

بررسی اثر آنزیم زایلاناز بر خواص خمیر APMP از صنوبر تبریزی (*Populus nigra*)

امیر هومن حمصی^۱، مهدی صبور^{۲*}، محمد طلایی پور^۳ و محمد آزاد فلاح^۴

۱- دانشیار، عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی
۲- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، مسئول مکاتبات پلاک ۵۴، پاساژ خیام، خیابان باهنر، بناب، آذربایجان شرقی
پست الکترونیک: mahdi_sabour@yahoo.com

۳- استادیار، عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ واحد علوم و تحقیقات تهران دانشگاه آزاد اسلامی
۴- استادیار، عضو هیأت علمی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران،

تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۰

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۸۹

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثر آنزیم زایلاناز تهیه شده از قارچ *Trichoderma viride* بر خمیر APMP از چوب گونه *Populus nigra* انجام شد. برای تیمار آنزیمی متغیرهای دمای محیط تیمار در سه سطح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد، مدت زمان تیمار در دو سطح ۷۰ و ۹۰ دقیقه، میزان مصرف آنزیم در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ واحد بر گرم خمیر خشک و درصد خشکی خمیر در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد مطالعه شد. نتایج نشان دادند که تیمار با آنزیم زایلاناز اثر قابل ملاحظه‌ای بر خمیر دارد به نحوی که روشنی کاغذ به طور متوسط ۲/۵ درصد ISO و حداکثر ۴/۷۵ درصد ISO بهبود یافت. همچنین آنزیم موجب افزایش نسبی شاخص پارگی و شاخص ترکیدن کاغذ شد. طول پارگی کاغذ در تیمار آنزیمی تا ۴۰۹۸ متر رسید. اما بازده خمیر در اثر تیمار با زایلاناز تا ۲/۷۸ درصد نسبت به وزن خشک خمیر قبل از تیمار کاهش یافت. بررسی اثر عوامل جانبی (استخراج قلیایی و شستشو با آب مقطر) مشخص نمود که این عوامل تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نتایج تیمارهای آنزیمی ندارند. به طوری که دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد، زمان ۷۰ دقیقه، میزان مصرف آنزیم ۱۰ واحد بر گرم خمیر خشک و درصد خشکی خمیر ۱۰ درصد بهترین نتایج را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: آنزیم زایلاناز، صنوبر تبریزی، APMP، زیست‌رنگبری.

مقدمه

پاسخ دهد. در مقابل افزایش مستمر تقاضا با محدودیت منابع جنگلی و حتی کاهش آنها روبرو هستیم. بنابراین رویکرد کلی به سمت افزایش کارایی روش‌های مختلف تولید کاغذ و ارائه روش‌های جدید تولید خمیرهای پربازده و قابلیت استفاده از گونه‌های چوبی سریع‌الرشد و

فرآورده‌های کاغذی بخش مهمی از کالاهای مصرفی روزانه را تشکیل می‌دهند و این امر موجب شده که کاغذ به صورت‌های بسیار متنوعی تولید شود تا امکان رقابت با سایر فرآورده‌ها را داشته و به تقاضای روزافزون خود

مقاومت‌های مکانیکی کاغذ توسط زایلاناز در فرایندهای مختلف تولید خمیر کاغذ وجود دارد.

به طور کلی آنزیم‌ها در واکنش‌های شیمیایی نقش کاتالیزوری دارند و مستقیماً در واکنش شرکت نمی‌کنند، بلکه وقوع واکنشها را تسریع و تسهیل می‌کنند. حداقل دو سازوکار برای چگونگی افزایش کارایی رنگبری و سفید سازی خمیر کاغذ توسط همی سلولازها ارائه شده است. مدل اول بیان می‌کند که این آنزیم‌ها موجب می‌شوند که میزان دسترسی مواد شیمیایی و عوامل رنگبری به درون الیاف و گروههای رنگساز بیشتر گردد. این سازوکار را می‌توان اینگونه توضیح داد که لیگنین و دیگر عوامل رنگساز در ساختمان الیاف به طور فیزیکی توسط همی سلولزها پوشش داده شده‌اند. بنابراین آنزیم با حذف جزئی همی سلولزهایی مانند زایلان این مانع را برطرف می‌کند. مدل دوم بیان می‌کند که بین همی سلولزها و لیگنین در ساختار الیاف پیوند شیمیایی برقرار می‌شود بنابراین همی سلولزها با شکستن اتصالات هم ظرفیت بین بخشهای لیگنین و همی سلولزها سبب آزادی لیگنین و گروههای رنگساز می‌شوند. نقش آنزیم زایلاناز در شکستن پیوندهای لیگنین کربوهیدرات توسط ونگ و همکارانش (۱۹۹۶)، سارناکی و همکارانش (۱۹۹۶) و باچپای و همکارانش (۱۹۹۶) مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است. شواهدی وجود دارد که زایلان لزوماً بر روی الیاف کلیه گونه‌ها رسوب نمی‌کند و دانش فعلی در خصوص سازوکار عملکرد زایلاناز بهبود فرایند رنگبری را تضمین نمی‌کند. در واقع زدایش همی سلولزها لزوماً با افزایش کارایی رنگبری همبستگی ندارد (حمصی، ۱۳۸۴). ویکاری و همکارانش (۱۹۸۶) گزارش کردند که زایلاناز،

