

**تأثیر کربنات کلسیم رسوبی و پروتئین سویا بر ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی از کاغذهای باطله چاپی و نوشتاری**علی صفی‌زاده<sup>۱</sup>، حسین جلالی ترشیزی<sup>۲\*</sup>، حمیدرضا رودی<sup>۲</sup> و علی پرتوی‌نیا<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، پست الکترونیک: H\_jalali@sbu.ac.ir

۳- استادیار، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۷

**چکیده**

لزوم بازیافت انواع کاغذ و مقوا از جنبه‌های مختلف روشن بوده و ارزش افزوده چشمگیری را به‌ویژه در مورد کاغذهای چاپ و نوشتاری به‌همراه دارد. کاربرد پرکننده‌های معدنی و نیز افزایش سهم آنها در تولید کاغذ مورد توجه روزافزونی است و در صورت کاربرد در خمیر کاغذهای بازیافتی، مضاعف شدن مزایا را به‌همراه داشته که اخیراً مورد پژوهش قرار گرفته‌است. ماهیت الیاف بازیافتی و نیز تمایل به کاربرد پرکننده‌ها، استفاده از افزودنی‌های مقاومت خشک را اجتناب‌ناپذیر کرده است و چسب‌های طبیعی و اقتصادی برای تأمین این هدف، همیشه مورد تقاضا می‌باشند. در این راستا، تأثیر پرکننده کربنات کلسیم رسوبی (PCC) و پروتئین سویا بر ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی کاغذهای باطله چاپی و نوشتاری بررسی شد. تصاویر SEM ماندگاری پرکننده‌ها را تأیید نموده که با نتایج درصد خاکستر کاغذ نیز سازگار بود، اما افزایش سهم پرکننده منجر به کاهش خاکستر گردید. پروتئین سویا منجر به بهبود ماندگاری پرکننده اولیه موجود در خمیر کاغذ بازیافتی و نیز PCC شد. همچنین نگهداشت پرکننده اولیه موجب افزایش ماندگاری کل در حضور پروتئین سویا شده و تأثیر مشابهی نیز در کاربرد همزمان PCC و پروتئین سویا نسبت به عدم حضور پروتئین قابل گزارش داشت. به‌طوری‌که عدم کاربرد پروتئین منجر به کاهش معنی‌دار ماندگاری کل خمیر کاغذ بازیافتی گردید. ماهیت پلیمری و دارا بودن گروه‌های عاملی متنوع در زنجیره زیست‌بسیار پروتئین سویا در تفسیر این نتایج قابل‌ذکر است. افزودن پروتئین سویا منجر به بهبود معنی‌دار درجه روانی خمیر کاغذ فاقد PCC تا حدود ۸٪ شده که این تأثیر در پیش‌اختلاط با بالاترین سطح کاربرد PCC (۱۵٪) نیز مشاهده گردید. کاربرد PCC بجای بخشی از الیاف بازیافتی نیز منجر به بهبود معنی‌دار درجه روانی شد. نتایج مشاهده‌شده درجه روانی توسط زمان آبگیری از خمیر کاغذ نیز تأیید گردید. کاربرد PCC در تمامی سطوح ۱۰، ۱۲، ۱۵٪ و نیز پیش اختلاط آن با پروتئین سویا منجر به کاهش غیرمعنی‌دار جذب آب کاغذ شد. با این حال، شاخص کششی کاغذ به‌دلیل کاربرد PCC و پروتئین سویا کاهش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** کربنات کلسیم رسوبی، پروتئین سویا، ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی چاپی و نوشتاری**مقدمه**

می‌گردد. به‌طور کلی، مواد غیرلیفی شامل افزودنی‌هایی هستند که باهدف تغییر در ویژگی‌های فرآورده (افزودنی‌عاملی) و فرایند و یا هر دو استفاده می‌شوند. پرکننده‌های معدنی از جمله مهم‌ترین و پرکاربردترین افزودنی‌های عاملی کاغذسازی

کاغذ ترکیبی از الیاف لیگنوسلولزی، مواد معدنی و آلی است که با توجه به کاربرد و وظایف تعریف‌شده برای آن، از منظر نوع الیاف و مواد غیرلیفی، دامنه‌ای متنوع را شامل

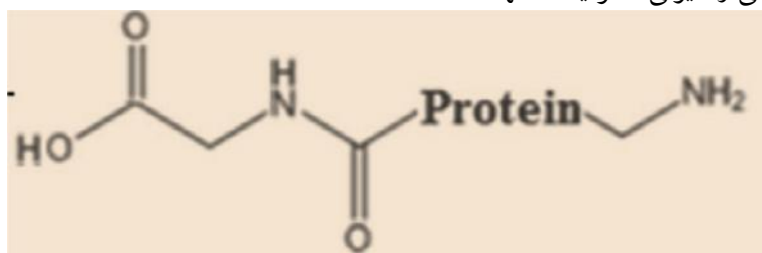
پرکننده‌ها و قابلیت پیوندیابی، اصلاح آنیونی (توسط CMC) یا اصلاح غیریونی (توسط صمغ‌ها) با هدف قابلیت پیوندیابی پرکننده‌های معدنی، اصلاح فیزیکی پرکننده‌ها در جهت بهبود بهره‌وری و در نهایت اصلاح اسیدی پرکننده‌ها برای بهبود مقاومت اسیدی آنها (Alince et al., 2001). در مقایسه با الیاف کاغذسازی، کربنات کلسیم رسوبی<sup>۱</sup> (PCC) پرکننده‌ای نسبتاً ارزان، قابل دسترس و کارآمدی است که نسبت به سایر پرکننده‌ها نیز به لحاظ ایجاد توازن بهتر بین خواص چاپ‌پذیری و خواص مقاومتی کاغذ مزیت دارد (Alince et al., 2001). از این رو در صورت کاربرد تلفیقی کربنات کلسیم رسوبی و پلیمرها، علاوه بر کسب مزایای مصرف بیشتر پرکننده‌ها در کاغذسازی، توازن مناسب‌تری نیز بین ویژگی‌های فرآورده‌ای و فرایندی ایجاد می‌شود. اخیراً فرآورده‌های مبتنی بر پروتئین سویا، قابلیت جذاب و جدیدی را به‌عنوان یکی از نسل‌های آینده افزودنی‌های زیست‌بنیان کاغذسازی به‌ویژه برای بهبود مقاومت خشک کاغذ، ارائه نموده است (Salam et al., 2015; Jin et al., 2012). سویا از مهمترین منابع پروتئین گیاهی است و کاربردهای مختلفی شامل خوراک دام، جوهر چاپ، چسب، پوشش کاغذ، رنگ، کود، آهارزنی منسوجات، اسپری‌های حشرات و مکمل‌های غذایی دارد. پس از روغن‌کشی از دانه‌های سویا، حذف پوسته و آسیاب کردن، پودر سویا را می‌توان به‌صورت مخلوطی از زیست‌بسیارها دانست که حاوی تقریباً ۳۲٪ کربوهیدرات، ۵۱٪ پروتئین، ۵٪ چربی و نیز بقیه آب، ویتامین‌ها و مواد معدنی است (Salam et al., 2015). پروتئین سویا دارای زنجیره پلیمر خطی بلندی متشکل از اسیدهای آمینه قطبی و غیرقطبی با دامنه وزن مولکولی ۶۰۰-۱۵۰ کیلودالتون است. بخش قطبی زنجیره مزبور جایگاه پیوند شیمیایی و اتصال عرضی بوده که در نتیجه آن، بهبود ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی، گرمایی و همچنین کاهش آبدوستی را به‌همراه دارد (Dastidara, 2013). گروه‌های عاملی هیدروکسیلی، آمینی، کربوکسیلی و تیولی موجود در

