

بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های خمیر کاغذهای مونواتانول آمین و سودا به همراه افزودنی آنتراکینون از چوب افرا پلت

سیما حشمتی^۱، سحاب حجازی^{۲*}، یحیی همزه^۳، سیاوش حشمتی^۴

۱. کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۲. دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳. استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۴. دانشجوی دکتری زراعت گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۶

چکیده

یکی از راهکارهای مهم تأمین ماده خام لیگنوسولوزی صنایع سلولزی کشور، توسعه زراعت چوب در نقاط مستعد ایران است. در میان گونه‌های بومی جنگل‌های شمال کشور، پلت با توجه به تطابق اکولوژیکی و تندرشد بودن می‌تواند در کنار دیگر گونه‌های تندرشد به‌عنوان یک گونه مستعد در زراعت چوب مدنظر قرار گیرد. این تحقیق با هدف بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذهای ساخته شده از گونه افرا پلت با استفاده از فرایندهای مونواتانول آمین، مونواتانول آمین/آنتراکینون، سودا و سودا/آنتراکینون و ارزیابی ویژگی‌های آنها انجام گرفت. عوامل متغیر پخت در فرایند مونواتانول آمین شامل سه سطح غلظت مونواتانول آمین (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) و همچنین در فرایند سودا سه سطح قلیابیت (۲۲، ۲۴ و ۲۶ درصد) در سه سطح زمان (۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۰۰ دقیقه) و دو سطح آنتراکینون (۰ و ۰/۱ درصد) استفاده شدند. پخت‌های بهینه فرایندهای مونواتانول آمین/آنتراکینون، سودا/آنتراکینون و سودا به بازده کل ۶۷/۹۳، ۵۰/۹۷ و ۵۲/۳۶ درصد و عدد کاپای ۲۷/۷، ۱۹/۱ و ۲۹/۲۳ منجر شدند. در خمیر کاغذهای بهینه، بیشترین شاخص کشش (۶۱/۳۶ Nm/g)، شاخص ترکیدن (۳/۳۴۱ kPam²/g)، شاخص پارگی (۶/۳۸۲ mN.m²/g) و درجه روشنی (۲۰/۸۱ درصد)، به ترتیب مربوط به خمیر کاغذ سودا، مونواتانول آمین/آنتراکینون و سوداست. براساس نتایج این تحقیق فرایند خمیر کاغذسازی سودا اثرهای چشمگیری بر مقاومت کششی، پارگی و درجه روشنی نمونه چوب پلت در مقایسه با فرایند مونواتانول آمین داشته است. فرایند مونواتانول آمین به دلیل مصرف انرژی زیاد و زمان بیشتر برای لیگنین زدایی از خمیر کاغذها برای منابع چوبی قابل استفاده نیست.

واژه‌های کلیدی: آنتراکینون، چوب افرا پلت، خمیر کاغذ، سودا، مونواتانول آمین.

مقدمه

منابع لیگنوسولوزی غیر چوبی و الیاف بازیافتی اند. ۹۰-۹۲ درصد مواد اولیه بکر برای تولید خمیر کاغذ، همچنان سوزنی‌برگان و پهن‌برگان هستند [۱]. با توجه به مساحت اندک جنگل‌های پهن‌برگ کشور و این نکته که همه این عرصه‌های جنگلی تجاری نیستند، یکی از راه‌های مهم تأمین ماده خام لیگنوسولوزی صنایع سلولزی کشور، توسعه زراعت چوب در نقاط مستعد ایران است. استفاده از گونه‌های بومی

مصرف جهانی کاغذ و مقوا به دلیل رشد جمعیت، افزایش آگاهی عمومی، گسترش ارتباطات و صنعتی شدن کشورهای در حال توسعه، پیوسته در حال افزایش است. مهم‌ترین مواد اولیه برای ساخت کاغذ و مقوا در مقیاس جهانی چوب،

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴

مونواتانول‌آمین، حفظ همی سلولزها در حد چشمگیر است که به بازده زیاد خمیر کاغذ منجر می‌شود. بررسی‌های بسیاری درباره استفاده از مونواتانول‌آمین برای خمیر کاغذسازی از پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی صورت گرفته است. حجازی و همکاران [۶]، مقایسه‌ای بین فرایندهای سودا و سودا/آنتراکینون با مونواتانول‌آمین از کاه گندم را ارائه کردند. پخت مونواتانول‌آمین، به مقدار بازده کل ۵۶/۸ درصد، بازده بعد از غربال ۵۴ درصد، عدد کاپای ۱۷/۱ و گرانیروی ۹۹۱ میلی‌لیتر بر گرم منجر شده است که در مقایسه با پخت بهینه سودا در عدد کاپای تقریباً برابر، مقدار بازده کل و بازده بعد از غربال آن ۸ درصد و مقدار گرانیروی آن ۱۱/۵ درصد بیشتر بوده است. شیرعلیزاده و همکاران [۷]، ویژگی‌های خمیر کاغذ تولیدشده از کلش برنج به وسیله فرایندهای ترکیبی مونواتانول‌آمین و هیدروکسید پتاسیم را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که خمیر کاغذ انتخابی برای تولید کاغذ حاصل از فرایند مونواتانول‌آمین (۱۵ درصد)، دارای بیشترین عدد کاپا (۳۶/۹۹) و بیشترین بازده بعد از غربال (۵۷/۹۵) است. استفاده از هیدروکسید پتاسیم به‌عنوان عامل افزودنی در پخت‌های مونواتانول‌آمین به مقدار ۵ درصد، سبب کاهش شدید عدد کاپا (۱۵/۴) در بازده بعد از غربال ۵۴/۷ درصد شد. قهرمانی و همکاران [۸]، در تحقیقی فرایند مونواتانول‌آمین/آنتراکینون را برای خمیر کاغذسازی از گیاه کنف بررسی کردند. شرایط بهینه پخت، مقدار استفاده از مونواتانول‌آمین ۷۵ درصد، درجه حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۹۰ دقیقه، آنتراکینون ۰/۱ درصد و نسبت مایع پخت به کنف ۴ به ۱ تعیین شد. تحت این شرایط خمیر کاغذ با بازده ۵۵/۱ درصد و عدد کاپای ۱۹/۸ تولید می‌شود. شاخص کشش خمیر کاغذ پالایش نشده $19/8 \text{ Nm/g}$ ، شاخص پارگی $5/9 \text{ mNm}^2/\text{g}$ و شاخص مقاومت در برابر ترکیدن $1/43 \text{ kPa.m}^2/\text{g}$ به دست آمد. در تحقیق روی ساقه سویا، علیزاده و همکاران [۹] به این نتیجه رسیدند که افزودن آنتراکینون به مایع پخت سودا اثری بسیار چشمگیر بر

