

بررسی تاثیر آنزیم زایلاناز در ویژگی های نوری خمیر کرافت باگاس در رنگبری ECF

حسین رسالتی^۱، مرتضی عبدالله بیک مرندی^{۲*}، احمد رضا سرانیان^۳

۱- دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

۲- *مستول مکاتبات، کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

پست الکترونیک: morteza_mabm@yahoo.com

۳- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۸۸

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۸۷

چکیده

در این تحقیق تاثیر استفاده از آنزیم زایلاناز تجاری در پیش رنگبری خمیر کرافت باگاس بررسی شد. آنزیم زایلاناز حاصل از قارچ *Trichoderma viride* در مقادیر ۱۰، ۲۵ و ۵۰ واحد و سطح زمانی ۲ ساعت بر خمیر کاغذ تاثیر داده شد. سپس رنگبری اصلی به صورت جداگانه یکبار روی نمونه تیمار شده با آنزیم و سپس روی نمونه بدون تیمار آنزیمی (تیمار شاهد) با توالی AD₁ED₄ (اسید سولفوریک + دی اکسید کلر ۴، ۶، ۸، ۱۰ درصد + استخراج قلیایی + دی اکسید کلر ۲ درصد به عنوان کلر قابل دسترس) انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان دی اکسید کلر در مرحله D₁ رنگبری، درجه روشنی نهایی خمیر کاغذ به طور معنی داری (P<0.01) افزایش می یابد. همچنین در مورد نمونه های تیمار شده با آنزیم زایلاناز افزایش معنی داری (P<0.01) در درجه روشنی و ماتی و کاهش معنی داری (P<0.01) در درجه زردی، عدد کاپا و میزان دور پالایش برای رسیدن به درجه روانی مشخص خمیرهای رنگبری شده مشاهده شد. بیشترین درجه روشنی و کمترین درجه زردی و عدد کاپا مربوط به تیمار آنزیمی ۲۵U می باشد که به ترتیب اختلاف معنی داری (P<0.01) در حدود ۱۰/۸ درصد، ۳/۹۸ درصد و ۲/۲۴ واحد در مقایسه با تیمار شاهد دارد. بیشترین ماتی خمیرهای رنگبری شده مربوط به تیمار آنزیمی ۵۰U می باشد که به ترتیب اختلاف معنی داری (P<0.01) در حدود ۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد دارد. با توجه به نتایج بدست آمده، تیمار آنزیمی ۲۵U به عنوان تیمار بهینه آنزیمی انتخاب می شود.

واژه های کلیدی: باگاس، خمیر کرافت، آنزیم زایلاناز، ویژگی نوری، زیست رنگبری

مقدمه

چوب در جهان تولید می شود و برآورد تولید آن برای سال ۲۰۱۰ حدود ۲۶۰ میلیون تن است. در هر صورت، این صنایع خیلی سرمایه بر و با سوددهی اندک می باشند که مایل هستند آزمایش ها، توسعه و استقرار خود را به فناوری جدید محدود نمایند. صنایع خمیر و کاغذ برای

صنایع خمیر و کاغذ بخش بزرگ و رو به رشدی از اقتصاد جهانی را دارا می باشند. تولید خمیر و کاغذ در جهان افزایش یافته و در آینده نزدیک هم افزایش آن ادامه خواهد داشت. تقریباً ۱۵۵ میلیون تن خمیر کاغذ بر پایه

ترکیبات کلر و دی اکسید کلر، مجموعه ای از ترکیب های آلی کلردار با نام هالیدهای آلی قابل جذب^۴ (Solomon, 1996)، آزاد می شوند که جزء سمی ترین ترکیبات پساب رنگبری محسوب و اثرات زیست محیطی بسیار نامطلوبی دارند (Bajpai, 1998). در این رابطه روش های رنگبری بدون استفاده از کلر عنصری (ECF)^۵ و رنگبری بدون استفاده از ترکیبات کلردار (TCF)^۶ توسعه یافته و به صورت فرآیندهایی در صنایع خمیرکاغذ در سراسر جهان مورد تاکید و استفاده قرار می گیرد (Costa & Colodette, 2007). از سال ۱۹۸۶ نیاز به فناوری های پایدار دلیل ورود زیست فناوری به قلمرو تولید خمیرکاغذ و کاغذسازی بوده است. کاربرد آنزیم ها در رنگبری خمیرکاغذ، اولین قدم ضروری بوده است تا اثبات نماید که آنزیم ها راهکارهایی موثر به لحاظ فناوری بوده و از آنها می توان در واحدهای صنعتی موجود بدون سرمایه گذاری زیاد استفاده نمود. در سال های اخیر استفاده از زیست فناوری در رنگبری خمیرکاغذ توجه شایانی را به دلیل کسب نتایج مفید، به خود جلب کرده است (Bajpai, 1998). آنزیم هایی از نوع تجزیه کننده همی سلولزها، به ویژه آنزیم های هیدرولیز کننده همی-سلولز زایلان مانند زایلانازها، هم کنون به طور تجاری در کارخانجات صنایع خمیر و کاغذ به منظور تیمار خمیرکاغذ کرافت در واحدهای رنگبری مورد استفاده قرار می گیرند. آنزیم های اصلی مورد نیاز در رنگبری به کمک آنزیم زایلاناز متعلق به خانواده اندو-β-زایلانازها می باشد

کاهش و اصلاح پخش مواد زائد به محیط زیست (هوا و آب) تحت فشار سازمان های دوست دار محیط زیست قرار دارند و همچنین به منظور تعامل با تقاضای رو به رشد، افزایش بهره وری و بهبود عملکرد زیست محیطی این صنایع ضروریست (Eriksson et al., 1997).

