکرومتر گردید. ماهیت زمخت الیاف بازیافتی و انعطاف‌پذیری پائین به ضخامت بیش‌تر کاغذ در مقایسه با کاغذی با میزان الیاف کم‌تر و پرکننده بیش‌تر منجر می‌گردد. در عین‌حالی که ماندگاری کم‌تر پرکننده در مقایسه با الیاف نیز می‌تواند کاهش ضخامت را در پی داشته باشد. با این‌حال پیش‌اختلاط پرکننده کربناتی با

پروتئین سویا، افزایش ضخامت کاغذ در همه سطوح جایگزینی الیاف با پرکننده پیش‌اختلاط‌شده با پروتئین را به‌همراه داشته است. دلمه‌سازی پرکننده توسط بسپار پروتئینی بر سطح الیاف سلولزی و حفظ پرکننده در ساختار شبکه کاغذ را می‌توان عامل افزایش ضخامت در تیمارهای واجد پرکننده پیش‌اختلاط‌شده عنوان کرد.

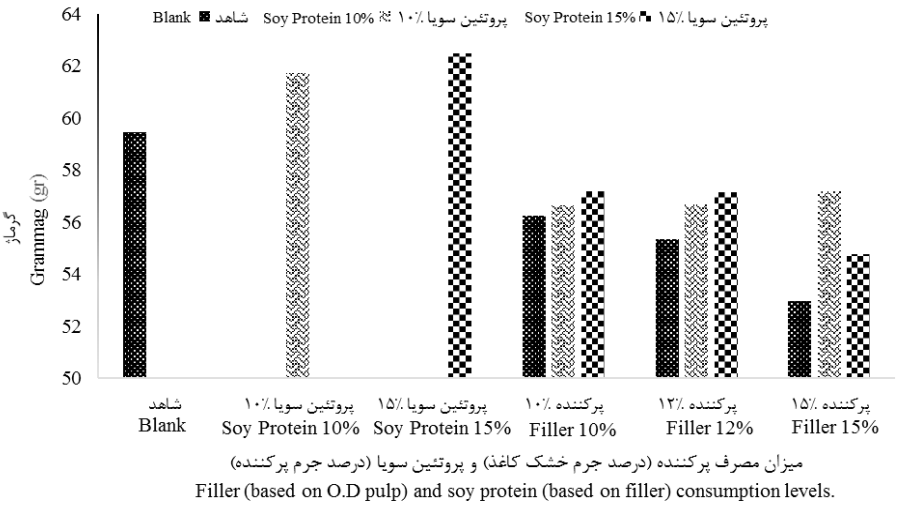


شکل ۲- تأثیر افزودن پرکننده و پروتئین سویا پیش‌اختلاط‌شده بر ضخامت کاغذ.

Figure 2. The addition effect of premixed filler and soy protein on paper thickness.

