نشریه جنگل و فراورده‌های چوب. مجله منابع طبیعی ایران
دوره ٦٦، شماره ٢، تابستان ١٣٩٢
٢٣٣

تاریخ دریافت: ١٣٩١/٢/٢
تاریخ پذیرش: ١٣٩١/١٢/٢١

# بررسی استفاده از خمیرکاغذ شیمیایی‌مکانیکی 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** ؛کارشناسی‌ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران
**رضا حسین‌پور** ؛دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
**محمد گازا** ؛کارشناسی‌ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران

## چکیده

این بررسی با هدف ارائهٔ روشی برای ساخت خمیرکاغذ از کاه گندم انجام گرفت تا بتوان آن را در مقیاس کوچک استفاده و جایگزین بخشی از خمیرکاغذ تولیدشده از کارتن کنگره‌ای کهنه کرد. بدین‌منظور، خمیرکاغذ با تغییر مقدار قلیاییت فعال (NaOH) در چهار سطح ١٠، ١٢، ١٤، و ١٦ درصد (بر مبنای وزن خشک کاه گندم) و زمان پخت ٤٠ دقیقه و دمای پخت ٩٥ درجهٔ سانتی‌گراد تهیه شد. بازده بعد از پخت خمیرکاغذها بین ٦٤/٦ تا ٧٢/٧ درصد، و بازده کل بعد از جداسازی الیاف بین ٥٥/٤٥ تا ٥٨/٣ درصد متغیر بود. درجهٔ روانی خمیرکاغذهای پالایش‌نشده نیز بین ٧٠٨ تا ٧٩٠ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی تغییر کرد .خمیرکاغذ تا درجهٔ روانی حدود ٣٥٠ پالایش شد و پس از آن ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز از آن‌ها اندازه‌گیری شد. دانسیتهٔ کاغذ بین ٤٣٧ تا ٤٨٩ کیلوگرم بر متر مکعب، شاخص مقاومت به پاره‌شدن بین ٦/٥١-٧/٩١mN.m٢/g، و شاخص مقاومت به کشش بین ٢٩/٢-٣٠/٨ N.m/g اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ٩٩ درصد بین ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ دیده نشد، بنابراین، خمیرکاغذ تهیه‌شده با ١٠ درصد قلیاییت فعال، ٤٠ دقیقه زمان پخت، و ٩٥ درجهٔ سانتی‌گراد دمای پخت به‌عنوان جایگزینی برای خمیرکاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه ارزیابی شد. ویژگی‌های خمیرکاغذ پالایش‌شده تا درجهٔ روانی ٣٦٥ میلی‌متر استاندارد کانادایی برتر از خمیرکاغذ از کارتن کنگره‌ای کهنه اندازه‌گیری شد. با توجه به برتری مقاومتی، از این خمیرکاغذ می‌توان به‌عنوان تقویت‌کنندهٔ خمیرکاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه استفاده کرد.

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

* نویسنده مسئول تلفن: ٠٢٠-+٠٠-1٠
E. mail: latibari.aj@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

**مقدمه**

به‌سبب محدودبودن منابع چوبی و تحلیل‌رفتن آن، اتکا به این منابع برای تولید کاغذ و خمیرکاغذ، منطقی به‌نظر نمی‌رسد. بنابراین، با توجه به تقاضای بازار و فشارهای زیست‌محیطی، منابع تأمین مادهٔ اولیهٔ صنایع خمیرکاغذ، 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 مادهٔ اولیهٔ کاغذسازی استفاده می‌شود [۲].

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

لاتروب (۱۹۷۱) خصوصیات پالایش‌پذیری و مقاومت‌های خمیرکاغذ از پنج نوع پسماند محصولات کشاورزی از جمله کاه گندم ساخته‌شده با روش سودا را با خمیرکاغذ از چند گونهٔ چوبی مقایسه کرد [۳]. خمیرکاغذهای تهیه‌شده از پسماندهای محصولات کشاورزی از نظر تمام خصوصیات مقاومتی، به‌جز مقاومت به پاره‌شدن، از خمیرکاغذ چوب مطلوب‌تر بودند. خمیرکاغذ سودای تهیه‌شده از کاه گندم در مقایسه با همهٔ گونه‌های چوبی و غیر چوبیِ بررسی‌شده از خصوصیات مقاومتی بهتری برخوردار بود. خمیرکاغذ کاه گندم در مقایسه با خمیرکاغذ سولفیت سوزنی‌برگان به پالایش کمتری نیاز داشت.

