مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد هجدهم، شماره دوم، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

بررسی تأثیر پیش‌رنگ‌بری آنزیمی در خواص نوری خمیر کرافت باگاس در رنگ‌بری ECF

*مرتضی عبداله‌بیک‌مرندی[۱]، حسین رسالتی[۲]، احمدرضا سرائیان[۳] و محمدهادی آریائی‌منفرد[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۳]استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۴]دانشجوی دکتری علوم و صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۱٤

چکیده

در این پژوهش تأثیر استفاده از آنزیم زایلاناز تجاری در پیش‌رنگ‌بری خمیر کرافت باگاس بررسی گردید. آنزیم زایلاناز به‌دست آمده از قارچ *Trichoderma viride* در مقادیر ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ واحد و سطح زمانی ۲ ساعت بر خمیر کاغذ تأثیر داده شد و سپس رنگ‌بری خمیر با توالی D_1ED_2 (دی‌اکسید کلر ٤، ٦، ۸ و ۱۰ درصد + استخراج قلیایی + دی‌اکسید کلر ۲ درصد بر حسب کلر فعال) انجام گردید. نتایج نشان داد که تیمار آنزیمی موجب افزایش معنی‌دار ($P<0/01$) درجه روشنی، ماتی و کاهش معنی‌دار ($P<0/01$) درجه زردی، عدد کاپا و میزان دور پالایش برای رسیدن به درجه روانی مشخص خمیرهای رنگ‌بری شده شد. بیش‌ترین درجه روشنی و ماتی و کم‌ترین عدد کاپا مربوط به تیمار آنزیمی ۲۵U می‌باشد، که به‌ترتیب اختلاف معنی‌داری در حدود ۱۳/۱، ۱/٤٦ درصد و ۲/۲۳ واحد در مقایسه با تیمار شاهد دارد. کم‌ترین درجه زردی خمیرهای رنگ‌بری شده مربوط به تیمار آنزیمی ۵۰U می‌باشد که اختلاف معنی‌داری در حدود ۷/۳۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، تیمار آنزیمی ۲۵U به‌عنوان تیمار بهینه آنزیمی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: باگاس، خمیر کرافت، آنزیم زایلاناز، ویژگی‌های نوری، زیست رنگ‌بری

* مسئول مکاتبه: morteza_mabm@yahoo.com

مقدمه

استفاده از پس‌ماند گیاهان کشاورزی به‌عنوان ماده اولیه الیافی در ساخت کاغذ از زمان‌های قدیم مورد توجه بوده است. باگاس[1] (تفاله نیشکر) یکی از مهم‌ترین منابع سلولزی برای تولید خمیرکاغذ به‌شمار می‌آید. در کشورهایی که با کمبود ماده چوبی برای تولید خمیر و کاغذ روبرو هستند و حجم تولید باگاس در آن کشورها زیاد است، استفاده از باگاس برای تولید محصولات سلولزی می‌تواند مفید باشد. در سال‌های اخیر تولید شکر در ایران حدود ٤/١ میلیون تن بوده است (فائو، ٢٠٠٤). برآورد میزان تولید تفاله نیشکر هوا خشک در مساحت کشت شده‌ای در حدود ٤١٠٠٠ هکتار، ١٥ تن باگاس خشک در هکتار می‌باشد. در سال ٢٠٠٣ صنعت نیشکر ایران تقریباً ٦١٥٠٠٠ تن زیست‌توده لیگنوسلولزی تولید کرد (رضایتی‌چارانی و همکاران، ٢٠٠٦). به‌منظور تهیه خمیرکاغذ، ماده چوبی و غیرچوبی مانند باگاس در دما و فشار زیاد به‌وسیله فرایندهای خمیرسازی سنتی پخته می‌شوند. مشکل اساسی این فرایندها مصرف زیاد ماده شیمیایی و انرژی بوده که منجر به آلودگی محیط زیست می‌شود. در طول دهه‌های اخیر، به‌منظور کاهش تأثیرات زیست‌محیطی فرایندهای خمیرسازی و رنگ‌بری تغییرات تکنولوژیکی مهمی در این فرایندها اتفاق افتاده است. با تغییرات انجام شده در فرایند تهیه خمیر کرافت مانند پخت تغییر یافته، لیگنین‌زدایی با اکسیژن و با جایگزینی کلر عنصری با دی‌اکسید کلر در رنگ‌بری خمیر کرافت مقدار ترکیبات آلی کلردار به مقدار زیادی کاهش یافته است (ویکاری و لانتو، ٢٠٠٢). در صنایع خمیر و کاغذ مواد آلی کلردار به‌طور عمده از واکنش لیگنین باقی‌مانده در خمیر با کلر مورد استفاده برای رنگ‌بری خمیرکاغذ تشکیل می‌شوند و بعضی از این مواد سمی، جهش‌زا، مقاوم در برابر تخریب زیستی، زیست تجمع‌شونده[2] و مضر برای سیستم‌های اکولوژی هستند (باجپای و باجپای، ١٩٩٦؛ سلومون، ١٩٩٦). روش رنگ‌بری بدون کلر عنصری هم‌اکنون در اتحادیه اروپا و امریکای شمالی به‌عنوان بهترین فن‌آوری موجود برای رنگ‌بری خمیر کرافت شناخته شده است و مزایای متعددی مانند تولید خمیر و کاغذ با کیفیت بالا، حذف تقریباً مطلق دی‌اکسین و ١٢ ماده با خطرزایی بالا، کاهش تشکیل کلروفورم و آلودگی‌های زیست‌محیطی سیستم رنگ‌بری خمیر را تا حد ٩٠ درصد دارد (باجپای و همکاران، ٢٠٠٦).

