

بررسی تأثیر تیمار آنزیمی اندوگلوکاناز بر پالایش پذیری و سرعت آب‌گیری خمیر کاغذ OCC

چکیده

در این تحقیق تأثیر مقادیر مختلف آنزیم اندوگلوکاناز و زمان‌های مختلف تیمار آنزیمی بر ویژگی‌های پالایش‌پذیری و سرعت آب‌گیری خمیر کاغذ OCC مورد بررسی قرار گرفت. آنزیم اندوگلوکاناز با مقادیر مختلف ۱u، ۲u و ۳u (بر پایه وزن خشک خمیر کاغذ) در مدت زمان‌های ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ ساعت در شرایط ثابت فرآیندی به خمیر کاغذ OCC در دو حالت پالایش‌شده و پالایش‌نشده افزوده شد. خمیر کاغذهای تیمار شده در شرایط مختلف به لحاظ ویژگی‌های پالایش‌پذیری و سرعت آب‌گیری در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد (خمیر کاغذ OCC تیمار نشده با آنزیم) ارزیابی شدند. نتایج به دست آمده نشان داد که افزودن آنزیم موجب بهبود معنی‌دار (سطح اعتماد ۰/۰۵) درجه روانی خمیر کاغذ OCC در مقایسه با نمونه شاهد شد، اما بهبود درجه روانی با افزایش غلظت آنزیم مصرفی، معنی‌دار نشده است. نتایج به دست آمده از تأثیر مقادیر مختلف آنزیم در سطوح مختلف پالایش نشان داد که افزودن سطوح مختلف آنزیم در خمیر کاغذهای پالایش‌شده در دوره‌های مختلف موجب بهبود معنی‌دار درجه روانی و سرعت آب‌گیری خمیر کاغذ شد. تأثیر افزایش غلظت آنزیم در بهبود درجه روانی و سرعت آب‌گیری با افزایش میزان پالایش خمیر کاغذ (سطوح بالاتر پالایش) کم‌تر دیده شده است. همچنین در همه سطوح پالایش به کار گرفته شده، طولانی شدن زمان تیمار آنزیمی از ۰/۵ به ۱ ساعت (با مصرف میزان بهینه ۱u آنزیم) تأثیر معنی‌داری را در افزایش درجه روانی خمیر کاغذ نتیجه داد اما در زمان‌های بیشتر از ۱ ساعت، کاهش درجه روانی معنی‌دار نبوده است.

واژگان کلیدی: خمیر کاغذ OCC، آنزیم اندوگلوکاناز، پالایش‌پذیری، سرعت آب‌گیری

الیاس افرا^{۱*}
ایمان اکبرپور^۲
نازبخت حزبی^۳
حسین رسالتی^۴

^۱ استادیار، ^۲ دانشجوی دکتری، ^۳ کارشناس ارشد، گروه صنایع خمیر کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۴ استاد، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مسئول مکاتبات:
elyasafra@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۵/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۲۹

کاغذ و فرآورده‌های کاغذی همگام با ازدیاد جمعیت و پیشرفت فن‌آوری‌ها از سوی دیگر، اهمیت بازیافت کاغذ را در صنایع کاغذسازی بیش از پیش بیشتر و ضروری ساخته

مقدمه

با توجه به محدود بودن سطح جنگل‌های جهان و تخریب شدید آن‌ها از یک سو و افزایش روزافزون مصرف

نقاط ضعفی، اگر تحت تاثیر پالایش زیاد، میزان ریزه الیاف هم خیلی زیاد شود، نتیجه عمل تولید یک خمیر کاغذ بسیار ضعیف و با ویژگی های آب گیری نامطلوب خواهد بود. از این رو برای کاهش یا خنثی نمودن تأثیر پالایش می توان از آنزیم ها به عنوان یک راهکار مؤثر استفاده نمود و در این رابطه آنزیم ها می توانند عمل پالایش را با ملایمت بیشتر و در عین حال با حفظ میانگین طول الیاف تأمین کنند. در نتیجه پالایش آنزیمی می تواند به عنوان بهترین جایگزین پالایش مکانیکی به کار برده شود و این امر منجر به کاهش انرژی مصرفی پالایش می شود که در توجیه اقتصادی واحدهای تولیدی دارای ارزش زیادی خواهد بود [۳]. در ارتباط با استفاده از آنزیم های مختلف و اثر آن ها بر ویژگی های خمیر کاغذ تحقیقات زیادی در مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی انجام شده که در زیر به بخشی از آن ها اشاره شده است. نتایج تأثیر تیمار سلولاز بر روی خمیر کاغذ کرافت سوزنی برگ خشک نشده پیش و پس از کوبیدن با استفاده از سلولاز تولیدی از *Trichoderma reesei* (Celluclast™) نشان داد که تیمار خمیر کاغذ کرافت رنگ بری و کوبیده شده با سلولاز می تواند موجب افزایش قابلیت زه کش خمیر کاغذ شود و پیش تیمار خمیر کاغذ کوبیده نشده با سلولاز هم می تواند قابلیت کوبیدن آن را بهبود بخشد. همچنین با جداسازی و ارزیابی کارآمدی تیمارهای آنزیمی در تعیین درجه روانی خمیر کاغذ، اندوگلوکاناز نوع دوم (EG II) نقش کلیدی در قابلیت زه کش و تغییرات قابلیت کوبیدن خمیر کاغذ دارد. در مقابل، سلوبیوهیدرولاز نوع ۱ (CBH I) به عنوان یک پروتئین سلولاز مهم، تأثیری بر روی قابلیت زه کش یا کوبیدن خمیر کاغذ نشان نداد [۵]. شواهد به دست آمده از تیمار آنزیمی خمیر کاغذ کرافت بازیافتی با آنزیم های سلولاز و همی سلولاز تخلیص شده از *Trichoderma reesei* و ارزیابی تغییرات ویژگی های الیاف بیانگر آن است که اندوگلوکاناز نوع اول و دوم (EG I و EG II) به طور معنی داری درجه روانی خمیر کاغذ را (حتی با میزان مصرف کم آنزیم) بهبود می بخشد و تأثیر EG II در یک میزان مشخص از انحلال کربوهیدرات، مؤثرتر بوده است. تیمارهای ترکیبی از همی سلولاز با اندوگلوکاناز تأثیر مثبت اندوگلوکاناز را بر درجه روانی خمیر کاغذ افزایش داده است. هر چند که ویژگی های زه کش خمیر کاغذ در مجموع با

