Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Industries
Vol. 15, No. 4, Page 427 - 436 (2025)

DOI: 10.22034/ijwp.2024.2041147.1682

The possibility of manufacturing hygienic papers (fluff pulp) using spinning mill wastes

Saeed Ismaeilimoghadam[1*], Saeed Mahdavi[1], Mehdi Pourhashemi[2], and Afsaneh Shahraki[3]

1- Corresponding author, Wood and Forest Products Division, Research institute of Forest and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, 14968-13111, Iran. Email: ismaeilimoghadam@ut.ac.ir
2- Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, 14968-13111, Iran.
3- Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, 98613-35856, Iran.

Received: October 2024 Accepted: September 2024

Abstract

Problem definition and objectives: Fluff pulp is a hygienic paper with high grammage, which is used in the production of hygienic products such as baby diapers. In this research, the possibility of manufacturing fluff pulp using spinning mill wastes was investigated.

Methodology: For this purpose, those part of spinning mill wastes that are based on cotton, were cleaned physically and after washing one time with cold water, they were subjected to a soda (15%) pulping process. Total yield, kappa number and ash content of the resulted pulp were measured based on the related standards. The bleaching step of the spinning mill wastes pulp was performed using a sodium hypochlorite-alkaline extraction- sodium hypochlorite (HEH) sequence. Tests like brightness, ash content, kappa number and the bleaching yield were done on the bleached pulps in order to evaluate the efficiency of bleaching. The bleached pulp then was refined by a laboratory refiner with varying refining rounds and for the fabrication of fluff pulps, hand-sheets with the basic weight of 750 g/m2 were manufactured. SR freeness, density, water retention value (WRV), the burst and tensile indices of refined pulps, were also evaluated.

Results: The results showed that the pulping soda process, the abovementioned bleaching sequence and refining of resulted pulp led to the production of fluff pulp with extra ordinary features. In this way the effect of refining intensity was quite obvious and the results showed that with the increase of refining rounds, SR freeness, density of fluff pulp and WRV were increased continuously. With the increase of refining intensity up to a certain value, the burst and tensile indices of the manufactured fluff pulp also increased, but further increase in refining intensity led to a decrease in these indices.

Conclusion: The results of this research showed that reusing the spinning mill waste for producing a hygienic product such as fluff pulp can be very beneficial both from an environmental point of view by helping to prevent deforestation and from a technical point of view.

Keywords: Fluff pulp, spinning mill wastes, cellulose, water retention value.

امکان ساخت کاغذهای بهداشتی (خمیر فلاف) با استفاده از ضایعات کارخانجات ریسندگی

سعید اسماعیلی مقدم[1*]، سعید مهدوی[1]، مهدی پورهاشمی[2] و افسانه شهرکی[3]

۱ نویسنده مسئول، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
پست الکترونیک: ismaeilimoghadam@ut.ac.ir
۲- بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۳- گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۳

چکیده

بیان مساله و اهداف: خمیر فلاف یک کاغذ بهداشتی با گرماژ بالاست که در تولید محصولات بهداشتی نظیر پوشک بچه به کار گرفته می‌شود. در این تحقیق، امکان ساخت خمیر فلاف با استفاده از ضایعات کارخانجات ریسندگی موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روشها: برای این منظور، آن قسمت از ضایعات کارخانجات ریسندگی که بر پایه پنبه بودند، به‌صورت فیزیکی تمیزسازی شدند و پس از یک مرحله شستشو با آب سرد، تحت فرآیند پخت سودا با غلظت ۱۵ درصد قرار گرفتند. بازده کل، عدد کاپا و میزان خاکستر خمیر حاصل بر طبق استانداردهای مربوطه اندازه‌گیری شدند. مرحله رنگ‌بری خمیر حاصل از ضایعات ریسندگی با استفاده از توالی هیپوکلریت سدیم–استخراج قلیایی–هیپوکلریت سدیم (HEH) انجام شد. آزمون‌های درجه روشنایی، میزان خاکستر، عدد کاپا و بازده رنگ‌بری برای سنجش کارایی مرحله رنگ‌بری بر روی خمیرهای رنگ‌بری شده انجام گرفت. خمیر رنگ‌بری شده در ادامه توسط یک ریفاینر آزمایشگاهی در تعداد دورهای مختلف پالایش شدند و برای ساخت خمیر فلاف، کاغذهایی دست‌ساز با گرماژ ۷۵۰ گرم بر مترمربع ساخته شدند. درجه روانی (°SR) خمیرهای پالایش شده، دانسیته، ظرفیت نگه‌داری آب، شاخص ترکیدگی و شاخص کشش خمیر فلاف ساخته شده مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج: نتایج نشان داد که مراحل پخت سودا، رنگ‌بری با توالی ذکر شده و پالایش خمیرکاغذ حاصله منجر به تولید خمیر فلاف با ویژگی‌های بی‌نظیر شده است. در این راستا تأثیر شدت پالایش بسیار مشهود بود و نتایج حاکی از آن بود که با افزایش تعداد دور پالایش درجه روانی (°SR) خمیرکاغذ، دانسیته خمیر فلاف و ظرفیت نگه‌داری آب به‌طور پیوسته افزایش یافتند. همچنین با افزایش شدت پالایش تا یک حد مشخص، شاخص‌های کششی و ترکیدگی خمیر فلاف ساخته شده افزایش یافت اما افزایش بیشتر شدت پالایش منجر به کاهش شاخص‌های مذکور گردید.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که به کارگیری مجدد ضایعات کارخانجات ریسندگی برای تولید یک محصول بهداشتی نظیر خمیر فلاف باعث می‌شود تا هم از منظر محیط زیستی از طریق کمک به عدم جنگل‌زدایی و هم از منظر فنی، می‌تواند بسیار سودمند باشد.