راجا و ایرماک (۱۹۹۳) با استفاده از کربنات سدیم و هیدروکسید سدیم به تهیهٔ 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 کم‌شدن هیدروکسید سدیم، زمان پخت طولانی‌تر می‌شود و مقدار کربوهیدرات‌های حل‌نشده افزایش می‌یابد. این خمیرکاغذ بازده بیشتری دارد و در مصرف هیدروکسید سدیم کمتر، کاغذ مقاوم‌تری را برای ساخت کاغذ لایهٔ مواج میانی، تولید می‌کند. مکین و جاکوب (۱۹۹۷) ساقهٔ گندم واریتهٔ 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، خمیرکاغذهای قابل رنگ‌بری در عدد کاپای ۱۰-۱۲ و بازده حدود ۴۴ درصد تولید می‌شود. نیز نتیجه گرفتند که مقاومت به کشش و مقاومت به پاره‌شدن کاغذ ساخته‌شده از خمیرکاغذ کاه گندم کاملاً رنگ‌بری‌شده مناسب کاغذ ظریف و قابل مقایسه با مخلوط پهن‌برگان است [۵].

فرایند سولفیت اسیدی چون خمیرکاغذهایی با مقاومت کم تولید می‌کند، چندان برای کاغذسازی از کاه گندم مناسب نیست؛ درحالی‌که روش خمیر کاغذسازی سولفیت خنثی 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

Archive of SID

www.SID.ir

این مشکلات در کارخانه‌های خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی اجتناب کرد [٦].

علی و همکاران (۱۹۹۱) دریافتند که با فرایند ناپیوستهٔ 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 ناپیوستهٔ متداول بود. از طرف دیگر، میزان بیشتر نرمهٔ خمیرکاغذهای کاه نیز نقش مهمی در افزایش مقاومت ورقه داشت [۲].

پیت‌ـکونیل و همکاران (۲۰۰۱) بررسی پتانسیل کاه گندم برای تولید خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی مناسب برای ساخت کاغذ کنگره‌ای را به سرانجام رساندند و بیان کردند که می‌توان ترکیب‌های متفاوت خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی از کاه گندم را به‌همراه ضایعات کارتن کنگره‌ای کهنه در ساخت کاغذ فلوتینگ و لاینربورد به‌کار برد [۸]. ترکیب ٤٠ درصد خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی از کاه گندم و ٦٠ درصد خمیرکاغذ از کارتن کنگره‌ای کهنه نه‌تنها 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 اولیهٔ 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 مادهٔ اولیهٔ لیگنوسلولزی غیر چوبی، برای تولید 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

ساقهٔ گندم مورد نیاز این بررسی از مزارع کشت گندم در شهرستان کرج تهیه و به دانشکدهٔ 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.

### تهیهٔ خمیرکاغذ

در این تحقیق، از روش پخت CMP[1] (فرایند شیمیایی مکانیکی) با استفاده از هیدروکسید سدیم در دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان پخت ٤٠ دقیقه استفاده شد. از چهار مقدار NaOH، ۱۰، ۱۲، ١٤، و ١٦ 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 باقی‌ماندهٔ مایع پخت سیاه، با روش تیتراسیون به کمک اسید کلریدریک اندازه‌گیری شد. بعد از هر پخت، پالایش اولیهٔ (جداسازی الیاف) خمیرکاغذ با استفاده از پالایشگر آزمایشگاهی صورت گرفت.

در پایان مرحلهٔ جداسازی الیاف، ابتدا به کمک دو الک با اندازهٔ سوراخ‌های ١٤ و ۲۰۰ مش، ذرات وازده (Reject) از الیاف خمیرکاغذ قابل قبول (Accept) جدا شد. ذرات باقی‌مانده بر روی الک ١٤ 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 به‌دست آمد.