دست کاشت مانند صنوبر است. به طوری که از میان روش‌های موجود برای تولید خمیر کاغذ از چوب پهن‌برگان، فرایند APMP در مقایسه با سایر فرایندهای شیمیایی - مکانیکی در اولویت قرار دارد. به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد این فرایند خمیرهای بدست آمده از گونه‌های پهن‌برگ به ویژه از صنوبر دارای ویژگی‌های مقاومتی و نوری مطلوب برای تولید کاغذ هستند. تولید خمیر کاغذ با روشنی و بازده بالا بدون استفاده از مرحله رنگبری جداگانه با تجهیزاتی ساده‌تر یکی از انگیزه‌های توسعه فرایند APMP بوده است. همچنین از مزایای فرایند APMP نسبت به دیگر فرایندهای شیمیایی - مکانیکی می‌توان به قابلیت استفاده از دامنه گسترده‌تری از پهن‌برگان و سوزنی‌برگان، سرمایه‌گذاری اولیه کمتر در احداث کارخانه، مصرف کمتر انرژی، روشنی مطلوب کاغذ بدست آمده، رنگبری همزمان با تولید خمیر و تیمار بیولوژیک آسانتر پسابهای ناشی از فرایند تولید خمیر اشاره نمود.

علاوه بر این یکی از راههای افزایش کیفیت تولید، کاهش هزینه تولید و مشکلات زیست محیطی، استفاده از بیوتکنولوژی در فرایند تولید خمیر کاغذ است. استفاده از آنزیم‌ها به کاهش مصرف مواد شیمیایی در فرایند رنگبری خمیر کاغذ کمک می‌کند و باعث کاهش هزینه‌های رنگبری و بالابردن قابلیت بازیافت الیاف شده و تقاضا را برای منابع جنگلی کم می‌کند. استفاده از آنزیم زایلاناز بدون ایجاد تغییر در فرایند موجود، موجب کاهش مصرف مواد شیمیایی می‌شود. این آنزیم در دامنه وسیعی از الیاف لیگنوسلولزی کاربرد دارد و نتایج مشخصی در مورد بهبود روشنی کاغذ و حتی در برخی از موارد افزایش بعضی

واحد آنزیم زایلاناز است و بیشترین ماتی در سطح ۵۰ واحد زایلاناز بدست می‌آید.

مواد و روشها

مواد

آنزیم مورد استفاده در این تحقیق آنزیم زایلاناز (*endo-1,4-β Xylanase*) بدست آمده از قارچ *Trichoderma viride* بود. بنا به تعریف یک واحد فعالیت آنزیم زایلاناز (U) به‌عنوان مقداری از آنزیم که موجب تولید یک مول زایلوز در هر دقیقه شود، بیان شده است (ژائو و همکاران، ۲۰۰۴). برای اطمینان از فعالیت آنزیم زایلاناز مورد استفاده و تعیین دقیق مقدار فعالیت آن، آنزیم زایلاناز به شرح زیر مورد ارزیابی قرار گرفت. برای سنجش آنزیم زایلاناز ۱۰ میلی لیتر از محلول رقیق آنزیم در آب مقطر با ۱۰۰ میلی لیتر از محلول یک درصد زایلان به همراه محلول ۰/۲ بافر استات (استات سدیم تری هیدرات) در PH برابر ۴/۸ برای مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد آمیخته شده و تولید کاهشی قند بوسیله معرف اسید دی نیترو سالیسیک (DNS) سنجیده شد. با توجه به تعریف، فعالیت آنزیم زایلاناز مورد استفاده در این تحقیق برابر ۳ U/mg محاسبه گردید.

نمونه برداری

نمونه برداری از خط تولید خمیر کاغذ با فرایند APMP مربوط به شرکت کاغذ مراغه بود. گونه مورد استفاده در زمان نمونه‌گیری فقط صنوبر تبریزی (*Populus nigra*) بود. براساس محاسبات انجام شده و حجم نمونه‌های مورد نیاز برای آزمونهای مختلف با در نظر گرفتن نمونه‌های شاهد و تیمارهای اصلی و فرعی،