استفاده از زیست فن‌آوری در رنگ‌بری خمیرکاغذ در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه واقع شده است. با استفاده از زیست فن‌آوری می‌توان مصرف مواد شیمیایی مورد استفاده در رنگ‌بری خمیرکاغذ

1- Bagasse
2- Bioaccumulating

را کاهش داد و به‌دنبال آن آلودگی‌های سیستم رنگ‌بری خمیر و کاغذ کاهش می‌یابد (رونسرو و همکاران، ۲۰۰۵؛ دیودی و همکاران، ۲۰۰۹). آنزیم‌های اصلی مورد نیاز در رنگ‌بری به کمک زایلاناز متعلق به خانواده اندو- β- زایلانازها می‌باشد (اریکسون و سیلبرت، ۱۹۹۷؛ دیودی و همکاران، ۲۰۰۹). هیدرولیز آنزیمی همی‌سلولز زایلان موجب نفوذپذیرتر شدن ساختار الیاف، خروج راحت‌تر لیگنین باقی‌مانده از الیاف خمیرکاغذ می‌شود. هیدرولیز همی‌سلولزهای موجود در لایه‌های داخلی الیاف نیز باعث افزایش و بهبود قابلیت رنگ‌بری می‌گردد (بوچرت و همکاران، ۱۹۹٤؛ رونسرو و همکاران، ۲۰۰۵). از سوی دیگر این آنزیم با تخریب و حذف همی‌سلولز زایلان رسوب کرده بر روی الیاف در جریان خمیرسازی کرافت موجب دسترسی بیش‌تر لیگنین به مواد شیمیایی رنگ‌بری می‌شود و کارایی این مواد را افزایش می‌دهد (جفریز و همکاران، ۱۹۹۸؛ مانسفیلد و همکاران، ۱۹۹٦). به‌عبارت دیگر آنزیم زایلاناز رنگ‌بری خمیرکاغذ کرافت را آسان‌تر می‌کند و موجب کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی رنگ‌بری خمیرکاغذ می‌شود. کاربرد زایلاناز برای زیست رنگ‌بری خمیر و کاغذ توسط محققان متعددی مورد بررسی قرار گرفته است.

ویکاری و همکاران (۱۹۹٤) برای اولین بار در سال ۱۹۸٦ کشف کردند که تیمار خمیرکاغذ کرافت با زایلانازهای قارچی باعث کاهش مقدار مواد شیمیایی مورد احتیاج برای رسیدن به درجه روشنی مشخص می‌شود.

جفریز و همکاران (۱۹۹۸) طی پژوهشی نشان دادند که تیمار آنزیمی زایلاناز باعث کاهش عدد کاپا و مواد جذب‌کننده نور مرئی و فرابنفش از خمیرکاغذ کرافت می‌شود.

باجپای و باجپای (۱۹۹۹) طی پژوهشی به بررسی کاربرد آنزیم زایلاناز تجارتی در پیش‌رنگ‌بری خمیر کرافت بامبو پرداختند. تیمار آنزیمی نیاز به گاز کلر عنصری در مرحله اول رنگ‌بری را ۲۰ درصد کاهش داد. به‌کارگیری این آنزیم بر ویسکوزیته خمیر و مقاومت‌های کاغذ تغییری نداشت.

سرور و همکاران (۲۰۰۱) طی پژوهشی تأثیر آنزیم زایلاناز در رنگ‌بری خمیرکاغذ سودا- آنتراکینون الیاف کنف، پنبه، ذرت و باگاس را بررسی کردند و دریافتند با به‌کارگیری آنزیم زایلاناز در خمیرهای کاغذ تهیه شده از گیاهان غیرچوبی، رنگ‌بری بهبود می‌یابد، اما براساس نوع ماده اولیه این مسأله متفاوت خواهد بود. در اثر تیمار آنزیمی کاهش عدد کاپا به‌ترتیب برای پنبه، باگاس، ساقه ذرت و کنف برابر ۱/۲، ۱/۸، ۱/۲، ۱/٤ واحد کاهش و گرانروی به‌ترتیب m.pa.s ۲/۸، ۲/۹، ۱/٦، ۱/۲ افزایش یافت. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که پیش‌تیمار آنزیمی به‌علاوه توالی DED درجه روشنی را به حدود ۸۰ (درصد ایزو) می‌رساند.

مدریوس و همکاران (۲۰۰۷) آنزیم تهیه شده از قارچ‌های *P. corylophilum*، *A. niger* و *T. longibrachiatum*، را به‌منظور تیمار خمیر کرافت اکالیپتوس پیش از توالی‌های رنگ‌بری دی‌اکسید کلر و استخراج قلیایی استفاده نمودند. آنزیم زایلاناز استخراج شده از *P. corylophilum* و *T. longibrachiatum* به‌منظور کاهش عدد کاپا مؤثرتر بودند. زمانی‌که خمیر کرافت رنگ‌بری شده با اکسیژن با آنزیم زایلاناز *A. niger* تیمار گردید کاهش اندکی در ویسکوزیته مشاهده شد. برای تمام نمونه‌های آنزیمی، بهترین آزادسازی ترکیبات رنگ‌ساز از خمیرکاغذ در طول موج ۲۳۷ نانومتر بود. آنزیم زایلاناز تهیه شده از *P. corylophilum* در مقادیر ۲۰-۱۰ واحد به‌ازای خمیر بیش‌ترین آزادسازی قندهای کاهش یافته را از خمیرکاغذ باعث شد. مطالعات میکروسکوپ الکترونی خمیر رنگ‌بری شده با اکسیژن بعد از تیمار آنزیمی، تغییرات مورفولوژیکی شامل ترک، رشته‌ای شدن، سوراخ و پوسته‌ای شدن الیاف را نشان داده است.