گراماژ: برای محاسبه شاخص‌های ویژگی‌های مقاومتی، گراماژ مورد نیازست و مقادیر عددی بسیاری از ویژگی‌ها مانند مقاومت ترکیدن، ضخامت و حجیمی نیز متأثر از آن است. کاربرد منفرد پروتئین سویا منجر به افزایش گراماژ کاغذ تولیدی از خمیرکاغذ بازیافتی شده و کاربرد بیش‌تر بسپار پروتئین، بهبود گراماژ را به‌همراه داشته است. به‌نحوی‌که افزایش ٪۵ گراماژ نسبت به تیمار شاهد فاقد افزودنی قابل گزارش است. با توجه به ثابت بودن سطح، تنها دلیل تغییرات گراماژ، به جرم مواد تشکیل‌دهنده کاغذ مربوط می‌گردد. به‌عبارتی دیگر، کاربرد بسپار پروتئین در دوغاب خمیرکاغذ بازیافتی منجر به ارتقای ماندگاری اجزای قابل عبور از توری و تبدیل آن‌ها به کاغذ شده که منجر به جرم بیش‌تر سطح مشخصی از کاغذ تولیدی گردیده است. تفسیر ارائه‌شده در بخش ضخامت مبنی بر دلمه‌شدن پرکننده بر الیاف و نگهداشت آن‌ها که منجر به افزایش ضخامت کاغذ می‌گردد، در این‌جا نیز مصداق داشته و قابل استناد است. افزایش گراماژ کاغذ تولیدی به‌ویژه در خمیرکاغذهای بازیافتی، بسیار مفید و مطلوب است؛ چرا که هدررفت مواد اولیه از روی توری به درون آب‌های فرایندی و تشدید آلودگی فرایند و نیز پساب‌های کارخانه را کاهش داده و ارتقای بهره‌وری تولید را نیز رقم می‌زند (۸، ۱۲ و ۱٤). کاهش ماندگاری اجزای دوغاب خمیرکاغذ به‌واسطه جایگزین نمودن اجزای لیفی توسط پرکننده‌های پودری، واقعیتی شناخته شده است. چرا که ابعاد بسیار ریزتر و ماهیت غیرلیفی پرکننده‌ها، سهولت عبور از منافذ توری و کاهش جرم واحد سطح کاغذ تولیدی در مقایسه با کاغذ ساخته‌شده از ٪۱۰۰ الیاف را موجب می‌گردد. بنابراین کاهش گراماژ مشاهده‌شده در این پژوهش بر اثر کاربرد پرکننده به‌جای الیاف

لیگنوسلولزی، قابل انتظار و بدیهی است که با افزایش سهم جایگزینی پرکننده، تغییرات گراماژ به‌طور پیوسته نزولی بوده است. ولی پیش‌اختلاط پرکننده با پروتئین سویا منجر به بهبود گراماژ کاغذ در تمامی سطوح جایگزینی پرکننده گردیده است. تا جائی که غالباً مانع از کاهش گراماژ بر اثر افزایش سهم کاربرد پرکننده در دوغاب خمیرکاغذ بازیافتی گردیده است. بهبود نگهداشت ذرات ریز پرکننده‌های پودری از طریق دلمه‌سازی آن‌ها بر سطح الیاف به‌واسطه ماهیت بسپاری پروتئین را در توجیه تغییرات فوق می‌توان برشمرد (۱۴ و ۱۶).

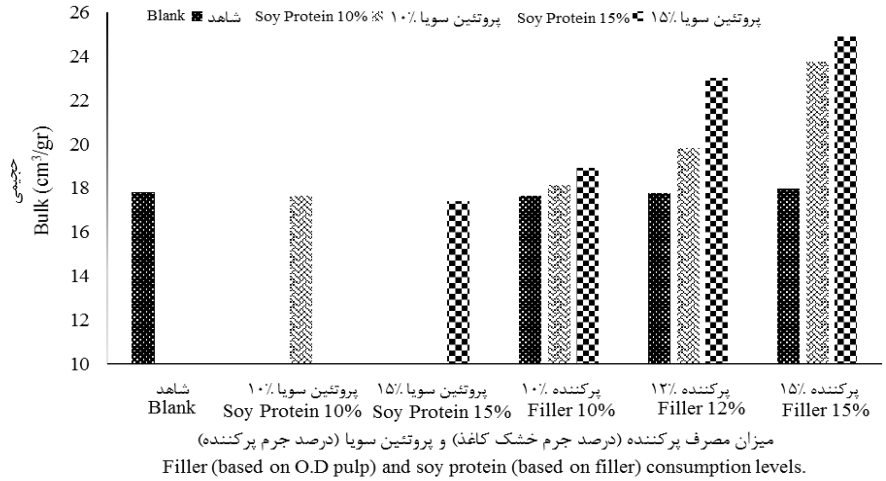


شکل ۳- تأثیر افزودن پرکننده و پروتئین سویا پیش‌اختلاط‌شده بر گراماژ کاغذ.

