

## بهبود ویژگی‌های کاغذ روزنامه شیمیایی-مکانیکی (CMP) صنوبر از طریق کنترل پارامترهای فرایندی

حسین رسالتی<sup>۱</sup> و مصطفی نیکخواه دافچاهی<sup>۲\*</sup>

۱- استاد، گروه چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، پست الکترونیک: Nikkhah.Mostafa@Yahoo.Com

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۷

### چکیده

یکی از مشکلات استفاده از گونه سریع‌الرشد و غیرجنگلی صنوبر به‌عنوان ماده اولیه تولید کاغذ روزنامه در سطح بازده ۸۵٪ (سطح رایج بازده CMP در کارخانه چوب و کاغذ مازندران) بالک و ماتی نسبتاً کم کاغذهای حاصل می‌باشد. هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر پارامترهای فرایندی (بازده پخت و درجه روانی) بر ویژگی‌های نوری و مکانیکی خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی بود. خمیرهای کاغذ صنوبر با تغییر زمان پخت در ۴ سطح بازده مختلف تهیه شدند و خصوصیات آنها در سطوح مختلف درجه روانی در مقایسه با نمونه شاهد رایج مورد استفاده در کارخانه چوب و کاغذ مازندران (۷۵٪ مرز و ۲۵٪ راش) ارزیابی شد. خصوصیات مقاومتی و درجه روشنی خمیرهای کاغذ صنوبر حاصل از بازده‌های پخت ۸۵/۲۵٪ تا ۹۰/۴٪ در مقایسه با ترکیب شاهد در سطحی بهتر و مطلوب قرار گرفت؛ اما کاغذ حاصل از بازده ۹۴/۶٪ دارای خصوصیات مقاومتی ضعیف‌تری نسبت به کاغذ شاهد بود. نتایج نشان داد که با کنترل پارامترهای فرایندی همانند بازده پخت و درجه روانی امکان بهبود قابل‌ملاحظه خصوصیات مقاومتی، درجه روشنی، ماتی و بالک خمیرهای کاغذ شیمیایی-مکانیکی صنوبر و رفع نقایص موجود برای استفاده از آن برای تولید کاغذ روزنامه در کارخانه چوب و کاغذ مازندران وجود داشت.

واژه‌های کلیدی: صنوبر، خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی، خصوصیات مقاومتی، خصوصیات نوری، کاغذ روزنامه.

### مقدمه

کاغذ همواره به‌عنوان کالایی ارزشمند نقش مهمی را در آموزش و پرورش، امور اقتصادی، مسائل فرهنگی و تاریخی بشر ایفا نموده است. کاغذ روزنامه یکی از مهمترین محصولات کاغذی در مقیاس جهانی به‌شمار می‌آید که مقدار مصرف آن به دلایلی همانند افزایش جمعیت، توسعه شهرها و افزایش سطح سواد جامعه رو به افزایش است. کارخانه چوب و کاغذ مازندران تنها واحد تولیدکننده کاغذ روزنامه در کشور می‌باشد که از فرایند خمیرسازی شیمیایی-مکانیکی (CMP) و گونه‌های جنگلی در تولید کاغذ روزنامه

استفاده می‌نماید. فرایند CMP از روش‌های خمیرسازی پربازده محسوب می‌گردد که در آن با استفاده از ترکیبی از روش‌های شیمیایی و مکانیکی عمل خمیرسازی انجام می‌شود. در این فرایند ابتدا خرده چوب‌ها تحت تأثیر تیمار شیمیایی مختصری قرار گرفته و بعد عمل جداسازی الیاف به‌صورت مکانیکی و با استفاده از دستگاه دفیبراتور انجام می‌گردد.

قوانین کاهش برداشت چوب جنگلی و نیز محدودیت واردات چوب سبب شده است تا کارخانه چوب و کاغذ مازندران با مشکل جدی تأمین ماده اولیه چوبی مواجه شود.

الیاف کمتری در مقایسه با گونه‌های راش و ممرز می‌باشد و از نظر مقدار هلسولوز، گونه صنوبر بر گونه‌های ممرز و راش برتری دارد. بررسی ویژگی‌های مقاومتی نشان داد که مقاومت به ترکیدن و طول پارگی کاغذهای دست‌ساز حاصل از گونه‌های توس و صنوبر بیشتر از کاغذ گونه‌های ممرز و راش بود.

Rasouli Garmaroudi و همکاران (۲۰۰۷) ترکیب درصدی مختلفی از گونه صنوبر با ماده اولیه رایج کارخانه چوب و کاغذ مازندران را بر روی ویژگی‌های خمیر کاغذ CMP مورد تحقیق قراردادند و ترکیب ۶۵٪ ممرز و ۱۰٪ راش و ۲۵٪ صنوبر را به‌عنوان تیمار بهینه برای ساخت روزنامه معرفی نمودند. در این تحقیق، خمیر کاغذ صنوبر به علت درجه روشنی اولیه بیشتر با مصرف مقدار ماده رنگ‌بر کمتری به مقدار درجه روشنی مطلوب رسید. همچنین به علت دانسیته کمتر و انعطاف‌پذیری بیشتر الیاف صنوبر، افزایش سهم استفاده از آن در ترکیب ماده اولیه سبب افزایش انرژی مورد نیاز برای پالایش و افت ماتی کاغذ شد.