واژه های کلیدی: خمیر فلاف، ضایعات ریسندگی، سلولز، ضرفیت نگه‌داری آب.

مقدمه

امروزه با توسعه فن‌آوری‌های دیجیتال و نیاز کمتر به کاغذهای چاپ و تحریر، تمرکز اصلی صنایع کاغذسازی عمدتاً به کاغذهای بهداشتی نظیر کاغذهای تیشو و خمیر فلاف معطوف شده است. شرکت‌های بزرگ تیشوسازی خصوصاً در ایران، تمرکز اصلی خود را بر موضوع بازیافت کاغذهای چاپ و تحریر قرار داده‌اند [۱]. این موضوع به چند دلیل عمده انجام می‌شود، نخست این که بازیافت کاغذ نیاز به سرمایه‌گذاری بسیار کمتری نسبت به تولید کاغذ از منابع لیگنوسلولزی دارد. بازیافت کاغذ نیاز به مصرف آب کمتری دارد که این موضوع به خصوص در کشور ایران بسیار حائز اهمیت است. اما مهم‌ترین موضوع مربوط به کاهش سطح جنگل‌هاست که نیاز به بازیافت کاغذ را بیش‌ازپیش به یک راه‌حل مطلوب برای حفظ جنگل‌ها تبدیل کرده است [۲]. همان‌طور که گفته شد، کارخانجات زیادی در صنعت تیشو سازی از بازیافت کاغذ برای تولید محصولات خود استفاده می‌کنند، اما همچنان برای تولید خمیر فلاف از خمیر سوزنی‌برگان استفاده می‌شود [۳].

خمیر فلاف یک کاغذ با گرماژ بالاست که عمدتاً از گونه‌های چوبی سوزنی‌برگ تولید می‌شود و پس از حلاجی شدن در فرآورده‌هایی نظیر پوشک بچه [۴]، پوشک بزرگ‌سالان [۵] و پدهای بهداشتی بانوان [۶] مورداستفاده قرار می‌گیرد. کشورهایی نظیر ایالات‌متحده آمریکا، چین و برزیل از جمله تولید کنندگان بزرگ این محصول هستند. تولید این محصول در ایران با توجه به شرایط کنونی کشور که از منظر منابع چوبی و جنگلی جزء کشوهای فقیر محسوب می‌شود، ناگزیر می‌بایست از منابع غیرچوبی باشد [۳،۷]. شرکت‌های کوچک و بزرگی در سال‌های اخیر در کشور به تولید خمیر فلاف پرداخته‌اند که تمامی آن‌ها از خمیرکاغذهای وارداتی (سوزنی‌برگ و پهن‌برگ) برای تولید این محصول استفاده می‌کنند. استفاده از ضایعات فرآورده‌های پنبه‌ایی برای تولید خمیر فلاف چندین مزیت عمده را به همراه دارد. کاهش قیمت تمام شده محصول به واسطه ارزان بودن این ضایعات، افزایش ظرفیت جذب آب خمیر فلاف تولید شده به واسطه جذب آب بالای ترکیبات پنبه‌ایی و مصرف کمتر مواد شیمیایی برای رنگ‌بری این محصولات به واسطه بالا بودن درجه روشنایی اولیه آن‌ها از جمله این مزایا هستند [۸].

در طی سالیان اخیر، تلاش‌هایی برای تولید خمیر فلاف از منابع چوبی پهن‌برگان صورت گرفته است [۹] اما تا کنون پژوهشی در رابطه با امکان استفاده از منابع غیر چوبی برای تولید این محصول صورت نگرفته است. از این‌رو در این تحقیق، ضایعات کارخانجات ریسندگی توسط فرآیند سودا به خمیرکاغذ تبدیل شدند و در ادامه توسط یک توالی سه مرحله‌ایی (HEH) رنگ‌بری شدند و پس از انجام عملیات پالایش به خمیر فلاف تبدیل شدند. با توجه به این که یک تحقیق جامع و کامل برای تولید خمیر فلاف از منابع غیر چوبی وجود ندارد، بنابراین انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

مواد

ضایعات ریسندگی (ضایعات قسمت کاردینگ) به‌صورت تصادفی از کارخانجات استان گلستان خریداری شد و قبل از استفاده با هم مخلوط شدند. نشاسته کاتیونی (جهت اندازه‌گیری عدد کاپا) از شرکت گلوگوزان، (قزوین، ایران) تهیه گردید. هیپوکلریت سدیم با غلظت ۷-۱۷ درصد از شرکت دکتر مجللی (تهران، ایران) خریداری شد. هیدروکسید سدیم با وزن مولکولی ۴۰ گرم بر مول، کلریت سدیم (۹۰/۴۴ گرم بر مول)، پرمنگنات پتاسیم (۱۵۸/۰۳ گرم بر مول)، تیوسولفات سدیم (۱۵۸/۱۱ گرم بر مول)، استیک اسید (۶۰/۰۵ گرم بر مول)، یدید پتاسیم (۱۶۶ گرم بر مول) و اسید سولفوریک (۹۸/۰۸ گرم بر مول) همگی از شرکت سیگما آلدریچ (ایالات‌متحده آمریکا) خریداری شدند.

