

# اثر عامل براق کننده بر خواص نوری و نور پایداری خمیر کاغذ CMP رنگبری شده با هیدروژن پروکسید و سدیم بوروهیدرید

Effect of Brightening Agent on Optical Properties and Photostability of Chemi-  
mechanical Pulp Bleached with Hydrogen Peroxide and Sodium Borohydride

علی عبدالخانی<sup>۱\*</sup>، احمد جهان لیبیاری<sup>۲</sup>

۱- تهران، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، صندوق پستی ۳۱۵۸۵/۴۳۱۴

۲- کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده کشاورزی، صندوق پستی ۳۱۴۸۵/۳۱۳

دریافت: ۸۲/۱۱/۲۸، پذیرش: ۸۳/۴/۲۰

## چکیده

اثر استفاده از عامل براق کننده بر خواص نوری خمیر کاغذ CMP رنگبری نشده و رنگبری شده با مقادیر مختلف هیدروژن پروکسید (۱ و ۵ درصد) و سدیم بوروهیدرید (۵ درصد) بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که اثر این مواد بر خمیر کاغذهای سفیدتر بیشتر از خمیرهای تیره است. همچنین اثر عمل آوری پیرسازی نوری و گرمایی بر خمیر کاغذهای مورد آزمایش نشان داد که اضافه کردن مواد براق کننده سبب پایداری خمیر کاغذها در مقابل گرما می شود، ولی اثری بر پایداری نوری ندارد. به علاوه استفاده از سدیم بوروهیدرید پایداری خمیر کاغذ را در مقابل نور افزایش داده ولی اثر قابل ملاحظه ای بر تغییر رنگ به علت گرما ندارد.

## واژه های کلیدی

براق کننده نوری، پیرسازی،  
سدیم بوروهیدرید،  
هیدروژن پروکسید، خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی

## مقدمه

تولید خمیر کاغذهای پربازده شده است [۱].  
علی رغم استحکام کمتر خمیر کاغذهای  
مکانیکی، بهینه سازی عمل آوری شیمیایی و  
مکانیکی سبب شده است تا این خمیر کاغذها  
بتدریج جایگزین خمیر کاغذهای شیمیایی  
شوند [۱].

پیشرفت ها در ساخت و رنگبری خمیر  
کاغذهای کارآمد، تولید کاغذهایی با کیفیت  
بهرتر را امکان پذیر کرده است [۱،۲]. افزون بر  
این کمتر بودن نسبی سرمایه گذاری اولیه و  
استفاده بهتر از منابع لیگنوسلولوزی در مقایسه  
با خمیر کاغذهای شیمیایی منجر به افزایش

## Key Words

optical brightening, aging,  
sodium borohydride,  
hydrogen peroxide,  
CMP pulp

- تبدیل فناسیل  $\alpha$ -O آریل اتر غیر فنولی به رادیکال های فناسیل و فنوکسیل آزاد (ج) که رادیکال های یاد شده در واکنش های دیگری به ترکیبات رنگی تبدیل می شوند [۱۳]. مکانیسم های تغییر رنگ در اثر گرما نیز تا حدودی بررسی شده است [۱۴، ۱۵].

بر پایه این مکانیسم ها روش های متعددی برای جلوگیری از زرد شدن کاغذ ارائه شده است. ولی نبود دانش کافی در مورد ساختار لیگنین و مکانیسم های واقعی درگیر، مانع از آن شده است تا بتوان راهکاری مناسب با در نظر گرفتن جنبه های اقتصادی ارائه داد. البته می توان به وسیله روش هایی، میزان برگشت براقیت را کاهش داد که یکی از این روش ها، بکارگیری مواد جاذب نور است. بطوری که با استفاده از آنها بتوان مانع از واکنش نور با ساختار لیگنین شد. اثر مواد جاذب UV بر مکانیسم زرد شدن کاغذ بررسی و اثر آنها مفید ارزیابی شده است [۱۶]. مطالعات انجام شده با P-NMR نشان داده است که استفاده از مواد جاذب UV تخریب لیگنین در اثر نور را کاهش داده و سبب تأخیر در زرد شدن کاغذ می شوند [۱۷].

- استفاده از عوامل براق کننده نوری طی ۵h اولیه عمل آوری نوری به میزان ۸۰ درصد و پس از ۶۰h به مقدار ۶۵ درصد از زرد شدن کاغذ گرمایی - مکانیکی جلوگیری می کنند [۱۰].

در این پژوهش، اثر استفاده از یکی از ترکیبات براق کننده نوری از نوع ایزومر سیس (بر پایه گروه های استیلنی) بر خواص نوری و پایداری براقیت خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی (CMP) مخلوط گونه های پهن برگ رنگبری شده با هیدروژن پروکسید و سدیم بوروهیدرید بررسی شده است.

## تجربی

### مواد

در این پژوهش، خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی (CMP) رنگبری نشده مخلوط گونه های راش، ممرز و صنوبر از کارخانه چوب و کاغذ مازندران با درجه روانی ۴۱۰ mL استاندارد کانادایی، حجم مخصوص  $3/8 \text{ cm}^3/\text{g}$ ، مقاومت پارگی  $2/6 \text{ mNm}^2/\text{g}$ ، مقاومت ترکیدگی  $0/35 \text{ kPa.m}^2/\text{g}$  و درجه براقیت TAPPI ۶۶ درصد و براق کننده Parawhite "P" Powder از شرکت پارامونت مینرال استفاده شد.