تحقیقات نشان می‌دهد اگرچه صنوبر به دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی کشور و نیز توان چوب‌دهی مناسب دارای قابلیت خوبی برای استفاده به‌عنوان ماده اولیه کمکی در تولید روزنامه می‌باشد و استفاده از آن به همراه گونه‌های دانسیته بالای ممرز و راش سبب تولید کاغذی با خصوصیات مقاومتی و صافی سطح بهتری می‌گردد اما در سطح بازده رایج کارخانه چوب و کاغذ مازندران (۸۵٪) به علت افت بالک و ماتی، استفاده از این گونه به‌طور خالص به‌عنوان ماده اولیه روزنامه امکان‌پذیر نمی‌باشد ( Hosseini and Mashalchiyan, 2008; Soleimani et al., 2012; Goli et al., 2016a). از این رو در این تحقیق، امکان بهبود ویژگی‌های بالک و ماتی کاغذ شیمیایی-مکانیکی حاصل از صنوبر خالص از طریق کنترل پارامترهای فرایندی (مراحل پخت و پالایش) برای استفاده به‌عنوان ماده اولیه تولید کاغذ روزنامه در کارخانه چوب و کاغذ مازندران بررسی شد.

صنوبر از گونه‌های ارزشمندی است که استفاده از کلن‌های مختلف آن به‌صورت مخلوط با گونه‌های جنگلی به‌عنوان ماده اولیه ساخت روزنامه در کارخانه چوب و کاغذ مازندران همواره مورد توجه بوده است؛ زیرا گونه صنوبر به دلایلی همانند سریع‌الرشد و غیر جنگلی بودن، قابلیت سازگاری و توان چوب‌دهی نسبتاً مناسب، درجه روشنی اولیه نسبتاً بالای چوب آن، مقدار سلولز زیاد، دانسیته کم و قابلیت نفوذپذیری نسبتاً آسان آن از قابلیت خوبی برای تولید خمیر کاغذ برخوردار می‌باشد ( Boeva-Spiridonova and Petkova, 2007; Hosseini and Mashalchiyan, 2008; Veisi and Mahdavi, 2016). از این رو، این کارخانه برای جبران بخشی از کمبود مواد اولیه خود اقدام به واردات گونه‌های دانسیته پایین مانند صنوبر لرزان و توس از کشور روسیه کرده است. ترکیب شیمیایی چوب، مرفولوژیکی الیاف و فرایند تولید از عوامل تعیین‌کننده کیفیت کاغذ روزنامه به‌شمار می‌آیند ( Hoseinzadeh and Latibari, 2012). از این رو به‌منظور استفاده از هر ماده لیگنوسولوزی جدید در تولید روزنامه، ابتدا باید روی پارامترهای فرایندی و انتخاب شرایط بهینه آن ماده تحقیق جامعی انجام شود.

Goli و همکاران (۲۰۱۵) اثر اختلاط صنوبر لرزان با دو گونه ممرز و راش را بر تولید خمیر کاغذ CMP مورد بررسی قراردادند. نتایج آنان نشان داد که افزایش مقدار مصرف صنوبر در ترکیب با گونه‌های ممرز و راش سبب بهبود خصوصیات مقاومتی (کشش، ترکیدن و پاره شدن) و درجه روشنی کاغذ و کاهش ماتی شد. به‌طوری‌که مقدار ماتی کاغذ حاصل از صنوبر لرزان خالص به مقدار قابل توجهی کمتر از سایر تیمارها بود و در سطح غیرقابل قبولی برای تولید کاغذ روزنامه قرار داشت.

Vaysi و Rajabi Kaboud Cheshmeh (۲۰۱۵) ویژگی‌های کاغذ CMP توس و صنوبر لرزان وارداتی را با ویژگی‌های کاغذ CMP گونه‌های ممرز و راش مقایسه نمودند. نتایج آنان نشان داد که صنوبر لرزان دارای طول الیاف، قطر الیاف و حفره سلولی بیشتر و ضخامت دیواره

## مواد و روش‌ها

ماده اولیه لیگنوسلولزی

خرده چوب‌های ممرز و راش از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شدند. صنوبر اورامریکن (کلن ۲۱۴-I) با قطر برابر سینه ۱۶/۹ cm و ارتفاع ۱۹/۷ m از ایستگاه تحقیقاتی صفا بسته تهیه و با چپیر صنعتی کارخانه به خرده چوب تبدیل شد.

فرایند تولید کاغذ CMP رنگ‌بری شده

از دایجستر هاتوی چرخان ۱۰ لیتری موجود در آزمایشگاه مرکز آموزش و تحقیقات شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران برای پخت استفاده شد. پخت خرده‌چوب‌ها

با استفاده از مایع پخت خط تولید کارخانه چوب و کاغذ مازندران (حاوی نسبت ۵۰:۵۰ سولفیت سدیم و بی‌سولفیت سدیم) در دمای ۱۶۰°C و نسبت مایع پخت به چوب ۷ به ۱ انجام شد. مقدار مواد شیمیایی بر پایه سولفیت سدیم برابر با ۲۰٪ (بر پایه وزن خشک چوب) بود. در این مرحله، با تغییر زمان پخت، از صنوبر خمیرهای کاغذ متعددی در سطوح مختلف بازده تولید شد و از دستگاه دفیبراتور برای جداسازی الیاف خرده چوب‌های پخته‌شده استفاده شد. شایوهای (دسته‌های الیاف) موجود در خمیرهای کاغذ با استفاده از الک با مش ۲۰ جداسازی شدند. رنگ‌بری خمیرهای کاغذ با استفاده از پراکسید هیدروژن و طبق شرایط مندرج در جدول ۱ انجام شد.