روش‌ها

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی ضایعات کارخانجات ریسندگی، مطابق با استانداردهای ذکر شده در جدول ۱ انجام شد.

جدول ۱- استانداردهای مورداستفاده جهت اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی ضایعات کارخانجات ریسندگی

ترکیبات شیمیایی	استاندارد اندازه‌گیری
سلولز	Rowel (۱۹۶۷) [۱۰]
همی‌سلولز	Rowel (۱۹۶۷) [۱۰]
لیگنین	TAPPI[۱۱]
خاکستر	TAPPI [۱۱]
مواد استخراجی	TAPPI [۱۱]

خمیرسازی

برای پخت ضایعات کارخانجات ریسندگی از روش سودا با غلظت ۱۵ درصد استفاده شد. برای این منظور این ضایعات ابتدا توسط آب سرد به مدت ۳۰ دقیقه شسته شدند و پس از خشک شدن در محیط آزمایشگاه، فرآیند پخت در داخل یک دایجستر آزمایشگاهی گردشی با ظرفیت ۱ لیتر انجام شد. شرایط پخت به شرح زیر بود: دمای پخت: ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد، زمان پخت تا رسیدن به دمای حداکثر: ۴۰ دقیقه، زمان پخت در دمای حداکثر: ۱ ساعت، نسبت مایع پخت به ضایعات ریسندگی: ۱:۱۰ و غلظت هیدروکسید سدیم: ۱۵ درصد در نظر گرفته شد. پس از پایان پخت، خمیر حاصله چندین مرتبه با آب شسته شد و در محیط آزمایشگاه قرار گرفت تا خشک شود. بازده کل، عدد کاپا (TAPPI standard) [۱۱] و درصد خاکستر بر روی خمیر حاصل از ضایعات ریسندگی انجام شد.

رنگ‌بری

رنگ‌بری خمیر حاصل از ضایعات ریسندگی در یک توالی سه مرحله‌ایی HEH (هیپوکلریت سدیم، استخراج قلیایی، هیپوکلریت سدیم) انجام شد. جدول ۲، شرایط رنگ‌بری خمیر ضایعات ریسندگی را نشان می‌دهد. پس از هر مرحله رنگ‌بری، خمیر رنگ‌بری شده با آب چندین مرتبه شسته شد و بخشی از آن برای انجام آزمون‌های مختلف در محیط آزمایشگاه قرار گرفت تا خشک شود و بخش دیگر آن برای رنگ‌بری مرحله بعد ذخیره شد.

جدول ۲- شرایط رنگ‌بری خمیر حاصل از ضایعات ریسندگی

مرحله	هیپوکلریت سدیم (درصد)	هیدروکسید سدیم (درصد)	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)	درصد خشکی (درصد)	pH
H	۴/۵	-	۷۰	۶۰	۱۰	۸
E	-	۱	۷۰	۳۰	۸	۱۱
H	۲	-	۷۰	۶۰	۱۰	۸

پالایش

برای پالایش خمیر رنگ‌بری شده ضایعات ریسندگی از دستگاه PFI و از دورهای مختلف استفاده شد. در ابتدا خمیر رنگ‌بری شده به درصد خشکی ۱۰ درصد رسانده شد و در دورهای مختلف (بدون پالایش، ۲۵۰۰، ۵۰۰۰، ۷۵۰۰ و ۱۰۰۰۰ دور) دستگاه به‌صورت جداگانه پالایش شد. پس از هر دور پالایش، خمیر پالایش شده برای ساخت خمیر فلاف ذخیره شد.

ساخت کاغذ

برای ساخت خمیر فلاف، از دستگاه ساخت کاغذ دست‌ساز (Hand-sheet maker) مدل KCL, L&W ساخت کشور سوئد، استفاده شد. برای این منظور از خمیر

رنگ‌بری شده و پالایش شده در دورهای مختلف، خمیر فلاف با گرماژ ۷۵۰ گرم بر مترمربع ساخته شد. خمیرهای ساخته شده در یک خشک‌کن دورانی آزمایشگاهی به مدت ۵ ساعت و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و برای انجام آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی ذخیره شدند.

آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی

آزمون‌های انجام شده جهت بررسی کارایی رنگ‌بری

برای بررسی کارایی رنگ‌بری خمیر ضایعات ریسندگی، چهار آزمون، درجه روشنایی، درصد خاکستر، عدد کاپا و بازده رنگ‌بری که از مهم‌ترین خصوصیاتی هستند که تحت تأثیر رنگ‌بری قرار می‌گیرند، موردبررسی قرار گرفتند.

