

## بررسی استفاده از خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی کاه گندم در ساخت کاغذ فلوتینگ

- ❖ احمد جهان لتیباری؛ استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران
- ❖ آژنگ تاجدینی؛ دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران
- ❖ سید جواد سپیده‌دم؛ استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران
- ❖ محمدعلی حسین؛ کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران
- ❖ رضا حسین پور؛ دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
- ❖ محمد گازا؛ کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران

### چکیده

این بررسی با هدف ارائه روشی برای ساخت خمیر کاغذ از کاه گندم انجام گرفت تا بتوان آن را در مقیاس کوچک استفاده و جایگزین بخشی از خمیر کاغذ تولید شده از کارتن کنگره‌ای کهنه کرد. بدین منظور، خمیر کاغذ با تغییر مقدار قلیابیت فعال (NaOH) در چهار سطح ۱۰، ۱۲، ۱۴، و ۱۶ درصد (بر مبنای وزن خشک کاه گندم) و زمان پخت ۴۰ دقیقه و دمای پخت ۹۵ درجه سانتی‌گراد تهیه شد. بازده بعد از پخت خمیر کاغذها بین ۶۴/۶ تا ۷۲/۷ درصد، و بازده کل بعد از جداسازی الیاف بین ۵۵/۴۵ تا ۵۸/۳ درصد متغیر بود. درجه روانی خمیر کاغذهای پالایش نشده نیز بین ۷۰۸ تا ۷۹۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی تغییر کرد. خمیر کاغذ تا درجه روانی حدود ۳۵۰ پالایش شد و پس از آن ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز از آن‌ها اندازه‌گیری شد. دانسیته کاغذ بین ۴۳۷ تا ۴۸۹ کیلوگرم بر متر مکعب، شاخص مقاومت به پاره شدن بین ۷/۹۱-۶/۵۱ mN.m<sup>۲</sup>/g، و شاخص مقاومت به کشش بین ۳۰/۸-۲۹/۲ N.m/g اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۹ درصد بین ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ دیده نشد، بنابراین، خمیر کاغذ تهیه شده با ۱۰ درصد قلیابیت فعال، ۴۰ دقیقه زمان پخت، و ۹۵ درجه سانتی‌گراد دمای پخت به‌عنوان جایگزینی برای خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه ارزیابی شد. ویژگی‌های خمیر کاغذ پالایش شده تا درجه روانی ۳۶۵ میلی‌متر استاندارد کانادایی برتر از خمیر کاغذ از کارتن کنگره‌ای کهنه اندازه‌گیری شد. با توجه به برتری مقاومتی، از این خمیر کاغذ می‌توان به‌عنوان تقویت‌کننده خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه استفاده کرد.

واژگان کلیدی: بازده، خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی، کاه گندم، کاغذ فلوتینگ، ویژگی‌های مقاومتی

## مقدمه

به سبب محدود بودن منابع چوبی و تحلیل رفتن آن، اتکا به این منابع برای تولید کاغذ و خمیر کاغذ، منطقی به نظر نمی‌رسد. بنابراین، با توجه به تقاضای بازار و فشارهای زیست‌محیطی، منابع تأمین ماده اولیه صنایع خمیر کاغذ، از چوب به مواد غیر چوبی و پسماندهای کشاورزی تغییر کرده است [۱]. در این راستا، از انواع منابع الیافی، مانند جنگل‌های دست‌کاشت از درختان سریع‌الرشد، بازیافت کاغذ، و الیاف منابع لیگنوسلولزی غیر چوبی از پسماندهای کشاورزی، برای تأمین ماده اولیه کاغذسازی استفاده می‌شود [۲].

توجه روزافزون به استفاده از منابع الیاف غیر چوبی، به ویژه پسماندهای کشاورزی در ساخت خمیر کاغذ، موجب توسعه و گسترش تحقیقات در سراسر جهان برای دستیابی به فرایندهای مناسب خمیر کاغذسازی از این منابع مهم شده است. این تحقیقات گسترده وسیعی از منابع الیاف غیر چوبی را پوشش داده است. در بین منابع الیاف غیر چوبی، کاه غلات، به ویژه کاه گندم، بیشترین اهمیت را در دنیا و ایران دارد. در تولید خمیر کاغذ از کاه گندم، گسترده‌ترین و متداول‌ترین فرایند خمیر کاغذسازی، فرایند سودا است. دو ماده شیمیایی اصلی به کاررفته در این فرایند، هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم‌اند، ولی اغلب اکسیژن یا آنتراکینون نیز به فرایند افزوده می‌شود و دما به طور معمول بین ۱۴۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد است.