بنابراین در طول دهه های اخیر، به منظور کاهش تاثیرات زیست محیطی تولید خمیرکاغذ کرافت و به ویژه کاهش انتشار ترکیبات آلی کلردار سمی در پساب واحد رنگبری، ابداعات تکنولوژیکی مهمی را متحمل شده است. فرآیند کرافت، متداول ترین فرآیند تهیه خمیرکاغذ در جهان است. مزایایی چون انعطاف پذیری نسبت به گونه چوبی، زمان خمیرسازی نسبتاً کوتاه و مقاومت های زیاد کاغذ حاصل موجب شده که ۷۰ درصد تولید سالانه خمیرکاغذ در جهان به این فرآیند اختصاص یابد. یکی از معایب این فرایند، رنگ تیره خمیرکاغذ حاصل است که ناشی از وجود گروه های کروموفور یا جاذب نور در لیگنین باقی مانده می باشد. رنگبری خمیرکاغذ شیمیایی و از جمله کرافت با حذف لیگنین باقی مانده و در نتیجه خارج سازی گروه های رنگی، در چند مرحله جداگانه و یا با استفاده از توالی های مختلف (کلر عنصری- استخراج قلیایی- هیپوکلریت^۱، کلر عنصری- استخراج قلیایی- دی اکسید کلر^۲ و کلر عنصری- استخراج قلیایی- دی اکسید کلر- استخراج قلیایی^۳) و مواد شیمیایی مختلف از قبیل کلر (C)، هیدروکسید سدیم (E)، هیپوکلریت (H)، دی اکسید کلر (D)، ازن (Z)، پراکسید هیدروژن (P) صورت می گیرد. به دلیل استفاده از

-
- 1 CEH: Chlorine-Extraction-Hypochlorite
 2. CED: Chlorine-Extraction-Dioxide chlorine
 3. CEDED: Chlorine-Extraction-Dioxide chlorine-Extraction-Dioxide chlorine

-
4. AOX: Absorbable Organic Halides
 5. Elemental Chlorine Free
 6. Total Chlorine Free

کف، پنبه، ذرت و باگاس را بررسی کردند و دریافتند با به کارگیری آنزیم زایلاناز در خمیرهای کاغذ تهیه شده از گیاهان غیر چوبی، رنگبری بهبود می یابد، اما براساس نوع ماده اولیه این مسئله متفاوت خواهد بود. در اثر تیمار آنزیمی کاهش عدد کاپا به ترتیب برای پنبه، باگاس، ساقه ذرت و کف برابر ۱/۲، ۱/۸، ۱/۲، ۱/۴ واحد کاهش و گرانیروی به ترتیب ۲/۸، ۲/۹، ۱/۶، ۱/۲ افزایش یافت. همچنین آن ها به این نتیجه رسیدند که پیش تیمار آنزیمی به علاوه توالی DED درجه روشنی را به حدود ۸۰ (ISO درصد) می رساند.

Duarte و همکاران (۲۰۰۳) طی تحقیقی به بررسی تاثیر آنزیم زایلاناز حاصل از *Bacillus pumilus* بر روی خمیر کاغذ کرافت اکالیپتوس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که برای رسیدن به حداکثر درجه روشنی، ۰/۳ درصد کاهش در میزان کلر در زمان استفاده از آنزیم زایلاناز حاصل می شود. در ضمن دریافتند اگر آنزیم زایلاناز قبل از توالی رنگبری به کار رود، بسیار موثرتر خواهد بود. Medeiros و همکاران (۲۰۰۷) آنزیم های تهیه شده از قارچ های *Aspergillus Niger*، *Penicillium Corylophilum* و *Trichoderma Longibrachiatum* را به منظور تیمار خمیر کرافت اکالیپتوس پیش از توالی های رنگبری دی اکسید کلر و استخراج قلیایی استفاده نمودند. آنزیم زایلاناز استخراج شده از *Penicillium Corylophilum* و *Trichoderma Longibrachiatum* به منظور کاهش عدد کاپا موثرتر بودند. زمانی که خمیر کرافت رنگبری شده با اکسیژن با آنزیم زایلاناز *Aspergillus Niger* تیمار شد کاهش اندکی در ویسکوزیته مشاهده شد. برای تمام نمونه های آنزیمی، بهترین آزادسازی ترکیبات رنگ ساز از خمیر کاغذ در طول موج ۲۳۷ نانومتر بود. آنزیم زایلاناز تهیه شده از