درجه روشنایی

برای اندازه‌گیری درجه روشنایی، از دستگاه Color meter و مطابق با استاندارد TAPPI standard [۱۱] استفاده شد. بر اساس این استاندارد، یک پد حاوی الیاف توسط سیستم مکش تشکیل شد و در دمای اتاق خشک گردید. پد خشک شده تحت آزمون درجه روشنایی قرار گرفت.

درصد خاکستر

برای اندازه‌گیری درصد خاکستر، مطابق با استاندارد TAPPI standard [۱۱] عمل شد. برای این منظور، مقدار ۲ گرم از خمیرکاغذ در داخل یک بوته چینی از قبل خشک شده و همچنین توزین شده قرار داده شد و به مدت ۳ ساعت در داخل کوره و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از آن، بوته چینی حاوی خاکستر از داخل کوره خارج شد و در داخل دسیکاتور قرار گرفت. بوته چینی حاوی خاکستر مجددا توزین شد و درصد خاکستر با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$AC = \frac{Aw}{Pw} \times 100 \qquad (1)$$

که در آن، AC، درصد خاکستر، Aw، وزن خاکستر بر حسب گرم و Pw، وزن خشک اولیه خمیرکاغذ بر حسب گرم می‌باشد.

عدد کاپا

عدد کاپا، معیاری برای تخمین زدن مقدار لیگنین باقی مانده در خمیر است. هر چه عدد کاپا، مقدار بالاتری را نشان دهد، مقدار لیگنین بیشتر است و هر چه عدد کاپا، مقدار کمتری را نشان دهد، مقدار لیگنین کمتر است. برای اندازه‌گیری عدد کاپا ابتدا درصد رطوبت خمیر، به روش آون اندازه‌گیری می‌شود. سپس مقدار مشخصی بر مبنای وزن خشک خمیر توزین شده و درون یک بشر شیشه‌ایی ریخته می‌شود. مقدار ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به خمیر اضافه می‌شود و تحت همزنی قرار می‌گیرد و همزنی تا باز شدن خمیر ادامه پیدا می‌کند. در ادامه حجم سوسپانسیون خمیر به ۲۰۰ میلی‌لیتر رسانده می‌شود. همزنی بر روی همزن مغناطیسی ادامه پیدا می‌کند. ۲۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۰/۴ نرمال و ۲۵ میلی‌لیتر پرمنگنات پتاسیم ۰/۱ نرمال به سوسپانسیون خمیر اضافه شده و همزنی تا ۱۰ دقیقه دیگر ادامه پیدا می‌کند. سپس ۵ میلی‌لیتر یدید پتاسیم به سوسپانسیون اضافه می‌شود. سپس، دو قطره چسب نشاسته (۵ گرم نشاسته با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و تا دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده می‌شود) به سوسپانسیون خمیر اضافه می‌شود. یک مرحله تیتراسیون با استفاده از تیوسولفات ۰/۱ نرمال تا زمان بی‌رنگ (شفاف شدن) شدن سوسپانسیون انجام می‌شود. کنترل دما با استفاده از ترمومتر انجام می‌شود تا در صورتی که دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد نباشد، اصلاح دمایی روی عدد کاپا انجام شود. با استفاده از مقدار مصرف تیوسولفات، می‌توان عدد کاپا را محاسبه کرد. اندازه‌گیری عدد کاپا مطابق با استاندارد TAPPI standard [۱۱] انجام شد.

بازده رنگ‌بری

پس از هر مرحله از رنگ‌بری، بازده رنگ‌بری با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد. بازده رنگ‌بری یکی از آزمون‌های مهم از دیدگاه ملاحظات اقتصادی است.

$$BY = \frac{Wa}{Wb} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، BY؛ بازده رنگ‌بری بر حسب درصد، Wa، وزن خمیرکاغذ پس از رنگ‌بری بر حسب گرم و Wb، وزن خمیرکاغذ پس از رنگ‌بری بر حسب گرم می‌باشد.

آزمون‌های انجام شده بر روی خمیر فلاف ساخته شده

پس از ساخت خمیر فلاف، شش آزمون مهم میکروسکوپ الکترونی پویشی، درجه روانی، دانسیته خمیر فلاف، ظرفیت نگه‌داری آب و شاخص‌های ترکیدگی و کششی بر روی این خمیرها انجام شد.

میکروسکوپ الکترونی پویشی

برای بررسی ریخت‌شناسی خمیر فلاف قبل و بعد از پالایش، از میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل (FE-SEM, MIRA-II TESCAN) ساخت کشور جمهوری چک استفاده شد. برای این منظور مقدار کوچکی از خمیر فلاف ساخته شده در آون خشک شدو توسط لایه نازکی از طلا پوشش دهی داده شد.

درجه روانی

قبل و پس از پالایش خمیرکاغذهای ساخته شده، درجه روانی این خمیرها مطابق با استاندارد TAPPI standard[۱۱] مورد ارزیابی قرار گرفت. درجه روانی خمیرکاغذ، معیاری برای سنجش شدت پالایش و خصوصیات کاغذ نهایی ساخته شده است.

