پتانسیل استفاده از خمیرکاغذ ساقه گوجه فرنگی به عنوان الیاف بلند در تقویت خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم

حیدر حیدری اماموردیخان [۱]
سحاب حجازی[۲*]
محمد هادی آریائی منفرد [۳]

[۱] دانشجوی دکتری مهندسی صنایع خمیر و کاغذ، گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۳] استادیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:
shedjazi@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۴

چکیده

در این تحقیق، تقویت خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم تولیدی در ایران با استفاده از الیاف ساقه گوجه فرنگی تهیه شده با فرایند سودا–آنتراکینون مورد بررسی قرار گرفت. طول، قطر، قطر حفره سلولی، و ضخامت الیاف؛ نسبت رانکل، نسبت درهم رفتگی و ضریب انعطاف‌پذیری الیاف ساقه گوجه فرنگی اندازه‌گیری شدند. ترکیب شیمیایی ساقه گوجه فرنگی شامل درصد خاکستر، لیگنین، سلولز و همی‌سلولزها تعیین گردیدند. خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده از ساقه گوجه فرنگی در مدت ۱۸۰ دقیقه و با شرایط بهینه ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۲۰ درصد قلیایی‌ات فعال و ۰/۱ درصد آنتراکینون تولید شد. میانگین درصد بازده پس از غربال و عدد کاپا خمیرکاغذ ساقه گوجه فرنگی به ترتیب ۴۳/۰۹ و ۲۷/۳۳ اندازه‌گیری گردیدند. کاغذ دست‌ساز ساخته شده از این خمیرکاغذ به ترتیب شاخص‌های کشش ۳۴/۷۵ (Nm/g)، پارگی ۶/۰۲ (mNm2/g) و ترکیدگی ۲/۱۶ (kPam2/g) را دارا می‌باشد. ترکیب خمیرکاغذ ساقه گوجه فرنگی با خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم موجود در بازار در سه سطح ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ صورت پذیرفت. شاخص‌های کشش، پارگی و ترکیدگی پس از اختلاط به ترتیب ۲۸، ۶۳ و ۳۶ درصد افزایش یافتند. بارزترین اثر اختلاط از نظر ویژگی‌های مکانیکی در افزایش شاخص پارگی مشاهده می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده سودا–آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی به عنوان یک پسماند کشاورزی بلااستفاده به خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده سودای سرد کاه گندم، می‌تواند با کاهش نقاط ضعف خمیرکاغذ سودای سرد به بهبود و افزایش شاخص‌های مکانیکی و همچنین گسترش کاربرد و تقاضا برای این خمیرکاغذ منجر شود.

واژگان کلیدی: کاه گندم، ساقه گوجه فرنگی، خمیرکاغذ سودای سرد، خمیرکاغذ سودا–آنتراکینون.

مقدمه

با رشد صنعتی جوامع و افزایش جمعیت تمایل به استفاده از انواع مختلف محصولات سلولزی فزونی یافته و منجر به بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌های جهان و به تبع آن بروز بسیاری از مشکلات محیط زیستی شده است. در ایران نیز بهره‌برداری‌های بی‌رویه از منابع جنگلی منجر به تدوین و اجرای قانون ممنوعیت قطع درختان یا طرح استراحت جنگل گردید [۱]. جنگل‌ها در ایران ۹/۲ درصد

از سطح کشور را به خود اختصاص داده‌اند [۲]. اما تمام این مقدار مشتمل بر جنگل‌های صنعتی نبوده و توان اکولوژیکی، مساحت قابل استفاده جنگل‌های کشور و نیز سطح بهره‌برداری‌های بی‌رویه صورت گرفته در سال‌های پیش از اجرای قانون ممنوعیت قطع درختان، منجر به عدم توان پاسخ‌گویی جنگل‌ها به نیازهای روز افزون صنایع سلولزی کشور گردیده است؛ لذا در حال حاضر کمبود مواد اولیه لیگنوسلولزی، صنایع سلولزی ایران را با مشکلات جدی مواجه ساخته است [۳]. از راهکارهای مختلف جهت برون‌رفت و حل مشکل ماده اولیه صنایع سلولزی می‌توان به زراعت چوب، استفاده از پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی، بازیافت کاغذ و تأمین نیازها به وسیله واردات اشاره نمود. در این میان استفاده از پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی می‌تواند به عنوان یکی از راهبردهای امید بخش جهت رفع نیازهای صنایع سلولزی کشور اجرا گردد. پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی را می‌توان محصولات جانبی و اجتناب ناپذیر در بخش کشاورزی دانست که بدون شک با افزایش و رشد نیازهای غذایی جامعه، میزان آن‌ها نیز افزایش خواهد یافت. به علت ساده بودن روش، درک نهادینه شده اصول فرایندی، ساختار باز ساقه‌های پسماندهای کشاورزی لیگنوسلولزی و کم بودن میزان لیگنین آنها، تبدیل پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی به خمیرکاغذ غالباً با استفاده از فرایند سودا صورت می‌گیرد [۳]. خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده حاصل از پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی را می‌توان جهت تولید کاغذهای لاینر، فلوتینگ، انواع مقوا و کاربری‌های بسته‌بندی استفاده نمود. با وجود امکان استفاده از این مواد با ارزش در فرایندهای کاغذسازی متأسفانه در پایان فصل برداشت با سوزاندن آن‌ها ضمن آلوده نمودن هوا و آسیب به موجودات مفید خاک، زیست‌توده قابل‌مصرف نیز نابود می‌گردد [۴].