(Eriksson et al., 1997, Koshijima et al., 2003). زایلانازها عمدتاً بر همی سلولز زایلان و یا همی سلولز زایلان رسوب کرده بر روی سطح الیاف خمیر کاغذ در پایان خمیرسازی کرافت عمل می کنند (Jeffries et al., 1996). هیدرولیز آنزیمی همی سلولز زایلان موجب نفوذپذیرتر شدن ساختار الیاف و خروج راحت تر لیگنین باقی مانده از الیاف خمیر کاغذ می شود. هیدرولیز همی سلولزهای موجود در لایه های داخلی الیاف نیز باعث افزایش و بهبود قابلیت رنگبری می گردد (Roncero et al., 1994, Buchert et al., 2005, Yang et al., 1993) با استفاده از روش جدید بنام انزون^۷، خمیر کرافت اکالیپتوس را بوسیله توالی اکسیژن-زایلاناز-ازن^۸ لیگنین زدایی کردند. نتایج نشان داده است که در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد که با توالی اکسیژن-ازن^۹ رنگبری شده بود، عدد کاپای خمیر کاغذ کمتر و درجه روشنی آن بیشتر بوده است. Viikari و همکاران (۱۹۹۴) برای اولین بار در سال ۱۹۸۶ کشف کردند که تیمار خمیر کاغذ کرافت با زایلانازهای قارچی باعث کاهش مقدار مواد شیمیایی مورد احتیاج برای رسیدن به درجه روشنی مشخص می شود. Mansfield و همکاران (۲۰۰۰) ضمن تحقیقی از دو نوع آنزیم زایلاناز (زایلاناز E و پالیزیم HC) برای ارزیابی توانایی افزایش خصوصیات پالایش خمیر کرافت کاج رادیاتا استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که هر دو آنزیم قسمت زیادی از زایلان های در دسترس را حل کرده و باعث کاهش مقدار لیگنین باقی مانده در خمیر شدند.

Sarwar و همکاران (۲۰۰۱) طی تحقیقی تاثیر آنزیم زایلاناز در رنگبری خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون الیاف

7. Enzone

8. OXZ: Oxygen-Xylanase-Ozone

9. OZ: Oxygen-Ozone

خوزستان تهیه شد. باگاس‌ها در محیط آزمایشگاه کاغذ سازی دانشکده جنگلداری و فناوری چوب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، هوا خشک شده و پس از تعیین درصد رطوبت به منظور عدم تبادل رطوبت با محیط، در داخل پلاستیک‌های پلی اتیلنی قرار داده شد.

تولید خمیر و کاغذ: در این تحقیق 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 عنایت به عدد کاپای تیمارهای مختلف (جدول ۱)، تیمار ۴ (عدد کاپای در حدود ۲۰) به منظور رنگ‌بری انتخاب شد.

Penicillium Corylophilum در مقادیر ۱۰-۲۰ واحد آنزیم به ازای خمیر بیشترین آزاد سازی قند کاهشی را از خمیر کاغذ 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 داد. با توجه به مطالب درج شده هدف از انجام این تحقیق، بررسی تاثیر مقادیر متفاوت آنزیم زایلاناز در پیش رنگ‌بری خمیر کرافت باگاس و بررسی بهبود ویژگی نوری خمیر کاغذ بدست آمده در رنگ‌بری ECF می‌باشد.

مواد و روشها

تهیه نمونه: باگاس مغزدايي شده مورد نیاز در این تحقیق از کارخانه صنایع کاغذ پارس، واقع در هفت تپه

جدول ۱- شرایط خمیرسازی کرافت

تیمار	نسبت مایع پخت به باگاس	قلیائیت فعال (درصد)	سولفیدته (درصد)	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)	عدد کاپا	بازده (درصد)
۱	۷	۱۴	۱۸	۱۵۵	۳۰	۱۴/۷۹	۵۴/۲۵
۲	۷	۱۴	۱۸	۱۵۵	۴۵	۱۲/۴	۵۳/۴۵
۳	۷	۱۴	۱۸	۱۵۵	۶۰	۱۱/۶	۵۳
۴	۷	۱۲	۱۸	۱۵۵	۳۰	۱۹/۸۶	۵۶/۰۱
۵	۷	۱۲	۱۸	۱۵۵	۴۵	۱۷/۴۶	۵۵/۹
۶	۷	۱۲	۱۸	۱۵۵	۶۰	۱۵/۷۳	۵۵/۱۷
۷	۷	۱۱	۱۸	۱۵۵	۳۰	۲۷/۴۶	۵۷/۷
۸	۷	۱۱	۱۸	۱۵۵	۴۵	۲۶/۳۳	۵۶/۵
۹	۷	۱۱	۱۸	۱۵۵	۶۰	۲۵/۰۳	۵۶/۲۵

وزنی و عدد کاپای خمیر کاغذ بر طبق استاندارد شماره ۹۹-om-۲۳۶ T آیین نامه تاپی^{۱۰} تعیین شد.

