

## تأثیر ذخیره‌سازی و رنگبری خمیر الیاف پنبه بر ثبات ویژگی‌های نوری کاغذ اوراق بهادار

علی قاسمی چهاردهی<sup>۱</sup>، اسماعیل رسولی گرمارودی<sup>۲\*</sup>، امید رضانی<sup>۳</sup> و قاسم اسدپور اتویی<sup>۴</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی پالایش زیستی، پردیس ۱ دانشگاه شهید بهشتی، زیرآب، سوادکوه، مازندران، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی پالایش زیستی، پردیس ۱ دانشگاه شهید بهشتی، زیرآب، سوادکوه، مازندران، ایران،

پست الکترونیک: e\_rasooly@sbu.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی پالایش زیستی، پردیس ۱ دانشگاه شهید بهشتی، زیرآب، سوادکوه، مازندران، ایران

۴- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه منابع طبیعی و علوم کشاورزی، ساری، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۸

### چکیده

این تحقیق باهدف بررسی تأثیر ذخیره‌سازی و رنگبری الیاف پنبه بر ثبات ویژگی‌های نوری کاغذهای اوراق بهادار انجام شد. بدین‌منظور خمیر صنعتی رنگبری نشده الیاف پنبه با درجه روانی ۱۳°SR، به دو صورت ثابت و در حال به هم خوردن به مدت ۳ تا ۱۵ روز در شرایط دمایی محیط ذخیره شد. پس از انقضای زمان، تحت عملیات رنگبری با پروکسید هیدروژن قرار گرفت. سپس از خمیرهای رنگبری شده کاغذهای دست‌ساز استاندارد ۶۰ گرمی ساخته شد و پس از هواخشک‌کردن کاغذها، آنها تحت فرایند کهنگی به روش‌های UV و گرمایی قرار گرفتند و بعد ویژگی‌های نوری آنها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که نمونه‌های ذخیره همزن، در مقایسه با نمونه‌های ذخیره ثابت دارای درجه روشنی و سفیدی بیشتر و زردی کمتری بوده و با افزایش زمان ذخیره این مقادیر به ترتیب بیشتر و کمتر می‌شوند. در مورد تیمار UV، درجه روشنی و ماتی نمونه‌های ذخیره ثابت روند کاهشی و نمونه‌های ذخیره همزن، روند صعودی داشتند. درجه روشنی نمونه‌های ذخیره ثابت با تیمار گرمایی، روندی افزایشی و نمونه‌های ذخیره همزن، دارای روند نزولی بودند. همچنین، تیمارهای UV و گرمایی، به‌ویژه در حالت ذخیره ثابت باعث افزایش زردی و در حالت ذخیره همزن، باعث افزایش سفیدی کاغذ شدند؛ بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، روش ذخیره همزن نسبت به روش ذخیره ثابت ترجیح داشت، زیرا این روش قبل و بعد از رنگبری، ویژگی‌های نوری مناسب‌تری را ارائه داد. بعلاوه، کاغذهای حاصل از تیمار ذخیره همزن نیز خصوصیات مطلوب‌تری داشتند و تأثیرپذیری آنها از گرما در زمان حال و در درازمدت بیشتر از نور UV بود.

واژه‌های کلیدی: الیاف پنبه، ذخیره ثابت، ذخیره همزن، رنگبری با پراکسید هیدروژن، برگشت روشنی

### مقدمه

کاغذهای با مقاومت بالاتر ترجیح دارد، زیرا علاوه بر ایجاد مقاومت‌های لازم می‌تواند کیفیت چاپ مناسب‌تری نیز ارائه دهد (Shaw et al., 1926; Marques et al., 2010). بعلاوه، کاغذهای اوراق بهادار به‌ویژه آن دسته‌ای که دارای چاپ سایه‌دار<sup>۱</sup> می‌باشند باید از حجیمی مناسبی نیز برخوردار باشند.

برای تولید هر نوع کاغذ، ماده اولیه مشخصی در فرایند خاص آن بکار برده می‌شود. در این راستا، مثلاً برای تولید کاغذ اوراق بهادار از الیاف کتان، پنبه، لینتر پنبه، Hemp, Flax و ... استفاده می‌شود. در این مورد، الیاف پنبه برای تولید

در این مورد، الیاف پنبه پس از باز شدن و تمیزسازی، ابتدا با استفاده از دستگاه پالایشگر، پالایش اولیه را می‌گذرانند و بعد برای خروج ناخالصی‌ها، مواد استخراجی، لیگنین و ... توسط پروکسید هیدروژن مورد عملیات رنگبری قرار می‌گیرند (Temming *et al.*, 1973 و Wakelyn *et al.*, 2007).

تجربه صنعتی نشان می‌دهد که گاهی اوقات روشنی خمیرکاغذ در طول خط تولید، از برج رنگبری تا ماشین کاغذ، افت می‌نماید که نه تنها دلیل آن به سادگی قابل تشخیص نیست، بلکه از کارخانه‌ای به کارخانه دیگر نیز متفاوت است (Enberg *et al.*, 2013). مطالعات Johnsen و همکاران (۲۰۱۰) نشان می‌دهد که همپوشانی مناسبی بین ذخیره خمیر در آزمایشگاه و صنعت وجود دارد. ذخیره خمیرها قبل و بعد از رنگبری به‌عنوان یکی از مراحل متداول در فرایند تولید می‌باشد که به عواملی مانند دما، غلظت خمیر، pH، نوع آب ذخیره‌سازی، مواد شیمیایی و افزودنی‌های فرایندی، نوع خمیر و ... وابسته بوده و بر روی ویژگی‌های مختلف خمیرکاغذ اثرگذارند (Narvestad, Johnsen *et al.*, 2010, Narvestad *et al.*, 2011 و *et al.*, 2013). در این راستا، ذخیره‌سازی خمیر در طول زمان، افزایش دما در مرحله ذخیره‌سازی، افزایش غلظت خمیر، حضور یون‌های فلزی همراه خمیر و ... از عوامل فرایندی هستند که باعث کاهش درجه روشنی خمیر می‌شوند (Enberg *et al.*, 2013) که گاه اثرهای خود را پس از مرحله رنگبری نشان می‌دهند.

رنگبری با اهداف مختلفی مانند افزایش درجه روشنی (Suess, 2010; Ragauskas, 2007)، تمیزی بهتر، پایداری درجه روشنی، حذف همی‌سلولزها، حذف لیگنین و یا بی‌رنگ کردن آن (Ragauskas, 2007) و حذف مواد استخراجی به‌کار می‌رود. مسائل زیست‌محیطی عاملی مهم و محدودکننده در انتخاب روش رنگبری هستند که بر این اساس روش‌های رنگبری دوست‌دار محیط‌زیست (TCF و ECF) توسعه یافته‌اند که هریک از مواد شیمیایی خاصی برای عملیات رنگبری استفاده می‌نمایند (Granström *et al.*, 2001 و Rasooly Garmaroody *et al.*, 2011). رنگبری با پراکسید هیدروژن، یکی از روش‌های رنگبری دوست‌دار محیط‌زیست بدون کلر (TCF<sup>1</sup>) می‌باشد که استفاده از آن روزبه‌روز بیشتر می‌شود. پراکسید هیدروژن با عمل اکسیداسیون، باعث تبدیل باندهای دوگانه به تک‌گانه شده و به‌این ترتیب باعث کاهش جذب نور و در نتیجه، افزایش نور منعکس شده از الیاف می‌گردد. این ماده، با وجود مزایای فراوان زیست‌محیطی و فنی، ماده شیمیایی بی‌ثباتی می‌باشد و در معرض یون‌های فلزی موجود در خمیر یا آب فرایندی، افزایش درجه حرارت و pH به سرعت تجزیه و تخریب می‌گردد. در نتیجه، این عوامل سبب افزایش مصرف این ماده و کاهش کارایی آن در بهبود روشنی خمیر می‌شوند. بدین منظور لازم است تا مواد شیمیایی دیگری از جمله هیدروکسید سدیم و سیلیکات سدیم نیز به همراه پراکسید هیدروژن در فرایند رنگبری به‌کار روند (Ghasemi & Behrooz, 2011). Yin و همکاران (۲۰۱۴) در رنگبری الیاف پنبه با پراکسید هیدروژن در درجه حرارت پایین (حدود ۷۰ درجه سانتی‌گراد) از کاتالیزورهایی بر مبنای مس ( $[Cu (TPMA) Cl] ClO_4 \cdot 1/2 H_2O$ ) استفاده نمودند که در مقایسه با هیدروکسید سدیم، فعال‌کننده همگنی بوده و قابل‌حل در آب می‌باشد. با استفاده از این ماده، علاوه بر کند شدن تجزیه پروکسید هیدروژن، شاخص سفیدی خمیر نیز افزایش قابل‌ملاحظه‌ای یافت.