بخشی از مطالعات صورت گرفته جهت تولید خمیرکاغذ از پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی معطوف به کاه گندم (حجازی و همکاران؛ ۲۰۰۹)، کلش برنج (رودریگوز[1] و همکاران، ۲۰۰۸)، ساقه ذرت (حسین و همکاران، ۲۰۱۱)، ساقه کلزا (موسوی و همکاران؛ ۲۰۱۳) و باگاس (حجازی و همکاران؛ ۲۰۰۸) می‌باشند [۳]. اما ساقه گیاهان جالیزی و یا گلخانه‌ای مانند گوجه فرنگی نیز می‌توانند دراین‌خصوص مد نظر قرار گیرند. گوجه فرنگی با نام علمی Solanum lycopersicum از تیره بادمجانیان (Solanaceae) یکی از مهم‌ترین سبزی‌های میوه‌ای مشهور در جهان محسوب می‌گردد. سابقه کاشت گوجه فرنگی در ایران به حداقل ۱۵۰ سال می‌رسد [۵]. نسبت متوسط سهم گوجه فرنگی از کل سبزیجات کشور ۲۵/۲۳ درصد و متوسط سطح قابل‌برداشت گوجه فرنگی در کشور ۱۰۸/۴۱ هزار هکتار گزارش شده است [۶]. ساقه گوجه فرنگی در حالت معمول غیرخوراکی است و کاربری خاصی ندارد. اگر فاصله ردیف‌ها و بوته‌های گوجه فرنگی به ترتیب ۶۲/۵ و ۴۰ سانتی‌متر [۷] و میانگین وزن خشک ساقه گوجه فرنگی در پایان فصل برداشت ۱۳۰/۵ گرم لحاظ گردد، می‌توان میزان پسماند خشک ساقه گوجه فرنگی را ۵۶۵۹۰۰ تن تخمین زد. مطالعات نشان می‌دهد که؛ ساقه گیاه گوجه فرنگی گزینه مناسبی برای تولید الیاف است و کاغذ تولید شده از آن دارای مقاومت مکانیکی مناسبی می‌باشد [۸]؛ کیفیت مقوای تولیدی از آن قابل‌قبول است؛ و جهت بهبود کیفیت مقوای تولیدی می‌توان از تیمار آنزیمی استفاده نمود [۹]. طول و قطر فیبر حاصل از ساقه گوجه فرنگی به ترتیب ۰/۹۸ میلی‌متر، ۱۵/۲۵ میکرومتر و نسبت درهم رفتگی الیاف آن ۶۴/۲۶ است [۸]. تحقیقی دیگر بیان می‌کند که پتانسیل ساقه گیاه گوجه فرنگی این امکان را فراهم می‌سازد تا در بخش‌های گوناگون صنعت سلولزی از آن به عنوان ماده اولیه استفاده نمود [۱۰]. تولیدکنندگان خمیرکاغذ از پهن‌برگان، جهت بهبود و افزایش مقاومت‌های مکانیکی و نیز قابلیت گذر ماشین کاغذ از اختلاط خمیرکاغذ تولیدی خود با خمیرکاغذ الیاف بلند بهره می‌جویند [۱۱]. درصد اختلاط و میزان استفاده از الیاف بلند با توجه به کاربرد کاغذ، به درخواست مصرف کننده تعیین می‌گردد. نتایج اختلاط خمیرکاغذهای تولید شده از منابع پهن‌برگ، غیرچوبی لیگنوسلولزی و ۱۵ درصد سوزنی‌برگ - به صورت ثابت- در کاغذهای دست‌ساز تولیدی نشان داد که افزایش معنی‌دار طول

[1] Rodriguez.

پارگی به دلیل استفاده از الیاف بلند است؛ استفاده از الیاف بلند به همراه ۳۰ درصد خمیرکاغذ با منبع غیرچوبی لیگنوسلولزی در اختلاط با خمیرکاغذ با منشأ پهن‌برگ موجب بهبود شاخص کشش و با کاهش میزان خمیرکاغذ با منشأ غیرچوبی تا ۲۰ درصد نیز موجب افزایش سه برابری شاخص ترکیدن و همچنین استفاده از الیاف بکر و بلند موجب افزایش میزان شاخص مقاومت به پارگی می‌گردد [۱۲].

یکی از منابع تولید خمیرکاغذ در جهان و ایران کاه گندم می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که دامنه طولی الیاف کاه گندم از ۰/۰۳ [۱۳] تا ۰/۹ [۱۴] و نیز ۱/۲ میلی‌متر را در شامل می‌شود. نسبت متوسط سهم گندم از کل غلات کشور ۷۱/۷۲ درصد و متوسط سطح قابل‌برداشت گندم در کشور ۶/۱۹ میلیون هکتار گزارش شده است [۶]. استان گلستان در تولید گندم دیم و آبی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به ترتیب جایگاه دوم و پنجم کشور را به خود اختصاص داده است [۱۵]؛ لذا پسماند لیگنوسلولزی حاصله می‌تواند به عنوان ماده اولیه مصرفی در صنایع سلولزی مورداستفاده قرار گیرد [۴]. در این راستا کارخانه تسکا با بهره‌گیری از فرایند سودای سرد، خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده از کاه گندم تولید می‌نماید. در حال حاضر این خمیرکاغذ به عنوان الیاف بکر جهت تقویت خمیرکاغذ بازیافتی مورداستفاده در مصارف بسته بندی مورداستفاده قرار گرفته و توسط برخی از کارخانه‌های بازیافت خریداری می‌گردد. الیاف در اثر بازیافت‌های مکرر ویژگی‌های مقاومتی مطلوب خود را از دست می‌دهند، لذا کارخانه‌های بازیافت کشور برای جبران افت خواص مقاومتی محصولات تولیدی، اقدام به استفاده بیش از حد از مواد و افزودنی‌های شیمیایی در پایانه تر می‌کنند. این امر موجب افزایش بار آلودگی آب و پساب کارخانه و نیز افزایش هزینه‌های تصفیه پساب و دشواری‌هایی در مدیریت چرخه‌های آب کارخانه می‌گردد. یکی از راه‌های برون‌رفت از مشکلات مذکور و نیز ارتقا خواص مقاومتی اختلاط الیاف بکر با خمیر بازیافتی است که به صورت یک شیوه دوست‌دار محیط زیست در مقایسه با استفاده از مواد شیمیایی مطرح است. دراین‌خصوص خمیرکاغذ سودای کاه گندم تولیدی در کشور می‌تواند نقش مهمی را ایفا نماید. طراحی کارخانه تسکا به صورتی است که افزایش کیفیت خمیرکاغذ سودای سرد را با تغییر شرایط فرایندی تسهیل نمی‌نماید. از سوی دیگر ماهیت کاه گندم تولید خمیرکاغذ الیاف کوتاه است؛ لذا با توجه به این امر و به جهت حصول ترکیب مناسب‌تر جهت تقویت خمیرکاغذهای بازیافتی و با در نظر داشتن حجم قابل ملاحظه پسماند بلااستفاده ساقه گوجه فرنگی با طول الیافی بیشتر از کاه گندم، هدف این پژوهش ارتقا شاخص‌های مقاومتی خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم با افزودن الیاف ساقه گوجه فرنگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده سودای سرد کاه گندم تولید شده توسط کارخانه تسکا واقع در استان گلستان، شهرک صنعتی علی آباد کتول، از انتهای خط تولید با عدد کاپا ۶۵/۳۹ و درجه روانی CSF ۶۴۵ و نیز ساقه گیاه گوجه فرنگی از مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال استان البرز واقع در شهرستان کرج تهیه و به آزمایشگاه خمیرکاغذ گروه آموزشی مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل گردیدند. ساقه‌های گوجه فرنگی پس از حذف برگ‌ها و ریشه‌ها به قطعات پنج سانتی‌متری تبدیل و پیش از هوا خشک نمودن، جهت زدودن خاک و آلودگی‌ها با آب شست‌وشو داده شدند. قطعات هوا خشک ساقه گوجه فرنگی پس از تعیین میزان رطوبت، جهت استفاده در مراحل دیگر و نیز عدم تبادل رطوبت با محیط پیرامونی درون کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار نگه‌داری شدند. استون، اسیدسولفوریک، کلریت سدیم، اسید استیک، پراکسید هیدروژن، هیدروکسید پتاسیم، هیدروکسید سدیم، آنتراکینون، پرمنگنات پتاسیم، تیوسولفات سدیم و یدید پتاسیم از شرکت‌های معتبر تولید و تأمین‌کننده مواد شیمیایی تهیه شدند.