### دستگاه ها

برای اندازه گیری خواص نوری، براقیت، تغییرات رنگ (بر اساس مقیاس

متأسفانه زرد شدن سریع و کم شدن براقیت، کاربرد این خمیر کاغذها را در ساخت کاغذ روزنامه محدود کرده است. حدود ۵۰ سال پژوهش در این زمینه نشان داده است که زرد شدن خمیر کاغذهای پر بازده در اثر دو پدیده نور و گرما، به روش اکسایش و تغییر رنگ لیگنین انجام می گیرد [۳-۵]. اگرچه اهمیت دیگر ترکیبات بطور کامل ارزیابی نشده و هنوز موضوع بحث های متعددی است ولی پژوهش ها نشان داده است که علاوه بر نور و گرما عوامل دیگری نیز سبب تغییر رنگ لیگنین می شوند. احتمالاً عمل آوری مکانیکی - شیمیایی ساخت خمیر کاغذ، ساختارهای جدیدی را در لیگنین بوجود می آورد که این ساختارها سبب زرد شدن کاغذ می شوند [۶-۸].

وجود یون های فلزی سنگین از جمله آهن و مس در خمیر کاغذهای پربازده به سرعت زرد شدن آنها در اثر نور و حتی گرما می افزاید [۹]. بطور کلی زرد شدن خمیر کاغذهای پربازده با دو مکانیسم اصلی انجام می شود: مکانیسم اول اثر گرمای ایجاد شده به دلیل نگهداری طولانی در دمای محیط است. در این حالت مقدار کاهش براقیت کمتر از ۵ درجه در مقیاس ISO است. مکانیسم دیگر اثر نور بر این کاغذهاست که در واقع مکانیسم اکسایش نوری است که قادر است روشنی را تا ۳۰ درجه ISO نیز کاهش دهد [۱۰].

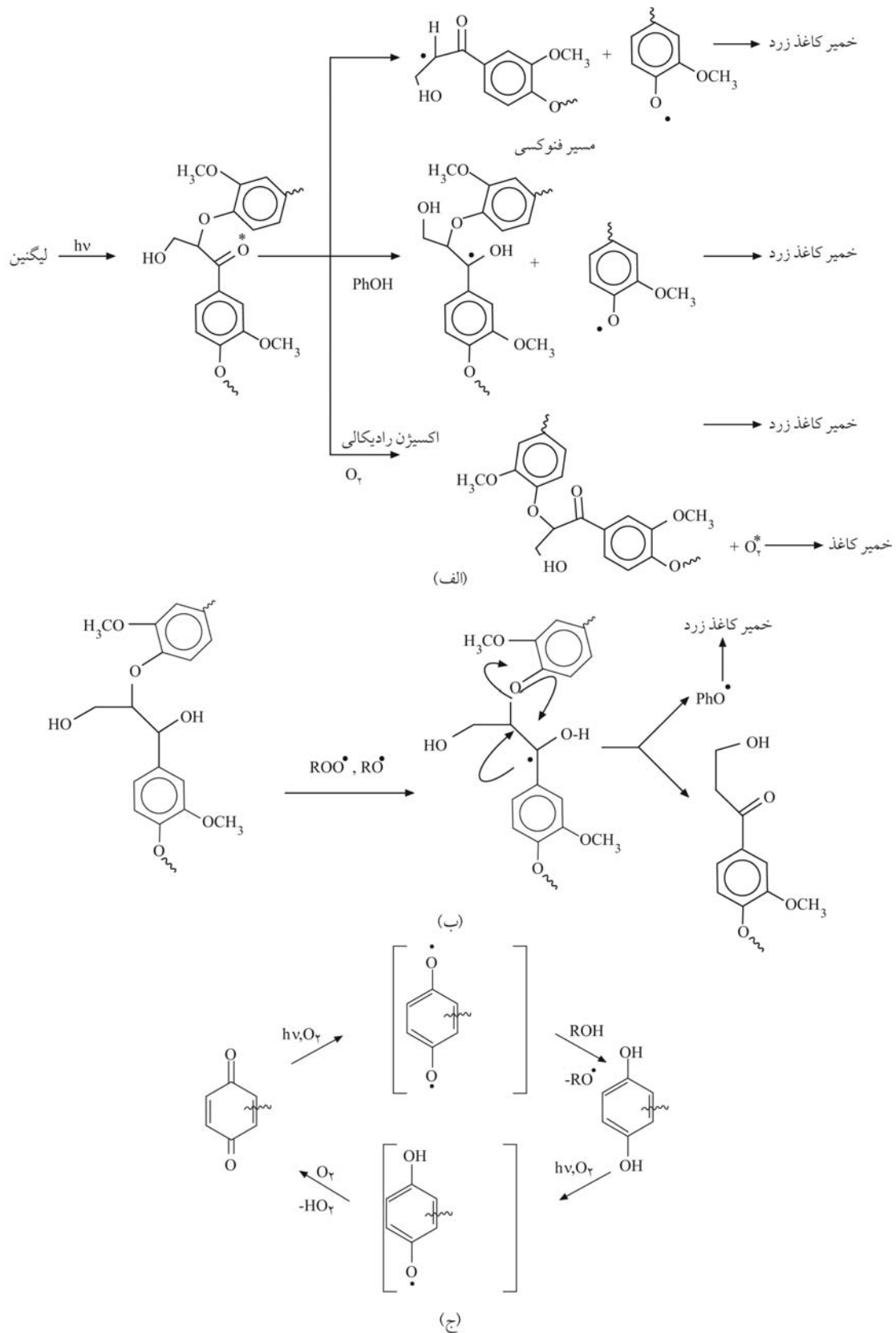
مطالعات زیادی در زمینه مکانیسم های اکسایش نوری لیگنین انجام گرفته است ولی تا کنون علی رغم دستیابی به اطلاعات مفید، مکانیسم کاملی از آن ترسیم نشده است [۲، ۵، ۱۱].

اطلاعات موجود بیانگر این مطلب است که زرد شدن کاغذ، ناشی از شکل گیری گروه های رنگساز در لیگنین است که به عنوان مهمترین آنها می توان از گروه های ۵-کینوئیدی نام برد. افزون بر این گروه های کربونیل و فنوکسیل نقش مهمی در کل فرایند ایفا می کنند. اگرچه گروه های کربونیل نقش مستقیمی در ایجاد گروه های کروموفور (chromophore) (گروه رنگساز) ندارند ولی بنظر می رسد که این گروه ها به عنوان گروه فعال نوری (گروه عاملی که در اثر نور برانگیخته می شود و سبب انتقال انرژی به گروه های دیگر می شود) در واکنش های برگشت رنگ شرکت می کنند [۱۲].