لاتروب (۱۹۷۱) خصوصیات پالایش‌پذیری و مقاومت‌های خمیر کاغذ از پنج نوع پسماند محصولات کشاورزی از جمله کاه گندم ساخته شده با روش سودا را با خمیر کاغذ از چند گونه چوبی مقایسه کرد [۳]. خمیر کاغذهای تهیه شده از پسماندهای محصولات کشاورزی از نظر تمام خصوصیات مقاومتی، به جز مقاومت به پاره شدن، از خمیر کاغذ چوب مطلوب‌تر بودند. خمیر کاغذ سودای تهیه شده از کاه گندم در مقایسه با همه گونه‌های چوبی و غیر چوبی

بررسی شده از خصوصیات مقاومتی بهتری برخوردار بود. خمیر کاغذ کاه گندم در مقایسه با خمیر کاغذ سولفیت سوزنی‌برگان به پالایش کمتری نیاز داشت.

راجا و ایرماک (۱۹۹۳) با استفاده از کربنات سدیم و هیدروکسید سدیم به تهیه کاغذ فلوتینگ از کاه گندم اقدام کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که پخت‌های حاوی هیدروکسید سدیم، آسان‌تر پالایش می‌شود و انرژی مصرفی کمتری لازم دارد [۴]. همچنین، بر اثر کم شدن هیدروکسید سدیم، زمان پخت طولانی‌تر می‌شود و مقدار کربوهیدرات‌های حل‌نشده افزایش می‌یابد. این خمیر کاغذ بازده بیشتری دارد و در مصرف هیدروکسید سدیم کمتر، کاغذ مقاوم‌تری را برای ساخت کاغذ لایه موج میانی، تولید می‌کند. مکین و جاکوب (۱۹۹۷) ساقه گندم واریته Madisen ایالات متحده را بعد از پیش‌بخاردهی، تحت تأثیر روش سودا-آنتراکینون در دو فاز مایع و گاز قرار دادند و نتیجه گرفتند که تحت خمیر کاغذسازی سودا-آنتراکینون، خمیر کاغذهای قابل رنگ‌بری در عدد کاپای ۱۰-۱۲ و بازده حدود ۴۴ درصد تولید می‌شود. نیز نتیجه گرفتند که مقاومت به کشش و مقاومت به پاره شدن کاغذ ساخته شده از خمیر کاغذ کاه گندم کاملاً رنگ‌بری شده مناسب کاغذ ظریف و قابل مقایسه با مخلوط پهن‌برگان است [۵].

فرایند سولفیت اسیدی چون خمیر کاغذهایی با مقاومت کم تولید می‌کند، چندان برای کاغذسازی از کاه گندم مناسب نیست؛ در حالی که روش خمیر کاغذسازی سولفیت خشی از روش‌های مناسب خمیر کاغذسازی از کاه گندم است. ولی فرایند خمیر کاغذسازی NSSC از کاه، پیچیده‌تر از خمیر کاغذسازی NSSC با چوب است و مشکل دیگر این است که برخی کارخانه‌ها نتوانسته‌اند بازده مورد انتظار (۷۰-۷۵ درصد) را به دست آورند و بازده خمیر کاغذسازی محدود (۵۵-۵۸ درصد) بوده است.

جیاسینگام (۱۹۹۱) معتقد است که با انتخاب تجهیزات و روش مناسب می‌توان از بخش عمده‌ای از

کاغذ با استفاده از یک روش ساده بررسی شد. امکان استفاده از خمیرکاغذ تولیدشده در ترکیب با خمیرکاغذ از کارتن کنگره‌ای کهنه برای تأمین بخشی از الیاف مورد نیاز تولید کاغذ بسته‌بندی نیز ارزیابی شد.

## مواد و روش‌ها

### مواد اولیه

ساقه گندم مورد نیاز این بررسی از مزارع کشت گندم در شهرستان کرج تهیه و به دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، آزمایشگاه گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، منتقل شد. پس از جداسازی برگ و دانه‌ها، ساقه‌ها به قطعاتی به طول ۲ تا ۳ سانتی‌متر خرد شدند. کاه خردشده کاملاً با هم مخلوط و در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شد.