جدول ۱- شرایط رنگ‌بری خمیرهای کاغذ شیمیایی-مکانیکی

زمان واکنش (دقیقه)	هیدروکسیدسدیم (%)	DTPA (%)	سیلیکات‌سدیم (%)	پراکسید هیدروژن (%)	درجه حرارت (°C)	درصد خشکی (%)
۳۰-۶۰	۰/۷-۳	۰/۳	۳	۱-۴	۷۵	۱۲

مقاومت به ترکیدن: ۲-۰۲ om-۲۴۰۳، مقاومت به پارگی: ۴-۰۴ om-۲۴۱۴، مقاومت به کشش: ۱-۰۱ om-۲۴۹۴، مقاومت تاشدگی: ۲-۰۲ om-۲۵۱۱، ماتی: ۲-۰۲ om-۲۵۱۹، درجه روشنی: ۲-۰۲ om-۲۴۵۲ و پروزیت: ۲-۰۲ om-۲۴۶۰.

## نتایج

### پخت CMP و رنگ‌بری

صنوبر در زمان پخت ۱۳۰ دقیقه دارای بازده پختی تقریباً برابر با بازده نمونه شاهد (حدود ۵۸٪) بود (جدول ۲). به طوری که با کاهش زمان پخت صنوبر از ۱۳۰ با ۲۰ دقیقه ضمن افزایش بازده پخت (از ۲۵/۸۵٪ به ۹۴/۶٪)، بر مقدار درجه روشنی اولیه (از ۴۸/۷۵٪ به ۵۳٪) و متعاقباً درجه روشنی نهایی خمیر کاغذ صنوبر (از ۵۳/۸٪ به ۶۰/۶٪) افزوده شد.

درجه روانی اولیه خمیرها طبق روش ۴-۰۴ om-۲۲۷ تعیین شد و بعد خمیرهای کاغذ با استفاده از پالایشگر PFI طبق روش ۰۰-۲۲۴۸ تا درجه روانی حدود ۰۰-۲۲۴۸ mL، CSF ۳۰۰ (سطح درجه روانی خمیر کاغذ CMP در کارخانه چوب و کاغذ مازندران) پالایش گردیدند. کاغذهای دست‌ساز با گراماژ ۶۰ gr/m<sup>2</sup> طبق روش ۰۲-sp-۲۰۵ ساخته شدند.

### ارزیابی خمیرهای کاغذ

از کاغذهای با گراماژ کاملاً یکسان در آزمون‌های تعیین ویژگی‌های کاغذ استفاده شد. برای ارزیابی خصوصیات کاغذهای صنوبر و نمونه شاهد (۷۵٪ ممرز و ۲۵٪ راش) از روش‌های موجود در استاندارد تاپی<sup>۱</sup> به شرح زیر استفاده شد:

جدول ۲- نتایج پخت صنوبر و رنگبری خمیرهای کاغذ با ۱/۵٪ پراکسید هیدروژن

گونه	زمان پخت (دقیقه)	میانگین بازده خمیر کاغذ (%)	درجه روشنی اولیه (%)	درجه روشنی خمیر رنگبری شده (%)
صنوبر	۲۰	۹۴/۶	۵۳	۶۰/۶
صنوبر	۶۰	۹۰/۴	۵۰/۷	۵۸/۲
صنوبر	۸۰	۸۸/۶۵	۵۰/۱	۵۵/۷
صنوبر	۱۳۰	۸۵/۲۵	۴۸/۷۵	۵۳/۸
۷۵٪ ممرز + ۲۵٪ راش (نمونه شاهد)	۹۰	۸۵	-	۵۴

## پالایش خمیرهای کاغذ

با وجود درجه روانی اولیه نسبتاً مشابه، خمیرهای کاغذ صنوبر برای دستیابی به درجه روانی مطلوب (ml, CSF) ۳۰۰ نیازمند سطوح متفاوتی از انرژی پالایش بودند

(جدول ۳). به طوری که افزایش بازده سبب افزایش مقدار انرژی لازم برای پالایش خمیر کاغذ صنوبر شد و در بازده تقریباً برابر، خمیر کاغذ صنوبر نیازمند انرژی پالایش بیشتری نسبت به نمونه شاهد بود.

جدول ۳- نتایج پالایش خمیرهای کاغذ CMP صنوبر در محدوده‌های مختلف بازده پخت تا رسیدن به درجه روانی ml/CSF ۳۰۰

گونه	بازده خمیر کاغذ (%)	درجه روانی اولیه خمیر کاغذ ml, CSF	تعداد دور پالایشگر PFI
صنوبر	۹۴/۶	۷۴۲	۳۵۰۰۰
صنوبر	۹۰/۴	۷۱۲	۱۶۰۰۰
صنوبر	۸۸/۶۵	۷۱۲	۱۲۰۰۰
صنوبر	۸۵/۲۵	۷۳۷	۱۰۲۰۰
نمونه شاهد	۸۵	۶۷۰	۵۳۰۰