رنگبری خمیر را تسهیل می‌کند و استفاده از اندوزایلانازها نیاز به مواد شیمیایی کلرین‌دار مورد استفاده در رنگبری خمیر کاغذ در فرایند کرافت را تا ۲۵٪ کاهش می‌دهد. پراساد و همکارانش (۱۹۹۶) نتایج مشابهی را اعلام نمودند. ژائو و همکارانش (۲۰۰۴) در بررسی تهیه خمیر APMP که گندم با تیمار آنزیمی نشان دادند که تیمار با زایلاناز قابلیت تبدیل شدن به خمیر کاه گندم، خواص کیفی خمیر نهایی مانند روشنی، طول پارگی و شاخص ترکیدگی را بهبود می‌بخشد و شرایط بهینه تیمار، زمان تیمار ۹۰ دقیقه، دمای محیط تیمار ۵۰-۶۰°C، میزان آنزیم زایلاناز ۱۵-۱۰ IU/g و درصد خشکی را ۱۰-۵ درصد گزارش نمودند. هونگ و شن (۲۰۰۱) اثر آنزیم زایلاناز را در بهبود رنگبری خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی کاه گندم بررسی نموده و دریافتند که اثر تیمار آنزیمی، توانایی رنگبری خمیر کاغذ را به طور چشمگیری افزایش و میزان مصرف پراکسید هیدروژن را ۵۰ درصد کاهش می‌دهد. جیمنز و همکارانش (۱۹۹۹) طی تحقیقی رنگبری خمیر سودای ساقه گندم با استفاده از آنزیم زایلاناز و پراکسید هیدروژن را بررسی کرده و دریافتند که تیمار آنزیمی بازده خمیر و گرانروی را کاهش داده و روشنی، مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پارگی را افزایش می‌دهد. شاتالوف و همکارانش (۲۰۰۸) در بررسی اثر زایلاناز بر مرحله رنگبری پراکسید در رنگبری خمیر کرافت اکالیپتوس نتیجه گرفتند که کاهش کارایی تیمار زایلاناز با پایان رنگبری پراکسید به رفتار ویژه کروموفورهای مشتق از زایلان و اسید هگزنورنیک بستگی دارد. رسالتی و همکارانش (۱۳۸۸) در تحقیقی با استفاده از آنزیم زایلاناز حاصل از قارچ *Trichoderma viride* نتیجه گرفتند که بیشترین روشنی و کمترین زردی مربوط به سطح ۲۵

استخراج قلیایی

نمونه‌های خمیر تیمار شده پس از شستشوی کامل با آب مقطر و آبگیری بوسیله الک، به داخل ارلن انتقال یافته و معادل یک درصد وزن خشک خمیر هیدروکسید سدیم جامد به خمیر اضافه شد، سپس نمونه‌ها با درصد خشکی ۵ درصد و در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه به همراه همزنی تحت استخراج قلیایی قرار گرفتند. در پایان نمونه‌های خمیر دوباره با ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر شستشو داده شده و با الک آبگیری شدند.

تعیین اثر عوامل جانبی

برای بررسی اثر احتمالی شستشوی خمیر، نمونه‌ای از خمیر (با سه تکرار) بدون اعمال تیمار آنزیمی و استخراج قلیایی در دو مرحله با آب مقطر (در هر مرحله ۲۵۰ میلی لیتر) شستشو شد.

برای بررسی اثر احتمالی استخراج قلیایی بدون در نظر گرفتن تیمار آنزیمی بر نمونه‌های خمیر، نمونه‌ای از خمیر (با سه تکرار) بدون هیچ گونه تیمار آنزیمی در شرایط یکسان با سایر نمونه‌ها تحت استخراج قلیایی قرار گرفت و بعد با آب مقطر شستشو داده شد.

برای تعیین اثر احتمالی استخراج قلیایی بر نمونه‌های تیمار شده با آنزیم در تیمار اصلی یک نمونه (با سه تکرار) در شرایط دمای ۵۰ درجه سانتیگراد، زمان ۷۰ دقیقه، میزان مصرف آنزیم ۱۰ واحد بر گرم خمیر خشک و درصد خشکی ۵ درصد (در شرایط مشابه تیمار شماره ۱۵ از تیمارهای اصلی) تیمار آنزیمی شد و مورد شستشو با آب مقطر قرار گرفت.

تعیین شده و سپس با استفاده از ظروف پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل گردید.

تیمار آنزیمی با زایلاناز

قبل از انجام تیمار آنزیمی نمونه‌هایی از خمیر به‌عنوان نمونه شاهد بدون هیچ گونه تیماری کنار گذاشته شدند. اثر چهار متغیر مستقل بر روشنی، طول پارگی، شاخص ترکیدن و شاخص پارگی کاغذ و بازده خمیر APMP صنوبر (در سه تکرار) به شرح زیر ارزیابی شد.