روش‌ها

زیست‌سنجی[1] الیاف

از مخلوط پراکسید هیدروژن و اسید استیک با نسبت یک‌به‌یک در ۶۰ درجه سانتی‌گراد [۱۶] جهت انجام وابری الیاف ساقه گوجه فرنگی استفاده گردید. بررسی الیاف با میکروسکوپ نوری صورت پذیرفت. از نرم افزار Image J [۱۷] جهت تعیین اندازه ابعاد الیاف ساقه گوجه فرنگی استفاده شد. میانگین ابعاد الیاف ساقه گوجه فرنگی و ضرایب کاغذسازی محاسبه گردیدند.

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی

ترکیبات شیمیایی ساقه گوجه فرنگی مطابق با استانداردهای مندرج در جدول ۱ اندازه‌گیری شدند. میزان سلولز با جداسازی همی سلولزها توسط هیدروکسید پتاسیم پس از تولید هولوسلولز با استفاده از کلریت سدیم و اسید استیک مورد محاسبه قرار گرفت.

خمیر کاغذسازی

خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده از ساقه گوجه فرنگی بر پایه فرایند سودا-آنتراکینون پس از انجام پخت‌های متعدد، در نهایت با شرایط بهینه‌دما ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۸۰ دقیقه، نسبت حجم مایع پخت به وزن خشک ساقه گوجه فرنگی برابر با ۱:۱۲، درصد قلیایی‌ات فعال ۲۰ درصد و میزان آنتراکینون مصرفی نیز ۰/۱ درصد تولید گردید. به منظور بهبود فرایند پخت، ۲۵۰ گرم ساقه گوجه فرنگی به مدت ۱۲ ساعت در آب غوطه‌ور گردید. فرایند پخت در دیگ مجهز به ترموستات با قابلیت تنظیم دما انجام شد. پس از به اتمام رسیدن زمان پخت‌ها محتویات درون دیگ پخت آزمایشگاهی بر روی الک با اندازه مش ۲۰۰ منتقل و با آب شست‌وشو داده شدند. از دفیبراتور آزمایشگاهی برای جداسازی دستجات الیاف استفاده گردید. پس از پایان عمل جداسازی، به منظور تعیین بازده کل، بازده بعد از غربال و میزان وازده، الیاف حاصل روی الک مش ۱۸ که الک مش ۲۰۰ زیر آن قرار گرفته بود شست‌وشو شدند. الیاف باقی‌مانده روی الک مش ۱۸، تحت عنوان وازده و الیاف عبور کرده از الک مش ۱۸ و باقی‌مانده بر روی الک مش ۲۰۰، خمیرکاغذ قابل قبول می‌باشد. بخشی از الیاف که همراه با آب از الک مش ۲۰۰ عبور می‌کنند نرمه‌های الیاف هستند. با توجه به این که خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم بدون غربال به بازار مصرف عرضه می‌شود، جهت بررسی تأثیر غربال بر روی ویژگی‌های مقاومتی این خمیرکاغذ، توالی الک فوق الذکر برای خمیر کاه گندم نیز انجام شد. خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم تحت دما ۷۰ درجه سانتی‌گراد، زمان پخت ۳۶۰ دقیقه، نسبت حجم مایع پخت به وزن خشک کاه گندم برابر با ۱:۴ و با درصد قلیایی‌ات فعال هشت درصد در کارخانه تسکا تولید می‌گردد. میزان رطوبت خمیرکاغذهای ساقه گوجه فرنگی و مقادیر بازده آن محاسبه گردید. مقدار عدد کاپا خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی و خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم مطابق با استاندارد مربوطه (جدول ۱) تعیین گردید.

ساخت کاغذ دست‌ساز

مطابق با استانداردهای مندرج در جدول ۱، اندازه‌گیری درجه روانی خمیرکاغذها، پالایش خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی و ساخت کاغذ دست‌ساز از خمیرکاغذهای سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی، سودای سرد کاه گندم و ترکیب خمیرکاغذهای ساقه گوجه فرنگی با کاه گندم با نسبت‌های ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ درصد انجام شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ

جدول ۱ استانداردهای مورداستفاده برای اندازه‌گیری شاخص‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز را نشان می‌دهد.