است. با هر مرحله بازیابی کاغذ، کیفیت الیاف به لحاظ ساختاری تغییر یافته در نتیجه شکل گیری ورقه های کاغذ، اتصال بین الیاف و مقاومت ورقه های کاغذ نهایی تحت تأثیر قرار می گیرد. در حقیقت بازیافت کاغذ علی رغم مزیت های اقتصادی و زیست محیطی موجب کوتاه شدن الیاف خمیر کاغذ و ایجاد نرمه ها و ریزه الیاف می شود و این امر منجر به کاهش شدید کیفیت و ویژگی های مقاومتی خمیر کاغذ و همچنین کاهش سرعت آب گیری خمیر کاغذ می شود [۱ و ۲]. در ارتباط با ارتقاء ویژگی های کاغذ سازی خمیرهای کاغذ بازیافتی، شامل قابلیت زه کشی و مقاومت ورقه های کاغذ، روش های مختلفی مطرح شده و در بین این روش ها کاربرد آنزیم ها در صنایع خمیر و کاغذ فراگیری بیشتری یافته است. از تیمار آنزیمی می توان به منظور حذف ریزه الیاف از خمیرهای کاغذ بازیافتی و بهبود قابلیت آب گیری خمیر کاغذ و در نهایت افزایش سرعت تولید ماشین کاغذ استفاده کرد و این امر به لحاظ اقتصادی بسیار دارای اهمیت است [۳]. اگر ترکیب آنزیمی مناسب در شرایط بهینه استفاده شود، آنزیم ها قابلیت زیادی در حل مشکلات مربوط به کاربرد الیاف بازیافتی دارند. هر آنزیم باید در شرایط فرآیندی خاصی (میزان مشخص آنزیم، محدوده pH و دمای تیمار) استفاده شود تا بتواند بیشترین تأثیر ممکن را داشته باشد. آنزیم ها به عنوان ترکیبات طبیعی مزیت مهمی در فرآیند دارند و به عنوان تولید سبز، اثر زیست محیطی کمی دارند. چندین آزمایش صنعتی در مرکب زدایی، بهبود قابلیت زه کش، پالایش خمیر کاغذ و کنترل مواد چسبنده کارآمدی تیمار آنزیمی را در عمل آوری الیاف بازیافتی گزارش کرده اند. تیمار آنزیمی پیش از پالایش میزان نیازمندی به انرژی ویژه و تولید نرمه را کاهش می دهد و تیمار پس از پالایش قابلیت زه کش خمیر کاغذ بازیافتی را بهبود داده و در نتیجه موجب حرکت پذیری بهتر ماشین کاغذ و مصرف کمتر بخار در بخش خشک کن ماشین کاغذ می شود [۳ و ۴]. در فرآیند پالایش، عمل لیفچه ای شدن الیاف صورت گرفته و این عمل با برش الیاف و کوتاه شدن نسبی طول الیاف همراه است که در بیشتر موارد به ویژه در ارتباط با خمیر کاغذ OCC بسیار نامطلوب تلقی می شود. لذا ریز لیفچه ای شدن الیاف بدون انجام پالایش های مکانیکی زیاد، اهمیت قابل ملاحظه ای دارد چرا که با وجود چنین

[۱۰]. نتایج بررسی اخیر در زمینه تأثیر تیمار آنزیمی Pergalase A40 (مخلوط آنزیم سلولاز و همی سلولاز) بر الیاف خمیر کاغذ بازیافتی از OCC، لاینر کرافت و درصد کمی از کاغذ اداری سفید^۲ نشان داد که پیش تیمار آنزیمی الیاف بازیافتی درجه روانی اولیه خمیر کاغذ را بدون کاهش مقاومت کششی افزایش می‌دهد. در بیشتر آزمایش‌های انجام شده با تیمارهای ترکیبی (آنزیم + پالایش)، شاخص مقاومت کششی بیشتر، بهبود معنی‌دار قابلیت زه‌کش و کمترین میزان مصرف انرژی ویژه پالایش در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد دیده شده است [۱۱]. با توجه این که کیفیت خمیر کاغذ بازیافتی مانند ویژگی‌های آب‌گیری و مقاومتی آن‌ها در اثر بازیابی افت می‌کند، از سوی دیگر به‌کارگیری از آنزیم‌ها در بهبود پالایش‌پذیری و سرعت آب‌گیری خمیر کاغذ بازیافتی هم پیشنهاد شده است، لذا در این تحقیق آنزیم سلولاز در مقادیر مختلف و همچنین زمان‌های مختلف، تیمار آنزیمی در دو شرایط پالایش نشده و پالایش شده (در دوره‌های مختلف) استفاده و تأثیر آن بر ویژگی‌های پالایش‌پذیری و سرعت آب‌گیری خمیر کاغذ OCC ارزیابی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

تهیه ماده اولیه

در این تحقیق، کارتن‌های کنگره‌ای کهنه بازیافتی (کارتن‌های بسته‌بندی قهوه‌ای فرآورده‌های چی‌توز از فروشگاه‌های مواد غذایی) جمع‌آوری شده و به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شد. کارتن‌های جمع‌آوری شده تعیین رطوبت شده و به‌منظور جلوگیری از تبادل رطوبت با محیط، در درون پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی قرار داده شدند.