در این زمینه تا کنون سه مسیر برای شکل گیری گروه های رنگساز ارائه شده است [۲] (طرح ۱):

- جذب مستقیم نور فرابنفش در محدوده طول موج ۳۰۰-۴۰۰ nm به وسیله گروه های دارای پیوند دو گانه (اشباع نشده) و تشکیل رادیکال های آزاد فنوکسیل (الف)،

- حذف گروه های هیدروکسیل فنولی به وسیله گروه کربونیل آروماتیکی برانگیخته شده و تشکیل جفت رادیکال کتیل فنوکسیل آزاد (ب)،



طرح ۱ - مکانیسم های زرد شدن خمیر کاغذهای پربازده: (الف) واکنش فناسیل، (ب) واکنش رادیکال کتیل آزاد و (ج) چرخه اکسایش - کاهش در فرایند زرد شدن کاغذ [۱۳-۱۵].

جدول ۱ - روش اول در فرایند رنگبری.

متغیر	دما (°C)	DTPA	pH	خشکی (درصد)	زمان (min)	هیدروژن پروکسید (%)	نسبت سود سوزآور به هیدروژن پروکسید	سدیم سیلیکات (%)
روش	۶۰	۰/۵	۶-۵/۸	۲	۳۰	—	—	—
کلیت کردن	۶۰	—	—	۱۰	۲۰	۵/۱	۰/۸	۳
رنگبری	۶۰	—	—	۱۰	۲۰	۵/۱	۰/۸	۳

جدول ۲ - روش دوم در فرایند رنگبری.

متغیر	دما (°C)	DTPA	خشکی (درصد)	زمان (min)	بوروهیدرید (%)	سدیم بوروهیدرید (%)
روش	—	۰/۵	۱	۶۰	—	—
کلیت کردن	—	—	۱۰	۲۴	۵	—
رنگبری	دمای محیط	—	۱۰	۲۴	۵	—

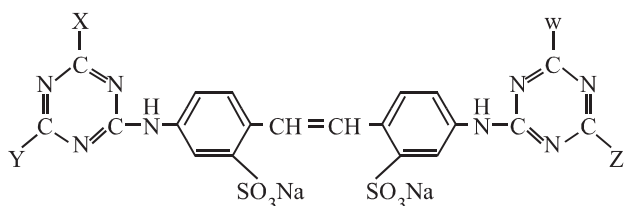
جدول های ۱ و ۲ انجام گرفته است.

پس از مرحله رنگبری با هیدروژن پروکسید pH خمیر کاغذ رنگبری شده با استفاده از سولفوریک اسید تا ۵ کاهش یافته است که در اثر آن هیدروژن پروکسید باقیمانده خنثی می شود.

مرحله کلیت کردن (chelating) با استفاده از همزن مغناطیسی و رنگبری با هیدروژن پروکسید و یا سدیم بوروهیدرید در کیسه های پلی اتیلنی انجام گرفته است. خمیر کاغذ رنگبری نشده، رنگبری شده با ۵ درصد هیدروژن پروکسید و رنگبری شده با ۵ درصد هیدروژن پروکسید و ۵ درصد سدیم بوروهیدرید تحت تأثیر عوامل براق کننده نوری (optical brightening agents, OBA) با مقادیر مصرف ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد (به نسبت وزن خشک خمیر کاغذ) قرار گرفت. براق کننده مورد استفاده از نوع ایزومر سیس ترکیب های استیلنی است (طرح ۲) و به شکل پودر با خمیر کاغذ مخلوط شد.

از خمیر کاغذهای عمل آوری شده و نشده با OBA طبق دستورالعمل TAPPI (T272om-92) کاغذ دست ساز تهیه شد و برای بررسی پایداری براقیت تحت تأثیر عمل آوری پیرسازی تسریع شده نوری و گرمایی قرار گرفت.

عمل آوری نوری به وسیله ۶ عدد لامپ UV از نوع Philips Black Light با طول موج حداکثر ۳۸۵ nm و ۴ عدد لامپ فلوروسان معمولی به مدت ۱۵ h انجام گرفته است. عمل آوری گرمایی در گرمخانه با دمای ۱۰۳±۲°C (طبق روش ارائه شده توسط Li) به مدت ۱ h انجام گرفته است [۱۷].



طرح ۲ - ساختار اصلی براق کننده نوری مورد استفاده در آزمایش.

رنگ CIELAB (مقدارهای  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$ ) با استفاده از دستگاه طیف نورسنجی از نوع Technibrite Micro (TB- IC) به ترتیب طبق دستورالعمل TAPPI (T452om-92) و دستورالعمل TAPPI (T524om-94) اندازه گیری شده است. برای محاسبه تغییر رنگ عدد PC (post color) در ۴۵۷ nm از روش محاسباتی ارائه شده توسط گیرتز [۱۸] و معادلات کیوبلکا - مانک [۱۹] استفاده شد. در این روش معادلات ۱ و ۲ بکار برده شده است.

$$PC = \frac{k}{s} \left( \text{قبل از عمل آوری} \right) - \frac{k}{s} \left( \text{بعد از عمل آوری} \right) \quad (1)$$

$$\frac{k}{s} = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad (2)$$

که  $R_{\infty}$  مقدار بازتاب نمونه کاغذ پشت پوش شده در طول موج ۴۵۷nm،  $a^*$  تغییرات از قرمزی (مثبت) به سبزی (منفی)،  $b^*$  زردی،  $L^*$  سفیدی،  $k$  ضریب جذب و  $s$  ضریب پخش نور نمونه کاغذ در طول موج ۴۵۷nm است.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها به وسیله نرم افزار SAS و آزمون آماری فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کاملاً تصادفی انجام گرفته و برای طبقه بندی میانگین ها از آزمون چند دامنه ای دانکن استفاده شد.