دهیمانا و همکاران (۲۰۰۹) اثر تیمار آنزیمی، با استفاده از زایلاناز و آنزیم پکتیناز را بر روی خمیر کرافت مخلوط پهن‌برگان مقایسه کردند. آن‌ها نشان دادند که تیمار آنزیمی تنها با استفاده از زایلاناز و تیمار ترکیبی (زایلاناز + پکتیناز) مقدار کلر مصرفی در مرحله لیگنین‌زدایی را به‌ترتیب به‌میزان ۱۵ درصد و ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. به‌علاوه، تیمار ترکیبی منجر به کاهش بیش‌تر مصرف دی‌اکسید کلر در مرحله رنگ‌بری در مقایسه با تیمار زایلاناز به تنهایی می‌شود. همچنین تیمار ترکیبی سبب بهبود قابل‌توجهی در خواص مقاومتی خمیر کاغذ شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه: باگاس مغززدایی شده مورد نیاز در این پژوهش از کارخانه صنایع کاغذ پارس، واقع در هفت‌تپه خوزستان تهیه شد. باگاس‌ها در محیط آزمایشگاه کاغذسازی دانشکده جنگلداری و فن‌آوری چوب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان هوا خشک شده و پس از تعیین درصد رطوبت به‌منظور تبادل نداشتن رطوبت با محیط، در داخل پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی قرار داده شدند.

تولید خمیر و کاغذ: در این پژوهش خمیرسازی کرافت تحت شرایط فرآیندی مختلف (جدول ۱) برای رسیدن به عدد کاپای ۲۰ و با استفاده از دیگ پخت ناپیوسته چرخان ۲/۵ لیتری انجام شد. با توجه به عدد کاپای تیمارهای مختلف (جدول ۱)، تیمار ٤ (عدد کاپای در حدود ۲۰) به‌منظور رنگ‌بری انتخاب گردید.

جدول ۱- شرایط خمیرسازی کرافت.

تیمار	نسبت مایع پخت به باگاس	قلیائیت فعال (درصد)	سولفیدیته (درصد)	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)	عدد کاپا	بازده (درصد)
۱	۷	۱٤	۱۸	۱۵۵	۳۰	۱٤/۷۹	٥٤/۲٥
۲	۷	۱٤	۱۸	۱۵۵	٤٥	۱۲/٤	٥۳/٤٥
۳	۷	۱٤	۱۸	۱۵۵	٦۰	۱۱/٦	٥۳
٤	۷	۱۲	۱۸	۱۵۵	۳۰	۱۹/۸٦	٥٦/۰۱
٥	۷	۱۲	۱۸	۱۵۵	٤٥	۱۷/٤٦	٥٥/۹
٦	۷	۱۲	۱۸	۱۵۵	٦۰	۱٥/۷۳	٥٥/۱۷
۷	۷	۱۱	۱۸	۱۵۵	۳۰	۲۷/٤٦	٥۷/۷
۸	۷	۱۱	۱۸	۱۵۵	٤٥	۲٦/۳۳	٥٦/٥
۹	۷	۱۱	۱۸	۱۵۵	٦۰	۲٥/۰۳	٥٦/۲٥

به‌منظور تأمین خمیرکاغذ مورد نیاز در رنگ‌بری در حدود ۲۰ پخت با توجه به شرایط خمیرسازی یاد شده در جدول ۱ (تیمار ٤) تکرار شد. عدد کاپای خمیرکاغذ بر طبق استاندارد شماره T ۲۳٦ om-۹۹ آیین‌نامه تاپی[1] تعیین گردید.

رنگ‌بری خمیرکاغذ: رنگ‌بری اصلی خمیرکاغذ در این بررسی پس از تیمار آنزیمی (پیش‌رنگ‌بری با آنزیم زایلاناز) انجام شد. برای پیش‌تیمار آنزیمی و رنگ‌بری تیمار شاهد، از کیسه پلاستیکی استفاده گردید. در پیش‌تیمار آنزیمی ابتدا مقدار آنزیم موردنظر در هر تیمار وزن و در آب مقطر حل شد. مقدار آنزیم زایلاناز در ٤ سطح ٥U، ۱۰U، ۲٥U و ٥۰U (۱U مقدار آنزیمی است که در مدت ۱ دقیقه ۱ میکرومول سوبسترا (زایلان) را به محصول (زایلوز) تبدیل می‌کند) برای هر گرم جرم خشک خمیرکاغذ و به داخل کیسه‌های پلاستیکی دارای خمیرکاغذ با میزان درصد خشکی ۱۰ درصد و pH=٥ افزوده شد. همچنین به‌منظور ثابت نگه داشتن pH تنظیم شده و جلوگیری از تغییر pH در اثر فعالیت آنزیم از فسفات پتاسیم (٥۰ میلی‌مولار) به‌عنوان بافر استفاده گردید. سپس کیسه‌ها به داخل حمام آب گرم با دمای ٥۳ درجه سانتی‌گراد منتقل شده و در مدت زمان ۲ ساعت عمل پیش‌رنگ‌بری انجام شد. در زمان اثر آنزیم، محتویات کیسه به‌طور متناوب هم زده شده و پس از اتمام مدت زمان

1- TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industries)

لازم برای پیش‌رنگ‌بری، محتویات کیسه بر روی الک ۲۰۰ مش تخلیه و توسط آب مقطر شستشو شد. پس از اتمام تیمار آنزیمی، رنگ‌بری اصلی با توالی D_1ED_2 (دی‌اکسید کلر- استخراج قلیایی- دی‌اکسید کلر) و تیمار شاهد بدون آنزیم و با توالی D_1ED_2 (دی‌اکسید کلر- استخراج قلیایی- دی‌اکسید کلر) طبق شرایط ذکر شده در جدول ۲ انجام شد.

جدول ۲- شرایط رنگ‌بری شیمیایی خمیر کرافت.