- دمای تیمار آنزیمی در سه سطح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد
 - زمان تیمار آنزیمی در دو سطح ۷۰ دقیقه و ۹۰ دقیقه
 - میزان مصرف آنزیم در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ واحد بر گرم خمیر خشک شده در آون
 - درصد خشکی خمیر در تیمار آنزیمی در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد خمیر خشک شده در آون
- برای انجام تیمارهای آنزیمی از کیسه‌های پلاستیکی به‌عنوان محفظه تیمار استفاده شد. ابتدا نمونه خمیر در داخل کیسه پلاستیکی قرار داده شد و محلول استات سدیم به آن اضافه گردید و سپس PH خمیر با افزودن اسیداسیتیک تنظیم شد. آنزیم زایلاناز به دقت توزین شده و به نمونه‌های خمیر اضافه شد. پس از اطمینان از تثبیت دمای حمام آب گرم، برای سهولت کار کیسه‌های پلاستیکی به درون حمام آب گرم منتقل شدند. در طول زمان تیمار آنزیمی کیسه‌های پلاستیکی به‌طور متناوب همزنی شدند. پس از اتمام تیمار آنزیمی هر نمونه بلافاصله با استفاده از ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر و الک ۲۰۰ مش شستشو شد.

ساخت ورق دست‌ساز

جهت انجام محاسبات مربوط به تهیه ورقهای دست‌ساز درصد خشکی نمونه‌های خمیر اندازه‌گیری شد. مطابق استاندارد T205 sp-95 برای ساخت ورق دست‌ساز با گراماژ ۶۰ گرم بر مترمربع با استفاده از دستگاه ورق‌ساز اقدام به ساخت ورق دست‌ساز شد.

اندازه‌گیریها

ورقهای ساخته شده با دستگاه اندازه‌گیری روشنی مدل TMI-JY 9800 کاغذ از هر دو سطح برای روشنی اندازه‌گیری شدند و میانگین آن دو عدد برای ورق مورد نظر ثبت شد.

مطابق استاندارد T220 sp-96 و استاندارد T494 om-96 نوارهایی به عرض ۱۵ میلیمتر از ورقهای دست‌ساز برش داده شد سپس به دستگاه کشش‌سنج عمودی و اندازه‌گیری کشش نمونه‌ها انجام شد. اندازه‌گیری مقاومت

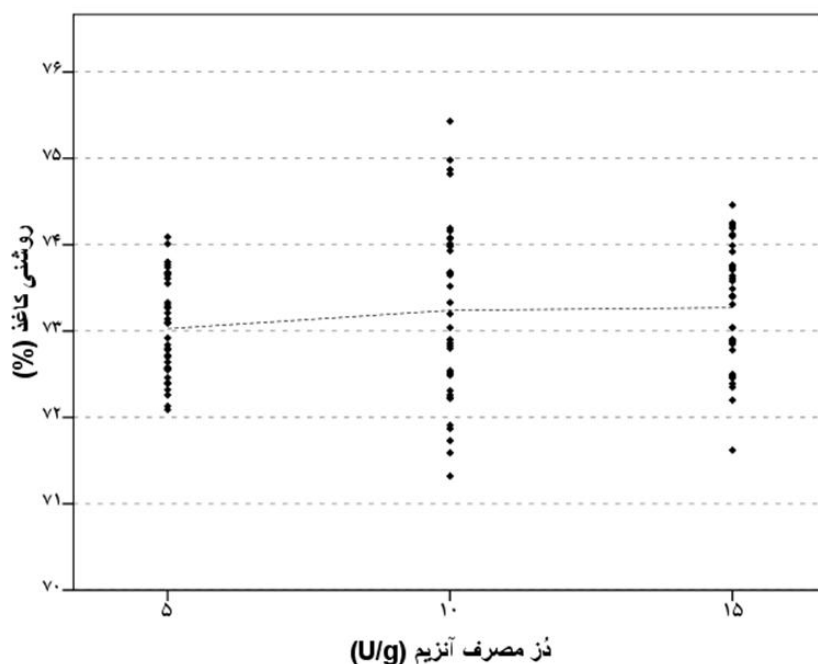
به پارگی مطابق استاندارد T414 om-98 و T220 sp-96 و اندازه‌گیری مقاومت به ترکیب کاغذ با توجه به دستورالعمل ارائه شده در روش استاندارد T403 om-97 انجام شد.

نتایج

تأثیر آنزیم زایلاناز بر خصوصیات خمیر APMP با استفاده از میزان‌های مختلف آنزیم، مورد مطالعه قرار گرفت. جدول ۱ نشان می‌دهد که تیمار آنزیمی خمیر روشنی بالاتر خمیر، مقاومت مکانیکی بیشتر مانند طول پارگی، شاخص ترکیب‌گی، شاخص پارگی یکسان و بازده اندکی پایین‌تر در مقایسه با نمونه شاهد ایجاد می‌کند. به طوری که پیش‌تیمار با میزان زایلاناز $10 IU/g$ ، روشنی کاغذ را $2/56\%$ ، طول پارگی را 138 متر و شاخص پارگی کاغذ را $0/15 kPa.m^2/g$ در مقایسه با نمونه شاهد افزایش می‌دهد.