خمیرسازی مجدد کارتن‌های باطله

کارتن‌های کنگره‌ای کهنه تهیه شده پس از خیساندن در آب به مدت ۲۴ ساعت، در داخل دستگاه پراکنده‌ساز (۲۶۵۰ دور در هر دقیقه) به مدت ۵ دقیقه و درصد خشکی ۵ درصد دبی‌بره شدند. مدت‌زمان خمیرسازی مجدد با انجام چندین آزمایش‌های متوالی اولیه تعیین شده

استفاده از آنزیم‌های گزیننده می‌تواند بهبود یابد، اما ظرفیت جذب آب الیاف شاخه‌ای و خشک شده^۱ نمی‌تواند با بعضی از این آنزیم‌ها بازیابی شود [۶]. نتایج کاربرد آنزیم‌های تجاری در ارتقاء کیفیت الیاف بازیافتی OCC نشان داد که همه تیمارهای آنزیمی قادر به بهبود قابلیت زه‌کش خمیر کاغذ می‌باشند. در بیشتر موارد، این بهبود با افت مقاومت کاغذ همراه بوده است همچنین تأثیر تیمار آنزیمی و پالایش الیاف دست دوم (تیمار الیاف با آنزیم سلولاز تجاری به‌تنهایی و در ترکیب با مرحله پالایش) بر بهبود ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی برای تولید کاغذ مقوا نشان داد که سلولاز، قابلیت آب‌گیری الیاف بازیافتی را به‌طور مؤثر بهبود می‌بخشد، اما این بهبود همراه با تأثیر جدی بر مقاومت خمیر کاغذ بوده است. این تأثیر به عمل آنزیم بر روی سطح الیاف، پوست‌کنی بیرونی لیفچه‌های سلولزی آب‌دوست، هیدرولیز نرمة‌ها و تغییر ویژگی‌های سطحی الیاف نسبت داده شده است [۷]. نتایج بررسی تأثیر دو نوع آنزیم تجاری Pergalase A40 (مخلوط آنزیم سلولاز و همی سلولاز تولید شده از قارچ *Trichoderma reesei* و همچنین *Indiage super-L* (اندوگلوکاناز خالص III) بر درجه روانی خمیر کاغذ و ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای بازیافتی نشان داد که آنزیم *Indiage super-L* در بهبود درجه روانی مؤثرتر است. همچنین در اثر تیمار آنزیمی با هر دو نوع آنزیم، شاخص پارگی کاهش یافته در حالی که نفوذپذیری هوا و مقاومت کششی و ترکیب کاغذ بهبود یافتند [۸]. نتایج بررسی آزمایشگاهی در زمینه کاربرد آنزیم‌های همی سلولاز تجاری در مخلوط خمیر کاغذ پهن‌برگ رنگ‌بری شده صنعتی شامل آکاسیا و مخلوط پهن‌برگ گرمسیری نشان داد که تیمار آنزیمی موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی (۳۰-۶ درصد) و بهبود درجه روانی و ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ می‌شود [۹]. تأثیر پیش تیمار با سلولاز و زایلاناز را بر درجه روانی، قابلیت کوبیدن و انرژی پالایش خمیر کاغذ APMP گونه تند رشد صنوبر مورد بررسی قرار گرفت. در مقایسه با خمیر کاغذ پیش تیمار نشده، درجه روانی خمیرهای کاغذ تیمار شده با آنزیم در محدوده ۵۵-۲۵ میلی‌لیتر افزایش یافته و انرژی پالایش از ۲۲ به ۱۲/۵ درصد کاهش یافت. همچنین قابلیت کوبیدن خمیر کاغذ پیش تیمار شده با سلولاز و زایلاناز بهبود یافت

¹ Dried hornified fibers

² White office paper

پالایش خمیرهای کاغذ

به منظور بررسی تأثیر پالایش و تعیین سطح بهینه درجه روانی، خمیر کاغذ شاهد و همچنین خمیر کاغذهای تیمار شده با آنزیم (در مقادیر مختلف آنزیم مصرفی و زمان های مختلف تیمار آنزیمی) با دستگاه پالایشگر آزمایشگاهی PFI mill در سطوح مختلف (تعداد دوره های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰) مطابق با استاندارد TAPPI T 247 om-85 پالایش شدند. پس از پالایش درجه روانی خمیرهای کاغذ تیمار شده و شاهد اندازه گیری شدند. در پایان برای یافتن تیمار بهینه، تأثیر پالایش بر ویژگی های پالایش پذیری و سرعت آب گیری خمیر کاغذ شاهد و همچنین خمیرهای کاغذ تیمار شده با مقادیر مختلف آنزیم و زمان های مختلف تیمار آنزیمی ارزیابی شد.