در جنگلکاری‌ها، به‌ویژه در جنگل‌های شمال ایران، یکی از راهکارهای مهم خروج از بحران کاهش سطح جنگل‌هاست. پلت یکی از گونه‌های بومی است که در اغلب جنگلکاری‌ها به‌طور تک‌کشت یا در ترکیب با دیگر گونه‌های بومی کاشته می‌شود [۲]. فرایند کرافت متداول‌ترین روش شیمیایی تولید خمیر کاغذ است که علت کاربرد آن، مقاومت زیاد خمیر کاغذ تولیدی و سیستم مؤثر بازیابی مواد شیمیایی است [۳]؛ اما در بین فرایندهای خمیر کاغذسازی، حداکثر آلودگی‌های محیط زیستی نیز از کارخانه‌های خمیر کاغذ کرافت ناشی می‌شود [۴]. با این حال تعداد زیادی فرایند جایگزین و عاری از گوگرد مانند فرایندهای سودا و سودا/آنتراکینون نیز توسعه یافته‌اند. پخت سودا/آنتراکینون، نوعی فرایند شیمیایی اصلاح‌شده برای تولید خمیر کاغذ از چوب به‌همراه هیدروکسید سدیم به‌عنوان عامل شیمیایی پخت و آنتراکینون به‌عنوان افزودنی پخت است که تخریب کربوهیدرات‌ها را کاهش و سرعت و مقدار لیگنین‌زدایی را افزایش می‌دهد. علاوه بر فرایند سودا/آنتراکینون، فرایندهای حلال آلی مختلفی نیز به‌عنوان روش‌های جایگزین فرایند کرافت معرفی شده‌اند [۵]. فرایندهای حلال آلی متنوعی نظیر Alcell, NAEM, Acetocell, Acetosolv, Ester, Formacell, Organocell و Milox در گونه‌های چوبی و غیرچوبی مختلفی آزمایش شدند. مونواتانول‌آمین (MEA^1) به‌عنوان نوعی حلال آلی می‌تواند به‌عنوان یکی از مشتقات آمونیاک که در آن اتم هیدروژن با یک گروه اتیل‌الکل جایگزین شده است یا به‌صورت فرآورده افزایشی آمونیاک به اکسید اتیلن در نظر گرفته شود. برای بهبود لیگنین‌زدایی، مونواتانول‌آمین (MEA) می‌تواند به‌تنهایی، به‌عنوان افزودنی به مایع پخت یا به‌صورت یک مرحله جداگانه و به‌عنوان پیش‌ تیمار در فرایندهای متداول خمیر کاغذسازی یا به‌صورت مخلوط با مواد شیمیایی به غیر از مواد شیمیایی متداول خمیر کاغذسازی استفاده شود. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خمیر کاغذسازی

مجتمع پتروشیمی شازند اراک و هیدروکسید سدیم از شرکت مرک تهیه شد.

تعیین ابعاد الیاف

اندازه‌گیری ابعاد الیاف شامل طول، قطر کلی الیاف، قطر حفره سلول و ضخامت دیواره سلولی ۲۰ رشته فیبر در این آزمایش بررسی و میانگین آنها محاسبه شد. سپس با توجه به نتایج اندازه‌گیری ابعاد الیاف، ضرایب بیومتریک آنها بررسی شد.

تعیین ترکیبات شیمیایی

برای اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی از دستورهای آیین‌نامه TAPPI به این شرح استفاده شد: تهیه آرد چوب ۰۲- ۲۵۷ cm T، مواد استخراجی محلول در حلال آلی استون ۰۷- ۲۰۴ cm T، مواد استخراجی محلول در آب داغ ۰۸- ۲۰۷ cm T، مقدار لیگنین ۰۶- ۲۲۲ om T و مقدار خاکستر ۱۲- ۲۱۱ om T. همچنین اندازه‌گیری مقدار سلولز براساس روش اسید نیتریک انجام گرفت.

تهیه خمیر کاغذ

شرایط پخت با توجه به جدول ۱ تعیین شد. در این بررسی نسبت مایع پخت به وزن خرده‌چوب‌ها (L/W) در فرایندهای خمیر کاغذسازی استفاده شده، ۴ به ۱ در نظر گرفته شد.

