بررسی امکان استفاده از آنزیم زایلاناز در پیش‌رنگبری خمیر کاغذ کرافت راش[1]

علی‌اکبر عنایتی[2*]، رضا ابراهیمی‌مجدر[3]، حسین رسالتی[4] و داود پارساپژوه[5]

[2] دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

[3] کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

[4] دانشیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

[5] استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۴/۲/۲۴، تاریخ تصویب: ۸۴/۱۱/۲۴)

چکیده

در این پژوهش امکان استفاده از آنزیم زایلاناز در پیش‌رنگبری خمیر کاغذ و کرافت راش بررسی شد. آنزیم زایلاناز تجارتی حاصل از قارچ *Trichoderma viride* در مقادیر ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ واحد و سطوح زمانی ۱۲، ۱۶ و ۲۰ ساعت بر خمیر کاغذ تاثیر داده شد و سپس رنگبری اصلی با دو توالی B_1 (هیپوکلریت ۲ درصد با زمان ۱ ساعت + استخراج قلیایی + هیپوکلریت ۱/۵ درصد با زمان ۲ ساعت) و B_2 (هیپوکلریت ۲ درصد با زمان ۲ ساعت + استخراج قلیایی + هیپوکلریت ۱/۵ درصد با زمان ۲ ساعت) انجام شد. نتایج نشان داد نمونه‌های تیمارشده با آنزیم که با توالی B_2 رنگبری شده‌اند، نسبت به نمونه‌های رنگبری شده با توالی B_1، عدد کاپای پایین‌تر، درصد درجه روشنی بالاتر و درجه زردی کمتری دارند. صرف‌نظر از نوع توالی رنگبری، نمونه‌هایی که در آنها مقدار آنزیم ۲۵ واحد و زمان تاثیر آنزیم ۱۶ ساعت است، پایین‌ترین عدد کاپا، بالاترین درصد درجه روشنی و پائین‌ترین درجه زردی را به خود اختصاص داده‌اند. مقادیر عدد کاپا، درصد درجه روشنی و درجه زردی در تیمار شاهد که با توالی B_1 به‌ترتیب برابر ۱۱/۲، ۴۶/۴ و ۳۴/۳ درصد و در تیمار شاهد که با توالی B_2 رنگبری شده‌اند، به‌ترتیب برابر ۸/۹، ۵۵/۴ و ۲۹/۷ درصد است. این مقادیر در نمونه‌های تیمار شده با آنزیم به تعداد ۲۵ واحد و زمان تاثیر ۱۶ ساعت که با توالی B_1 رنگبری شده‌اند، به‌ترتیب به ۱۰/۲۱، ۵۷/۴ و ۲۶/۵ درصد و در نمونه‌های تیمار شده با آنزیم به تعداد ۲۵ واحد و زمان تاثیر ۱۶ ساعت که با توالی B_2 رنگبری شده‌اند، به‌ترتیب به ۷/۲۹، ۶۵/۵ و ۲۲/۳ درصد رسیده است. با افزایش مقدار آنزیم و زمان تاثیر آنزیم، بازده افت بیشتری پیدا کرده است. در تیمارهای با آنزیم به تعداد ۲۵ واحد و زمان تاثیر ۱۶ ساعت، درصد بازده حد متوسط تغییرات را به خود اختصاص داده است. به‌این ترتیب، صرف‌نظر از توالی رنگبری، مقدار آنزیم ۲۵ واحد و زمان تاثیر ۱۶ ساعت به‌عنوان تیمار بهینه آنزیمی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: راش، خمیر کاغذ کرافت، آنزیم زایلاناز، زیست رنگبری.

* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۲۶۱-۲۲۴۹۳۱۱ فاکس: ۰۲۶۱-۲۲۴۹۳۱۱ E-mail: aenayati@ut.ac.ir

۱- این تحقیق با استفاده از اعتبار مالی معاون پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است

مقدمه

فرایند کرافت، متداول‌ترین فرایند تهیه خمیر کاغذ درجهان است. مزایایی چون انعطاف پذیری نسبت به گونه چوبی، زمان پخت به نسبت کوتاه و مقاومت‌های زیاد کاغذ حاصله موجب شده که ۷۰ درصد تولید سالیانه خمیر کاغذ در جهان به‌این فرایند اختصاص یابد. یکی از عمده‌ترین معایب فرایند کرافت، رنگ تیره خمیر کاغذ است. طی فرایند کرافت قسمت اعظم لیگنین (حدود ۹۰ درصد) حذف می‌شود و مقدار اندکی از این ماده درخمیر کاغذ باقی می‌ماند که اغلب رنگ خمیر کاغذ ناشی از لیگنین باقیمانده (و البته رنگسازها) درآن است. برای رسیدن به خمیر کاغذ سفید باید لیگنین باقیمانده را از خمیر کاغذ حذف کرد. برای حذف لیگنین دو راه وجود دارد؛ خارج ساختن لیگنین (لیگنین‌زدایی) و تغییر دادن لیگنین. لیگنین‌زدایی که بیشتر برای خمیرکاغذهای شیمیایی انجام می‌شود، در چند مرحله جداگانه (توالی‌های مختلف) و در دهه ۱۹۸۰ میلادی اغلب با کلر، مواد شیمیایی کلردار و.... انجام گرفته است. توالی‌های کلردار و استخراج قلیایی پس از آن قادرند لیگنین باقیمانده را تا رسیدن به خمیر کاغذ سفید و مناسب برای کاغذهای چاپ و تحریر حذف کنند، ولی حذف هیدروکربن‌های حلقوی کلردارشده (سمی‌ترین ترکیبات مایع پساب فرایند رنگبری) از جریان پساب واحدهای صنعتی بسیار مشکل است و اغلب آثار زیان آور زیست محیطی دارند. مشکلات مذکور محققان را بر آن داشته که درفکر ابداع روش‌های رنگبری دوستدار محیط زیست باشند. دراین‌باره بحث رنگبری نوع کاملاً بدون کلر (TCF) و رنگبری نوع فاقد عنصر کلر (ECF) درمیان دانشمندان بسیار مورد تاکید است.