جدول ۱- تأثیر میزان مصرف آنزیم بر خصوصیات خمیر APMP صنوبر (*P.nigra*)

میزان زایلاناز (U/g)			شاهد	
۱۵	۱۰	۵		
۷۳/۲۷	۷۳/۲۴	۷۳/۰۳	۷۰/۶۸	روشنی (%)
۳۱۳۲/۳۴	۳۲۷۱/۶۲	۳۲۱۷/۲۴	۲۹۹۴/۹۸	طول پارگی (m)
۲/۹۶	۲/۹۵	۳/۱۹	۲/۸۰	شاخص پارگی (mN.m ² /g)
۱/۶۶	۱/۶۰	۱/۶۰	۱/۵۰	شاخص ترکیب‌گی (kPa.m ² /g)
۹۸/۲۰	۹۸/۶۲	۹۹/۱۰	۱۰۰	بازده خمیر (%)



شکل ۱- تغییرات روشنی کاغذ با سطوح میزان مصرف آنزیم

اندکی بالاتر می‌رود. این می‌تواند به فعالیت بالاتر آنزیم در دمای $50-60^{\circ}\text{C}$ مربوط باشد. دمای بالاتر تیمار آنزیمی، روشنی کاغذ را کاهش می‌دهد و به این وسیله کارایی تیمار آنزیمی کم می‌شود (شکل ۲).

از جدول ۲ چنین برمی‌آید که افزایش دمای تیمار از 40°C به 60°C ، تأثیر جزئی بر بازده خمیر و مقاومتهای فیزیکی دارد. تیمار آنزیمی در دمای $40-50^{\circ}\text{C}$ موجب روشنی بالاتری در خمیر نهایی شود و مقاومت به پارگی

جدول ۲- تأثیر دمای تیمار آنزیمی بر خصوصیات خمیر APMP صنوبر (*P. nigra*)

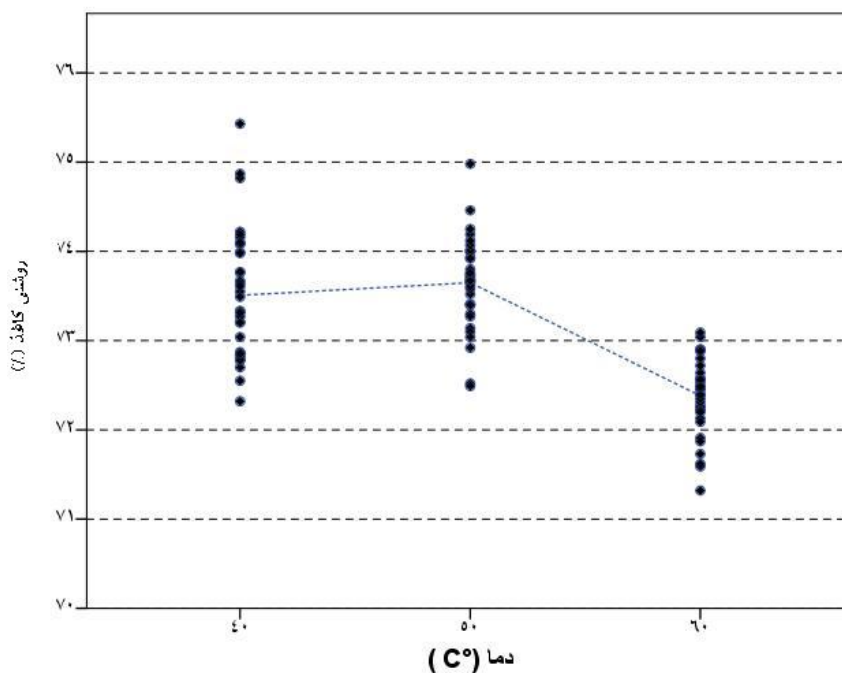
دمای تیمار آنزیمی ($^{\circ}\text{C}$)			
۶۰	۵۰	۴۰	
۷۲/۳۸	۷۳/۶۵	۷۳/۵۱	روشنی (%)
۳۰۰۳/۵۱	۳۳۳۱/۹۰	۳۳۴۱/۹۸	طول پارگی (m)
۳/۱۳	۳/۰۸	۲/۹۰	شاخص پارگی ($\text{mN.m}^2/\text{g}$)
۱/۵۳	۱/۶۵	۱/۶۹	شاخص ترکیدن ($\text{kPa.m}^2/\text{g}$)
۹۸/۱۵	۹۸/۶۸	۹۹/۰۹	بازده خمیر (%)

آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد که برای روشنی و طول پارگی کاغذ بین سطح 40 و 50 درجه سانتیگراد با

با انجام تجزیه واریانس برای نتایج مشخص گردید که دمای تیمار آنزیمی بر تمامی مشاهدات اثر معنی‌داری دارد.

پارگی بین سطح ۴۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد و برای شاخص ترکیدن و بازده خمیر بین هر سه سطح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد اختلاف معنی داری وجود دارد.

