



استفاده از کاه گندم در ساخت خمیر و کاغذ

علی اصغر روحانی^{۱*} و مژده مشکور^۲

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم و منابع طبیعی گرگان، گرگان،

ایران

^۲ استادیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

با افزایش جمعیت و رشد فناوری، نیازهای بشر در حوزه فرآورده‌های سلولزی روز به روز در حال افزایش است. از طرفی دیگر، منابع جنگلی برای تولید کاغذهای مختلف نیز محدود و دسترسی به آن برای برخی از کشورها، غیرممکن است. بنابراین، نیاز به مواد اولیه جایگزین بسیار ضروری و مهم است. یکی از منابع غیرچوبی جایگزین، پسماندهای لیگنوسلولزی مانند کاه گندم است. خمیر کاغذ از کاه گندم باید به روشی تهیه شود که بتوان آن را در مقیاس کوچک، استفاده و جایگزین بخشی از خمیر کاغذ تولیدشده از کارتن کهنه کرد. خمیر کاغذ کاه گندم را می‌توان با استفاده از هیدروکسیدسدیم (سود) در زمان پخت ۴۰ دقیقه و دمای پخت ۹۵ درجه سلسیوس تهیه کرد. از الیاف کاه گندم می‌توان به صورت ترکیبی با سایر خمیرها استفاده کرد و بخشی از نیازهای کارخانه‌های کاغذسازی را تأمین کرد. با توجه به برتری مقاومتی این خمیر کاغذ، از آن می‌توان به عنوان تقویت‌کننده در ترکیب با خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه نیز استفاده کرد. در این مقاله، روش تهیه خمیر کاغذ از کاه گندم شرح داده شده است.

واژگان کلیدی: پسماند کشاورزی، خمیر کاغذ، کارتن، کاغذ، کاه گندم، منابع جایگزین چوب

بیان مسئله

با توجه به افزایش جمعیت، کمبود منابع چوبی و فشارهای زیست‌محیطی، نمی‌توان فقط از منابع چوبی برای تولید کاغذ استفاده کرد (جهان‌لتیباری و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین، منابع تأمین ماده اولیه صنایع خمیر کاغذ، از چوب به مواد غیرچوبی و پسماندهای کشاورزی تغییر یافته است. در ایران نیز کاهش سطح جنگل‌ها در نتیجه استفاده بی‌رویه از این منبع و رشد چشمگیر کارخانجات صنایع چوب و کاغذ، استفاده از الیاف لیگنوسلولزی پسماندهای کشاورزی را امری اجتناب‌ناپذیر ساخته است (وزیری و اولیایی بلقان، ۱۳۹۲).

کاه گندم از جمله پسماندهای کشاورزی و یک منبع غیرچوبی است که می‌توان از آن در صنایع خمیر کاغذ استفاده کرد (سیدناصرالدین و همکاران، ۱۳۹۸). میزان تولید سالانه کاه در جهان حدود ۵۰۰ میلیون تن است. این مقدار کاه برای تولید ۱۰۰ میلیون تن الیاف کاغذسازی در سال کافی است، اما سالانه فقط ۴/۵ میلیون تن خمیر کاغذ از کاه تولید می‌شود (ویسی و همکاران، ۱۳۹۴). کاه گندم یک منبع به‌وفور در دسترس و قابل تجدید است و محتوای سلولز آن بیشتر از سایر انواع کاه گیاهی است. در دهه‌های اخیر، استفاده از کاه گندم در تولید کاغذ، بشقاب سلولزی و نانوالیاف بررسی شده است (ژانگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). در تولید خمیر کاغذ از کاه گندم، به‌طور متداول از فرآیند سودا استفاده می‌شود. در این فرآیند، از هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم استفاده شده و اکسیژن یا آنتراکینون^۲ نیز به آن اضافه می‌شود و دما به‌طور معمول بین ۱۴۰ تا ۱۸۰ درجه سلسیوس تنظیم می‌شود (جهان‌لتیباری و همکاران، ۱۳۹۲).

معرفی دستورالعمل

تهیه کاه گندم

برای تهیه خمیر کاغذ از کاه گندم، ابتدا ساقه‌های گندم توسط دستگاه کاتر (شکل ۱) به قطعاتی به طول ۲ تا ۳ سانتی‌متر خرد می‌شوند. ساقه‌های خردشده (کاه) کاملاً با هم مخلوط و در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی می‌شوند.