[1] Biometry

جدول ۱- استانداردهای مورداستفاده در آزمون‌های مختلف

آزمون	شماره استاندارد	آزمون	شماره استاندارد
تهیه آرد	T 257 cm-85	پالایش	T 278 sp-15
رطوبت	T 264 cm-97	کاغذ دست‌ساز	T 205 sp-95
خاکستر	T 211 om-93	عدد کاپا	T 236 om-99
مواد استخراجی	T 280 pm-99	شاخص کشش	T 494 om-96
لیگنین	T 222 om-98	شاخص پارگی	T 414 om-98
درجه روانی	T 227 om-99	شاخص ترکیدن	T 403 om-97

نتایج و بحث

زیست‌سنجی الیاف

میانگین ابعاد الیاف ساقه گوجه فرنگی در جدول ۲ قابل مشاهده است. الیاف با طول کمتر از ۰/۹ میلی‌متر الیاف کوتاه، ۰/۹ تا ۱/۹ میلی‌متر متوسط، و بیشتر از ۱/۹ میلی‌متر در زمره الیاف بلند طبقه‌بندی می‌شوند. میانگین طولی الیاف ساقه گوجه فرنگی بیشتر از سایر پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی و صنوبر (جدول ۲) می‌باشد. از جنبه طول الیاف ساقه گوجه فرنگی با دارا بودن میانگین ۱/۹۵ میلی‌متر در زمره‌ی الیاف بلند قرار دارند. الیاف بلند برای کاغذسازی مناسب‌تر بوده و بر استحکام و پارگی کاغذ اثر مثبت دارند. قطر فیبر، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی الیاف ساقه گوجه فرنگی از صنوبر و دیگر پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی (جدول ۲) بیشتر است.

جدول ۲- میانگین ابعاد الیاف ساقه گوجه فرنگی و برخی از منابع چوبی و غیر چوبی لیگنوسلولزی

منبع لیگنوسلولزی	طول فیبر L (mm)	قطر فیبر D (µm)	قطر حفره C (µm)	ضخامت دیواره P (µm)	منبع
ساقه گوجه فرنگی	۱/۹۵	۴۴/۱۸	۲۷/۹۹	۶/۴۹	پژوهش حاضر
کاه گندم	۱/۳۱	۱۵/۸۱	۷/۸۹	۳/۹۳	[۱۸]
ساقه سویا	۱/۰۰	۲۶/۴	۱۵/۶۷	۵/۳۵	[۳]
صنوبر	۱/۰۲	۲۱	۱۴	۳/۵	patt et al (۲۰۰۶) به نقل از Alizadeh et al (۲۰۱۵) [۳]
کلش برنج	۰/۸	۱۰/۱۸	۳/۸	۳/۱۹	Fakhrian et al (۱۹۸۹) به نقل از Alizadeh et al (۲۰۱۵) [۳]
باگاس	۱/۱۳	۲۰/۰	۱۲/۰	۴/۰	Sanjuan et al (۲۰۰۱) به نقل از Alizadeh et al (۲۰۱۵) [۳]

جدول ۳ در بر دارنده ضرایب کاغذسازی الیاف ساقه گوجه فرنگی، کلش برنج، باگاس، کاه گندم، ساقه سویا و صنوبر می‌باشد. مقادیر ایده‌آل برای نسبت رانکل در کاغذساری یک و یا کمتر از یک است [۳]. با افزایش نسبت رانکل کاغذهای تولیدی حجیم‌تر و دارای مناطق پیوندی کمتر خواهند بود. چنانچه نسبت رانکل بیشتر شود الیاف انعطاف‌پذیر نبوده و اتصالات ضعیف و ناپایدار الیاف افزایش می‌یابد. از نسبت رانکل می‌توان در جهت تشخیص به کارگیری منابع چوبی و لیگنوسلولزی غیر چوبی در صنعت خمیر و کاغذ استفاده نمود. مقدار ضریب رانکل الیاف ساقه گوجه فرنگی ۰/۴۶، و نسبت به ضرایب رانکل کلش برنج، باگاس، کاه گندم، ساقه سویا و صنوبر (جدول ۳) کمتر است، و با قرار گرفتن در حد ایده آل نشان از برقراری اتصالات پایدارتر و قوی‌تری مابین الیاف ساقه گوجه فرنگی دارد. نسبت درهم رفتگی شاخصی برای ارزیابی میزان مقاومت به پارگی در صنعت کاغذسازی است و مقدار آن برای الیاف ساقه گوجه فرنگی۴۴/۱۳ می‌باشد. صنعت کاغذسازی نیازمند الیافی است که نسبت

درهم رفتگی آن‌ها بیشتر از ۳۳ باشد. ضریب انعطاف‌پذیری یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ است که میزان به هم پیوستگی لایه‌های تشکیل دهنده کاغذ را بیان می‌کند. انواع الیاف را می‌توان بر اساس ضریب انعطاف‌پذیری دسته‌بندی نمود. در دسته اول الیافی با ضریب انعطاف‌پذیری بیشتر از ۷۵ قرار دارند که از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار می‌باشند. دسته دوم الیافی با ضریب انعطاف‌پذیری ۷۵-۵۰ را شامل می‌شوند که الیافی انعطاف‌پذیر می‌باشند. دسته سوم الیاف صلب می‌باشند که ضریب انعطاف‌پذیری در آن‌ها ۵۰-۳۰ می‌باشد. الیاف با صلبیت بیشتر در دسته‌ی چهارم قرار دارند و ضریب انعطاف‌پذیری آن‌ها کمتر از ۳۰ است. ضریب انعطاف‌پذیری الیاف ساقه گوجه فرنگی ۶۳/۳۵ درصد می‌باشد، لذا در دسته دوم قرار گرفته و الیافی انعطاف‌پذیر محسوب می‌گردند. الیاف کاه گندم در رده الیاف صلب دسته‌بندی می‌شوند. ضریب انعطاف‌پذیری الیاف در پهن برگان ۷۰-۵۵ و در سوزنی برگان ۷۵ می‌باشد [۱۹]. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۳، ضریب انعطاف‌پذیری الیاف ساقه گوجه فرنگی، ساقه سویا، باگاس و صنوبر در محدوده پهن برگان و الیاف کلش برنج و کاه گندم خارج از آن قرار دارند.