دانسیته

دانسیته خمیر فلاف ساخته شده مطابق با استانداردهای TAPPI standard [۱۱] (برای اندازه‌گیری گرماژ) و TAPPI standard [۱۱] (برای اندازه‌گیری ضخامت) و مطابق با رابطه ۳ انجام شد:

$$D = \frac{G}{t} \qquad (۳)$$

که در آن، D، دانسیته کاغذ بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، G، گرماژ کاغذ بر حسب گرم بر مترمربع و t، ضخامت کاغذ بر حسب میکرومتر است.

ظرفیت نگه‌داری آب

تغییرات مقدار ماندگاری آب شاخص مهمی از تورم درونی الیاف است. اندازه‌گیری ظرفیت نگه‌داری آب بر اساس استاندارد TAPPI standard [۱۱] انجام گرفت. قبل از انجام آزمون، خمیرکاغذ در یک دستگاه هموژنایزر به مدت ۵ دقیقه کاملاً یکنواخت شد و سپس با آب مقطر شست‌وشو داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در همان آب مقطر باقی ماند. پس از این مدت، سوسپانسیون خمیرکاغذ با خلأ ملایم آبگیری شد تا به درصد خشکی ۲۵ درصد برسد. سپس نمونه‌ها تحت نیروی گریز از مرکز 900G به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از سانتریفیوژ، وزن تر نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نمونه‌های وزن شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه سانتی-گراد در آون خشک شدند و سپس در دسیکاتور به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند و سپس وزن خشک نمونه‌ها تعیین شد. با توجه به نتایج، ظرفیت نگه‌داری آب با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد:

$$WRV = \frac{Ww - Wd}{Ww} \qquad (۴)$$

که در آن، WRV، ظرفیت نگه‌داری آب بر حسب گرم بر گرم، Ww، وزن تر خمیر بر حسب گرم و Wd، وزن خشک خمیر بر حسب گرم است.

شاخص‌های ترکیدگی و کششی

برای اندازه‌گیری شاخص‌های ترکیدگی و کششی خمیر فلاف ساخته شده، به ترتیب مطابق با استاندارد TAPPI standard [۱۱] و TAPPI standard [۱۱] عمل شد. پس از انجام آزمون‌ها، اعداد به‌دست‌آمده از هر آزمون بر گرماژ آن‌ها تقسیم شد و شاخص ترکیدگی بر حسب کیلوپاسکال مترمربع بر گرم و شاخص کششی بر حسب نیوتن متر بر گرم به دست آمد.

آنالیز آماری

برای تجریه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS و طرح آماری فاکتوریل استفاده شد. پس از مشاهده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها، از آزمون چند دامنه‌ایی دانکن برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۳، ترکیبات شیمیایی ضایعات ریسندگی خام را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، ضایعات ریسندگی حاوی درصد بسیار بالایی از سلولز و درصد کمی لیگنین است که این ماده را به ماده اولیه بسیار ایده آلی برای ساخت خمیر فلاف تبدیل می‌کند. این نتایج در مقایسه با سایر پژوهشگرانی که در رابطه با مواد لیگنوسلولزی مثل کاه گندم مطالعه کرده بودند، مقایسه شد و نتایج حاکی از آن بود که مقدار سلولز در ضایعات ریسندگی به‌طور قابل ملاحظه‌ایی بیشتر از کاه گندم است در حالی که مقدار لیگنین آن به‌طور چشمگیری کمتر است.

جدول ۳- ترکیبات شیمیایی ضایعات ریسندگی خام

ترکیبات شیمیایی	سلولز	همی‌سلولز	لیگنین	خاکستر	مواد استخراجی
درصد ترکیب	۷۸/۹۶	۵/۵۶	۱/۸۰	۷/۴۵	۶/۲۳
کاه گندم [۷]	۴۱/۴۲	۲۵/۳۴	۲۱/۳۰	۸/۵۷	۷/۲۰

بازده پخت، عدد کاپا و میزان خاکستر خمیر حاصل از ضایعات ریسندگی، در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بازده کل، عدد کاپا و میزان خاکستر ضایعات ریسندگی پس از انجام عملیات پخت به ترتیب، ۷۰/۶۵ درصد، ۵/۴۳ درصد و ۴/۲۳ درصد می‌باشد. بازده کل بالای خمیر حاصل از ضایعات ریسندگی (۷۰/۶۵ درصد) در مقایسه با بازده پخت سایر منابع لیگنوسلولزی که عمدتاً در حدود ۴۵ درصد است (تقریباً در همین شرایط پخت) [۷،۱۲] مربوط به درصد کمتر لیگنین و همی‌سلولز آن و همچنین درصد بالاتر آلفا سلولز آن در مقایسه با منابع دیگر لیگنوسلولزی است.

جدول ۴- بازده پخت، عدد کاپا و میزان خاکستر خمیر حاصل از ضایعات ریسندگی

بازده کل (درصد)	عدد کاپا	خاکستر (درصد)
۷۰/۶۵	**۵/۴۳**	**۴/۲۳**

نتایج مربوط به رنگ‌بری خمیر ضایعات ریسندگی در مراحل مختلف، در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس این جدول، درجه روشنایی خمیر ضایعات ریسندگی در اثر اعمال مراحل مختلف رنگ‌بری، افزایش یافت در حالی که میزان خاکستر، عدد کاپا و بازده رنگ‌بری کاهش یافت. این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران که در رابطه با تأثیر هیپوکلریت سدیم بر کارایی رنگ‌بری و افزایش درجه روشنایی خمیرکاغذ مطالعه کرده بودند، مطابقت دارد [۱۳،۱۴].