به منظور تامین خمیر کاغذ مورد نیاز در رنگ‌بری در حدود ۲۰ پخت با توجه به شرایط خمیرسازی یاد شده در جدول ۱ (تیمار ۴) تکرار شد. بازده خمیر کاغذ به صورت

10. TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industries)

پالایش خمیرهای رنگبری شده: T ۲۴۸ sp-۰۰، درجه روانی خمیرهای رنگبری شده: T ۲۲۷ om-۰۴، تهیه کاغذ دست‌ساز: T ۲۰۵ sp-۰۲، درجه روشنی و زردی کاغذهای دست‌ساز: T ۴۵۲ om-۰۲، ماتی کاغذهای دست‌ساز: ۰۱- T ۴۲۵ om

طرح آماری مورد استفاده در این تحقیق از نوع طرح کاملاً تصادفی بود. تجزیه و تحلیل نتایج ارزیابی ویژگی نوری کاغذها و ویژگی‌های خمیرکاغذ رنگبری شده از قبیل عدد کاپا، بازده و طبقه‌بندی میانگین‌ها با استفاده از روش آماری تحلیل واریانس‌ها و به کمک آزمون آماری دانکن یک طرفه (در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$)) انجام گرفت.

نتایج

رنگبری شیمیایی

در رنگبری شیمیایی از مقادیر متفاوت دی‌اکسید کلر قابل دسترس (۶-۸-۱۰-۱۲ درصد) در توالی DA_1ED_2 استفاده شد. چنانچه در شکل ۱ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار درجه روشنی مربوط به سطح ۱۲ درصد دی‌اکسید کلر قابل دسترس استفاده شده می‌باشد که دارای اختلاف معنی‌داری ($P < 0.01$) با دیگر سطوح می‌باشد و بین دیگر سطوح نیز تفاوت معنی‌داری ($P < 0.01$) مشاهده می‌شود. بطوریکه با افزایش ماده شیمیایی رنگ‌بر، اکسیداسیون ترکیبات آروماتیک و رنگ‌ساز افزایش یافته و درجه روشنی نهایی خمیرکاغذ افزایش می‌یابد (Solomon, 1996). با توجه به درجه روشنی و مقدار دی‌اکسید کلر قابل دسترس استفاده شده، سطح ۱۰ درصد دی‌اکسید کلر قابل دسترس به عنوان مبنا برای رنگبری شیمیایی خمیرکاغذ در تیمار شاهد و تیمارهای آنزیمی انتخاب شد.

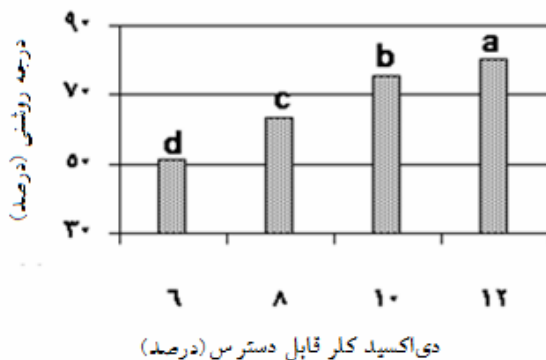
رنگبری خمیرکاغذ: رنگبری اصلی خمیرکاغذ در این بررسی پس از تیمار آنزیمی (پیش رنگبری با آنزیم زایلاناز) انجام شد. برای پیش‌تیمار آنزیمی و رنگبری تیمار شاهد، از کیسه پلاستیکی استفاده شد. در پیش‌تیمار آنزیمی ابتدا مقدار آنزیم مورد نظر در هر تیمار وزن و در آب مقطر حل شد. مقدار آنزیم زایلاناز در سه سطح ۱۰U، ۲۵U و ۵۰U (۱U مقدار آنزیمی است که در مدت ۱ دقیقه ۱ میکرومول سوپسترا (زایلان) را به محصول (زایلوز) تبدیل می‌کند) برای هر گرم جرم خشک خمیرکاغذ و به داخل کیسه‌های پلاستیکی حاوی خمیرکاغذ با میزان درصد خشکی ۱۰ درصد و pH=۵ افزوده شد. سپس کیسه‌ها به داخل حمام آب گرم با دمای ۵۳ درجه سانتی‌گراد منتقل شده و در مدت زمان ۲ ساعت عمل پیش رنگبری انجام شد. در زمان اثر آنزیم، محتویات کیسه به طور متناوب هم زده شد. پس از اتمام مدت زمان لازم برای پیش رنگبری، محتویات کیسه بر روی الک ۲۰۰ مش تخلیه و توسط آب مقطر شستشو شد. پس از اتمام تیمار آنزیمی، رنگبری اصلی با توالی DA_1ED_2 (اسید سولفوریک-دی‌اکسید کلر- استخراج قلیایی-دی‌اکسید کلر) و تیمار شاهد بدون آنزیم و با توالی DA_1ED_2 (اسید سولفوریک-دی‌اکسید کلر- استخراج قلیایی-دی‌اکسید کلر) طبق شرایط ذکر شده در جدول ۲ انجام شد.

ارزیابی خمیرکاغذ و کاغذ حاصل: بر اساس

استانداردهای مربوطه در آیین‌نامه تاپی، خمیرکاغذ شیمیایی رنگبری شده باگاس توسط دستگاه پالایشگر PFI تا رسیدن به درجه روانی 400 ± 25 (ml.CSF) 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 شد.

