

قابلیت تولید خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی از گونه‌های بید در مقایسه با گونه صنوبر

حسین رسالتی^۱ و مصطفی نیکخواه دافچاهی^{۲*}

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

۲- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

پست الکترونیک: Nikkhah.Mostafa@Yahoo.Com

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۶

چکیده

به علت کمبود چوب‌های جنگلی قابل برداشت در ایران، قابلیت تولید خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی از گونه‌های سریع‌الرشد بید (آلبا، فوکا و مشک) در مقایسه با گونه سریع‌الرشد و غیرجنگلی صنوبر در این تحقیق بررسی شد. از مایع پخت کارخانه چوب و کاغذ مازندران با نسبت ۵۰:۵۰ سولفیت سدیم و بی سولفیت سدیم برای تیمار شیمیایی و از پراکسید هیدروژن برای رنگ‌بری خمیرهای کاغذ استفاده شد. نتایج نشان داد که خمیرهای کاغذ بید فوکا و بید آلبا به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار بالک و ماتی در بین گونه‌ها بوده‌اند. از لحاظ خصوصیات مقاومتی، بیشترین و کمترین مقاومت کششی به ترتیب به کاغذهای بید آلبا و بید فوکا و بیشترین و کمترین مقادیر مقاومت‌های ترکیدن و پارگی به ترتیب به کاغذهای بیدمشک و صنوبر تعلق داشته است. داده‌های حاصل از این مطالعه نشان داده که گونه‌های بید دارای قابلیت خوبی برای استفاده به‌عنوان ماده اولیه در تولید خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی در بازده پخت ۸۵٪ می‌باشند. به طوری که طبق نتایج حاصل از این کار تحقیقاتی، گونه بید آلبا در اولویت اول و گونه بیدمشک در اولویت دوم برای تولید خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی (در بازده پخت ۸۵٪) قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: بید، صنوبر، خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی، رنگ‌بری، خصوصیات مقاومتی.

مقدمه

سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور به منظور حفاظت و احیاء جنگل‌ها میزان مجاز برداشت چوب در واحد سطح جنگل را به مقدار زیادی کاهش داده است. گرچه این اقدام گامی مفید برای حفظ و پایداری جنگل‌ها به شمار می‌رود ولی سبب کمبود مواد اولیه بسیاری از صنایع سلولزی کشور شده است. در حال حاضر، میزان برداشت چوب از جنگل‌های شمال کشور تنها حدود ۷۵۰ هزار مترمکعب در سال می‌باشد (Khanjani Shiraz *et al.*, 2014). صنوبرکاری‌های کشور نیز دارای قابلیت تولید حدود ۲/۵ میلیون مترمکعب چوب در سال

می‌باشند (Assareh, 2008). در این صورت چیزی حدود ۷ میلیون مترمکعب نیاز چوبی در کشور همچنان باقی می‌ماند. البته تاکنون برای کاهش مشکل کمبود مواد اولیه لیگنوسلولزی راهکارهای مختلفی ارائه شده است (Samaraha *et al.*, 2011; Vaysi, 2013; Nikkhah, 2015; Dafchahi and Resalati, 2015): ۱- تقویت جنگل‌کاری و جنگل‌داری بر پایه علم روز، ۲- توسعه کشت گونه‌های چوبی سریع‌الرشد غیرجنگلی، ۳- کاهش ضایعات و جلوگیری از اتلاف سرمایه، ۴- استفاده از پسماندهای زراعی و توسعه کشت گیاهان غیرچوبی، ۵- واردات چوب با هدف ایجاد ارزش افزوده، ۶- بازیافت

صنوبر به عنوان مواد اولیه در تولید کاغذهای روزنامه، مجله و چاپ و تحریر استفاده می‌شود (Monteoliva et al., 2007; Cobas et al., 2013).

مرفولوژی الیاف و ترکیب شیمیایی مواد اولیه چوبی بر خصوصیات و مقاومت کاغذ حاصل اثرگذار می‌باشد. به عنوان مثال، گرچه صنوبر دارای طول الیاف و ضخامت دیواره سلولی کمتری در مقایسه با گونه‌های راش و ممرز می‌باشد اما کاغذ آن به سبب ضریب نرمش الیاف و کربوهیدرات بیشتر دارای ویژگی‌های مقاومتری نسبت به کاغذهای تولید شده با گونه‌های ممرز و راش می‌باشد (Rajabi Kaboud Cheshmeh and Vaysi, 2015). خصوصیات مکانیکی کاغذ، به ویژه مقاومت کششی آن با مقدار سلولز ماده اولیه رابطه مستقیم دارد (Ververis et al., 2004). به طور کلی، افزایش مقدار هولوسلولز و کاهش مقدار لیگنین الیاف سبب بهبود خصوصیات مقاومتی کاغذ می‌گردد. البته افزایش طول الیاف مورد استفاده در کاغذسازی نیز باعث بهبود خصوصیات مقاومتی کاغذ می‌شود. در مواردی که ضخامت دیواره الیاف در یک قطر مشخص افزایش یابد و یا اینکه نسبت ضخامت دیواره الیاف به قطر حفره سلولی روند افزایشی داشته باشد، مقاومت به پارگی کاغذ حاصل افزایش می‌یابد، اما به دلیل افزایش مقاومت به خمش الیاف و کاهش انعطاف پذیری و قابلیت دفرمه شدن آنها، مقاومت‌های مربوط به اتصال بین الیاف کاغذ مثل مقاومت به کشش و ترکیبگی کاهش می‌یابد (Ververis et al., 2004).

