

بررسی خواص خمیر کاغذ تولید شده با روش حلال آلی الکل کاتالیز شده با نمک‌های کلسیم و منیزیم از جوان چوب افراپلت

چکیده

در این تحقیق، ساخت خمیر کاغذ از جوان چوب افرا پلت با استفاده از الکل و کاتالیزور با هدف بررسی خواص خمیر کاغذ و کاغذ حاصل بررسی شد. ویژگی‌های بیومتری (طول الیاف، قطر و ضخامت دیواره الیاف) و میزان ترکیبات شیمیایی جوان چوب افراپلت (سلولز، لیگنین، مواد استخراجی و خاکستر) تعیین شد. متغیرهای پخت شامل دمای پخت (۱۹۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان پخت (۴۰، ۶۰، ۸۰ دقیقه) بود که با مصرف ۲۸۰ میلی‌لیتر متانول، ۷۰ میلی‌لیتر آب، ۰/۰۲۵ مول کلرید کلسیم و ۰/۰۲۵ مول نیترات منیزیم در یک محفظه پخت تحت فشار و نسبت مایع پخت به چوب ۷ به ۱ انجام گرفت. بازده غربال خمیر کاغذهای حاصل (۵۴/۹٪ تا ۶۰/۹۱٪) و عدد کاپا (۱۵/۵ تا ۱۸/۴) تعیین شد. پس از پالایش خمیر کاغذها تا درجه روانی ۳۵۰ میلی‌لیتر در پالایشگر PFI، از هر نوع خمیر کاغذ تعداد ۱۰ برگ کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرم بر مترمربع تهیه شد. خواص مقاومتی کاغذهای دست‌ساز مانند طول پاره شدن (۳/۸۳ تا ۴/۲۵ کیلومتر)، شاخص مقاومت در برابر پاره شدن (۱۰/۲۲ تا ۱۲/۸۱ mN.m²/g) و شاخص مقاومت در برابر ترک‌شدن (۱/۷۱ تا ۲/۱۱ kPa.m²/g) اندازه‌گیری و با خواص مقاومتی خمیر کاغذ کرافت حاصل از جوان چوب افراپلت مقایسه شد.

واژگان کلیدی: پلت، جوان چوب، حلال آلی، خواص خمیر کاغذ و کاغذ، کاتالیزور.

رضا نقدی^{۱*}

الهام نادعلی^۲

حامد یونسی کردخیلی^۳

^۱ استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

^۲ دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

مسئول مکاتبات:

reza_naghdi@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۲۴

مقدمه

فرآیندهای حلال آلی از حلال‌های دارای نقطه جوش کم (مانند متانول، اتانول و استون که به‌آسانی به‌وسیله تقطیر قابل بازیابی هستند) و یا از حلال‌های دارای نقطه جوش بالا (مانند اتیلن گلیکول و اتانول آمین که در فشار کم به کار می‌رود) استفاده می‌نماید. با استفاده از این

فرآیندها خمیر کاغذهایی با بازده بالا، میزان لیگنین باقیمانده کم، درجه روشنی بالا و خواص مقاومتی خوب به دست می‌آید [۱، ۲]. علاوه بر این در این فرآیند، فرآورده‌های جانبی باارزشی مانند فورفورال، همی سلولز و لیگنین فاقد ترکیبات گوگردی بازیابی می‌شود که به خاطر خلوص بالا، وزن مولکولی پایین و بازیابی آسان

[۱۴، ۱۵]. افراپلت از جمله گونه‌های سریع‌الرشد و بومی کشور ایران است که در حدود هشت درصد از جنگل‌های شمال کشور را در بر می‌گیرد. افراپلت علاوه بر صناعی مانند مبل‌سازی و روکش، برای تولید خمیر کاغذ نیز استفاده می‌شود. کیفیت جوان‌چوب (به-خصوص در سوزنی‌برگان) پایین‌تر از چوب بالغ است [۱۶]. Newman و Deborah (۱۹۷۲) نشان دادند که جوان‌چوب در مقایسه با چوب بالغ میزان چوب‌پایان کمتر و در نتیجه وزن‌ویژه کمتری دارد. خمیر کاغذ تهیه‌شده از جوان‌چوب دارای مقاومت‌های کششی و ترکیدن بیش از چوب بالغ است اما مقاومت به پاره شدن آن از چوب بالغ کمتر است [۱۷]. از آنجاکه گونه‌های سریع‌الرشد مانند افراپلت دارای جوان‌چوب بیشتری هستند [۱۶] و در کارخانه‌های روکش‌گیری قسمت مغزی درختان (که بیشتر جوان‌چوب است) به علت نبود امکان روکش‌گیری به‌عنوان ضایعات به شمار می‌رود، و از طرفی تابه‌حال تحقیقی در زمینه خواص خمیر کاغذ و کاغذ حاصل از جوان‌چوب افراپلت با روش پخت حلال آلی با کاتالیزور انجام نشده است، این تحقیق با هدف بررسی خواص خمیر کاغذ و کاغذ حاصل از جوان‌چوب افراپلت با روش مذکور و در مرحله بعد، مقایسه خواص به‌دست‌آمده با خواص خمیر کاغذ و کاغذ حاصل از فرآیند کرافت انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد

سه اصله درخت از جنگل منطقه شصت کلاته (جنوب غربی گرگان) برای انجام نمونه‌برداری انتخاب شد. از هر درخت یک دیسک به ضخامت ۵ سانتی‌متر در ارتفاع برابر سینه جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و بیومتریکی و همچنین یک گرده‌بینه به طول ۸۰ سانتی‌متر از ارتفاع برابر سینه جهت انجام عملیات مربوط به تهیه خمیر کاغذ جدا شدند. مایع پخت حاوی متانول، کاتالیزورهای کلرید کلسیم و نیترات منیزیم و نسبت مایع پخت به خرده چوب ۷ به ۱ آماده شد (جدول ۱).

واکنش‌گرهای آلی، این فرآورده‌ها در تولید چسب‌های با پایه لیگنین و سایر فرآورده‌ها استفاده می‌شوند [۳، ۴، ۵]. در سال‌های اخیر تحقیقات در زمینه فرآیندهای خمیر کاغذسازی حلال آلی منجر به توسعه روش‌های متنوع و تولید خمیر کاغذ با خواص نزدیک به روش متداول کرافت شده است. معروف‌ترین روش‌های این فرآیند که از الکل برای خمیر کاغذسازی استفاده می‌کند عبارت‌اند از: فرآیند السل و فرآیند ام‌دی‌ارگانوسل [۶-۸]، فرآیند ارگانوسل [۷-۹]، فرآیند سولفیت‌قلیایی آنتراکینون-متانول [۷-۱۰] و فرآیند سولفیت‌قلیایی آنتراکینون-اتانول [۱۱]. سایر فرآیندهای مهم حلال آلی که از الکل برای خمیر کاغذسازی استفاده می‌کنند عبارت‌اند از: فرآیند قلیایی خنثی با فلزات خاکی که در این فرآیند به علت استفاده از کاتالیزورهایی مانند نمک‌های کلسیم و منیزیم از تخریب سلولز در اثر واکنش پوست‌کنی تا حدی جلوگیری شده و بازده سلولز افزایش می‌یابد [۱۲]. فرآیندهای خمیر کاغذسازی حلال آلی پیش از حل نمودن لیگنین، از طریق شکستن پیوندهای اتری موجود در لیگنین باعث لیگنین‌زدایی از خمیر کاغذ می‌شوند. در هنگام استفاده از الکل به‌عنوان مایع پخت به دمای پخت و فشار بالا و هنگام استفاده از اسیدهای آلی به دماهای پایین و فشار نزدیک به فشار جو نیاز است. با استفاده از کاتالیزور، بازده خمیر کاغذ ۱/۵ تا ۳ درصد کاهش می‌یابد، زیرا در این صورت، الکل دیگر نمی‌تواند از هیدرولیز و در نتیجه تخریب کربوهیدرات‌ها جلوگیری نماید [۳]. Kirci و Akgul (۲۰۰۹) مشاهده نمودند که دمای پخت و مقدار کاتالیزور تأثیر زیادی بر لیگنین‌زدایی دارد و هنگامی که از ۰/۰۲٪ کاتالیزور اسیدی استفاده نمودند، بازده و گرانیوی خمیر کاغذ به میزان زیادی کاهش یافت. ویژگی‌های بهینه خمیر کاغذ در شرایط دمای پخت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، زمان پخت ۹۰ دقیقه و میزان استفاده از اتانول ۵۰٪ به دست آمد که در این شرایط بازده خمیر کاغذ ۴۴،۵٪ و عدد کاپای خمیر کاغذ ۶۷ بود [۱۳]. از طرفی فرآیند حلال آلی به علت تولید فرآورده‌های جانبی قابل فروش و تولید لیگنین عاری از گوگرد (مناسب برای ساخت چسب‌های چوب و محصولات عایق)، فورفورال، قندهای چوب و سایر مواد شیمیایی و نیاز به منابع چوبی کمتر نسبت به فرآیند کرافت مزیت دارد

جدول ۱- فاکتورهای ثابت و متغیر پخته‌ای اصلی فرآیند حلال آلی با کاتالیزور

فاکتورهای ثابت پخت	فاکتورهای متغیر پخت
۱- مقدار مواد شیمیایی	۱- زمان پخت
۲۸۰ میلی‌لیتر متانول و ۷۰ میلی‌لیتر آب	۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه
۰/۰۲۵ مول کلرید کلسیم	۲- دمای پخت
۰/۰۲۵ مول نیترات منیزیم	۱۹۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد
۲-۱۰۰٪ جوان افراپلت	

استخراجی، سلولز، لیگنین و خاکستر مطابق با آیین‌نامه تاپی از قرار زیر انجام شد: میزان سلولز ۸۵-om T۲۳۶، میزان لیگنین ۹۸-om T۲۲۲، میزان مواد استخراجی ۸۸--om T۲۰۴ و میزان خاکستر ۸۵-om T۲۱۱.