## روش ها

فرایند رنگبری خمیر کاغذ بدون استخراج لیگنین به دو روش در

## نتایج و بحث

نتایج اندازه گیری سفیدی ( $L^*$ )، زردی ( $b^*$ )، قرمزی ( $a^*$ ) و مقدار k/s (در طول موج 457nm) خمیر کاغذهای شیمیایی - مکانیکی رنگبری نشده، رنگبری شده با روش های اول و دوم در مقادیر مختلف مصرف براق کننده نوری (OBA) در جدول های ۳-۵ خلاصه شده است. اطلاعات جدول ۳ مربوط به خمیر کاغذ بدون عمل آوری پیرسازی، جدول ۴ خمیر کاغذ بعد از عمل آوری پیرسازی نوری و جدول ۵ خمیر کاغذ بعد از عمل آوری پیرسازی گرمایی است.

نتایج خلاصه شده در جدول های ۳-۵ نشان می دهد که عمل آوری با OBA نقش تعیین کننده و قابل توجهی بر سفیدی خمیر کاغذهای رنگبری نشده و رنگبری شده ندارد و سفیدی ( $L^*$ ) فقط یک درجه افزایش می یابد. ولی عمل آوری با OBA سبب کاهش زردی ( $b^*$ ) خمیر کاغذها شده و در مورد خمیر کاغذ رنگبری نشده (جدول ۳) از ۱۲/۶۷ در حالت بدون عمل آوری OBA به ۴/۴۹ در حالت عمل آوری با

۰/۳ درصد OBA کاهش یافته است. اثر افزودن OBA در کم کردن زردی خمیر کاغذهای رنگبری شده بیشتر است و در مورد خمیر کاغذ رنگبری شده با روش دوم درجه زردی از ۶/۵۳ به ۱/۶۴ افت می کند. اثر عمل آوری با OBA بر قرمزی ( $a^*$ ) و نسبت k/s خمیر کاغذهای رنگبری نشده و رنگبری شده نامحسوس و غیر قابل توجه است. طبق نتایج بدست آمده افزودن OBA اثر زیادی بر خمیر کاغذ براق تر در مقایسه با خمیر کاغذهای تیره تر دارد (جدول ۳).

عمل آوری پیرسازی نوری سبب کم شدن برایت خمیر کاغذها در مقایسه با خمیر کاغذهای بدون عمل آوری نوری می شود. در اثر عمل آوری نوری زردی خمیر کاغذها افزایش یافته ولی در اثر اضافه کردن OBA مقدار زردی کم می شود (جدول ۴).

در جدول ۴، PC مقدار تغییر رنگ نمونه های کاغذ پس از عمل آوری نوری است. به وسیله این عدد می توان نمونه های مختلف را بدون توجه به برایت اولیه آنها، با هم مقایسه کرد.

نتایج اندازه گیری ویژگی های نوری خمیر کاغذهای رنگبری نشده

جدول ۳ - تغییرات در ویژگی های نوری چهار خمیر کاغذ در اثر عمل آوری OBA (بدون عمل آوری پیرسازی).

جدول ۴ - تغییرات در ویژگی های نوری چهار خمیر کاغذ در اثر عمل آوری OBA (عمل آوری پیرسازی نوری).

L*	b*	a*	k/s <sub>457</sub>	OBA (%)	متغیر نوع خمیر
۸۷/۴	۱۲/۶۷	-۰/۷۲	۰/۰۶	۰	خمیر رنگبری شده
۸۷/۸۹	۱۰/۹۴	-۰/۳۷	۰/۰۵۵۲	۰/۱	
۸۸/۱۱	۱۰/۲۵	-۰/۲۲	۰/۰۵۳	۰/۲	
۸۷/۷۹	۴/۴۹	-۰/۰۶	۰/۰۵۱۷	۰/۳	
۸۹/۱۸	۱۲/۱۲	-۷۱	۰/۰۴۳۳	۰	خمیر رنگبری شده با ۱٪ هیدروژن پروکسید
۸۸/۳۳	۹/۴۵	-۰/۳۷	۰/۰۵۰۹	۰/۱	
۸۸/۴۷	۹/۱۶	-۰/۳۷	۰/۰۴۹۸	۰/۲	
۸۸/۶	۸/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۴۸۶	۰/۳	
۹۰/۶۴	۹/۰۶	-۷/۰۹	۰/۰۳۱۴	۰	خمیر رنگبری شده با ۵٪ هیدروژن پروکسید
۹۱/۴۶	۷/۷۲	۰/۲۱	۰/۰۲۶۴	۰/۱	
۹۱/۵	۷/۴۱	۰/۱۹	۰/۰۲۶۱	۰/۲	
۹۱/۳۲	۵/۸۳	۰/۷۲	۰/۰۲۷۳	۰/۳	
۹۱/۷۳	۶/۵۳	-۰/۵۹	۰/۰۲۴۸	۰	خمیر رنگبری شده با ۵٪ هیدروژن پروکسید و ۵٪ سدیم بوروهیدرید
۹۱/۵۶	۳/۷۴	۷۲	۰/۰۲۵۷	۰/۱	
۹۱/۹۵	۲/۸۷	۷۰۹	۰/۰۲۳۴	۰/۲	
۹۲/۰۵	۱/۶۴	۷۵۵	۰/۰۲۲۸	۰/۳	