سطح ۶۰ درجه سانتیگراد اختلاف معنی داری وجود دارد. یعنی با افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ درجه سانتیگراد روشنی کاغذ به طور متوسط دچار افت می شود. به طور کلی برای طول



شکل ۲- تغییرات روشنی کاغذ با سطوح دمای تیمار

انتشار مواد در خمیر ضخیم که موجب تسهیل خروج مواد حل شده در زمان تیمار آنزیمی مربوط شود. با این حال زمان تیمار ۹۰ دقیقه بر مقاومت های فیزیکی خمیر نهایی تأثیر منفی دارد و طول پارگی و شاخص پارگی کاهش می یابد.

مدت زمان تیمار آنزیمی اثر معنی داری بر روشنی و شاخص ترکیدن کاغذ ندارد اما جدول ۳ نشان می دهد که روشنی خمیر با افزایش زمان تیمار آنزیمی اندکی افزایش یافته است. این می تواند به حذف بیشتر زایلان و بهبود

جدول ۳- تأثیر زمان تیمار آنزیمی بر خصوصیات خمیر APMP صنوبر (*P.nigra*)

زمان تیمار آنزیمی (دقیقه)		
۹۰	۷۰	
۷۳/۲۵	۷۳/۱۱	روشنی (%)
۳۲۸۲/۴۳	۳۱۳۰/۵۶	طول پارگی (m)
۲/۹۱	۳/۱۶	شاخص پارگی (mN.m ² /g)
۱/۶۲	۱/۶۲	شاخص ترکیدن (kPa.m ² /g)
۹۸/۳۲	۹۸/۹۶	بازده خمیر (%)

افزایش درصد خشکی خمیر به معنی افزایش غلظت آنزیم در محلول خمیر است. این می‌تواند در بهبود کارایی تیمار آنزیمی مفید باشد. نتایج نشان می‌دهند که درصد خشکی خمیر بر شاخص پارگی و بازده خمیر اثر معنی‌داری ندارد. با این حال، اختلاط خمیر و محلول آنزیم، در درصد خشکی بالای خمیر در طی

تیمار آنزیمی مشکل است و ممکن است تأثیر منفی بر کارایی تیمار آنزیمی داشته باشد. جدول ۴ نشان می‌دهد که تیمار آنزیمی در درصد خشکی بالای خمیر (۱۰٪) بر خمیر APMP صنوبر تأثیر منفی می‌گذارد و خواص مکانیکی کاغذ را کاهش می‌دهد.

جدول ۴- تأثیر درصد خشکی خمیر در تیمار آنزیمی بر خصوصیات خمیر APMP صنوبر (*P.nigra*)

درصد خشکی خمیر (%)		
۱۰	۵	
۷۳/۲۶	۷۳/۱۰	روشنی (%)
۳۳۰۹/۰	۳۰۸۹/۰۸	طول پارگی (m)
۳/۰۲	۳/۰۶	شاخص پارگی (mN.m ² /g)
۱/۵۸	۱/۶۸	شاخص ترکیدن (kPa.m ² /g)
۹۸/۶۳	۹۸/۶۵	بازده خمیر (%)

بحث

با توجه به اثبات نقش همی سلولازها در شکستن اتصال‌های بین لیگنین و همی سلولزها (ونگ و همکاران، ۱۹۹۶) و عدم استفاده از عوامل رنگبری در این تحقیق و نتایج حاصل از بررسی اثر مستقل آنزیم بر روشنی کاغذ، نتایج این تحقیق فرضیه عمل آنزیم زایلاناز در شکستن کمپلکس لیگنین-کربوهیدرات و تأثیر مستقیم آنزیم بر آزادی و خروج کروموفورها را تأیید می‌کند. هیدرولیز آنزیمی خمیر می‌تواند اندکی زایلان را از سطح فیبرها یا از کمپلکس لیگنین-هیدروکربن (LCC) حذف کند. بنابراین تیمار آنزیمی انتشار مواد شیمیایی را در مرحله استخراج قلیایی افزایش می‌دهد. با این حال افزایش بیشتر میزان آنزیم به یک سطح بالاتر ($10 IU/g$) مقاومتهای فیزیکی را کاهش می‌دهد. ژائو و همکارانش (۲۰۰۴)

نتایج مشابهی را اعلام نمودند. این می‌تواند به هیدرولیز بیش از حد سلولز و همی سلولزها مربوط باشد. حد بهینه میزان زایلاناز $10 IU/g$ براساس وزن خمیر خشک شده در آون است.

بررسی اثر تیمار آنزیمی بر خمیر APMP صنوبر نشان می‌دهد که اثر تیمار آنزیمی با زایلاناز بر روشنی، طول پارگی، شاخص ترکیدن کاغذ و بازده خمیر تأثیر معنی‌داری دارد، در حالی که تأثیر تیمار آنزیمی بر شاخص پارگی معنی‌دار نیست.