به‌کارگیری دی‌اکسید کلر، اکسیژن، اوزن و پراکسید هیدروژن در توالی‌های مختلف در راستای تحقق رنگبری ECF و TCF است، ولی از یک سو این مواد گران‌قیمت و از سوی دیگر، به‌کارگیری آنها در واحدهای صنعتی مستلزم سرمایه‌گذاری بسیار زیاد برای تغییر فرایند رنگبری است.

یکی از فن‌های جدید به‌عنوان مکمل به رنگبری ECF و TCF، کاربرد زیست‌فناوری در رنگبری (زیست‌رنگبری یا پیش‌رنگبری با آنزیم) است. به این منظور اغلب از آنزیم‌های حاصل از میکروارگانیسم‌های مختلف (قارچ‌ها و باکتری‌ها) استفاده می‌کنند؛ بدین‌صورت که با آنزیم یک مرحله پیش‌رنگبری انجام و سپس با استفاده از مواد شیمیایی و توالی‌های مختلف، رنگبری اصلی صورت می‌گیرد. به‌این ترتیب مصرف مواد شیمیایی کمتر می‌شود و درنتیجه آثار زیان‌آور زیست‌محیطی کاهش می‌یابد. درضمن از آنجا که میزان مصرف آنزیم در پیش‌رنگبری خمیرکاغذ، بسیار ناچیز است و در عین حال به‌کارگیری آن در واحدهای صنعتی مستلزم تغییر فرایند رنگبری نیست، به‌کارگیری این روش مقرون به صرفه خواهد بود.

به طور کلی آنزیم‌های مورد استفاده در رنگبری زیستی را در دو گروه همی‌سلولازها (که مهمترین آنها زایلاناز است که بر ساختار لیگنین تاثیری ندارد و فقط بر زایلان به عنوان رابط بین لیگنین و سلولز موثرند) و آنزیم‌های اکسیدکننده لیگنین (لاکاز، پراکسید از منگنز و لیگنین پر اکسیداز) قرار می‌دهند.

ویکاری و همکاران[1] (۱۹۸۶)، اثر زایلاناز در رنگبری خمیر کاغذ کرافت را مطالعه و گزارش کردند که زایلانازها بر خمیر کاغذ سوزنی‌برگان و خمیر کاغذ پهن‌برگان موثرند، ولی میزان تاثیر آن، بر خمیر کاغذ پهن‌برگان بیشتر است. هر چند سایر همی‌سلولازها نیز نتایج امیدوارکننده‌ای داشتند، ولی به اندازه زایلانازها(حتی درسوزنی‌برگان) موثر نیستند.

پ باجپایی و پ ک باجپایی[2] (۱۹۹۵) طی تحقیقی کاربرد آنزیم زایلاناز تجارتی در پیش‌رنگبری خمیر کاغذکرافت بامبو را بررسی و دریافتند که مصرف کلر در مرحله اول رنگبری ۲۰ درصد کاهش می‌یابد (درتوالی CEHD). به‌علاوه، دستیابی به درجه روشنی حدود ۸۹ (ISO٪) میسر شد. به‌کارگیری این آنزیم بر روی گران‌روی خمیر کاغذ و شاخص‌های مقاومتی کاغذ تغییری ایجاد نکرد.

۱- Veykary

۲- P.Bajpai P.K.Bajpai

کلاک و همکاران[1] (۱۹۹۷) تفاوت خانواده ۱۰ و خانواده ۱۱ آنزیم زایلاناز در افزایش توانایی رنگبری خمیرکاغذ سوزنی‌برگان و پهن‌برگان را بررسی و دریافتند که توانایی همه زایلانازها برای آزادسازی قندهای کاهش‌یافته از زایلان خمیرکاغذ (افزایش توانایی رنگبری) یکسان نیست. دربین شش آنزیمی‌که دراین تحقیق بررسی شد، فقط دو نوع از آنها که متعلق به خانواده ۱۱ بودند، در رنگبری موثر و موجب بهبود درجه روشنی شدند.

جی‌منس و همکاران[2] (۱۹۹۹) طی تحقیقی رنگبری خمیر کاغذ سودای ساقه گندم با استفاده از آنزیم Cartazyme و پراکسید هیدروژن را بررسی و دریافتند که با تیمار آنزیمی، بازده خمیر کاغذ، عدد کاپا و گران‌روی به ترتیب ۲۸/۳، ۲۷/۲ و ۶/۴ درصد کاهش می‌یابد و درجه روشنی، مقاومت ترکیدن و مقاومت پارگی به‌ترتیب ۴۲/۷، ۴۹/۷ و ۷/۷ درصد افزایش می‌یابد. آنها کیفیت ورق‌های کاغذ ساخته شده را قابل قبول گزارش کردند.

ترمبلی و آرشی بالده[3] (۲۰۰۰) طی تحقیقی به بررسی تولید آنزیم زایلاناز از باکتری *Bacillus cereus* و نقش آن در پیش‌رنگبری خمیر کاغذ کرافت سوزنی‌برگان و پهن‌برگان پرداختند و به‌این نتیجه رسیدند که زایلانازهای تولیدشده از این میکروارگانیسم موجب بهبود لیگنین‌زدایی خمیرکاغذ کرافت رنگبری نشده سوزنی‌برگان و پهن‌برگان می‌شود، ازاین‌رو درمیزان کلر مورد نیاز (برای رسیدن به یک درجه روشنی مشخص) بدون تغییر درخصوصیات فیزیکی الیاف کاهش رخ می‌دهد.

بگ و همکاران[4] (۲۰۰۰) طی تحقیقی کاربرد آنزیم زایلاناز حاصل از Streptomyces sp.QG-۱۱-۳ در رنگبری خمیر کاغذ کرافت اکالیپتوس را بررسی و بیان کردند به‌کارگیری این آنزیم سبب می‌شود که عدد کاپا ۲۵ درصد کاهش و درجه روشنی ۲۰ درصد افزایش یابد. همچنین مقاومت کششی ۶۳ درصد و شاخص ترکیدن ۸ درصد بهبود می‌یابد. آنها در مقایسه دو حالت تیمار آنزیمی زایلاناز (CX) دریافتند که حالت XC (در مقایسه با حالت CX)، به کاهش بیشتر عدد کاپا (۱۴ درصد) و افزایش بیشتر درجه روشنی منجر می‌شود.