1. Chemi-Mechanical Pulping

Archive of SID

www.SID.ir

### ساخت کاغذ دست‌ساز و تعیین ویژگی‌ها

ساخت کاغذ دست‌ساز و تعیین ویژگی‌ها طبق دستورالعمل‌های آیین‌نامهٔ تاپی[1] به‌شرح زیر انجام گرفت: پالایش خمیر کاغذ: T۲٤۸ sp-۰۸؛ درجهٔ روانی خمیر کاغذ: T۲۲۷ om-۰٤؛ ساخت کاغذ دست‌ساز: T۲۰۵ sp -۰٦؛ وزن پایهٔ کاغذ: T٤۱۰ om-۰۸؛ مقاومت به پاره‌شدن: ٤۱٤ T om-۰٤؛ مقاومت به ترکیدن: T٤۰۳ om-۰۲؛ مقاومت به کشش: T٤۹٤ om-۰٦ ؛ CMT : T ۸۰۹ om-۹۹؛ RCT: T ۸۱۸ cm-۹۷ [۹].

### ترکیب خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی از کاه گندم با خمیرکاغذ بازیافتی (OCC)[2]

از خمیرکاغذ CMP از کاه گندم به دو شکل پالایش‌نشده و پالایش‌شده تا درجهٔ روانی حدود ۳۵۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی در ترکیب با خمیرکاغذ OCC استفاده شد. خمیرکاغذ CMP به میزان ۲۰، ٤۰، ٦۰، و ۸۰ درصد با خمیرکاغذ OCC مخلوط شد و از این ترکیب، کاغذ با وزن پایهٔ ۱۲۰ گرم بر متر مربع ساخته شد. ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز طبق دستورالعمل‌های مربوط در آیین‌نامهٔ تاپی اندازه‌گیری شد.

### تحلیل و بررسی اطلاعات

تحلیل آماری نتایج به‌دست‌آمده بر اساس آزمون فاکتوریل در قالب طرح‌های کامل تصادفی، و مقایسهٔ میانگین‌ها بر اساس روش دانکن انجام شد.

## نتایج

### ارزیابی ویژگی‌های خمیرکاغذ

به‌طور معمول، در پخت خمیرکاغذ شیمیایی از دمای حدود ۱۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد استفاده می‌شود. در این دما محفظهٔ 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 درجهٔ سانتی‌گراد استفاده شد و با تغییر میزان مصرف هیدروکسید سدیم سعی شد خمیرکاغذی 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 درجهٔ روانی خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی از کاه گندم**
**(شرایط ثابت؛ دما: ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد؛ زمان: ٤۰ دقیقه)**

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

با توجه به اینکه در دمای کمتر از ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد در صورت کوتاه‌بودن زمان پخت، نرم‌شدن مادهٔ اولیه به‌خوبی انجام نمی‌گیرد، بنابراین بهتر است از زمان طولانی‌تری برای پخت استفاده شود. در این بررسی خمیرکاغذ با مقدار قلیایی گوناگون (بین ۱۰ تا ۱٦ درصد بر مبنای وزن خشک کاه) و زمان پخت

1. Technical Association of Pulp and Paper Industry (Tappi)
2. Old Corrugated Container

Archive of SID
www.SID.ir

۴۰ دقیقه‌ای تهیه شد. با اینکه بخشی از خمیرکاغذهای ساخته‌شده، به‌صورت نرمه همراه آب از الیاف جدا شده‌اند، ولی این نرمه‌ها در فرایند پخت صنعتی که از آب برگشتی در سیستم شست‌وشو استفاده مجدد می‌شود به سیستم برمی‌گردند؛ بنابراین، در مقیاس صنعتی به بازده زیادتری دست خواهیم یافت. نتایج

**جدول ۲. ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی از کاه گندم**
**(شرایط ثابت؛ دما: ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد؛ زمان: ۴۰ دقیقه)**

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

ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذهای انتخاب‌شده در جدول ۲ خلاصه شده است.

تحلیل و بررسی آماری تأثیر مقدار قلیایی بر روی ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی از کاه گندم نشان می‌دهد که تأثیر مقدار قلیایی بر ویژگی‌های بررسی‌شده در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد معنی‌دار نشد و فقط تأثیر آن بر دانسیتهٔ کاغذ دست‌ساز در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد معنی‌دار شد.