Figure 3. The addition effect of premixed filler and soy protein on paper grammage.

حجیمی کاغذ: حجیمی و نیز مقاومت به عبور هوا، نشان‌دهنده ساختار داخلی کاغذ می‌باشند که علاوه بر کیفیت و کمیت اجزای دوغاب خمیرکاغذ، تحت‌تأثیر شکل‌گیری کاغذ و چگونگی توزیع اجزای آن است. عموماً افزایش حجیمی و به تبع آن کاهش دانسیته کاغذ، منجر به افت مقاومت‌های مکانیکی می‌شود. چرا که درهم‌رفتگی و اتصالات درون شبکه کاغذ در مقایسه با کاغذ متراکم و با حجیمی پائین، کم‌تر است. به‌طورکلی پرکننده‌ها به‌شرط حفظ و حضور در ساختار کاغذ، به‌واسطه تداخل در پیوندیابی الیاف و ممانعت از تماس مستقیم الیاف، علاوه بر نقصان مقاومتی می‌توانند افزایش ضخامت کاغذ را درپی داشته باشند. از آن‌جائی‌که ضخامت بخش تأثیرگذار فرمول حجیمی است، افزایش ضخامت منجر به افزایش حجیمی فرآورده سلولزی می‌گردد. با این‌حال عدم ماندگاری کامل پرکننده و نیز قرارگیری بخشی از پرکننده‌ها در فضاهای خالی بین لیفی- و نه روی لیف- و تعویض بخشی از دوغاب خمیرکاغذ از حالت لیفی به حالت پودری می‌تواند تأثیرات در پیش‌گفته‌شده افزایش ضخامت و حجیمی کاغذ را خنثی کنند. نتایج ضخامت کاغذ (شکل ۲) به‌خوبی در سازگاری با این استدلال بوده و کاهش ضخامت را نشان می‌دهد. به‌همین دلایل در این پژوهش، نتایج حجیمی با کاربرد ۱۰٪ پرکننده ابتدا به سطحی کم‌تر از تیمار شاهد افت کرده و سپس با افزایش درصد پرکننده، در مقایسه با نمونه شاهد ارتقا یافته و فقط

در سطح افزودن ٪۱۵ پرکننده؛ برتری نسبت به نمونه شاهد را موجب گردید. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز حضور و دلمه‌شدن پرکننده‌ها بر سطح الیاف را تأیید نموده است (شکل ۱). کاربرد منفرد بسپار پروتئین سویا منجر به کاهش حجیمی گردید که با توجه به افزایش گراماژ (شکل ۳) و نیز کاهش ضخامت (شکل ۲) در تیمارهای مزبور، قابل استدلال است. نکته جالب توجه افزایش چشمگیر حجیمی کاغذها بر اثر کاربرد پرکننده‌های پیش‌اختلاط شده با پروتئین سویا است که به‌طور پیوسته هم با افزایش درصد پرکننده و نیز درصد پروتئین، بهبود حجیمی را در پی داشته است. مراجعه به ویژگی‌های ضخامت و گراماژ کاغذ در تیمارهای مزبور بیانگر افزایش هر دو ویژگی دارد. بنابراین، پیش‌اختلاط پرکننده کربنات کلسیم رسوبی با بسپار پروتئین سویا منجر به بهبود نگهداشت کامپوزیت پرکننده- پروتئین عمدتاً بر سطوح الیاف شده است. وجود گروه‌های فراوان آمینی (NH_x)، هیدروکسیلی (OH)، کربونیلی (C=O) و کربوکسیلی (COOH) در ساختار زنجیره‌های بسپاری پروتئین (۱۸-۱۵)؛ جاذبه مناسبی برای برقراری پیوندهای هیدروژنی، پیوندهای عرضی آمیدی و نیز نیروی الکترواستاتیکی را فراهم آورده که منجر به دلمه‌شدن پرکننده پیش‌اختلاط یافته با پروتئین بر سطوح الیاف می‌گردد تا علاوه بر ممانعت عبور از ساختار کاغذ و افزایش گراماژ، افزایش ضخامت کاغذ را نیز موجب گردد (١٤). در نتیجه و به‌واسطه نرخ رشد بالاتر ضخامت در مقایسه با گراماژ، کاغذ تولیدی از حجم بیش‌تر و دانسیته کم‌تری برخوردار گشته است.

