

## بررسی رنگ‌بری خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده مخلوط کاغذ روزنامه و مجله باطله با پراکسید هیدروژن

- ❖ حمیدرضا مه‌ری ایرانی؛ کارشناسی‌ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ❖ علی قاسمیان؛ دانشیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ❖ حسین رسالتی؛ استاد گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ❖ احمدرضا سرائیان؛ دانشیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ❖ ایمان اکبرپور\*؛ دانشجوی دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

### چکیده

در این پژوهش، تأثیر مقادیر متفاوت پراکسید هیدروژن و زمان‌های متفاوت در رنگ‌بری مخلوط خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده کاغذ روزنامه و مجله باطله با پراکسید هیدروژن بررسی شد. مخلوط کاغذهای بازیافتی ابتدا به روش متداول شیمیایی خمیر کاغذسازی شدند و سپس با شناورسازی مرکب‌زدایی شدند. در ادامه، خمیر کاغذهای مرکب‌زدایی‌شده (نسبت مخلوط ۷۰ درصد روزنامه و ۳۰ درصد مجله) با پراکسید هیدروژن تحت شرایط فرایندی ثابت با سطوح گوناگون ۰/۵، ۰/۷۵، و ۱ درصد پراکسید هیدروژن و زمان‌های متفاوت ۳۰، ۶۰، و ۹۰ دقیقه رنگ‌بری شدند. خمیر کاغذهای رنگ‌بری‌شده با پالایشگر آزمایشگاهی PFI mill تا درجه روانی CSF ۳۰۰ پالایش شدند و سپس از آن‌ها کاغذ دست‌ساز استاندارد ( $60 \text{ gm}^{-2}$ ) ساخته شد. پراکسید باقی‌مانده لیکور رنگ‌بری، COD پساب رنگ‌بری، و ویژگی‌های کیفی کاغذ (ویژگی‌های نوری، فیزیکی، و مکانیکی) مطابق با استانداردهای مربوطه اندازه‌گیری شدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با افزایش زمان رنگ‌بری، مقدار پراکسید هیدروژن باقی‌مانده در پساب کاهش یافت، اما با افزایش مصرف پراکسید هیدروژن، تغییرات پراکسید هیدروژن باقی‌مانده در لیکور رنگ‌بری معنی‌دار نبود ( $p < 0/01$ ). همچنین، با افزایش مصرف پراکسید هیدروژن و نیز زمان رنگ‌بری، COD پساب حاصل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. درجه روشنایی کاغذهای ساخته‌شده با افزایش درصد پراکسید مصرفی و نیز زمان رنگ‌بری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، اما در ماتی کاغذ اثر معنی‌داری مشاهده نشد ( $p < 0/01$ ). افزایش درصد ماده رنگ‌بر پراکسید هیدروژن تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذ نشان نداد، اما افزایش زمان رنگ‌بری به بهبود معنی‌دار این ویژگی‌ها منجر شد.

**واژگان کلیدی:** خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده، رنگ‌بری با پراکسید هیدروژن، پراکسید باقی‌مانده، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)، کیفیت کاغذ.

## مقدمه

امروزه، به سبب کاهش روزافزون منابع جنگلی در سطح دنیا و افزایش فشارهای زیست‌محیطی، استفاده از الیاف بازیافتی به بخش ثابتی از ماده اولیه برای تولید محصولات تبدیل شده است [۱-۲]. کاغذهای چاپ‌شده قسمت اعظم کاغذهای باطله را تشکیل می‌دهند و درجه روشنی این خمیرکاغذها به سبب مرکب حاصل از چاپ و کهنگی، برای تولید فرآورده‌های کاغذی کم است و بنابراین، کارخانه‌های بازیافت برای حل این مشکل، خمیرکاغذهای چاپ‌شده را مرکب‌زدایی و رنگ‌بری می‌کنند [۲-۳]. همان‌طور که گفته شد کاغذ روزنامه باطله<sup>۱</sup> و مجله باطله<sup>۲</sup> قسمت اعظم کاغذهای باطله کشور را تشکیل می‌دهند که می‌توان با بازیافت آن‌ها علاوه بر جلوگیری از ورود حجم زیاد ضایعات دفعی به محیط‌زیست، قسمت عمده‌ای از ماده اولیه مورد نیاز برای تولید را تأمین کرد [۴-۶]. درجه روشنی خمیرکاغذ مرکب‌زدایی‌شده حاصل از این نوع کاغذها عموماً کمتر از درجه روشنی روزنامه است و نیاز به رنگ‌بری دارند. ماده اولیه برای تولید کاغذ روزنامه خمیرکاغذ مکانیکی است و برای رنگ‌بری آن‌ها از عوامل رنگ‌بر با حفظ لیگنین<sup>۳</sup> استفاده می‌شود که متداول‌ترین آن پراکسید هیدروژن است [۷-۱۰].