تعیین درجه روانی خمیر کاغذ

درجه روانی خمیر کاغذ شاخصی از مقاومت الیاف در برابر عبور آب است. تعیین درجه روانی خمیر کاغذ بر مبنای استاندارد کانادایی (میلی لیتر، ml، CSF)، مطابق با استاندارد TAPPI T 227 om-99 انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق از طرح کاملاً تصادفی به منظور مقایسه داده های به دست آمده از اندازه گیری ویژگی های فیزیکی در سطوح مختلف آنزیم، زمان تیمار و دور پالایش تیمارها استفاده شد. همچنین با استفاده نرم افزار آماری SPSS آزمون تجزیه واریانس نمونه ها به روش ANOVA و مقایسه میانگین ها به کمک آزمون دانکن در سطح اعتماد ۹۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر سطوح مختلف آنزیم و دور پالایش بر درجه

روانی خمیر کاغذ

تأثیر مقادیر مختلف آنزیم

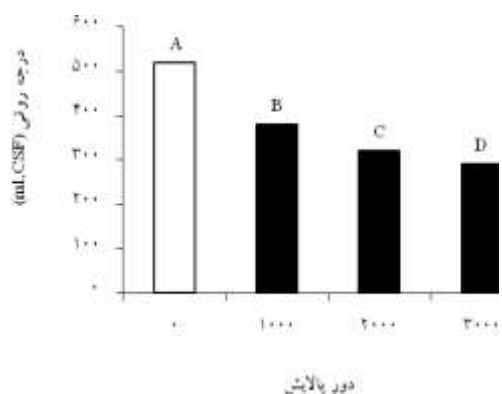
نتایج به دست آمده از تأثیر مقادیر مختلف آنزیم اندوگلوکاناز بر درجه روانی خمیر کاغذ پالایش نشده نشان داد که در مقایسه با نمونه شاهد، افزودن آنزیم تأثیر معنی داری را در سطح اعتماد ۹۵٪ در بهبود افزایش

است. خمیر کاغذ تولیدی پس از آب گیری بر روی غربال با مش ۲۰۰، در تیمار آنزیمی با اندوگلوکاناز مورد استفاده قرار گرفت.

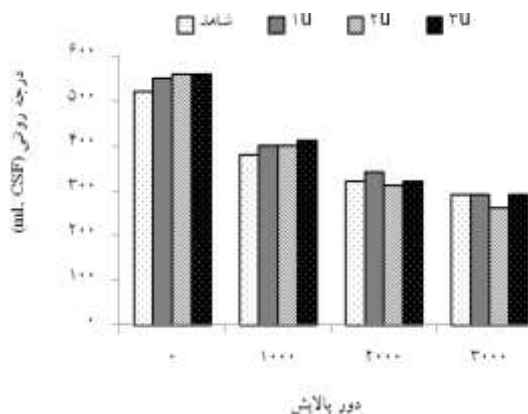
تهیه آنزیم و انجام پیش تیمار آنزیمی

برای انجام تیمارهای آنزیمی از آنزیم سلولاز تجاری (از نوع اندوگلوکاناز) به صورت محلول استفاده شد. این آنزیم از شرکت Novozymes تهیه شد. میکروارگانیسم تولیدکننده این آنزیم از قارچ *Trichoderma reesei* استخراج شده و فعالیت آن ۷۰۰ EGU/mg است. پیش تیمار آنزیمی با آنزیم اندوگلوکاناز در درون کیسه های پلاستیکی در حمام بخار آب انجام شد. آنزیم اندوگلوکاناز در سه سطح ۱u، ۲u و ۳u (بر پایه وزن خشک خمیر کاغذ) در شرایط درصد خشکی ۵ درصد و محدوده pH=۵ به خمیر کاغذ افزوده شد. البته تنظیم pH خمیر کاغذ پیش از افزودن آنزیم با محلول اسیدسولفوریک یا محلول سود سوزآور انجام شد. پیش تیمارهای آنزیمی در داخل حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت انجام شد. در مرحله تیمار آنزیمی، محتویات کیسه به طور متناوب هم زده شد. پس از پایان مدت زمان لازم برای پیش پالایش، از پروکسید هیدروژن (به میزان ۰/۰۵ درصد وزن خشک خمیر کاغذ در مدت زمان ۱۰ دقیقه) برای غیرفعال نمودن آنزیم استفاده و سپس محتویات کیسه به کمک صافی بوختر آب گیری شد. لازم به یادآوری است که انتخاب غلظت بهینه ۱u به این دلیل بوده که به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر بوده و در ضمن این که مقادیر بیشتر آنزیم تأثیر تخریبی بیشتری روی الیاف و پالایش پذیری خمیر کاغذ داشته است. با میزان بهینه آنزیم (۱u)، خمیر کاغذ OCC در چهار سطح زمانی (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ ساعت) در شرایط ثابت فرآیندی تیمار شده و زمان بهینه تیمار آنزیمی (انتخاب زمان بهینه بر پایه ویژگی های فیزیکی - مکانیکی خمیر کاغذ صورت گرفت) تعیین شد. پس از انجام تیمارهای مختلف آنزیمی، نمونه های خمیر کاغذ (خمیر کاغذ شاهد و خمیر کاغذهای تیمار شده با آنزیم) تحت تأثیر دوره های مختلف پالایش (۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور) قرار گرفته و ویژگی های پالایش پذیری و سرعت آب گیری آن ها ارزیابی شد.