جدول ۲- شرایط رنگبری شیمیایی خمیر کرافت

شرایط	اسید (A)	دی اکسید کلر (D ₁)	استخراج قلیایی (E)	دی اکسید کلر (D ₂)
زمان (دقیقه)	۳۰	۹۰	۶۰	۱۸۰
دما (درجه سانتی گراد)	۵۰	۷۰	۷۰	۷۰
درصد خشکی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
مصرف دی اکسید کلر (وزن خشک خمیر)	-	۰.۱-۰.۸-۰.۶-۰.۴٪	-	۰.۲٪
مصرف سود (وزن خشک خمیر)	-	-	۱٪	-
pH ابتدایی	۲-۲/۵	۳/۵	۱۲	۳/۵
pH انتهایی	-	۵	۱۰/۵	۵



شکل ۱- تاثیر استفاده از سطوح مختلف دی اکسید کلر قابل دسترس بر درجه روشنی نهایی

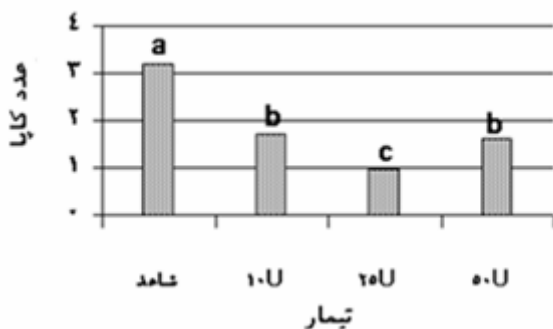
رنگبری در تیمار شاهد (DA₁ED₂) و تیمارهای آنزیمی (X_{0.۰۲۵.۱۰U} DA₁ED₂) در جدول ۳ نشان داده شده است.

عدد کاپا

عدد کاپا در واقع معیاری از لیگنین باقی مانده در خمیر کاغذ می باشد. تغییرات عدد کاپا در مراحل مختلف

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

تیمار	AD ₁	XAD ₁	AD ₁ E	XAD ₁ E	AD ₁ ED ₂	XAD ₁ ED ₂
شاهد	a7/9	-	b5/6	-	c3/2	-
۱۰U	-	a4/3	-	b2/7	-	c1/7
۲۵U	-	a3/42	-	b2/17	-	c0/96
۵۰U	-	a3/8	-	b2/63	-	c1/6



شکل ۲- اثر مقدار آنزیم در عدد کاپای نهایی خمیر کاغذ رنگ‌بری شده

کاپا کاهش بیشتری می‌یابد. با توجه به کاهش قابل توجه عدد کاپا توسط تیمارهای آنزیمی نسبت به تیمار شاهد، سودمندی پیش تیمار 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 به تبع آن کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، کاملاً مشهود به نظر می‌رسد (Bajpai et al., 1998).

دور پالایش

پالایش یکی از مهم‌ترین تیمارهای فیزیکی انجام شده بر خمیر کاغذ پیش از کاغذسازی است. پالایش به شکل موثری بر ویژگی فیزیکی ورقه‌های کاغذ تهیه شده تاثیرگذار است. هدف از پالایش افزایش سطح تماس میان الیاف به وسیله عمل فیبریله شدن الیاف است. همی سلولزها نقش مهمی در انعطاف‌پذیری الیاف ایفا می‌کنند و به دلیل ساختار بی‌شکل تمایل جذب آب در آنها زیاد می‌باشد، این تمایل به جذب آب، باعث افزایش واکنشیدگی الیاف، و به تبع آن افزایش انعطاف‌پذیری الیاف می‌شود. در پالایش خمیرهایی که دارای همی سلولز بیشتری هستند به دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر الیاف، عمل

به دلیل حذف گروه‌های لیگنینی بعد از هر مرحله رنگ‌بری توسط آنزیم و مواد شیمیایی رنگ‌بر، عدد کاپا در هر مرحله از رنگ‌بری به طور معنی‌داری ($P < 0.01$) در تمام توالی‌ها کاهش یافته است. چنانچه در شکل ۲ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار عدد کاپا نهایی مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقدار عدد کاپا نهایی مربوط به تیمار آنزیمی ۲۵U می‌باشد. بین تیمارهای آنزیمی با تیمار شاهد و همچنین در بین تیمارهای آنزیمی اختلاف معنی‌داری ($P < 0.01$) مشاهده می‌شود. پیش تیمار آنزیمی با آنزیم زایلاناز باعث هیدرولیز همی سلولز زایلان می‌شود (Costa & Colodette, 2007). آنزیم زایلاناز اتصالات کمپلکس لیگنین-کربوهیدرات (LCC^۱) در خمیر کاغذ را هیدرولیز می‌کند. لیگنین از طریق همی سلولز زایلان به سلولز متصل شده است. چنانچه اتصال ما بین همی سلولز زایلان و سلولز قطع گردد، لیگنین نیز به دلیل اتصال به همی سلولز زایلان از الیاف خارج می‌گردد (Buchert et al., 1994). با حذف لیگنین از شبکه الیاف، عدد کاپای خمیرهای تیمار شده با آنزیم زایلاناز کاهش می‌یابد، با افزایش میزان آنزیم هیدرولیز همی سلولز زایلان افزایش یافته و لیگنین بیشتری از شبکه الیاف خارج شده و عدد

(Eriksson et al., 1997, Koshijima et al., 2003). با این حال این نکته حائز اهمیت است که در تیمارهای آنزیمی انرژی مورد نیاز برای رسیدن به درجه روانی مشخص، نسبت به تیمار شاهد بسیار کمتر است. به عنوان مثال خمیر شاهد برای رسیدن به درجه روانی مورد نظر نیاز به ۴۵۰۰ دور پالایش دارد در حالی که تیمار ۵۰U نیاز به ۱۵۰۰ دور پالایش، برای رسیدن به همان درجه روانی نیاز دارد. چنانچه در جدول ۴ مشاهده می شود بین تیمار شاهد و تیمارهای آنزیمی و همچنین بین تیمارهای آنزیمی نیز اختلاف معنی داری ($P < 0.01$) مشاهده می شود.