کاهش عدد کاپای خمیر کاغذ دارد. براساس این تحقیق، فرایند مونواتانول آمین موفق شد خمیر کاغذ با عدد کاپای ۲۰ مشابه خمیر کاغذ سودا/آنتراکینون، در بازدهی بسیار بیشتر از فرایند سودا/آنتراکینون (۴۹/۵ درصد در برابر ۳۵/۵ درصد) و در زمان بسیار کوتاه تولید کند. با توجه به اهمیت توسعه جنگلکاری با کاشت گونه‌های تندرشد و با نظر به اینکه تاکنون فرایند حلال آلی خمیر کاغذسازی مونواتانول آمین و سودا بر روی چوب گونه افرا پلت بررسی نشده‌اند، هدف این تحقیق این است که با توجه به اثرهای چشمگیر فرایند مونواتانول آمین بر پسماندهای لیگنوسولولزی کشاورزی، آیا فرایندهای مونواتانول آمین یا سودا می‌توانند به تهیه خمیر کاغذ با کیفیت از گونه پهن‌برگ چوب پلت دست یابند؟

مواد و روش‌ها

چوب پلت از جنگل آموزشی پژوهشی خیرودکنار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد. گرده‌بینه‌ها پوست‌کنی شده و با استفاده از دستگاه اره نواری به الوار تبدیل شدند و سپس الوارها در مؤسسه تحقیقاتی البرز توسط دستگاه چپیر به خرده‌چوب تبدیل شدند. نمونه‌ها برای رسیدن به رطوبت تعادل در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند. مونواتانول آمین در ظروف دربسته و تیره‌رنگ از

جدول ۱. شرایط پخت فرایندهای سودا و مونواتانول آمین از چوب افرا پلت

فرایند	کد تیمار	قلیابیت (درصد)	مونواتانول آمین (درصد)	آنتراکینون (درصد)	درجه حرارت (سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)
سودا	الف	۲۲	-	-	۱۶۵	۱۸۰-۲۴۰-۳۰۰
	*ب	۲۴	-	-		
	پ	۲۶	-	-		
سودا/آنتراکینون	ت	۲۲	-	۰/۱	۱۶۵	۱۸۰-۲۴۰-۳۰۰
	*ث	۲۴	-	۰/۱		
	ج	۲۶	-	۰/۱		
مونواتانول آمین	چ	-	۵۰	-	۱۶۵	۱۸۰-۲۴۰-۳۰۰
	ح	-	۷۵	-		
	خ	-	۱۰۰	-		
	د	-	۵۰	-		
مونواتانول آمین / آنتراکینون	*ذ	-	۷۵	۰/۱	۱۶۵	۱۸۰-۲۴۰-۳۰۰
	ر	-	۱۰۰	۰/۱		

علامت (*) مربوط به تیمارهای خمیر کاغذ بهینه (انتخابی) است.

تجزیه و تحلیل آماری

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 17 و SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD انجام گرفت. پس از معنی‌دار شدن اثرهای متقابل در نرم‌افزار SAS، برای بررسی این اثرها از روش برش‌دهی اثرهای متقابل^۱ استفاده شد.

نتایج و بحث

ابعاد الیاف

با توجه به جدول ۲، طول الیاف چوب پلت از چوب دیگر گونه‌های پهن‌برگ کمتر بوده و در حد طول الیاف کلش برنج است. به این موضوع در دیگر تحقیق انجام‌گرفته در مورد چوب پلت اشاره شده است. نقدی و همکاران [۱۰]، در بررسی ویژگی‌های بیومتریکی الیاف جوان‌چوب افرا پلت، مقادیر طول الیاف، قطر، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی را به ترتیب ۰/۸۷ میلی‌متر، ۲۲/۳۵ میکرومتر، ۲۰/۱۲ میکرومتر و ۱/۹۹ میکرومتر به دست آوردند. ضریب رانکل اندازه‌گیری‌شده در نمونه چوب پلت کمتر از ۱ است که با توجه به حد بهینه مورد انتظار در خمیرسازی، این مقدار مناسب و مطلوب است.

ترکیبات شیمیایی

با توجه به جدول ۳، مقدار خاکستر در نمونه چوب پلت کمتر از چوب گونه‌های ممرز و صنوبر و بیشتر از چوب گونه راش بوده است. مقدار سلولز در چوب پلت در حد مطلوب، اما کمتر از دیگر گونه‌های چوبی است. مقدار لیگنین گونه پلت کمترین مقدار در بین چوب پهن‌برگان موجود در جدول است. مواد استخراجی در چوب پلت نیز بیشتر از چوب‌های پهن‌برگ دیگر است.

بعد از پایان هر پخت و شست‌وشوی خمیرکاغذها و سپس باز کردن الیاف در دفیراتور آزمایشگاهی، خمیرکاغذ باقی‌مانده روی الک ۲۰۰ مش با عنوان خمیرکاغذ قابل قبول و خمیرکاغذ باقی‌مانده روی الک ۲۰ مش با عنوان وازده تعیین شدند. بعد از هواخشک کردن خمیرکاغذ در هوای آزاد، درصد رطوبت آن تعیین شد و سپس با توزین خمیرکاغذ خشک و وزن خشک خرده‌چوب‌ها، مقادیر بازده بعد از پخت خمیرکاغذ محاسبه شد. اندازه‌گیری عدد کاپا با استفاده از دستور شماره ۹۹-۲۳۶ om T آیین‌نامه TAPPI انجام گرفت.