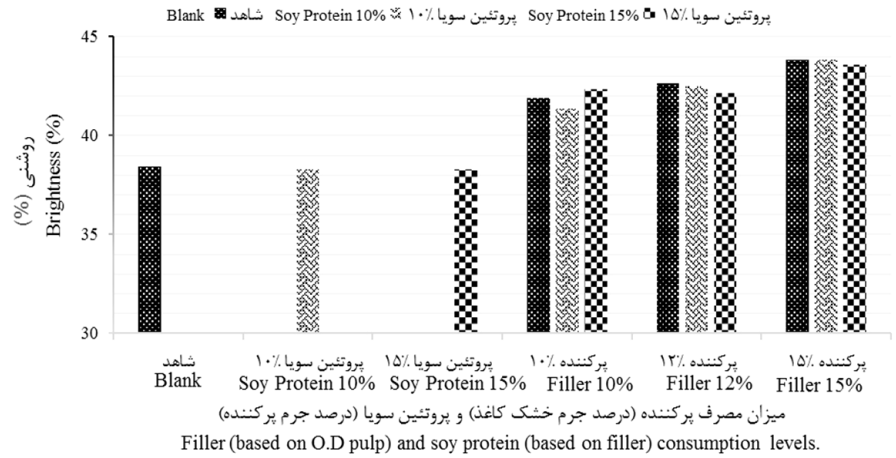


شکل ٤- تأثیر افزودن پرکننده و پروتئین سویا پیش‌اختلاط‌شده بر حجیمی کاغذ.

Figure 4. The addition effect of premixed filler and soy protein on paper bulk.

روشنی: بر خلاف کاغذهای بسته‌بندی قهوه‌ای، تغییرات ویژگی‌های نوری در کاغذ و مقواهای سفید یا پشت طوسی مورد توجه می‌باشند. از آن‌جائی‌که خمیرکاغذ تمایل بیش‌تری به جذب نور آبی در مقایسه با دیگر طیف‌های نور دارد، روشنی شاخص مناسبی از کیفیت نوری خمیرکاغذ تلقی گشته و روشنی بالاتر منجر به سفیدتر دیده‌شدن کاغذ می‌گردد. کاربرد پرکننده در هر دو حالت منفرد و

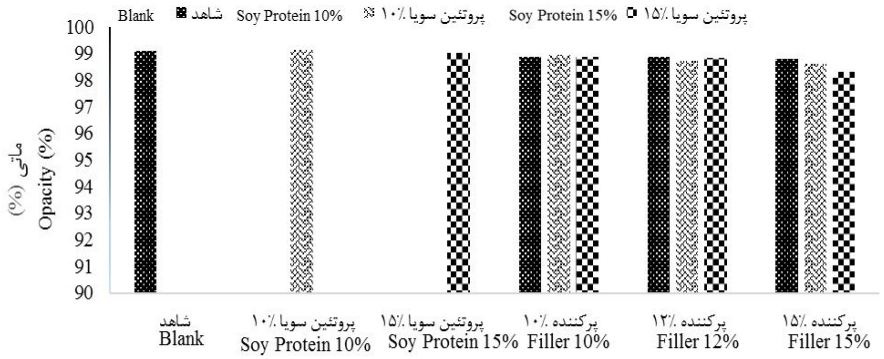
پیش‌اختلاط‌شده با پروتئین سویا منجر به بهبود روشنی کاغذ بازیافتی از کاغذهای باطله چاپ و تحریر گردید. روشنی بالاتر کربنات کلسیم در مقایسه با خمیرکاغذ بازیافتی حاوی باقی‌مانده‌های ذرات جوهر دلیل افزایش درجه روشنی است. چرا که حذف بخشی از خمیرکاغذ مزبور و افزودن کربنات کلسیم به‌جای آن، معدل روشنی ورقه کاغذ را ارتقا داده است. کاربرد منفرد پروتئین سویا کاهش ناچیز روشنی کاغذ را سبب گشته که در تیمارهای کامپوزیت پرکننده- پروتئین نیز کاهش مزبور نسبت به کاربرد پرکننده منفرد قابل گزارش است. ماهیت ذاتی زرد متمایل به کرم رنگ پودر پروتئین سویا، به‌عنوان دلیل روشنائی پائین‌تر تیمارهای مزبور قابل ذکر می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵- تأثیر افزودن پرکننده و پروتئین سویا پیش‌اختلاط‌شده بر روشنی کاغذ.