فیبریله شدن در آنها نسبت به کوتاه شدن الیاف بیشتر صورت می گیرد. به نظر می رسد تیمارهای آنزیمی با حذف همی سلولزهای زایلان موجود در خمیرکاغذ برای رسیدن به درجه روانی مورد نظر نیاز به دور پالایش کمتری دارند (Jeffries et al., 1996). یکی از مزایای تیمارهای آنزیمی کاهش انرژی پالایشگرها می باشد. چنانچه در جدول ۴ مشاهده می شود در تیمارهای آنزیمی به دلیل حذف همی سلولز زایلان، واکنشیدگی و انعطاف پذیری کمتری در الیاف اتفاق افتاده و بیشتر عمل کوتاه شدن الیاف و ایجاد نرمه بیشتر اتفاق افتاده است

جدول ۴- تاثیر دور پالایش بر درجه روانی خمیرکاغذهای رنگبری شده

دور پالایش	درجه روانی (ml .CSF)	تیمار
a4500	409	شاهد (AD1ED2)
b2250	422	U(AD1ED2)10
c1800	409	U(AD1ED2)25
d1500	385	U(AD1ED2)50

درجه روشنی

مراحل کلردار کردن و استخراج، مواد شیمیایی رنگبر صرف لیگنین زدایی می شود اما در مرحله نهایی کلردار کردن عمل روشن سازی صورت می گیرد و درجه روشنی نهایی خمیرکاغذ به شدت افزایش می یابد (Solomon, 1996). در شکل ۳ بیشترین میزان درجه روشنی متعلق به تیمار آنزیمی ۲۵U و کمترین مقدار درجه روشنی متعلق به تیمار شاهد می باشد. بین تیمار شاهد و تیمارهای آنزیمی و همچنین بین تیمارهای آنزیمی اختلاف معنی داری ($P < 0.01$) مشاهده می شود.

تغییرات درجه روشنی خمیرکاغذ رنگبری شده در مراحل مختلف رنگبری در تیمار شاهد (DA_1ED_2) و تیمارهای آنزیمی (DA_1ED_2 X_{۵۰،۲۵،۱۰،۵}) در شکل ۵ نشان داده شده است. بعد از هر مرحله رنگبری درجه روشنی خمیرهای رنگبری شده به طور معنی داری ($P < 0.01$) افزایش می یابد. چنانچه مشاهده می شود با استفاده از مواد شیمیایی رنگبر در هر مرحله از توالی های رنگبری درجه روشنی خمیرکاغذ افزایش می یابد. در

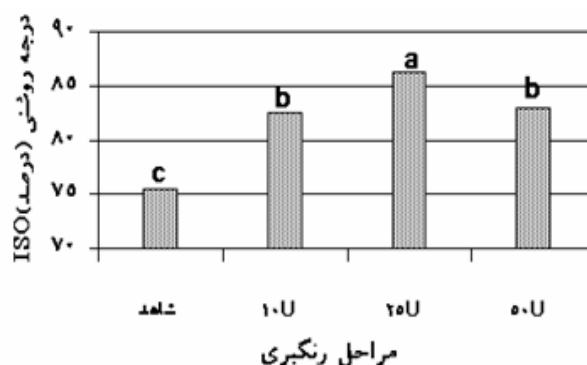
جدول ۵- درجه روشنی (%). خمیرهای رنگبری شده در مراحل مختلف رنگبری

XAD ₁ ED ₂	AD ₁ ED ₂	XAD ₁ E	AD ₁ E	XAD ₁	AD ₁	توالی تیمار
-	c۷۵/۵۱	-	b۵۳/۶۲	-	a۴۸/۸	شاهد
c۸۲/۵۳	-	b۶۱/۰۷	-	a۵۷/۳	-	۱۰U
c۸۶/۳۱	-	b۶۶/۹	-	a۶۱/۷۱	-	۲۵U
c۸۳/۰۰۵	-	b۶۲/۱۲	-	a۵۸/۵	-	۵۰U

(Medeiros et al., 2007). چنانچه مشاهده می شود حتی با استفاده اندک از آنزیم زایلاناز (۱۰U) درجه روشنی به طور معنی داری ($P < 0.01$) نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است.