L*	b*	a*	PC	OBA (%)	متغیر نوع خمیر
۸۳/۶۸	۱۶/۲۶	۰/۶۹	۴/۵۴	۰	خمیر رنگبری شده
۸۵/۴۲	۱۴/۳۲	۰/۸۳	۳/۳۸	۰/۱	
۸۵/۰۸	۱۳/۹۵	۰/۹	۳/۳۴	۰/۲	
۸۵/۶۶	۱۲/۸۱	۷/۰۳	۲/۹۵	۰/۳	
۸۵	۱۶/۲۵	۰/۳۲	۴/۴۲	۰	خمیر رنگبری شده با ۱٪ هیدروژن پروکسید
۸۵/۶۴	۱۳/۷۲	۰/۸۸	۳/۲	۰/۱	
۸۵/۸۷	۱۳/۰۷	۰/۹۳	۳	۰/۲	
۸۵/۹۸	۱۲/۸۷	۰/۹۶	۲/۷	۰/۳	
۸۶/۴	۱۴/۵۱	۰/۲۱	۳/۴۴	۰	خمیر رنگبری شده با ۵٪ هیدروژن پروکسید
۸۵/۸۷	۱۴/۰۶	۰/۰۶	۲/۹۲	۰/۱	
۸۷/۶۳	۱۳/۹	۰/۳۳	۲/۶۲	۰/۲	
۸۸/۱۹	۱۱/۶۸	۰/۷	۲/۴۹	۰/۳	
۸۹/۲۲	۹/۰۷	-۰/۴۴	۱/۸۳	۰	خمیر رنگبری شده با ۵٪ هیدروژن پروکسید و ۵٪ سدیم بوروهیدرید
۸۹/۵۵	۶/۷۳	۷۱۷	۷/۴۶	۰/۱	
۸۹/۹۹	۵/۹۵	۷۲۸	۱/۳۴	۰/۲	
۹۰/۴۹	۳/۸۳	۱/۷۵	۷/۰۲	۰/۳	

جدول ۵ - تغییرات در ویژگی های نوری چهار خمیر کاغذ در اثر عمل آوری OBA (عمل آوری پیرسازی گرمایی).

متغیر	OBA (%)	براقیت	a*	b*	L*	PC
خمیر رنگبری شده	۰	۵۶/۰۲	-۰/۵۱	۱۳/۱۱	۸۷	۷۴
	۰/۱	۵۹/۴۹	-۰/۰۹	۱۲/۰۲	۸۸/۱۵	-۰/۲۶
	۰/۲	۶۰/۰۴	۰/۱۴	۱۷/۴۳	۸۷/۸۳	-۰/۲۹
	۰/۳	۶۰/۷۶	۰/۳۴	۱۰/۹۳	۸۸/۲۴	۰/۴۵
خمیر رنگبری شده با ۱٪ هیدروژن پروکسید	۰	۶۰/۴۴	-۰/۹۲	۱۲/۷۱	۸۸/۷۶	۷۶۳
	۰/۱	۶۲/۲	-۰/۰۲	۱۰/۹۵	۸۸/۹۲	-۰/۵۴
	۰/۲	۶۲/۴۶	۰/۰۲	۱۰/۶۸	۸۹/۰۴	-۰/۵۲
	۰/۳	۶۴/۴۴	۰/۴۲	۹/۲	۸۹/۲۳	-۰/۵۵
خمیر رنگبری شده با ۵٪ هیدروژن پروکسید	۰	۶۶/۸۲	-۱	۹/۴۸	۹۰/۵۴	۰/۸۹
	۰/۱	۶۸/۹۷	-۰/۳۴	۸/۶۲	۹۰/۹۱	۰/۳۵
	۰/۲	۶۹/۸۲	-۰/۰۹	۸/۳۴	۹۱/۵۱	۰
	۰/۳	۷۱/۶۴	۰/۳۷	۶/۴۴	۹۱/۲۴	۰/۰۴
خمیر رنگبری شده با ۵٪ هیدروژن پروکسید و ۵٪ سدیم بوروهیدرید	۰	۷۱/۵	-۰/۵۴	۷/۳۶	۹۱/۷۸	-۰/۰۵
	۰/۱	۷۴/۹۳	۰/۷۴	۴/۵۵	۹۱/۸۸	-۰/۱۹
	۰/۲	۷۵/۳	۷/۰۱	۴/۰۲	۹۱/۷۲	۰/۱۳
	۰/۳	۷۶/۰۵	۷/۸۶	۲/۷۷	۹۱/۳۴	۰/۴۴

و رنگبری شده پس از عمل آوری OBA و پیرسازی گرمایی در جدول ۵ آمده است. در این جدول درجه براقیت خمیر کاغذ رنگبری شده تا ۷۷۵ درصد (در مورد خمیر کاغذ بدون عمل آوری OBA) و ۷۶/۰۵

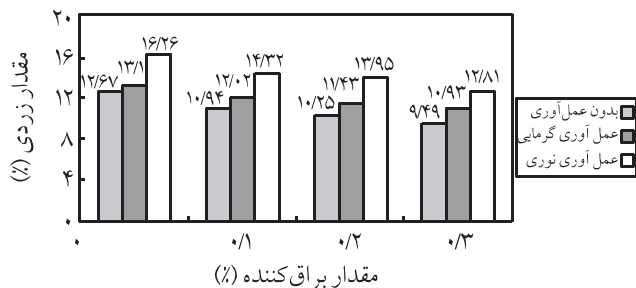
جدول ۶ - جدول تجزیه واریانس اثرات مستقل و متقابل عوامل متغیر بر براقیت.