Figure 5. The addition effect of premixed filler and soy protein on paper brightness.

ماتی: ماتی به‌عنوان ویژگی نوری بنیادی کاغذ شناخته‌شده که متأثر از ضخامت، نوع و میزان پرکننده، شدت رنگ‌بری، نوع و میزان اندود می‌باشد. حضور پرکننده‌ها به‌واسطه مسدودنمودن معابر نور و پراکنده‌ساختن پرتوی نوری، منجر به افزایش ماتی کاغذ می‌گردد. با این‌حال در این پژوهش، کاربرد پرکننده‌ها در هر دو حالت پیش‌اختلاط‌شده با پروتئین و نیز نوع طبیعی، تأثیر ملموسی بر ماتی کاغذ نداشته و کاربرد منفرد پروتئین سویا نیز بدون تأثیر بوده است. ماهیت بازیافتی خمیرکاغذ و حضور فراوان نرمه، بقایای جوهر و نیز پرکننده‌های منتقل‌شده از کاغذهای اولیه که می‌تواند منجر به انسداد کافی و پراکنش مناسب نور گردد، احتمالاً دلیل ملموس نبودن تغییرات ماتی بر اثر کاربرد پرکننده به‌جای بخشی از خمیرکاغذ بازیافتی بوده است.

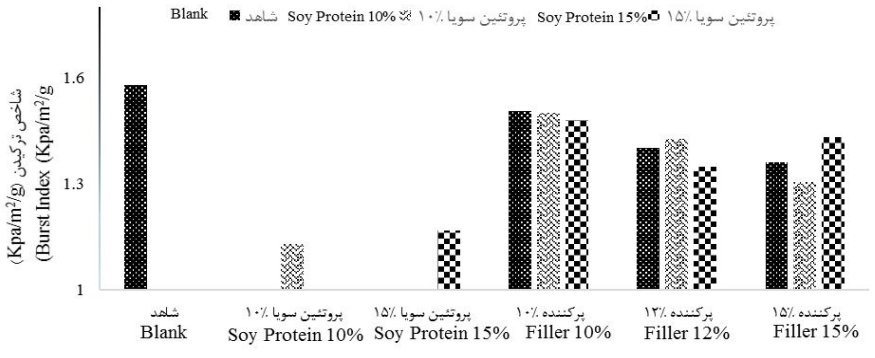


میزان مصرف پرکننده (درصد جرم خشک کاغذ) و پروتئین سویا (درصد جرم پرکننده)
Filler (based on O.D pulp) and soy protein (based on filler) consumption levels.

شکل ٦- تأثیر افزودن پرکننده و پروتئین سویا پیش‌اختلاط‌شده بر ماتی کاغذ.

Figure 6. The addition effect of premixed filler and soy protein on paper opacity.