اندازه‌گیری بازده غربال و عدد کاپای خمیر کاغذ

خرده‌چوب‌های مناسب (طول ۲ تا ۳ سانتی‌متر، عرض ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۳ تا ۰/۵ سانتی‌متر) انتخاب و درصد رطوبت آن‌ها اندازه‌گیری شد، پس از پایان پخت و شستشوی خرده‌چوب‌ها به‌منظور خروج مواد شیمیایی پخت، خرده‌چوب‌ها جهت جداسازی الیاف در سه مرحله از یک پالایشگر دیسکی آزمایشگاهی عبور داده شدند. سپس سوسپانسیون الیاف خروجی از دفیبراتور بر روی یک سری دوتایی غربال مجهز به توری با اندازه سوراخ ۱۴ مش در بالا و ۲۰۰ مش در پایین تخلیه‌شده و الیاف عبور کرده از غربال ۱۴ مش و باقیمانده بر روی غربال ۲۰۰ مش به عنوان خمیر کاغذ قابل قبول جمع‌آوری شدند و پس از تعیین رطوبت، بازده غربال و عدد کاپای هر نوع خمیر کاغذ با کدهای A, B, C, D, E, F در سه تکرار اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

برای پخت جوان‌چوب افراپلت از محفظه فولاد ضدزنگ تحت فشار دورانی با حجم ۴ لیتر استفاده شد و دمای پخت توسط داماسنج و ترموستات کنترل شد. برای پخت خمیر کاغذ در هر یک از محفظه‌های دیگ پخت ۵۰ گرم چوب بر مبنای وزن خشک ریخته و مایع پخت با توجه به منابع [۱۸] به نسبت ۷ به ۱ (۲۸۰ میلی‌لیتر متانول و ۷۰ میلی‌لیتر آب) به آن اضافه شد.

روش‌ها

روش تعیین مرز جوان‌چوبی و ویژگی‌های الیاف

برای تعیین سن جوان‌چوبی و مشخص نمودن حد جوان‌چوب از چوب‌بالغ، در هر دیسک میانگین طول الیاف در کلیه دوایر سالیانه درخت (۲۷ سال) محاسبه گشته و با رسم نمودار تغییرات طول الیاف از اولین حلقه سالیانه به آخرین حلقه، سن جوان‌چوبی مشخص شد. جداسازی الیاف به روش فرانکلین انجام شد و طول و قطر الیاف به‌وسیله یک میکروسکوپ مانیتورینگ اندازه‌گیری شد.

ترکیبات شیمیایی جوان‌چوب افراپلت

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی مانند مقدار مواد

جدول ۲- مشخصات پخت جوان چوب افراپلت با فرآیند حلال آلی با کاتالیزور

کد خمیر کاغذ	متغیرهای فرآوری شیمیایی (پخت)	
	زمان (دقیقه)	دما (°C)
A	۴۰	۱۹۰
B	۶۰	
C	۸۰	
D	۴۰	۲۰۰
E	۶۰	
F	۸۰	

کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شد و گروه بندی میانگین ها با استفاده از روش دانکن و نرم افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

روش تعیین مرز جوان چوبی و ویژگی های الیاف
با توجه به نمودارها و مقایسه میانگین تغییر طول الیاف در دیسک ها، سن جوان چوبی ۱۳ سال تعیین شد. ویژگی های بیومتریکی الیاف جوان چوب افراپلت مورد استفاده در جدول ۳ آمده است.

اندازه گیری خواص مقاومتی خمیر کاغذ

از الیاف قابل قبول برای بررسی خواص مقاومتی و فیزیکی خمیر کاغذ و کاغذ برابر آیین نامه تاپی [۱۹] از قرار زیر استفاده شد: ساخت کاغذ دست ساز ۰۱-sp-۲۲۲۰، پالایش خمیر کاغذ ۸۵-om-۲۲۴۸، اندازه گیری درجه روانی ۰۴-om-۲۲۲۷، عدد کاپا ۸۵-om-۲۲۳۶، تعیین وزن پایه کاغذ ۰۲-om-۲۴۱۰، مقاومت در برابر ترکیدن ۰۲-om-۲۴۰۳، مقاومت در برابر پاره شدن ۰۴-om-۲۴۱۴، مقاومت کششی ۰۱-om-۲۴۹۴، سفتی یا زبری ۰۹۲-om-۲۴۰۴، مقاومت در برابر عبور هوا ۸۵-om-۲۲۵۱. داده های این تحقیق با آزمون فاکتوریل در قالب بلوک های

جدول ۳- ویژگی های بیومتریکی الیاف جوان چوب افراپلت منطقه شصت کلاته گرگان

ویژگی های الیاف	میانگین (میکرون)
طول	۸۷۱/۸۸
قطر	۲۲/۳۵
قطر حفره سلولی	۲۰/۱۲
ضخامت دیواره سلولی	۱/۹۹

جدول ۴ آمده است.