مختلف در خمیرهای کاغذ پالایش شده (در دوره‌های مختلف) موجب بهبود معنی‌دار درجه‌روانی و سرعت آب‌گیری خمیر کاغذ شده است. با افزایش میزان پالایش خمیر کاغذ (در سطوح بالاتر پالایش) تأثیر افزایش غلظت آنزیم در افزایش درجه‌روانی و بهبود سرعت آب‌گیری کمتر دیده شده است (شکل ۳). دلیل این امر را می‌توان این‌طور بیان نمود که با افزایش میزان پالایش و تولید نرمه‌های بیشتر، سطوح مشخص آنزیم قادر به توده‌سازی یا هیدرولیز نرمه‌ها نبوده و درجه‌روانی به میزان کمی افزایش می‌یابد. همان‌طور که مشخص است با افزایش میزان پالایش، درجه‌روانی خمیر کاغذ کاهش یافته است. از آنجایی که میزان آنزیم مصرفی در هر دور پالایش ثابت بوده سرانه مصرف آنزیم برای واحد وزن نرمه کمتر شده لذا از کارایی آن در حذف نرمه و بهبود آب‌گیری کاسته است.

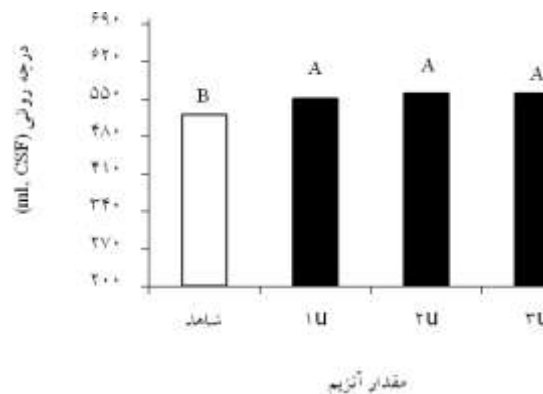


شکل ۲- تغییرات درجه‌روانی خمیر کاغذ پالایش شده در دوره‌های مختلف پالایش



شکل ۳- تغییرات درجه‌روانی خمیر کاغذ پالایش شده در سطوح مختلف پالایش و میزان آنزیم

درجه‌روانی خمیر کاغذ OCC دارد. آزمون دانکن مقادیر درجه‌روانی را در ۲ گروه جداگانه قرار داده است (شکل ۱). با توجه به شکل ۱، افزایش غلظت آنزیم از ۱u به ۳u موجب بهبود درجه‌روانی خمیر کاغذ شده اما این بهبود به لحاظ آماری معنی‌دار نیست. بیشترین درجه‌روانی به میزان ۵۶۰ میلی‌لیتر در تیمارهای شامل ۲u و ۳u به‌طور مشابه دیده شده است.



شکل ۱- تغییرات درجه‌روانی خمیر کاغذ پالایش نشده در مقادیر مختلف آنزیم

تأثیر دور پالایش بر درجه‌روانی خمیر کاغذ

نتایج به‌دست‌آمده از تأثیر سطوح مختلف دور پالایش بر درجه‌روانی خمیر کاغذ OCC نشان داد که افزایش میزان پالایش تأثیر معنی‌داری را بر درجه‌روانی خمیر کاغذ در سطح اعتماد ۹۵٪ دارد. آزمون دانکن مقادیر درجه‌روانی خمیر کاغذ را در ۴ گروه جداگانه قرار داده است. به‌طوری‌که تیمار شاهد و تیمار شامل ۳۰۰۰ دور پالایش، به ترتیب بیشترین درجه‌روانی (۵۲۰ میلی‌لیتر) و کم‌ترین میزان درجه‌روانی (۲۹۰ میلی‌لیتر) را دارند. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش میزان پالایش، درجه‌روانی کاهش یافته است (شکل ۲). افزایش میزان پالایش باعث لیفچه‌ای شدن سطحی الیاف و کاهش میانگین طول الیاف می‌شود که این امر همراه با افزایش تولید نرمه و کاهش خروج آب دلیل اصلی کاهش درجه‌روانی خمیر کاغذ است [۱۲].

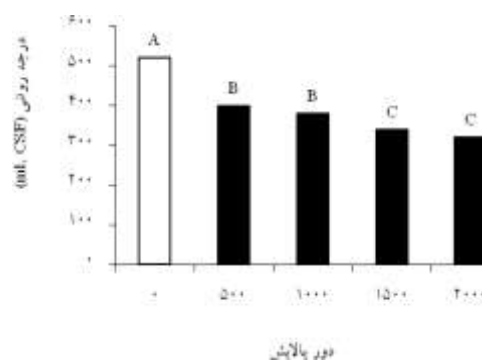
تأثیر مقادیر مختلف آنزیم در سطوح مختلف پالایش

بر درجه‌روانی خمیر کاغذ

نتایج به‌دست‌آمده از تأثیر مقادیر مختلف آنزیم در سطوح مختلف پالایش نشان داد که افزودن آنزیم در سطوح

تأثیر دور پالایش بر درجه روانی خمیر کاغذ

تجزیه واریانس مقادیر درجه روانی خمیر کاغذ نشان می‌دهد که تأثیر دور پالایش بر مقادیر درجه روانی خمیر کاغذ در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی‌دار است. البته با افزایش دور پالایش از ۵۰۰ به ۱۰۰۰ دور و همچنین از ۱۵۰۰ به ۲۰۰۰ دور، اختلاف معنی‌دار آماری در مقادیر درجه روانی خمیر کاغذ دیده نشده است. آزمون دانکن مقادیر درجه روانی خمیر کاغذ را در ۳ گروه جداگانه قرار داده است. مطابق با این آزمون بیشترین مقدار درجه روانی به خمیر کاغذ شاهد اختصاص دارد. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، با افزایش دور پالایش، درجه روانی خمیر کاغذ در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد روندی کاهشی داشته است (شکل ۴). با توجه به آنچه در بخش پیشین بیان شد علت اصلی می‌تواند لیفچه‌ای شدن بیرونی الیاف و جدا شدن نرمه‌ها باشد [۷].