عوامل متغیر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	$P_T >$
عمل آوری	۲۹	۲۹۲۵	۱۰۱	۸۷/۳۴۷	**
خمیر کاغذ	۳	۱۹۰۰	۶۳۳	۱۳/۲۱۵۹	**
براق کننده	۳	۱۸۰	۶۰	۵۸/۲۰۵	**
عمل آوری پیرسازی	۲	۷۷۵	۳۸۷	۱۲/۱۳۲۱	**
اثر متقابل خمیر کاغذ و براق کننده	۹	۶	۷	۵/۸۲	*
اثر متقابل براق کننده و عمل آوری پیرسازی	۶	۶	۱	۴/۱۳	**
اثر متقابل خمیر کاغذ و عمل آوری پیرسازی	۶	۵۶	۹	۳۲	**
خطا	۱۸	۵	۲		

درصد (درمورد خمیر کاغذ با عمل آوری OBA) افزایش می یابد. مقایسه نتایج جدول ۳ (بدون عمل آوری پیرسازی) با جدول ۵ (عمل آوری پیرسازی گرمایی) نشان می دهد که در اثر عمل آوری پیرسازی گرمایی سفیدی خمیر کاغذ کاهش نیافته و تقریباً ثابت می ماند ولی زردی خمیر کاغذ و میزان تغییر رنگ (PC) تا حدودی افزایش می یابد. اگرچه عمل آوری با OBA سبب زیاد شدن سفیدی نمی شود ولی قادر است زردی را تا چندین درجه کم کند. تغییرات در زردی خمیر کاغذها در اثر عمل آوری با OBA برای خمیر کاغذهای مختلف متفاوت است و کمترین کاهش در مورد خمیر کاغذهای رنگبری نشده و بیشترین کاهش در مورد خمیر کاغذ بسیار براق (رنگبری شده با ۵ درصد هیدروژن پروکسید و سدیم بوروهیدرید) مشاهده می شود. بنابراین برگشت رنگ خمیر کاغذ رنگبری شده با روش دوم کمتر از سایر خمیر کاغذهاست.

تجزیه و تحلیل آماری اثر نوع خمیر کاغذ، مقدار مصرف براق کننده نوری (OBA)، عمل آوری پیرسازی و همچنین اثر متقابل این عوامل بر ویژگی های نوری خمیر کاغذ در سطح ۹۹ درصد معنی دار است. اثر عوامل یاد شده بر براقیت خمیر کاغذهای رنگبری نشده و رنگبری شده معنی دار بوده و در اثر افزودن مقادیر بیشتر OBA، براقیت خمیر کاغذها افزایش می یابد (جدول ۶).

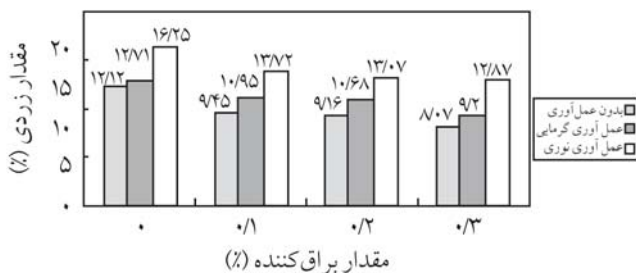
نتایج نشان می دهد که افزودن ۰/۳ درصد ماده OBA به خمیر کاغذهای مختلف سبب افزایش براقیت می شود. در مورد خمیر کاغذ رنگبری نشده (تیره تر) میزان افزایش براقیت در مقیاس ISO فقط ۴ واحد است. در صورتی که اضافه کردن همین مقدار OBA به خمیر کاغذ رنگبری شده با روش دوم براقیت را ۷ واحد افزایش خواهد داد که نشانگر اثر بیشتر OBA بر خمیر کاغذهای رنگبری شده و درجه براقیت بیشتر است. خواص فلورسانسی مواد براق کننده سبب می شود که نور



شکل ۲ - اثر افزودن براق کننده بر مقدار زردی (b\*) خمیر رنگبری نشده.

بوروهیدرید اثری بر کاهش برگشت رنگ ندارد [۲۱]. این پدیده می تواند ناشی از اثر یکنواخت تر گرما بر ساختار خمیر کاغذ در مقایسه با نور (اثر سطحی) باشد. برخلاف نور که فقط باعث تغییر رنگ سطحی کاغذ می شود، گرما به دلیل نفوذ سریع در ضخامت کاغذ، تمامی اجزای آن را تحت تأثیر قرار می دهد. بنابراین گرما علی رغم شدت کمتر، دارای اثر عمیق تری نسبت به نور است. به این دلیل گروه های احیا شده به وسیله سدیم بوروهیدرید در اثر عمل آوری گرمایی، اکسید شده و سبب تشکیل گروه های رنگزا در شبکه لیگنین و کربوهیدرات های کاغذ می شوند. نتایج مشابهی نیز توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است [۳].

مقدار برگشت رنگ در اثر عمل آوری نوری بیشتر از عمل آوری گرمایی است (جدول ۵). استفاده از OBA در کوتاه مدت سبب کم شدن میزان تغییر رنگ در اثر عمل آوری نوری شده ولی در زمان های طولانی تر مقدار زردی افزایش می یابد. بطور کلی OBA نوع ایزومر سیس استفاده می شود که این ایزومر در اثر نور به ایزومر ترانس تبدیل شده و این تغییر همراه با تابش خواهد بود که از ویژگی های مواد فلوئورسان است. همچنین، تابش طولانی مدت سبب مصرف و کم شدن غلظت OBA می شود که نتیجه آن به شکل پدیده فلوئورسان و

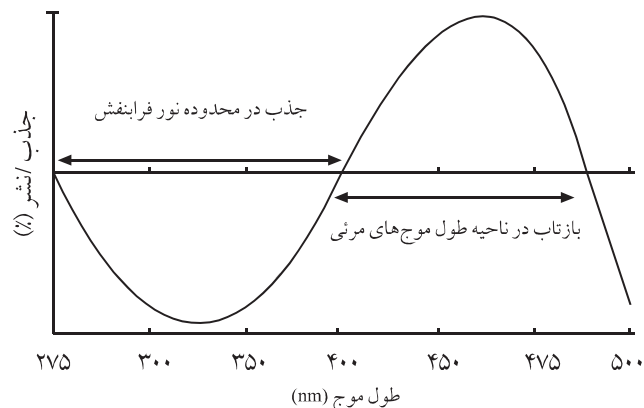


شکل ۳ - اثر افزودن براق کننده بر مقدار زردی (b\*) خمیر رنگبری شده با ۱ درصد هیدروژن پروکسید.