عقاید مختلف عوامل متفاوتی را باعث برگشت روشنی خمیر می‌دانند که می‌توان به عوامل اصلی آن مانند اثر گرما، نور UV، رطوبت، لیگنین باقیمانده در خمیر، گروه‌های ارونیک اسید و کربوهیدرات‌های اکسید شده و نیز سایر عوامل مثل منشأ ماده اولیه تولید خمیر، شرایط خمیرسازی، توالی‌های رنگبری، رزین‌ها، همی‌سلولز، فلزات سنگین، آلودگی‌های محیط و ... اشاره کرد (Castellan & Grelier, 2016; Enberg *et al.*, 2013). همچنین ذخیره خمیر پالایش شده در

در این مورد، الیاف پنبه پس از باز شدن و تمیزسازی، ابتدا با استفاده از دستگاه پالایشگر، پالایش اولیه را می‌گذرانند و بعد برای خروج ناخالصی‌ها، مواد استخراجی، لیگنین و ... توسط پروکسید هیدروژن مورد عملیات رنگبری قرار می‌گیرند (Temming *et al.*, 1973 و Wakelyn *et al.*, 2007).

تجربه صنعتی نشان می‌دهد که گاهی اوقات روشنی خمیرکاغذ در طول خط تولید، از برج رنگبری تا ماشین کاغذ، افت می‌نماید که نه تنها دلیل آن به سادگی قابل تشخیص نیست، بلکه از کارخانه‌ای به کارخانه دیگر نیز متفاوت است (Enberg *et al.*, 2013). مطالعات Johnsen و همکاران (۲۰۱۰) نشان می‌دهد که همپوشانی مناسبی بین ذخیره خمیر در آزمایشگاه و صنعت وجود دارد. ذخیره خمیرها قبل و بعد از رنگبری به‌عنوان یکی از مراحل متداول در فرایند تولید می‌باشد که به عواملی مانند دما، غلظت خمیر، pH، نوع آب ذخیره‌سازی، مواد شیمیایی و افزودنی‌های فرایندی، نوع خمیر و ... وابسته بوده و بر روی ویژگی‌های مختلف خمیرکاغذ اثرگذارند (Narvestad, Johnsen *et al.*, 2010, Narvestad *et al.*, 2011 و *et al.*, 2013). در این راستا، ذخیره‌سازی خمیر در طول زمان، افزایش دما در مرحله ذخیره‌سازی، افزایش غلظت خمیر، حضور یون‌های فلزی همراه خمیر و ... از عوامل فرایندی هستند که باعث کاهش درجه روشنی خمیر می‌شوند (Enberg *et al.*, 2013) که گاه اثرهای خود را پس از مرحله رنگبری نشان می‌دهند.

رنگبری با اهداف مختلفی مانند افزایش درجه روشنی (Suess, 2010; Ragauskas, 2007)، تمیزی بهتر، پایداری درجه روشنی، حذف همی‌سلولزها، حذف لیگنین و یا بی‌رنگ کردن آن (Ragauskas, 2007) و حذف مواد استخراجی به‌کار می‌رود. مسائل زیست‌محیطی عاملی مهم و محدودکننده در انتخاب روش رنگبری هستند که بر این اساس روش‌های رنگبری دوست‌دار محیط‌زیست (TCF و ECF) توسعه یافته‌اند که هریک از مواد شیمیایی خاصی برای عملیات رنگبری استفاده می‌نمایند (Granström *et al.*, 2001 و Rasooly Garmaroody *et al.*, 2011). رنگبری با پراکسید هیدروژن، یکی از روش‌های رنگبری دوست‌دار محیط‌زیست (TCF<sup>1</sup>) می‌باشد که استفاده از آن روزبه‌روز بیشتر می‌شود. پراکسید هیدروژن با عمل اکسیداسیون، باعث تبدیل باندهای دوگانه به تک‌گانه شده و به‌این ترتیب باعث کاهش جذب نور و در نتیجه، افزایش نور منعکس شده از الیاف می‌گردد. این ماده، با وجود مزایای فراوان زیست‌محیطی و فنی، ماده شیمیایی بی‌ثباتی می‌باشد و در معرض یون‌های فلزی موجود در خمیر یا آب فرایندی، افزایش درجه حرارت و pH به سرعت تجزیه و تخریب می‌گردد. در نتیجه، این عوامل سبب افزایش مصرف این ماده و کاهش کارایی آن در بهبود روشنی خمیر می‌شوند. بدین منظور لازم است تا مواد شیمیایی دیگری از جمله هیدروکسید سدیم و سیلیکات سدیم نیز به همراه پراکسید هیدروژن در فرایند رنگبری به‌کار روند (Ghasemi & Behrooz, 2011). Yin و همکاران (۲۰۱۴) در رنگبری الیاف پنبه با پراکسید هیدروژن در درجه حرارت پایین (حدود ۷۰ درجه سانتی‌گراد) از کاتالیزورهایی بر مبنای مس ( $[Cu (TPMA) Cl] ClO_4 \cdot 1/2 H_2O$ ) استفاده نمودند که در مقایسه با هیدروکسید سدیم، فعال‌کننده همگنی بوده و قابل‌حل در آب می‌باشد. با استفاده از این ماده، علاوه بر کند شدن تجزیه پروکسید هیدروژن، شاخص سفیدی خمیر نیز افزایش قابل‌ملاحظه‌ای یافت.