(دومین ماده) محسوب می‌شوند (Hamzeh, & Rostampour, 2008). دادوستد در بازار جهانی مواد شیمیایی کاغذسازی در سال ۲۰۱۰ در حدود ۵۱ میلیون تن و با ارزشی بیش از ۱۷/۸ میلیارد دلار بوده که همانند بسیاری از دیگر صنایع، صنایع کاغذسازی نیز پیگیر جایگزینی مواد شیمیایی سنتزی با مواد شیمیایی طبیعی و دوستدار محیط‌زیست است. مزایا و ویژگی‌های متنوع پرکننده‌ها و نیز الزامات رقابتی حاصل از کاربرد آنها از یکسو و نیز مواجهه روزافزون صنعت کاغذسازی با محدودیت‌های تأمین مواد اولیه لیگنوسولوزی، به‌ویژه در مناطقی با فقر منابع لیفی مانند ایران؛ کاربرد و افزایش سطح کاربرد پرکننده‌ها در ترکیب نهایی دوغاب کاغذسازی را به‌عنوان یکی از اولویت‌های برجسته این صنعت مطرح و مورد پیگرد قرار داده است. کاربرد پرکننده‌ها در تولید کاغذهای چاپ و تحریر به‌دلیل کاهش قیمت تمام‌شده فرآورده و نیز ایجاد بهبود کیفی در ویژگی‌های کاغذ تولیدی است. زیرا به‌علت ویژگی‌های برتر نوری پرکننده‌ها نسبت به الیاف سلولوزی، باعث بهبود ویژگی‌های ماتی و روشنی کاغذ شده و افزایش کیفیت چاپ، صافی سطح و پایداری ابعادی کاغذ حاوی پرکننده را به‌همراه دارد (Shen et al., 2009; Laufmann, 1998). با این حال و وجود مزایای مزبور، عدم توزیع یکنواخت و ماندگاری کم پرکننده، افت ویژگی‌های مکانیکی کاغذ و افزایش آلودگی آب‌های فرایندی و نیز پساب ناشی از عدم ماندگاری کامل پرکننده‌ها و ورود آنها به چرخه‌های آب کارخانه؛ از مهمترین معایب پرکننده‌ها محسوب می‌شوند (Alince et al., 2001). در این میان، عدم امکان پیوند بین ذرات پرکننده و الیاف و نیز ممانعت از پیوندهای بین فیبری و در نتیجه افت مقاومت مکانیکی کاغذ مهمترین نقصان پرکننده‌ها شناخته شده است (Zhao et al., 2005). کاربرد تلفیقی پرکننده‌ها با افزودنی‌های مقاومت خشک از زمینه‌های جذاب پژوهش‌های صنعتی برای بهره‌گیری بیشینه از مزایای پرکننده‌هاست. از جمله راهکارهای متداول در راستای افزایش کاربرد پرکننده‌های معدنی، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: اصلاح کاتیونی (توسط نشاسته کاتیونی) با هدف تغییر بار سطحی

1-Precipitated Calcium Carbonate

آب بالایی را نیز داراست (Connie, 2001).

ساختار پروتئین (شکل ۱)، علاوه بر اعطای ماهیت آمفوتری (دارا بودن هر دو گروه کاتیونی و آنیونی)، ظرفیت نگهداشت



شکل ۱- ساختار پروتئین و گروه‌های عاملی آن (Salam et al., 2015)

نوشته‌ای بازیافتی؛ بررسی گردید.

### مواد و روش‌ها

خمیر کاغذ بازیافت‌شده از مخلوط کاغذهای چاپی و نوشته‌ای، از کارخانه خمیر و کاغذ اترک و از نقطه آماده ارسال به ماشین کاغذ با درجه روانی کانادایی (CSF)  $40 \pm 50$  میلی‌لیتر تهیه و پس از آبگیری (با مش ۴۰۰) و خشک کردن در هوای آزاد، برای کاربردهای مراحل بعدی بسته‌بندی شد. پرکننده کربنات کلسیم رسوبی (PCC) به شکل پودر سفیدرنگ و بی‌بو با درجه 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 نیز به صورت پودری زردرنگ و با درصد پروتئین بالای ۸۵٪ از مؤسسه تحقیقات کشاورزی گرگان تهیه و در دو سطح ۱۰ و ۱۵ درصد وزن PCC با آن پیش اختلاط گردید. به منظور پیش اختلاط، پروتئین سویا در آب مقطر به مدت ۱۰ دقیقه و شدت ۸۰ نوسان<sup>۲</sup> در دستگاه التراسونیک<sup>۳</sup> حل شد. محلول مزبور با pH حدود ۵/۵ به کمک سود سوزآور به pH حدود ۱۰ افزایش یافته و بعد به PCC افزوده شد. pH دوغاب خمیر کاغذ مورد استفاده در ساخت کاغذ در حدود ۷/۵ بوده است. ساخت کاغذ دست‌ساز و ارزیابی ویژگی‌های خمیر کاغذ و کاغذ بر اساس