مرکب‌زدایی فرایندی است که برای خارج‌سازی مرکب چاپ از کاغذهای باطله چاپ به کار می‌رود. کارایی جداسازی الیاف از کاغذ باطله در فرایند مرکب‌زدایی شیمیایی به روش و شرایط چاپ، نوع مرکب چاپ، و ماده زیرین چاپ بستگی دارد [۱۱]. مهم‌ترین مواد شیمیایی که در بخش خمیرکاغذسازی کاغذهای باطله استفاده می‌شوند، شامل هیدروکسید سدیم، پراکسید هیدروژن، سیلیکات سدیم، عوامل

کیلیت‌کننده، و مواد فعال‌ساز سطحی<sup>۴</sup> است. سیلیکات سدیم موجب نرم‌شدن مرکب چاپ می‌شود و با جذب یون‌های فلزی، میزان تأثیر پراکسید هیدروژن را افزایش می‌دهد. همچنین سیلیکات سدیم موجب پراکنش بهتر ذرات مرکب، افزایش کارایی پراکسید هیدروژن، و بهبود ویژگی‌های نوری کاغذ می‌شود [۱۱-۱۴]. پراکسید هیدروژن عمدتاً برای افزایش درجه روشنی خمیرهای کاغذ (حذف گروه‌های رنگ‌ساز) طی مراحل رنگ‌بری نهایی و جلوگیری از کاهش درجه روشنی کاغذ در طی زمان در انتهای توالی رنگ‌بری متداول استفاده می‌شود. در انتهای فرایند رنگ‌بری خمیرکاغذ، به دلیل تیره‌شدن کاغذ بر اثر قلیای باقی‌مانده، باید بین ۱۰-۱۵ درصد از پراکسید باقی‌مانده تا بتوان به نتیجه بهتر رسید، چون مقدار کمتر پراکسید باقی‌مانده درجه روشنی کمتری را نتیجه می‌دهد و قلیای باقی‌مانده موجب تیرگی کاغذ خواهد شد [۱۵]. همچنین، استفاده از عوامل کیلیت‌ساز مانند DTPA آسیب ناشی از یون‌های فلزات سنگین را به مقدار بیشتری کاهش می‌دهد [۳]. هیدروکسید سدیم هم به‌عنوان یک منبع قلیابیت برای خروج مرکب چاپ و افزایش میزان واکنش الیاف خمیرکاغذ استفاده می‌شود [۱۶].

نتایج بررسی اثر رنگ‌بری یک‌مرحله‌ای با فرمامیدین سولفینیک اسید (FAS)، دی تیونیت سدیم (Y)، و پراکسید هیدروژن (P)، و رنگ‌بری دو مرحله‌ای با پراکسید هیدروژن و دی تیونیت سدیم (PY) بر ویژگی‌های نوری مخلوط خمیرکاغذ مرکب‌زدایی‌شده روزنامه و مجله بیانگر آن بوده که خمیرکاغذهای حاصل از رنگ‌بری با P و PY درجه روشنی بیشتری دارند. با این حال، درجه روشنی خمیرکاغذهای حاصل از Y و FAS برای تولید روزنامه مناسب گزارش شده است [۱۷]. با رنگ‌بری

1. Old newspaper
2. Old magazine
3. Lignin-preserving bleaching

4. Surface active agents

روزنامه و مجله مرکب‌زدایی‌شده (پس از شناورسازی)، میزان پراکسید باقی‌مانده، و میزان COD پساب رنگبری است.

## مواد و روش‌ها

### تهیه کاغذ بازیافتی و تیمار شیمیایی آن‌ها

کاغذهای باطله مورد استفاده در این تحقیق، کاغذهای روزنامه و مجله باطله تازه‌چاپ‌شده به‌ترتیب با نسبت ۳۰ و ۷۰ درصد بود. خمیر کاغذ بازیافتی هرکدام به‌طور جداگانه با درصد خشکی ۵ درصد تهیه شد و به مدت یک ساعت داخل حمام آب گرم با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس، نمونه‌های خمیر کاغذ به همراه ۰/۲ درصد پلی سوربات ۸۰ بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ [۶، ۲۱، ۲۲] در داخل دستگاه پراکنده‌ساز (ساخت شرکت PTS در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان) با ۲۵۰۰۰ دور به خمیر کاغذ تبدیل شدند. با تنظیم درصد خشکی خمیر کاغذ به ۸ درصد، هریک از نمونه‌ها به حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و طی ۲۰ دقیقه با مواد شیمیایی هیدروکسید سدیم (۱ درصد)، پراکسید هیدروژن (۱ درصد)، سیلیکات سدیم (۲ درصد)، و DTPA (۰/۳ درصد) تیمار شیمیایی شدند [۶، ۲۱، ۲۲].