هیدروژن قرار گرفت. لازم به ذکر است که پراکسید هیدروژن با درصد خلوص ۳۰٪ و وزن مخصوص ۱/۱۱ کیلوگرم بر لیتر، هیدروکسید سدیم با درصد خلوص ۴۰٪ و وزن مخصوص ۱/۴ کیلوگرم بر لیتر و سیلیکات سدیم با درصد خلوص ۲۷٪ (بر حسب  $\text{SiO}_2$ ) و خلوص ۸٪ (بر حسب  $\text{Na}_2\text{O}$ ) و وزن مخصوص ۱/۳۵ کیلوگرم بر لیتر و آب با سختی ۲۷۰ ppm برای انجام تیمارهای رنگبری بر روی خمیرهای ذکر شده، بکار برده شد. قابل ذکر است که تمام مواد شیمیایی مورد استفاده، تولید شرکت مرک آلمان بودند. برای انجام عملیات رنگبری، مقدار ۴۰ گرم خمیر بر مبنای وزن خشک از هر تیمار ذخیره‌ای، درون کیسه‌های پروپیلنی گذاشته شد و به آن ۱/۵ درصد سود، ۵ درصد (بر مبنای وزن خشک خمیر) پراکسید هیدروژن و ۲/۹ درصد سیلیکات سدیم اضافه گردید. مجموعه با آب دارای سختی ۲۷۰، به غلظت ۷ درصد رسانیده شد و در نهایت درب آن بسته شد. سپس به مدت ۲ ساعت درون حمام آبی با دمای  $85^\circ\text{C}$  قرار گرفت. پس از انقضای زمان مذکور، خمیرها را به درصد خشکی ۳ درصد رسانیده و پس از شستشو، از هریک از خمیرها، کاغذهای دست‌ساز استاندارد ۶۰ گرمی ساخته شد. کاغذها پس از خشک شدن در هوای آزاد و به منظور بررسی ثبات ویژگی‌های نوری آنها در طی زمان، تحت فرایند کهنگی کاغذ به دو روش ماوراءبنفش (UV) و گرمایی قرار گرفتند. شایان ذکر است که کهنگی گرمایی کاغذها بر اساس استاندارد ISO 5630 به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آون و کهنگی ماوراءبنفش بر اساس دستورالعمل Heitner (۱۹۹۶) در محفظه UV ساخت داخل در معرض نور دو لامپ با طول موج ۳۶۵ nm به مدت ۷۲ ساعت انجام شد. در پایان، اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری کاغذهای شاهد و تیمار شده با UV و گرما (روشنی، ماتی، سفیدی و زردی) بر اساس استاندارد TAPPI آئین‌نامه شماره ۹۸-۱۲۱۶ T انجام گردید. همچنین اختلافات آماری بین کاغذهای مختلف در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی و در نرم‌افزار SPSS تحلیل گردید و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

غلظت‌های بالاتر نسبت به غلظت‌های پائین‌تر باعث افت بیشتر درجه روشنی می‌شود (Lunan et al., 1986; Harris and Karnis, 1986). بعلاوه عواملی مثل زمان ذخیره، pH خمیر و خشکی آن در افت روشنی خمیر در اثر گرما تأثیرگذارند (Castellan and Grelier, 2016).

در تولید کاغذ اوراق بهادار از الیاف پنبه، خمیر پس از تمیزسازی‌های مختلف و پالایش اولیه، به مخزن ذخیره خمیر منتقل شده و از آنجا به برج رنگبری با پروکسید هیدروژن هدایت می‌شود. در این راستا، متناسب با شرایط تولید، خمیر ذخیره‌شده می‌تواند بلافاصله به برج رنگبری انتقال یافته و یا متناسب با مشکلات ایجادشده و توقف خط تولید، برای مدتی در مخازن ذخیره باقی بماند که این ماندگاری باعث می‌شود که خمیر پس از رنگبری دچار افت روشنی گردد و یا حتی پس از تولید در محل مصرف دچار برگشت درجه روشنی شود. اگر در طول مراحل فراوری خمیر قبل از ساخت کاغذ، خمیر دچار تغییرات ساختاری منتج به افت درجه روشنی شود، هزینه‌های مرحله سفیدسازی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. در این مورد، هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر شرایط زمان ذخیره‌سازی و رنگبری بر روی خمیرکاغذ در طول زمان می‌باشد که این موضوع را به دو صورت اعمال کهنگی ماوراءبنفش و گرمایی پیگیری می‌نماید و نتیجه آن می‌تواند به پیش‌بینی تغییرات خواص نوری کاغذ در بازه زمانی طولانی مدت ختم گردد.

## مواد و روش‌ها

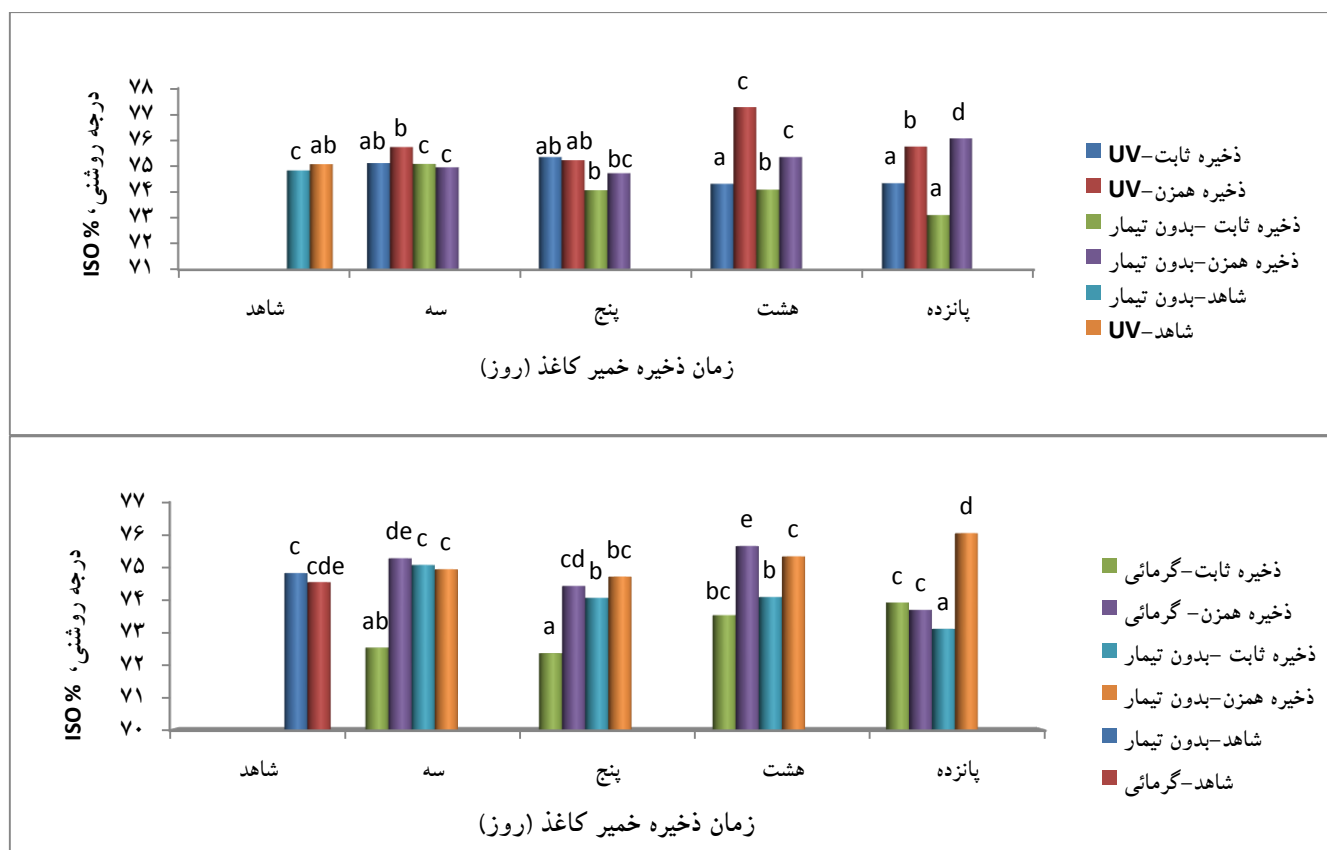
خمیر صنعتی الیاف پنبه که مراحل اولیه فراوری شامل تمیز سازی در حالت خشک و تر و پالایش اولیه صنعتی را گذرانیده بود، با درجه روانی  $13^\circ\text{SR}$  (۷۶۹ ml.CSF) به‌عنوان ماده اولیه در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور شبیه‌سازی شرایط ذخیره صنعتی، خمیرها به دو صورت ثابت و در حالت به هم خوردن با همزن به مدت ۳، ۵، ۸ و ۱۵ روز در شرایط دمایی محیط کارخانه و  $\text{pH}=7/5$  ذخیره‌شده و پس از انقضای هر زمان، خمیر مورد نظر تحت عملیات رنگبری با پروکسید