شکل ۴- تغییرات درجه روانی خمیر کاغذ پالایش شده در دورهای مختلف پالایش

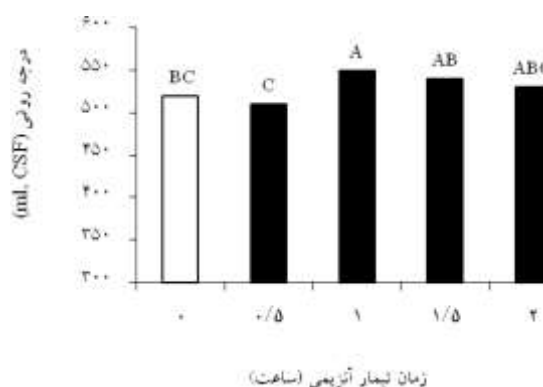
تأثیر زمان‌های مختلف تیمار آنزیمی و سطوح پالایش بر درجه روانی خمیر کاغذ

تأثیر زمان تیمار آنزیمی بر درجه روانی خمیر کاغذ پالایش نشده

نتایج ارزیابی تأثیر زمان‌های مختلف تیمار آنزیمی (در غلظت ثابت ۱۰ u آنزیم) بر درجه روانی خمیر کاغذ OCC نشان داد که افزودن زمان تیمار از ۰/۵ به ۲ ساعت تأثیر معنی‌داری بر درجه روانی داشته است. مقایسه میانگین درجه روانی خمیر کاغذ نیز نشان می‌دهد که بین درجه روانی خمیر کاغذ تیمار شده در زمان ۰/۵ ساعت و همچنین خمیر کاغذ تیمار شده در زمان ۱ ساعت اختلاف معنی‌داری به لحاظ آماری وجود دارد (شکل ۵). بیشترین درجه روانی (۵۵۰ میلی‌لیتر) مربوط به زمان تیمار ۱ ساعت و کمترین آن (۵۱۰ میلی‌لیتر) مربوط به زمان تیمار ۰/۵ ساعت است. نتایج مقایسه میانگین‌ها بیان‌گر آن است که اعمال تیمار آنزیمی در گام نخست (۰/۵ ساعت) موجب کاهش درجه روانی خمیر کاغذ شده است. همچنین با افزایش زمان تیمار آنزیمی، درجه روانی خمیرها ابتدا روندی افزایشی و سپس کاهشی داشته است. به نظر می‌رسد که در تیمار ۰/۵ ساعت آنزیمی به واسطه تأثیر آنزیم بر روی سطح الیاف (عمل لیفچه‌ای شدن) و تولید نرمه‌های بیشتر در خمیر کاغذ، قابلیت جذب آب افزایش یافته و در نتیجه موجب کاهش درجه روانی شده است؛ اما با طولانی شدن زمان تیمار آنزیمی از ۰/۵ به ۲ ساعت می‌توان استنباط نمود که به دلیل تأثیر آنزیم بر هیدرولیز لایه بیرونی الیاف و زدودن نرمه، درجه روانی خمیر کاغذ افزایش یافته است.

تأثیر زمان تیمار آنزیمی در سطوح مختلف پالایش بر درجه روانی خمیر کاغذ

ارزیابی تأثیر زمان تیمار آنزیمی بر درجه روانی دو خمیر کاغذ پالایش نشده و پالایش شده در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج بیانگر آن است که درجه روانی خمیرهای تیمار شده به مدت ۰/۵ ساعت در سطوح مختلف دور پالایش در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد کاهش یافته است. این شاخص بیشتر با لیفچه‌ای شدن بیرونی الیاف و نرمه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. افزایش لیفچه‌ای شدن بیرونی به احتمال زیاد مربوط به آنزیم‌های



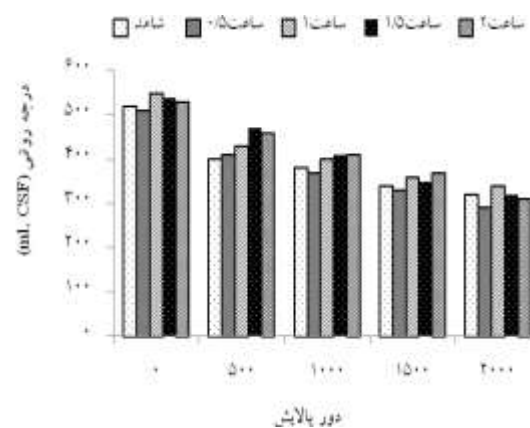
شکل ۵- تغییرات درجه روانی خمیر کاغذ پالایش نشده در زمان‌های مختلف تیمار