مقاومت به ترکیدن: این ویژگی معیاری ترکیبی از ویژگی‌های ساختاری کاغذ، به‌ویژه مقاومت کششی و نیز افزایش طول[1] است که در تجارت به‌ویژه کاغذهای بسته‌بندی بسیار مورد توجه و استناد است. کاهش مقاومت‌های کاغذ بر اثر کاربرد پرکننده‌ها، بدیهی و پذیرفته شده است (٤). چرا که علاوه بر حذف بخشی از الیاف لیگنوسلولزی و جایگزین‌شدن پرکننده معدنی، عدم توانائی برقراری پیوند با الیاف و نیز ممانعت از پیوندهای بین لیفی توسط پرکننده‌ها منجر به نقصان مقاومتی کاغذ می‌گردد که در کاربرد منفرد کربنات کلسیم مشاهده گردید. ولی بر خلاف انتظار، افزودن پروتئین سویا به دوغاب خمیرکاغذ بازیافتی منجر به کاهش مقاومت ترکیدن کاغذ گردید. با توجه به نتایج افزایش ضخامت کاغذ در تیمارهای مزبور (شکل ۲)، کاهش پیوندیابی ناشی از بخش چربی‌دوست ساختار پروتئین در استدلال کاهش مقاومتی قابل ذکرست. پیش‌اختلاط پروتئین با پرکننده از روند تأثیرات مشخصی بر مقاومت ترکیدن برخوردار نبوده که دلیلی برای آن یافت نشد؛ در عین‌حالی که راهکار پیش‌اختلاط نتوانست نقصان مقاومتی ناشی از کاربرد پرکننده‌ها را جبران نماید (شکل ۷).



میزان مصرف پرکننده (درصد جرم خشک کاغذ) و پروتئین سویا (درصد جرم پرکننده)
Filler (based on O.D pulp) and soy protein (based on filler) consumption levels

شکل ۷- تأثیر افزودن پرکننده و پروتئین سویا پیش‌اختلاط‌شده بر شاخص ترکیدن کاغذ.

Figure 7. The addition effect of premixed filler and soy protein on paper Burst index.

1- Elongation

نتیجه‌گیری

روند افزایش مصرف پرکننده‌ها در صنایع کاغذ به دلایل مختلف فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی؛ تعیین شدت اثرات مثبت و منفی کاربرد پرکننده در دوغاب خمیرکاغذ را برجسته نموده است. بنابراین در این پژوهش اثرات استفاده از سطوح مختلف افزودن کربنات کلسیم رسوبی و نیز حالت پیش‌اختلاط‌یافته پروتئین سویا- کربنات کلسیم بر ویژگی‌های کاغذ بازیافتی از کاغذهای باطله چاپ و تحریر بررسی گردید. پیش‌اختلاط پرکننده کربنات کلسیم رسوبی با پروتئین سویا منجر به افزایش ماندگاری و نشست پرکننده بر سطوح الیاف سلولزی گردید که توسط تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تأیید شد. گراماژ و ضخامت کاغذهای حاوی کربنات کلسیم پیش‌اختلاط‌شده با پروتئین سویا نیز افزایش یافت. ماهیت پلی‌الکترولیتی بسپار پروتئین منجر به اتصال پرکننده‌ها به یکدیگر و نیز سطوح الیاف گردیده که در مقایسه با تیمارهای فاقد پروتئین، به‌طور مشهودی افزایش گراماژ و ضخامت را درپی داشته است. نکته جالب توجه، افزایش گراماژ کاغذ بر اثر کاربرد منفرد پروتئین بوده که نقش کمک نگهدارندگی پروتئین سویا را تأیید می‌نماید. حجیمی کاغذهای بازیافتی به‌طور بارزی بر اثر پیش‌اختلاط پروتئین با پرکننده افزایش یافت. در حالی‌که کاربرد منفرد هر یک از افزودنی‌های پرکننده و پروتئین، فاقد اثرات مشاهده شده در حالت پیش‌اختلاط بوده است. روشنی کاغذهای حاوی انواع پرکننده پیش‌اختلاط‌شده و نشده با پروتئین سویا، به‌طور چشم‌گیری نسبت به نمونه شاهد فاقد پرکننده و نیز کاغذ حاوی پروتئین سویا افزایش یافت. با این‌حال ماتی کاغذ تغییر ملموسی را در تیمارهای مختلف نشان نداد. شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای بازیافتی حاوی هر یک از افزودنی‌های معدنی (پرکننده) و آلی (پروتئین سویا) و نیز کامپوزیت پیش‌اختلاط‌یافته آن‌ها در مقایسه با نمونه شاهد، کاهش داشته که روند کاهشی پیوسته‌ای نیز با افزایش سهم پرکننده منفرد قابل گزارش است.