شرایط	دی‌اکسید کلر (D_1)	استخراج قلیایی (E)	دی‌اکسید کلر (D_2)
زمان (دقیقه)	۹۰	٦۰	۱۸۰
دما (درجه سانتی‌گراد)	۷۰	۷۰	۷۰
درصد خشکی	۱۰	۱۰	۱۰
مصرف دی‌اکسید کلر (بر حسب کلر فعال بر وزن خشک خمیر)	۱۰-۸-٦-٤ درصد	-	۲ درصد
مصرف سود (بر حسب کلر فعال بر وزن خشک خمیر)	-	۱ درصد	-
pH ابتدایی	۳/۵	۱۲	۳/۵
pH انتهایی	۵	۱۰/۵	۵

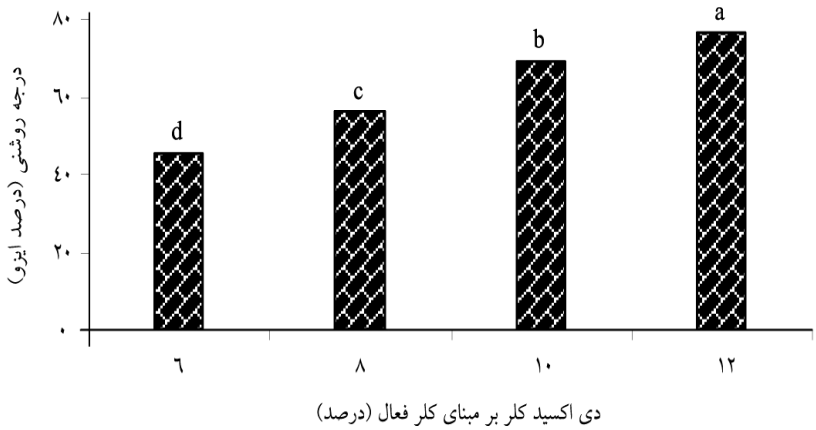
ارزیابی خمیرکاغذ و کاغذ به‌دست آمده: براساس استانداردهای مربوطه در آیین‌نامه تاپی، خمیرکاغذ شیمیایی رنگ‌بری شده باگاس توسط دستگاه پالایشگر PFI تا رسیدن به درجه روانی ۲۵±٤۰۰ (CSF[1] میلی‌لیتر) پالایش شد. از خمیرهای پالایش شده کاغذ دست‌ساز استاندارد تهیه و ویژگی نوری آن‌ها بر طبق استانداردهای مربوطه در آیین‌نامه تاپی که در زیر ذکر شده، تعیین گردید.

پالایش خمیرهای رنگ‌بری شده: T ۲٤۸ sp-۰۰، درجه روانی خمیرهای رنگ‌بری شده: T ۲۲۷ om-۰٤، تهیه کاغذ دست‌ساز: T ۲۰۵ sp-۰۲، درجه روشنی و زردی کاغذهای دست‌ساز: T ٤۵۲ om-۰۲، ماتی کاغذهای دست‌ساز: T ٤۲۵ om-۰۱. طرح آماری مورد استفاده در این پژوهش از نوع طرح کاملاً تصادفی بود. تجزیه و تحلیل نتایج ارزیابی ویژگی نوری کاغذها و ویژگی‌های خمیرکاغذ رنگ‌بری شده مانند عدد کاپا و طبقه‌بندی میانگین‌ها با استفاده از روش آماری تحلیل واریانس‌ها و به کمک آزمون آماری دانکن یک‌طرفه (در سطح ۱ درصد ($P<۰/۰۱$)) انجام گرفت.

1- Canadian Standard Freeness

نتایج و بحث

رنگ‌بری شیمیایی: در رنگ‌بری شیمیایی از مقادیر متفاوت دی‌اکسید کلر بر مبنای کلر فعال (۶-۸-۱۰-۱۲ درصد) در توالی D_1ED_2 استفاده شد. چنان‌چه در شکل ۱ مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقدار درجه روشنی مربوط به سطح ۱۲ درصد کلر فعال استفاده شده می‌باشد که دارای اختلاف معنی‌داری ($P<0/01$) با دیگر سطوح است و بین دیگر سطوح نیز تفاوت معنی‌داری ($P<0/01$) مشاهده می‌شود. چنان‌چه مشاهده می‌گردد با افزایش ماده شیمیایی رنگ‌بر، درجه روشنی نهایی خمیرکاغذ افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد این افزایش درجه روشنی در اثر بیش‌تر شدن اکسیداسیون ترکیبات آروماتیک و رنگ‌ساز در اثر افزایش ماده شیمیایی رنگ‌بر می‌باشد (سلومون، ۱۹۹۶). با توجه به درجه روشنی و مقدار دی‌اکسید کلر بر مبنای کلر فعال استفاده شده، سطح ۱۰ درصد کلر فعال به‌عنوان مبنا برای رنگ‌بری شیمیایی خمیرکاغذ در تیمار شاهد و تیمارهای آنزیمی انتخاب شد.

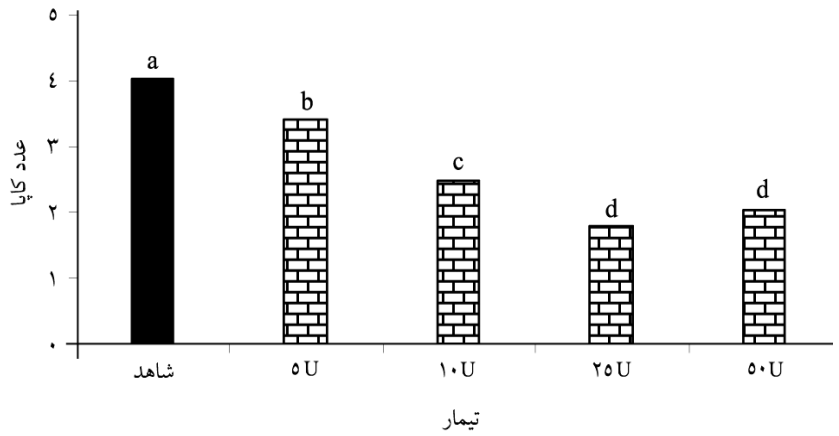


شکل ۱- تأثیر استفاده از سطوح مختلف دی‌اکسید کلر بر مبنای کلر فعال بر درجه روشنی نهایی.