ترکیبات شیمیایی جوان چوب افراپلت

میانگین ترکیبات شیمیایی جوان چوب افراپلت در

جدول ۴- میانگین درصد ترکیبات شیمیایی جوان چوب افراپلت

ترکیبات شیمیایی	درصد به نسبت وزن چوب خشک در اتو
سلولز	۴۶/۷۷
لیگنین	۳۰/۷۷
مواد استخراجی	۳/۳۳
خاکستر	۰/۴۳۹

جدول ۵- مشخصات پخت جوان چوب افراپلت با فرآیند حلال آلی با کاتالیزور

عدد کاپا	بازده غربال (%)	وازده (%)	کد خمیر کاغذ	متغیرهای فرآوری شیمیایی (پخت)	
				دما (°C)	زمان (دقیقه)
۱۸/۴۰	۶۰/۹۱	۳/۳۵	A	۴۰	۱۹۰
۱۸/۱۰	۵۹/۹۹	۳/۳۰	B	۶۰	
۱۷/۱۰	۵۹/۱۶	۳/۰۵	C	۸۰	
۱۶/۴۰	۵۹/۰۴	۲/۴۰	D	۴۰	۲۰۰
۱۶	۵۸/۰۵	۲/۶۵	E	۶۰	
۱۵/۵۰	۵۴/۹۰	۲/۲۵	F	۸۰	

میزان بازده و عدد کاپا خمیر کاغذ

میزان بازده غربال و عدد کاپای هر نوع خمیر کاغذ A، B، C، D، E، F در جدول ۵ آمده است.

اندازه‌گیری بازده غربال و عدد کاپا در خمیر کاغذ نشان داد که در شرایط ملایم‌تر پخت (۴۰ دقیقه و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد)، بازده غربال و عدد کاپای خمیر کاغذ در حدّ بیشینه و به ترتیب برابر با ۶۰/۹۱٪ و ۱۸/۴۰ بود. همچنین در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پخت ۸۰ دقیقه (شدیدترین شرایط پخت از نظر دما و زمان)، بازده غربال و عدد کاپای خمیر کاغذ در حدّ کمینه خود و به ترتیب برابر با ۵۴/۹٪ و ۱۵/۵۰ بود. علت کاهش اندک عدد کاپا در مقایسه با بازده غربال احتمالاً رسوب دوباره لیگنین در شرایط شدید پخت بر روی الیاف است [۲۰-۲۲]. Yongjian و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که با کاهش غلظت اتانول در هنگام فرآوری شیمیایی یا کاهش دما و نیز در شرایط شدید پخت از نظر دما و زمان پخت، لیگنین دوباره بر روی الیاف رسوب می‌نماید و در نتیجه عدد کاپای نسبتاً بالای خمیر کاغذ حاصل از پخت با اتانول به علت رسوب لیگنین محلول بر روی الیاف است [۲۳]. نقدی و همکاران (۲۰۰۸) با انجام تحقیقی بر روی ویژگی‌های خمیر کاغذ حاصل از جوان‌چوب افراپلت به روش کرافت از جوان‌چوب افراپلت منطقه شصت کلاته گرگان، میزان بازده غربال و عدد کاپای خمیر کاغذ حاصل را به ترتیب ۴۵/۴۷٪ و ۲۵/۷۰ اعلام نمودند [۲۴]. Gilarrhaz و همکاران (۱۹۹۸) به این نتیجه رسیدند که با پخت خمیر کاغذ با روش السل (در شرایط دمای پخت ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۱۰ دقیقه و استفاده از