شکل ۱- دستگاه کاتر

¹ Zhang

² Anthraquinone

استفاده از کاه گندم در ساخت خمیر و کاغذ / علی اصغر روحانی، مزده مشکور



شکل ۲- کاه گندم

تهیه خمیر و کاغذ از کاه گندم

در شرایط آزمایشگاهی، برای خمیرسازی می‌توان از دیگ پخت استیل ۲ لیتری با قابلیت تنظیم فشار و دما استفاده کرد (شکل ۳). برای خمیرسازی کاه گندم از روش شیمیایی مکانیکی استفاده می‌شود. برای عمل شیمیایی، ابتدا نسبت مایع پخت به حجم کاه محاسبه می‌شود. این نسبت، ۱ : ۸ است، یعنی به هر ۸ گرم کاه گندم، یک گرم وزنی هیدروکسید سدیم به آب مقطر اضافه شده و در دیگ پخت همراه با کاه (۱۰۰ گرم) در دمای ۹۵ درجه سلسیوس و در زمان پخت ۴۰ دقیقه تحت فشار ۱ اتمسفر قرار می‌گیرد. پس از پخت و برای عمل مکانیکی، از دستگاه دفیبراتور استفاده می‌شود (شکل ۴). در این دستگاه، الیاف پخته شده از هم جدا و باز می‌شوند. سپس، الیاف جدا شده، روی الک‌های با مش ۱۴ و مش ۲۰۰ تحت ارتعاش لرزشی قرار می‌گیرند (شکل ۵). ذرات الیافی که روی الک مش ۱۴ هستند، وازده بوده و این الیاف از نظر ابعاد و اندازه برای کاغذسازی مناسب نیستند. الیافی که روی الک مش ۲۰۰ قرار می‌گیرند، برای کاغذسازی مناسب هستند.



شکل ۳- دستگاه دیگ پخت برای تهیه خمیر کاغذ



شکل ۴- دستگاه دفیبراتور جداکننده الیاف



شکل ۵- الک مش ۱۴ (راست) و الک مش ۲۰۰ (چپ) در کاغذسازی

ساخت کاغذ دست ساز

برای تولید کاغذ دست ساز از دستگاه مخصوص استفاده می شود. این دستگاه شامل همزن ۴ پره، کاغذ خشک کن، حلقه پلاستیکی، غلتک فلزی و صفحه استیل است (شکل ۶). برای تولید کاغذ دست ساز، ابتدا باید توری دستگاه را به خوبی شست و شو داد. سپس، دریچه تخلیه آب دستگاه، بسته و ورودی آب باز می شود. پس از آن که نیمی از قسمت استوانه ای از آب پر شد، ورودی آب بسته و سوسپانسیون به داخل دستگاه اضافه شده و مجدداً دریچه باز می شود تا آب به خط شاخص دستگاه برسد. سپس، دریچه ورودی آب دستگاه بسته شده و به منظور یکنواخت سازی، مخلوط حاصل، سه الی چهار بار هم زده می شود. در پایان، هرم تخلیه آب به سمت پایین کشیده شده و دریچه خروجی باز می شود. هم زمان با خارج شدن آب از دستگاه به واسطه نیروی گرانش، الیاف روی سطح توری ته نشین شده و خلاء حاصل از خروج آب، تا حدودی موجب مکش آب موجود در کاغذ تشکیل شده می شود. قسمت استوانه ای دستگاه باز شده و یک ورق کاغذ خشک کن روی سطح توری گذاشته شده (شکل