محدودیت میزان برداشت چوب‌های جنگلی سبب شده است تا کارخانه چوب و کاغذ مازندران که عمدتاً از گونه‌های ممرز و راش با فرایند CMP در تولید کاغذ روزنامه استفاده می‌نماید با مشکل کمبود مواد اولیه لیگنوسلولزی مواجه شود. گونه‌های سریع‌الرشد صنوبر و بید از گونه‌های سازگار و فراوان بخش جلگه‌ای شمال کشور می‌باشند که در صورت امکان استفاده از این گونه‌ها برای تولید خمیر کاغذ CMP می‌توان تا حد زیادی بر مشکل کمبود مواد اولیه برای ساخت کاغذ روزنامه در کارخانه مذکور

مواد لیگنوسلولزی. در شرایط اقلیمی مناسب با کلن‌های اصلاح شده صنوبر می‌توان تا حدود ۳۰ مترمکعب چوب در سال تولید کرد (Mohammadi Limaie et al., 2004; Ghasemi and Modirrahmati, 2013). بیدها نیز جزو گونه‌های رطوبت‌پسند و سریع‌الرشد محسوب می‌شوند که متعلق به تیره Salicaceae و خانواده Salix می‌باشند. تاکنون حدود ۳۰۰ گونه و واریته از جنس بید در جهان شناسایی شده‌اند اما تنها تعداد اندکی از آنها (حدود ۱۲ گونه) دارای ارزش اقتصادی به لحاظ تولید چوب هستند. تاکنون قابلیت کلن‌های مختلف بید به طور خالص و نیز به صورت مخلوط با سایر پهن‌برگان برای تولید خمیر کاغذ CMP مورد بررسی قرار گرفته است (Monteoliva et al., 2007; Cobas et al., 2013; Goli et al., 2016).

Hosseinzadeh و همکاران (۲۰۱۱) اثر اختلاط خمیر کاغذ CMP بید با خمیر کاغذ CMP شاهد کارخانه چوب و کاغذ مازندران را بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذ حاصل بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که از لحاظ خصوصیات مقاومتی، بهترین مقاومت به پارگی کاغذ در نسبت اختلاط ۳۰ و ۶۰ درصدی، مقاومت به ترکیدن در نسبت ۳۰ درصدی، مقاومت کششی و طول پارگی عمدتاً در نسبت‌های اختلاط ۴۵ و ۶۰ درصدی خمیر کاغذ بید با خمیر کاغذ شاهد حاصل شده است.

روزنامه یکی از مهمترین کالاهای سلولزی می‌باشد که با فرایند CMP در کارخانه چوب و کاغذ مازندران تولید می‌گردد. از ویژگی‌های مهم و مورد نیاز کاغذ روزنامه می‌توان به مواردی همانند بالک و مات، ویژگی‌های مقاومتی، درجه روشنی، ثبات ابعاد، قابلیت گذر از ماشین و قابلیت چاپ پذیری مناسب اشاره کرد. کیفیت نهایی کاغذ روزنامه به کیفیت ماده اولیه و فرایند تولید آن وابسته است. گونه‌های صنوبر و بید به علت درجه روشنی اولیه نسبتاً بالا و دانسیته کم از گونه‌های مناسب برای تولید خمیر کاغذ CMP برای ساخت کاغذ روزنامه به شمار می‌آیند. در آرژانتین از گونه‌های اصلاح شده بید و

مواد شیمیایی مایع پخت در تمامی پخت‌ها برابر ۲۰٪ بر پایه سولفیت سدیم بوده است. در محاسبه ماده شیمیایی مورد نیاز وزن برابر بر اساس یک وزن مولکولی سولفیت و دو وزن مولکولی بی سولفیت لحاظ شده است. مشخصات مرحله پخت در زیر آورده شده است:

مواد شیمیایی (بر اساس سولفیت سدیم)، ۲۰٪، SO₂،
۱۱۴ gr/l، Na₂O، ۱۰۶ gr/l، نسبت مایع پخت به چوب،
۷:۱ و دمای پخت ۱۶۰°C.

عمل جداسازی الیاف از خرده چوب‌های پخته شده توسط یک دستگاه دفیبراتور (جداکننده الیاف) انجام شد. پس از عمل جداسازی الیاف، الیاف به هم چسبیده و جدا نشده (الیاف غیرقابل قبول) با استفاده از الک با مش ۲۰ از الیاف پذیرفته شده جداسازی شد. الیاف پذیرفته شده روی الک با مش ۲۰۰ با آب کاملاً شستشو داده شد. برای رنگ‌بری خمیرکاغذهای CMP از ماده رنگ‌بر پراکسید هیدروژن در شرایط زیر استفاده شد:

درصد خشکی ۱۲٪، پراکسید از ۱ تا ۴٪، هیدروکسید سدیم از ۰/۷ تا ۳٪، سیلیکات سدیم ۳٪، DTPA ۰/۳٪،
زمان واکنش از ۳۰ تا ۶۰ دقیقه و درجه حرارت ۷۵°C.

پالایش و تولید کاغذ دست‌ساز

پس از اندازه‌گیری درجه روانی اولیه (۰۴-om) (T۲۲۷)، خمیرکاغذها با پالایشگر PFI و طبق دستورالعمل ۰۰-sp-۲۲۴۸ تا درجه روانی حدود ۰۶-cm CSF ۳۰۰ پالایش شدند. کلاسه‌بندی الیاف (۰۶-cm) (T۲۳۳) در درجه روانی حدود ۳۰۰ انجام شد و مقدار توده‌های الیاف به هم چسبیده و جدا نشده آنها طبق استاندارد تاپی ۰۴-sp-۲۲۷۸ تعیین شد. در ادامه، طبق ۰۲-sp-۲۲۰۵ استاندارد تاپی ساخت کاغذهای دست‌ساز با گراماژ ۶۰ gr/m² انجام شد.