اتانول ۵۰٪) می‌توان خمیر کاغذی با بازده بالای غربال ۵۶٪، عدد کاپای قابل قبول ۲۳ و گرانروی ۱۰۳۰ میلی‌لیتر در گرم تولید نمود [۲۵]. ضیایی و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر دمای پخت (۱۹۰ تا ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد)، زمان پخت (۱۲۰ تا ۱۸۰ دقیقه)، و نسبت استفاده از حلال آلی دی‌متیل فرمامید (۳۰ تا ۷۰٪) را بر ویژگی‌های خمیر کاغذ حاصل از ساقه گندم مورد بررسی قرار داده و اعلام کردند که برای داشتن بازده و گرانروی زیاد لازم است دما و زمان پخت کم و نسبت استفاده از دی‌متیل فرمامید بالا باشد. همچنین خمیر کاغذهایی که دارای ویژگی‌های مقاومتی بالا بودند در دمای ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد، زمان پخت ۱۵۰ دقیقه و نسبت استفاده از حلال آلی ۵۰٪ به دست آمد و معلوم شد که تأثیر دمای پخت بر ویژگی‌های مقاومتی بیش از سایر متغیرهاست. مقایسه خمیر حاصل از روش کرافت و حلال آلی نشان داد که دی‌متیل فرمامید به طور معنی‌داری باعث کاهش تخریب سلولز می‌شود که گرانروی بالای خمیر کاغذ در عدد کاپای برابر مؤید این مطلب است و نقش حفاظتی حلال آلی در جلوگیری از تخریب پلی‌ساکاریدهای غیر سلولزی و حفظ بیشتر همی‌سلولزها به‌عنوان علت اصلی بازده نسبتاً بالای خمیر کاغذهای حاصل از فرآیند حلال آلی در مقایسه با کرافت عنوان شد [۱۵]. Pazner و Behera (۱۹۹۵) گزارش کردند که نمک‌های فلزات قلیایی مانند کلرید سدیم و منیزیم کاتالیزورهای مؤثری برای افزایش لیگنین‌زدایی فرآیند پخت حلال آلی (با غلظت بالای متانول و اتانول) کاه گندم و سوزنی‌برگان هستند، بازده خمیر کاغذ رنگبری شده برای سوزنی‌برگان ۵۴ تا ۵۷

و پیوندیابی آن‌ها با هم کاهش پیدا می‌کند [۲۰-۲۲]، احتمالاً به همین علت، خواص مقاومتی خمیر کاغذ حلال آلی با کاتالیزور کد F (شدیدترین شرایط پخت از نظر دما و زمان) کمتر از خواص مقاومتی خمیر کد C (دما و زمان کمتر) است (جدول ۵). افزایش واکنش‌های هیدرولیزی در محیط‌های اسیدی و همچنین بروز واکنش‌های هیدرولیز گرمایی (به علت کاهش شدید گرانیوی خمیر و درجه پلیمریزاسیون سلولز)، خواص مقاومتی خمیر کاغذ حلال آلی را (در مقایسه با خمیر کاغذ کرافت) به طور غیرطبیعی کاهش می‌دهد [۲۷]. نقدی و همکاران (۲۰۰۸) با انجام تحقیقی بر روی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ حاصل از جوان‌چوب افراپلت با فرآیند کرافت در دمای پخت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۲۰ دقیقه، درجه روانی اولیه ۴۲۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی و ثانویه ۳۵۰، بازده غربال ۴۵/۴۷٪، وازده ۳/۵٪ و عدد کاپا ۲۵/۷۰، گزارش نمودند که خواص مقاومتی خمیر کاغذهای حاصل از فرآیند کرافت از قرار اشاره‌شده در جدول ۵ است [۲۴]. صابری‌خواه (۲۰۱۱) اعلام کرد که با وجود مقاومت‌های کمتر خمیر کاغذ حلال آلی در مقایسه با کرافت، با استفاده از گلیسرول می‌توان مقاومت‌های خمیر کاغذ حلال آلی و حتی بازده را افزایش داد [۲۸]. خواص مقاومتی کاغذهای ساخته شده با حداقل مجاز این مقاومت‌ها در استانداردهای هند و ژاپن (استانداردهای بین‌المللی معتبر به خصوص در سطح آسیا) مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۷). همان‌طور که مشاهده می‌شود با این‌که طول پاره شدن کاغذ حاصل از جوان‌چوب افراپلت با فرآیند پخت حلال آلی با کاتالیزور اندکی کمتر از حداقل مجاز آن در استانداردهای هند [۲۹] و ژاپن [۳۰] است، شاخص مقاومت در برابر پارگی و ترکیدن کاغذهای ساخته شده بالاتر از کمینه مجاز این مقاومت‌ها در استانداردهای مورد اشاره هستند.

درصد و برای پهن‌برگان ۵۷ تا ۶۲ درصد و برای باگاس ۵۵ درصد بود و خواص مقاومتی این خمیر کاغذ با خمیر کاغذهای مشابه رنگ‌بری شده کرافت برابر اعلام شد [۲۶]. تحلیل آماری نتایج نشان می‌دهد که تأثیر مستقل زمان پخت و دمای پخت بر بازده غربال و عدد کاپا در سطح اعتماد ۹۹٪ معنی‌دار است. تأثیر توأم دو عامل مورد بررسی بر بازده غربال خمیر کاغذ در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی‌دار است. درحالی‌که تأثیر متقابل دما و زمان پخت بر عدد کاپای خمیر کاغذ معنی‌دار نشد.