### تهیه خمیر کاغذ

در این تحقیق، از روش پخت CMP<sup>۱</sup> (فرایند شیمیایی مکانیکی) با استفاده از هیدروکسید سدیم در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و زمان پخت ۴۰ دقیقه استفاده شد. از چهار مقدار NaOH، ۱۰، ۱۲، ۱۴، و ۱۶ درصد (بر مبنای وزن خشک کاه)، استفاده و برای هر پخت از ۱۰۰ گرم کاه گندم و نسبت مایع پخت به کاه معادل ۸:۱ استفاده شد. پس از پایان هر پخت، pH و قلیایی باقی‌مانده مایع پخت سیاه، با روش تیتراسیون به کمک اسید کلریدریک اندازه‌گیری شد. بعد از هر پخت، پالایش اولیه (جداسازی الیاف) خمیرکاغذ با استفاده از پالایشگر آزمایشگاهی صورت گرفت.

در پایان مرحله جداسازی الیاف، ابتدا به کمک دو الک با اندازه سوراخ‌های ۱۴ و ۲۰۰ مش، ذرات وازده (Reject) از الیاف خمیرکاغذ قابل قبول (Accept) جدا شد. ذرات باقی‌مانده بر روی الک ۱۴ جزء وازده، و الیاف باقی‌مانده بر روی الک ۲۰۰ جزء خمیرکاغذ قابل قبول هستند. از مجموع وازده و بازده قابل قبول خمیرکاغذ، بازده کل خمیرکاغذ پالایش‌شده به دست آمد.

این مشکلات در کارخانه‌های خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی اجتناب کرد [۶].

علی و همکاران (۱۹۹۱) دریافتند که با فرایند ناپیوسته خمیر کاغذسازی به روش سولفیت خنثی از کاه گندم می‌توان خمیرکاغذ با بازده بیشتر یا حتی زیادتر از فرایندهای کرافت یا سودا تهیه کرد [۷].

کاپلیتی و مارزیتی (۱۹۹۱) تأثیر فرایند انفجاری با بخار آب را بر روی خواص خمیرکاغذ از کاه گندم بررسی کردند. تیمارهای انفجاری با بخار آب در یک مقیاس آزمایشگاهی، تحت شرایط دما، فشار، و زمان متفاوت با پیش‌تیمار یا بدون پیش‌تیمار، انجام شد. خواص کاغذ این خمیرکاغذها، مشابه یا در بعضی موارد، حتی بهتر از خواص خمیرکاغذهای به‌دست‌آمده با روش‌های ناپیوسته متداول بود. از طرف دیگر، میزان بیشتر نرمه خمیرکاغذهای کاه نیز نقش مهمی در افزایش مقاومت ورقه داشت [۲].

پیت-کونیل و همکاران (۲۰۰۱) بررسی پتانسیل کاه گندم برای تولید خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی مناسب برای ساخت کاغذ کنگره‌ای را به سرانجام رساندند و بیان کردند که می‌توان ترکیب‌های متفاوت خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی از کاه گندم را به همراه ضایعات کارتن کنگره‌ای کهنه در ساخت کاغذ فلوتینگ و لاینربرد به کار برد [۸]. ترکیب ۴۰ درصد خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی از کاه گندم و ۶۰ درصد خمیرکاغذ از کارتن کنگره‌ای کهنه نه تنها اثر کاهنده‌ای بر مقاومت‌ها ندارد، بلکه قابلیت عبور خوب در ماشین کاغذ را دارد. این ترکیب اثر منفی چندانی بر کیفیت مقوای کنگره‌ای نهایی ندارد.

در سال‌های اخیر، تلاش بسیاری برای دستیابی به سیستم‌های جدید خمیر کاغذسازی از مواد اولیه لیگنوسلولزی صورت گرفته و استفاده از روش‌های سازگار با محیط زیست اهمیت یافته است. بنابراین، با توجه به کمبود منابع چوبی در ایران، پتانسیل کاه گندم، به‌عنوان ماده اولیه لیگنوسلولزی غیر چوبی، برای تولید

### ساخت کاغذ دست‌ساز و تعیین ویژگی‌ها

ساخت کاغذ دست‌ساز و تعیین ویژگی‌ها طبق دستورالعمل‌های آیین‌نامه تاپی<sup>۱</sup> به شرح زیر انجام گرفت: پالایش خمیر کاغذ: sp T۲۴۸-۰۸؛ درجه روانی خمیر کاغذ: om T۲۲۷-۰۴؛ ساخت کاغذ دست‌ساز: sp T۲۰۵-۰۶؛ وزن پایه کاغذ: om T۴۱۰-۰۸؛ مقاومت به پاره شدن: T ۴۱۴ om-۰۴؛ مقاومت به ترکیدن: T ۴۰۳ om-۰۲؛ مقاومت به کشش: T ۴۹۴ om-۰۶؛ T ۸۰۹ CMT : T ۹۹-om ۸۱۸ RCT: T ۹۷-cm [۹].

### ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم با خمیر کاغذ بازیافتی (OCC)<sup>۲</sup>

از خمیر کاغذ CMP از کاه گندم به دو شکل پالایش نشده و پالایش شده تا درجه روانی حدود ۳۵۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی در ترکیب با خمیر کاغذ OCC استفاده شد. خمیر کاغذ CMP به میزان ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد با خمیر کاغذ OCC مخلوط شد و از این ترکیب، کاغذ با وزن پایه ۱۲۰ گرم بر متر مربع ساخته شد. ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز طبق

دستورالعمل‌های مربوط در آیین‌نامه تاپی اندازه‌گیری شد.

### تحلیل و بررسی اطلاعات

تحلیل آماری نتایج به دست آمده بر اساس آزمون فاکتوریل در قالب طرح‌های کامل تصادفی، و مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش دانکن انجام شد.

### نتایج

#### ارزیابی ویژگی‌های خمیر کاغذ

به طور معمول، در پخت خمیر کاغذ شیمیایی از دمای حدود ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد استفاده می‌شود. در این دما محفظه پخت تحت فشار زیاد است و در نتیجه به تجهیزات گران‌تری نیاز است. بنابراین، از لحاظ اقتصادی، استفاده از آن در مقیاس کوچک توجیه‌پذیر نخواهد بود. در این بررسی، از دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد و با تغییر میزان مصرف هیدروکسید سدیم سعی شد خمیر کاغذی با ویژگی‌های مناسب، از نظر بازده و ویژگی‌های مقاومتی، تولید شود. نتایج پخت‌های سودا با تغییر میزان قلیایی و زمان پخت در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱. میانگین بازده و درجه روانی خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم (شرایط ثابت؛ دما: ۹۵ درجه سانتی‌گراد؛ زمان: ۴۰ دقیقه)

درجه روانی (ml CSF)	قلیایی مصرف شده (%)	بازده بعد از جداسازی الیاف			ویژگی بعد از پخت			قلیایی (NaOH) (%)
		کل	وازده	قابل قبول	بازده (%)	قلیایی باقی مانده (%)	pH	
۷۹۰	۴/۱۵	۵۸	۴	۵۴	۷۲/۲	۵/۸۵	۱۱/۲	۱۰
۷۵۵	۲/۳۳	۵۶/۲	۳/۴۵	۵۲/۷۵	۶۷/۲	۹/۶۷	۱۱/۶	۱۲
۷۷۲	۲/۷۲	۵۵/۴۵	۱/۶	۵۱/۸۵	۶۷/۲	۱۱/۲۸	۱۲/۲۰	۱۴
۷۰۸	۳/۲۹	۵۸/۳	۲/۴	۵۵/۹	۶۴/۶	۱۲/۷۱	۱۲/۲۵	۱۶

از زمان طولانی‌تری برای پخت استفاده شود. در این بررسی خمیر کاغذ با مقدار قلیایی گوناگون (بین ۱۰ تا ۱۶ درصد بر مبنای وزن خشک کاه) و زمان پخت

با توجه به اینکه در دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در صورت کوتاه بودن زمان پخت، نرم شدن ماده اولیه به خوبی انجام نمی‌گیرد، بنابراین بهتر است

۴۰ دقیقه ای تهیه شد. با اینکه بخشی از خمیر کاغذهای ساخته شده، به صورت نرمه همراه آب از الیاف جدا شده اند، ولی این نرمه ها در فرایند پخت صنعتی که از آب برگشتی در سیستم شست و شو استفاده مجدد می شود به سیستم برمی گردند؛ بنابراین، در مقیاس صنعتی به بازده زیادتری دست خواهیم یافت. نتایج

جدول ۲. ویژگی های مقاومتی خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم (شرایط ثابت؛ دما: ۹۵ درجه سانتی گراد؛ زمان: ۴۰ دقیقه)

شاخص مقاومت به کشش N.m/g	شاخص مقاومت به پاره شدن mN.m <sup>2</sup> /g	دانسیته kg/m <sup>3</sup>	ضخامت μm	وزن پایه g/m <sup>2</sup>	درجه روانی ml CSF			قلیایی (NaOH) (%)
					بعد از پالایش	تعداد دور PFI	قبل از پالایش	
۵۶/۵	۶/۵۱	۴۴۰	۱۴۶/۱	۶۴/۳	۳۶۵	۱۰۰۰	۷۹۰	۱۰
۵۸	۶/۸۶	۴۳۰	۱۴۳/۵	۶۱/۵	۳۶۷	۱۰۰۰	۷۵۵	۱۲
۶۰/۰۵	۷/۱۱	۴۳۷	۱۴۸	۶۴/۷	۳۸۴	۱۰۰۰	۷۷۲	۱۴
۵۶/۲	۶/۹۷	۴۸۹	۱۲۹/۵	۶۳/۳	۳۴۳	۴۶۰	۷۰۸	۱۶