عدد کاپا: عدد کاپا در واقع معیاری از لیگنین باقی‌مانده در خمیرکاغذ می‌باشد. تعیین عدد کاپا آزمونی است که برای تعیین درجه لیگنین‌زدایی خمیر و قابلیت رنگ‌بری آن به‌کار می‌رود. مسلم است که هر قدر عدد کاپای خمیر زیادتر باشد، برای رنگ‌بری آن نیاز به مواد شیمیایی بیش‌تر بوده و در واقع این کار دشوارتر می‌گردد (سلومون، ۱۹۹۶). تغییرات عدد کاپا در مراحل مختلف رنگ‌بری در تیمار شاهد (D_1ED_2) و تیمارهای آنزیمی ($X_{50,25,10,5}U$ D_1ED_2) در جدول ۳ و شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۳- عدد کاپای خمیرهای رنگ‌بری شده در مراحل مختلف رنگ‌بری.

تیمار / توالی	D_1	XD_1	D_1E	XD_1E	D_1ED_2	XD_1ED_2
شاهد	۹	–	٦/٥	–	٤	–
٥U	–	٧/٨	–	٥/٢	–	٣/٤
١٠U	–	٦/٣	–	٤/١	–	٢/٥
٢٥U	–	٤/٥	–	٢/٦٤	–	١/٨
٥٠U	–	٤/٧	–	٣	–	٢



شکل ۲- اثر مقدار آنزیم در عدد کاپای نهایی خمیرکاغذ رنگ‌بری شده.

چنان‌چه در شکل ۲ مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقدار عدد کاپا مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار آنزیمی ۲۵U می‌باشد. بین تیمار آنزیمی با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) مشاهده می‌شود و در بین تیمارهای آنزیمی، تیمار آنزیمی ۱۰U و ۵U با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) داشته اما دو تیمار آنزیمی ۲۵U و ۵۰U با یکدیگر اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) ندارند. لیگنین از طریق کمپلکس لیگنین- کربوهیدرات (LCC[1]) به سلولز متصل است. چنان‌چه این اتصال قطع گردد، لیگنین از شبکه الیاف خارج شده و عدد کاپای خمیرکاغذ کاهش می‌یابد (بوچارت و همکاران، ۱۹۹٤). زایلاناز با قطع این کمپلکس باعث کاهش عدد کاپا می‌شود. همچنین با خروج لیگنین از شبکه الیاف دسترسی‌پذیری دی‌اکسید کلر به ترکیبات رنگ‌ساز افزایش یافته و درجه روشنی نهایی

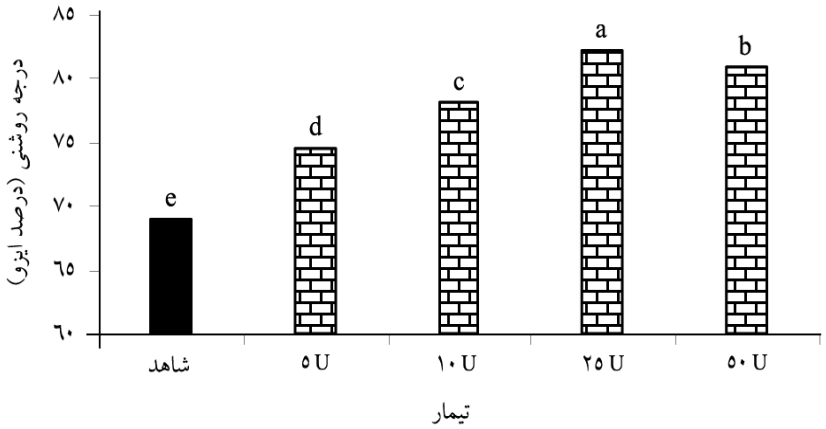
1- Lignin Carbohydrate Complex

خمیرکاغذ افزایش می‌یابد (باجپای و همکاران، ۲۰۰٦). با توجه به کاهش قابل‌توجه عدد کاپا توسط تیمارهای آنزیمی نسبت به تیمار شاهد، سودمندی پیش‌تیمار آنزیمی در صرفه‌جویی مصرف مواد شیمیایی رنگ‌بر، کاهش انرژی مورد نیاز برای تولید مواد شیمیایی رنگ‌بر در واحد رنگ‌بری، کاهش بار پساب کارخانه خمیر کاغذ و به‌دنبال آن کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، کاملاً مشهود به‌نظر می‌رسد (باجپای و همکاران، ۱۹۹۵). کاهش عدد کاپا در اثر تیمار آنزیمی توسط دیگر محققان مانند باجپای و باجپای (۱۹۹۵) و سرور و همکاران (۲۰۰۱) گزارش شده است. سرور و همکاران (۲۰۰۱) به کاهش ۱/۸ واحدی در عدد کاپا اشاره کرده‌اند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

درجه روشنی: تغییرات درجه روشنی خمیرکاغذ رنگ‌بری شده در مراحل مختلف رنگ‌بری در تیمار شاهد (D_1ED_2) و تیمارهای آنزیمی ($X_{50,25,10,5U}$ D_1ED_2) در جدول ٤ و شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ٤- درجه روشنی (درصد ایزو) خمیرهای رنگ‌بری شده در مراحل مختلف رنگ‌بری.