جدول ۵- نتایج رنگ‌بری خمیر ضایعات ریسندگی در مراحل مختلف

مرحله رنگ‌بری	**درجه روشنایی (درصد)**	**خاکستر (درصد)**	**عدد کاپا**	**بازده رنگ‌بری (درصد)**
خمیر رنگ‌بری **نشده**	۳۵/۷۷	۴/۲۳	۵/۴۳	-
H	۶۵/۵۲	۱/۸۶	۱/۱۴	۹۷/۵۶
E	۶۵/۲۵	۱/۲۱	۱/۱۲	۹۶/۱۱

H	۸۳/۷۸	۰/۹۳	۰/۹۷	۹۴/۷۷

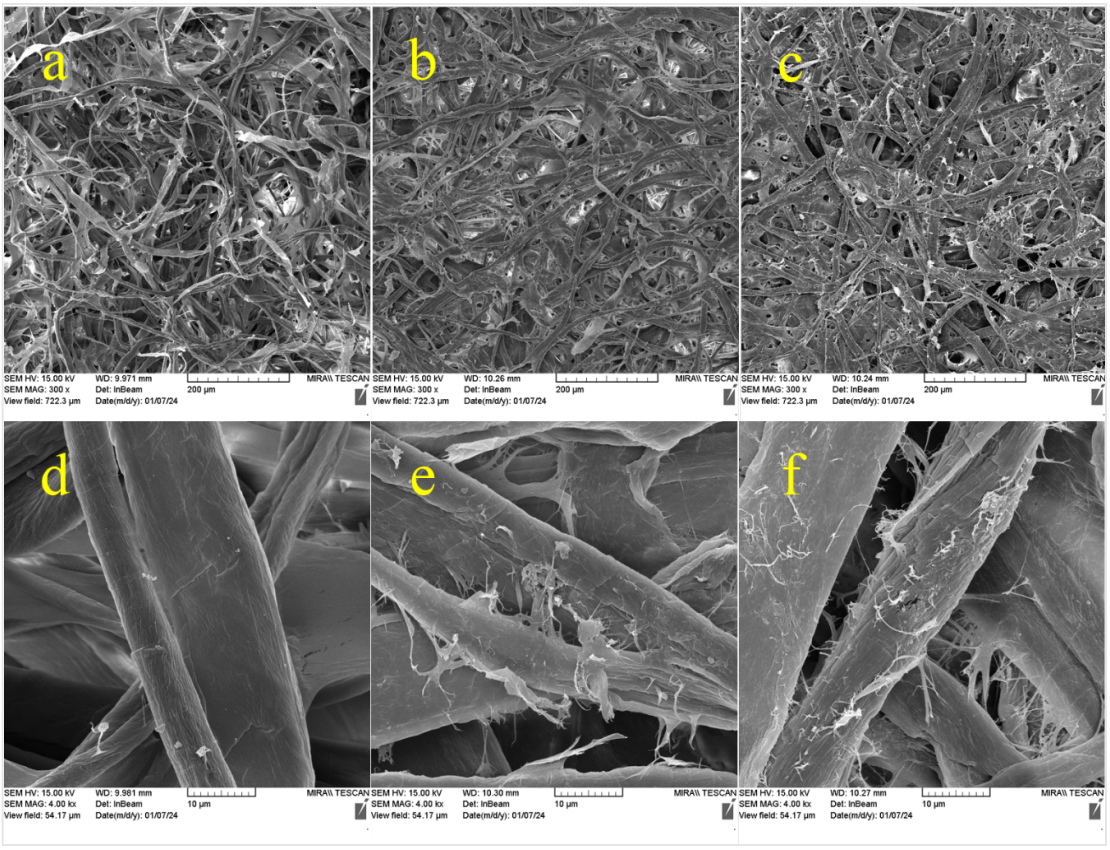
* بازده رنگ‌بری در هر مرحله نسبت به خمیر رنگ‌بری نشده اولیه محاسبه گردید.