۳۵۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی (RCMP) در ترکیب با خمیر کاغذ بازیافتی از کارتن کنگره ای کهنه (OCC) استفاده شد. نتایج اندازه گیری ویژگی های مقاومتی کاغذ دست ساز با وزن پایه ۱۲۰ گرم بر متر مربع از ترکیب این خمیر کاغذها در شکل های ۱ تا ۵ آمده است.

با توجه به اینکه طول الیاف کاه گندم کوتاه تر و مقاومت ذاتی الیاف خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم ضعیف تر از الیاف OCC است، بنابراین، بر اثر افزودن خمیر کاغذ CMP یا RCMP به خمیر کاغذ OCC، شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ از ترکیب دو خمیر کاغذ کاهش یافت.

آنالیز واریانس (ANOVA) تأثیر افزودن مقادیر مختلف خمیر کاغذ CMP یا RCMP به خمیر کاغذ OCC در جدول ۳ نشان داده شده است.

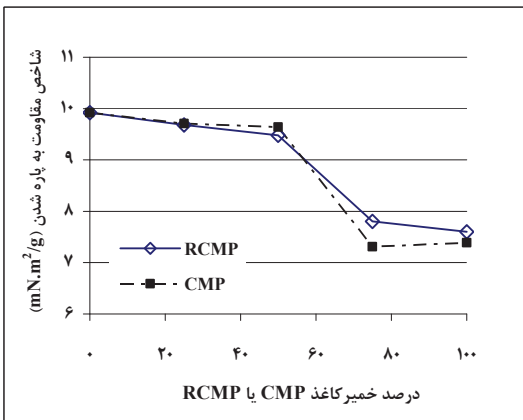
تأثیر افزودن مقادیر مختلف خمیر کاغذ CMP یا RCMP به خمیر کاغذ OCC بر شاخص مقاومت به پاره شدن در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد معنی دار شد و این ویژگی در سه گروه مجزا قرار گرفت. گروه بندی دانکن میانگین های مقاومت ها در جدول ۴ آمده است.

ویژگی های مقاومتی خمیر کاغذهای انتخاب شده در جدول ۲ خلاصه شده است.

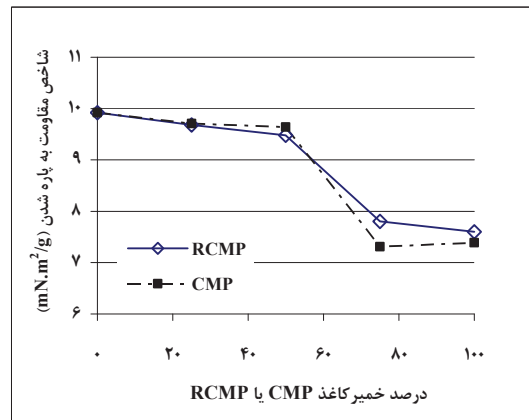
تحلیل و بررسی آماری تأثیر مقدار قلیایی بر روی ویژگی های فیزیکی و مقاومتی خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم نشان می دهد که تأثیر مقدار قلیایی بر ویژگی های بررسی شده در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد معنی دار نشد و فقط تأثیر آن بر دانسیته کاغذ دست ساز در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد معنی دار شد.

#### استفاده از خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی کاه گندم در ترکیب با کارتن کنگره ای کهنه

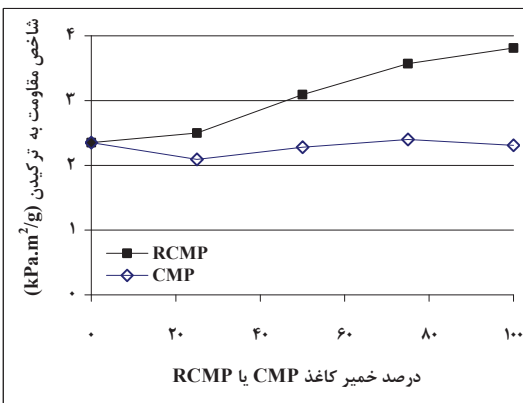
استفاده از خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم با قابلیت تولید در مقیاس کوچک و با قابلیت جایگزینی با خمیر کاغذ حاصل از بازیافت کارتن های کنگره ای کهنه بررسی شد. در حال حاضر، در فرایند بازیافت و تولید کاغذهای بسته بندی عمدتاً از کارتن کنگره ای کهنه، موسوم به OCC، استفاده می شود. با توجه به ضرورت یافتن خمیر کاغذی که بتواند بخشی از خمیر کاغذ OCC را جایگزین کند، از مقادیر متفاوت خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی کاه گندم به دو صورت CMP تولید شد و بعد از جداسازی الیاف یا خمیر کاغذ CMP پالایش شده تا درجه روانی حدود