شاه و همکاران (۲۰۰۰) طی تحقیقی تیمار خمیرکاغذ کرافت پهن‌برگان با آنزیم زایلاناز حاصل از *Thermotoga maritime* در دمای بالا (۹۰ درجه سانتی‌گراد) و شرایط قلیایی (PH =۱۰) باتوالی رنگبری $D_0ED_1ED_2$ را بررسی و دریافتند که درجه روشنی خمیر کاغذ تیمار شده با آنزیم، عدد ۵/۹۰ (ISO%) است، حال آنکه درجه روشنی خمیر کاغذ بدون تیمار آنزیمی ۷/۸۶ (ISO%) است.

بیزون و همکاران[5] (۲۰۰۱) طی تحقیقی اثر چند نوع آنزیم زایلاناز در رنگبری TCF و ECF خمیر کاغذ باگاس را بررسی کردند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، بیشترین تاثیر در رنگبری ECF با آنزیم زایلاناز p (درجه روشنی ۴/۸۵ (ISO%) به‌دست آمد. در رنگبری TCF نیز بهترین نتیجه با آنزیم زایلاناز P به‌دست آمد، اما نتایج به‌اندازه رنگبری ECF امیدوارکننده نبود (درجه روشنی ۵/۶۹ (ISO%). در این تحقیق، مطالعات SEM نیز بر روی الیاف تیمارشده با آنزیم‌ها انجام و تغییرات زیادی در سطح الیاف خمیر کاغذ مشاهده شد (ترک در سطح الیاف).

هونگ و شن[6] (۲۰۰۱) طی تحقیقی اثر آنزیم زایلاناز حاصل از قارچ T.ressei در بهبود رنگبری خمیر کاغذ CMP کاه گندم را بررسی و دریافتند در اثر تیمار آنزیمی، توانایی رنگبری خمیر کاغذ به طور چشمگیری افزایش و میزان مصرف پراکسید هیدروژن، ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. دراین بررسی درجه روشنی پس از دو مرحله رنگبری با پراکسید هیدروژن به ۶۰ (ISO%) رسید.

۱- J. G. Clarke

۲- L.Jimenez

۳- L.Tremblay و F.Archibald

۴- Beg

۵- S.Bisson

۶- F.Hong و Z.Shen

سرور جهان و هم کاران [1] (۲۰۰۱) طی تحقیقی تاثیر آنزیم در رنگبری خمیر کاغذ سودا- آنتراکینون الیاف کنف، پنبه، ذرت و باگاس را بررسی کردند و دریافتند با به‌کارگیری زایلاناز در خمیرهای کاغذ تهیه شده از گیاهان غیرچوبی، رنگبری بهبود می‌یابد، اما بر اساس نوع ماده اولیه‌این مسئله متفاوت خواهد بود. در اثر تیمار آنزیمی کاهش عدد کاپا به ترتیب برای پنبه، باگاس، ساقه ذرت و کنف برابر ۱/۲، ۱/۸، ۱/۲، ۱/۴ واحد کاهش وگرانروی به ترتیب برابر m.pa.s ۲/۸، ۲/۹، ۱/۶، ۱/۲ افزایش یافت. همچنین آنها به‌این نتیجه رسیدند که پیش‌تیمار آنزیمی به‌علاوه توالی DED درجه روشنی را به حدود ۸۰ (ISO%) می‌رساند.

دورات و همکاران[2] (۲۰۰۳) طی تحقیقی به بررسی تاثیر آنزیم زایلاناز حاصل از Bacillus pumilus بر روی خمیر کاغذکرافت اکالیپتوس پرداختند و به‌این نتیجه رسیدند که برای رسیدن به حداکثر درجه روشنی، ۰/۳ درصد کاهش درمیزان کلر حین استفاده از آنزیم زایلاناز حاصل می‌شود. در ضمن دریافتند اگر آنزیم زایلاناز قبل از توالی رنگبری به‌کار رود، بسیار مؤثرتر خواهد بود.

مواد و روش‌ها

چوب مورد نیاز برای انجام این تحقیق، گونه راش ایرانی *Fagus orientalis* بود که به‌صورت گرده‌بینه‌هایی از جنگل آموزشی خیرودکنار تهیه و به‌صورت دستی پوست‌کنی شدند. با استفاده از اره نواری به مکعب‌های هم شکل تبدیل و از آنها خرده‌های چوب به ضخامت ۳-۲ میلی‌متر، طول ۲/۵-۲ سانتی‌متر و عرض ۲-۱/۵ سانتی‌متر تهیه و با استفاده از فرایند کرافت، خمیر کاغذ مورد نیاز فراهم شد.

برای رنگبری خمیرکاغذ، از هیپوکلریت سدیم و هیدروکسید سدیم استفاده شد. هیپوکلریت مصرفی، از نوع صنعتی بود و برای تعیین کلر فعال آن، از تیتراسیون استفاده شد.

آنزیم زایلاناز تجارتی تولید شده توسط *Trichoderma viride* برای تیمار آنزیمی‌نمونه‌ها استفاده شد. شایان ذکر است که در تیمارهای آنزیمی‌از استات سدیم به‌عنوان بافرکننده استفاده شد.

خشک کردن خرده‌های چوب در محیط آزمایشگاه انجام شد و پس از تعیین درصد رطوبت در داخل کیسه‌های پلی اتیلن قرار داده شدند.

برای پخت، از دیگ پخت آزمایشگاهی دورانی استفاده شد. عمل پخت در شرایط قلیایی فعال ۲۰٪، سولفیدیته ۲۵٪، دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، نسبت مایع پخت به جرم خشک ماده چوبی (L/W) هفت به یک در زمان پخت با سه سطح ۱، ۱/۵ و ۲ ساعت انجام شد.

استوانه‌های حاوی خرده‌چوب و مایع پخت از ابتدای پخت در داخل دیگ قرار گرفت و زمانی که دما به ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد رسید، هر یک از زمان‌های پخت اعمال شدند.

پس از انقضای مدت زمان پخت، خرده‌های چوب، بر روی الک ۲۰۰ مش تخلیه و تا حذف کامل آثار مایع پخت، شست‌وشو شدند. آنگاه به‌مدت ۲۴ ساعت در داخل اتو با دمای ۲ ± ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس خمیر کاغذ خشک‌شده پس از سرد شدن در دسیکاتور، توزین و با استفاده از رابطه ۱۰۰ × = بازده پخت (٪)

بازده پخت محاسبه شد.