## استفاده از خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی کاه گندم در ترکیب با کارتن کنگره‌ای کهنه

استفاده از خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی از کاه گندم با قابلیت تولید در مقیاس کوچک و با قابلیت جایگزینی با خمیرکاغذ حاصل از بازیافت کارتن‌های کنگره‌ای کهنه بررسی شد. در حال حاضر، در فرایند بازیافت و تولید کاغذهای بسته‌بندی عمدتاً از کارتن کنگره‌ای کهنه، موسوم به OCC، استفاده می‌شود. با توجه به ضرورت‌یافتن خمیرکاغذی که بتواند بخشی از خمیرکاغذ OCC را جایگزین کند، از مقادیر متفاوت خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی کاه گندم به دو صورت CMP تولید شد و بعد از جداسازی الیاف یا خمیرکاغذ CMP پالایش‌شده تا درجهٔ روانی حدود ۳۵۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی (RCMP) در ترکیب با خمیرکاغذ بازیافتی از کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) استفاده شد. نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز با وزن پایهٔ ۱۲۰ گرم بر متر مربع از ترکیب این خمیرکاغذها در شکل‌های ۱ تا ۵ آمده است.

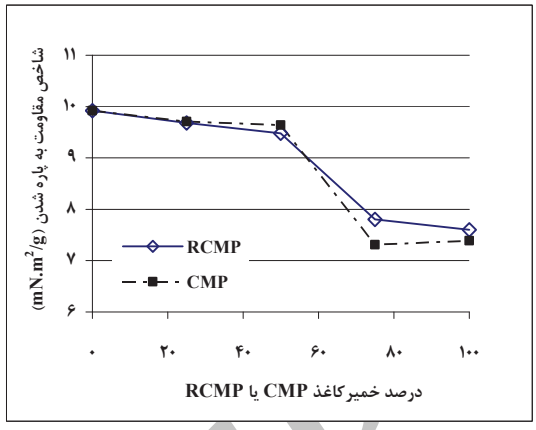
با توجه به اینکه طول الیاف کاه گندم کوتاه‌تر و مقاومت ذاتی الیاف خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی از کاه گندم ضعیف‌تر از الیاف OCC است، بنابراین، بر اثر افزودن خمیرکاغذ CMP یا RCMP به خمیرکاغذ OCC، شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذ از ترکیب دو خمیرکاغذ کاهش یافت.

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

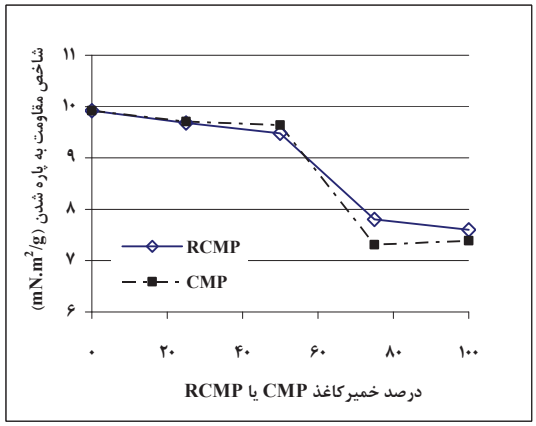
تأثیر افزودن مقادیر مختلف خمیرکاغذ CMP یا RCMP به خمیرکاغذ OCC بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد معنی‌دار شد و این ویژگی در سه گروه مجزا قرار گرفت. گروه‌بندی دانکن میانگین‌های مقاومت‌ها در جدول ۴ آمده است.