در محدوده نور فرابنفش جذب شده و در محدوده طول موج آبی بازتاب شود (شکل ۱). این پدیده باعث می شود زمینه زرد کاغذ به رنگ آبی متمایل شود. همان طور که در جدول های ۳-۵ مشاهده می شود افزایش مقدار OBA سبب کاهش مقدار b\* (زردی) و افزایش مقدار a\* (مختصات رنگ CIELAB) می شود [۲۰].

بیشترین اثر مثبت OBA در این مورد مربوط به خمیر کاغذ رنگبری شده با هیدروژن پروکسید و سدیم بوروهیدرید است که مقدار زردی بر اساس مقیاس CIELAB، ۱/۶۴ واحد است که در واقع کمترین مقدار بدست آمده در خمیر کاغذهای مورد آزمایش است. این پدیده نشان می دهد که با افزایش براقیت خمیر کاغذ، میزان اثر OBA بر خواص نوری خمیر کاغذ بیشتر می شود. نتایج بررسی اثر پیرسازی گرمایی یا نوری بر براقیت خمیر کاغذ نشان می دهد که پیرسازی سبب کاهش براقیت، افزایش b\* برای تمام نمونه ها می شود شکل های (۲-۵) ولی افزودن OBA به خمیر کاغذهای مختلف به کاهش تغییر رنگ کمک می کند که بیانگر عدم تجزیه OBA در اثر عمل آوری گرمایی یا نوری است.

البته در مواردی بر خلاف انتظار بعضی از خمیر کاغذها در اثر عمل آوری گرمایی براق تر شده اند (PC منفی) (جدول ۴) که احتمالاً این پدیده می تواند ناشی از استخوانی شدن الیاف (hornification) در اثر گرما باشد [۲۱]. زیرا اطلاعات نشان می دهد که اگر الیاف به مدت ۱h در دمای ۱۰۳°C قرار گیرند باعث پدیده استخوانی شدن و آرایش مجدد مولکول های درشت در ساختار الیاف شده که این پدیده با تغییر در مقدار پراکندگی نور همراه است. مقایسه نتایج اندازه گیری برگشت رنگ پس از عمل آوری گرمایی خمیر کاغذ که با ۵ درصد هیدروژن پروکسید (روش اول) و با هیدروژن پروکسید و سدیم بوروهیدرید (روش دوم) رنگبری شده نشان می دهد که عمل آوری با سدیم



شکل ۱ - مکانیسم فعالیت عوامل براق کننده (OBA) در کاغذ.

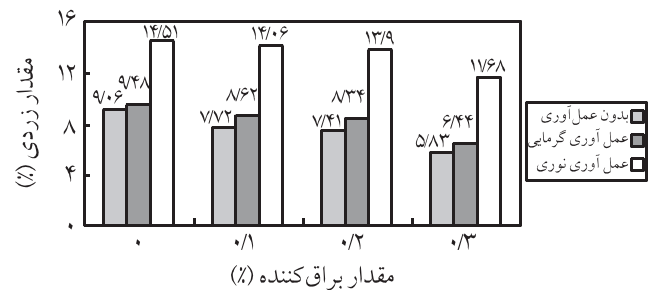
کاغذهای سوزنی برگان است. زیرا الیاف کوتاهتر بهن برگان سطح ویژه بزرگتری نسبت به الیاف سوزنی برگان دارد بنابراین، برای رسیدن به ویژگی نوری مشابه نیاز به OBA بیشتری دارند. در اثر افزودن OBA تا ۰/۳ درصد (نسبت به وزن خشک خمیر کاغذ) سفیدی خمیر کاغذ به مقدار یک واحد افزایش می یابد، ولی سفیدی خمیر کاغذها در اثر عمل آوری گرمایی یا نوری کم می شود. بین عمل آوری گرمایی و نوری، اثر عمل آوری گرمایی در کم کردن سفیدی کمتر است و می توان آن را بدون اثر در نظر گرفت. در صورتی که در اثر عمل آوری نوری سفیدی خمیر کاغذها تا ۴ واحد کاهش می یابد. اثر عمل آوری نوری در کم کردن سفیدی در مورد خمیر کاغذهای رنگبری نشده بیشتر از خمیر کاغذهای رنگبری شده است. بطوری که در مورد خمیر کاغذهای بدون رنگبری میزان کاهش تا ۴ واحد اندازه گیری شده است. ولی در مورد خمیر کاغذهای رنگبری شده مقدار کاهش حداکثر ۲ واحد است. نکته قابل توجه این است که در اثر افزودن مقادیر بیشتر OBA سفیدی خمیر کاغذها افزایش یافته و در این حالت اثر عمل آوری نوری در کاهش سفیدی کمتر است که نشان دهنده نقش مفید OBA در این مورد است.

### نتیجه گیری

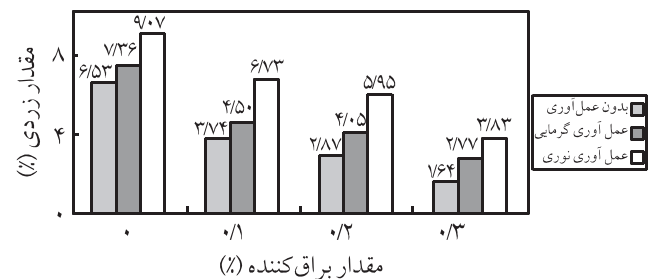
نتایج این بررسی نشان می دهد که برای به حداکثر رساندن اثر OBA بر برایت خمیر کاغذ باید میزان زردی خمیر کاغذ قبل از عمل آوری OBA تا حد ممکن کم باشد. به عبارت دیگر اثر OBA بر خمیر کاغذ براق تر بیشتر است. استفاده از OBA سبب کم شدن برگشت رنگ در اثر گرما می شود. افزون بر این کاربرد OBA اثر قابل ملاحظه ای بر کاهش سفیدی در اثر عمل آوری نوری ندارد. نتایج نشان می دهد که استفاده از سدیم بوروهیدرید قادر است پایداری رنگ خمیر کاغذ در اثر عمل آوری نوری را افزایش دهد ولی استفاده از این ماده اثر قابل ملاحظه ای بر تغییر رنگ در اثر گرما ندارد.