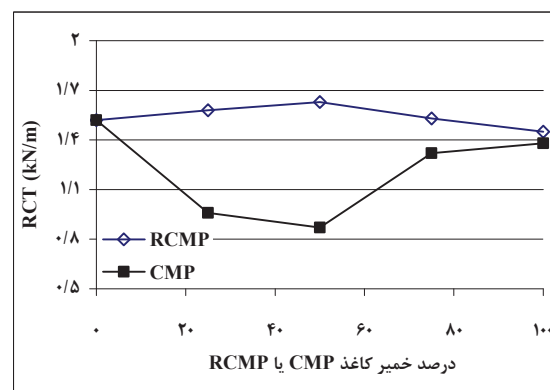
شکل ۲. تأثیر ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) و خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی پالایش شده (RCMP) از کاه گندم با خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر شاخص مقاومت به کشش



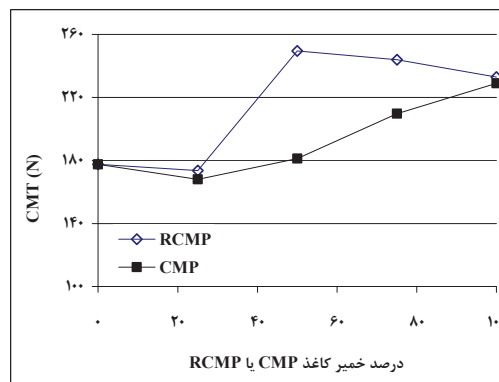
شکل ۱. تأثیر ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) و خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی پالایش شده (RCMP) از کاه گندم با خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر شاخص مقاومت به پاره شدن



شکل ۴. تأثیر ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) و خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی پالایش شده (RCMP) از کاه گندم با خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر RCT کاغذ



شکل ۳. تأثیر ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) و خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی پالایش شده (RCMP) از کاه گندم با خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر شاخص مقاومت به ترکیب کاغذ



شکل ۵. تأثیر ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) و خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی پالایش شده (RCMP) از کاه گندم با خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر CMT کاغذ

جدول ۳. آنالیز واریانس (ANOVA) تأثیر افزودن خمیر کاغذ RCMP یا CMP به خمیر کاغذ OCC (وزن پایه کاغذ دست ساز: ۱۲۰ گرم بر متر مربع)

سطح معنی داری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات		
۰/۰۵۶	۲/۴۲۸	۲/۸۲۸	۸	۲۲/۶۲۳	بین گروهها	
		۱/۱۶۵	۱۸	۲۰/۹۶۳	داخل گروهها	
			۲۶	۴۳/۵۸۶	کل	
۰/۰۰۰	۵۲/۲۵۰	۳۴۰/۰۴۳	۸	۲۷۲۰/۳۴۶	بین گروهها	
		۶/۵۰۸	۱۸	۱۱۷/۱۴۳	داخل گروهها	
			۲۶	۲۸۳۷/۴۸۹	کل	
۰/۴۱۵	۱/۰۸۷	۰/۲۲۱	۸	۱/۷۶۸	بین گروهها	
		۰/۲۰۳	۱۸	۳/۶۵۹	داخل گروهها	
			۲۶	۵/۴۲۷	کل	
۰/۰۰۰	۳۲/۴۰۲	۳۱۹۶/۹۷۸	۸	۲۵۵۷۵/۸۲۳	بین گروهها	
		۹۸/۶۶۷	۱۸	۱۷۷۶/۰۰۰	داخل گروهها	
			۲۶	۲۷۳۵۱/۸۲۳	کل	
۰/۰۰۰	۱۴/۵۴۶	۱/۵۵	۸	۱۲/۳۹۶	بین گروهها	
		۰/۱۰۷	۲۷	۲/۸۷۶	داخل گروهها	
			۳۵	۱۵/۲۷۲	کل	