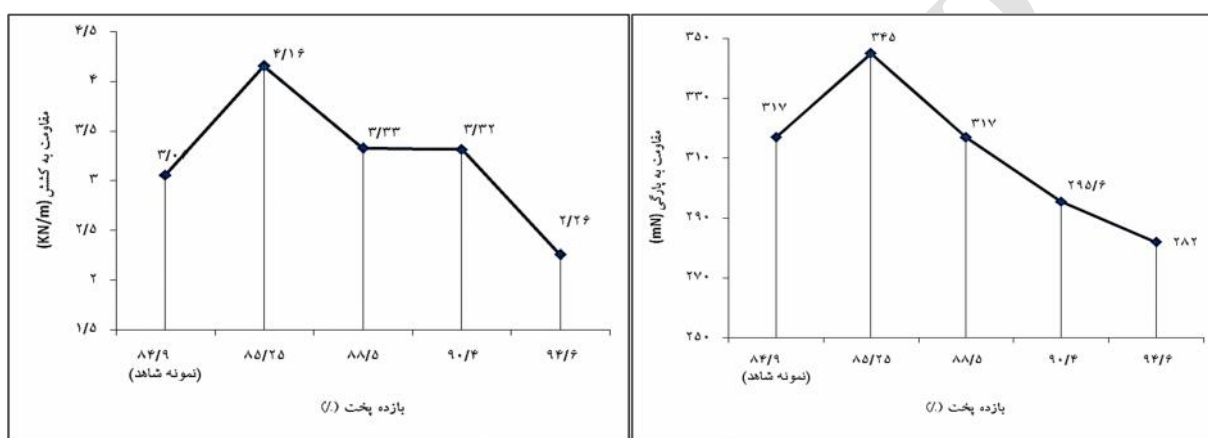
## خصوصیات خمیرهای کاغذ CMP دست‌ساز

در بازده پخت مشابه (۸۵٪)، کاغذ صنوبر دارای ویژگی‌های مقاومتی به مراتب بهتر اما بالک و ماتی کمتری نسبت به نمونه شاهد بود (شکل‌های ۱ تا ۴، جدول ۴). افزایش بازده پخت سبب بهبود ویژگی‌های بالک و ماتی کاغذهای صنوبر شد. به نحوی که با افزایش بازده، خصوصیات مقاومتی کاغذ صنوبر کاهش یافت، اما

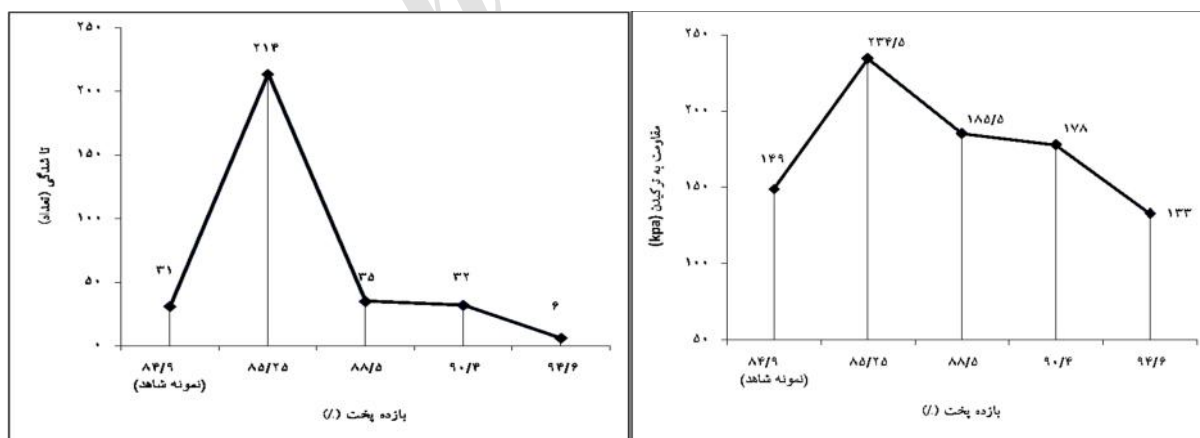
در مجموع تمامی کاغذهای صنوبر (به استثنای کاغذ حاصل از بازده پخت ۹۴/۶٪) دارای ویژگی‌های مقاومتی بهتری نسبت به نمونه شاهد بودند. نتایج نشان داد که با کنترل پالایش و کاهش درجه روانی خمیر کاغذ می‌توان خصوصیات مقاومتی کاغذ صنوبر دارای بازده پخت ۹۴/۶٪ را نیز تا حد زیادی ارتقاء داد (جدول ۵).

جدول ۴- تأثیر بازده پخت بر ویژگی‌های ساختاری کاغذهای CMP در درجه روانی ۳۰۰ ml, CSF

نمونه شاهد	صنوبر اورامریکن				ویژگی کاغذ
	۹۴/۶	۹۰/۴	۸۸/۶۵	۸۵/۲۵	
۸۵	۹۴/۶	۹۰/۴	۸۸/۶۵	۸۵/۲۵	بازده پخت (%)
۸۴/۱	۸۴/۷	۸۱/۷	۸۰/۳	۷۵/۵	ماتی (%)
۱/۹۴	۱/۹۱	۱/۷۳	۱/۵۹	۱/۵۰	بالک (cm <sup>3</sup> /gr)
۵۴	۶۰/۷	۵۸/۲	۵۵/۷	۵۴/۳	درجه روشنی (%)
۷	۹/۲	۱۴/۹	۱۹/۴	۳۵	پروزیته ثانیه



شکل ۱- تأثیر بازده پخت بر مقاومت به پارگی کاغذ صنوبر شکل ۲- تأثیر بازده پخت بر مقاومت به کشش کاغذ صنوبر



شکل ۳- تأثیر بازده پخت بر مقاومت به ترکیدن کاغذ صنوبر شکل ۴- تأثیر بازده پخت بر مقاومت به تاشدن کاغذ صنوبر