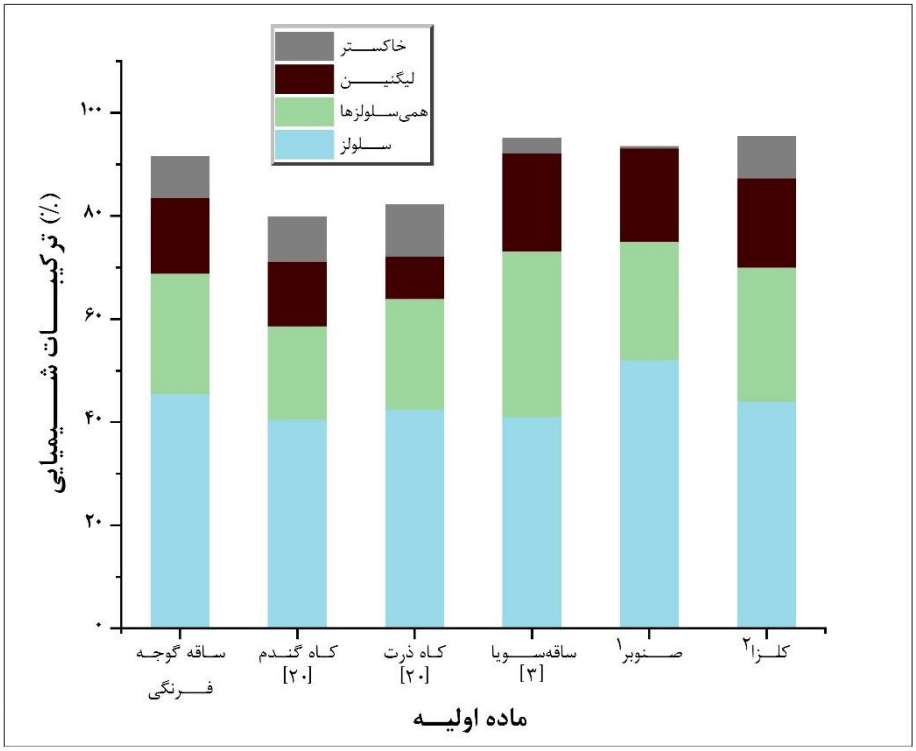
جدول ۳- ضرایب کاغذسازی ساقه گوجه فرنگی و برخی از منابع چوبی و لیگنوسلولزی غیر چوبی*

منبع لیگنوسلولزی	نسبت رانکل	نسبت درهم رفتگی	ضریب انعطاف‌پذیری (٪)
ساقه گوجه فرنگی	۰/۴۶	۴۴/۱۳	۶۳/۳۵
کاه گندم	۰/۹۹	۸۲/۸۵	۴۹/۹۰
کلش برنج	۱/۶۷	۷۸/۵۸	۳۷/۳۲
صنوبر	۰/۵	۴۸/۵۷	۶۶/۶۶
ساقه سویا	۰/۶۸	۳۷/۸۷	۵۹/۳۵
باگاس	۰/۶۶	۵۶/۵	۶۰

*- ضرایب کاغذسازی با استفاده از جدول ۲ و روابط زیر محاسبه شده است.
نسبت رانکل = قطر حفره سلولی / (ضخامت یک طرف دیواره فیبر)۲.
ضریب انعطاف‌پذیری = ۱۰۰(قطر فیبر / قطر حفره سلولی).
نسبت درهم رفتگی = قطر فیبر / طول فیبر.

ترکیبات شیمیایی

شکل ۱ میانگین ترکیبات شیمیایی ساقه گوجه فرنگی، کاه گندم، کاه ذرت، صنوبر، کلزا و ساقه سویا را نشان می‌دهد. شناخت ترکیبات شیمیایی موجود در پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی که به مصرف صنایع خمیر کاغذسازی می‌رسند امری ضروری است. با توجه به شکل ۱ مقدار سلولز ساقه گوجه فرنگی ۴۵/۴ درصد می‌باشد که بیشتر از کاه گندم، کاه ذرت، کلزا و ساقه سویا است. مقدار همی‌سلولزهای ساقه گوجه فرنگی ۲۳/۴ درصد است که بیشتر از کاه گندم، کاه ذرت و صنوبر می‌باشد (شکل ۱). میزان خاکستر ساقه گوجه فرنگی۸/۱ درصد می‌باشد که کمتر از کاه گندم، کاه ذرت و کلزا است (شکل ۱). مقدار لیگنین ساقه گوجه فرنگی۱۴/۷ درصد و کمتر از صنوبر، ساقه سویا و کلزا می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- میانگین ترکیبات شیمیایی ساقه گوجه فرنگی و برخی از منابع چوبی و غیر چوبی لیگنوسلولزی.

۱- patt et al (۲۰۰۶) به نقل Alizadeh et al (۲۰۱۵) [۳].

۲- Mousavi et al (۲۰۱۳) به نقل Alizadeh et al (۲۰۱۵) [۳].

ویژگی‌های خمیرکاغذهای تولیدی

میانگین درصدهای بازده پس از غربال، وازده و بازده کل خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده ساقه گوجه فرنگی به ترتیب ۴۳، ۰/۴ و ۴۳/۵ می‌باشد. درصد بازده کل، بازده وازده، بازده پس از غربال خمیر رنگ‌بری نشده کاه گندم کارخانه تسکا به ترتیب ۳۹/۷۲، ۸/۵۹، ۴۰/۳۱ می‌باشد. جهت تولید خمیرکاغذهایی با بازده بیشتر و خواص مقاومتی مناسب از پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی، فرایندهای قلیایی توصیه می‌شوند [۲۱]. افزودن آنتراکینون به مایع پخت موجب بالارفتن سرعت لیگنین‌زدایی و بازده پخت می‌گردد [۲۲]؛ اما در تحقیقات اخیر پژوهشگران، استفاده از آنتراکینون اثرات مخرب زیست محیطی نیز به دنبال دارد که مطالعات و پژوهش‌های بیشتر در آینده می‌تواند میزان خطرآفرینی آن را برای انسان و طبیعت تعیین کند. Sadawarte et al (۱۹۸۱) به نقل از Rowell et al (۱۹۹۶) بیان داشت که افزودن آنتراکینون به پخت سودا در مقایسه با پخت سودا بدون حضور آنتراکینون، افزایش چهاردرصدی بازده را سبب شده است و مقایسه‌های صورت گرفته نشان داد که بازده خمیرکاغذهای حاصل از باگاس در فرایند سودا-آنتراکینون و کرافت یکسان می‌باشد [۲۱]. عدد کاپای خمیرکاغذ ساقه گوجه فرنگی و خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم به ترتیب ۲۷/۳۳ و ۶۵/۳۹ محاسبه گردید.