جدول ۴. گروه بندی دانکن میانگین های مقاومت های کاغذ از ترکیب خمیر کاغذها

CMT (N)	RCT (kN/m)	شاخص مقاومت به			ترکیب خمیر کاغذ		
		شاخص مقاومت به ترکیدن (kPa.m <sup>2</sup> /g)	شاخص مقاومت به کشش (N.m/g)	شاخص مقاومت به پاره شدن (mN.m <sup>2</sup> /g)	OCC	CMP	RCMP
۲۳۳ <sup>cd</sup>	۱/۴۵	۳/۸۱ <sup>c</sup>	۶۶/۶۶ <sup>g</sup>	۷/۶ <sup>a</sup>	۰	-	۱۰۰
۲۴۴ <sup>cd</sup>	۱/۵۳	۳/۵۷ <sup>c</sup>	۶۸/۹۱ <sup>h</sup>	۸/۷ <sup>ab</sup>	۲۵	-	۷۵
۲۴۹/۶ <sup>e</sup>	۱/۶۳	۳/۰۹ <sup>b</sup>	۵۶/۹۰ <sup>cd</sup>	۹/۴۸ <sup>b</sup>	۵۰	-	۵۰
۱۷۳/۶ <sup>a</sup>	۱/۵۸	۲/۵۰ <sup>a</sup>	۴۲/۴۶ <sup>ab</sup>	۹/۶۸ <sup>b</sup>	۷۵	-	۲۵
۱۷۷/۶ <sup>a</sup>	۱/۵۲	۲/۳۵ <sup>a</sup>	۴۰/۹۱ <sup>a</sup>	۹/۹۳ <sup>b</sup>	۱۰۰	-	۰
۲۲۹ <sup>c</sup>	۱/۳۸	۲/۰۹ <sup>a</sup>	۶۴/۵۷ <sup>ef</sup>	۷/۳۹ <sup>a</sup>	۰	۱۰۰	-
۲۰۹/۷ <sup>b</sup>	۱/۳۲	۲/۲۸ <sup>a</sup>	۶۱/۲۱ <sup>de</sup>	۸/۳۱ <sup>ab</sup>	۲۵	۷۵	-
۱۸۱/۳ <sup>a</sup>	۰/۸۷	۲/۴۰ <sup>a</sup>	۵۰/۹۶ <sup>c</sup>	۹/۶۴ <sup>b</sup>	۵۰	۵۰	-
۱۶۸ <sup>a</sup>	۰/۹۶	۲/۳۱ <sup>a</sup>	۴۶/۴۴ <sup>b</sup>	۹/۷۱ <sup>b</sup>	۷۵	۲۵	-

RCMP: خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی بازده کم از کاه گندم که تا ۳۵۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی پالایش شده است.

CMP: خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی بازده کم از کاه گندم با درجه روانی ۷۹۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی

OCC: خمیر کاغذ بازیافتی از کارتن کنگره ای کهنه

هدف مورد نظر مطلوب است. قلیایی باقی‌مانده در مایع پخت سیاه معادل ۴/۱۵ درصد وزن خشک کاه اندازه‌گیری شد که نشان می‌دهد با مصرف حدود ۶ درصد هیدروکسید سدیم می‌توان خمیرکاغذ مناسبی تولید کرد. این خمیرکاغذ توسط پالایشگر PFI پالایش شد و پس از ۱۰۰۰ دور درجه روانی آن از مقدار اولیه ۷۹۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی به ۳۶۵ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی کاهش یافت. دانسیته کاغذ از خمیرکاغذ پالایش شده ۴۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب و شاخص مقاومت به پاره‌شدن و شاخص مقاومت به کشش به ترتیب ۶/۵۱ mN.m<sup>۲</sup>/g، و ۵۶/۵ N.m/g اندازگی‌گیری شد.

از این خمیرکاغذ به دو شکل پالایش‌شده و پالایش‌نشده در ترکیب با خمیرکاغذ از کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) برای ارزیابی کاربرد آن به‌عنوان جایگزین بخشی از خمیرکاغذ OCC استفاده شده است. نتایج نشان داد که خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی از کاه گندم، که تا درجه روانی ۳۶۵ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی پالایش شده، به‌سبب الیاف نرم‌تر و نازک‌تر و نیز قدرت تشکیل پیوند بهتر، توان تقویت‌کنندگی خمیرکاغذ OCC را دارد. در دهه ۹۰ چندین تحقیق در زمینه توسعه فرایندی برای تولید خمیرکاغذ کنگره‌ای از کاه گندم انجام گرفت [۴، ۷]. اخیراً بیت-کونیل و همکاران (۲۰۰۱) تحقیق جدیدتری در این زمینه انجام داده و با استفاده از فرایند Bi-Vis و ۶/۶ درصد NaOH توانسته‌اند از کاه گندم خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی تهیه کنند [۹]. ویژگی‌های مقاومتی این خمیرکاغذ شامل طول پاره‌شدن، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به پاره‌شدن، CMT و RCT به ترتیب ۵۶۱۰ متر، ۴/۴۶ g/kPa.m<sup>۲</sup>، ۳/۵ mN.m<sup>۲</sup>/g، ۲۱۸ N، و ۴/۱ kN/m اندازه‌گیری شده است.