جدول ۵- نتایج تأثیر درجات روانی مختلف بر ویژگی‌های خمیر کاغذ CMP صنوبر در محدوده‌های مختلف بازده پخت

نمونه شاهد	صنوبر								ویژگی‌های کاغذ
	۹۴/۶		۹۰/۴		۸۸/۵		۸۵/۲۵		
۸۵	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	بازده خمیر کاغذ %
۳۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	درجه روانی ml,CSF
۱/۹۴	۱/۷۱	۱/۸۹	۱/۹۱	۱/۶۱	۱/۷۳	۱/۵۹	۱/۵۰	۱/۵۰	بالک cm <sup>3</sup> /gr
۸۴/۱	۸۵/۵	۸۵/۵	۸۴/۷	۸۲/۲	۸۱/۷	۸۰/۳	۷۵/۵	۷۵/۵	ماتی %
۵۴	۵۸/۸	۵۹/۸	۶۰/۷	۵۶/۶	۵۸/۲	۵۵/۷	۵۴/۳	۵۴/۳	درجه روشنی %
۷	۴۳	۱۷	۹/۲	۴۳	۱۴/۹	۱۹/۴	۳۵	۳۵	پروزیته ثابته
۳/۰۶	۲/۹۲	۲/۴۰	۲/۲۶	۳/۴۴	۳/۳۲	۳/۳۳	۴/۱۶	۴/۱۶	مقاومت کششی kN/m
۱۴۹	۱۸۳	۱۴۷	۱۳۳	۱۹۷/۷	۱۷۸	۱۸۵/۵	۲۳۴/۵	۲۳۴/۵	مقاومت ترکیبگی kpa
۳۱	۱۷	۱۰/۷	۶	۴۱	۳۲	۳۵	۲۱۴	۲۱۴	مقاومت تاشدگی تعداد
۳۱۷	۲۴۱	۲۵۵	۲۳۵	۳۰۹/۳	۲۹۵/۶	۳۱۷	۳۴۵	۳۴۵	مقاومت پارگی mN

## بحث

## پخت CMP و رنگ‌بری

مقدار بازده خمیر کاغذ صنوبر افزوده شده و از این گونه خمیر کاغذی با درجه روشنی اولیه بیشتری حاصل شد (جدول ۲)؛ به طوری که با کاهش زمان پخت از ۱۳۰ به ۲۰ دقیقه، درجه روشنی اولیه خمیر کاغذ صنوبر از ۴۸/۷۵٪ به ۵۳٪ افزایش یافت. در زمان پخت کمتر به علت تیمار شیمیایی کمتر، مقدار گروه‌های رنگی کمتری در ساختار چوب ایجاد می‌شود. از این رو، خمیرهای کاغذ صنوبر حاصل از زمان پخت کمتر (دارای بازده بالاتر) به علت مقدار گروه‌های رنگی کمتر از قابلیت رنگ‌بری بهتری برخوردار بودند و با مصرف مقدار ثابتی از ماده رنگ‌بر، به سطح درجه روشنی بیشتری رسیدند. به عنوان مثال، با مصرف ۱/۵٪ پراکسید هیدروژن از خمیر کاغذ صنوبر دارای بازده ۸۵/۲۵٪ تنها ۵۳/۸٪ درجه روشنی حاصل شد اما در رابطه با خمیر کاغذ صنوبر با بازده ۹۴/۶٪ با مصرف مقدار مشابه پراکسید، مقدار درجه روشنی به بیش از ۶۰٪ افزایش یافت. این مشاهده با نتایج Rasouli Garmaroudi و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت داشت. به طوری که در تحقیق مذکور نیز خمیرهای کاغذ CMP دارای درجه روشنی اولیه بیشتر به علت دربرداشتن مقدار گروه‌های رنگی کمتر نیازمند مقدار

در زمان پخت ۱۳۰ دقیقه از صنوبر، بازده پختی برابر با بازده پخت خمیر کاغذ CMP کارخانه چوب و کاغذ مازندران (حدود ۸۵٪) به دست آمد؛ اما در رابطه با نمونه شاهد به زمان پخت کمتری (۹۰ دقیقه) برای دستیابی به بازده پخت ۸۵٪ نیاز بود؛ زیرا گونه‌های مختلف به دلیل دانسیته و ترکیب شیمیایی متفاوت، از میزان انحلال متفاوتی در هنگام تیمار شیمیایی پخت برخوردار بودند. صنوبر دارای مواد استخراجی کمتر و سلولز بسیار بیشتری نسبت به ممرز (گونه اصلی در نمونه شاهد) می‌باشد (Nikkhah Dafchahi and Resalati, 2012; Goli et al., 2016a). به علت مقاومت نسبتاً بالای سلولز به انحلال در مرحله پخت، صنوبر در مقایسه با نمونه شاهد نیازمند زمان پخت بیشتری برای رسیدن به بازده حدود ۸۵٪ بود. Samaraha و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که گونه‌های دارای مقدار سلولز بیشتر به زمان پخت بیشتری برای دستیابی به بازده پخت ثابت نیاز دارند. با کاهش زمان پخت به علت تخریب شیمیایی و انحلال کمتر ترکیبات دیواره سلولی الیاف بر

مواد شیمیایی رنگ‌بر کمتری برای رسیدن به درجه روشنی مطلوب بودند.