دمای محیط تیمار در سطح $40^{\circ}C$ تا $50^{\circ}C$ با اندکی کاهش در بازده خمیر، به بهبود روشنی، طول پارگی و شاخص پارگی کاغذ کمک می‌کند اما در سطح $60^{\circ}C$ کلاً اثر نامطلوبی بر خواص کاغذ دارد درحالی که افت بازده خمیر نیز بیشتر می‌شود. دلایل این اثر را می‌توان به شرایط

که پیش تیمار آنزیمی در درصد خشکی بالای خمیر (مثلاً درصد خشکی ۱۵٪) بر خمیر APMP تأثیر منفی می‌گذارد و روشنی خمیر نهایی را کاهش می‌دهد. برخی خصوصیات ورقهای ساخته شده (روشنی و طول پارگی کاغذ) با افزایش سطح درصد خشکی خمیر در تیمار آنزیمی از ۵ درصد به ۱۰ درصد بهبود یافتند. این پدیده ممکن است به دلیل غلظت بیشتر آنزیم در سطح درصد خشکی ۱۰ درصد و به معنی امکان دسترسی بیشتر آنزیم به الیاف باشد.

در فرایند استخراج قلیایی برای هیدروکسید سدیم می‌توان نقشی دوگانه قائل شد. از یک‌سو با متورم نمودن دیواره الیاف و ایجاد PH بالا موجب خروج و انحلال عوامل رنگساز می‌گردد که به افزایش سفیدی کاغذ منجر می‌شود و از سوی دیگر با ایجاد پدیده تیرگی قلیایی موجب افت روشنی کاغذ می‌شود. با این توضیح استخراج قلیایی باید در دمای پایین‌تری انجام شود. نتایج این تحقیق نشان دادند که استخراج قلیایی به تنهایی اثر قابل ملاحظه‌ای بر خصوصیات خمیر نداشت و تنها اندکی افزایش زردی کاغذ و افت در بازده خمیر را در پی داشت. در حالی که استخراج قلیایی پس از تیمار آنزیمی بر روشنی و شاخص ترکیدن کاغذ اثر معنی‌داری داشت.

در نهایت با استفاده از نتایج بدست آمده می‌توان پیشنهادهای زیر را ارائه نمود:

۱- شرایط بهینه تیمار آنزیمی شرایطی است که در آن توازن نسبی بین جمیع خصوصیات نوری و مکانیکی کاغذ برقرار باشد بنابراین با توجه به آنچه گفته شد می‌توان گفت که دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد، زمان

فعالیت آنزیم زایلاناز نسبت داد. به دلیل ساختار پرتیننی، آنزیم‌ها حساسیت‌های ویژه‌ای به دمای بالا و PH محیط دارند. البته احتمال دارد این اثر ناشی از تضعیف فعالیت آنزیم در دمای ۶۰°C باشد. این مطلب با نتایج ژائو و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد.

مدت زمان اعمال تیمار آنزیمی تأثیر مشخصی بر خواص نوری و مکانیکی خمیر ندارد. تأثیر زمان بر روشنی و شاخص ترکیدن کاغذ معنی‌دار نیست درحالی که اثر متقابل آن با سایر متغیرها معنی‌دار است. شاخص پارگی کاغذ در سطح ۹۰ دقیقه زمان تیمار آنزیمی را نسبت به سطح ۷۰ دقیقه کاهش داده است و برای طول پارگی کاغذ بعکس آن دیده می‌شود.

با افزایش سطح میزان مصرف آنزیم روشنی کاغذ افزایش می‌یابد، اما بین سطح ۱۰U/g با ۱۵U/g اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. برای طول پارگی و شاخص ترکیدن کاغذ از سطح ۵U/g به سطح ۱۰U/g افزایش و بعد به سطح ۱۵U/g کاهش مشاهده شد. همچنین با افزایش سطح میزان مصرف آنزیم شاخص پارگی کاغذ کاسته شد. احتمالاً این رفتار آنزیم در سطوح مختلف میزان مصرف، می‌تواند ناشی از تخریب بیش از اندازه همی سلولز زایلان در میزان بالای مصرف زایلاناز بخصوص در سطح ۱۵U/g باشد.

در شرایط یکسان، افزایش درصد خشکی خمیر به معنی افزایش غلظت آنزیم در محلول خمیر است. این می‌تواند در بهبود کارایی تیمار آنزیمی مفید باشد. با این حال، اختلاط خمیر و محلول آنزیم، در درصد خشکی بالای خمیر در طی تیمار آنزیمی مشکل است و ممکن است تأثیر منفی بر کارایی تیمار آنزیمی داشته باشد. مطالعات قبلی (ژائو و همکاران، ۲۰۰۴) نشان می‌دهد