های بیشتر آنزیم، توده شدن اهمیت کمتری داشته و هیدرولیز نرمه‌ها غالب است [۴]. در نتیجه استفاده از آنزیم چه در سطح مقادیر کمتر (۱u) و چه در سطح مقادیر بیشتر (۳u) موجب بهبود سرعت آب‌گیری و افزایش درجه‌روانی خمیر کاغذ شده‌است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از تأثیر غلظت‌های مختلف آنزیم اندوگلوکاناز بر درجه‌روانی دو خمیر کاغذ پالایش نشده و پالایش‌شده (در سطوح مختلف) نشان داد که در مقایسه با نمونه شاهد، افزودن آنزیم تأثیر معنی‌داری را بر بهبود درجه‌روانی و سرعت آب‌گیری خمیر کاغذ دارد، اما با افزایش میزان پالایش خمیر کاغذ (در سطوح بیشتر پالایش) تأثیر افزایش غلظت آنزیم در افزایش درجه‌روانی و بهبود سرعت آب‌گیری کمتر است. دلیل این امر را می‌توان این‌طور بیان نمود که با افزایش میزان پالایش و تولید نرمه‌های بیشتر، سطوح مشخص آنزیم قادر به توده‌سازی یا هیدرولیز نرمه‌ها نبوده و درجه‌روانی کمی افزایش می‌یابد.

تأثیر سطوح مختلف زمان تیمار آنزیمی و دور پالایش

نتایج تأثیر زمان‌های مختلف تیمار آنزیمی بر درجه‌روانی دو خمیر کاغذ پالایش نشده و پالایش‌شده نشان داد که درجه‌روانی خمیر کاغذهای تیمار شده به مدت ۰/۵ ساعت در سطوح مختلف دور پالایش در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد کم‌تر است، اما با طولانی شدن زمان تیمار آنزیمی از ۰/۵ به ۲ ساعت تأثیر معنی‌داری در افزایش درجه‌روانی خمیر کاغذ دیده‌شده‌است. شاخص درجه بیشتر با لیفچه‌ای شدن بیرونی الیاف و نرمه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. افزایش لیفچه‌ای شدن بیرونی احتمال مربوط به آنزیم‌های اندوگلوکاناز موجود در مخلوط سلولاز است که زنجیرهای سلولزی سطح الیاف را بدون آزادسازی آن‌ها از سطح، برش می‌دهد [۱۳]. دلیل عمده این اختلاف حمله آنزیمی با مکانیسم لایه‌برداری است که نرمه‌ها و لیفچه‌ها را جدا نموده، در نتیجه بخش باقی‌مانده الیاف آب‌گریزتر بوده و آسان‌تر زه‌کش می‌شوند. افزایش زه‌کش ممکن است به شکسته شدن سلولزهای سطح نرمه‌ها مربوط باشد. با افزایش میزان پالایش خمیر کاغذ (در سطوح بالاتر پالایش) تأثیر افزایش زمان تیمار آنزیمی در افزایش درجه‌روانی و بهبود سرعت آب‌گیری کم‌تر

اندوگلوکاناز موجود در مخلوط سلولاز است که زنجیرهای سلولزی سطح الیاف را بدون آزادسازی آن‌ها از سطح، برش می‌دهد [۱۳]. در همه سطوح پالایش، طولانی شدن زمان تیمار آنزیمی از ۰/۵ به ۲ ساعت تأثیر معنی‌داری را در افزایش درجه‌روانی خمیر کاغذ ایجاد کرده‌است (شکل ۶). همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود با افزایش میزان پالایش خمیر کاغذ (در سطوح بالاتر پالایش) تأثیر افزایش زمان تیمار آنزیمی در افزایش درجه‌روانی و بهبود سرعت آب‌گیری کم‌تر دیده‌شده‌است.



شکل ۶- تغییرات درجه‌روانی خمیر کاغذ پالایش شده در سطوح مختلف پالایش و زمان تیمار آنزیمی

نتیجه‌گیری

تأثیر سطوح مختلف آنزیم و دور پالایش

درجه‌روانی، شاخصی از ظرفیت جذب و نگهداری آب توسط الیاف است. از سوی دیگر درجه‌روانی شاخصی مهم در پالایش و سرعت آب‌گیری خمیر کاغذ است و در مورد خمیر کاغذهای OCC که دارای مقادیر نرمه بیشتر و همچنین مشکل زمان آب‌گیری می‌باشند، دارای اهمیت بیشتری است [۱۴ و ۱۵]. با افزایش میزان مصرف آنزیم، مقادیر درجه‌روانی خمیر کاغذهای OCC بهبود یافته‌است. هنگامی که میزان آنزیم کمتری مصرف شود آنزیم‌ها بیشتر به توده شدن کمک می‌کنند. در این مورد نرمه‌ها و ذرات ریز الیاف با یکدیگر و یا با الیاف بزرگ‌تر کلوخه^۱ می‌شوند. در نتیجه میزان ذرات ریز خمیر کاغذ کاهش یافته و قابلیت زه‌کش خمیر کاغذ بهبود می‌یابد. از سوی دیگر در غلظت-

^۱ Aggregate

شدن الیاف و شکل گیری نرمه‌ها و در نهایت کاهش سرعت آب گیری خمیر کاغذ می شود [۱۷]. این نتایج با یافته‌های به دست آمده از تحقیق Gil و همکاران (۲۰۰۹) و Wu و همکاران (۲۰۱۰) همخوانی دارد [۱۵ و ۱۶].