عمل جداسازی الیاف توسط دستگاه دفیبراتور آزمایشگاهی انجام شد. سپس وازده خمیر کاغذ به وسیله عبور دادن آن از الک ۱۶ مش جدا و خمیرکاغذ باقیمانده بر روی الک ۲۰۰ مش به‌عنوان خمیر کاغذ مناسب جمع‌آوری شد.

پس از تعیین درصد رطوبت خمیر کاغذ، برای جلوگیری از تبادل رطوبت با محیط، تمامی‌خمیر کاغذ در داخل کیسه‌های پلی اتیلن قرار داده شد.

پس از جداسازی وازده خمیر کاغذ، عدد کاپای خمیر کاغذ خشک‌شده که از پخت‌های مختلف به‌دست آمده بود، بر اساس استاندارد T236 om-99 اندازه‌گیری شد. آنگاه

۱- M.Sarwar Jahan

۲- M.C.T.Durarte

با توجه به مقادیر بازده عدد و کاپا، پخت مناسب (از نظر زمان)، برای مراحل بعدی انتخاب شد.

رنگبری خمیر کاغذ

رنگبری اصلی خمیر کاغذمورد نظر در این بررسی پس از تیمار آنزیمی (پیش‌رنگبری با آنزیم) صورت گرفت. برای پیش‌تیمار آنزیمی، از روش کیسه پلاستیکی استفاده شد.برای این منظور ابتدا مقدار آنزیم مورد نظر در هر تیمار، توزین و در استات سدیم ۵۰ mM (به‌عنوان بافر) حل شد. مقدار آنزیم در سه سطح ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ واحد برای هر گرم جرم خشک خمیر کاغذ و به داخل کیسه‌های پلاستیکی حاوی خمیر کاغذ با میزان خشکی ۱۰درصد و pH=۶/۵-۷ افزوده شد. سپس کیسه‌ها به داخل حمام آب با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شده و در سطح زمانی ۱۲، ۱۶ و ۲۰ ساعت کار پیش‌رنگبری انجام شد. در زمان اثر آنزیم، محتویات کیسه به‌طور متناوب هم زده شد. پس از اتمام مدت زمان لازم برای پیش‌رنگبری، محتویات کیسه بر روی الک ۲۰۰ مش تخلیه و توسط ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر شست‌وشو شد. پس از اتمام تیمار آنزیمی، رنگبری اصلی با توالی HEH و شرایط زیر برای نمونه‌های تیمار شده و شاهد انجام شد.

اثر هیپوکلریت (مرحله اول)

عوامل متغیر: میزان هیپوکلریت (H): در سه سطح ۱، ۱/۵ و ۲ درصد جرم خشک خمیر کاغذ.

زمان تاثیر (T) : در دو سطح ۱ و ۲ ساعت.

عوامل ثابت: دما: ۴۰ درجه سانتی‌گراد، درصد خشکی خمیرکاغذ: ۱۰ درصد، نسبت هیپوکلریت به هیدروکسید سدیم: ۴ به ۱، PH نهایی: ۹/۵ تا ۱۰/۳.

استخراج (E)

با هیدروکسید سدیم به میزان ۲ درصد وزن خشک خمیر کاغذ، زمان تاثیر ۲ ساعت، دما تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد، خشکی خمیر کاغذ : ۱۰درصد و PH نهایی آن ۱۰/۸ تا ۱۱/۴.

اثر هیپوکلریت (مرحله دوم)

عوامل متغیر: میزان هیپوکلریت (H): در سه سطح ۰/۷۵، ۱ و ۱/۵ درصد، جرم خشک خمیر کاغذ، زمان تاثیر (t): در دو سطح ۱ و ۲ ساعت. پس از اتمام مرحله رنگبری برای تعیین بازده، خمیرهای کاغذ تیمار شده و شاهد خشک و توزین شدند. سپس عدد کاپای آنها بنابر استاندارد T236 om-99 اندازه‌گیری شد. از خمیر کاغذهای حاصل بر اساس استاندارد T218 SP-97 کاغذ دست‌ساز تهیه، درجه زردی و روشنی آنها اندازه‌گیری شد.

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری عدد کاپا، درجه روشنی و زردی در قالب طرح فاکتوریل ۲×۳×۳ و با استفاده از تجزیه واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای گروه‌بندی میانگین‌های مربوط به هر یک از ویژگی‌ها از آزمون چند دامنه دانکن استفاده شد.

نتایج

عدد کاپا

شکل (۱) اثر مقدار آنزیم، زمان تاثیر آنزیم و توالی رنگبری بر روی عدد کاپا را نشان می‌دهد. در توالی‌های B_1 و B_2 کمترین عدد کاپا متعلق به مقدار آنزیم ۲۵ واحد و زمان تاثیر ۱۶ ساعت است. ضمن اینکه تفاوت عدد کاپای خمیرهای کاغذ ناشی از تاثیر آنزیم به مدت ۱۲ و ۲۰ ساعت در توالی B_2 معنی‌دار و در توالی رنگبری B_1 معنی‌دار نیست (جدول ۲). در توالی‌های B_1 و B_2 در مقدار آنزیم ۵۰ واحد با افزایش زمان تاثیر آنزیم از ۱۲ به ۲۰ ساعت، عدد کاپا به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، در حالی‌که در مقدار آنزیم ۱۰۰ واحد با افزایش زمان تاثیر آنزیم از ۱۲ به ۲۰ ساعت در میزان عدد کاپا افزایش معنی‌داری رخ نمی‌دهد (جدول ۲).