جدول ۶، تأثیر پالایش خمیر رنگ‌بری شده ضایعات ریسندگی بر برخی از خصوصیات مهم خمیر فلاف ساخته شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد دور پالایش درجه روانی (°SR)، دانسیته و ظرفیت نگه‌داری آب افزایش یافت. با افزایش شدت پالایش، سطوح داخلی و خصوصاً خارجی الیاف فیبریله شده و این موضوع باعث می‌شود تا شدت آبگیری الیاف و به تبع آن درجه روانی (°SR) افزایش یابد. در اثر افزایش فیبریله شدن الیاف، یک بافت متراکم در اثر پیوندهای هیدروژنی بیشتر اتفاق می‌افتد و این موضوع باعث افزایش دانسیته کاغذهای ساخته شده می‌شود. این نتایج با یافته-های سایر پژوهشگران مطابقت دارد [۷]. ظرفیت نگه‌داری آب به گروه‌های هیدروکسیل سطوح الیاف مرتبط است و افزایش آن در اثر افزایش شدت پالایش احتمالاً مربوط به فیبریله شدن سطوح الیاف باشد، چون نقاط فیبریله شده نیز دارای گروه هیدروکسیل است. نتایج شاخص ترکیدگی و شاخص کششی نشان داد که با افزایش تعداد دور پالایش تا ۷۵۰۰ دور، این شاخص‌ها در خمیر فلاف افزایش یافتند در حالی که افزایش تعداد دور بیشتر تا ۱۰۰۰۰ دور باعث کاهش این شاخص‌ها شد. افزایش شاخص‌های مکانیکی در اثر افزایش شدت دور پالایش مربوط به فیبریله شدن الیاف و درگیری فیزیکی بهتر آن-ها در هنگام ساخت کاغذ می‌شود [۷]. اما کاهش این شاخص‌ها در اثر افزایش بیش‌ازحد شدت پالایش، احتمالاً به افزایش نرمه‌ها در کاغذ باشد.

جدول ۶- تأثیر پالایش خمیر رنگ‌بری شده ضایعات ریسندگی بر برخی از خصوصیات مهم خمیر فلاف

دور پالایش	درجه روانی (°SR)	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ظرفیت نگه‌داری آب (گرم بر گرم)	شاخص ترکیدگی (کیلوپاسکال. مترمربع بر گرم)	شاخص کششی (نیوتن متر بر گرم)
پالایش نشده	۱۴	۰/۲	۱/۱۲	۰/۵	۱۶/۵۵
۲۵۰۰	۲۰	۰/۳۹	۱/۵۸	۱/۵	۲۰/۳
۵۰۰۰	۲۵	۰/۴۷	۱/۶۶	۲/۳	۲۴/۷۸
۷۵۰۰	۳۵	۰/۵۶	۱/۶۸	۳/۴	۲۵/۶۴
۱۰۰۰۰	۵۲	۰/۶	۱/۷	۳	۱۸/۸۹

شکل ۱، تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی مربوط به خمیر فلاف درشدت دورهای متفاوت پالایش، در دو بزرگنمایی مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در خمیر بدون پالایش، الیاف به‌خوبی فروگیری نشده‌اند (شکل a۱) و سطوح الیاف کاملاً صاف و سالم و بدون نقاط فیبریله شده هستند (شکل d۱). در خمیر پالایش شده با ۵۰۰۰ دور، شکل‌گیری و فرم دهی الیاف به‌طور چشمگیری افزایش یافت (شکل b۱) و نقاط فیربیله شده بر روی سطوح خارجی الیاف کاملاً مشخص است (شکل e۱). در خمیر پالایش شده با ۱۰۰۰۰ دور، گرچه فروگیری الیاف همچنان در حالت ایدآلی قرار دارد (شکل c۱)، اما فیربیله شدن سطوح خارجی الیاف تا حد آسیب زدن به الیاف ادامه پیدا کرده است (شکل f۱). این موضوع احتمالاً منجر به کاهش شاخص‌های مکانیکی کاغذ در اثر افزایش شدت پالایش تا ۱۰۰۰۰ دور شده است.



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی، خمیر فلاف پالایش نشده در بزرگنمایی ۳۰۰ (a)، خمیر پالایش شده با دور ۵۰۰۰ در بزرگنمایی ۳۰۰ (b)، خمیر پالایش شده با دور ۱۰۰۰۰ در بزرگنمایی ۳۰۰ (c)، خمیر پالایش نشده در بزرگنمایی ۴۰۰۰ (d)، خمیر پالایش شده با دور ۵۰۰۰ در بزرگنمایی ۴۰۰۰ (e)، خمیر پالایش شده با دور ۱۰۰۰۰ در بزرگنمایی ۴۰۰۰ (f)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، امکان ساخت خمیر فلاف با استفاده از ضایعات کارخانجات ریسندگی موردبررسی قرار گرفت. به کارگیری این ضایعات برای ساخت خمیر فلاف از جنبه-های تکنیکی و محیط زیستی اهمیت فراوانی دارد، زیرا از یک طرف می‌توان از قطع درخت برای تولید این محصول جلوگیری کرد و از سوی دیگر، این ضایعات که عمدتاً بر پایه پنبه هستند خصوصیات ویژه‌ایی به خمیر فلاف می-دهند. نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از روش سودا و یک توالی سه مرحله‌ایی رنگ‌بری و پالایش خمیر حاصله می‌توان یک خمیر فلاف با خواص ویژه تولید کرد. نتایج رنگ‌بری نشان داد که می‌توان با یک توالی سه مرحله‌ایی هیپوکلریت سدیم-استخراج قلیایی-هیپوکلریت سدیم به درجه روشنایی حدود ۸۴ درصد دست پیدا کرد. نتایج پالایش خمیر رنگ‌بری شده نشان داد که با افزایش شدت پالایش، خواصی مثل درجه روانی (°SR)، دانسیته، ظرفیت نگه‌داری آب و شاخص‌های مکانیکی خمیر افزایش یافتند. نتایج میکروسکوپ الکترونی پویشی حاکی از آن بود که ب ا افزایش پالایش سطوح خارجی الیاف کاملاً فیبریله شدند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان این گونه نتیجه گرفت که ضایعات ریسندگی با مورفولوژی الیاف مناسب، به شرط انجام عملیات پخت، رنگ‌بری و پالایش مناسب، قابلیت استفاده در مصارف خمیر فلاف را دارند. در خمیرهای حاصل از چوب و ضایعات کشاورزی، پالایش الیاف به‌صورت شدید انجام نمی‌شود (در مصارف خمیر فلاف)، چون خمیر حاصل باید پس از ساخت حلاجی شود و پالایش شدید الیاف حلاجی شدن آن در داخل آسیاب چکشی را دچار مشکل می‌کند. علت پالایش شدید این الیاف، فقدان همی‌سلولزها است که قابلیت پیوند هیدروژنی بین الیاف را کاهش می‌دهد، بنابراین با