تهیه کاغذ دست‌ساز

برای بررسی مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی کاغذ دست‌ساز، خمیرکاغذهای بهینه (از نظر بازده و عدد کاپا) انتخاب شدند. خمیرکاغذهای بهینه مطابق با جدول ۱ شامل تیمار «ذ» در مدت ۳۰۰ دقیقه، تیمار «ث» در مدت ۲۴۰ دقیقه و تیمار «ب» در مدت ۱۸۰ دقیقه در سه تکرار تهیه شدند. پالایش خمیرکاغذهای انتخابی بنابر دستور شماره ۰۸-۲۲۴۸ sp T آیین‌نامه TAPPI و توسط دستگاه پالایشگر PFI در مؤسسه تحقیقاتی البرز انجام گرفت. در این بررسی درجه روانی $CSF 300 \pm 50$ مورد نظر بود. کاغذ دست‌ساز براساس آیین‌نامه TAPPI دستور شماره ۰۶-۲۲۰ sp T و با استفاده از دستگاه Labtech HandSheet Maker در آزمایشگاه خمیرکاغذ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران ساخته شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی و نوری

شاخص‌های درجه روشنی، مقاومت در برابر کشش، ترکیب، پارگی به ترتیب براساس استانداردهای ۱۲-om T₅₇₉، ۱۳-om T₄₉₄، ۱۵-om T₄₀₃ و ۱۲-om T₄₁₄ آیین‌نامه TAPPI اندازه‌گیری شدند.

جدول ۲. میانگین ابعاد الیاف و ضرایب بیومتریکی چوب پلت و مقایسه آن با الیاف منابع لیگنوسلولزی چوبی و غیر چوبی

کلش برنج [۱۲]	ساقه سویا [۹]	ممرز [۱۱]	راش [۱۱]	صنوبر [۱۱]	افرا (پلت)	خصوصیات الیاف
۰/۸	۱/۰۰۷	۱/۴۸	۱/۱۲	۱/۳۱	۰/۸۴	طول (mm)
۱۰/۱۸	۲۶/۴	۲۱	۱۸/۳۵	۲۴/۸	۱۵/۶	قطر (μm)
۳/۸	۱۵/۶۷	۱۰/۰۵	۸/۱۸	۱۸/۳۱	۹/۱۱	قطر حفره سلولی (μm)
۳/۱۹	۵/۳۵	۶/۴	۵/۰۳	۲/۳۳	۳/۳۱	ضخامت دیواره سلولی (μm)
۷۸/۶	۳۹	۷۰/۴۷	۶۱/۷	۵۳/۱	۵۳/۸۴	ضریب لاغری
۱/۶۸	۰/۷۲	۱/۲۷	۱/۲۲	۰/۳۵	۰/۷۲	رانکل
۳۷	۵۹	۴۷/۸۵	۴۴/۸۲	۷۳/۸۳	۵۸/۳۹	انعطاف پذیری

جدول ۳. ترکیبات شیمیایی گونه پلت و مقایسه آن با دیگر منابع لیگنوسلولزی چوبی و غیر چوبی

کلش برنج [۱۲]	ساقه سویا [۹]	راش [۱۱]	صنوبر [۱۱]	ممرز [۱۱]	پلت	ترکیبات
۵۱/۴۵	۴۱	۴۷/۶	۴۹	۴۷/۳	۴۵/۲۳	سلولز (درصد)
۱۹	۱۹	۲۹/۱	۲۳/۱	۲۷/۲	۲۰/۹۵	لیگنین (درصد)
۳/۱۳	۴/۸۶	۱	۲/۸۳	۲	۵/۸۹	مواد استخراجی حلال در استون (درصد)
۱۵/۵۶	۳/۰۵	۰/۳۷	۱/۱۶	۱/۶۱	۰/۶۳	خاکستر (درصد)

ویژگی‌های خمیر کاغذهای حاصل از فرایندهای

مونواتانول آمین، سودا و سودا/آنتراکینون

با توجه به جدول ۴، می‌توان بیان کرد که با کاهش غلظت مونواتانول آمین و زمان پخت و افزایش مقدار آب، بازده خمیر کاغذ افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که با کاهش غلظت مونواتانول آمین و افزایش نسبت آب مقدار عدد کاپا نیز افزایش خواهد یافت. نتایج حاکی از آن است که به طور کل، بدون افزودن آنتراکینون تولید خمیر کاغذ شیمیایی با فرایند مونواتانول آمین امکان پذیر نیست و خمیر کاغذهای تولیدی بدون افزودن آنتراکینون از نظر بازده و عدد کاپا در محدوده خمیر کاغذهای نیمه شیمیایی قرار می‌گیرند. این نتایج در تقابل با نتایج حاصل از خمیر کاغذسازی پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی با مونواتانول آمین است [۶، ۸، ۹] که در آنها آنتراکینون تأثیر اندکی دارد. ویژگی‌های تیمار «ذ» مطابق جدول ۱ در مدت زمان پخت ۳۰۰ دقیقه توانست شرایط بهینه پخت را فراهم آورد و عدد کاپای کمتر از ۳۰ را نتیجه دهد. اگرچه مقدار عدد کاپای ۲۰ و کمتر از آن برای تولید خمیر کاغذ شیمیایی مطلوب تر است، به نظر می‌آید

شرایط بهینه یادشده، ظرفیت نهایی فرایند مونواتانول آمین برای خمیر کاغذسازی از چوب افرا پلت باشد. مقدار لیگنین بیشتر پهن برگان و همچنین نوع لیگنین آن که تشکیل شده از واحدهای کندانس شده کانفیبریل و سیناپیل الکل و به عبارت دیگر لیگنین گواپاسیل - سیرینجیل است می‌تواند دلیلی باشد که در مقایسه با پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی با مقدار لیگنین کمتر و وجود نوع متفاوتی از واحدهای لیگنینی، مونواتانول آمین کارایی بهینه‌ای در مورد منابع چوبی نداشته باشد. در فرایند سودا، تیمارهای «ث» و «ب» در مدت زمان پخت ۲۴۰ و ۱۸۰ دقیقه توانستند حد شرایط بهینه پخت را ایجاد کنند. قلیابیت زیاد استفاده شده در فرایند سودا، موجب تخریب گسترده کربوهیدرات‌ها از طریق واکنش‌های تخریب تدریجی و هیدرولیز قلیایی و در نتیجه کاهش بازده خمیر کاغذ شده است. بررسی نتایج مقایسه میانگین خمیر کاغذهای انتخابی در شکل ۱ نشان می‌دهد که بیشترین میانگین بازده کل خمیر کاغذ انتخابی (۶۷/۹۳) مربوط به تیمار «ذ» در مدت زمان ۳۰۰ دقیقه است. میانگین کمترین عدد کاپا (۱۹/۱۳) به تیمار «ث» در مدت زمان ۲۴۰ دقیقه اختصاص دارد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرهای متقابل مونواتانول آمین × آنتراکینون × زمان بر ویژگی‌های خمیر کاغذهای فرایند مونواتانول آمین