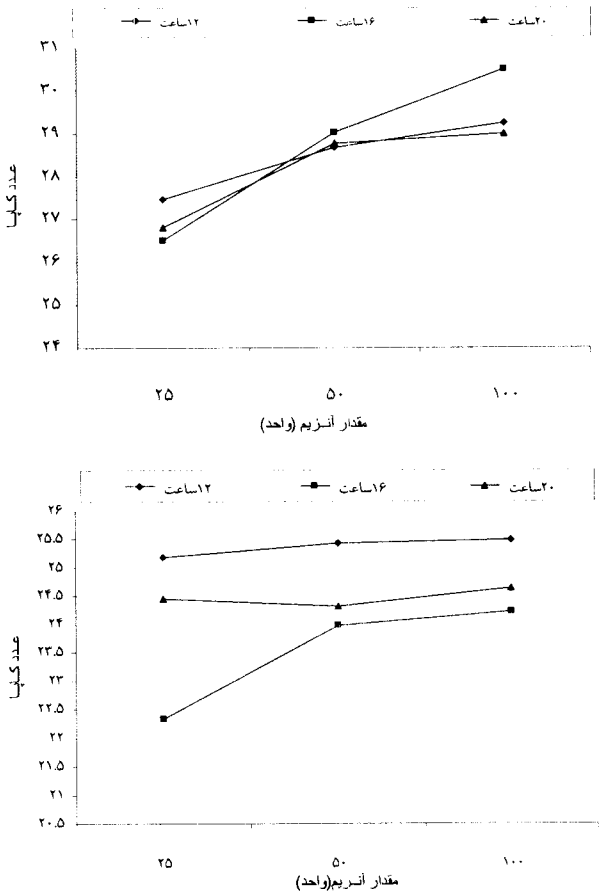
جدول ۱- میانگین عدد کاپا، بازده، درجه روشنی و زردی خمیر کاغذ تیمارها

تیمار			ویژگی			
توالی رنگبری	مقدار آنزیم (واحد)	زمان تاثیر آنزیم (ساعت)	عدد کاپا	بازده (٪)	درجه روشنی (ISO٪)	درجه زردی (٪)
	۰		۱۱/۲۱	۴۰/۳۱	۴۶/۴۴	۳۴/۳۱
		۱۲	۱۰/۵۵	۳۷/۵۳	۵۶/۲۴	۲۷/۴۶
	۲۵	۱۶	۱۰/۲۱	۳۷/۲۷	۵۷/۴۴	۲۶/۵۲
		۲۰	۱۰/۵۷	۳۶/۱۳	۵۶/۸۴	۲۶/۸
		۱۲	۱۱/۲۳	۳۷/۵۱	۵۳/۵۳	۲۸/۶۷
B_1	۵۰	۱۶	۱۱/۰۸	۳۷/۲۶	۵۳/۵۸	۲۹/۰۲
		۲۰	۱۰/۷۶	۳۶/۲۷	۵۴/۲۱	۲۸۷/۵۸
		۱۲	۱۱/۱۷	۳۶/۵۱	۵۲/۱۳	۲۹/۲۵
	۱۰۰	۱۶	۱۱/۲۴	۳۵/۳۳	۵۱/۴۴	۳۰/۴۹
		۲۰	۱۱/۱۴	۳۴/۹۱	۵۳/۳۲	۲۹/۰۰
	۰		۸/۹۶	۳۷/۴۱	۵۵/۶۴	۲۹/۷۴
		۱۲	۸/۷۴	۳۴/۴۷	۶۲/۵۶	۲۵/۱۹
	۲۵	۱۶	۷/۲۹	۳۳/۶۲	۶۵/۵۲	۲۲/۳۴
		۲۰	۸/۴۱	۳۲/۱۱	۶۳/۵۲	۲۴/۴۵
		۱۲	۸/۸۵	۳۳/۹۴	۶۱/۵۴	۲۵/۴۴
B_2	۵۰	۱۶	۸/۱۵	۳۳/۰۹	۶۳/۴۰	۲۳/۹۸
		۲۰	۸/۴۰	۳۱/۸۳	۶۳/۲۹	۲۴/۳۱
		۱۲	۸/۹۹	۳۲/۹۸	۶۱/۵۵	۲۵/۴۹
	۱۰۰	۱۶	۸/۴۹	۳۱/۷۷	۶۲/۸۸	۲۴/۲۳
		۲۰	۸/۷۱	۳۰/۱۹	۶۲/۵۹	۲۴/۶۴

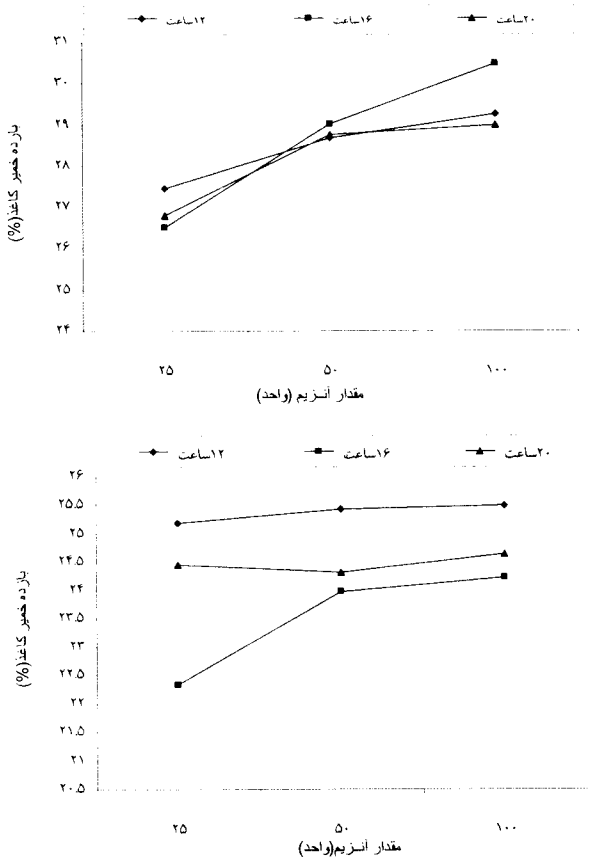
جدول ۲- تجزیه واریانس عدد کاپا، بازده ، درجه روشنی و زردی خمیر کاغذ

منبع تغییرات	عدد کاپا		بازده		درجه روشنی		درجه زردی	
	df	F	df	F	df	F	df	F
توالی رنگبری	۱	۵۷۳۹/۷×	۱	۴۳۲۴/۷×	۱	۹۳۴۰/۶×	۱	۴۰۴۱/۳×
مقدار آنزیم	۲	۱۴۷/۷۶×	۲	۲۸۲/۷۱×	۲	۳۹۸/۹۲×	۲	۲۹۷/۴۵×
زمان‌تاثیرآنزیم	۲	۸۳/۲۹×	۲	۳۶۰/۱۱×	۲	۶۴/۱۴×	۲	۶۲/۴۹×