## نتایج

همان‌گونه که در قسمت بالای شکل ۱ (تیمار UV) دیده می‌شود، میزان درجه روشنی کاغذهای حاصل از رنگبری نمونه‌های ذخیره ثابت بدون تیمار سیر نزولی داشته، درحالی‌که برای نمونه‌های ذخیره همزن بدون تیمار، سیر صعودی دارد؛ اما نکته قابل توجه اینکه در بیشتر موارد نمونه‌های ذخیره همزن بدون تیمار، دارای درجه روشنی بالاتری نسبت به نمونه‌های ذخیره ثابت بدون تیمار هستند و هر چه زمان ذخیره خمیر کاغذ بیشتر می‌شود، اختلاف درجه روشنی دو نوع خمیر مذکور بیشتر می‌شود.

در مورد تیمار UV، برای نمونه‌های ذخیره ثابت تا ۵ روز افزایش درجه روشنی، اما از روز پنجم به بعد کاهش درجه روشنی مشاهده می‌شود. همین‌طور برای نمونه‌های

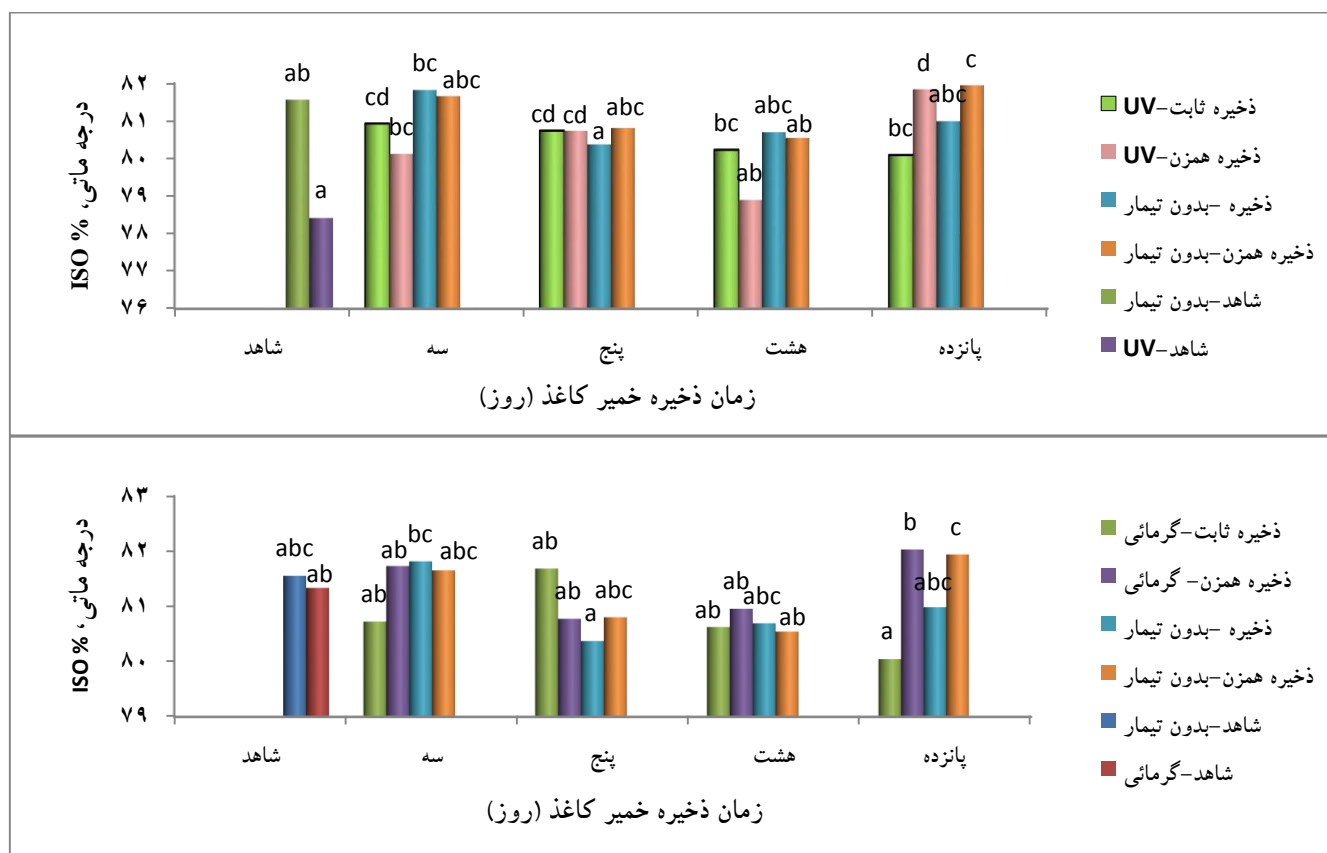
ذخیره همزن، درجه روشنی تا ۸ روز صعودی و بعد نزولی می‌شود. مقایسه بین نمونه‌های بدون تیمار و نمونه‌های با تیمار UV نشان می‌دهد که تا روز پنجم ذخیره، درجه روشنی نمونه‌های UV بیشتر از نمونه‌های بدون تیمار است و از آن به بعد، فقط نمونه‌های UV ذخیره ثابت، کمی اُفت کرده، ولی برای نمونه‌های UV ذخیره همزن، همواره درجه روشنی بالاتر می‌باشد. همچنین، بررسی نمودار پائین شکل ۱ (تیمار گرمایی) بیانگر آن است که درجه روشنی نمونه‌های با ذخیره ثابت تیمار گرمایی شده تا ۵ روز سیر نزولی داشته و از روز ۵ به بعد سیر صعودی پیدا می‌کند. در مورد نمونه‌های ذخیره همزن، به‌استثنای نمونه ۸ روز ذخیره، به‌طورکلی درجه روشنی سیر نزولی پیدا می‌کند.



شکل ۱- اثر ذخیره‌سازی و رنگبری خمیر کاغذ بر ثبات درجه روشنی کاغذ (بالا: UV و پایین: گرمایی)

نشان می‌دهد که درجه ماتی در نمونه‌های ذخیره ثابت و همزن بدون تیمار، به‌استثنای ۱۵ روز ذخیره، با افزایش زمان ذخیره کاهش می‌یابد. همچنین، درجه ماتی در نمونه‌هایی که تحت تیمار گرمایی قرار گرفته‌اند (نمونه‌های ذخیره ثابت) نسبت به نمونه شاهد کاهش داشته و با افزایش زمان، به‌استثنای ۵ روز ذخیره، از ماتی نمونه‌ها کاسته شده است. این روند در مورد نمونه‌های ذخیره همزن، سیر صعودی را نشان می‌دهد.