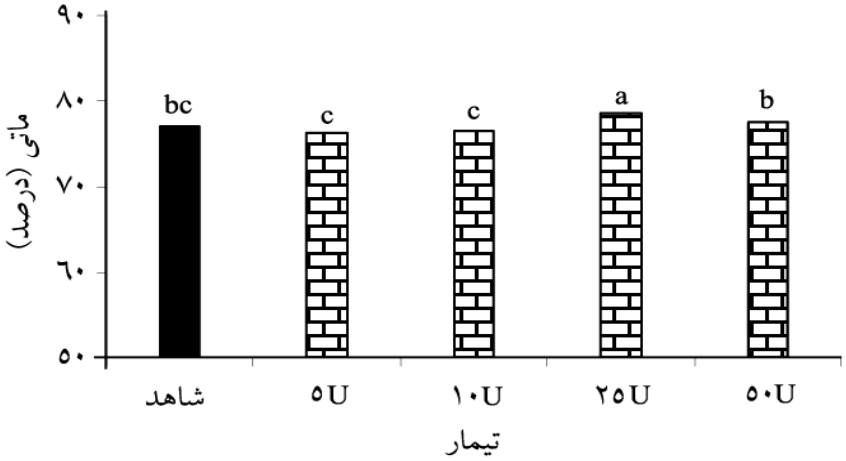
توالی / تیمار	D_1	XD_1	D_1E	XD_1E	D_1ED_2	XD_1ED_2
شاهد	٤٤/١٧	–	٤٩/٨	–	٦٩/٠٦٣	–
٥U	–	٤٩/٤٣	–	٥٦/٥	–	٧٤/٦
١٠U	–	٥٤/٦١	–	٥٩/٤	–	٧٨/٢٤
٢٥U	–	٥٨/٠٣	–	٦٤/٢٥	–	٨٢/١٨
٥٠U	–	٥٦/٢	–	٦٠/٥	–	٨٠/٩٥



شکل ۳- اثر مقدار آنزیم بر درجه روشنی خمیرکاغذ رنگ‌بری شده.

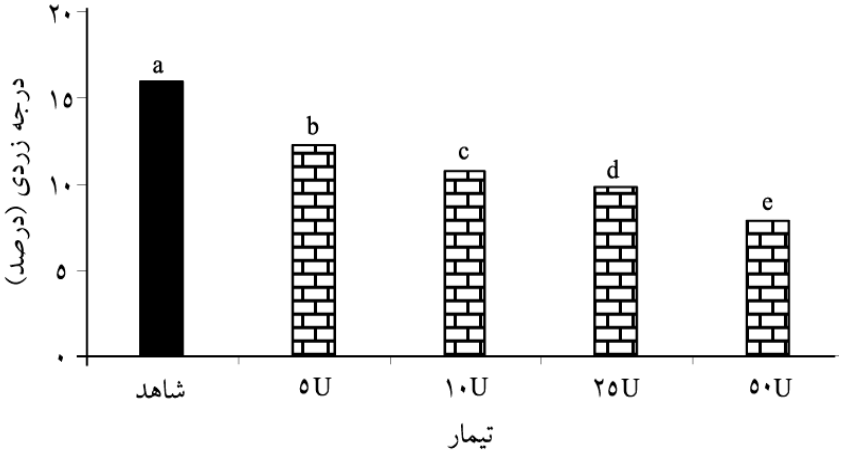
چنان‌چه در شکل ۳ شاهده می‌شود اختلاف درجه روشنی بین تیمارهای آنزیمی و تیمار شاهد قابل‌توجه می‌باشد. بیش‌ترین درجه روشنی مربوط به تیمار آنزیمی ۲۵U و کم‌ترین درجه روشنی متعلق به تیمار شاهد است. همچنین بین تمام تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) وجود دارد. با وجود مصرف اندک آنزیم در تیمار ۵U اختلاف درجه روشنی در مقایسه با تیمار شاهد در حدود ۵ درصد ایزو می‌باشد و با افزایش مقدار آنزیم این اختلاف افزایش می‌یابد. یکی از مزایای مهم در پیش‌رنگ‌بری با آنزیم زایلانار افزایش درجه روشنی نهایی خمیر کاغذ است (مدیروس و همکاران، ۲۰۰۷). در تیمار آنزیمی با کاهش غیرمستقیم مقدار لیگنین موجود در شبکه الیاف و همچنین کاهش ترکیبات جذب‌کننده نور و ترکیبات رنگ‌ساز افزایش درجه روشنی اتفاق می‌افتد. از سوی دیگر تیمار آنزیمی باعث بهبود نفوذ ماده شیمیایی رنگ‌بر و افزایش کارایی رنگ‌بری می‌گردد (ویکاری و لانتو، ۲۰۰۲؛ رونسرو و همکاران، ۲۰۰۵). بهبود درجه روشنی و کاهش مواد جذب‌کننده نور مرئی و فرابنفش در اثر تیمار آنزیمی خمیر کرافت توسط جفریز و همکاران (۱۹۹۸) گزارش شده است.