× درسطح ۱ درصد معنی‌دار



شکل ۱- اثر مقدار آنزیم، زمان تاثیر و توالی رنگبری (B_1 بالا – B_2 پایین) بر عدد کاپا



شکل ۲- اثر مقدار آنزیم، زمان تاثیر و توالی رنگبری (B_1 بالا – B_2 پایین) بر عدد کاپا

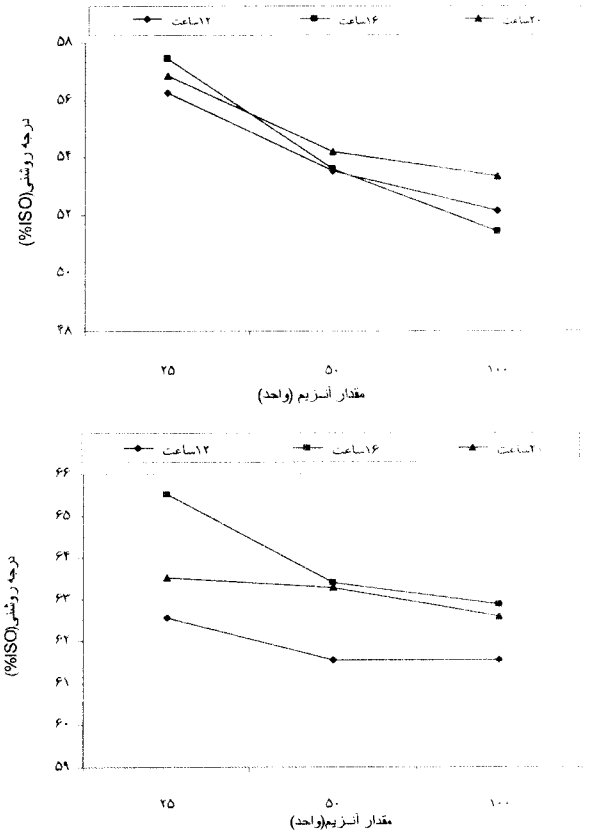
بازده خمیر کاغذ

شکل (۲) اثر مقدار آنزیم، زمان تاثیر آنزیم و توالی رنگبری را بر روی بازده خمیر کاغذ نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، خمیر کاغذ تیمارهای آنزیمی که با توالی B_1 رنگبری شده‌اند، نسبت به تیمارهای آنزیمی که با توالی B_2 رنگبری شده‌اند، بازده بالاتری دارند و اختلاف بین آنها معنی‌دار است. (جدول ۲) بیشترین مقدار بازده خمیر کاغذ متعلق به مقدار مصرف آنزیم ۲۵ واحد و زمان تاثیر آنزیم ۱۲ ساعت و توالی رنگبری B_1 است (۳۷/۵ درصد) که چون با مقدار بازده خمیر کاغذ مربوط به تیمار با همین مقدار آنزیم و زمان تاثیر آنزیم ۱۶ ساعت و توالی رنگبری مشابه (۳۷/۳) اختلاف معنی‌داری ندارد، ازاین‌رو می‌توان از آن به‌عنوان تیمار برتر نام برد.

درجه روشنی

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری درجه روشنی کاغذ حاصل از تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که کاغذ ناشی از خمیر کاغذ تیمارهای آنزیمی‌که با توالی B_2 رنگبری شده‌اند، نسبت به تیمارهایی که با توالی B_1 رنگبری شده‌اند، درجه روشنی بیشتری دارند. در ضمن درجه روشنی کاغذ ناشی از خمیر کاغذ تمامی تیمارهای آنزیمی (رنگبری شده با توالی B_1 و B_2) نسبت به نمونه‌های شاهد مربوط اختلاف معنی‌داری دارند. (جدول ۲) به عبارت دیگر، آنزیم در تمامی حالت‌ها، در افزایش درجه روشنی تاثیر مثبت داشته است. در بین تیمارهایی که با توالی B_2 رنگبری شده‌اند، نمونه‌هایی که با مقدار آنزیم ۲۵ واحد و زمان تاثیر ۱۶ ساعت تیمار شده‌اند، بیشترین افزایش درجه روشنی را نسبت به نمونه شاهد خود دارند. در این تیمار

درجه روشنی ۵/۶۵ (ISO%) رسیده که نسبت به شاهد، ۱۷/۷درصد افزایش نشان می‌دهد. در بین نمونه‌هایی که با توالی B_1 رنگبری شده‌اند، نمونه‌هایی که با مقدار آنزیم ۲۵ واحد و زمان تاثیر آنزیم ۱۶ ساعت تیمار شده‌اند، بیشترین افزایش درجه روشنی را نسبت به نمونه شاهد خود دارند. در این تیمار درجه روشنی خمیر کاغذ به ۴/۵۷ (ISO%) رسیده که نسبت به نمونه شاهد، ۲۳/۷ درصد افزایش یافته است (جدول ۱).

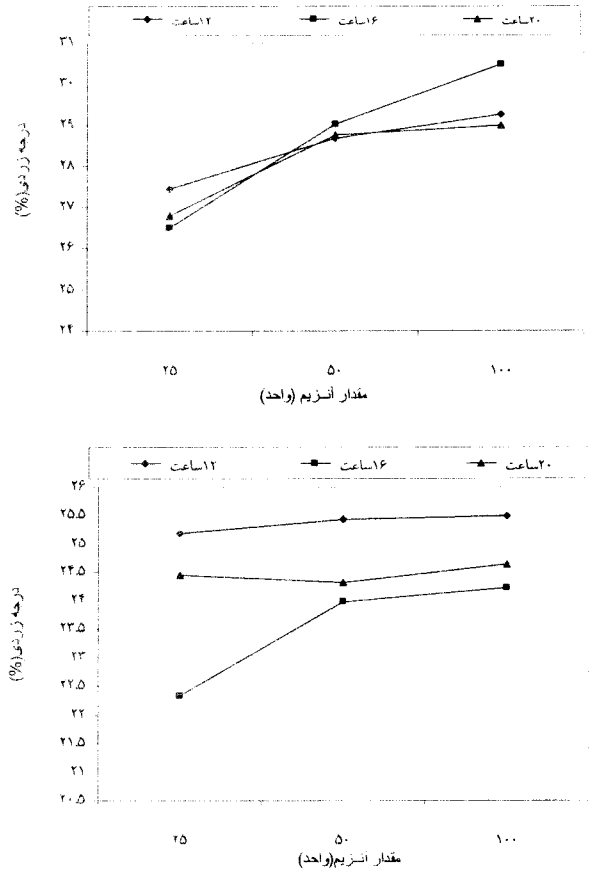


شکل ۳- اثر مقدار آنزیم، زمان تاثیر و توالی رنگبری (B_1 بالا – B_2 پایین) بر درجه روشن