شکل ۲ (نمودار بالا) نشان می‌دهد که درجه ماتی در نمونه‌های ذخیره ثابت و همزن بدون تیمار، به‌استثنای ۱۵ روز ذخیره، با افزایش زمان ذخیره کاهش می‌یابد. همچنین، درجه ماتی در نمونه‌هایی که تحت تیمار UV قرار گرفته‌اند (نمونه‌های ذخیره ثابت) نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته و با افزایش زمان از ماتی نمونه‌ها کاسته شده است. این روند در مورد نمونه‌های همزن، به‌استثنای نمونه ۸ روز ذخیره سیر صعودی نشان می‌دهد. نمودار پائین شکل ۲



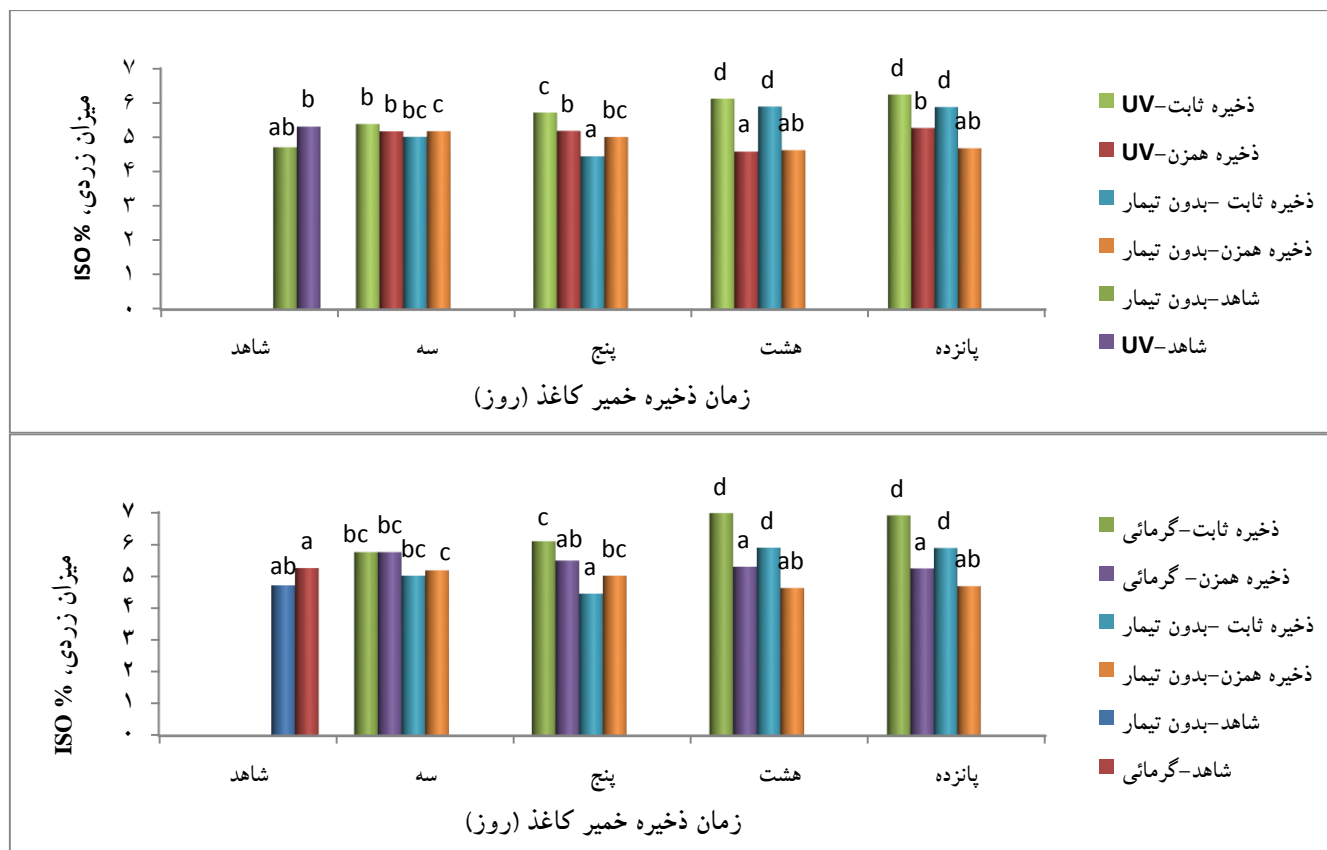
شکل ۲- اثر ذخیره‌سازی و رنگبری خمیر کاغذ بر ثبات درجه ماتی کاغذ (بالا: UV و پایین: گرمایی)

باهم نداشته و به‌نوعی می‌توان هم خوردن نمونه‌های خمیر را به‌عنوان فاکتوری مثبت در جلوگیری از افزایش زردی نسبت به نمونه‌های با ذخیره ثابت در نظر گرفت (البته هنگامی که در معرض نور UV قرار می‌گیرند). در مورد نمونه‌های بدون تیمار UV، در نمونه‌های با ذخیره ثابت نسبت به نمونه‌های با ذخیره همزن، باز هم افزایش میزان زردی دیده می‌شود. البته

همان‌طور که در نمودار بالای شکل ۳ کاملاً مشخص است، میزان زردی در نمونه‌های با تیمار UV و ذخیره ثابت، روند صعودی دارد و در نمونه‌های با تیمار UV و ذخیره همزن، تقریباً ثابت (به‌جز در نمونه ۸ روز که کمی کاهش دارد) می‌باشد؛ اما در مورد نمونه‌های با ذخیره همزن، آزمایش‌ها نشان داده که میزان زردی تفاوت چشمگیری

UV ذخیره ثابت، همواره از دیگر نمونه‌های موجود بیشتر است. در نمونه‌های با تیمار گرمایی در حالت ذخیره ثابت، کاملاً مشهود است که میزان زردی روند صعودی دارد.

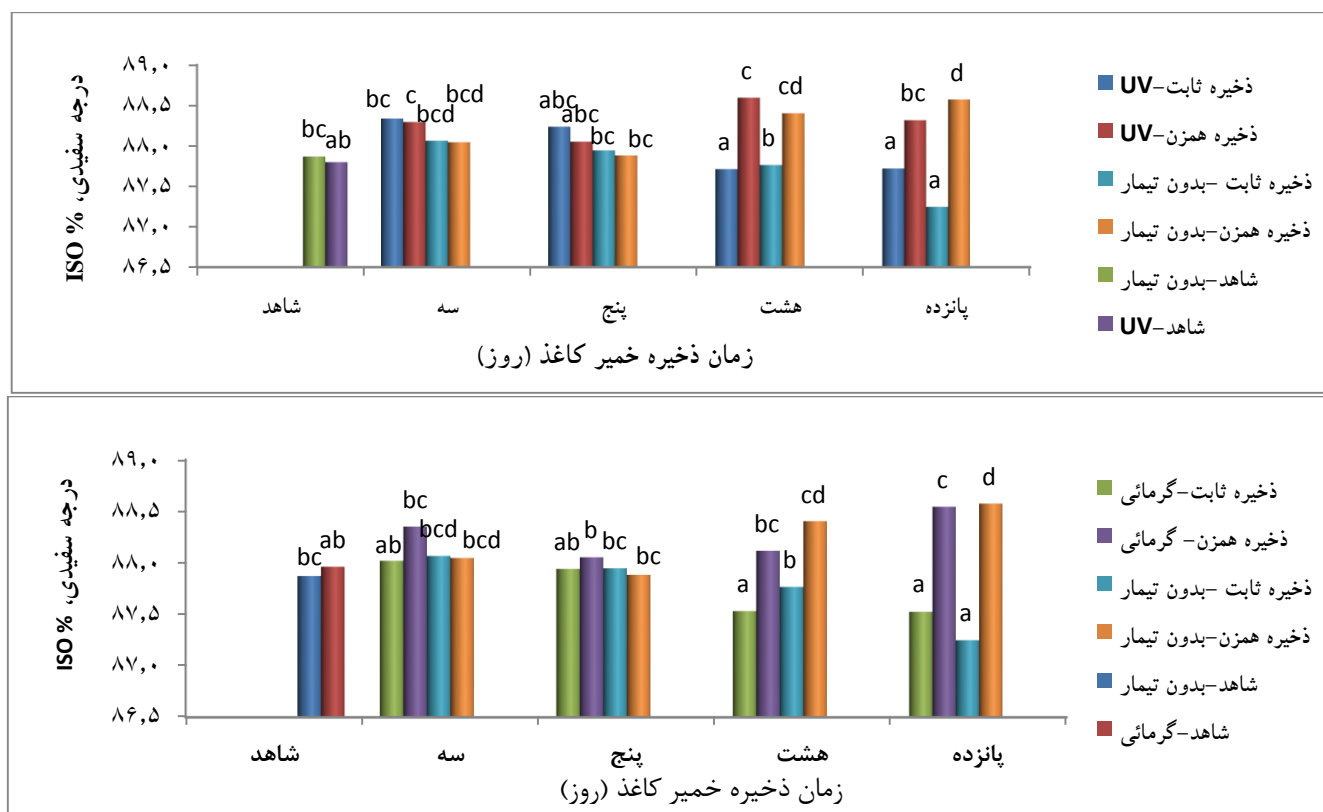
نکته جالب آنکه، میزان زردی نمونه‌های بدون تیمار ذخیره ثابت نسبت به نمونه‌های با تیمار UV ذخیره همزن بیشتر می‌باشد. نکته دیگر اینکه، میزان زردی نمونه‌های با تیمار