منابع

1. Alince, B., Bednar, F., and Vande, T.G.M. 2001. Deposition of calcium particles on fiber surfaces induced by cationic polyelectrolyte and bentonite. Colloids and surfaces A: physicochemical and engineering aspects. 190: 1. 71-80.
2. Antunes, E., Garcia, F.A.P., Ferreira, P., and Rasteiro, M.G. 2008. Flocculation of PCC filler in papermaking: Influence of the particle characteristics. Chemical Engineering Research and Design. 86: 10. 1155-1160.
3. Beazley, K.M., Dennison, S.R., and Taylor, J.H. 1975. The influence of mineral fillers on paper strength: Its mechanism and practical means of modification, Preprints ESPRA European Mtg., Maastricht, the Netherlands, Pp: 217-241.
4. Bown, R. 1996. Physical and chemical aspects of the use of fillers in paper, in paper Chemistry, chapter 11, Roberts, J.C. (ed.), Backie academic and professional, 1996. Pp: 194-230.
5. Bown, R. 1997. "Particle size, shape and structure: effects of fillers on paper," Proceedings of PIRA International conference on use of minerals in papermaking, Pira publications, Manchester, UK, Pp: 62-78.
6. Dastidara, T.G., and Netravali, A.N.A. 2013. Soy flour based thermoset resin without the use of any external cross linker. Green Chemistry, 15: 3243-3251.
7. Elyasi Bakhtyari, Sh., Jalali Torshizi, H., and Resalati, H. 2016. Alkyl ketene dimer (AKD) sizing of recycled-virgin

cardboard with engineered heterogeneous layers under neutral and alkaline condition. J. Wood For. Sci. Technol. 23: 1. 1-19. (In persion)
8. Gullichsen, J., and Paulapuro, H. 1999. Papermaking Chemistry, Papermaking Science and Technology 19 series, Paper Engineers' Association Press, Finland. 330 Pp.
9. Howe, C., Hogan, R., and Wilds, S. 2011. Soy chemicals for paper processing. United Soybean Board. September. Pp: 30-33.
10. Kellor, R.L. 1947. Defatted Soy Flour and Grits. J. Amer. Oil Chem. Soc. 51: 77-79.
11. Naijian, F., Resalati, H., Rudi, H., Jalali Torshizi, H., and Pirmoradian, K. 2017. Effect of alum-cationic rosin consumption level on the properties of papers made from recycled white paper trimmings. Iran. J. Wood Paper Sci. Res. 32: 2. 238-250. (In persion)
12. Pourkarim Dodangeh, H., and Jalali Torshizi, H. 2018. The effect of cellulose nanofibres on cationic starch efficiency in pulp and paper recycled from packaging waste paper. Iran. J. Wood Paper Indus. 9: 2. 187-197. (In persion)
13. Rudi, H., Jalal Torshizi, H., and Rasooly Garmaroudy, E. 2017. Comparison of the performance of filler type on paper properties in the presence of cationic rosin sizing agent. Iran. J. Wood Paper Sci. Res. 32: 2. 215-226. (In persion)
14. Safizadeh, A., Jalali Torshizi, H., Rudi, H., and Partoei Nia, A. 2018. Effect of Precipitated Calcium Carbonate and Soy Protein on Properties of Writing and Printing Recycled Pulp. Iran. J. Wood Paper Sci. Res. 33:3. 311-322 (In persion)
15. Salam, A., Lucia, L.A., and Jameel, H. 2015. A new class of biobased paper dry strength agents: synthesis and characterization of soy-based polymers. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 3: 3. 524-532.
16. Shen, J., Song, Z., Qian, X., and Liu, W. 2009. Modification of papermaking grade fillers: A brief review. BioResources. 4: 1190-1209.
17. Tayeb, A.H., Hubbe, M.A., Pal, L., Tayeb, P., and Rojas, O.J. 2017. Soy proteins as a sustainable solution to strengthen recycled paper and reduce deposition of hydrophobic contaminants in papermaking: A bench and pilot-plant study. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. (DOI: 10.1021/ acssuschemeng. 7b01425).
18. Xu, Z., Liu, Y., and Wang, Zh. 2015. A Survey of soy protein as a novel dry strength agent for papermaking. Advanced Materials Research, 1073: 239-243.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 26 (1), 2019
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2019.15667.1770