ویژگی‌های کاغذ

تمامی آزمون‌های تعیین ویژگی‌های کاغذ بر روی کاغذهای دست‌ساز با گراماژ یکسان (حدود ۶۰ gr/m²)

فائق آمد. از این رو، در این تحقیق قابلیت تولید خمیرکاغذ CMP از ۳ گونه مختلف بید در مقایسه با خمیرکاغذ حاصل از گونه صنوبر در بازده ۸۵٪ (بازده متداول تولید خمیرکاغذ CMP در کارخانه) بررسی شد.

مواد و روش‌ها

ماده اولیه لیگنوسلولزی

از صنوبر دلتوئیدس^۱ ۸ ساله (کلن ۷۷/۵۱) و ۳ گونه بید (بید فک (*Salix alba L.*)، بید فوکا (*Salix fragilis L.*) و بیدمشک (*Salix aegyptica L.*)) به عنوان ماده اولیه چوبی در این تحقیق استفاده شد. گونه صنوبر با میانگین قطر برابر سینه ۱۴/۹ cm و ارتفاع ۱۴/۷ m از ایستگاه تحقیقاتی صفرایسته استان گیلان تهیه شد. به دلیل عدم وجود پایه‌های مناسب از گونه‌های بید در مراکز تحقیقاتی، این درختان از تک پایه‌های موجود در مزارع شهرستان‌های ساری و سوادکوه تهیه شدند. میانگین قطر برابر سینه و ارتفاع بید فوکا ۱۹/۴ cm و ۱۱/۵ m و بید فک ۲۹/۵ cm و ۱۴/۵ m بوده است.

ترکیب شیمیایی و مرفولوژی الیاف

اندازه‌گیری ابعاد الیاف با روش فرانکلین و ترکیبات شیمیایی طبق روش‌های استاندارد تاپی^۲ انجام شد:
سلولز ۸۸-om-۲۲۶۴، هلوسلولز ۷۵-wd-۲۹، لیگنین ۰۲-om-۲۲۲۲، خاکستر ۰۲-om-۲۲۱۱ و مواد استخراجی ۹۷-cm-۲۲۰۴.

خمیرسازی و رنگ‌بری

از مایع پخت CMP خط تولید صنایع چوب و کاغذ مازندران با نسبت ۵۰:۵۰ سولفیت سدیم و بی سولفیت سدیم برای تولید خمیرهای کاغذ CMP آزمایشگاهی استفاده شد. با استفاده از دیگ پخت از نوع هاتوی ۱۰ لیتری، خمیرهای CMP برای رسیدن به بازده حدود ۸۵٪ (بازده تولید خمیر CMP در صنایع چوب و کاغذ مازندران) تولید شد. مقدار

1- P. deltooides
2- TAPPI

گونه‌ها و نیز ترکیب شیمیایی آنها به ترتیب در جدولهای ۱ و ۲ آورده شده است.

خمیر کاغذسازی و رنگ‌بری

نتایج پخت گونه‌ها برای تولید خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی با بازده حدود ۸۵٪ (بازده رایج برای تولید خمیر کاغذ CMP در کارخانه چوب و کاغذ مازندران) در جدول ۳ نشان داده شده است.

با کنترل شرایط رنگ‌بری، درجه روشنی خمیرهای کاغذ تا سطح ۵۵٪ (سطح درجه روشنی رایج خمیر کاغذ CMP در کارخانه چوب و کاغذ مازندران) ارتقا یافت.

انجام شده است. اندازه‌گیری ویژگی‌هایی مانند مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به پارگی، ماتی، درجه روشنی، ناصافی سطح و مقاومت به عبور هوا (پروزیته) کاغذهای دست‌ساز بر پایه استاندارد تایپی به ترتیب طبق دستورالعمل‌های om-۰۱، T۴۹۴ om-۰۲، T۴۰۳ om-۰۱، T۴۵۲ om-۰۲، T۵۱۹ om-۰۲، T۵۳۸ om-۰۱ و T۴۶۰ om-۰۲ انجام شد.

نتایج

ترکیب شیمیایی و مرفولوژی الیاف

نتایج تعیین دانسیته، ابعاد الیاف و ضرایب کاغذسازی

جدول ۱- دانسیته، ابعاد الیاف و ضرایب کاغذسازی

گونه	L (mm)	D (μ)	d (μ)	T (μ)	L/D	d/D×100	(2T/d)×100	ρ (g/cm ³)
بید آلبا	۱/۰۲۲	۲۸/۳	۱۶/۱	۶/۱	۳۶/۱۱	۵۶/۸۹	۷۵/۷۸	۰/۴۶۱
بید فوکا	۱/۰۱۵	۲۹/۶	۱۶/۶	۶/۵	۳۴/۲۹	۵۶/۰۸	۷۸/۳۱	۰/۴۸۲
بیدمشک	-	-	-	-	-	-	-	-
صنوبر	۰/۹۷۰	۲۶/۷۹	۱۶/۰۱	۵/۳۹	۳۶/۲۱	۵۹/۷۶	۶۷/۳۳	۰/۳۹۷

میانگین طول الیاف (L)، میانگین قطر الیاف (D)، میانگین قطر حفره (d)، میانگین ضخامت دیواره (T)، ضریب درهم‌رفتگی الیاف (L/D)، ضریب نرمش الیاف (d/D)، ضریب مقاومت پارگی الیاف. (2T/d)، دانسیته چوب (ρ)

جدول ۲- میانگین ترکیبات شیمیایی چوب

گونه چوبی	مواد استخراجی٪	سلولز٪	هلو سلولز٪	لیگنین٪	خاکستر٪
صنوبر	۱/۷۵	۵۵/۹۸	۷۴/۰۵	۲۴/۴۵	۰/۵۶
بید فوکا	۳/۱۲	۵۱/۵۷	۷۶/۶۲	۲۲/۴۸	۰/۴۱
بید آلبا	۲/۷۳	۵۲/۶۲	۷۸/۴۴	۲۱/۶۵	۰/۳۵
بیدمشک	-	-	-	-	-

جدول ۳ نشان داده شده است.