خواص مقاومتی خمیر کاغذ

خمیر کاغذهای C و F (جدول ۵) جهت ساخت کاغذهای دست‌ساز و بررسی ویژگی‌های مقاومتی انتخاب شدند. مبنای انتخاب خمیر کاغذ، عدد کاپای کمتر خمیر کاغذ در هر یک از دماهای ۱۹۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد بود. پس از پالایش خمیر کاغذها با دستگاه PFI آزمایشگاهی درجه روانی از ۴۰۵ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی به ۳۵۰ کاهش یافت و از هر نوع خمیر کاغذ تعداد ۱۰ برگ کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرمی ساخته و خواص مقاومتی اندازه‌گیری شد. این خواص شامل شاخص مقاومت در برابر پارگی، شاخص مقاومت در برابر ترکیدن، طول پاره شدن، مقاومت به تا شدن، مقاومت کششی، سفتی (زبری) و مقاومت در برابر عبور هوا (جدول ۶) است. شاخص مقاومت در برابر پارگی (حداقل ۱۰/۰۲ و حداکثر ۱۲/۵۶ (mN.m²)/g)، شاخص مقاومت در برابر ترکیدن (حداقل ۱/۷۴ و حداکثر ۲/۱۵ (kPa.m²)/g)، طول پاره شدن (حداقل ۳/۸۳ و حداکثر ۴/۲۵ km) و سایر خواص مقاومتی مانند مقاومتی کششی (حداقل ۲/۰۳ و حداکثر ۲/۶۳ kN/m)، مقاومت به تا شدن (حداقل ۱۳/۷ و حداکثر ۲۰)، سفتی (حداقل ۲۵/۶۶ و حداکثر ۳۱/۱۳ kN/m) و مقاومت در برابر عبور هوا (حداقل ۱۸ و حداکثر ۱۸/۳۳ (cm³)/(s.cm²)) اندازه‌گیری شد. Long-Chen و همکاران (۲۰۱۲)، Atik (۲۰۰۲)، Copur و همکاران (۲۰۰۷) اعلام نمودند که افزایش زمان پخت تأثیر مثبتی بر لیگنین‌زدایی دارد اما در فرآیند حلال آلی، اگر زمان پخت طولانی باشد واکنش‌های لیگنین‌زدایی کند شده و احتمال بروز واکنش‌های تراکمی لیگنین و رسوب آن بر روی الیاف وجود دارد، در نتیجه انعطاف‌پذیری الیاف

جدول ۶- خواص مقاومتی کاغذهای حلال آلی با کاتالیزور از جوان چوب افرایلت (خمیر کاغذهای C و F) و مقایسه آن با روش کرافت

مقاومت در برابر عبور هوا (cm ³ /s.cm ²)	مقاومت به تا شدن (تعداد)	سفتی (kN/m)	مقاومت کششی (kN/m)	طول پاره شدن (km)	شاخص مقاومت در برابر ترکیب (kPa/m ² /g)	شاخص مقاومت در برابر پارگی (mNm ² /g)	نوع خمیر کاغذ
۳۲	۵۱/۳۳	۴۴/۵۰	۳/۷۰	۵/۶۲	۳/۳۸	۱۶/۵۸	کرافت
۱۸/۳۳	۲۰	۳۱/۱۳	۲/۶۳	۴/۲۵	۲/۱۵	۱۲/۵۶	حلال آلی C
۱۸	۱۳/۷	۲۵/۶۶	۲/۰۳	۳/۸۳	۱/۷۴	۱۰/۰۲	حلال آلی F

جدول ۷- مقایسه مقاومت‌های کاغذهای ساخته شده از جوان چوب افرایلت به روش حلال آلی با کاتالیزور (خمیر کاغذهای C و F) و کرافت با حداقل مقاومت‌های مجاز در استانداردهای بین‌المللی هند و ژاپن [۲۹، ۳۰].

طول پاره شدن (km)	شاخص مقاومت در برابر ترکیب (kPa/m ² /g)	شاخص مقاومت در برابر پارگی (mNm ² /g)	نام استاندارد	نوع کاغذ
۵/۶۲	۳/۳۸	۱۶/۵۸	-	خمیر کاغذ کرافت
۴/۲۵	۲/۱۵	۱۲/۵۶	-	خمیر کاغذ حلال آلی C
۳/۸۳	۱/۷۴	۱۰/۰۲	-	خمیر کاغذ حلال آلی F
۴/۷۶	-	۹/۸۳	JIS	کاغذ چاپ و تحریر
۴/۴۸	۱/۹۵	۶/۸۵	IS	کاغذ بسته‌بندی قابل چاپ

حداقل‌های مجاز است (جدول ۶).