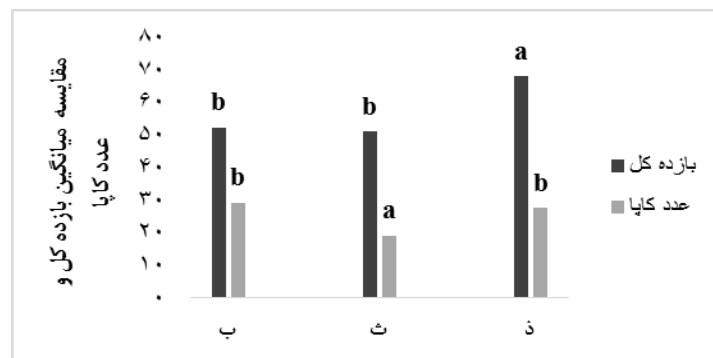
مونواتانول آمین (درصد)	آنتراکینون (درصد)	شماره خمیر	زمان (دقیقه)	بازده کل (درصد)	عدد کاپا	بازده (درصد)	بازده بعد از غریبال (درصد)
۵۰	۰/۱	۱	۱۸۰	۶۴/۵۳ ^c	۴۲/۴۳ ^b	۰/۵۹ ^b	۶۳/۹۵ ^c
		۲	۲۴۰	۶۶/۱۷ ^b	۳۴/۲۶ ^a	۱/۲۱ ^c	۶۵/۰۱ ^b
		۳	۳۰۰	۶۷/۶۵ ^a	۳۴/۹۳ ^a	۰/۰۳ ^a	۶۷/۶۳ ^a
۷۵	۰	۴	۱۸۰	۷۰/۵۸ ^a	۶۳/۴۶ ^c	۲۵/۳۹ ^c	۴۶/۰۹ ^c
		۵	۲۴۰	۶۹/۱۳ ^b	۵۷/۰۳ ^b	۶/۹۱ ^b	۶۲/۵ ^b
		۶	۳۰۰	۶۹/۴۳ ^b	۴۹/۷۸ ^a	۱/۰۱ ^a	۶۸/۴۷ ^a
۱۰۰	۰/۱	۷	۱۸۰	۶۴/۱۹ ^b	۳۸/۴۶ ^b	۰/۳۴ ^a	۶۳/۸۷ ^c
		۸	۲۴۰	۶۵/۱۴ ^b	۲۹/۴۶ ^a	۰/۱۱ ^a	۶۵/۰۲ ^b
		۹	۳۰۰	۶۹/۲۶ ^a	۲۸/۴ ^a	۰/۰۳ ^a	۶۹/۲۳ ^a
۱۰۰	۰	۱۰	۱۸۰	۶۹/۶۴ ^b	۵۸/۸۳ ^c	۲/۶۳ ^b	۶۷/۱۱ ^b
		۱۱	۲۴۰	۶۸/۸۴ ^b	۴۶/۰۳ ^b	۰/۸۶ ^a	۶۸/۰۱ ^b
		۱۲	۳۰۰	۷۰/۰۶ ^a	۳۸/۱ ^a	۰/۸۱ ^a	۶۹/۲۸ ^a
۱۰۰	۰/۱	۱۳	۱۸۰	۶۰/۳۴ ^b	۴۴/۵ ^c	۰/۰۶ ^a	۶۰/۲۸ ^c
		۱۴	۲۴۰	۶۴/۱۵ ^a	۳۳/۵ ^b	۰/۲۶ ^a	۶۳/۸۹ ^b
		۱۵	۳۰۰	۶۵/۱۳ ^a	۲۹/۳۶ ^a	۰/۲۱ ^a	۶۴/۹۳ ^a
۱۰۰	۰	۱۶	۱۸۰	۷۴/۷۶ ^a	۴۶/۹۶ ^b	۷/۶۳ ^c	۶۷/۴۷ ^a
		۱۷	۲۴۰	۶۵/۵۹ ^c	۵۲/۰۳ ^c	۱/۳ ^b	۶۴/۲۴ ^c
		۱۸	۳۰۰	۶۷/۷۵ ^b	۴۲/۵ ^a	۰/۷۸ ^a	۶۷/۰۱ ^b

*در هر ستون و هر سطح تیمار، میانگین‌های دارای حروف مشترک برپایه آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال ۹۹ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرهای متقابل سدیم هیدروکسید × آنتراکینون × زمان بر ویژگی‌های خمیر کاغذهای فرایند سودا