با کنترل شرایط رنگ‌بری، درجه روشنی خمیرهای کاغذ تا سطح ۵۵٪ (سطح درجه روشنی رایج خمیر کاغذ CMP در کارخانه چوب و کاغذ مازندران) ارتقا یافت.

خمیر کاغذسازی و رنگ‌بری

نتایج پخت گونه‌ها برای تولید خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی با بازده حدود ۸۵٪ (بازده رایج برای تولید خمیر کاغذ CMP در کارخانه چوب و کاغذ مازندران) در

جدول ۳- نتایج پخت‌های بهینه گونه‌ها برای تولید خمیر CMP برای رسیدن به بازده حدود ۸۵٪

نوع گونه	زمان پخت (دقیقه)	میانگین بازده (%)
صنوبر	۱۰۵	۸۵/۷
بید فوکا	۱۲۰	۸۴/۸
بید آلبا	۱۰۵	۸۵/۲
بیدمشک	۱۰۵	۸۵/۹

پالایش و ساخت کاغذ دست‌ساز

نتایج پالایش خمیرهای CMP برای دستیابی به درجه روانی ۳۰۰ و نیز کلاسه‌بندی الیاف پس از پالایش در جدول ۴ ارائه شده است. درصد شایو (الیاف به هم چسبیده) در خمیرهای CMP گونه‌های بید بسیار پایین و ناچیز بوده اما در مورد خمیر کاغذ صنوبر این مقدار برابر با ۰/۰۴٪ بوده است.

خصوصیات کاغذهای دست‌ساز

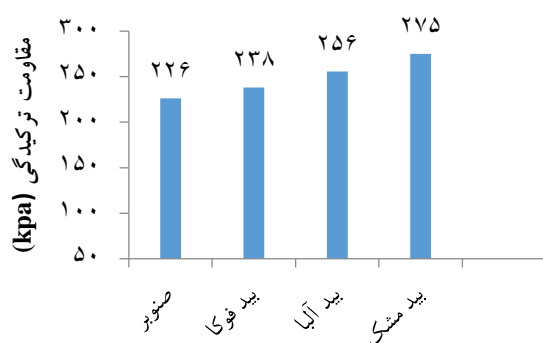
نتایج تعیین ویژگی‌های ساختاری کاغذهای حاصل از گونه‌های بید و صنوبر در جدول ۵ آورده شده‌اند و از نظر مقاومت‌های کششی، ترکیدن و پارگی به ترتیب در شکل-های ۱، ۲ و ۳ مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

جدول ۴- نتایج پالایش خمیرهای CMP برای رسیدن به درجه روانی ۳۰۰ ml,CSF و کلاسه‌بندی الیاف پس از پالایش

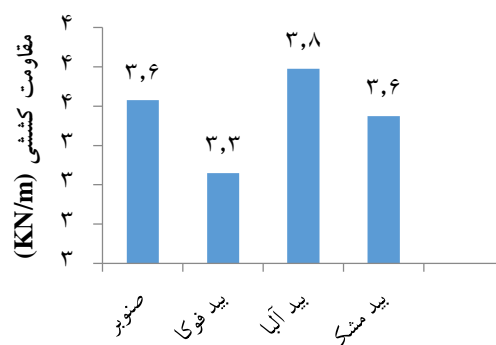
گونه	درجه روانی اولیه (ml,CSF)	دور پالایشگر	مش +۵۰ (%)	مش -۵۰ و +۲۰۰ (%)	مش -۲۰۰ (%)
صنوبر	۷۳۱	۹۶۰۰	۶۹/۴۷	۲۲/۷۳	۷/۸
بید فوکا	۷۰۰	۵۳۵۰	۶۱/۸۴	۲۹/۰۲	۹/۱۴
بید آلبا	۷۰۸	۸۵۵۰	۶۰/۷	۲۹/۹۵	۹/۳۵
بیدمشک	۷۵۰	۶۵۰۰	۶۴/۳۵	۲۸/۶۱	۸/۰۴

جدول ۵- نتایج ویژگی‌های ساختاری کاغذ CMP حاصل از گونه‌های مختلف

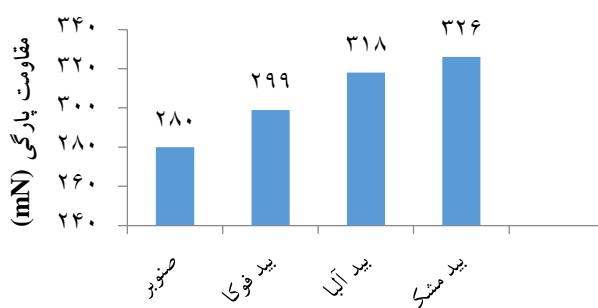
گونه چوبی	بالک (Cm ³ /g)	ماتی (%)	پروزیته (ثانیه)	ناصافی سطح (μ)
صنوبر	۱/۳۶	۷۸/۸	۴۸	۴/۴
بید فوکا	۱/۴۶	۷۹/۶	۱۵	۴/۲
بید آلبا	۱/۳۱	۷۸/۵	۲۸	۳/۷
بیدمشک	۱/۳۶	۷۸/۹	۴۲	۳/۵