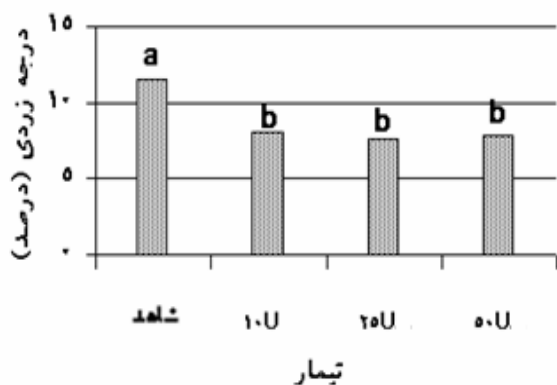
ماتی

ماتی با مجموع نور عبور کرده از کاغذ تعیین و ویژگی مهم کاغذهای چاپ، تحریر و اوراق بهادار می باشد. عوامل متعددی بر روی ماتی کاغذ اثرگذار بوده که عبارتند از: ساختار کاغذ، وزن پایه، فاصله الیاف از یکدیگر، میزان پالایش، فشار پرس در پایانه مرطوب، مواد رنگی، نوع فیلر، مقدار و اندازه پرکننده ها، میزان پراکندگی پرکننده ها. چنانچه در شکل ۴ مشاهده می شود بیشترین میزان ماتی مربوط به تیمار آنزیمی ۵۰U و کمترین میزان ماتی مربوط به تیمار شاهد می باشد. بین تیمارهای آنزیمی، تیمار ۲۵U با تیمار ۵۰U اختلاف معنی داری ($P < 0.01$) ندارد، اما تیمار آنزیمی ۱۰U با دیگر تیمارهای آنزیمی اختلاف معنی داری ($P < 0.01$) دارد. اما بین تیمارهای آنزیمی با تیمار شاهد اختلاف معنی داری ($P < 0.01$) مشاهده می شود.

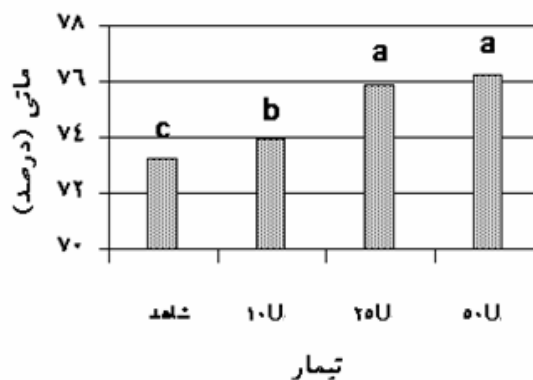


شکل ۳- اثر مقدار آنزیم بر درجه روشنی خمیر کاغذ رنگبری شده

آنزیم زایلاناز باعث هیدرولیز سطحی و تسهیل در خروج همی سلولز زایلان، مواد جذب کننده نور، و لیگنین متصل به زایلان و لیگنین های به دام افتاده می گردد. خروج اجزای ذکر شده، دسترسی پذیری ماده شیمیایی رنگبر، دی اکسید کربن را به ترکیبات آروماتیکی و رنگساز افزایش داده و باعث افزایش کارایی رنگبری می گردد (Roncero et al., 2005). همان طور که در شکل ۲ دیدیم، آنزیم زایلاناز باعث کاهش عدد کاپا شد. کاهش عدد کاپا به معنی حذف لیگنین است. همان طور که می دانیم لیگنین عامل جذب نور مرئی است و کاهش جذب نور به معنی افزایش درجه روشنی می باشد



شکل ۵- اثر مقدار آنزیم بر درجه زردی خمیر کاغذ رنگ‌بری شده



شکل ۴- اثر مقدار آنزیم بر ماتی خمیر کاغذ رنگ‌بری شده

درجه زردی

همان‌طور که 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 ۲۵U می‌باشد. بین تیمار شاهد و تیمارهای آنزیمی اختلاف معنی‌داری ($P < 0.01$) مشاهده می‌شود درحالی‌که بین تیمارهای آنزیمی اختلاف معنی‌داری ($P < 0.01$) مشاهده نمی‌شود. با افزایش میزان آنزیم زایلاناز در تیمارهای آنزیمی نسبت به تیمار شاهد از میزان درجه زردی کاغذهای دست‌ساز کاسته می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد وجود گروه‌های آروماتیکی، گروه‌های رنگ‌ساز و گروه‌های جاذب نور باعث افزایش ضریب جذب نور شده و کاهش درجه روشنی و افزایش درجه زردی کاغذهای دست‌ساز را به دنبال دارند (Buchert et al., 1994). آنزیم زایلاناز با ایجاد هیدرولیز گروه‌های رنگ‌ساز متصل به الیاف موجب تسهیل خروج آنها از خمیر و افزایش کارایی رنگ‌بری می‌شود. با خروج گروه‌های جاذب نور درجه روشنی افزایش و درجه زردی کاهش می‌یابد (Jeffries et al., 1996).

نتایج

نتایج این تحقیق نشان دهنده قابلیت استفاده از آنزیم زایلاناز در پیش رنگ‌بری خمیر کاغذ کرافت باگاس بود. استفاده از آنزیم زایلاناز قبل از رنگ‌بری اصلی باعث کاهش عدد کاپا شد که با نتایج Buchert و همکاران (۱۹۹۴) مطابقت دارد. Jeffries و همکاران (۱۹۹۶) به کاهش دور پالایش برای رسیدن به درجه روانی مشخص توسط آنزیم زایلاناز اشاره کردند و نتایج این تحقیق نیز کاهش دور پالایش را در اثر تیمار آنزیمی نشان داد. همچنین تاثیر آنزیم زایلاناز در بهبود خواص نوری از قبیل درجه روشنی، درجه زردی و ماتی کاملاً مشخص و برتر در مقایسه با تیمار شاهد بود. به طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج بدست آمده توسط سایر پژوهشگران بویژه Roncero و همکاران (۲۰۰۵) و Medeiros و همکاران (۲۰۰۷) همخوانی دارد.