شکل ۳- اثر ذخیره‌سازی و رنگبری خمیر کاغذ بر ثبات درجه زردی کاغذ (بالا: UV و پایین: گرمایی)

درجه سفیدی، به میزان انعکاس تمامی طول موج‌های نور از یک ورقه کاغذ اشاره دارد. همان‌طور که از نمودار بالای شکل ۴ مشخص است، میزان سفیدی با گذشت زمان در نمونه‌های با ذخیره ثابت، تحت تیمار UV کاهش می‌یابد. نکته جالب، افزایش میزان سفیدی در نمونه‌های ۸ و ۱۵ روز ذخیره همزن با تیمار UV می‌باشد. البته روندهای ذکر شده عیناً برای نمونه‌های بدون تیمار ذخیره همزن نیز تکرار می‌شود.

برای نمونه‌های با تیمار گرمایی (نمودار پائین شکل ۳) ذخیره همزن، میزان زردی را می‌توان تقریباً بدون تغییر در نظر گرفت. به این مفهوم که ذخیره خمیر همراه با همزن می‌تواند از افزایش میزان زردی نمونه‌های کاغذ جلوگیری کند. همچنین، نمونه‌های بدون تیمار در مقایسه با نمونه‌های تیمار گرمایی، همواره دارای میزان زردی کمتر از نمونه‌های با تیمار گرمایی (به‌ویژه در نمونه‌های با ذخیره ثابت) می‌باشد.



شکل ۴- اثر ذخیره‌سازی و رنگبری خمیر کاغذ بر ثبات درجه سفیدی کاغذ (بالا: UV و پایین: گرمایی)

با افزایش زمان ذخیره، این مقدار بیشتر افزایش می‌یابد. بعلاوه، Enberg و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کرده‌اند که ذخیره خمیر رنگبری نشده و رنگبری شده چوب نوئل باعث افت درجه روشنی شده است و به هر میزان زمان ذخیره بیشتر شده میزان افت بیشتر بوده است.

در مورد تیمار UV، نمونه‌های ذخیره ثابت ابتدا از روند افزایشی و بعد کاهشی درجه روشنی تبعیت می‌کنند، درحالی‌که نمونه‌های ذخیره همزن، از روند تقریباً صعودی پیروی می‌کنند. همچنین، بررسی نمونه‌های ذخیره ثابت با تیمار گرمایی بیانگر آن است که روند تغییرات درجه روشنی ابتدا کاهشی و بعد افزایش است، درحالی‌که نمونه‌های ذخیره همزن، دارای روند تقریباً نزولی هستند. برگشت درجه روشنی و به عبارتی افت درجه روشنی خمیر در اثر تابش UV احتمالاً به ایجاد گروه‌های پاراکینون برمی‌گردد که باعث زردی خمیر نیز می‌شود (Yun and He, 2017) که به نظر می‌رسد این موضوع در مورد خمیر الیاف پنبه صادق

میزان سفیدی در نمونه‌های تیمار گرمایی (نمودار پائین شکل ۴) ذخیره ثابت، با افزایش زمان ذخیره، سیر نزولی دارد و در نمونه‌های ذخیره همزن، تقریباً روندی افزایشی نشان می‌دهد. برای نمونه‌های ذخیره ثابت، طبق مطالب ذکر شده، چون میزان زردی افزایش یافته بود، به تبع آن میزان سفیدی کاهش یافته است. در نمونه‌های بدون تیمار ذخیره ثابت، باز هم میزان سفیدی با افزایش زمان ذخیره کاهش می‌یابد و در نمونه‌های بدون تیمار ذخیره همزن روند افزایشی مشاهده می‌شود.

## بحث

این تحقیق به منظور بررسی اثر ذخیره‌سازی و رنگبری الیاف پنبه بر ثبات ویژگی‌های نوری کاغذ اوراق بهادار حاصل آن شده است. بررسی نمونه‌های تیمار نشده نشان می‌دهد که نمونه‌های ذخیره شده به روش همزن، در مقایسه با نمونه‌های ذخیره ثابت دارای درجه روشنی بیشتری بوده و

نباشد. رسولی گرمارودی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کرده‌اند که اکسیداسیون شیمیایی خمیر آلفاسلولز با پروکسید هیدروژن باعث تغییر گروه‌های هیدروکسیل به گروه‌های کربوکسیل بر روی زنجیره سلولز می‌شود. به‌طور کلی اکسیداسیون شیمیایی باعث افزایش جایگزینی گروه‌های کربوکسیل بر روی زنجیر سلولز می‌شود، زیرا گروه‌های آلدئیدی در مراحل اولیه اکسیداسیون در موقعیت‌های C2 و C3 شکل گرفته و در مراحل بعدی به گروه‌های کربوکسیل اکسید می‌شوند. این موضوع توسط Klemm و همکاران (۱۹۹۸)، Fras و همکاران (۲۰۰۲) و Gharekhani و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده‌اند. نشان داده شده است که گروه‌های کربوکسیل، همبستگی معنی‌داری با برگشت درجه روشنی دارد. در حقیقت اثبات شده که با استقرار گروه‌های کربوکسیل در C1 و یا C6 در ساختار سلولز نسبت به C2 و C3 برگشت روشنی بیشتری اتفاق می‌افتد (Potthast *et al.*, 2005). از سوی دیگر، سلولز به‌عنوان یک پلی‌الکل، می‌تواند در طی رنگبری خمیر کاغذ اکسید شده و مقادیر زیادی گروه‌های کربنیل و کربوکسیل را ایجاد نماید. این اکسیداسیون باعث کاهش وزن مولکولی سلولز می‌گردد، از این رو ساختارهای آروماتیکی جدیدی از زنجیر سلولز تشکیل می‌شوند که غیرقابل حل در آب هستند و می‌توانند باعث برگشت رنگ خمیر کاغذ گردند (Rasooly Garmaroody *et al.*, 2017). همچنین، در اثر تیمار گرمایی با ایجاد گروه‌های انتخابی اکسید شده بر روی سلولز مانند گروه‌های کتون، برگشت روشنی تقویت شده، در حالی که گروه‌های آلدئیدی در C2 و C3 اثر حداقلی بر روی برگشت آن دارند (Chirat and Chapelle, 1999). با ارزیابی کاغذهایی که تحت تیمار UV و گرمایی قرار گرفته‌اند، در مجموع به نظر می‌رسد از نظر درجه روشنی کاغذ، روش ذخیره با همزن گزینه مناسب‌تری از نظر ویژگی مذکور در زمان حال و یا در درازمدت می‌باشد و به‌عبارت‌دیگر از ثبات روشنی بیشتری برخوردار است. بعلاوه، نتایج تحقیقات مختلف در مورد تیمارهای کهنگی نشان می‌دهد که اثر تیمار گرمایی در برگشت درجه روشنی