درجه روانی خمیرکاغذها

درجه روانی خمیرکاغذ ساقه گوجه فرنگی پیش‌وپس از پالایش به ترتیب ۶۵۴ و ۳۵۱/۲۸ C.S.F می‌باشد و هدف آن بود که درجه روانی این خمیرکاغذ پس از پالایش در محدوده ۵۰ ± ۳۵۰ C.S.F تنظیم شود. خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم با درجه روانی ۶۴۵ C.S.F که به بازار مصرف عرضه می‌گردد مورداستفاده قرار گرفت.

ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذها

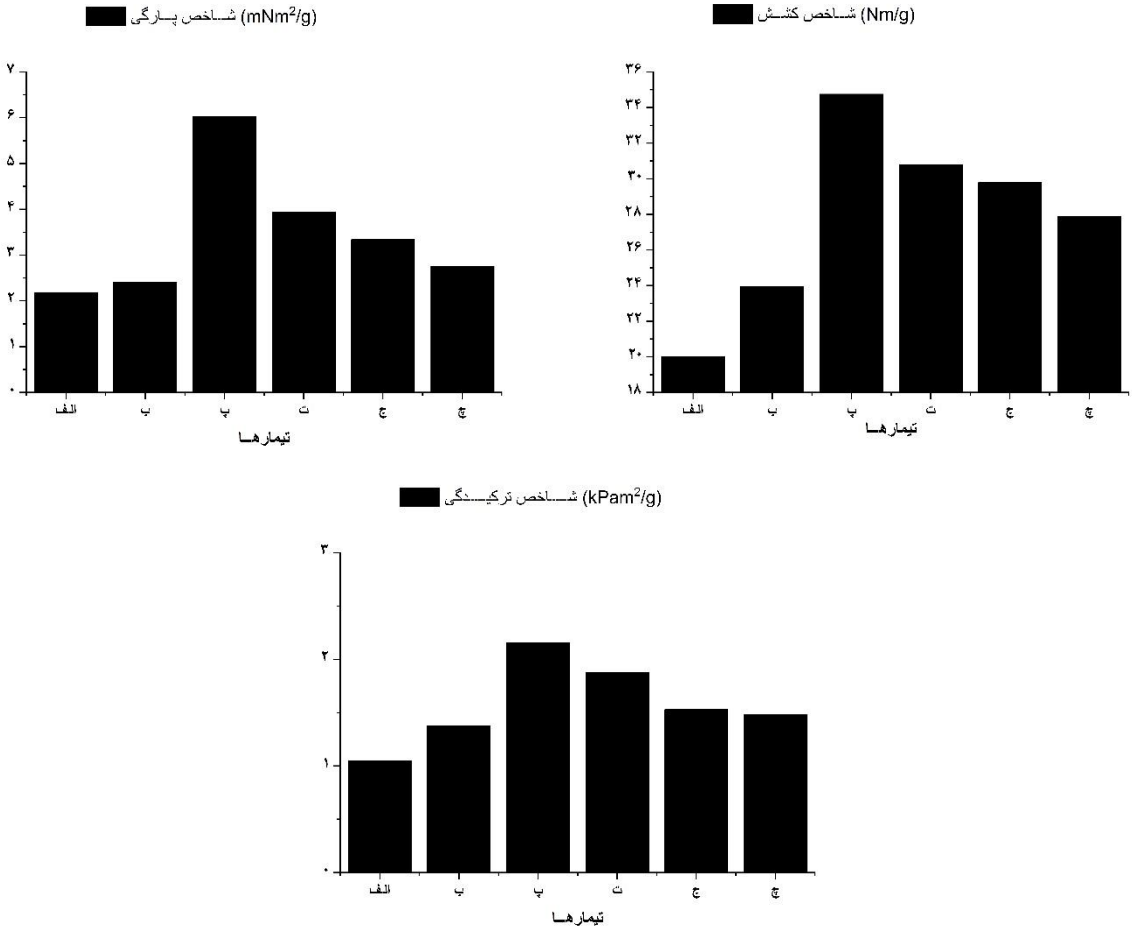
عوامل بسیاری مانند ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های الیاف تشکیل‌دهنده مواد لیگنوسلولزی، نوع فرایندهای

خمیر کاغذسازی و پالایش یا عدم پالایش خمیرکاغذ می‌توانند بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری کاغذهای دست‌ساز مؤثر واقع شوند. بر اساس شکل ۲، بیشترین مقدار شاخص کشش به کاغذ دست‌ساز ساخته شده از ۱۰۰ درصد خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی (پ) به میزان ۳۴/۷۵ (Nm/g) و کمترین مقدار شاخص کشش به کاغذ دست‌ساز ساخته شده از ۱۰۰ درصد خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم غربال نشده (الف) به میزان ۲۰/۰۱ (Nm/g) تعلق دارد. اثرگذارترین عامل بر شاخص مقاومت به کشش، اتصالات بین الیاف است که با انجام پالایش می‌توان آن را بهبود بخشید؛ بنابراین می‌توان اثر پالایش ثانویه خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی را بر شاخص مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز مثبت ارزیابی نمود. در خصوص مقایسه کاغذهای دست‌ساز تولید شده از خمیرکاغذهای الف و ب، و نیز با توجه به عدم پالایش ثانویه آن‌ها، اثر مثبت اعمال غربال بر بهبود شاخص کشش را می‌توان به وضوح در کاغذهای دست‌ساز تولید شده از ۱۰۰ درصد خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم غربال شده (ب) مشاهده نمود. زیرا فرایند غربال کردن موجب دسته‌بندی الیاف شده و بهبود ویژگی‌های محصول نهایی را در پی خواهد داشت. بر اساس شکل ۲، اثر افزودن خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی به خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم -کاغذهای دست‌ساز ت، ج و چ- مثبت ارزیابی می‌شود. بر این اساس بیشترین مقدار ثبت شده شاخص کشش در میان کاغذهای دست‌ساز ترکیبی با میزان ۳۰/۸۱ (Nm/g) متعلق به کاغذ دست‌ساز متشکل از ۲۵ درصد خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم با ۷۵ درصد خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی (ت) می‌باشد.