سپاسگزاری

در پایان از مسئولین آزمایشگاه کاغذسازی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به ویژه

- Eriksson, JE., and Cillbert, A., 1997. Family-10 and family-11 xylanase in their capacity to enhance the bleachability of hardwood and softwood pulps. *Appl Microbial Biotechnol*, 48: 177-183
- Jeffries, T.W., and Viikari, L., 1996. *Enzymes for pulp and paper processing*. American Chemical Society, Washington, DC, 326p
- Mansfield, D., Shown, K.Y., Wong, Ken., Dickson, Alen., 2000. Variation in the response of three different pinus radiata kraft pulps to xylanase treatments. www.appt.allenpress.com
- 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. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50(2): 231-238
- Roncero, MB., Torres, AL., Colom, JF., Vidal, T., 2005. The effect of xylanase on lignocellulosic components during the bleaching of wood Pulps. *Bioresource Technology*, 96: 21-30
- Sarwar, J., Mohaiuddin, M.G., Talukder, S.H., and Rashid, H., 2001. Xylanase bleaching of non wood pulps. The 8th ICBPPI, June 4-8, Helsinki, Finland. Abstract-book.
- Solomon, K.R., 1996. Chlorine in the bleaching of pulp and paper. *Pur& Appl. Chem*, 68(9): 1721-1730
- 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.
- Yang, jane L., 1993. Bleaching eucalyptus kraft pulp with enzone process. www.paperloop.com

خانم مهندس حسین خانی و همچنین مسئول آزمایشگاه خمیر و کاغذ کارخانه چوب و کاغذ مازندران، خانم مهندس کلانتری تشکر و سپاسگذاری به عمل می آید.

منابع مورد استفاده

- Bajpai, P., 1998. *Biotechnology for Environmental Protection in pulp and paper Industry*. Springer, Germany, Pp: 91-107.
- Buchert, J., Tenkanen, M., Kantelinen, A., and Viikari, L., 1994. Application of xylanases in the pulp and paper industry, *Bioresource Technology*, 50(1): 65-72
- Christov, L.P., Akhtar, M., and Prior, B.A., 1996. Impact of xylanase and fungal pretreatment on alkali solubility and brightness of dissolving pulp. *Holzforschung*, 50: 579-582.
- Costa, M.M., and Colodette, J.L., 2007. The impact of kappa number composition on eucalyptus kraft pulp bleachability. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 24(1): 61-71.
- Durate, M.C.T., Cristina Da Silva, E., Gomes, I.M.D.B., Ponezi, A.N., Portugal, E.P., Vicente, J.R., and Davanzo, E., 2003. Xylan-hydrolyzing enzyme system from *Bacillus Pumilus CAMAI 0008* and its effects on eucalyptus grandis kraft pulp for pulp bleaching improvement. *Bioresources Technology*, 88: 9-15.

Effects of xylanase on optical properties of bagasse kraft pulp in ECF bleaching

Resalati, H.¹, Beik Marandi, M.A.^{2*} and Saraiian, A.R.³

1- Associate prof., Faculty members Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

2*- Corresponding author, M.Sc , Wood and Paper Science Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
E_mail: morteza_mabm@yahoo.com

3- Assitant prof., Faculty members Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: Nov., 2008

Accepted: May, 2009

Abstract

The effect of using commercial xylanase enzyme in prebleaching of bagasse kraft pulp was investigated. Xylanase enzyme from *Trichoderma viride* was added to pulp at various doses of 10, 25 and 50 IU/g pulp for reaction time 2h and then the enzyme treated pulp was bleached in ADED sequences (Acid sulfuric +Dioxide chlorine 4, 6, 8, 10% + Alkaline extraction + Dioxide chlorine 2% as available chlorine). The results have shown that with increased dioxide chlorine in D1 bleaching sequence, final brightness of bleached pulp was increased significantly ($P<0.01$). Furthermore, in the case of treated samples by xylanase enzyme optical properties of bleached pulp such as brightness and opacity were increased significantly ($P<0.01$). For yellowness, revolution of refiner for distinct pulp freeness and kappa number have shown decreased significantly ($P<0.01$). Maximum of brightness and minimum of kappa number and yellowness were belong to 25 IU/g pulp treatment that about 10.8, 3.98% and 2.24 unit have difference significantly ($P<0.01$) as compared with control sample respectively. Maximum of opacity and Minimum was belong to 50IU/g pulp treatment that about 3 and 13.24% have difference significantly as compared with control sample respectively. Regardless of obtained results 25IU/g pulp treatment could be selected as optimal treatment.

Keywords: Bagasse, Kraft Pulp, Xylanase Enzyme, Optical Properties, Biobleaching