خمیر بیشتر از اثر آن در روش تیمار UV می‌باشد (Kennedy *et al.*, 2000؛ Chirat and Chapelle, 1999) که این موضوع در این بررسی نیز تأیید شد. همچنین، تیمارهای UV و گرمایی از نظر ویژگی زردی کاغذ، به‌ویژه در حالت‌های ثابت باعث افزایش زردی کاغذ می‌شود. به‌طوری‌که با افزایش زمان ذخیره خمیر بر میزان زردی کاغذ حاصل، به‌ویژه در تیمارهای ثابت افزوده می‌شود؛ بنابراین روش ذخیره با همزن از نظر جلوگیری از زرد شدن کاغذ در زمان حال و درازمدت گزینه مطلوب‌تری به نظر می‌رسد. در اثر برخورد نور UV به مواد سلولزی، نور UV توسط مواد لیگنینی و اساساً هر ماده شیمیایی دارای پیوندهای دوگانه جذب شده و باعث تشکیل پیوندهای دوگانه جدید شده که باعث افزایش زردی می‌شود (Heitner, 2010) که با توجه به ماهیت الیاف پنبه به نظر می‌رسد اکسیداسیون شیمیایی الیاف زمان رنگبری با پروکسید باعث ایجاد گروه‌هایی مانند کربوکسیل می‌شود که به‌دلیل داشتن باندهای دوگانه منجر به جذب نور UV و افزایش زردی کاغذ می‌شوند (Rasooly Garmaroody *et al.*, 2015). به‌طور کلی، بر اساس نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، تیمار گرمایی اثرگذاری بیشتری در زرد شدن کاغذ نسبت به تیمار UV بجای می‌گذارد که این موضوع مهر تأییدی بر افت درجه روشنی در تیمار گرمایی است. درجه ماتی در نمونه‌های ذخیره ثابت و همزن بدون تیمار، روندی نزولی را نشان می‌دهد. همچنین، درجه ماتی در نمونه‌هایی که تحت تیمار UV و گرمایی قرار گرفته‌اند، در نمونه‌های ذخیره ثابت روند کاهشی و در مورد نمونه‌های همزن، سیر صعودی نشان می‌دهد. به‌طور کلی در نمونه‌های ذخیره همزن، با افزایش زمان ذخیره در هر دو نوع تیمار UV و گرمایی، درجه ماتی کاغذها، به‌استثنای زمان‌های ۵ و ۸ روز افزایش می‌یابد. همچنین، روش ذخیره‌سازی با همزن در مجموع از درجه ماتی بالاتری برخوردار است. بعلاوه، بر اساس نتایج این تحقیق، اثرگذاری تیمار گرمایی از نظر ایجاد ماتی بیشتر در کاغذ، در مجموع از تیمار UV بیشتر می‌باشد. لازم به ذکر



## منابع مورد استفاده

- Castellan, A. and Grelier, S., 2016. Color and Color Reversion of Cellulosic and Lignocellulosic Fibers: 531–552. In: Belgacem, N. and Pizzi, A., (Eds.). *Lignocellulosic Fibers and Wood Handbook*. Scrivener Publishing LLC, Massachusetts, 704p.
- Chirat, C. and Chapelle, D., 1999. Heat and light induced brightness reversion of bleached chemical pulps. *Journal of Pulp and Paper Science*, 25(6): 201-205.
- Enberg, S., Rundlöf, M., Paulsson, M., Johnsen, I. A. and Axelsson, P., 2013. The influence of process conditions during pulp storage on the optical properties of Norway spruce mechanical pulps. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 28(2): 203-210.
- Fras, L., Stana-Kleinschek, K., Ribitsch, V., Sfiligoj-Smole, M., and Kreze, T., 2002. Quantitative Determination of Carboxyl Groups in Cellulose by Complexometric Titration, *Lenzinger Berichte*, 81: 80-88.
- Gharehkhani, S., Sadeghinezhad, E., Newaz Kazi, S., Yarmand, H., Badarudin, A., Safaei, M. R., and Zubir M. N. M., 2015. Basic effects of pulp refining on fiber properties-A review. *Carbohydrate Polymers*, 115: 785–803.
- Ghasemi, S. and Behrooz, R., 2011. The effect of consistency on the optical properties of hydrogen peroxide bleached CMP pulp. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 26(2): 398-409. (In Persian).
- Granström, A., Eriksson, T., Gellerstedt G., Rööst, C. and Larsson, P., 2001. Variables affecting the thermal yellowing of TCF bleached birch kraft pulps. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 16(1): 18-23.
- Harris, G. and Karnis A., 1986. Storage of latent mechanical pulps, *Journal of Pulp and Paper Science*, 12(4): 100.
- Heitner, C. R., Dimmel, D. A. and Schmidt, J., 2010. *Lignin and Lignans. Advances in Chemistry*. By Taylor and Francis Group, LLC. CRC Press. Boca Raton London New York. 636 pages.
- Heitner, C., 1996. Chemistry of brightness reversion and its control: 183–212. In: *Pulp Bleaching: Principles and Practice* (C. Dence and D. Reeve, (eds), TAPPI Press, Atlanta, 880p.
- Johnsen, I. A., Narvestad, H., Axelsson, P., Enberg, S., Aasarød, K. and Kure, K-A., 2010. Metal induced brightness loss of peroxide bleached TMP. 7th International Seminar on Fundamental Mechanical Pulp Research, Nanjing, China, 20-26 June, Nanjing, China: 211-218.
- است که نمونه‌های ۵ و ۸ روز در هنگام ذخیره قبل از برج رنگبری به کپک آلوده شده بودند که احتمالاً آنزیم‌های ترشح شده از آنها باعث تخریب سطحی سلولز گردیده است که با این کار انعطاف‌پذیری الیاف بیشتر شده و در هنگام تشکیل کاغذ RBA الیاف بیشتر شده و همین موضوع باعث می‌شود که فضاهای خالی بین الیاف کاهش یافته و انعکاس نور از انکسار آن در فضاهای خالی شبکه الیاف کاغذ کمتر و به همین علت ماتی کاغذ کاهش و روشنی آن افزایش یابد (Rasooly Garmarody, 2011). این موضوع با افزایش روشنی کاغذ در روزهای ذخیره مذکور به‌ویژه در ۸ روز همان‌طوری که شکل ۱ نیز این مورد را تأیید می‌کند. همچنین، تیمارهای UV و گرمایی از نظر ویژگی سفیدی کاغذ، به‌ویژه در حالت‌های همزن، باعث افزایش سفیدی کاغذ می‌شوند. بعلاوه، با افزایش زمان ذخیره خمیر بر میزان سفیدی کاغذ حاصل، به‌ویژه در تیمارهای همزن افزوده می‌شود؛ بنابراین روش ذخیره با همزن از نظر بهبود سفیدی کاغذ در زمان حال و درازمدت گزینه مطلوب‌تری به نظر می‌رسد. مقایسه بین تیمارهای UV و گرمایی نشان می‌دهد که تیمار گرمایی اثر منفی بیشتری در کاهش سفیدی کاغذ بجای می‌گذارد. در مجموع اثر تخریبی تیمار گرمایی بر ویژگی‌های نوری کاغذها در مقایسه با تیمار UV بیشتر است که این موضوع به ایجاد گروه‌های کربوکسیل در C2 و C3 حاصل از رنگبری با پروکسید هیدروژن مرتبط می‌شود که نسبت به گرما در مقایسه با نور تأثیر بیشتری می‌پذیرند (Chirat and Chapelle, 1999).
- بنابراین می‌توان این‌گونه جمع‌بندی نمود که روش ذخیره با همزن نسبت به روش ثابت دارای مزایای بیشتری است، به‌طوری‌که قبل و بعد از رنگبری دارای ویژگی‌های نوری مناسب‌تری برای خمیر کاغذ می‌باشد. بعلاوه، کاغذهای حاصل از تیمارهای با ذخیره همزن نیز دارای خصوصیات مطلوب‌تری بوده و تأثیرپذیری آن در زمان حال و درازمدت از گرما بیشتر از نور UV می‌باشد.