با توجه به شکل ۲، کاغذهای دست‌ساز تولید شده از ۱۰۰ درصد خمیرکاغذ غربال نشده سودای سرد کاه گندم (الف) کمترین شاخص پارگی به میزان ۲/۱۹ (mNm^2/g) را دارا می‌باشند و کاغذهای دست‌ساز تولید شده از ۱۰۰ درصد خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی (پ) بیشترین شاخص پارگی به میزان ۶/۰۲ (mNm^2/g) را دارا هستند. شاخص مقاومت در برابر پارگی به طول الیاف و تعداد الیافی که در معرض اعمال پارگی قرار می‌گیرند و نیز استحکام اتصالات فیبر به فیبر وابسته است. خمیرکاغذهای کلش برنج، باگاس و کاه غلات به دلیل برخورداری از الیاف کوتاه، در برابر پارگی مقاومت کمتری را به ثبت می‌رسانند [۲۱]. علت افزایش میزان شاخص پارگی کاغذهای دست‌ساز متشکل از ۱۰۰ درصد خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم غربال شده (ب)، نسبت به کاغذهای الف را می‌توان در غربال‌کردن خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم دانست و بدین سبب اثر آن را در بهبود شاخص پارگی مثبت ارزیابی نمود. اثر افزودن خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی به خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم در میزان شاخص پارگی کاغذهای دست‌ساز ترکیبی (ت، ج و چ) قابل مشاهده است؛ براین‌اساس کاغذ متشکل از ۲۵ درصد خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم با ۷۵ درصد خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی (ت) به میزان ۳/۹۵ (mNm^2/g) بیشترین و کاغذ متشکل از۷۵ درصد خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم با ۲۵ درصد خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی (چ) به میزان ۲/۷۶ (mNm^2/g) کمترین می‌باشد. اصولاً هر چه میزان لیگنین‌زدایی بیشتر باشد، الیاف سالم‌تر و با طول بیشتری جدا می‌شوند که اثر بارز آن در بین شاخص‌های مقاومتی، در ویژگی شاخص پارگی تجلی می‌یابد. خمیرکاغذ سودای سرد به عنوان یک خمیرکاغذ شیمیایی-پالایشی-مکانیکی (CRMP) دارای شاخص پارگی کمی می‌باشد و در مقابل خمیرکاغذ شیمیایی ساقه گوجه فرنگی دارای شاخص پارگی درخور توجهی است که در مقایسه با شاخص پارگی خمیرکاغذهای شیمیایی کاه گندم، باگاس و کلش برنج که معمولاً در محدوده ۴/۵-۴ (mNm^2/g) قرار می‌گیرد [۳]، ناشی از طول بلند ذاتی الیاف ساقه گوجه فرنگی نیز می‌باشد.

کاغذهای دست‌ساز با خمیرکاغذ غربال نشده سودای سرد کاه گندم (الف) به میزان ۱/۰۵ ($kPam^2/g$) کمترین، و کاغذهای دست‌ساز با خمیرکاغذ ساقه گوجه فرنگی (پ) به میزان ۲/۱۶ ($kPam^2/g$) بیشترین مقدار شاخص ترکیدگی را دارا می‌باشند (شکل ۲). مقدار شاخص ترکیدگی به نحوه شکل‌گیری کاغذ وابسته است. به بیان

دیگر شاخص مذکور همانند شاخص کشش تحت تأثیر میزان اتصالات الیاف می‌باشد. با توجه به مقدار لیگنین باقی‌مانده درخمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم؛ دسترس‌پذیری گروه‌های هیدروکسیل به یکدیگر کاهش می‌یابد، لذا بر میزان شاخص ترکیدگی اثر منفی خواهد داشت. با توجه به شکل ۲ همانند شاخص کشش و شاخص پارگی اثر مثبت غربال‌کردن خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم در کاغذهای دست‌ساز تولیدی مثبت ارزیابی می‌شود و آن را می‌توان علت افزایش میزان شاخص ترکیدگی در کاغذهای ساخته شده از ۱۰۰ درصد خمیرکاغذ غربال شده سودای سرد کاه گندم (ب) نسبت به کاغذهای ساخته شده از ۱۰۰ درصد خمیرکاغذ غربال نشده سودای سرد کاه گندم (الف) دانست. همانند شاخص‌های کشش و پارگی تأثیر افزودن خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی به خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم بر میزان شاخص ترکیدگی کاغذهای ترکیبی، مثبت ارزیابی می‌شود. بر این اساس کاغذ دست‌ساز ت به میزان ۱/۸۸ ($kPam^2/g$) بیشترین و کاغذ دست‌ساز چ به میزان ۱/۴۸ ($kPam^2/g$) کمترین میزان شاخص ترکیدگی را به خود اختصاص دادند. شاخص ترکیدن خمیرکاغذهای کاملاً شیمیایی در محدوده ۴/۵-۳ ($kPam^2/g$) قرار می‌گیرد [۳].



شکل ۲- ویژگی‌های مکانیکی انواع کاغذ دست‌ساز.

۱۰۰ درصد خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم غربال نشده (الف)، ۱۰۰ درصد خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم غربال شده (ب)، ۱۰۰ درصد خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی (پ)، مخلوط ۲۵ درصد خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم غربال شده با ۷۵ درصد خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی (ت)، مخلوط ۵۰ درصد خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم غربال شده با ۵۰ درصد خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی (ج) و مخلوط ۷۵ درصد خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم غربال شده با ۲۵ درصد خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی (چ).

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از زیست‌سنجی الیاف، ضرایب کاغذسازی، تعیین ترکیب‌های شیمیایی و ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز متشکل از خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی نشان داد که پسماند مذکور قابلیت استفاده در صنایع خمیر و کاغذ را دارد. افزودن خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده سودا-آنتراکینون ساقه گوجه فرنگی به خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده سودای سرد کاه گندم در تمام سطوح اختلاط منجر به بهبود و نیز افزایش قابل ملاحظه مقادیر شاخص‌های کشش، پارگی و ترکیدگی کاغذها گردید. بارزترین اثر مثبت اختلاط خمیرکاغذ شیمیایی ساقه گوجه فرنگی بر روی ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ سودای سرد کاه گندم در شاخص پارگی مشاهده می‌شود.

منابع

[1] Official newspaper, 4/10/2017. Law of the Sixth Five-Year Development Plan, 12 p. (In Persian).