سدیم هیدروکسید (درصد)	آنتراکینون (درصد)	شماره خمیر	زمان (دقیقه)	بازده کل (درصد)	عدد کاپا	بازده (درصد)	بازده بعد از غریبال (درصد)
۲۶	۰/۱	۱	۱۸۰	۴۹/۵۹ ^a	۱۸/۷ ^c	۰ ^a	۴۹/۵۹ ^a
		۲	۲۴۰	۴۸/۲۷ ^b	۱۷/۱۳ ^b	۰ ^a	۴۸/۲۷ ^b
		۳	۳۰۰	۴۸/۱۱ ^b	۱۳/۵۶ ^a	۰ ^a	۴۸/۱۱ ^b
۲۴	۰	۴	۱۸۰	۴۶/۸۸ ^a	۲۸/۸۶ ^b	۰/۰۳ ^a	۴۶/۸۸ ^a
		۵	۲۴۰	۴۶/۶۶ ^a	۲۴/۳۶ ^a	۰ ^a	۴۶/۶۶ ^a
		۶	۳۰۰	۴۶/۱۳ ^a	۲۴/۰۳ ^a	۰ ^a	۴۶/۱۳ ^a
۲۴	۰/۱	۷	۱۸۰	۵۱/۵۴ ^a	۲۵/۰۳ ^c	۰/۰۷ ^b	۵۱/۴۸ ^a
		۸	۲۴۰	۴۹/۱۱ ^b	۱۷/۹۳ ^b	۰ ^a	۴۹/۱۱ ^b
		۹	۳۰۰	۴۹/۷۳ ^b	۱۶/۳۳ ^a	۰ ^a	۴۹/۷۳ ^b
۲۲	۰	۱۰	۱۸۰	۴۹/۱۸ ^a	۲۸/۰۶ ^b	۰/۱۷ ^b	۴۹/۰۱ ^a
		۱۱	۲۴۰	۴۸/۶۱ ^a	۲۷/۸۶ ^b	۰ ^a	۴۸/۶۱ ^a
		۱۲	۳۰۰	۴۸/۲۶ ^a	۲۶/۳۳ ^a	۰ ^a	۴۸/۲۶ ^a
۲۲	۰/۱	۱۳	۱۸۰	۵۳/۲۲ ^a	۲۲/۹۳ ^c	۰/۰۲ ^b	۵۳/۱ ^a
		۱۴	۲۴۰	۵۰/۷۹ ^b	۲۰/۴ ^b	۰/۱۶ ^c	۵۰/۶۴ ^b
		۱۵	۳۰۰	۴۹/۱ ^c	۱۸/۶۶ ^a	۰ ^a	۴۹/۱ ^c
۲۲	۰	۱۶	۱۸۰	۵۰/۷۶ ^a	۳۷/۳۳ ^c	۰/۳۹ ^b	۵۰/۳۸ ^a
		۱۷	۲۴۰	۴۹/۰۸ ^c	۳۰/۰۳ ^a	۰/۶۸ ^c	۴۸/۴۳ ^c
		۱۸	۳۰۰	۴۹/۶۴ ^b	۳۲/۰۳ ^b	۰ ^a	۴۹/۶۴ ^b

*در هر ستون و هر سطح تیمار، میانگین‌های دارای حروف مشترک، برپایه آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال ۹۹ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.



شکل ۱. نمودار مقایسه میانگین بازده کل و عدد کاپا مربوط به خمیر کاغذهای انتخابی

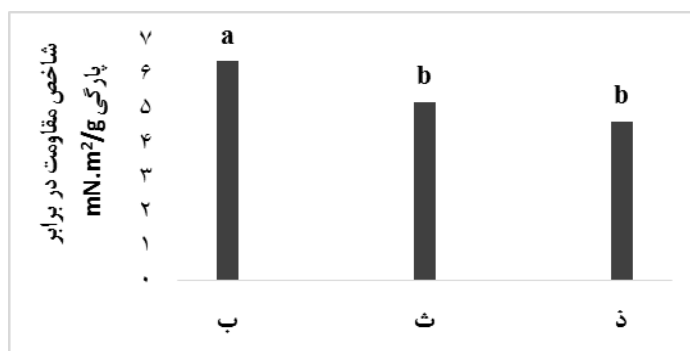
اختصاص دارد که می‌توان آن را به دلیل افزایش اتصالات بین الیاف کاغذ و همچنین وجود کمتر لیگنین در خمیر کاغذ فرایند سودا دانست. بیشترین درجه روشنایی (۲۰/۸۱ و ۲۰/۱۵ درصد) در شکل ۵ به ترتیب مربوط به تیمارهای «ب» و «ث» است. درجه روشنایی خمیر کاغذهای فرایند سودا بیشتر از خمیر کاغذهای فرایند مونواتانول آمین است که علت آن کاهش لیگنین زدایی و عدد کاپای بیشتر و همچنین وجود پیوندهای سه گانه نیتروژنی در خمیر کاغذهای مونواتانول آمین است.

آلانخوس^۱ و همکاران [۱۳]، در بررسی نتایج خمیر کاغذسازی سودا در زمینه خصوصیات خمیر کاغذهای نهایی چوب بلوط دریافتند که بیشترین مقادیر شاخص پارگی (۰/۵۴)، شاخص ترکیدن (۲۶/۹۳)، شاخص کشش (۱۱/۶۲) و درجه روشنایی (۲۴/۱) خمیر کاغذها مربوط به غلظت ۲۰ درصد هیدروکسید سدیم است. بر پایه نتایج تحقیق سرائیان و همکاران [۱۴]، بیشترین مقادیر شاخص مقاومت کشش (۸۱ Nm/g)، شاخص مقاومت به پارگی (۷/۳۳ mNm²/g) و شاخص مقاومت به ترکیدن (۸/۱۸ kPa.m²/g) خمیر کاغذهای حاصل از فرایند کرافت مربوط به بخش برون چوب صنوبر دلتوئیدس بوده است.