درجه زردی

شکل (۴) اثر مقدار آنزیم، زمان تاثیر آنزیم و توالی رنگبری را بر درجه زردی نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در توالی‌های B_1 و B_2 در هر سه زمان تاثیر آنزیم کمترین درجه زردی متعلق به مقدار مصرف آنزیم ۲۵ واحد است، ضمن اینکه در مقدار مصرف آنزیم ۲۵ واحد، کمترین درجه زردی مربوط به توالی B_2 و زمان تاثیر آنزیم به مدت ۱۶ ساعت است. در توالی B_1 و در مقدار مصرف آنزیم ۵۰ واحد، بین درجه زردی خمیر کاغذ حاصل از تاثیر آنزیم به مدت ۱۲، ۱۶ و ۲۰ ساعت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۲). درحالی‌که در توالی B_2 این اختلاف معنی‌دار است، ولی به هر حال در توالی B_1 و در مقدار مصرف آنزیم ۱۰۰ واحد، بین درجه زردی خمیر کاغذ تهیه‌شده از نمونه‌های تیمار شده با آنزیم به مدت ۱۲ و ۲۰ ساعت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، در صورتی‌که در توالی B_2 این تفاوت معنی‌دار است. (جدول ۲)

بیشترین درجه زردی خمیر کاغذ در توالی B_1 متعلق به زمان تاثیر آنزیم به مدت ۱۶ ساعت و مقدار آنزیم ۲۵ واحد و در توالی B_2 به زمان تاثیر آنزیم به مدت ۱۲ و مقدار آنزیم ۱۰۰ واحد است.



شکل ۴- اثر مقدار آنزیم، زمان تاثیر و توالی رنگبری (B_1 بالا – B_2 پایین) بر درجه زردی

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد عدد کاپای خمیر کاغذ بعضی از تیمارهای آنزیمی‌نسبت به تیمار شاهد مربوط تغییری نکرده است (جدول ۱). تیمارهای آنزیمی‌که باتوالی B_2 رنگبری شده‌اند، نسبت به تیمارهایی که باتوالی B_1 رنگبری شده‌اند، عدد کاپای کمتری دارند. صرف‌نظر از توالی رنگبری، کمترین عدد کاپا متعلق به تیمارهایی است که درآنها مقدار مصرف آنزیم ۲۵ واحد و زمان تاثیر آنزیم ۱۶ ساعت است.

بازده خمیر کاغذ تیمارهای آنزیمی که با توالی B_2 رنگبری شده‌اند، نسبت به تیمارهایی که با توالی B_1 رنگبری شده‌اند، افت بیشتری داشته است. صرف‌نظر از توالی رنگبری، با افزایش مقدار مصرف آنزیم و همچنین زمان تاثیر آنزیم، بازده افت بیشتری داشته است.

درجه روشنی خمیر کاغذ ناشی از تیمارهای آنزیمی نسبت به تیمار شاهد مربوطه افزایش پیدا کرده است، ضمن اینکه کاغذ ناشی از تیمارهای آنزیمی‌که باتوالی B_2 رنگبری شده‌اند نسبت به تیمارهایی که باتوالی B_1 رنگبری شده‌اند، درجه روشنی بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. صرف‌نظر از توالی رنگبری، بیشترین درجه روشنی متعلق به کاغذ حاصل از خمیر کاغذ تیمارهایی است که درآنها مقدار مصرف آنزیم ۲۵ واحد و زمان تاثیر ۱۶ ساعت است.

درجه زردی خمیر کاغذ حاصل از تمامی تیمارهای آنزیمی نسبت به تیمار شاهد مربوط کاهش پیدا کرده است. به‌علاوه کاغذ تهیه شده از خمیر کاغذ تیمارهای آنزیمی که با توالی B_2 رنگبری شده‌اند، نسبت به خمیر کاغذ تیمارهایی که با توالی B_1 رنگبری شده‌اند، درجه زردی کمتری را به خود اختصاص داده‌اند. صرف‌نظر از توالی رنگبری، کمترین درجه زردی متعلق به خمیر کاغذ تیمارهائی است که در آنها مقدار مصرف آنزیم ۲۵ واحد و زمان تاثیر آن ۱۶ ساعت است.

به‌طور کلی، تیمارهای آنزیمی‌که با توالی B_2 رنگبری شده‌اند، نسبت به تیمارهایی که با توالی B_1 رنگبری شده‌اند، عدد کاپای کمتر، درجه روشنی بیشتر، درصد زردی کمتر و بازده کمتری دارند؛ دلیل این موضوع مصرف بیشتر هیپوکلریت طی توالی B_2 نسبت به توالی B_1 است. همچنین تیمارهایی که در آنها مقدار مصرف آنزیم ۲۵ واحد و زمان تاثیر ۱۶ ساعت است، کمترین عدد کاپا، بیشترین درجه روشنی و کمترین درجه زردی را به خود اختصاص داده‌اند که با نتایج تحقیق کلارک و همکاران[1] (۱۹۹۷) مطابقت دارد.