شکل ۲- مقایسه مقاومت ترکیدگی کاغذ CMP



شکل ۱- مقایسه مقاومت کششی کاغذهای CMP



شکل ۳- مقایسه مقاومت پارگی کاغذهای CMP

بحث

ترکیب شیمیایی و مرفولوژی الیاف

گونه صنوبر دارای بیشترین ضریب نرمش الیاف و کمترین مقدار دانسیته در بین گونه‌ها می‌باشد (جدول ۱). از این رو، الیاف صنوبر دارای مقاومت به ضربه بهتری در مقایسه با الیاف سایر گونه‌ها می‌باشد و در مرحله پالایش نیازمند انرژی بیشتری برای دستیابی به درجه روانی مورد نظر است. بیدهای آلبا و فوکا به لحاظ مشخصات الیاف و ضرایب کاغذسازی مشابه هم می‌باشند و از این لحاظ (به استثناء ضریب مقاومت پارگی) مشابه گونه صنوبر هستند. ضریب مقاومت پارگی الیاف گونه‌های بید بیشتر از الیاف صنوبر است که این موضوع به مرفولوژی الیاف آنها مربوط می‌شود.

تغییر ترکیب شیمیایی و مرفولوژی الیاف سبب تغییر خواص خمیر و کاغذ حاصل می‌گردد (Mostafizur

Rahman et al., 2014). به طور کلی، با کاهش مقدار لیگنین و افزایش مقدار هولو سلولز (کربوهیدرات) گونه چوبی خصوصیات مقاومتی کاغذ حاصل بهبود می‌یابد. صنوبر دارای سلولز به مراتب بیشتر و مقدار مواد استخراجی کمتری در مقایسه با گونه‌های بید است (جدول ۲). از این نظر، ابتدا گونه صنوبر و در مرتبه بعدی گونه‌های بید دارای مطلوبیت بیشتری برای کاغذسازی می‌باشند. این نتیجه با مشاهدات Ververis و همکاران (۲۰۰۴) و نیز Samariha و همکاران (۲۰۱۱) هماهنگی دارد. در تحقیق‌های مذکور بیان شده است که ترکیبات شیمیایی و مرفولوژی الیاف بر خصوصیات مقاومتی کاغذ اثرگذار می‌باشد و افزایش مقدار سلولز الیاف سبب افزایش مقاومت کششی ورقه می‌شود. البته به لحاظ درصد لیگنین و خاکستر، گونه صنوبر دارای حداقل مطلوبیت و گونه بید آلبا دارای بیشترین مطلوبیت است.

خمیرسازی و رنگ‌بری

زمان پخت مورد نیاز گونه‌ها برای رسیدن به بازده خمیرکاغذ حدود ۸۵٪ (بازده رایج برای تولید خمیرکاغذ CMP در کارخانه چوب و کاغذ مازندران) متفاوت بوده است (جدول ۳)؛ زیرا این گونه‌ها از نظر ترکیبات شیمیایی با یکدیگر اختلاف دارند (جدول ۲). کمترین میزان انحلال مواد شیمیایی تشکیل‌دهنده چوب و در نتیجه بیشترین زمان پخت مورد نیاز برای دستیابی به بازده مورد نظر، متعلق به گونه بید فوکا بوده است و از این نظر، گونه‌های بیدمشک، آلبا و صنوبر نیازمند زمان پخت کمتری بودند. این نتایج با مشاهدات Vaysi و Rajabi Kaboud Cheshmeh (۲۰۱۵) مطابقت داشت. به گونه‌ای که در تحقیق مذکور برای دستیابی به بازده پخت CMP حدود ۸۵٪ از گونه‌های صنوبر، راش، ممرز و توس به علت نرخ انحلال متفاوت ترکیبات شیمیایی چوب‌ها به زمان‌های پخت متفاوتی نیاز بوده است. همچنین واکنش گونه‌های مختلف بید مورد استفاده در این تحقیق (به جز بید فوکا) در برابر فرایند خمیرسازی CMP نسبتاً مشابه و شبیه گونه صنوبر بوده است. علت اختلاف رفتار بید فوکا نسبت به سایر گونه‌های بید در برابر شرایط خمیرسازی به تفاوت مرفولوژی ترکیب شیمیایی آن مربوط می‌شود، زیرا بید فوکا دارای ضخامت دیواره سلولی و دانسیته بیشتری نسبت به سایر گونه‌های بید و صنوبر در این تحقیق است. در نتیجه، این گونه به علت بافتی متراکم‌تر و قابلیت نفوذ مواد شیمیایی کمتر در زمان پخت طولانی‌تری به بازده مورد نظر رسیده است. این نتایج با نتایج Samariha و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت. به گونه‌ای که در تحقیق مذکور علت اختلاف بازده خمیرسازی گونه‌ها به اختلاف ترکیب شیمیایی آنها نسبت داده شد و بیان شد که افزایش مقدار سلولز و کاهش مواد استخراجی در گونه‌ها سبب افزایش بازده خمیرسازی و کاهش مصرف مواد شیمیایی پخت می‌شود. البته با کنترل شرایط رنگ‌بری، درجه روشنی خمیرهای کاغذ تا سطح ۵۵٪ (سطح درجه روشنی رایج خمیرکاغذ CMP در کارخانه چوب و کاغذ مازندران) ارتقا یافت.