استفاده از پالایش الیاف، قابلیت پیوند هیدروژنی بین الیاف افزایش یافت.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، از بنیاد ملی علم ایران (INSF) به دلیل حمایت مالی از این پژوهش (شماره طرح ۴۰۲۰۳۴۵) نهایت تشکر را دارند.

منابع

[1] Sharifi Taskouh, H. Hamzeh, Y. and Pourmousa, Sh. (2015). Optimization process variables of deinked pulp bleaching - improvement of wet tensile strength of tissue paper. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 30(4), pp. 705-716. (In Persian).

[2] Ghasemian, A. and Khalili, A. (2012). Fundamentals and Procedures of Paper Recycling. Aeij Press, Tehran, 169p. (In Persian).

[3] Ismaeilimoghadam, S. Sheikh, M. Taheri, P. Maleki, S. Resalati, H. Jonoobi, M. Azimi, B. and Danti, S. (2022). Manufacturing of fluff pulp using different pulp sources and bentonite on an industrial scale for absorbent hygienic products. Molecules, 27, https://doi.org/10.3390/molecules27155022.

[4] Ismaeilimoghadam, S. Jonoobi, M. Hamzeh, Y. Azimi, B. Mezzetta, A. Guazzelli, L. Cinelli, P. Seggiani, M. and Danti, S. (2024). Development and characterization of sodium alginate-based bio-hybrid super absorbent polymer with high retention capacity suitable for baby diapers. Journal of polymer and environment, 32, pp. 5212-5230. https://doi.org/10.1007/s10924-024-03297-3.

[5] Ismaeilimoghadam, S. Jonoobi, M. Ashori, A. Shahraki, A. Azimi, B. Danti, S. (2023). Interpenetrating and semi-interpenetrating network superabsorbent hydrogels based on sodium alginate and cellulose nanocrystals: A biodegradable and high-performance solution for adult incontinence pads. International Journal of Biological Macromolecules, 253, 127118. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127118.

[6] Peng, M.C. Sethu, V. and Selvarajoo, A. (2020). Performance study of chia seeds, chia flour and Mimosa pudica hydrogel as polysaccharide-based superabsorbent polymers for sanitary napkins. Materials Today Communications, 26, https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101712.

[7] Ismaeilimoghadam, S. Mahdavi, S. Pourhashemi, M. Shahraki, A. and Jonoobi, M. (2024). Mono ethanol amine (MEA) pulping of wheat straw: An environmentally friendly suggestion for the cellulosic fluff pulp production. Journal of renewable materials, https://doi.org/10.32604/jrm.2024.054888.

[8] Rahman, S. Uddin, A.J. (2022). Unusable cotton spinning mill waste: A viable source of raw material in paper making. Heliyon 8(8), https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10055.

[9] Rebola, S.M. Azevedo, C.A. and Evtuguin, D.V. (2021). Effect of cooking and bleaching conditions on the properties of eucalyptus kraft fluff pulps. Cellulose, 28(8), pp. 4411–4426. https://doi.org/10.1007/s10570-021-03789-8.

[10] Rowell, R.M. (2005). Wood chemistry and wood composites. CRC press.

[11] TAPPI Test methods (2004). Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta, GA.

[12] Salehi, K. Kordsachia, O. Patt, R. (2014). Comparison of MEA/AQ, soda and soda/AQ pulping of wheat and rye straw. Industrial Crops and Products, 52, pp. 603-610. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.014.

[13] Aridi, A.S. Chin, N.L. Ishak, N.A. Mohamad Yusof, N.N. Kadota, K. Manaf, Y.N. Yusof, Y.A. (2021). Effect of sodium hypochlorite concentration during pre-treatment on isolation of nanocrystalline cellulose from Leucaena Ieucocephala (Lam.) Mature pods. Bioresources, 16(2), pp. 3137-3158.

[14] Aurelia, C. Murdiati, A. Supriyanto. and Ningrum, A. (2019). "Effect of sodium hydroxide and sodium hypochlorite on the physicochemical characteristics of jack bean skin (Canavalia ensiformis)," Pakistan Journal of Nutrition, 18(2), pp. 193-200. DOI: 10.3923/pjn.2019.193.200.