Jin و همکاران (2012) با کاربرد پودر پروتئین سویا به عنوان افزودنی مقاومت خشک، موفقیت آن را در کاغذسازی نشان دادند که به تشکیل شبکه پیوندهای هیدروژنی بین پروتئین سویا و الیاف خمیر کاغذ نسبت داده شد. با این حال تاکنون و به دلیل تراکم بسیار پائین گروه‌های عاملی پیونددهنده هیدروژنی (Salam et al., 2015) (شکل ۱) بهبود مقاومتی ناشی از پروتئین سویا در مقایسه با افزودنی‌های تجاری مقاومت خشک قابل رقابت نگردیده است. بررسی تأثیر آرد سویا در خمیر کاغذهای کرافت، OCC و NSSC؛ افزایش مقاومت‌های کششی، ترکیدن و STFI را نشان داد (Salam, 2015). Tayeb و همکاران (۲۰۱۷) نیز در بررسی تأثیر پروتئین سویا<sup>۱</sup> بر کاغذ بازیافتی، افزایش شاخص کشش و بهبود زبری، تخلخل و شکل‌گیری کاغذ را گزارش نمودند. به طور کلی، کلید موفقیت در فرایند کاغذسازی برای به حداقل رساندن هزینه‌ها؛ انتخاب صحیح افزودنی‌ها است و معرفی هر افزودنی جدید، نیازمند بررسی پژوهشی تأثیر آن بر فرایند و فراورده می‌باشد. بنابراین در این پژوهش و با عنایت به تمایل شرکت خمیر و کاغذ اترک، به عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده مقوای دوبلکس در خاورمیانه بر کاهش هزینه‌ها از طریق جایگزینی الیاف توسط پرکننده‌ها، تأثیر کربنات کلسیم رسوبی و پروتئین سویا بر خمیر کاغذ لایه میانی مقوای چندلایه؛ با ترکیب لیفی خمیر کاغذهای چاپ و

2- Amplitude  
3-Ultrasonic

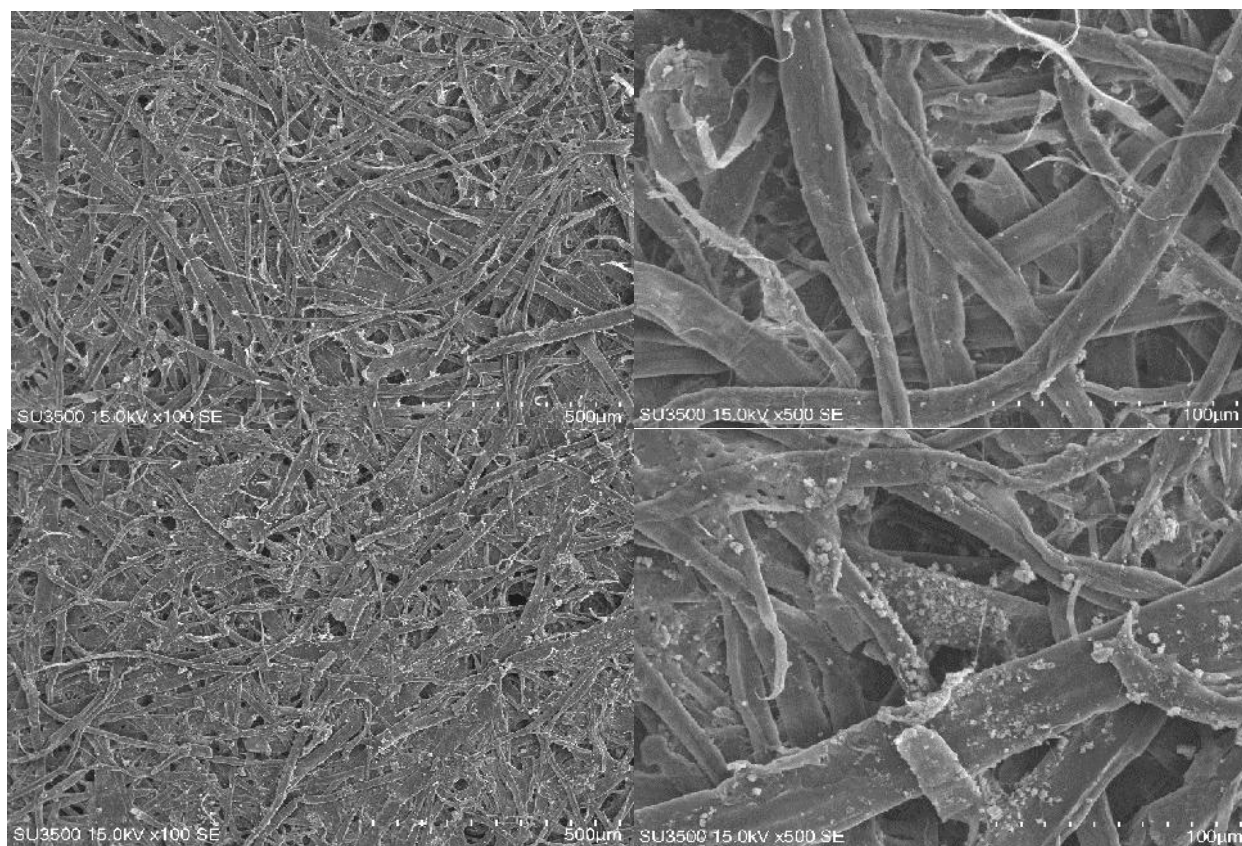
1- Soy Protein

داشت که به صورت گروه‌بندی دانکن مشخص شد. تصاویر SEM مقایسه و ارزیابی ریزنگاره‌های میکروسکوپ الکترونی از سطح کاغذهای حاوی و فاقد پرکننده کربنات کلسیم رسوبی (شکل ۲)، حضور و ماندگارشدن مواد معدنی مزبور را در ساختار شبکه لیفی کاغذ تأیید نمود. بنابراین، اثرات حضور تأییدشده کربنات کلسیم توسط تصاویر SEM بر ویژگی‌های خمیرکاغذ و کاغذ حاصل از آن در ادامه آمده‌است. با دقت در تصویر نمونه شاهد (بالا راست)، آثاری از مواد پودری قابل مشاهده است. منشأ آثار مزبور به ماهیت خمیرکاغذ بازیافت‌شده از کاغذهای باطله حاوی پرکننده مستند می‌گردد. به عبارتی دیگر، پرکننده‌های موجود در نسل قبلی کاغذ، به خمیرکاغذ و در نهایت کاغذ دست‌ساز منتقل شده است. این استناد به کمک ویژگی خاکستر (شکل ۵) نیز تأیید و تقویت می‌گردد.

استانداردهای آئین‌نامه TAPPI به شرح زیر انجام شد: درجه روانی کانادایی (T227 om-92)، تهیه کاغذ دست‌ساز (T205 SP-02)، ضخامت (T411 om-05)، شاخص کششی (T494 om-88)، شاخص پارگی (T414 om-88)، روشنی (T452 om-98)، ماتی (T425 om-96)، خاکستر (ماندگاری پرکننده T413 om-93). ماندگاری کل نیز از نسبت بین جرم کاغذ تولیدی به کل جرم مواد دوغاب خمیرکاغذ به دست آمد که به صورت درصد بیان گردید.