### پالایش خمیرهای کاغذ

با وجود درجه روانی اولیه نسبتاً مشابه، بین خمیرهای کاغذ صنوبر از نظر مقدار انرژی لازم برای رسیدن به درجه روانی ۳۰۰ ml, CSF اختلاف زیادی وجود داشت (جدول ۳). به طوری که در رابطه با خمیر کاغذ CMP با بازده ۹۴/۶٪ به بیش از ۳ برابر انرژی لازم برای پالایش خمیر کاغذ با بازده ۸۵/۲۵٪ نیاز بود؛ زیرا خمیرهای کاغذ دارای بازده بالاتر به علت انحلال ترکیبات شیمیایی کمتر و لیگنین‌زدایی محدودتر در پخت دارای الیافی سالم‌تری می‌باشند که قابلیت دفرمه شدن کمتری دارند. در سطح بازده مشابه با نمونه شاهد، خمیر کاغذ صنوبر نیازمند انرژی پالایش بسیار بیشتری برای دستیابی به درجه روانی مطلوب بود؛ زیرا صنوبر دارای دانسیته کمتر و ضریب نرمش الیاف بیشتری در مقایسه با گونه ممرز (گونه اصلی تشکیل‌دهنده نمونه شاهد) می‌باشد (Goli et al., 2016b). در نتیجه، نمونه شاهد نسبت به الیاف منعطف صنوبر به مقدار بیشتری در پالایش دچار شکست شده و به علت تولید نرمة‌های فیبری بیشتر در تعداد دور پالایش کمتری به درجه روانی مورد نظر رسید. این نتایج با مشاهدات Rasouli Garmaroudi و همکاران (۲۰۰۷) هماهنگی داشت. در تحقیق مذکور، با افزایش اختلاط صنوبر با گونه‌های ممرز و راش به علت انعطاف‌پذیری بیشتر الیاف صنوبر، خمیر کاغذ حاصل به انرژی پالایش بیشتری نیاز داشت.

### خصوصیات خمیرهای کاغذ CMP دست‌ساز

کاغذهای صنوبر حاصل از محدوده بازده پخت ۹۰/۴-۸۵/۲۵ درصد دارای بالک و ماتی کمتری در مقایسه با نمونه شاهد بودند (جدول ۴). نتایج نشان داد که با تولید خمیرهای کاغذ دارای بازده پخت بیشتر می‌توان ویژگی‌های بالک، درجه روشنی و ماتی کاغذهای CMP صنوبر را بهبود بخشید. مقدار ماتی کاغذهای صنوبر حاصل از بازده پخت

۹۴/۶٪ برابر با ۸۴/۷٪ بود. این سطح از ماتی (۸۴/۷٪) حتی از مقدار ماتی نمونه شاهد (۸۴/۱٪) نیز بیشتر و مطلوب‌تر می‌باشد؛ زیرا با کاهش زمان پخت، ضمن تولید خمیر کاغذی با بازده پخت و درجه روشنی اولیه بالاتر به علت انحلال ترکیبات شیمیایی و لیگنین‌زدایی کمتر، از صنوبر الیافی سالم‌تر با مقاومت به دفرمه شدن و ضریب پراکنش نور بیشتری تولید می‌شود. این نتایج با نتایج Asadpour Atoee و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت. به طوری که در تحقیق مذکور نیز کاهش بازده پخت (افزایش زمان پخت) سبب بهبود ویژگی‌های مقاومتی و افت بالک و ماتی کاغذ مخلوط پهن‌رگان (۴۴٪ ممرز، ۳۱٪ صنوبر، ۱۵٪ افرا و ۱۰٪ بید) شد. کاغذهای صنوبر حاصل از بازده پخت کمتر دارای مقدار پروزیتة (مقاومت به عبور هوا) بیشتری بودند (جدول ۴). به طوری که در سطح بازده مشابه با نمونه شاهد (۸۵٪)، کاغذ صنوبر دارای مقدار پروزیتة بسیار بیشتری (۳۵ ثانیه) در مقایسه با کاغذ شاهد (۷ ثانیه) بود اما با افزایش بازده از مقدار پروزیتة کاغذهای صنوبر کاسته شد. به گونه‌ای که با استفاده از خمیر کاغذ صنوبر با بازده ۹۴/۶٪، کاغذی با مقدار پروزیتة ۹/۲ ثانیه حاصل شد؛ زیرا در پخت‌های طولانی‌تر به دلیل زمان واکنش‌های شیمیایی بیشتر در دیواره سلولی الیاف تخریب بیشتری صورت می‌برد. از این رو، الیاف صنوبر حاصل از مقادیر بازده پخت کمتر دارای قابلیت دفرمه شدن بیشتری بوده و ضمن نیاز به انرژی پالایش بیشتر از قابلیت پیوندیابی بین فیبری بهتری برخوردار بودند که نتیجه آن تولید کاغذی با پروزیتة بیشتر بود. این نتیجه با نتایج Johansson (۲۰۰۸) هماهنگی داشت. به طوری که در تحقیق مذکور نیز ذکر شد که افزایش پالایش سبب بهبود خصوصیات مقاومتی و افزایش پروزیتة کاغذهای حاصل شد.