است. دلیل این امر را می توان این طور بیان نمود که با ادامه روند پیش تیمار آنزیمی در سطوح بالاتر پالایش، گرانی و درجه پلیمریزاسیون خمیر کاغذ کاهش می یابد [۲]. این امر منجر به کاهش مقاومت ذاتی الیاف، کوتاه

مراجع

- [1] Ghasemian, A. and Akbarpour, I., 2011. The strategy of paper recycling and its position on supplying the lignocellulosic materials required for local pulp and paper industries, 1st Way Map Conference for Supplying of Raw Material and Development of Wood and paper Industry at Horizon 1404, pp.4-22.
- [2] Singh, R. and Bhardvaj., 2011. Enzymatic treatment of recycled fibers for improving of drainage: An overview, Journal of IPPTA 23(2): 121-126.
- [3] Bajpai, P.K., 2010. Solving the Problems of Recycled Fiber Processing with Enzymes, Journal of Bioresources 5(2): 1-15.
- [4] Verma, P., Bhardwaj, N.K. and Chakraborti, S.K., 2010. Enzymatic Upgradation of Secondary Fibers, Journal of IPPTA 22(4): 133-136.
- [5] Kamaya, Y., 1996. Role of endoglucanase in enzymatic modification of bleached Kraft pulp, Journal of Ferment Bioenergy 82(6): 549-553.
- [6] Oksanen, T., Pere, J., Paavilainen, L.J., Buchert, J. and Viikari, L., 2000. Treatment of Recycled Kraft Pulps with *Trichoderma Reesei* Hemicellulases and Cellulases, Journal of Biotechnology 78: 39-48.
- [7] Pala, H., Mota, M. and Gama, F.M., 2002. Refining and Enzymatic Treatment of Secondary Fibers for Paperboard Production, Cyberflex Measurement of Fiber Flexibility Cost E20-Wood Fiber Cell Wall Structure.
- [8] Dienes, D., Egyhazi, A. and Reczey, K., 2004. Treatment of Recycled Fiber with *Trichoderma* Cellulases, Journal of Industrial Crops and Products (20): 11-21.
- [9] Tripathi, S., Nirmal, Sh., Mishra, O., Bajpai, P. and Bajpai, P.K., 2008. Enzymatic Refining of Chemical Pulp, Journal of IPPTA 20(3): 129-132.
- [10] Yang, G., Lucia, L.A., Chen, J., Cao, X. and Liu, Y., 2011. Effect of Enzyme Treatment on the Beatability of Fast-Growing Poplar Pulp, Journal of Bioresources 6(3):2568-2580 Bhardwaj, N.K., Bajpai, P., and Bajpai, P.K. 1996. Use of Enzymes in Modification of Fibers for Improved Beatability, Journal of Biotechnology 51: 21-26.
- [11] Maximino, M.G., Taleb, M.C., Adell, A.M. and Formento, J.C., 2011. Application of Hydrolitic Enzymes and Refining on Recycled Fibers, Journal of Cellulose Chemistry and Technology 45(5-6): 397-403.
- [12] Sheldon, Rd., 2001. Introduction to Stock prep Refining. Manchester, CT 06040 (860) 645-5340, Access in www.finebar.com.
- [13] Afra, E., 2003. Properties of paper, Agriculture Science Press, 392p. (In Persian).
- [14] Mirshokrai, A., 2000. Handbook of pulp and paper technology, 2nd Ed., Aeezh, Tehran, 520p. (In Persian).
- [15] Gil, N., Gil, C., Amaral, M.E., Costa, A.P. and Duarte, A.P., 2009. Use of Enzymes to Improve the Refining of a Bleached *Eucalyptus Globulus* Kraft Pulp, Biochemical Engineering Journal 46: 89-95.

- [16] Wu, Q., Chen, J., Yang, G., Wang, Sh., Kong, F. and Dong, Yi, 2010. Improvement of drainability of poplar APMP pulp by enzymes treatment, [www.tappi.org/ Downloads/Conference-Papers/10PAP137.aspx](http://www.tappi.org/Downloads/Conference-Papers/10PAP137.aspx)
- [17] Lecourt, M., Sigoillot, J. and Petit-Conil, M., 2010. Cellulose-Assisted Refining of Chemical Pulp: Impact of Enzymatic Charge and Refining Intensity Consumption and Pulp Quality, *Journal of Process Biochemistry* 45: 1274-1278.

Investigation of the Effect of Endoglucanase Treatment on Beatability and Drainage Rate of OCC Pulps

Abstract

This research was performed to investigate of different endoglucanase levels and enzymatic treatment times on the beatability and drainage rate of OCC pulp. Endoglucanase enzyme with different dosages including 1u, 2u and 3u (on oven dry based pulp) at different times of 0.5, 1, 1.5 and 2 hours under constant process conditions added to OCC pulp in two states namely refined and unrefined. Treated pulps under different conditions were evaluated at the point of beatability and drainage rates. The results showed that addition of enzyme caused to improve (confidence level of 95%) freeness and drainage rate, compared to control sample but improvement of freeness with increasing of endoglucanase dosages was not observed significantly. The results of the effect of different enzyme levels at different refining levels was shown that addition of different enzyme dosages to pulps refined at different levels, caused to improve freeness and drainage rate. With increasing the degree of pulps refining (higher levels of refining), the effect of enzyme concentration was observed a little to improve freeness and drainage rate. Also in total refining levels, longer treatment by enzyme from up to 1 hours (using optimum dosage 1u) was led a significant effect on increasing the freeness while there was not a significant decrease of freeness at longer times than 1 hour.

Key words: OCC pulp, Endoglucanase enzyme, Beatability, Drainage rate.

E. Afra^{1*}
I. Akbarpour²
N. Hezbi³
Hossein Resalati⁴

¹Assistant Professor, ²Ph.D Candidate,
³M.Sc. Graduate, Department of Pulp and Paper Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan,

⁴Professor, Department of Wood and Paper Industries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Corresponding author:
elyasafra@yahoo.com

Received: 2012.08.08
Accepted: 2013.07.20