این خمیر کاغذ را می‌توان با استفاده از فرآیند کاملاً عاری از کلر رنگ‌بری نمود. در این صورت می‌توان با استفاده از گونه‌های سریع‌الرشد و نیز ضایعات صنعت روکش، ضمن تولید محصول دارای ارزش افزوده و به حداقل رساندن آلودگی‌های زیست‌محیطی، به استقرار واحدهای صنعتی در مقیاسی کوچک‌تر کمک نمود. پیشنهاد می‌شود تحقیقاتی با استفاده از سایر روش‌های حلال آلی جهت تولید خمیر کاغذ از جوان چوب سایر گونه‌های سریع‌الرشد (مانند پالونیا) و نیز اختلاط این خمیر با خمیر الیاف بلند وارداتی به منظور جلوگیری از افت مقاومت‌ها انجام شود و خواص فیزیکی و مقاومتی کاغذهای حاصل مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به سریع‌الرشد بودن و در نتیجه داشتن جوان‌چوب بیشتر گونه افرایلت و این مطلب که قسمت مغزی درختان در صنعت روکش‌گیری به عنوان ضایعات محسوب می‌شود، این تحقیق با هدف استفاده از این ضایعات و بررسی اثر دو عامل زمان و دمای پخت بر شاخص‌های مقاومت خمیر کاغذ و کاغذ حاصل از جوان چوب افرایلت با استفاده از روش پخت حلال آلی با کاتالیزور (که دارای مزایای متعددی نسبت به روش متداول کرافت است) انجام شد. نتایج نشان داد که با این روش می‌توان خمیر کاغذی تهیه نمود که در درجه روانی برابر (۳۵۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی)، نه تنها بازده غربال بالاتر و عدد کاپای کمتری در مقایسه با روش کرافت دارد، بلکه از نظر خواص مقاومتی هم دارای

مراجع

- [1] Shatalov, A.A. and Pereira, H., 2004. Arundo donax L. reed: new perspectives for pulping and bleaching. Part 3. Ethanol reinforced alkaline pulping. Tappi Journal, 3(2): 27-31.

- [2] Yawalata, D. and Paszner, L., 2004. Anionic effect in high concentration alcohol ganosolv pulping. *Holzforschung*, 58(1): 1–6.
- [3] Mcdonough, T.J., 1993. Chemistry of organosolv. *Tappi Journal*, 76(8): 186–193.
- [4] Dapía, S., Santos, V. and Parajó, J.C., 2002. Study of formic acid as an agent for biomass fractionation. *Biomass Bioenergy*, 22(2): 213–221.
- [5] Pan, X., Arato, C., Gilkes, N., Gregg, D., Mabee, W., Pye, K., Xiao, Z., Zhang, X. and Saddler, J., 2005. Biorefining of softwoods using ethanol organosolv pulping: preliminary evaluation of process streams for manufacture of fuelgrade ethanol and co-products. *Biotechnology and Bioengineering*, 90(4): 473–481.
- [6] Aziz, S. and Sarkanen, K., 1989. Organosolv pulping: A review. *Tappi Journal*, 72(3):169- 175.
- [7] Lönnberg, B., Laxen, T. and Sjöholm, R., 1987. Chemical pulping of softwood chips by alcohols. *Paperi ja Puu.*, 69(8): 757-762.
- [8] Stockburger, P., 1993. An overview of nearcommercial and commercial solvent based pulping process. *Tappi Journal*, 76(6): 71-74.
- [9] Dahlmann, G. and and Schroeter, M.C., 1990. The organocell process: Pulping with environment in mind. *Tappi Journal*, 73(4): 237-240.
- [10] Black, N.P., 1991. ASAM alkaline sulfite pulping process shows potential for large-scale application. *Tappi Journal*, 74(4): 87-93.
- [11] Kirci, H., Bostanci, S. and Yalinkilic, M.K., 1994. A new modified pulping process alternative to sulfate method alkalinesulfite- antraquinone-ethanol (ASAE). *Wood Science and Technology*, 28(2): 89-99.
- [12] Paszner, L. and Cho, H.J., 1989. Organosolv pulping; Acidic Catalysis options and their effect on fiber quality and delignification. *Tappi Journal*, 2(2): 135-142.
- [13] Akgul, M. and Kirci, H., 2009. An environmentally friendly organosolv (ethanol-water) pulping of poplar wood. *Environmental biology academy of Environmental biology India*, 30(5): 735-740.
- [14] Lora, J.H. and Aziz, S., 1985. Organosolv pulping: a versatile approach to wood refining. *Tappi Journal*, 68(8): 94-101.
- [15] Ziaie-Shirkolaei, Y., Mohammadi-Roshandeh, J., Rezayati-Charani, P. and Khajeheian, M.B., 2008. Influence of dimethyl formamide pulping of wheat straw on cellulose degradation and comparison with kraft process. *Bioresource Technology*, 99(9): 3568-3578.
- [16] Dadswell, R., 1985. Variation of juvenile and mature woods. *Wood and Fiber Science*, 16(1): 111-117.
- [17] Newman, A. and Deborah, C., 1972. Biometric differences of softwoods. *Lzforschung*, 28(2): 18-24.
- [18] Paszner, L., 1998. Catalysed alcohol organosolv pulping. In: *Environmental Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry*. Young, R.A. and Akhtar, H., John Wiley & Sons Inc., NY, p. 69-100.
- [19] *Tappi Standard Test Methods*, Tappi Press, Atlanta, Ga, USA., 2009.