استفاده از کاه گندم در ساخت خمیر و کاغذ / علی اصغر روحانی، مزده مشکور

۷) و روی آن نیز یک صفحه استیل قرار داده می‌شود تا غلتک فلزی روی آن، ۵ بار بدون اعمال فشار و تنها با حرکات جلو و عقب، روی سطح صفحه فلزی حرکت داده شود (شکل ۸). این حرکت باعث توزیع یکسان نیرو روی صفحه کاغذ تولیدی می‌شود. پس از برداشتن غلتک از روی صفحه استیل، کاغذ خشک‌کن از روی توری به همراه کاغذ تولیدشده و چسبیده به آن برداشته می‌شود (شکل ۹). برای حفظ شکل اولیه کاغذ تر تولیدشده، بر روی آن یک صفحه فلزی کاملاً خشک از جنس استیل قرار داده می‌شود و بعد از آن، در داخل دستگاه پرس آزمایشگاهی قرار می‌گیرد (شکل ۱۰). عمل پرس در دو مرحله انجام می‌گیرد. مدت زمان پرس در مرحله اول، ۵ دقیقه و در مرحله دوم، ۳ دقیقه و فشار در هر دو مرحله، ۵۰ PSI است. پس از اتمام پرس، کاغذ خشک‌کن از نمونه جدا و کاغذ دست‌ساز به همراه صفحه فلزی در داخل حلقه پلاستیکی قرار داده می‌شود. در این حالت، نمونه که از یک طرف در معرض هوای آزاد و از طرف دیگر به سطح صفحه استیل چسبیده است، به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق به آرامی خشک شده تا چین نخورد. بعد از آن، کاغذهای خشک‌شده از صفحات فلزی جدا شده و برای رسیدن به شرایط استاندارد آزمایشگاهی (رطوبت نسبی ۵۳ درصد و دمای ۲۳ درجه سلسیوس)، به مدت ۲۴ ساعت در اتاق متعادل‌سازی قرار داده می‌شوند.



شکل ۶- دستگاه ساخت کاغذ دست‌ساز و ملزومات آن (هم‌زن ۴ پره، کاغذ خشک‌کن، حلقه پلاستیکی، غلتک فلزی، صفحه استیل)



شکل ۷- نحوه قرار دادن کاغذ خشک کن و صفحه استیل روی توری دستگاه کاغذساز



شکل ۸- نحوه استفاده از غلتک فلزی



شکل ۹- نحوه جدا کردن کاغذ تر دست ساز از توری دستگاه با استفاده از کاغذ خشک کن



استفاده از کاه گندم در ساخت خمیر و کاغذ / علی اصغر روحانی، مزده مشکور



شکل ۱۰- دستگاه پرس آزمایشگاهی

اختلاط خمیر کاغذ کاه گندم با خمیر کاغذ بازیافتی

از طریق اندازه‌گیری مقاومت کاغذ دست‌ساز می‌توان میزان اختلاط خمیر کاغذ کاه گندم (شکل ۱۱) را با خمیر بازیافتی مورد ارزیابی قرار داد تا بهترین حالت اختلاط با بیشترین مقاومت کاغذ را به دست آورد. در کاغذ کاه گندم، شاخص مقاومت به پارگی، $۸/۴۰ \text{ Mn.m}^2/\text{g}$ ، شاخص مقاومت به کشش $۴۹/۲۹ \text{ N.m/g}$ و شاخص مقاومت به ترکیدن، $۲/۱۸ \text{ KPa.m}^2/\text{g}$ است. میزان اختلاط از ۲۰ درصد می‌تواند شروع شود ولی معمولاً با آزمون و خطا بایستی در کارخانه بررسی شود. هر کارخانه، شرایط و فرآیندش با کارخانه دیگر فرق دارد و این اختلاط باید در کارخانه مورد نظر بررسی شود. اختلاط باید به صورتی باشد که مقاومت موارد ذکر شده از این مقدار کمتر نباشد.

در حال حاضر، در فرآیند بازیافت و تولید کاغذهای بسته‌بندی عمدتاً از کارتن کنگره‌ای کهنه موسوم به کاغذ بازیافتی استفاده می‌شود. با توجه به ضرورت یافتن خمیر کاغذی که بتواند بخشی از خمیر کاغذ بازیافتی را جایگزین کند، از مقادیر متفاوت خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی کاه گندم می‌توان استفاده کرد. بعد از جداسازی الیاف یا خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی پالایش شده تا درجه روانی حدود ۵۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی در ترکیب با خمیر کاغذ بازیافتی از کارتن کنگره‌ای کهنه (بازیافتی) می‌توان استفاده کرد. طول الیاف کاه گندم کوتاه‌تر و مقاومت ذاتی الیاف خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم ضعیف‌تر از الیاف چوب است. بنابراین، در ترکیب خمیر کاه گندم بایستی دقت کرد تا مقاومت کلی محصول نهایی کاهش نیابد. مقاومت‌های کاغذهای حاصل از کاه گندم، چوب، کاغذ وارداتی و کاغذ بازیافتی در جدول یک آورده شده است.