### نتایج

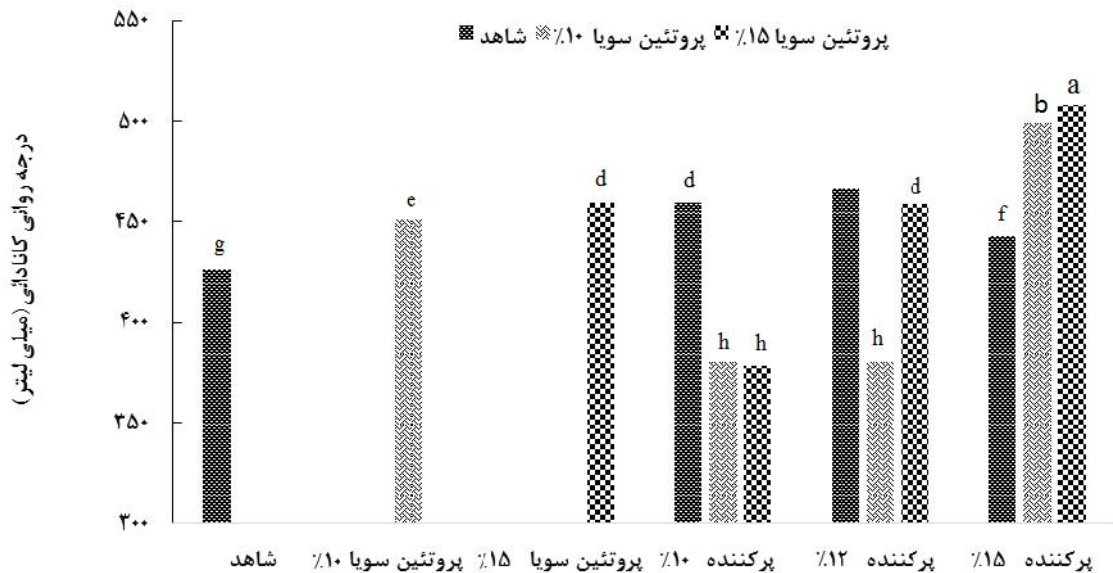
تأثیر کاربرد پرکننده رایج کربنات کلسیم رسوبی در دو حالت منفرد و نیز پیش‌اختلاط یافته با پروتئین سویا در ترکیب خمیرکاغذ بازیافتی از کاغذهای چایی و نوشتاری در شکل‌های ۷-۲ آمده است. تحلیل آماری داده‌ها حکایت از وجود تفاوت معنی‌دار آماری بین شرایط مختلف مورد مطالعه



شکل ۲- ریزنگاره‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) کاغذهای حاوی (پائین) و فاقد پرکننده (بالا)

تأثیرگذاری متغیرهای فرایندی بر اقتصاد تولید است. زیرا زهکشی پائین از دوغاب خمیرکاغذ مترادف با تولید کمتر و افزایش هزینه تولید است.

درجه روانی: از جمله مهمترین ویژگی‌های اولیه خمیرکاغذ، قابلیت خروج آب از دوغاب خمیرکاغذ است که با درجه روانی سنجیده می‌شود. کیفیت و کمیت زهکشی آب از دوغاب خمیرکاغذ، همیشه عاملی مهم در ارزیابی



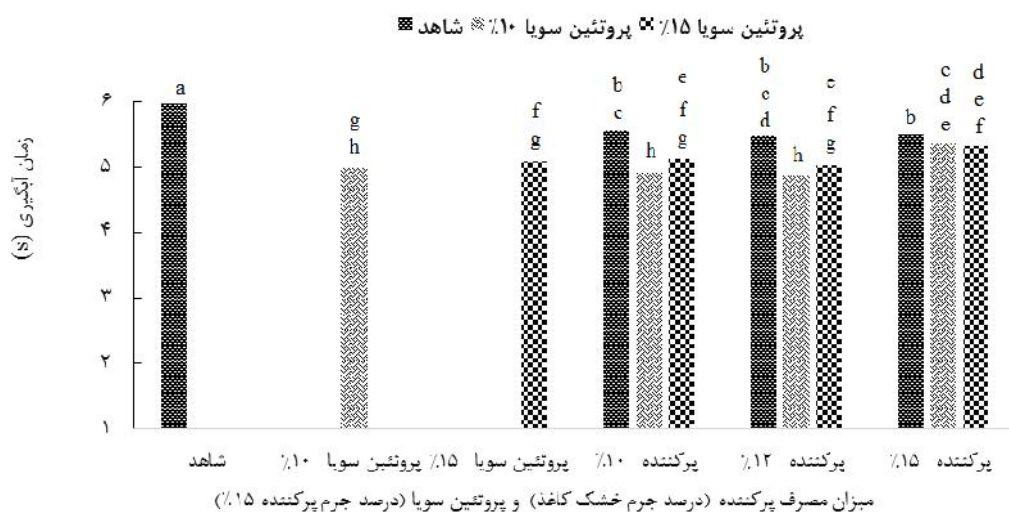
میزان مصرف پرکننده (درصد جرم خشک کاغذ) و پروتئین سویا (درصد جرم پرکننده ۱۵٪)

شکل ۳- تأثیر کاربرد پرکننده و پروتئین سویا ایزوله بر درجه روانی خمیرکاغذ بازیافتی از کاغذهای چاپی و نوشتاری

افزودنی‌های مزبور بوده است.

زمان‌آبگیری: چگونگی آبگیری در دستگاه کاغذساز آزمایشگاهی و ارتباط آن با کیفیت شکل‌گیری کاغذ دست‌ساز، داده‌ای مناسب را برای کمک به تفسیر نتایج فراهم می‌آورد. زیرا تکرارپذیری بالای آن براساس استاندارد ساخت کاغذ، درجه اطمینان و اعتبار بالایی را به همراه دارد. بررسی و مقایسه روند تغییرات درجه روانی و زمان آبگیری، بیشتر با یکدیگر سازگار بوده است. به طوری که کاربرد پرکننده و نیز پروتئین سویا منجر به سهولت زهکشی آب از دوغاب خمیرکاغذ گردیده است. پیش اختلاط پرکننده کرنات کلسیم با پروتئین سویا نیز به طور معنی‌داری کاهش زمان آبگیری از دوغاب خمیرکاغذ را نسبت به تیمار شاهد منجر گردیده است.