ماتی: چنان‌چه در شکل ٤ مشاهده می‌شود بیش‌ترین میزان ماتی مربوط به تیمار آنزیمی ۲۵U و کم‌ترین میزان ماتی مربوط به تیمار آنزیمی ۱۰U می‌باشد. بین تیمارهای آنزیمی ۲۵U و ۵۰U اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) وجود دارد. تیمار آنزیمی ۵۰U با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) ندارد. بین دو تیمار آنزیمی ۵U و ۱۰U و با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) مشاهده نمی‌شود. همچنین تیمار آنزیمی ۲۵U با تمام تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) است. تیمار آنزیمی باعث افزایش ماتی می‌شود. یکی از دلایل مهم افزایش ماتی در تیمارهای آنزیمی هیدرولیز همی‌سلولز زایلان است که موجب کاهش واکشیدگی الیاف می‌گردد. کاهش واکشیدگی الیاف باعث کاهش انعطاف‌پذیری الیاف و افزایش کوتاه شدن الیاف نسبت به فیبریله شدن الیاف در پالایش می‌شود (مانسفیلد و همکاران، ۱۹۹٦). که در عمل این اتفاق در کاهش دور پالایش در جدول ۲ دیده می‌شود. چنان‌چه در شکل ٤ مشاهده می‌گردد ماتی در تیمارهای آنزیمی در مقایسه با تیمار شاهد تا حدودی دارای روند افزایشی است اما تنها تیمار آنزیمی ۲۵U با تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) است. مانسفیلد و همکاران (۱۹۹٦) افزایش ماتی را در تیمارهای آنزیمی به‌علت هیدرولیز همی‌سلولز زایلان و کوتاه شدن بیش‌تر الیاف در اثر پالایش گزارش کردند، اما افزایش ماتی در تیمارهای آنزیمی در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار نبود.



شکل ٤- اثر مقدار آنزیم بر ماتی خمیرکاغذ رنگ‌بری شده.

درجه زردی: همان‌طورکه در شکل ۵ مشاهده می‌گردد حداکثر میزان درجه زردی خمیرهای رنگ‌بری شده مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین مقدار درجه زردی مربوط به تیمار آنزیمی ۵۰U می‌باشد. بین تیمار شاهد و تیمارهای آنزیمی اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) مشاهده می‌شود و همچنین بین تیمارهای آنزیمی نیز اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) وجود دارد. با افزایش میزان آنزیم زایلاناز در تیمارهای آنزیمی، از میزان درجه زردی کاغذهای دست‌ساز کاسته می‌شود. همان‌طورکه پیش‌تر ذکر گردید وجود گروه‌های آروماتیکی، گروه‌های رنگ‌ساز و جاذب نور باعث افزایش ضریب جذب نور شده و موجب کاهش درجه روشنی و افزایش درجه زردی کاغذهای دست‌ساز می‌شوند (جفریز و همکاران، ۱۹۹۸). در این ارتباط دیودی و همکاران (۲۰۰۹)، کاهش ۳ درصدی درجه زردی خمیر کرافت تیمار شده با آنزیم زایلاناز را در مقایسه با تیمار شاهد گزارش کرده‌اند.



شکل ۵- اثر مقدار آنزیم بر درجه زردی خمیرکاغذ رنگ‌بری شده.

دور پالایش: پالایش یکی از مهم‌ترین تیمارهای فیزیکی انجام شده روی خمیرکاغذ پیش از کاغذسازی است. پالایش به‌طور مؤثری بر روی خواص فیزیکی ورقه‌های کاغذ تهیه شده تأثیرگذار می‌باشد. هدف از پالایش افزایش سطح تماس ما بین الیاف به‌وسیله عمل فیبریله شدن الیاف است. تیمارهای آنزیمی با حذف همی‌سلولزهای زایلان موجود در خمیرکاغذ برای رسیدن به درجه روانی مورد نظر نیاز به دور پالایش کم‌تری دارند (جفریز و همکاران، ۱۹۹۸). بنابراین یکی از مزایای تیمارهای آنزیمی کاهش انرژی پالایشگرها می‌باشد. همی‌سلولزها نقش مهمی در انعطاف‌پذیری الیاف دارند. همی‌سلولزها به‌دلیل ساختار آمورف تمایل به جذب آب در آن‌ها زیاد است، این تمایل به جذب آب، باعث افزایش واکشیدگی الیاف، و در نتیجه افزایش انعطاف‌پذیری الیاف می‌شود. خمیرهایی که دارای همی‌سلولز بیش‌تری هستند در پالایش عمل فیبریله شدن در آن‌ها نسبت به کوتاه شدن الیاف بیش‌تر صورت می‌گیرد و دلیل آن انعطاف‌پذیری بیش‌تر الیاف می‌باشد. چنان‌چه در جدول ۵ مشاهده می‌شود در تیمارهای آنزیمی به‌دلیل حذف همی‌سلولز زایلان، واکشیدگی و انعطاف‌پذیری کم‌تری در الیاف اتفاق افتاده و بیش‌تر عمل کوتاه شدن الیاف و ایجاد نرمه بیش‌تر اتفاق افتاده است. با این‌حال این نکته دارای اهمیت است که در تیمارهای آنزیمی انرژی مورد نیاز برای رسیدن به درجه روانی مشخص، نسبت به تیمار شاهد کم‌تر می‌باشد. به‌عنوان مثال خمیر شاهد برای رسیدن به درجه روانی ۲۵±۴۰۰ (CSF میلی‌لیتر) نیاز به ۵۰۰۰ دور پالایش دارد در حالی‌که تیمار (D_1ED_2) ۵۰U به ۱۷۵۰

دور پالایش، نیاز دارد. چنان‌چه در جدول ۵ مشاهده می‌گردد مابین تیمار شـاهد و تیمارهـای آنزیمـی اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) مشاهده می‌شود. در بین تیمارهای آنزیمی دو تیمار ۲۵U و ۵۰U با هم اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) نداشـته و دو تیمـار ۵U و ۱۰U بـا تمـام تیمارهـای آنزیمـی اخـتلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) دارند.

جدول ۵- تأثیر دور پالایش بر درجه روانی خمیرکاغذهای رنگ‌بری شده.