- paper, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, 155p.
- Rasooly Garmaroody, E., Fooladi, Djafari Petroudy, S.R. (2017). Effect of fungall pre-treatment of poplar chips on paper brightness reversion. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 7(4): 625-635
- Rasooly Garmaroody, E., Mohammadi, E., Jalali, H., Razzaghi, A. A., (2015). Improvement in reactivity of alpha cellulose pulp by sono-chemical method. *Iranian Journal of Chemistry and Chemistry Engineering*, 34(1):59-68.
- Rasooly Garmaroody, E., Resalati, H., Fardim, P., Hosseini, S. Z., Rahnama, K., Saraeeyan, A. and Mirshokraee, S. A., 2011. The effects of fungi pre-treatment of poplar chips on the kraft fiber properties, *Bioresource technology*, 102: 4165-4170
- Shaw, M. B. and Bicking, G. W., 1926. Research on the Production of Currency Paper in the Bureau of Standards Experimental Paper Mill. *Technologic Papers of the Bureau of Standards*, 89:89-108.
- Suess, U., 2010. Pulp bleaching today. Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin/New York, 310p.
- Temming, H., Grunert, H. and Huckfeldt, H., 1973. *Temming-linters*. Published by peter temming AG .Gluckstadt. Germany. 183p.
- Wakelyn, Ph. J., Bertoniere, R., French, D., and Thilbodeaux, D. N. P., 2007. Cotton fiber chemistry and technology. CRCpress, Florida, 170p.
- Yin, C., Huang, Y., Zhang, L., Xu, H., Zhong, Y. and Mao, Zh., 2014. Low-temperature bleaching of cotton fabric using a copper-based catalyst for hydrogen peroxide, *Coloration Technology*, 131: 66-71.
- Yun N. and He, B., 2017, Photo-induced yellowing of Mg(OH)<sub>2</sub>-based peroxide bleached deinked pulp, *BioResorces*, 12(3): 5236-5248.
- Kennedy, J. F., Philips, G. O., Williams, P. A. and Lonngberg, B., 2000. Cellulosic pulps, fiber and material. Published by Woodhead Publishing Ltd, Abington, Cambridge CBI, England. 352 pages.
- Klemm, D., Philipp, B., Heinze, T., Heinze, U., and Wagenknecht, W., 1998. *Comprehensive Cellulose Chemistry Volume 2: Functionalization of Cellulose*. WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 389p.
- Lunan, W. E., Sferrazza, M. J., Fransén, R.G. and May, W. D., 1986. Curl-setting during storage of thermomechanical pulp at high consistency, *Journal of Pulp and Paper Science*, 12(4): 108.
- Marques, G., Rencoret, J., Gutiérrez, A., and Del Río, J. C., 2010. Evaluation of the chemical composition of different non-woody plant fibers used for pulp and paper manufacturing. *Agriculture Journal*, 4: 93-101.
- Narvestad, H., Axelsson, P., and Kure, K-A., 2011. Full scale experiences with magnesium hydroxide based peroxide bleaching and TMP brightness loss at Norske Skog Saugbrugs, *International Mechanical Pulping Conference, China*, 26-29 June: 287-290.
- Narvestad, H., Gregersen, Ø.W., and Kure, K-A., 2013. Filler clay induced discolouration of bleached mechanical pulp. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 28(1): 68.
- Potthast, A., Rosenau, Th., Kosma, P., Saariaho, A. and Vuorinen, T., 2005. On the nature of carbonyl groups in cellulosic pulps. *Cellulose*, 12: 43-50.
- Ragauskas, A. J., 2007. *Basics of Bleaching Chemical Pulps*. Institute of Paper Science and Technology Georgia Institute of Technology. 58p.
- Rasooly Garmaroody, E. (2011). The effect of wood biological pre-treatment on kraft pulp and paper properties of hornbeam and poplar, PhD thesis of pulp and paper science and technology, Dept. of pulp and

## Effect of storage and bleaching of cotton fiber pulp on the stability of bond paper optical properties

A. Ghasemi Chahardehy<sup>1</sup>, E. Rasooly Garmaroody<sup>2\*</sup>, O. Ramezani<sup>3</sup> and Gh. Asadpour atouee<sup>4</sup>

1-M.Sc. graduated student of Pulp and paper industries, Dept. of Bio-Refinery, Shahid Beheshti University, Zirab Campus, Savadkooh, Mazandaran, Iran

2\*-Corresponding Author, Assistant Professor, Dept. of Bio-Refinery, Shahid Beheshti University, Zirab Campus, Savadkooh, Mazandaran, Iran, Email: e\_rasooly@sbu.ac.ir

3-Assistant Professor, Dept. of Bio-Refinery, Shahid Beheshti University, Zirab Campus, Savadkooh, Mazandaran, Iran

4-Associated Professor, Dept. of Bio-Refinery, Shahid Beheshti University, Zirab Campus, Savadkooh, Mazandaran, Iran

Received: July, 2018

Accepted: May, 2019

### Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of storage and bleaching of cotton pulp on stability of optical properties of bond paper. Industrial unbleached cotton pulp with the freeness 13°SR, in two types of static and agitating storage was stored for 3-15 days in room temperature and the pulp was bleached with hydrogen peroxide. Then, standard handsheets were made from bleached pulp and after air-drying, the sheets were aged by UV and thermal methods and their optical properties measured. Results showed that agitated samples had higher brightness and whiteness and lower yellowness than static ones and by increasing of storage time this numbers be much and less, respectively. In case of UV treated samples, the brightness and opacity of static samples decreased and agitated ones increased. The brightness of static and agitated samples with thermal treatment showed up and dawn trend, respectively. Also, UV and thermal treatments, especially in static samples lead to much yellowness and much whiteness in agitated ones. Therefore, agitated storage method was better than the static one to provide suitable optical properties before and after bleaching. In addition, paper made from agitated storage samples had more desirable characteristics and the influence of temperature was more than UV in immediate and longtime.

**Keywords:** Cotton fiber, fixed storage, agitated storage, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bleaching, brightness reversion.