- [20] Chen-Lung, H., Keng-Tung, W., Eugene, W. and Yu-Chang, S., 2012. Kinetic study of carbohydrate dissolution during tetrahydrofurfuryl alcohol/HCL pulping of rice straw. *BioResources*, 7(4), 5719-5736.
- [21] Atik, C., 2002. Soda-AQ pulping of okra stalks. *Cellulose Chemistry and Technology*, 3(4): 353-356.
- [22] Copur, Y., Tozluoglu A. and Karademir, A., 2007. Pulping of licorice: An alternative raw material to produce pulp. *Cellulose Chemistry and Technology*, 41(2-3): 155-159.
- [23] Yongjian, X., Kecheng, L. and Meiyun, Z., 2007. Lignin precipitation on the pulp fibers in the ethanol-based organosolv pulping. *Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects*, 301(1-3):255-263.
- [24] Naghdi, R., Hosseini, S.Z. and Resalati, H., 2008. Evaluation of paper properties obtained from maple juvenile wood through Kraft pulping process. *Iranian Journal of Natural Resources*, 60(4): 1465-1472.
- [25] Gilarrhaz, M.A., Oliet, M., Rodriguez, F. and Tijero, J., 1998. Ethanol-water pulping: Cooking variables optimization. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 76(2): 253-260.
- [26] Pazner, L. and Behera, N.C., 1995. Beating behavior and sheet strength development of coniferous organosolv fibers. *Holzforschung*, 39(1): 51-61.
- [27] Sahin, H.T. and Young, R.A., 2008. Autocatalyzed acetic acid pulping of jute. *Industrial Crops and Products*, 28(1): 24-28.
- [28] Saberikhah, E., Mohammadi-Roshandeh, J. and Rezayati-Charani, P., 2011. Organosolv pulping of wheat straw by glycerol. *Cellulose Chemistry and Technology*, 45(1-2): 67-75.
- [29] Indian Standard, Kraft paper specification, ISP 2805., 1991.
- [30] Japanese International Standard, Kraft papers, JIS p 3401., 1992.

Evaluation of pulp and paper properties obtained from maple juvenile wood through organosolve alcoholol method catalyzed by calcium and magnesium salt

Abstract

The properties of catalyzed organosolv pulp obtained from maple juvenile wood were studied. The physical properties of fiber (e.g. length, width, and cell membrane thickness) and chemical composition of maple juvenile wood (e.g. average cellulose, lignin, extractives, and ash content) were determined. The variables were cooking temperature (190 and 200 °C) and time (40, 60, and 80 minutes). Chemical charge (280 ml methanol, 70 ml water, and 0.025 mols of Calcium Chloride and Magnesium Nitrate) was kept constant. Pulp screen yields (54.9 to 60.91%) and Kappa No. (15.5 to 18.4) were measured. Pulp freeness was reduced to 350 ml CSF in PFI mill, and ten 60 g/m² handsheets were made from the selected pulps. The strength properties of catalyzed organosolv handsheets including tear length (3.83 to 4.25 km), tear index (10.22 to 12.81 mN.m²/g), and burst index (1.74 to 2.15 kPa.m²/g) were compared with those of the conventional Kraft handsheets of maple juvenile wood. The least allowed values of the mentioned properties in the Indian (IS) and Japanese international standards (JIS) reveal that while the tear length value is slightly below that of the standards, the values of tear and burst indices are well beyond the given standards, and the environmentally-friendly catalyzed organosolv pulping process (higher yield and lower Kappa No. compared to Kraft) can be recommended to produce paper pulp from maple juvenile wood.

Keywords: Maple, Juvenile wood, Organosolv, Pulp and Paper Properties, Catalyzer.

R. Naghdi^{1*}

E. Nadali²

H. Younesi-Kordkheili³

^{1,3} Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Semnan University, Semnan, Iran

² Ph.D. Candidate, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Alborz, Iran

Corresponding author:
reza_naghdi@semnan.ac.ir

Received: 2015/01/13

Accepted: 2015/06/14