Archive of SID

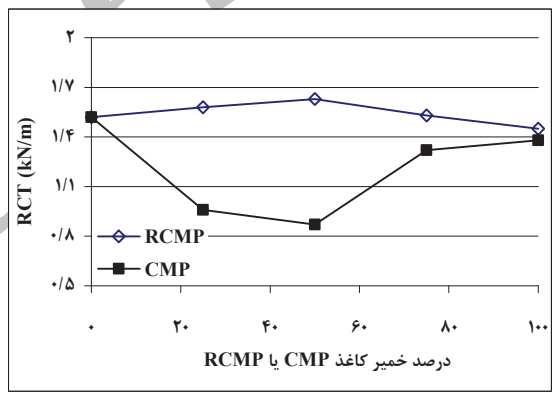
www.SID.ir



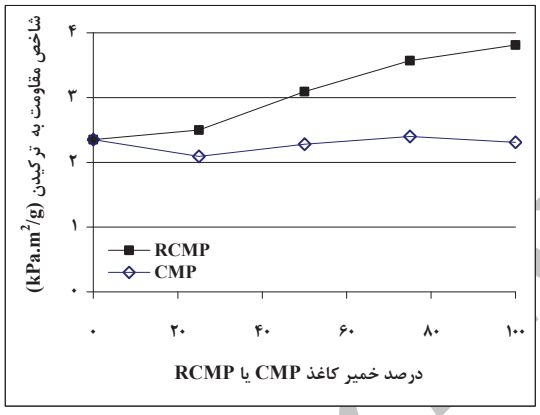

**شکل ۱. تأثیر ترکیب خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی (CMP) و خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی پالایش‌شده (RCMP) از کاه گندم با خمیرکاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن**



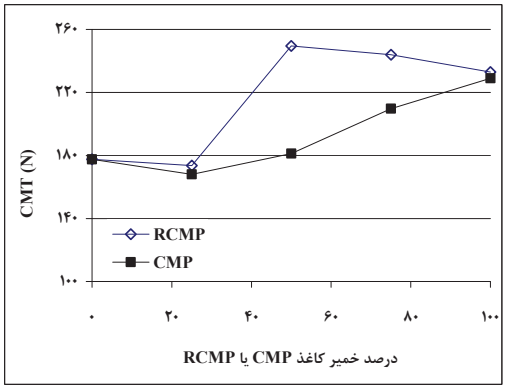

**شکل ۲. تأثیر ترکیب خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی (CMP) و خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی پالایش‌شده (RCMP) از کاه گندم با خمیرکاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر شاخص مقاومت به کشش**




**شکل ۳. تأثیر ترکیب خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی (CMP) و خمیرکاغذ شیمیایی ـ مکانیکی پالایش‌شده (RCMP) از کاه گندم با خمیرکاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر شاخص مقاومت به ترکیدن**




**شکل ٤. تأثیر ترکیب خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی (CMP) و خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی پالایش‌شده (RCMP) از کاه گندم با خمیرکاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر RCT کاغذ**




**شکل ۵. تأثیر ترکیب خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی (CMP) و خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی پالایش‌شده (RCMP) از کاه گندم با خمیرکاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر CMT کاغذ**

Archive of SID
www.SID.ir

**جدول ۳. آنالیز واریانس (ANOVA) تأثیر افزودن خمیرکاغذ RCMP یا CMP به خمیرکاغذ OCC (وزن پایهٔ کاغذ دست‌ساز: ۱۲۰ گرم بر متر مربع)**

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

**جدول ٤. گروه‌بندی دانکن میانگین‌های مقاومت‌های کاغذ از ترکیب خمیرکاغذها**

| ترکیب خمیرکاغذ | | | شاخص مقاومت به پاره‌شدن ($mN.m^2/g$) | شاخص مقاومت به کشش (N.m/g) | شاخص مقاومت به ترکیدن ($kPa.m^2/g$) | RCT (kN/m) | CMT (N) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RCMP | CMP | OCC | | | | | |
| ۱۰۰ | - | ۰ | $۷/۶^{a}$ | $۶۶/۶۶^{g}$ | $۳/۸۱^{c}$ | ۱/۴۵ | $۲۳۳^{cd}$ |
| ۷۵ | - | ۲۵ | $۸/۷^{ab}$ | $۶۸/۹۱^{h}$ | $۳/۵۷^{c}$ | ۱/۵۳ | $۲۴۴^{cd}$ |
| ۵۰ | - | ۵۰ | $۹/۴۸^{b}$ | $۵۶/۹۰^{cd}$ | $۳/۰۹^{b}$ | ۱/۶۳ | $۲۴۹/۶^{e}$ |
| ۲۵ | - | ۷۵ | $۹/۶۸^{b}$ | $۴۲/۴۶^{ab}$ | $۲/۵۰^{a}$ | ۱/۵۸ | $۱۷۳/۶^{a}$ |
| ۰ | - | ۱۰۰ | $۹/۹۲^{b}$ | $۴۰/۹۱^{a}$ | $۲/۳۵^{a}$ | ۱/۵۲ | $۱۷۷/۶^{a}$ |
| - | ۱۰۰ | ۰ | $۷/۳۹^{a}$ | $۶۴/۵۷^{ef}$ | $۲/۰۹^{a}$ | ۱/۳۸ | $۲۲۹^{c}$ |
| - | ۷۵ | ۲۵ | $۸/۳۱^{ab}$ | $۶۱/۲۱^{de}$ | $۲/۲۸^{a}$ | ۱/۳۲ | $۲۰۹/۷^{b}$ |
| - | ۵۰ | ۵۰ | $۹/۶۴^{b}$ | $۵۰/۹۶^{c}$ | $۲/۴۰^{a}$ | ۰/۸۷ | $۱۸۱/۳^{a}$ |
| - | ۲۵ | ۷۵ | $۹/۷۱^{b}$ | $۴۶/۴۴^{b}$ | $۲/۳۱^{a}$ | ۰/۹۶ | $۱۶۸^{a}$ |