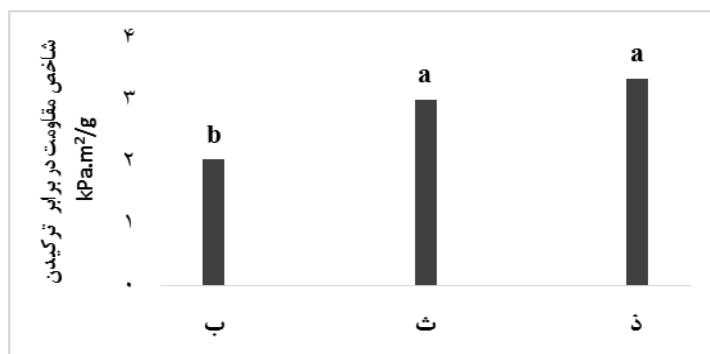
والایی و لتیاری [۱۱]، بر اساس نتایج بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های خمیر کاغذ سودا و سودا/ اتانول از نمونه‌های چوب راش، ممرز و صنوبر، بیشترین عدد کاپا (۶۴/۸) مربوط به نمونه راش و بیشترین بازده قابل قبول (۵۸/۵۴ درصد) مربوط به نمونه صنوبر را در فرایند سودا با قلیابیت ۲۰ درصد و زمان پخت ۱۲۰ دقیقه به دست آوردند. بازده مطلوب نمونه صنوبر نشان دهنده مقدار سلولز بیشتر آن (۴۹) نسبت به دو گونه دیگر است و همچنین وجود لیگنین بیشتر (۲۹/۱) در نمونه راش نسبت به گونه ممرز و صنوبر، سبب افزایش مقدار عدد کاپا شده است.

مقایسه ویژگی‌های مکانیکی و نوری خمیر کاغذهای انتخابی

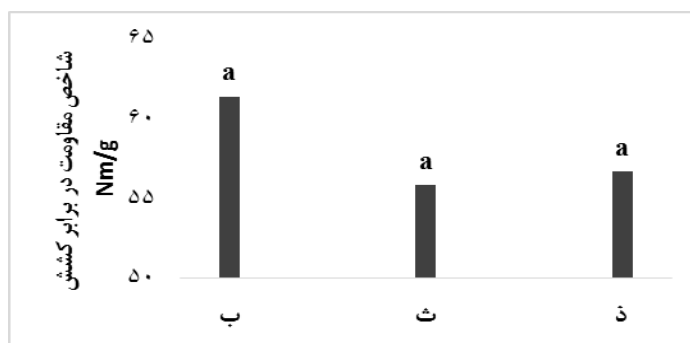
با توجه به شکل ۲، بیشترین مقدار شاخص مقاومت در برابر پارگی (۶/۳۸ mNm²/g) مربوط به تیمار «ب» و کمترین آن (۴/۶۴۰ mNm²/g) مربوط به تیمار «ذ» است که علت کمتر بودن این شاخص را می‌توان کاهش مقاومت بین اتصالات الیاف، کاهش طول الیاف و وجود بیشتر لیگنین در خمیر کاغذ مونواتانول آمین دانست. بیشترین شاخص ترکیدن (۳/۳۴ kPa.m²/g) با توجه به شکل ۳ مربوط به تیمار «ذ» است. کمتر بودن شاخص مقاومت در برابر ترکیدن در تیمارهای خمیر کاغذ فرایند سودا، به علت اتصالات و پیوندهای کم بین الیاف و وجود درصد کمتر لیگنین در خمیر کاغذهاست. مطابق با شکل ۴، بیشترین شاخص کشش (۶۱/۳۶ Nm/g) به تیمار «ب»



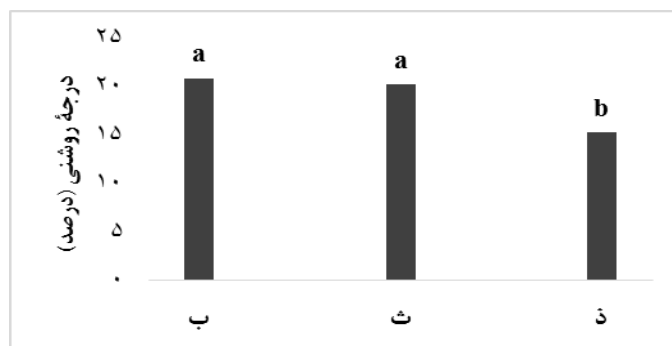
شکل ۲. نمودار مقایسه شاخص مقاومت در برابر پارگی خمیرکاغذهای انتخابی



شکل ۳. نمودار مقایسه شاخص مقاومت در برابر ترک‌کشدن خمیرکاغذهای انتخابی



شکل ۴. نمودار مقایسه شاخص مقاومت در برابر کشش خمیرکاغذهای انتخابی



شکل ۵. نمودار مقایسه درجه روشنایی خمیرکاغذهای انتخابی

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، بازده زیاد پخت مونواتانول آمین تأکید می‌کند که کربوهیدرات‌ها در این پخت نسبت به پخت سودا یا سودا/آنتراکینون کمتر تخریب یا حل شده‌اند و گزینش پذیری این فرایند در مقایسه با فرایند سودا بسیار بیشتر است. فرایند خمیر کاغذسازی مونواتانول آمین خمیر کاغذ با عدد کاپای بیشتری نسبت به فرایند سودا تولید می‌کند. از آنجا که هدف خمیر کاغذسازی در واقع لیگنین زدایی است، نتیجه گرفته می‌شود که این فرایند به خوبی نمی‌تواند بر چوب پهن برگان تأثیر بگذارد و قابلیت لیگنین زدایی کمی در زمینه منابع چوبی دارد. به طور کلی به عنوان نتیجه گیری نهایی می‌توان بیان کرد که در بین فرایندهای خمیر کاغذسازی عاری از گوگرد، فرایند سودا/آنتراکینون برای گونه‌های چوبی پهن برگان مناسب است.