کاغذ صنوبر حاصل از بازده پخت ۸۵٪ دارای مقاومت به کشش، ترکیدن، پارگی و تاخوری به مراتب بهتری نسبت به کاغذ نمونه شاهد بود؛ زیرا الیاف منعطف صنوبر با دانسیته‌ای نسبتاً کم و مقدار سلولز نسبتاً بالا از قابلیت دفرمه شدن و پیوندیابی بین‌لیفی بالایی در فرایند تولید کاغذ

کاغذ دارای بازده پخت ۹۰/۴٪ نیز با افزایش پالایش و کاهش درجه روانی خمیر به ۲۵۰ ml، CSF، مقادیر مقاومت به کشش، ترکیدن و تاشدگی به مراتب بهتر و مقاومت به پارگی و بالک اندکی کمتر در مقایسه با کاغذ شاهد حاصل شد؛ بنابراین دست تولیدکننده باز بوده و می‌تواند با توجه به مقدار اهمیت مواردی همانند بالک و ماتی و یا خصوصیات مقاومتی از سوی مصرف‌کننده و نیز ضمن توجه به مسائل اقتصادی و انرژی نسبت به انتخاب تیمار مناسب تصمیم‌گیری نماید. این نتیجه با مشاهدات Kord (۲۰۰۹) و نیز نتایج Samariha و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت؛ زیرا در تحقیقات مذکور نیز در اثر افزایش پالایش و کاهش درجه روانی خمیر کاغذ، خصوصیات مقاومتی (مقاومت به کشش و ترکیدن) کاغذهای حاصل بهبود یافت.

### سپاسگزاری

از مدیران محترم سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و کمیسیون کشاورزی، صنایع چوب و کاغذ مازندران، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، مدیریت محترم پژوهش‌های کاربردی دانشگاه تربیت مدرس و نیز از همکاری صمیمانه آقایان دکتر سعید مهدوی و دکتر اسماعیل رسولی گرمارودی تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

### منابع مورد استفاده

- Asadpour Atouei, GH., Zahedi Tabarestani, A., Barzan A., Mangholi, M.T. and Ghazvini, Z., 2016. Investigation of the CMP Pulp Yield Variations on its Strength and Optical Properties, *Journal of Forest and Wood Products*, 69 (2): 397-406.
- Boeva-Spiridonova, R. and Petkova, E., 2007. Utilization of Various Chemical Reagents and Additives for Production of Chemical-mechanical Pulp from Poplar Wood, *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 42(1): 41-44.
- Goli, M., Asadpur, Gh., Mahdavi, S. and Barimani, A., 2015. Investigation on Combining Aspen Wood with two Native Hardwoods Species for Chemi-Mechanical Pulping, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30 (4): 662-673.
- Goli, M., Zabihzadeh, S.M., Asadpoor, Gh. and

برخوردار می‌باشند. البته بین مقدار سلولز ماده اولیه و خصوصیات مکانیکی کاغذ رابطه‌ای مستقیم وجود دارد (Ververis *et al.*, 2004). نتایج نشان داد اگرچه کاغذ CMP صنوبر در سطح بازده پخت مشابه با نمونه شاهد (۸۵٪) دارای خصوصیات مقاومتی بسیار بهتری در مقایسه با نمونه شاهد بود اما ویژگی‌های بالک و ماتی کاغذ حاصل نسبت به کاغذ شاهد کمتر بوده و در سطح نامطلوبی قرار داشت (شکلهای ۱ تا ۴، جدول ۴). داده‌ها حکایت از آن داشت که با افزایش بازده پخت (کاهش زمان پخت) ضمن افزایش بازدهی تولید خمیر کاغذ می‌توان بالک و ماتی کاغذ صنوبر را بهبود بخشید و حتی در سطح بازده پخت ۹۴/۶٪ نیز از این‌گونه به کاغذی با ویژگی بالک و ماتی بهتری نسبت به کاغذ شاهد دست‌یافت (جدول ۴). گرچه با کنترل و افزایش بازده پخت صنوبر، مشکل افت ماتی و بالک کاغذ آن برطرف شد اما خصوصیات مقاومتی کاغذهای حاصل از سطوح بازده پخت بالاتر دارای روندی کاهش‌ی بود. به‌طور کلی کاغذهای صنوبر حاصل از دامنه بازده پخت ۹۰/۴-۸۵/۲۵ درصد در مقایسه با نمونه شاهد دارای ویژگی‌های مقاومتی بهتری بودند. ولی خمیر کاغذ صنوبر حاصل از بازده پخت ۹۴/۶٪ به دلیل قابلیت دفرمه‌شدن کمتر از قابلیت پیوندیابی بین‌فیبری کمتری برخوردار بود که نتیجه آن تولید کاغذی با خصوصیات مقاومتی ضعیف‌تری در مقایسه با نمونه شاهد بود. از این‌رو، اثر تغییر درجه روانی خمیرهای کاغذ صنوبر حاصل از بازده‌های پخت ۹۰/۴٪ و ۹۴/۶٪ بر ارتقای خصوصیات مقاومتی کاغذهای حاصل از آنها بررسی شد (جدول ۵). نتایج حکایت از آن داشت که با کنترل عمل مکانیکی پالایش و کاهش درجه روانی خمیر کاغذ در سطح بازده پخت ۹۴/۶٪ نیز می‌توان بر مشکل افت خصوصیات مقاومتی کاغذ صنوبر تا حد زیادی غلبه نمود و از این‌گونه کاغذی با ویژگی‌های مقاومتی قابل مقایسه با نمونه شاهد تولید کرد. به‌طوری‌که خمیر کاغذ CMP با بازده ۹۴/۶٪ و درجه روانی ۲۰۰ ml، CSF از نظر مقاومت به کشش مشابه و از نظر مقاومت ترکیدگی و ماتی در جایگاه بهتری نسبت به کاغذ شاهد قرار داشت. در رابطه با خمیر