تیمار	درجه روانی (CSF میلی‌لیتر)	دور پالایش
شاهد (D_1ED_2)	٤٠٩	۵۰۰۰[a]
۵U (D_1ED_2)	٤٠٩	٤٠٠٠[b]
۱۰U (D_1ED_2)	۳۸۵	۳۰۰۰[c]
۲۵U (D_1ED_2)	٤٠٩	۲۰۰۰[d]
۵۰U (D_1ED_2)	٤٠٩	۱۷۵۰[d]

منابع

1.Bajpai, P., Anand, A., Sharma, N., Mishra, S.P., Bajpai, P.K. and Lachenal, D. 2006. Enzymes improve ECF bleaching of pulp. BioRes. 1: 1. 34-44.

2.Bajpai, P. and Bajpai, P.K. 1999. Biotechnology for environmental protection in the pulp and paper industry. Springer. 330p.

3.Bajpai, P. and Bajpai, P.K. 1996. Realities and trends in enzymatic prebleachig of kraft pulp. Adv. Biochem. Eng. Biotechnol. 56: 1-31.

4.Bajpai, P. and Bajpai, P.K. 1995. Application of xylanase in prebleaching of bamboo kraft pulp. TAPPI J. 79: 4. 225-230.

5.Buchert, J., Tenkanen, M., Kantelinen, A. and Viikari, L. 1994. Application of xylanases in the pulp and paper industry. Bioresour. Technol. 50: 1. 65-72.

6.Dhimana, S.S., Gargb, G., Mahajanb, R., Gargc, N., Sharma, J. and Sharma, J. 2009. Single lay out' and 'mixed lay out' enzymatic processes for bio-bleaching of kraft pulp. Bioresour. Technol. 100: 20. 4736-4741.

7.Dwivedi, P., Vivekanand, V., Pareek, N., Sharma, A. and Singh, R.P. 2009. Bleach enhancement of mixed wood pulp by xylanase-laccase concotion drived through co-culture strategy. Appl. Biochem. Biotechnol. 44: 177-186.

8.Eriksson, J.E. and Cillbert, A. 1997. Family-10 and family-11 xylanase in their capasity to enhance the bleachability of hardwood and softwood pulps. Appl. Microbial. Biotechnol. 48: 177-183.

9.Food and Agricultural Organization. 2004. http://faostal.fao.org/faostal/.

10.Jeffreis, T.W., Davis, M., Rosin, B. and landucci, L. 1998. Mechanism for kappa reduction and color removal by xylanases. The 7th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry (ICBPPI), June 16-19. Vancouver, BC, Canada. Abstract-book, Pp: 41-43.
11.Jeffries, T.W. and Viikari, L. 1996. Enzymes for pulp and paper processing. American Chemichal Society, Washington, DC, 326p.
12.Mansfield, D., Wong, K.K.Y., Jong, E. and Saddler, J.N. 1996. Xylanase prebleaching of fractions of Douglas-fir kraft pulp of different fibre length. Appl. Microbiol. Biotechnol. 46: 319-326.
13.Medeiros, R.G., Dasilva Jr, F.G., Bao, S.N., Hanada, R. and Filho, E.X.F. 2007. Application of xylanases from amazon forest fungal species in bleaching of eucalyptus kraft pulps. Brazil. Archives of Biol. and Technol. 50: 2. 231-238.
14.Rezayati-Charani, P., Mohammadi-Rovshandeh, J., Hashemi, S.J. and Kazemi-Najafi, S. 2006. Influence of dimethyl formamide pulping of bagasse on pulp properties. Bioresour. Technol. 97: 2435-2442.
15.Roncero, M.B., Torres, A.L., Colom, J.F. and Vidal, T. 2005. The effect oF xylanase on lignocellulosic components during the bleaching of wood Pulps. Bioresour. Technol. 96: 21-30.
16.Solomon, K.R. 1996. Chlorine in the bleaching of pulp and paper. Pur and Appl. Chem. 68: 9. 1721-1730.
17.Sarwar, J., Mohaiuddin, M.G., Talukder, S.H. and Rashid, H. 2001. Xylanase bleaching of nonwood pulps. The 8th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry (ICBPPI), June 4-8, Helsinki, Finland. Abstract-book.
18.Viikari, L. and Lantto, R. 2002. Biotechnology in the pulp and paper industry. Elsevier Sience Press. First Edition, 345p.
19.Viikari, L., Kantelinen, A., Sundquist, J. and Linko, M. 1994. Xylanases in the bleaching from and idea to industry. FEMS Microbial. Rev. 13: 335-350.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 18(2), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Study of Enzymatic Prebleaching Effect on Optical Properties of Bagasse Kraft Pulp in ECF Bleaching

***M. A.B. Marandi[1], H. Resalati[2], A.R. Saraeian[3] and M.H. Aryaie Monfared[4]**

[1]M.Sc. Student of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Associate Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [4]Ph.D. Student of Pulp and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2008/08/03; Accepted: 2010/05/04

Abstract

The effect of commercial xylanase enzyme in prebleaching of bagasse kraft pulp was investigated. Xylanase enzyme from *Trichoderma viride* was added to pulp at various doses of 5, 10, 25 and 50 IU/g pulp for reaction time 2h and then the enzyme treated pulp was bleached in D_1ED_2 sequences (using Dioxide chlorine 4, 6, 8, 10% + Alkaline extraction + Dioxide chlorine 2% as active chlorine). The results showed that enzymatic treatment improved brightness and opacity and decreased yellowness, kappa number and revolution of refiner for given freeness of bleached pulp significantly ($P<0.01$). Maximum of brightness and opacity and minimum of kappa number were related to 25IU/g pulp treatment, which had about 13.1%, 1.46% and 2.23 unit significant difference in comparison with those of the control sample, respectively. Minimum of yellowness was related to 50IU/g pulp treatment which had about 7.32% significant difference as compared with control sample. Regard to the obtained results, the 25IU/g pulp treatment could be suggested as optimum treatment.

Keywords: Bagasse, Kraft pulp, Xylanase enzyme, Optical properties, Biobleaching

* Corresponding Author; Email: morteza_mabm@yahoo.com