### مراجع

1. Pualsson M., Simonson R. and Westermark U., Chemical Modification of Lignin-Rich Paper, *Nord. Pulp Pap. Res. J.*, **11**, 132-142, 1998.
2. Ek M., Lennholm H. and Iversen T., A Study on the Mechanism of the Photo-Yellowing of Partially Acetylated Groundwood



شکل ۴- اثر افزودن براق کننده بر مقدار زردی (b\*) خمیر رنگبری شده با ۵ درصد هیدروژن پروکسید.



شکل ۵- اثر افزودن براق کننده بر مقدار زردی (b\*) خمیر رنگبری شده با ۵ درصد هیدروژن پروکسید و ۵ درصد سدیم بوروهیدرید.

تغییر رنگ ظاهر می گردد.

مقایسه نتایج مربوط به خمیر کاغذ که با ۵ درصد سدیم پروکسید، ۵ درصد هیدروژن پروکسید و سدیم بوروهیدرید رنگبری شده نشان می دهد که استفاده از مرحله رنگبری با سدیم بوروهیدرید باعث کم شدن تغییر رنگ در اثر عمل آوری نوری می شود که این پدیده نشان دهنده نقش مؤثر سدیم بوروهیدرید در احیای گروه های رنگزای بالقوه در حین رنگبری با هیدروژن پروکسید است. زیرا سدیم بوروهیدرید به روش احیای گروه های اکسید شده رنگزا مانع از تشکیل گروه های رنگزای ثانویه در اثر عمل آوری نوری می شود. البته بهبود ویژگی های نوری خمیر کاغذهای پهن برگان در اثر افزودن OBA کمتر از خمیر

Pulps, *Nord. Pulp Pap. Res. J.*, **5**, 108-112, 1992.

3. Heitner C., *Photochemistry of Lignocellulosic Materials*, ACS Symposium Series 531, **1**, Washington DC, Chap.15, 1993.

4. Leary G.J., *The Yellowing of Wood by Light*, *Tappi J.*, **51**, 257-266, 1968.



5. Leary G.J., Recent Progress in Understanding and Inhibiting the Light-Induced Yellowing of Mechanical Pulps, *J. Pulp Pap. Sci.*, **20**, 154-160, 1994.
6. Zhu J.H., Archer C., Macnab F., Andrews M.P., Kubes G. and Gray D.G., The Influence of Mechanochemical Action on the Photostability of Refiner Pulps, *J. Pulp Pap. Sci.*, **23**, 305-310, 1997.
7. Wu Z.H., Matsuoka M., Lee D.Y. and Sumimoto M., Mechanochemistry of Lignin: Mechanochemical Reaction of  $\beta$ -1 Lignin Model Compounds, *Mokuzai Gakkaishi*, **37**, 415-418, 1991.
8. Johansson M., Zhang L. and Gellerstedt G. On Chromophores and Leucochromophores Formed During the Refining of Wood, *Nord. Pulp Pap. Res. J.*, **17**, 5-8, 2002.
9. Ghosh A., Ni Y., Metal Ion to Lignin Complexes and Their Relationship to the Brightness of Bleached Mechanical Pulps, *J. Pulp Pap. Sci.*, **24**, 26-31, 1998.
10. Bourgoing S., Leclerc E., Martin P. and Robert S., Use of Fluorescent Whitening Agents to Inhibit Light- Induced Colour Reversion of Unbleached Mechanical Pulps, *J. Pulp Pap. Sci.*, **27**, 240-243, 2001.
11. Tschirner U. and Dence W., Attempts to Photostabilizing Norway Spruce TMP by Chemical Modification, *Pap. Puu-Pap. Tim.*, **36**, 338-344, 1988.
12. Schmidt J.A. and Hietner C., Light-Induced Yellowing of Mechanical and Ultra High Yield Pulps: Part I. Effect of Methylation, NaBH<sub>4</sub> Reduction and Ascorbic Acid on Chromophore Formation, *J. Wood Chem. Technol.*, **11**, 397-402, 1991.
13. Li C. and Ragauskas A.J., Brightness Reversion of Mechanical Pulps: The Effect of Oxygen on Photostabilization of High Yield Mechanical Pulps Treated with UV Absorbers, *J. Pulp Pap. Sci.*, **27**, 202-207, 2001.
14. Schmidt J.A. and Hietner C., Thermal Yellowing of Lignin Containing Pulps: Acceleration by Ascorbic Acid, *J. Pulp Pap. Sci.*, **27**, 532-538, 1997.
15. Chirat C. and De La Chapelle V., Heat and Light-Induced Brightness Reversion of Bleached Chemical Pulps, *J. Pulp Pap. Sci.*, **25**, 201-204, 1999.
16. Peng P.P. and Argyropoulos D.S., On the Interaction of UV Screens with the Lignocellulosic Matrix, *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*, **71**, 149-156, 2000.
17. Ni Y., Li Z. and Van Heiningen A.R.P., Minimization of the Brightness Loss Due to Metal Ions in Process Water for Bleached Mechanical Pulps, *Pulp Pap-Canada.*, **98**, 396-401, 1997.
18. Giertz H.W., Om Massans Efterguldning, *Sven. Papperstian*, **48**, 317-323, 1945.
19. Kubelka P., New Contribution to Optics of Intensity Light Scattering Materials, *J. Opt. Soc. Ame.*, **38**, 448-457, 1945.
20. Forssklh I., *Papermaking Science and Technology*, 3rd ed., Fapet Oy, Finland, Chap.19, 2000.
21. Pualsson M. and Ragauskas A.J., Chemical Modification of Lignin Rich Paper, Part 7. Photostabilizing High-Brightness Aspen CTMP by Combining Various Classes of Additives and Acetylation, *Nord. Pulp Pap. Res. J.*, **13**, 124-131, 1998.