RCMP: خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی بازده کم از کاه گندم که تا ۳۵۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی پالایش شده است.
CMP: خمیرکاغذ شیمیایی‌ـمکانیکی بازده کم از کاه گندم با درجهٔ روانی ۷۹۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی
OCC: خمیرکاغذ بازیافتی از کارتن کنگره‌ای کهنه

Archive of SID
www.SID.ir

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 ٤). 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 (جدول٤). 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 ٤). 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 ٤ 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 درجهٔ 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 نتیجهٔ مطلوب دست یافت. با اعمال زمان پخت ٤٠ دقیقه، ١٠ درصد هیدروکسید سدیم، و ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد دمای پخت به بازده بعد از پخت ۷۲/۲ درصد رسیدیم که برای هدف مورد نظر مطلوب است. قلیایی باقی‌مانده در مایع پخت سیاه معادل ٤/١٥ درصد وزن خشک کاه اندازه‌گیری شد که نشان می‌دهد با مصرف حدود ٦ درصد هیدروکسید سدیم می‌توان خمیرکاغذ مناسبی تولید کرد. این خمیرکاغذ توسط پالایشگر PFI پالایش شد و پس از ١٠٠٠ دور درجهٔ روانی آن از مقدار اولیهٔ ۷۹۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی به ٣٦٥ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی کاهش یافت. دانسیتهٔ کاغذ از خمیرکاغذ پالایش‌شده ٤٤٠ کیلوگرم بر متر مکعب و شاخص مقاومت به پاره‌شدن و شاخص مقاومت به کشش به‌ترتیب ٦/٥١ mN.m٢/g، و ٥٦/٥ N.m/g اندازه‌گیری 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 شیمیایی‌ـمکانیکی از کاه گندم، که تا درجهٔ روانی ٣٦٥ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی پالایش شده، به‌سبب الیاف نرم‌تر و نازک‌تر و نیز قدرت تشکیل پیوند بهتر، توان تقویت‌کنندگی خمیرکاغذ OCC را دارد. در دههٔ ۹۰ چندین تحقیق در زمینهٔ توسعهٔ فرایندی برای تولید خمیرکاغذ کنگره‌ای از کاه گندم انجام گرفت [٤، ٧]. اخیراً پیتت‌ـکونیل و همکاران (٢٠٠١) تحقیق جدیدتری در این زمینه انجام داده و با استفاده از فرایند Bi-Vis و ٦/٦ درصد NaOH توانسته‌اند از کاه گندم خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی تهیه کنند [٩]. ویژگی‌های مقاومتی این خمیرکاغذ شامل طول پاره‌شدن، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به پاره‌شدن، CMT و RCT به‌ترتیب ٥٦١٠ متر، ٤/٤٦ g/kPa.m٢، ٣/٥ mN.m٢/g، ٢١٨ N، و ٤/١ kN/m اندازه‌گیری شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

# 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, Altanta, GA. USA, pp. 26-39.

[2]. Cappelleti, 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.

Archive of SID

www.SID.ir