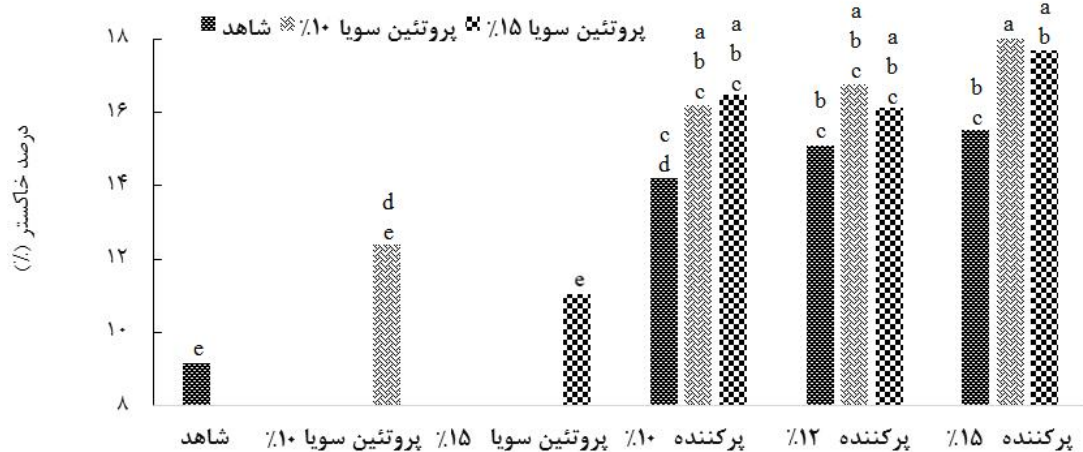
ارزیابی درجه روانی خمیرکاغذ بازیافتی از کاغذهای چاپ و نوشتاری (تحریر) حاوی پرکننده PCC و نیز پروتئین سویا در حالت کاربرد منفرد آنها، افزایش معنی‌دار سهولت آبگیری از دوغاب خمیرکاغذ مزبور را نسبت به نمونه شاهد (۴۲۶ میلی‌لیتر) نشان داد. پیش اختلاط PCC و پروتئین سویا نیز همگی تفاوت‌های آماری معنی‌داری را نسبت به نمونه شاهد فاقد افزودنی رقم‌زده که به‌ویژه در سطوح بالای اختلاط آنها، افزایشی بوده است. تاجایی که، بالاترین درجه روانی مشاهده شده در این پژوهش (۵۰۸ سی‌سی)، در حضور ۱۵٪ پرکننده (نسبت به جرم کاغذ) و نیز ۱۵٪ درصد پروتئین سویا (نسبت به جرم پرکننده) مشاهده شد. همچنین تفاوت آماری معنی‌داری نیز بین مقادیر کاربرد پرکننده و پروتئین سویا مشاهده گردید که بیشتر همراه با بهبود درجه روانی متناسب با افزایش کاربرد



شکل ۴- تأثیر کاربرد پرکننده و پروتئین سویا ایزوله بر زمان آبیگری از خمیر کاغذ بازیافتی از کاغذهای چایی و نوشتاری

به طور کلی کاغذهای چایی و نوشتاری حاوی پرکننده می باشند. به طوری که در عدم حضور پروتئین، مواد مزبور معدنی به دلیل ماهیت بسیار نرم و پودری خود از توری دستگاه عبور می کنند. اما کاربرد پروتئین سویا منجر به نگهداشت آنها شده که البته تفاوت معنی داری بین سطوح مصرف پروتئین مشاهده نشد. بدون استثناء، پیش اختلاط پرکننده با پروتئین سویا منجر به افزایش درصد خاکستر کاغذ تولیدی شد که حکایت از بهبود ماندگاری اجزای معدنی موجود در دوغاب خمیر کاغذ دارد. در حالت پیش اختلاط نیز تفاوت آماری معنی داری بین سطوح ۱۰ و ۱۵ درصد پروتئین مورد استفاده در پیش اختلاط با پرکننده مشاهده نگردید (شکل ۵). به طور کلی افزایش ماندگاری پرکننده و مواد معدنی در کاغذ در حال شکل گیری و در پی آن، کاهش عبور و ورود مواد مزبور به چرخه آب های فرایندی؛ مزایای متعدد و چشمگیری را از جنبه های متنوع دربر خواهد داشت.

ماندگاری پرکننده (درصد خاکستر): نگهداشت افزودنی های مورد استفاده در پایانه تر کاغذسازی، از مهمترین وظایف و انتظارات این بخش بوده که اهمیت آن به طور روزافزونی و به دلایل متنوع اقتصادی، فنی و زیست محیطی در حال افزایش است. ماهیت لیاف بازیافتی و قابلیت پایین تر آنها از منظر شیمی سطح و پدیده های سطحی، نگهداشت افزودنی ها به ویژه از نوع غیرمتجانس با لیاف - مانند پرکننده های معدنی را عموماً با چالش همراه نموده است. به همین دلیل و با وجود ماندگاری معنی دار حدود ۵۰ درصدی پرکننده های به کاررفته، قابل قبول نبوده و با افزایش سهم پرکننده ها در دوغاب خمیر کاغذ نیز از درصد ماندگاری آن کاسته شده است (شکل ۵). نکته جالب توجه، افزایش درصد خاکستر کاغذ آزمایشگاهی به دلیل کاربرد منفرد پروتئین سویا است که بجز از میزان ناچیز اجزای معدنی پروتئین، عمدتاً می تواند به نگهداشت مواد معدنی نشئت گرفته از کاغذهای بازیافتی چایی و نوشتاری تعمیم یابد. زیرا



میزان مصرف پرکننده (درصد جرم خشک کاغذ) و پروتئین سویا (درصد جرم پرکننده ۱۵٪)

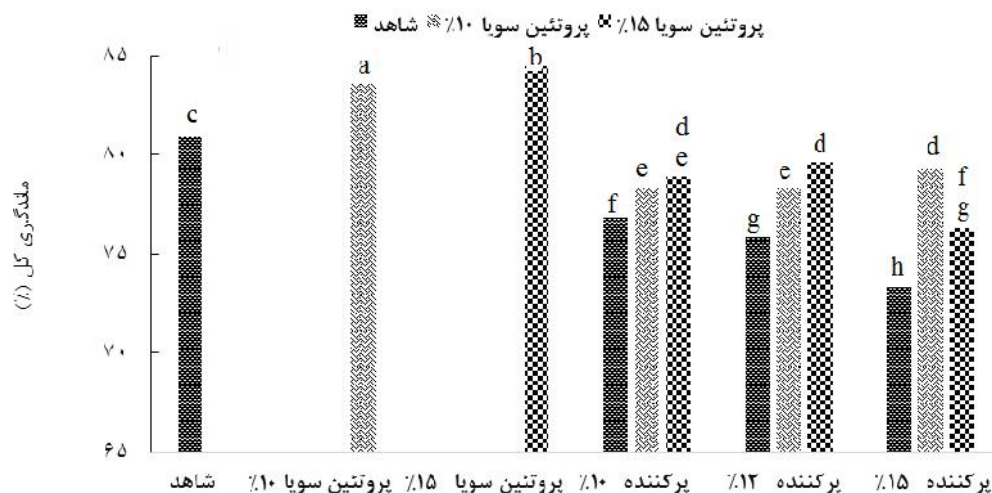
شکل ۵- تأثیر کاربرد پرکننده و پروتئین سویا ایزوله بر درصد خاکستر خمیر کاغذ بازیافتی از کاغذهای چاپی و نوشتاری