جدول ۱- مقایسه مقاومت‌های کاغذهای حاصل از کاه گندم، چوب، کاغذ وارداتی و کاغذ بازیافتی

نوع کاغذ	مقاومت به کشش (N,m/g)	مقاومت به ترکیدن (KPa.m ² /g)	مقاومت به پارگی (Mn.m ² /g)
کاغذ حاصل از کاه گندم	۴۲/۲۹	۲/۱۸	۸/۴۶
کاغذ حاصل از چوب	۳۹/۲۱	۱/۵۳	۴/۹۱
کاغذ وارداتی	۴۲/۱۵	۱/۴۳	۵/۴۱
کاغذ کاملاً بازیافتی	۱۸/۱	۰/۹	۶/۱

ارزیابی ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ

برای تعیین ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ از دستگاه‌های اندازه‌گیری مقاومت کششی (شکل ۱۲)، مقاومت به ترکیدن (شکل ۱۳) و مقاومت به پارگی (شکل ۱۴) استفاده می‌شود.



شکل ۱۱- خمیر کاغذ کاه گندم



شکل ۱۲- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت کششی کاغذ

استفاده از کاه گندم در ساخت خمیر و کاغذ / علی اصغر روحانی، مزده مشکور



شکل ۱۳- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت به ترکیدن کاغذ



شکل ۱۴- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت به پارگی کاغذ

توصیه ترویجی (جمع‌بندی)

ترکیبات کاه گندم از نظر ساختاری شبیه به چوب بوده و دارای ۵۱-۲۹ درصد سلولز و ۲۱-۱۶ درصد لیگنین است. کاه گندم همچنین هر ساله تجدیدپذیر بوده و قابل دسترس است. در استفاده از کاه گندم در مقایسه با چوب که شامل پوست‌کنی و تبدیل چوب به چپس است، این مراحل وجود ندارد و از این نظر باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری می‌شود. برای تبدیل کاه گندم به خمیر و کاغذ به مواد شیمیایی کمتری نسبت به چوب نیاز است و این نیز خود باعث کاهش هزینه‌های تبدیلی خواهد شد. بنابراین، از کاه گندم می‌توان به عنوان ماده اولیه و یا به صورت ترکیبی با الیاف چوب (۲۰-۵۰ درصد) در صنایع کاغذسازی استفاده کرد و مشکلات ناشی از تأمین مواد اولیه برای این صنایع مهم را رفع کرد. در تولید کاغذ اگر نیاز به کاغذهایی باشد که سفیدبودن کاغذ اهمیت دارد، باید مقدار لیگنین موجود در خمیر کاه گندم را از



طریق رنگبری حذف کرد. در مورد کاغذهای بسته‌بندی، حضور لیگنین در خمیر کاغذ، به دلیل این که رنگ کاغذ نهایی اهمیت چندانی ندارد، مشکلی را ایجاد نمی‌کند.

فهرست منابع

- ۱- جهان‌لتیباری، احمد، آژنگ تاج‌دینی، سیدجواد سپیده‌دم، محمدعلی حسین، رضا حسین پور و محمد گازا. ۱۳۹۲. بررسی استفاده از خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی کاه گندم در ساخت کاغذ فلوتینگ. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب (مجله منابع طبیعی ایران)، ۶۶ (۲)، ص ۲۳۳-۲۴۱.
- ۲- سیدناصرالدین، معصومه، سحاب حجازی و یحیی همزه. ۱۳۹۸. تأثیر پیش‌استخراج همی سلولزهای کاه گندم با آب داغ بر ویژگی‌های خمیر کاغذهای مونواتانول آمین-آنتراکینون و سودا-آنتراکینون. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، ۱۰ (۳)، ص ۳۶۱-۳۷۲.
- ۳- وزیری، وحید و مجید اولیایی بلقان. ۱۳۹۲. بازیافت پسماندهای کشاورزی و ضایعات صنایع سلولزی گامی مؤثر جهت تأمین مواد اولیه فیبری در صنایع چوب و کاغذ. اولین همایش ملی مدیریت منابع طبیعی، ۸ اسفند، ۱۳۹۲، دانشگاه گنبد کاووس، ایران.
- ۴- ویسی، افشین، سعید مهدوی و محمد طلایی‌پور. ۱۳۹۴. بررسی تولید خمیر کاغذ روزنامه از کاه گندم و ویژگی‌های آن. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۳۰ (۲)، ص ۳۲۰-۳۲۹.

5. Zhang, Y., D.M. Ju, Z.I. Xing, H. Zong, L.H. Li, H.T. Chen, S. Liu, R. Li and S.M. Zhang. 2021. Optimization of wheat straw pretreatment process parameters for straw mulch mat. *BioResources*, 16 (2): 3827-3839.