- Rajabi Kaboud Cheshmeh, O. and Vaysi, R., 2015. Investigation and Comparison of Paper Properties of Birch and Aspen CMP Pulp with the Beech and Horn Beam CMP Pulp, *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 22 (1): 17-30.
- Rasouli Garmaroudi, A., Resalati, H. and Mahdavi Feizabady, S., 2007. Effect of Wood Raw Material Combination on the Properties of Chemi-mechanical Pulp for Making Newsprint, *Pajouhesh & Sanzandegi*, 76: 69-75.
- Samaraha, A., Khakifirooz, A., Nemati, M., Ravanbakhsh, F., Kiaei, M. and Saghafi, A., 2013. Newsprint from NSSC Bagasse Pulp Mixed with Hardwood CMP Pulp and Bleached Softwood Kraft Pulp, *Bioresources*, 8(4): 5561-5569.
- Samaraha, A., Nemati, M. and Hemmasi, A.H., 2011. Effects of Refining Intensity on Characteristics of Pulp Produced from Bagasse Through Neutral Sulfitic Semi-Chemical Pulping, *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 11(1): 10-14.
- Soleimani, A., Resalati, H. and Akbarpour, I., 2012. The Effect of Using White Birch on Mechanical Properties and Fiber Length Distribution of Mixed Hardwood CMP Pulp, *Lignocellulose*. 1(2): 89-91.
- Veisi, A. and Mahdavi, S., 2016. Mixing Bleached White Poplar and Wheat Straw Chemimechanical Pulps to Improve the Mechanical and Optical Characteristics, *BioResources* 11(2): 2987-2997.
- Ververis, C., Georgiou, K., Christodoulakis, N., Santas, P. and Santas, R., 2004. Fiber Dimensions, Lignin and Cellulose Content of Various Plant Materials and their Suitability for Paper Production, *Industrial Crops and Products*, 19: 245-254.
- Barzan, A., 2016a. The effect of Mixing the Forest and Non-forest Hardwood Species on the Chemi-mechanical Pulp (CMP) Properties (Case study: Mazandaran Wood and Paper Industry), *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 23:2. 125-141.
- Goli, M., Zabihzadeh, S.M., Asadpour Atoee, Gh. and Barzan, A., 2016b. Evaluation Alternative in MWPI'S Newsprint Production with Mixture of Species on the Properties of CMP Paper, *Journal of Forest and Wood Products*, 69(2): 615-624.
- Hosseini, S.Z. and Mashalchiyan, M., 2008. The Comparison of Physical and Mechanical Specificity of Papers Made of Poplar (*Populus Deltoides*), Paulownia (*Paulownia Fortunei*) and their Mixture Wood, Using Chemi-Mechanical (CMP) Method, *Journal of Agric. Sci. Natur. Resour.*, 15 (2): 42-48.
- Hoseinzadeh, O. and Jahan Latibari, A., 2012. Investigation on the Influence of Pulping Conditions on Delignification and Viscosity of Soda Pulp from Bagasse, *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 19(1): 107-120.
- Johansson, A., 2008. Correlations between Fibre Properties and Paper Properties, master's thesis, Helsinki University of Technology. Royal Institute of Technology, 49 pages.
- Kord, B., 2009. Effect of Refining Intensity on Pulp and Paper Properties Made of Eucalyptus *Camaldulensis* Wood, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 24(1): 125-133.
- Nikkhah Dafchahi, M. and Resalati, H., 2012. Evaluation of Pre-hydrolyzed Soda-AQ Dissolving Pulp from *Populus Deltoides* Using an ODED Bleaching Sequence, *BioResources*, 7(3): 3283-3292.

## Improvement of the properties of Poplar chemi-mechanical newsprint through controlling process parameters

H. Resalati<sup>1</sup> and M. Nikkhah Dafchahi<sup>2\*</sup>

1- Prof. in Pulp and Paper Industries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, province: Mazandran, Iran

2\* -Corresponding author, Ph.D., Student in Pulp and Paper Industries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, province, Mazandran, Iran, Email: Nikkhah.Mostafa@Yahoo.Com

Received: Nov., 2017

Accepted: May, 2018

### Abstract

One of the drawbacks of utilizing non-forest fast growing species of Poplar as raw materials to produce newsprint in Mazandran Pulp and Paper Mill is fairly low bulk and opacity of produced paper at the yield of 85% (current CMP yield of the Mill). In this research work, the effect of process parameters (cooking yield and freeness) on the optical and mechanical properties of chemi-mechanical pulp was investigated. The chemi-mechanical pulps of poplar was prepared at four various levels of cooking yield, through changing the cooking time, and their properties at different level of freeness were evaluated in comparison with the control sample of Mazandran Pulp and Paper Mill (75% hornbeam and 25% beech). Strength properties of the paper pulps stemmed from the cooking yields of 85.25% to 90.4% were higher and more favorable than the control sample. By contrast, the strength properties of the produced paper pulp from the cooking yield of 94.6% were inferior to prepared paper pulp from the control sample. According to the results, there is the possibility of significant improvement of the strength properties, opacity and bulk of the chemi-mechanical pulps of poplar trough controlling the process parameters like cooking yield and freeness to use it as raw material of newsprint production in Mazandran Pulp and Paper Mill.

**Keywords:** Poplar, chemi-mechanical pulp, strength properties, optical properties, newsprint.