Premixing of isolated soy protein retention-aid polymer with precipitated calcium carbonate filler on properties of recycled writing and printing paper

A. Safizadeh[1], *H. Jalali Torshizi[2], H.R. Rudi[2] and A. Partovinia[2]
[1]M.Sc., Faculty of New Technologies Engineering, Shahid Beheshti University, Iran,
[2]Assistant Prof., Faculty of New Technologies Engineering, Shahid Beheshti University, Iran
Received: 09.29.2018; Accepted: 02.26.2019

Abstract

Background and Objectives: Paper is considered as a composite produced of lignocellulosic fibers and mineral and/or organic additives. The lignocellulosic fibers shortage together with economical, technical and environmental aspects ever increased mineral fillers application in papermaking. In order to improve the recycled pulp properties, the filler consumption is highly considered, recently. Therefore, effects of precipitated calcium carbonate (PCC) and its premixing with isolated soy protein (ISP) on paper properties recycled from writing and printing papers were investigated.

Materials and Methods: Pulp recycled from printing and writing papers was supplied from Atrak Pulp and Paper Co. stock preparation point without any additives. PCC (10, 12 and 15% based on O.D paper mass) and ISP (10 and 15% based on PCC mass) were added individually and as the premixed composite to the recycled pulp. Laboratory hand sheets (60 g/m^2) were made and have been compared according to SEM images, opacity, brightness, caliper, grammage, bulk and burst strength.

Results: SEM images revealed fillers presence in paper structure and its flocculation due to the ISP polymer usage. Increasing of filler addition replacing the recycled fibers reduced caliper, grammage and burst index of paper and also increased the bulk and brightness, continuously. Individually addition of ISP and without filler increased grammage and caliper and reclined burst index, without effect on the other properties. PCC-ISP premixing drastically improved caliper, bulk and the paper grammage, but opacity and brightness were stable compared to ISP-free samples.

Conclusion: PCC-ISP premixing enhanced bulk, caliper, grammage, brightness and in some cases burst strength of paper from recycled printing and writing papers. Retention behavior of ISP polymer was proved by scanning electron microscopy observations, in addition to the physical properties. The retention role is an important benefit regarding to several aspects of economical and environmental due to higher productivity and the biomaterial loss reduction, resp. Processing features also take benefits because of blockage and shutdown decrease and production rate increment. Lipophilic part of ISP is probably hindered fiber bonding, resulted in structure strengthening, unevenly.

Keywords: Isolated soy protein, Precipitated calcium carbonate, Writing and printing recycled paper properties

*Corresponding author: h_jalali@sbu.ac.ir