ماندگاری کل مؤثر است. متأثر از ماندگاری پرکننده، افزایش کاربرد پرکننده به طور معنی داری ماندگاری کل را نیز کاهش می دهد. اما پیش اختلاط پرکننده با پروتئین سویا، بهبود معنی دار و برجسته ماندگاری کل، به ویژه در سطوح بالای کاربرد پرکننده را موجب شده و کمترین فاصله (۱/۳٪) را با تیمار شاهد (فقط مواد لیفی) رقم زده است. البته تشکیل ساختاری شبکه مانند توسط زنجیره های پلیمری پروتئین و نگهداشت مواد قابل عبور از منافذ توری بر سطح الیاف و تبدیل به محصول کاغذی، در توجیه بهبود ماندگاری کل و نیز ماندگاری پرکننده در ساختار لیفی کاغذ قابل ارائه و استناد می باشد.

جذب آب کاغذ: ویژگی جذب آب در تمامی فرآورده های سلولزی دارای اهمیت بسیاری است. جذب بودن کاغذ نسبت به سیالات در برخی موارد مطلوب (فرآورده های بهداشتی جذب)، در برخی کاربردها نامطلوب (فرآورده های بسته بندی) و در بسیاری موارد نیز تا حد مشخصی مطلوب (فرآورده های در معرض چاپ) می باشد. در لایه میانی مقوای چندلایه که هدف این پژوهش است، کمینه جذب آب مدنظر و مورد انتظار است؛ زیرا به دلیل سهم بالای این لایه ها در ساختار جرمی و حجمی مقوا، می تواند تأثیر چشمگیری بر قابلیت جذب آب مقوا داشته باشد. سهم گیری پرکننده های معدنی غیر آبدوست در

ماندگاری کل: میزان بهره وری تولید در هر فرایندی جزو مهمترین ویژگی های مورد انتظار و رصد پیوسته برای ارتقا است که در شیمی پایانه تر کاغذسازی، با مفهوم ماندگاری کل بیان می گردد. کاربرد افزودنی معدنی پرکننده و افزودنی آلی پروتئین سویا، تأثیر معنی داری بر میزان ماندگاری کل و میزان تبدیل مواد اولیه به محصول نهایی داشته است. اما ماهیت تغییرات در دو افزودنی مزبور بعکس بوده است. به نحوی که ماهیت غیر لیفی پرکننده ها و عدم توانایی برقراری پیوند شیمیایی با شبکه لیفی کاغذ، ماندگاری پائین را موجب می گردد که افزایش سهم پرکننده ها در دوغاب خمیر کاغذ موجب تشدید ماندگاری پائین می شود که در سازگاری کامل با نتایج این پژوهش است. پیش اختلاط پرکننده/پروتئین موجب بهبود عمدتاً معنی دار ماندگاری کل اجزای دوغاب خمیر کاغذ شد؛ در عین حالی که نتوانست سطحی متناظر با تیمار شاهد را کسب نماید. نکته جالب توجه، افزایش چشمگیر و معنی دار ماندگاری کل اجزای دوغاب خمیر کاغذ با کاربرد منفرد پروتئین سویا است که حکایت از نرخ تبدیل بالاتر فرایند تولید (حدود ۴٪) و کاهش آلاینده گی از طریق تولید پساب کمتر خواهد بود. روندی مشابه در ماندگاری پرکننده ها (شکل ۵) نیز مشاهده گردید که طبیعتاً به طور مستقیم بر

ساختار به شدت آبدوست سلولزی/لیگنوسلولزی فرآورده‌های کاغذی، قاعدتاً کاهش تمایل و توانایی جذب آب کاغذ را به همراه داشته که در این پژوهش نیز کاهش جذب آب از میزان کاغذی، قاعدتاً کاهش تمایل و توانایی جذب آب کاغذ را



میزان مصرف پرکننده (درصد جرم خشک کاغذ) و پروتئین سویا (درصد جرم پرکننده ۱۵٪)

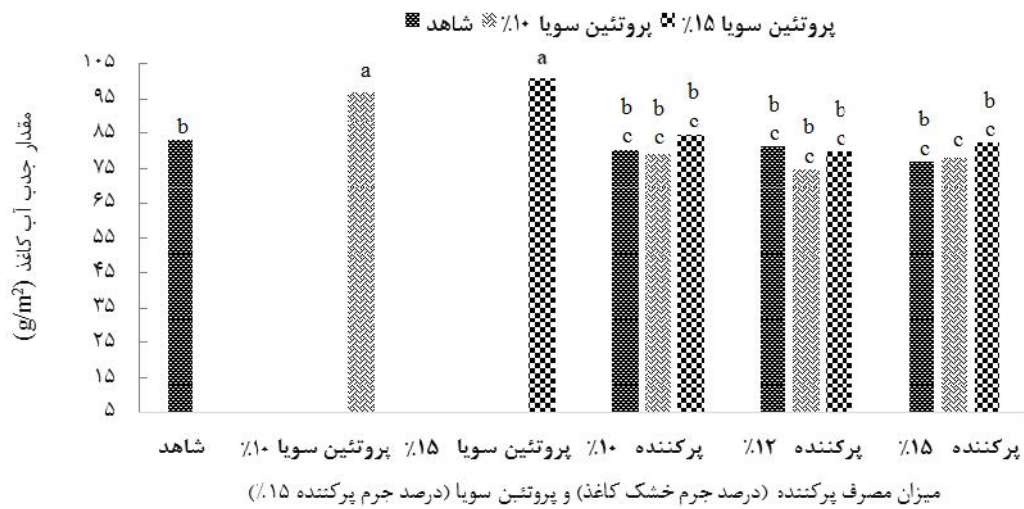
شکل ۶- تأثیر کاربرد پرکننده و پروتئین سویا ایزوله بر ماندگاری کل خمیرکاغذ بازیافتی از کاغذهای چاپی و نوشتاری

جذب آب کاغذ کمتر از نمونه شاهد فاقد افزودنی بوده است.