منابع مورد استفاده

- حمصی، ا.، ۱۳۸۴. کاربرد فن آوری زیست آنزیمی در صنایع خمیر کاغذ. مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی، سال یازدهم (۱): ۱۱۹-۱۰۵.
- رسالتی، ح.، عبدالله بیگ مرندی، م. و سرانیان، ر.، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر آنزیم زایلاناز در ویژگیهای نوری خمیر کرافت باگاس در رنگبری ECF. دوفصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۴(۲): ۳۰۶-۲۹۵.
- Bajpai, P. and Bajpai, P. K., 1996. Application of xylanase in prebleaching of bamboo kraft pulp. TAPPI J. 79(4), 225-230.
- Hong, F. & Shen, 2001. Improvement of Bleaching and Brightness of Wheat Straw Chemimechanical Pulp by Enzymatic Pretreatment with Xylanase from *Trichoderma reesei*. The 8th ICBPPI, June 4-8 Helsinki, Finland, Abstract-book.
- Jimenez, L., E. Navarro, J. L. Ferrer, F. Lopez, J. Ariza, 1999. Biobleaching of Cellulose Pulp from Wheat Straw with Enzyme and Hydrogen Peroxide. *Process Biochemistry*. 35: 149-157
- Prasad, D. Y., Rajesh, K. S., Praburaj, T., Mohan Rao, N. R., and Joyce, T. W. (1996), *Cellulose Chem. Technol.* 30, 463-472.
- Shatalov, A. and Pereira, H., 2008. Effect of xylanases on peroxide bleachability of eucalypt (*E. globulus*) kraft pulp. *Biochemical Engineering Journal*, 40: 19-26
- Suurnaki, A.; Heijnesson, A.; Buchert, J.; Viikari, L., *J. Pulp Paper Sci.* 1996, 22:143-147.
- Viikari, L., Rauna, M., Kantelinen, A., Linko, M., Sundquist, J., 1986. Bleaching with enzymes. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry*, Stockholm, pp. 67-69.
- Wong, K. Y.; Yokota, S.; Saddler, J.N.; Jong, E., *J. Wood Chem. Technol.* 1996, 16:121-138.
- Zhao, J., Li, X., Qu, Y. and Gao P., 2004. Alkaline Peroxide Mechanical Pulping of Wheat Straw With Enzyme Treatment. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 112: 13-23

تیمار ۷۰ دقیقه، میزان مصرف آنزیم ۱۰U/g و درصد خشکی ۱۰ درصد به عنوان شرایط بهینه تیمار با آنزیم زایلاناز بر روی خمیر APMP صنوبر پیشنهاد می شود.

۲- نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان دادند که آنزیم زایلاناز مستقل از سایر عوامل رنگبر شناخته شده در بهبود روشنی مؤثر است. به طوری که نقش مستقیم آنزیم زایلاناز در تجزیه کمپلکس لیگنین- هیدروکربن و کمک به انحلال رنگسازها، به عنوان مدلی برای توضیح سازوکار رنگبری آنزیمی توصیه می گردد.

۳- با توجه به ضرورت‌های ذکر شده در این تحقیق، مطالعه در مورد تکنولوژیهای جدید مانند فرایند APMP و تکنولوژی آنزیمی امری ضروری به نظر می رسد. بنابراین برای مطالعات آینده مطالعه در مورد جایگاه تیمار آنزیمی و استفاده از عوامل تسهیل کننده اثر آنزیم مانند فعال کننده‌های سطحی و همچنین بررسی روشهای صنعتی استفاده از تکنولوژی آنزیمی در صنایع تولید خمیر کاغذ پیشنهاد می شود.

سپاسگزاری

بر حسب ادب و احترام از کلیه افراد سازمانهای حمایت کننده این پژوهش تشکر می گردد.

Effect of xylanase treatment on properties of alkaline peroxide mechanical pulp from poplar (*Populus nigra*) wood

Hemasi, A.¹, Sabour, M.^{2*}, Talaeipour, M.³ and Azadfallah, M.⁴

1- Associate professor, Sciences & Research branch of Islamic Azad univessity, Hesarak, Tehran.

2*- MSc of wood sciences & Industries, correspondent Address: No. 54, khayyam passage, Bahonar st., Bonab, East Azarbayjan.
Mobile;+989144212730, Email: mahdi_sabour@yahoo.com

3- Assistant professor, Sciences & Research branch of Islamic Azad univessity, Hesarak, Tehran.

4-Assistant professor, Departement of wood & peaper sciences, Faculty of natural resourses of university of Tehran, Karaj

Received: Oct., 2010

Accepted: Oct., 2011

Abstract

The aim of present study was to investigate the effects of xylanase enzyme obtained from *Trichoderma viride* on APMP pulp from *Populus nigra* wood. Treatment temperature, time, enzyme dosage and pulp consistency were varied. The results demonstrated that treating by xylanase has considerable effects on pulp. Paper brightness improved in average 2.5% ISO and the highest gain was 4.5%. Also, using enzyme resulted in enhancement of tear and burst indices. Breaking length of paper from enzyme treated pulp was increased to 4098 meters. Further treatment by xylanase reduced the pulp yield by 2.78% as compared to sample without enzyme treatment. The impact of other treatment such as washing by distilled water and alkaline extraction revealed that these treatments did not have significantly effect on the results of enzyme treatment. The optimum temperature, time, enzyme dosage and pulp consistency were 40-50 °C, 70 minutes, 10 U/g of oven dried pulp and 10% respectively.

Keywords: Xylanase enzyme, poplar, alkaline peroxide mechanical pulping