پالایش و ساخت کاغذ دست‌ساز

درجه روانی اولیه خمیرهای کاغذ به علت اختلاف دانسیته و مرفولوژی الیاف گونه‌ها با یکدیگر متفاوت می‌باشند (جدول ۴). خمیرهای کاغذ CMP حاصل از صنوبر و بید فوکا به ترتیب نیازمند بیشترین و کمترین مقدار انرژی پالایش برای رسیدن به درجه روانی CSF ۳۰۰ بوده‌اند؛ زیرا صنوبر بعکس گونه بید فوکا دارای کمترین مقدار دانسیته و بیشترین مقدار ضریب نرمش الیاف در بین گونه‌ها می‌باشد (جدول ۱). در نتیجه بر خلاف، الیاف صنوبر هنگام پالایش با صرف بیشترین انرژی مکانیکی و تولید کمترین مقدار نرمه فیبری و الیاف بید فوکا در زمان پالایش کمتر و با صرف کمترین مقدار انرژی به درجه روانی مورد نظر می‌رسد (جدول ۴). این موضوع با مشاهدات Rasouli و Garmaroudi و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت داشت. در تحقیق یادشده خمیرکاغذ CMP صنوبر به علت دانسیته الیاف کمتر و انعطاف‌پذیری الیاف بهتر نیازمند بیشترین انرژی پالایش برای دستیابی به درجه روانی معین بوده است. Goli و همکاران (۲۰۱۵) نیز در تحقیق خود ذکر کردند که افزایش نسبت اختلاط الیاف صنوبر با الیاف سایر پهن‌برگان دارای دانسیته بالاتر در خمیرکاغذ CMP به سبب انعطاف‌پذیری بالاتر الیاف صنوبر منجر به افزایش مصرف انرژی لازم برای پالایش خواهد شد. در بین بیدها، بید آلبا و بید فوکا به ترتیب دارای بیشترین و کمترین انرژی پالایش مورد نیاز در راستای دستیابی به درجه روانی CSF ۳۰۰ بوده‌اند؛ زیرا بید آلبا به دلیل داشتن بیشترین مقدار کربوهیدرات و ضریب نرمش الیاف، کمترین مقدار لیگنین و مواد استخراجی در مقایسه با سایر گونه‌های بید دارای قابلیت آب‌دوستی و انعطاف‌پذیری بیشتری بوده و با صرف انرژی و زمان پالایش بیشتری به درجه روانی مورد نظر رسیده است. البته درصد شایو در خمیرهای CMP گونه‌های بید بسیار پایین و ناچیز بوده اما در مورد خمیرکاغذ صنوبر این مقدار برابر با ۰/۰۴٪ بوده است.

خصوصیات کاغذ دست‌ساز

کاغذ بید فوکا دارای بیشترین مقادیر بالک و ماتی و کمترین مقدار پروزیتته (مقاومت به عبور هوا) نسبت به خمیر کاغذ سایر گونه‌ها بوده است (جدول ۵). بید فوکا دارای بیشترین دانسیته و کمترین ضریب نرمش الیاف در بین گونه‌ها می‌باشد. از لحاظ ترکیب شیمیایی، این گونه دارای کمترین مقدار سلولز و بیشترین مقدار مواد استخراجی بوده و از مقدار لیگنین نسبتاً بالایی برخوردار است (جدولهای ۱ و ۲). این ویژگی‌ها سبب شده است تا این گونه ضمن نیاز به انرژی پالایش کمتر، مقدار نرمه فیبری نسبتاً بالایی (۹/۱۴٪) جهت رسیدن به درجه روانی مورد نظر ایجاد گردد (جدول ۴). در نتیجه، الیاف بید فوکا در مرحله پالایش به مقدار کمتری نسبت به الیاف سایر گونه‌ها دفرمه می‌گردد و از آن کاغذی با بیشترین مقادیر بالک و ماتی و کمترین مقدار پروزیتته حاصل شده است. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که در بین گونه‌های مورد بررسی کمترین مقدار بالک مربوط به کاغذ بید آلبا و بیشترین مقدار پروزیتته متعلق به کاغذ صنوبر بوده است. الیاف بید آلبا با بیشترین کربوهیدرات و کمترین مقدار لیگنین (جدول ۲) دارای قابلیت خوبی برای جذب آب و واکنشیدگی در مرحله پالایش بوده است و از این گونه بیشترین مقدار الیاف متوسط و نرمه‌های فیبری در تعداد دور پالایش نسبتاً بالایی (۸۵۵۰) تشکیل می‌شود (جدول ۴). از این رو الیاف بید آلبا به خوبی در مرحله پالایش دفرمه و دفیبریله می‌شوند و از قابلیت پیوندیابی بین لیفی خوبی در ورقه برخوردارند. این موضوع و نیز قرارگیری نرمه‌های فیبری فراوان ایجاد شده در خلل و فرج بین الیاف سبب تولید کاغذی با کمترین مقدار بالک و ماتی از این گونه نسبت به سایر گونه‌ها شده است. این نتایج با نتایج Gominho و همکاران (۲۰۱۵) و نتایج Nazeri و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت داشت. به طوری که در تحقیقات یادشده نیز افزایش نرمه‌های فیبری خمیر کاغذ سبب کاهش بالک کاغذ شده است. صنوبر از دانسیته کمتر و ضریب نرمش الیاف بیشتری نسبت به سایر گونه‌ها برخوردار است (جدول ۱). از این رو، به علت قابلیت

ضربه‌پذیری و دفرمه‌شدن بسیار بالای الیاف آن در پالایش، از این گونه مقدار نرمه بسیار کمتری تولید شده است. علاوه بر این، الیاف صنوبر به علت دارا بودن بیشترین مقدار سلولز و نیز کمترین مقدار مواد استخراجی دارای قابلیت اتصال‌یابی بین فیبری بالایی می‌باشند. در نتیجه، از صنوبر کاغذی با بالاترین مقدار پروزیتته در این تحقیق تولید شده است.