References

- [6]. Hedjazi, S., Kordsachia, O., Patt, R., and Kreipl, A. (2009). MEA/water/AQ-pulping of wheat straw. *Holzforschung*, 63(5): 505–512.
- [7]. Shiralizadeh, F., Hedjazi, S., and Ahmadi, M. (2015). Evaluation of pulp properties produced from rice straw by combination the monoethanolamine and potassium hydroxide. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30(1): 46-59.
- [8]. Ghahremani Habashi, M., Hedjazi, S., Ashori, A., and Abdulkhani, A. (2014). Environmental friendly pulping of kenaf using monoethanolamine: Influence of the process variables on the strength properties. *Advances in Polymer Technology*, 33(S1):1-6.
- [9]. Alizadeh, P., Hedjazi, S., Abdulkhani, A., Zabihzadeh, S.M. (2016). Comparative study of soda, soda-AQ and monoethanolamine pulps from soybean straw. *Journal of forest and wood products*, 68(4):887-902.
- [10]. Naghdi, R., Nadali, E., and Younesi-Kordkheili, H. (2015). Evaluation of pulp and paper properties obtained from maple juvenile wood through organosolve alcoholol method catalyzed by calcium and magnesium salt. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 6(1): 31-40.
- [11]. Valayi, H., and Jahan Latibari, A. (2015). Comparative investigation on the properties of soda and soda-ethanol pulps from three hardwoods. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30(3): 403-411.
- [12]. Fakhrian, A., Jaahan Latibari, A., Hoseinzadeh, A., Golbabaee, F., and Mahdavi, S. (1989). Potential of rice straw in paper industry. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 6:1-77.
- [13]. Alaejos, J., López, F., Pérez, A., Rodríguez, A., and Jiménez, L. (2008). Influence of the holm oak soda pulping conditions on the properties of the resulting paper sheets. *Bioresource Technology*, 99(14): 6320–6324.
- [14]. Saraeian, A.R., Khalili Ghasht Roodkhani, A., Aliabadi, M., and Dahmardeh Ghaleh No, M. (2011). Comparison of soda and kraft pulp properties of *Populus deltoids* sapwood and heartwood. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 17(4):125-137.
- [1]. Jimenez, L., Serrano, L., Rodriguez, A., and Sanchez, A. (2009). Soda-anthraquinone pulping of palm oil empty fruit bunches and beating of the resulting pulp. *Bioresource Technology*, 100(3):1262-1267.
- [2]. Eslami, A.R., Jahanaray, M.R., Habibi Bibalani, G.H., and Hasani, M. (2013). Effect of thinning operations on maple (*Acer velutinum*) plantations (Case study: Mazandaran Wood and Paper Company's Forest Management Project). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(1):76-85.
- [3]. Biswas, D., Misbahuddin, M., Roy, U., Francis, R.C., and Bose, S.K. (2011). Effect of additives on fiber yield improvement for kraft pulping of kadam (*Anthocephalus chinensis*). *Bioresource Technology*, 102(2): 1284-1288.
- [4]. Smook, G.A. (2003). *Handbook for pulp and paper technologist*. 2nd ed. Mirshokraei, S.A. (translator), Aeeizh Press, Tehran.
- [5]. Ferrer, A., Vega, A., Rodriguez, A., Jimenez, L. (2013). Acetosolv pulping for the fractionation of empty fruit bunches from palm oil industry. *Bioresource Technology*, 132: 115–120.

Comparative Study of Pulp Characteristics from Maple (*Acer velutinum*) wood produced by Soda and Monoethanolamine Process with Anthraquinone

S. Heshmati; M.Sc., Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

S. Hedjazi*; Assoc. Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

Y. Hamzeh; Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

S. Heshmati; Ph.D. Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, I.R. Iran

(Received: 07 May 2018, Accepted: 28 October 2018)

ABSTRACT

One of the considerable procedure to supply the lignocellulose material for the industries is the expansion of agroforestry in appropriate points of Iran. Due to ecological adaptability and fast growth of Maple among the existing native species at the northern forests of the country, it could be considered as a reasonable species in agroforestry. The purpose of this study was to investigate the characteristics of pulp made from Maple using monoethanol amine, monoethanol amine/anthraquinone, soda, and soda/anthraquinone processes and evaluation of their properties. The treatments were used in three levels of Monoethanol amine concentration (50, 75 and 100 wt%) in monoethanol amine pulping, alkalinity (22, 24 and 26 wt%) in soda pulping, and time (180, 240 and 300 min) under the constant temperature at 165 °C. The anthraquinone was added to the monoethanol amine and soda process as a chemical additive in two levels of concentration (0, 0.1 wt%). The optimal cooking of monoethanolamine/anthraquinone, soda/anthraquinone, and soda processes lead up to 67.93, 50.97 and 52.36 % of total yield, and 27.7, 19.1 and 29.23 of Kappa number respectively. The results showed that the highest amount of tensile index (61.36 Nm/g), Burst index (3.341 kPam²/g), tear index (6.382 mN.m²/g) and brightness (20.81 %) belonged to soda, monoethanol amine/anthraquinone, and soda pulps respectively. According to the results of this study, the soda process had significant effects on the Maple samples in comparison with the monoethanol amine process. Due to high energy consumption and more time for delignification, the Monoethanol amine process is not applicable to wooden resources.

Keywords: *Acer velutinum*, Anthraquinone, Maple, Monoethanolamine, Pulp, Soda.

* Corresponding Author, Email: shedjazi@ut.ac.ir, Tel: +982632223044