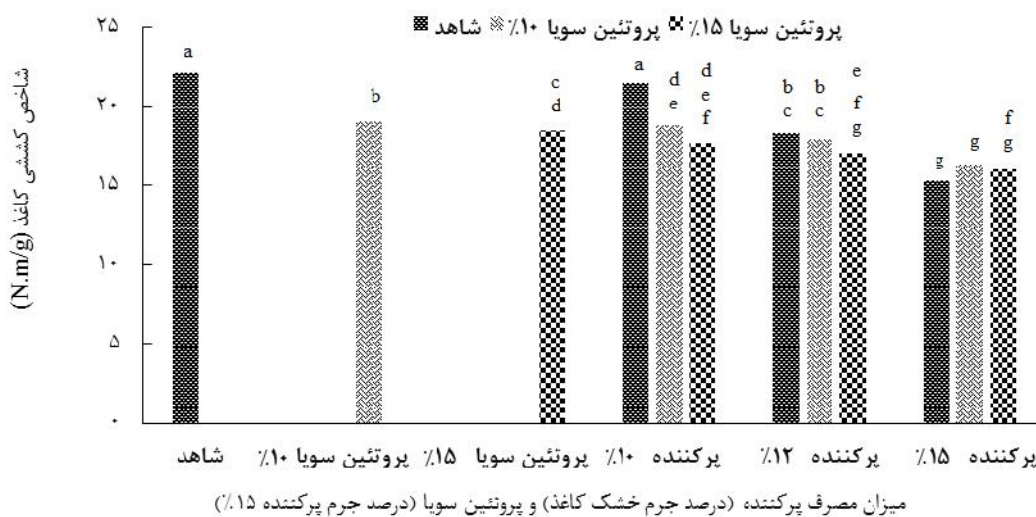
مقاومت کششی: استقامت و استحکام فرآورده‌های کاغذی در برابر تنش‌های متمایل به گسیختن شبکه الیاف، از اهمیت بالایی در ارزیابی کیفیت محصول برخوردار است. وجود پرکننده در دوغاب خمیرکاغذ، عموماً کاهش پیوندیابی اجزای کاغذ و تنزل مقاومتی را به همراه دارد. کاربرد و افزایش کاربرد کربنات کلسیم رسوبی در تلفیق با خمیرکاغذ بازیافتی به طور پیوسته و عمدتاً معنی‌داری منجر به کاهش شاخص کششی کاغذ شده و پروتئین سویا نیز از روند مشابهی برخوردار بوده است. پیش اختلاط ۱۰٪ پرکننده با پروتئین منجر به کاهش معنی‌دار شاخص کششی شده که میزان کاهش در سطح ۱۲٪ پرکننده کمتر شده و در سطح ۱۵٪ نسبت به نمونه پرکننده فاقد پروتئین، افزایش شاخص کششی را به همراه داشته است.

نکته جالب توجه، افزایش قابلیت جذب آب کاغذ بازیافتی بر اثر افزودن پروتئین سویا بوده که به طور معنی‌داری موجب برتری گردید. کنجاله سویا به عنوان پسماند در دسترس، فراوان و ارزان فرایند روغن‌کشی از دانه سویا، به طور اجتناب‌ناپذیری حاوی مقادیری مواد چرب است که ناشی از فرایند چربی‌زدایی ناکامل است. با وجود حضور مواد چرب مزبور، غلبه چشمگیر بخش آبدوست پروتئینی (حدود ۹۰٪) بر بخش آبگریز چرب آن (کمتر از ۱۰٪)، می‌تواند دلیل افزایش جذب آب کاغذ حاوی پروتئین سویا باشد. به تبع آن پیش اختلاط پروتئین با پرکننده، هرچند به طور غیرمعنی‌دار، اما عمدتاً افزایش جذب آب کاغذ آزمایشگاهی را به همراه داشته است. با این حال و به استثنای کاربرد ۱۰٪ پرکننده پیش اختلاط یافته با ۱۵٪ پروتئین (که ناشی از افزون بودن پروتئین می‌باشد)، در همه سایر تیمارهای دارای پرکننده، میزان





شکل ۷- تأثیر کاربرد پرکننده و پروتئین سویا ایزوله بر جذب آب کاغذ بازیافتی از کاغذهای چایی و نوشتاری



شکل ۸- تأثیر کاربرد پرکننده و پروتئین سویا ایزوله بر شاخص کششی کاغذ بازیافتی از کاغذهای چایی و نوشتاری

## بحث

(1999) و به ویژه در انواع خمیرکاغذهای بازیافتی که سرشار از نرمه‌ها و قطعات با سطح ویژه بالای آبدوست هستند، بر بهبود آبدوستی مؤثر است. بهبود آبدوستی از دوغاب خمیرکاغذ ناشی از کاربرد منفرد پروتئین سویا نیز می‌تواند به دو دلیل زیر باشد: (۱) بهبود دلمه‌سازی اجزای ریز و قابل عبور از منافذ توری و ماندگار شدن در نمود در حال شکل‌گیری کاغذ به دلیل وجود گروه‌های عاملی باردار (شکل ۱) که توسط داده‌های ماندگاری کل نیز تأیید گردید.

قابلیت کاربرد پرکننده‌های معدنی در ترکیب نهایی دوغاب خمیرکاغذ و نیز افزایش میزان آن، همیشه مورد توجه و علاقه کاغذسازان بوده است. در این راستا در این پژوهش، بهبود آبدوستی با کاربرد و نیز افزایش کاربرد پرکننده‌ها که غیر آبدوست هستند، مشاهده شد. بطور طبیعی کاربرد پرکننده‌ها منجر به کاهش سهم الیاف آبدوست در دوغاب خمیرکاغذ شده (Gullichsen, & Paulapuro, )

کششی کاغذ بازیافتی گردید. همان‌گونه که در شکل ۸ آمده‌است، کاهش شاخص کشش در کاربرد منفرد پرکننده قابل گزارش است که به‌ویژه در سطوح کاربرد ۱۵٪ و ۱۲٪ میزان کاهش معنی‌دار بوده است. کاهش مقاومت‌ها بر اثر کاربرد پرکننده، ناشی از اختلال در پیوندیابی اجزای لیفی و نیز فقدان توانایی پرکننده‌ها در ایجاد و برقراری پیوند است. اما کاربرد پرکننده پیش اختلاط یافته با پروتئین، منجر به کم شدن افت مقاومتی و درنهایت افزایش مقاومت نسبت به پرکننده منفرد (۱۵٪) شد که تأثیر پیش تیمار پرکننده را بر پیوندیابی نشان می‌دهد. با این حال، کاهش شاخص کشش به دلیل کاربرد منفرد پروتئین دور از انتظار بوده و شاید بتوان به تداخل بخش چربی دوست همراه پروتئین در پیوندیابی و نیز کاهش اتصالات نسبت داد که در حالت پیش اختلاط، صرف دلمه‌سازی پرکننده غیرآبدوست گردیده است.

#### سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند از همکاری و مساعدت مدیریت و متخصصان صنایع خمیر و کاغذ اترک قدردانی نمایند.

#### منابع مورد استفاده

- Alinec, 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.
- Howe, C., Hogan, R. and Wilds, S., 2011. Soy chemicals for paper processing. United Soybean Board. September: 30-33.
- Dastidara, T.G. and Netravali, A.N., 2013. A soy flour based thermoset resin without the use of any external cross-linker. *Green Chemistry*, 15: 3243-3251.
- Gullichsen, J. and Paulapuro, H., 1999. *Papermaking Chemistry, Papermaking Science and Technology 19 series*, Paper Engineers' Association Press, Finland.
- Hamzeh, Y. and Rostampour, A., 2008. *Principals of papermaking chemistry*, Tehran University Press, Tehran, 224p. (Translated in Persian).
- Jin, H., Lucia, L.A., Rojas, O.J., Hubbe, M.A. and Pawlak, J.J., 2012. Survey of soy protein flour as a

تأثیر میزان اسیدهای چرب حاضر در ترکیب پروتئین سویا (کمتر از ۱۰٪) که با افزایش آبگریزی کلی دوغاب خمیرکاغذ، تمایل به نگهداشت آب را کاهش و سهولت خروج آب را افزایش می‌دهد. لازم است یادآوری شود که افزایش درجه روانی با کاهش مصرف انرژی در بخش‌های توری و جعبه‌های مکشی ماشین کاغذ همراه بوده که اثرات آن در پرس و خشک‌کن نیز قابل‌دسترس و تسری است. به‌طورکلی پیش اختلاط PCC و پروتئین سویا عمدتاً منجر به افزایش آبگیری شده که برآیند اثرات پرکننده و پروتئین سویا بر دوغاب خمیرکاغذ بازیافتی مورد مطالعه بوده است. به‌کارگیری پرکننده‌های معدنی با آبدوستی پایین‌تر نسبت به الیاف لیگنوسلولزی و نیز حضور اسیدهای چرب در ساختار پروتئین سویا، عوامل تأثیرگذار و هم‌افزایی هستند که منجر به افزایش آبگیری از دوغاب خمیرکاغذ می‌شوند. نتایج زمان آبگیری در دستگاه کاغذساز آزمایشگاهی نیز بیشتر در سازگاری با نتایج حاصل از درجه روانی اندازه‌گیری شده براساس استاندارد کانادایی بوده که تفسیر ارائه شده پیشین در این ویژگی نیز قابل‌تعمیم و استناد است. کاربرد پروتئین سویا به‌طور منفرد یا در ترکیب با کربنات کلسیم رسوبی، افزایش درصد خاکستر کاغذ را به‌همراه داشته که در مورد حالت فاقد افزودن پرکننده، به ماندگارشدن پرکننده اولیه دوغاب خمیرکاغذ بازیافتی کاغذهای چاپی و نوشتاری منتسب می‌گردد. پروتئین سویا در تلفیق با پرکننده، افزایش نگهداشت پرکننده را نسبت به عدم حضور پروتئین سبب شده که به ماهیت پلیمری پروتئین و حضور گروه‌های عاملی قطبی و غیرقطبی آن مستند می‌گردد. استنادهای مزبور در تصاویر SEM نیز تأیید شد. ماندگاری کل نیز که تابع ماندگاری پرکننده است، از روندهای مشابهی پیروی کرده و استدلال‌های متناظری نیز برای آن قابل ذکر است. از منظر جذب آب، با وجود افزایش میزان جذب در کاربرد منفرد پروتئین، افزایش معنی‌داری بر کاربرد تلفیقی آن با پرکننده نداشته و بیشتر نیز نسبت به تیمار شاهد، میزان جذب آب کمتری را ایجاد نمود. به‌طورکلی کاربرد منفرد و هم‌زمان پرکننده و پروتئین سویا منجر به کاهش معنی‌دار شاخص

- Modification of papermaking grade fillers: A brief review. *BioResources*, 4: 1190-1209.
- 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).
- Zhao, Y., Hu, Z., Ragauskas, A.J. and Deng, Y., 2005. Improvement of paper properties using starch-modified precipitated calcium carbonate filler. *TAPPI Journal*, 4: 3-7.
- novel dry strength agent for papermaking furnishes. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 60: 9828-9833.
- Laufmann, M., 1998. Fillers for paper: A global view. *Proceedings from the PTS-Seminar wet end operation- Vorgange in der Siebparie*, 1-6. October. Munchen, Germany.
- 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.
- Shen, J., Song, Z., Qian, X. and Liu, W., 2009.

## Effect of precipitated calcium carbonate and soy protein on properties of writing and printing recycled pulp

A. Safizadeh<sup>1</sup>, H. Jalali Torshizi<sup>2</sup>, H. Rudi<sup>3</sup> and A. Partoeinia<sup>3</sup>

1-M.Sc., student, Faculty of New Technologies Eng., Shahid Beheshti University, Iran

2\*-Corresponding author, Assist. Prof., Faculty of New Technologies Eng., Shahid Beheshti University, Iran,  
email: H\_Jalali@sbu.ac.ir

3- Assist. Prof., Faculty of New Technologies Eng., Shahid Beheshti University, Iran

Received: April, 2018

Accepted: Feb., 2018

### Abstract

Resources conservation and the production of value added products requires the efficient recycling of different paper and board grades especially in writing and printing papers. Mineral fillers application at higher usage in papermaking are foreseen in recycled pulp utilization has recently been investigated. Also the characteristics of recycled fibers and interest in fillers, and in this respect, the application of dry strength additives has been an inevitable strategy. In these regards, the effects of precipitated calcium carbonate (PCC) and Soy Protein (SP) on recycled pulp produced from writing and printing waste papers (mixed office waste) were investigated. SEM micrographs proved the PCC retention which is in accordance with the paper ash content, but the ash content declined at higher filler addition. SP initially improved the retention of fillers present in recycled pulp and also the added PCC retention. Preservation of the filler in recycled paper caused higher total retention due to the presence of SP and the same effect can be reached in simultaneous application of PCC and SP compared to system without SP addition. Polymeric and various functional groups in the SP biopolymer could be attributed for these results. SP application improved freeness (CSF) of the recycled pulp up to 8% which was observed in the highest premixing of SP/PCC (15%). Substituting the recycled fibers by PCC also, significantly improved freeness. PCC application in the all studied levels (10, 12, & 15%) and its premixing by SP reduced the paper water absorbency without statistically significant effect. However, the paper tensile strength index declined by PCC and SP consumption.

**Keywords:** Precipitated Calcium Carbonate, Soy Protein, Writing and Printing, Recycled Pulp Properties.