از نظر صافی سطح، خمیرهای کاغذ بیدمشک و صنوبر به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار ناصافی سطح بوده‌اند (جدول ۵)؛ زیرا یکی از عوامل مؤثر در صافی سطح کاغذ دامنه پراکنش اندازه ذرات سازنده آن می‌باشد که از این لحاظ، کاغذ بیدمشک دارای پراکنش کلاسه‌بندی الیاف بهتر و یکنواخت‌تری در مقایسه با صنوبر بوده است (جدول ۴). از این رو در این مطالعه، کاغذ بیدمشک از صافی سطح بیشتری نسبت به کاغذ صنوبر و سایر گونه‌ها برخوردار بوده است.

کاغذ بید آلبا دارای بیشترین و کاغذ بید فوکا دارای کمترین مقاومت کششی در مقایسه با کاغذ سایر گونه‌ها بوده‌اند (شکل ۱)؛ زیرا بید آلبا دارای مقدار کربوهیدرات بیشتر و لیگنین کمتری می‌باشد و از ضریب نرمش الیاف نسبتاً خوبی برخوردار است (جدولهای ۱ و ۲). همچنین، نتایج پالایش و کلاسه‌بندی الیاف بید آلبا نشان می‌دهد که ضمن نیاز به تعداد دور پالایش نسبتاً زیاد، از الیاف این گونه در پالایش کمترین مقدار الیاف بلند و بیشترین مقادیر الیاف متوسط و نرمه فیبری تولید شده است (جدول ۴). از این رو الیاف بید آلبا در مرحله پالایش به خوبی دفرمه و دفیبریله می‌شوند و از قابلیت پیوندیابی بین فیبری بالایی در ورقه کاغذ برخوردارند. افزایش مقدار نرمه‌های فیبری در ورقه کاغذ بید آلبا نیز باعث افزایش قابلیت پیوندیابی بین لیفی، کاهش بالک و افزایش دانسیته کاغذ می‌شود. در نتیجه، کاغذ بید آلبا از مقاومت کششی بیشتری نسبت به سایر گونه‌ها برخوردار بوده است. این نتایج با نتایج Nazeri و همکاران (۲۰۰۸) هماهنگی داشت. در تحقیق یادشده تأثیر نرمه‌های فیبری خمیر کاغذ CMP بر خصوصیات مکانیکی کاغذ روزنامه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج

پارگی کاغذ با طول الیاف و ضخامت دیواره الیاف رابطه مستقیم و با مقدار پالایش الیاف رابطه عکس دارد (Xia and Gong, 2011). صنوبر به علت کمترین مقدار طول، ضخامت الیاف و بیشترین مقدار ضریب نرمش الیاف (جدول ۱) نیازمند مقدار پالایش بیشتری در مقایسه با سایر گونه‌ها بوده است (جدول ۴). در نتیجه، کاغذ تولیدی از صنوبر دارای کمترین مقدار مقاومت به پارگی در مقایسه با سایر گونه‌ها بوده است.

سپاسگزاری

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

منابع مورد استفاده

- Assareh, M., 2008. Message of Head of the Congress. In: Proceedings of the Second National Congress on Poplar and Potential Use in Poplar Plantation, 5-7 May, Tehran, Research Institute of Forests and Rangelands, 1: 13-14.
- Cobas, A.C., Felissia, F.E., Monteoliva, S.S. and Area, M.C., 2013. Optimization of the properties of Poplar and Willow chemimechanical pulps by a mixture design of juvenile and mature wood, *BioResources*. 8(2): 1646-1656.
- Gominho, J., Lourenco, A., Neiva, D., Fernandes, L., Emilia Amaral, M., Paula Duarte, A., Simoes, R. and Pereira, H., 2015. Variation of wood pulping and bleached pulp properties along the stem in mature *Eucalyptus globulus* trees, *BioResources*. 10(4): 7808-7816.
- Goli, M., Zabihzadeh, S.M., Asadpoor, Gh. and Barzan, A., 2016. The effect of mixing the forest and non-forest hardwood species on the chemimechanical pulp (CMP) properties (Case study: Mazandaran Wood and Paper Industry), *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 23 (2): 125-141.
- Goli, M., Asadpur, Gh., Mahdavi, S., and Barimani, A., 2016. Investigation on combining aspen wood with

نشان داد که افزایش نرمه‌های فیبری سبب افزایش مقاومت کششی ورقه شده است. از سوی دیگر، الیاف بید فوکا به دلیل دارا بودن بیشترین مقدار دانسیته و کمترین ضریب نرمش الیاف و نیز به علت دربرداشتن کمترین مقدار سلولز، بیشترین مقدار مواد استخراجی و مقدار لیگنین نسبتاً بالا (جدولهای ۱ و ۲) از ضربه‌پذیری کمتری نسبت به سایر گونه‌ها برخوردارند و نیازمند کمترین دور پالایش در دستیابی به درجه روانی مطلوب می‌باشند و مقدار نرمه فیبری نسبتاً بالایی (۹/۱۴٪) از آنها تولید می‌گردد (جدول ۴). در نتیجه، الیاف بید فوکا در مرحله پالایش به مقدار کمتری نسبت به الیاف سایر گونه‌ها دفیبریله می‌شوند که نتیجه آن تولید کاغذی با کمترین مقاومت کششی از این گونه بوده است. این نتایج با مشاهدات Soleimani و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت. در تحقیق یادشده کاغذ نمونه شاهد حاصل از الیاف دانسیته بالای ممرز و راش به علت قابلیت دفرمه و دفیبریله شدن کمتر در پالایش و تولید نرمه فیبری نسبتاً زیاد از مقاومت کششی کمتری نسبت به کاغذهای CMP حاوی الیاف منعطف‌تر و به‌خوبی دفیبریله‌شده توس برخوردار بوده‌اند.