تأثیر ترکیب خمیرکاغذ CMP یا RCMP با خمیرکاغذ OCC بر شاخص مقاومت به کشش کاغذ در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد معنی‌دار شد و میانگین‌ها در شش گروه مجزا قرار گرفتند (جدول ۴). تأثیر ترکیب خمیرکاغذ بر RCT کاغذ از آن‌ها معنی‌دار نبود، ولی تأثیر ترکیب خمیرکاغذها بر CMT کاغذ از آن‌ها در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد معنی‌دار شد و میانگین‌ها در چهار گروه جداگانه قرار گرفتند (جدول ۴). تأثیر ترکیب خمیرکاغذ بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد معنی‌دار بود و شاخص مقاومت به ترکیدن خمیرکاغذ RCMP به‌علت پرزداربودن این خمیرکاغذ زیادتر از خمیرکاغذ CMP و OCC بود (جدول ۴). بنابراین، افزودن خمیرکاغذ RCMP پالایش‌شده به خمیرکاغذ OCC سبب افزایش مقاومت به ترکیدن کاغذ می‌شود و این خمیرکاغذ می‌تواند نقش تقویت‌کننده داشته باشد. گروه‌بندی دانکن میانگین‌های شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ از ترکیب خمیرکاغذها در جدول ۴ نشان داده شده است.

### نتیجه‌گیری

در این بررسی ساخت خمیرکاغذ با روشی ساده و آسان، که بتوان آن را در مقیاسی کوچک اجرا کرد، ارزیابی شد. برای پخت از دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد که در این دما سیستم پخت تحت فشار نیست و می‌توان از تجهیزات ساده‌تری استفاده کرد. به‌علاوه، سعی شد از هیدروکسید سدیم کمتری استفاده کرد و با اعمال زمان پخت طولانی‌تر به نتیجه مطلوب دست یافت. با اعمال زمان پخت ۴۰ دقیقه، ۱۰ درصد هیدروکسید سدیم، و ۹۵ درجه سانتی‌گراد دمای پخت به بازده بعد از پخت ۷۲/۲ درصد رسیدیم که برای



## References

- [1]. Atchison, J. (1998). Update on global use of non-wood plant fibers and some prospects of their greater use in the United States. Proceeding of the North American Non-Wood Fiber Symposium, Tappi Press, Atlanta, GA. USA, pp. 26-39.
- [2]. Cappelletti, G., and Marzetti, A. (1991). Steam Explosion Pulping of Wheat Straw, Steam Explosion Techniques; Fundamental on Industrial Application. Focher, B., Marzetti, A. (eds). Philadelphia, PA. USA.
- [3]. Lathrop, E.C. (1971). Agricultural residue pulps comparison with typical wood pulp. Paper Trade Journal, 124 (13): 49-55.
- [4]. Raja, A., and Irmak, Y. (1993). Optimizing alkaline pulping of wheat straw to produce corrugating medium. Tappi Journal, 76 (1): 145-151.
- [5]. McKean, W.T., and Jacobs, R.S. (1997). Wheat straw as a paper fiber source: Clean Washington Center and Domtar Inc. 47p.
- [6]. Jeyasingan, J.T. (1991). Mill experience in the application of nonwood fiber for paper making. Nonwood Plant Fiber Pulping, No. 20, pp. 7-19.
- [7]. Ali, S.H., Asghar, S.M., and Shabbir, A.V. (1991). Neutral sulfite pulping of wheat straw. In Proceeding of the TAPPI Pulping Conference Tappi Press, Atlanta GA. USA, pp.51-56.
- [8]. Petit-Conil, M., Brochier, B., Labalettee, F., and Combette, P. (2001). Potential of wheat straw to produce chemimechanical pulps suitable to corrugating papers manufacture. Tappi 2001 Pulping Conference. Seattle, WA. USA. 11p.
- [9]. Technical Association of Pulp and Paper Industry. (2009). Standard Test Methods. Tappi Press, Atlanta, GA. USA.