براساس نتایج این تحقیق، عدد کاپای خمیر کاغذ بعضی از تیمارهای آنزیمی‌نسبت به شاهد تغییری نکرده، حال آنکه درصد درجه روشنی همان تیمارها افزایش یافته است. دراین مورد باید گفت افزایش درجه روشنی خمیر کاغذهای تیمارشده با آنزیم، به‌دلیل کاهش رنگسازها بوده است تاخارج شدن لیگنین که این مسئله توسط پایس و همکاران[2] (۱۹۹۲) وکانته لاینن و همکاران[3] (۱۹۹۲) تایید می‌شود. ایشان اشاره می‌کنند که حین ته‌نشین شدن زایلان‌ها در انتهای فرایند کرافت، رنگسازهای ایجاد شده طی فرایند درسطح کربوهیدرات‌ها به دام می‌افتند و به نظر می‌رسد آنزیم زایلاناز با هیدرولیز زایلان‌های ته‌نشین‌شده، دسترسی مواد رنگبر به رنگسازها را تسهیل کرده است.

۱- J.H.Clarke

۲- Paice

۳- Kantelinen

منابع

1- Bajpai, P. & Bajpai, 1995. Application of xylanase in prebleaching of bamboo kraft pulp. TAPPI journal, vol 79. No 4, 225-230

2- Beg, K. Q., B. Bhushan. M. Kapoor. 2000. Enhanced Production of a Thermostable Xylanase from Streptomyces sp. QS-11-3 and is Application in Biobleaching of Eucalyptus Kraft pulp. Enzyme and Microbial Technology. 27:459-466.

3- Bisson. S. S. Singh & L. Christov, 2001. Evaluation of the Bleach Enhancing Effect of Xylanase on Bagass pulp. The 8th ICBPPI, June 4-8. Helsinki, finland. Abstract- Book.

4- Clarke, J. H., J. E. Rixon & A. Cilbert, 1997. Family-11 xylanase Differ in Their Capacity to Enhance the Bleachability of Hardwood and Softwood Paper Pulps. Appl Microbial Biotechnol, 48:177-183.

5-Durarte, M.C.T.E.C.Da silva, I.M.D.B. Gomes, A. N. Ponezi, E.P. Portugal, J. R. Vicenete, E. Davanzo, 2003. Xylan-hydrolyzing Enzyme System from Bacillus pumilus CAMAI 0008 and its Effects on Eucalyptus grandis Kraft Pulp for Pulp Bleaching Improvement. Bioresourcs Technology, 88:9-15.

6- Hong, F. & Shen, 2001. Improvement of Bleaching and Brightness of Wheat Straw Chemi-mechanical Pulp by Enzymatic Pretreatment with Xylanase from Trichoderma ressei. The 8th ICBPPI, June 4-8 Helsinki, Finland, Abstract-book.

7- 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

8- Kantelinen. A., J. Sundiquist, L. Linko. L. Viikari, 1992. The Role of Reprecipitated Sylan in the Enzymatic Bleaching of Kraft Pulp. Proceeding of the 6th International Sympsium on Wood and Paper Chemistry. Pp 493-500.

9- Paice, M. G., R. Bourbonnaris. S. Renaud, M. Amman, A. Candusso & D. Leech, 2001. Laccase/mediator Catalyzed Delignification; Trail with New Mediator. The 8th ICBPPI, June 4-8, Helsinki, finland, abstract-book.

10- Sarwar. J. M. G. Mohiuddin. S. H. Talukder & Rashid. 2001. Xylanase Bleaching of Non-wood Pulps. The 8th ICBPPI, June 4-8, Helsinki, Finland. Abstract- book.

11- Shah. A. K., D. Cooper. R. Adolphson & K. – E L. Eriksson, 2000. Xylanase Treatment of Oxygen-bleached Hardwood Kraft Pulp at Temperature & Alkaline PH level gives Substantial Saving in Bleaching Chemicals. Journal of Pulp & Paper Science. Vol. 26, NO. 1:8-11

12- Tremblay, L. & F.Archibald, 2000. Production of a Cloned Xylanase in Bacillus cereus and its Performance in Kraft pulp Prebleaching. Pulp & Paper Institution Canada.

13-Viikari. L., M. Ranva, A. Kantelinen, J. Sandquist & M. Linko. 1986 with enzymes. The 3th ICBPPI, June 16-19, Stockholm, p:67-69.

An Investigate on of the Possibility of Xylanase Enzyme use for Prebleaching of Beech Kraft Pulp

A. A. Enayati*[1], E. Majdar[2], H. Resalati[3] and D. Parsapajoh[4]
[1] Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[2] M.Sc. in Wood Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[3] Associate Professor, Wood and Paper Eng., Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan University, I. R. Iran
[4] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
(Received: 14 May 2005, Accepted:13 Feb 2006)

Abstract

The feasibility of using xylanase enzyme for prebleaching Beech kraft pulp, was investigated. A commercial xylananse from ***Trichoderma viride*** was added to pulp at various doses of 25,50 and 100 IU/g pulp for different reaction times of 12,16 and 20 h. Then, the enzyme – treated pulp was bleached in HEH sequences, namely, B1: hypochlorite 2% (1h) + extraction + hypochlorite 0.75% (1h), and B2: hypochlorite 2% (2h) + extraction + hypochlorite 1.5%(2h). The results indicated that enzyme-treated samples wich were bleached with B2 sequences, exhibited lower kappa number, higher brightness and lower yellowness, as scompared to those bleached with B1 sequences. Regardless of bleaching sequences, enzyme treatments using a Xylanase dose of 25 IU/g for 16h, showed the lowest kappa number, the highest brightness and the lowest yellowness. Kappa number, brightness and yellowness of control pulps (B1 and B2 sequences) were 11.2, 46.4 (ISO%), 34.3% and 8.9, 55.4(ISO%), and 29.7% respectively. Whereas, kappa number, brightness and yellowness of enzyme-treated samples using 25 IU/g in 16h bleached with B1 sequences, were 10.21, 27.4(ISO%) and 26.5% and those bleached with B2 sequences, were 7.3 , 65.5(ISO%) and 22.3% respectively. The increase of enzyme dose and reaction time decreased pulp yield. Enzyme-treated samples using a xylanase dose of 25 IU/g in 16h, had a medium level of variation. Therefore, regardless of bleaching sequences, a xylanase dose of 25 IU/g for 16h reaction time, could be suggested as optimal using condition of xylanase.

Keywords: Beech Kraft pulp, Xylanase enzyme, Biobleaching

* Corresponding author: Tel: 0261-2249311 , Fax: 0261-2249311 E-mail: aenayati@ut.ac.ir