[2] Ministry of Jihad Agriculture., 2022. Agricultural statistics of the year 2021. Volume II. (In Persian).

[3] Alizadeh, P., Hedjazi, S., Abdulkhani, A., and Zabihzadeh, S.M., 2015. A comparative study of the pulp properties of soda, soda-anthraquinone, and mono ethanolamine from soybean stalk. Forest and Wood Products (Natural Resources of Iran), 68(4), 887-902. (In Persian).

[4] Fazli, R., Kamrani, S. and Nazarnezhad, N., 2011. Estimating amount of agricultural residuals useable in wood and paper Industries (case study: Golestan province). Human & Environment, 9(4), pp.33-38(In Persian).

[5] Daneshvar, M.H., 2013. Vegetables growing (principles and applied), 7th edition. Shahid Chamran University of Ahvaz publisher. 161-164 p. (In Persian).

[6] Ministry of Jihad Agriculture. (2015). Statistical survey of harvest level and production rate of 36 years of crops (1978 to 2013), 64-192 p. (In Persian).

[7] Peyvast, Gh., 2018. Vegetable production, 2th edition. Gahwara-Ketabiran publisher. 264-274 p. (In Persian).

[8] Uner, B., Kombeci, K. and Akgul, M., 2016. The utilization of tomato stalk in fiber production: Naoh and Cao pulping process. Wood Res, 61(6), pp.927-936.

[9] Covino, C., Sorrentino, A., Di Pierro, P., Roscigno, G., Vece, A.P. and Masi, P., 2020. Lignocellulosic fibres from enzyme-treated tomato plants: characterisation and application in paperboard manufacturing. International Journal of Biological Macromolecules, 161, pp.787-796.

[10] Covino, C., Sorrentino, A., Roscigno, G., Vece, A.P., Masi, P. and Di Pierro, P., 2019. Enzymatic Study FOR Valorization of Plant Wastes. Italian Journal of Food Science.

[11] Zahedi Tabarestani, A.R., Saraeyan, A.R., Resalati, H., and Ghasemian, A., 2020. The product of pulp from hornbeam with alkaline sulfite-AQ process. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 10(4), pp.479-494

[12] Sheikhi, P., and Asadpour-Attoeii, Gh., 2019. Effect of addition of bagasse and imported long fiber chemical pulps on the properties of chemical-mechanical pulp produced from the mixture of hornbeam, beech and poplar. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 10(1), pp.143-152

[13] Sheorana, M., Kaurb, N., Chandra, A., Gautamc, A.K., and Aryad, R.K., 2020. Pilot-scale soda pulping of wheat straw using continuous pulp digester. J. Indian Chem. Soc, 97, pp.403-408.

[14] Paavilainen, L., and Torgilson, R., 1994. Reed canary grass-A new Nordic papermaking fibre. In TAPPI Pulping Conference (pp. 611-611). TAPPI PRESS.

[15] Ministry of Jihad Agriculture., 2022. Agricultural statistics of the year 2021. Volume I. (In Persian).

[16] Franklin, G.L., 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. Nature, 155 (3924), 51-51.

[17] Oladi, R., 2014. Application of “Image J” for measuring vessel features of wood. the second national conference of new technologies in wood and paper industries. (In Persian).

[18] Kamrani, S., Saraeian, A.R., Resalati, H., and Ghasemian, A., 2012. Study of variation trends of fiber dimensions in longitudinal direction of Zagross wheat straw in Golestan province for papermaking. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 27(3), 545-555.

[19] Smook, G.A., 1997. Handbook for Pulp and Paper Technologists, Angus Wilde Publications, Vancouver.

[20] Peiji, G., Yinbo, Q., Xin, Z., Mingtian, Z., & Yongcheng, D., 1997. Screening microbial strain for improving the nutritional value of wheat and corn straws as animal feed. Enzyme and Microbial Technology, 20(8), 581-584.

[21] Rowell, R.M., Young, R.A., and Rowell, J.K., 1996. Paper and Composites from Agro-Based Resources. 135-248 p.

[22] Saraeian, A.R., and Khalili, A., 2014. Technology of pulp producing with kraft process, 1th edition. Aeeizh publisher. 161-164 p. (In Persian).

The potential of using tomato stalk pulp as long fibers in reinforcement of wheat straw cold soda pulp

Abstract

In this research, the strengthening of wheat straw cold soda pulp produced in Iran using tomato stalk fibers prepared by soda-anthraquinone process was investigated. Length, diameter, cell cavity diameter, and fiber thickness; Runkle ratio, slenderness ratio and flexibility coefficient of tomato stalk fibers were measured. The chemical composition of tomato stalk including percentage of ash, lignin, cellulose and hemicelluloses were determined. Unbleached pulp was produced from tomato stalk in 180 minutes with optimal conditions of 170°C, 20% active alkali and 0.1% anthraquinone. The average yield percentage after screening and kappa number of tomato stalk pulp were measured as 43.09 % and 27.33, respectively. Hand sheets made from this pulp has the tensile index of 34.75 (Nm/g), tear index of 6.02 (mNm^2/g) and burst index of 2.16 ($kPam^2/g$), respectively. The combination of tomato stalk pulp with wheat straw cold soda pulp available in the market was done at three levels: 75:25, 50:50 and 25:75. The amount of tensile, tear and burst indices increased by 28, 63 and 36 % respectively after mixing. The most obvious effect of mixing in terms of mechanical properties is observed in the increase of tear index. The results show that the addition of unbleached soda-anthraquinone tomato stalk pulp as an unused agricultural waste to the unbleached wheat straw cold soda pulp can improve and increase the mechanical indices by reducing the weaknesses of the cold soda pulp and also leads to expanding the application and demand for this pulp.

Keywords: wheat straw, tomato stalk, cold soda pulp, soda-anthraquinone pulp.

H. Heidari Emamverdikhan[1]
S. Hedjazi[2*]
M. H. Aryaie Monfared[3]

[1] Ph.D. Student in pulp and paper industries engineering, Department of Paper Sciences and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

[2] Associate Professor, Department of Paper Sciences and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

[3] Assistant Professor, Department of Paper Sciences and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Corresponding author:
shedjazi@gau.ac.ir

Received: 2023/08/26
Accepted: 2024/01/04