بیشترین مقاومت به ترکیدن به کاغذ بیدمشک و کمترین مقدار آن به کاغذ صنوبر تعلق دارد (شکل ۲)؛ زیرا مقدار شایو در خمیر CMP بیدمشک بسیار ناچیز و در خمیرکاغذ صنوبر برابر با ۰/۰۴٪ بوده است. مقاومت با ترکیدن کاغذ با مقدار شایو آن رابطه عکس دارد؛ زیرا شایوها قدرت پیوندیابی کمتری نسبت به الیاف مجاور در ورقه به همراه دارند و سبب شکل‌گیری نقاط ضعیف در ورقه می‌شوند. از این رو، خمیرکاغذ صنوبر با بیشترین مقدار شایو دارای کمترین مقدار مقاومت به ترکیدن بوده است. علاوه بر این، الیاف بیدمشک احتمالاً از قابلیت کشسانی بیشتری نسبت به الیاف صنوبر در ورقه کاغذ برخوردارند و به سبب توزیع تنش بهتر در ورقه از مقاومت به ترکیدن کاغذ بالاتری نسبت به کاغذ صنوبر برخوردار است.

خمیرکاغذ بیدمشک دارای بیشترین و کاغذ صنوبر دارای کمترین مقاومت به پارگی بوده‌اند (شکل ۳). مقاومت به

- from CMP Pulp, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 22 (1), 29-40.
- Nazeri, A.M., Talaeepoor, M. and Mirshokraie, S.A., 2008. The Study of Fiber Fines and Its Effects on Mechanical Strength of Newsprint Paper from CMP Pulp, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 22 (2): 121-131.
- 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.
- Soleimani, A., Resalati, H. and Akbarpour, I., 2012. The effect of using Wite Birch on mechanical properties and fiber length distribution of mixed hardwood CMP pulp, Lignocellulose. 1(2): 89-91.
- Samaraha, A., Ebrahimpour Kasmani, J., Kiaei, M. and Khademi Shurmasti, D., 2011. Chemo-Mechanical Pulping (CMP) of Rapeseed Residues, World Applied Sciences Journal. 13 (5): 1000-1004.
- 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.
- Vaysi R., 2013. Investigation and comparison of newsprint properties from bamboo and reed CMP pulps, International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 6 (13): 944-948.
- Ververis, C., Georghiou, 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.
- Xia, X. and Gong, H., 2011. Effects of Refining on the fiber properties of poplar APMP, Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 5: 20-24.
- two native hardwoods species for Chemi-Mechanical pulping, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 30 (4): 662-673.
- Ghasemi, R. and Modirrahmati, A., 2004. Evaluation of different poplar timber production in Karaj Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 12 (2): 221-249.
- Hosseinzadeh, A., Gholamnejad M. and Veisy R., 2011. Effect of willow wood (salix alba) on some optical and mechanical properties of newsprint from a chemi/mechanical pulp (CMP) (Case study in Mazandaran Wood and Paper factory). Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources, 6(2): 89-103.
- Khanjani shiraz, B., Hemati, A., Pour Tahmasy, K. and Sardabi, H., 2014. Growth comparison of different poplar clones, planted on lowlands of west Guilan, Iranian Journal of Forest and Poplar Research. 21 (3): 557-572.
- Mohammadi Limaiei, S., Bahramabadi, Z., Rostami Shahraje, T., Adibnejad, M. and Mousavi Koupar, S.A., 2013. Determination of economically optimal rotation age of (Populus deltoides) in Guilan Province, Iranian Journal of Forest and Poplar Research. 21 (1): 63-75.
- Monteoliva, S., Area, M.C. and Felissia, F.E., 2007. CMP pulps of Willows for news print. I. Pulp evaluation, Cellulose Chem. Technol., 41 (4-6), 263-272.
- Nikkhah Dafchahi, M. and Resalati, H., 2015. The potential of acid pre-hydrolyzed Soda-AQ process to manufacture highly purified α -cellulose, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 30 (1): 269-279.
- Nazeri, A.M., Talaeepoor, M. and Mirshokraie, S.A., 2007. The Study of Fiber Fines and Its Effects On Optical and Physical Propertie of Newsprint Paper

Potential of CMP pulp production of Salix species in comparison to poplar wood

H. Resalati¹ and M. Nikkhah Dafchahi^{2*}

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: May, 2017

Accepted: Nov., 2017

Abstract

Due to shortage of harvestable forest wood in Iran, the potential of CMP pulp production from various species of salix (*S. alba*, *S. fragilis* and *S. aegyptica*), in comparison with *Populus deltoides*, was investigate. The cooking liquor of Mazandaran wood and paper Mill, consisting of 50:50 ratios of sodium sulfite and sodium bisulfite, and hydrogen peroxide, were used for chemical treatment and bleaching of the pulps, respectively. The results showed that the paper pulps of *Salix fragilis* and *Salix alba* had higher bulk and lower opacity than other species, respectively. The highest and lowest tensile strength of papers were related to *S. alba* and *S. fragilis* species, and, the highest and lowest burst and tear strength of papers have belonged to *Salix aegyptica* and *Populus deltoides* species, respectively. The data have shown that Salix species have a good potential to be used as raw material to produce CMP pulp at the cooking yield of 85%. According to the results of this research, *Salix alba* and are in first and the second priority to produce CMP pulp, at the cooking yield of 85%, respectively.

Key words: Salix, populus, CMP, bleaching, strength properties.