### مرکب‌زدایی با شناورسازی

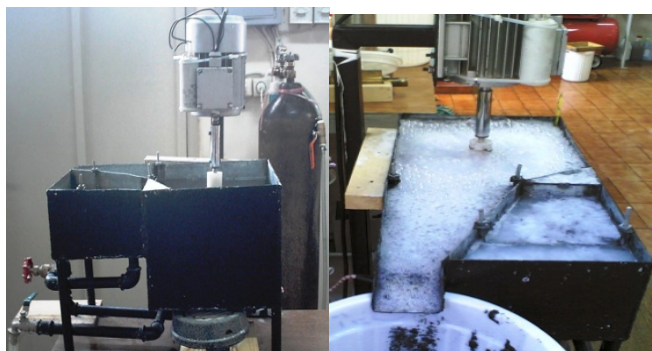
مرکب‌زدایی خمیر کاغذهای بازیافتی با استفاده از روش سلول شناورسازی (ساخت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان) انجام شد. شناورسازی خمیر کاغذها تحت شرایط درصد خشکی ۰/۵ درصد، دمای معمولی اتاق، مدت‌زمان ۲۰ دقیقه، همراه با افزودن ۰/۳۳ درصد کلرید کلسیم در داخل سلول شناورسازی با ظرفیت ۲۰ لیتر و سرعت جریان حدود ۶ لیتر هوا در دقیقه در محدوده ۸-۹ pH انجام شد (شکل ۱).

یک مرحله‌ای و دومرحله‌ای خمیر کاغذ TMP کاج بالزام با فرامیدین سولفینیک اسید (FAS)، بوروهیدرید سدیم، دی تیونیت سدیم (Y)، و پراکسید هیدروژن (P)، درجه روشنایی خمیر کاغذ رنگبری‌شده با ۱ درصد پراکسید هیدروژن و دی تیونیت سدیم در مقایسه با دیگر تیمارهای رنگبری یک مرحله‌ای، درجه روشنایی تقریباً بیشتری دارد. همچنین، در بین رنگبری‌های دومرحله‌ای انجام‌شده، درجه روشنایی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهایی که مرحله اول آن با پراکسید هیدروژن انجام شده است، از تیمارهای دیگر بیشتر بوده و تقریباً معادل هم گزارش شده‌اند [۱۸].

نتایج ارزیابی رنگبری مخلوط کاغذهای باطله با استفاده از پراکسید هیدروژن حاکی از آن است که خواص نوری و مکانیکی خمیر کاغذ حاصل از مخلوط خمیر کاغذهای باطله در مقایسه با رنگبری جداگانه آن‌ها بهتر بوده و دلیلی برای دسته‌بندی و رنگبری جداگانه هریک از انواع کاغذ باطله وجود ندارد [۱۹].

بررسی‌های انجام‌شده بر ویژگی‌های نوری و مکانیکی خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده مخلوط کاغذهای روزنامه و مجله باطله در مقایسه با خمیر کاغذ CMP داخلی نشان داد که درجه روشنایی خمیر کاغذ CMP بیشتر از خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده بوده، اما ویژگی‌های مکانیکی آن کمتر از خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده مشاهده شد [۲۰]. همچنین، در رنگبری خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده، افزایش میزان مصرف پراکسید هیدروژن منجر به بهبود درجه روشنایی خمیر کاغذ و تا حدودی موجب کاهش بازده خمیر کاغذ می‌شود [۲۱].

هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر سطوح متفاوت میزان مصرف پراکسید هیدروژن (۰/۵، ۰/۷۵، ۱ درصد) و زمان رنگبری (زمان‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) بر مشخصات فنی خمیر کاغذهای مخلوط



شکل ۱. سلول شناورسازی برای جداسازی ذرات مرکب چاپ

اندازه‌گیری شد. در این مورد اندازه‌گیری شاخص COD با استفاده از پساب حاصل از شست‌وشو بعد از عبور از صافی انجام شد؛ به طوری که آب زیر صافی جمع‌آوری و در بطری‌های پلاستیکی قرار داده شد. سپس، طبق استاندارد اشاره‌شده، نمونه‌های مشخص تهیه و میزان COD آن‌ها تعیین شد.

#### اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن باقی‌مانده<sup>۴</sup> در پساب رنگ‌بری

در پایان رنگ‌بری، پس از صاف کردن مایع رنگ‌بری بر روی الک با مش ۳۰۰، ۲۵ میلی‌لیتر مایع صافی به کمک پیپت حباب‌دار در یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و ارلن بر روی همزن الکتریکی قرار داده شد. سپس، به ترتیب ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۲۵ درصد، ۵ میلی‌لیتر یدید پتاسیم ۱۰ درصد، و سه قطره مولیبدات آمونیوم اشباع‌شده بر روی آن ریخته و سپس آن قدر به مایع داخل ارلن تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال اضافه شد تا رنگ آن زرد کم‌رنگ شود. در این مرحله، ۱۰ میلی‌لیتر محلول نشاسته به مایع اضافه شد تا رنگ آبی ظاهر شود. مجدداً افزودن تیوسولفات سدیم تا حذف رنگ آبی ادامه یافت. با استفاده از میزان تیوسولفات سدیم مصرف‌شده، میزان پراکسید هیدروژن باقی‌مانده در مایع رنگ‌بری طبق رابطه<sup>۱</sup> محاسبه شد [۲۳]:

4. Residual peroxide

#### رنگ‌بری خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده

پس از مرکب‌زدایی مخلوط خمیر کاغذهای روزنامه و مجله باطله، رنگ‌بری آن‌ها با استفاده از ۰/۵، ۰/۷۵، و ۱ درصد پراکسید هیدروژن، و به مدت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه انجام شد [۱۰]. شرایط ثابت رنگ‌بری شامل درصد خشکی (۸ درصد)، دما (۷۰°C)، درصد هیدروکسید سدیم (۰/۳۷ درصد)، درصد سیلیکات سدیم (۳ درصد)، و DTPA (۰/۳ درصد) در نظر گرفته شد. pH نهایی در پایان رنگ‌بری در حدود ۹/۸-۱۰/۵ بوده است. در پایان رنگ‌بری، pH خمیر کاغذهای رنگ‌بری‌شده، با اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال، به حدود ۵-۶ رسانده شد. سپس، خمیر کاغذ با آب مقطر شست‌وشو داده شد و طبق استاندارد T۲۴۸ sp-۰۰ آیین‌نامه<sup>۱</sup> تا درجه روانی حدود ۳۰۰ CSF پالایش و از آن‌ها کاغذ دست‌ساز آزمایشگاهی (۶۰ gm<sup>-2</sup>) ساخته شد.

#### اندازه‌گیری اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)<sup>۲</sup> پساب رنگ‌بری

بار آلودگی COD، یکی از شاخص‌های مهم پساب، مطابق با دستورالعمل شماره ۶۰۶۰ آیین‌نامه<sup>۳</sup> ایزو

1. Technical Association Of The Pulp & Paper Industry  
2. Chemical oxygen demand  
3. ISO

$$(۱) \quad \text{میلی لیتر تیوسولفات سدیم} = \frac{0/1 \times 0/17}{25} \times \text{پراکسید هیدروژن باقی مانده در مایع رنگ‌بری (گرم بر لیتر)}$$

۰/۱ نرمالیت تیوسولفات سدیم، ۰/۱۷ اکی والان پراکسید هیدروژن، و ۲۵ حجم نمونه تیترا شده (میلی لیتر) است.

پس از محاسبه میزان پراکسید هیدروژن موجود در مایع رنگ‌بری بعد از رنگ‌بری، و با دانستن میزان

$$(۲) \quad 100 \times \frac{\text{پروکسید هیدروژن باقی مانده در مایع رنگ‌بری بعد از رنگ‌بری (گرم بر لیتر)}}{\text{پروکسید هیدروژن باقی مانده در مایع رنگ‌بری قبل از رنگ‌بری (گرم بر لیتر)}} = \text{درصد پراکسید هیدروژن باقی مانده در مایع رنگ‌بری}$$

### زمان رنگ‌بری بر COD لیکور رنگ‌بری

نتایج آزمون تجزیه واریانس اثر درصدهای متفاوت پراکسید مصرفی نشان داد که بین COD پساب حاصل از تیمارهای متفاوت آزمایش در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی داری وجود دارد و آزمون دانکن مقادیر COD پساب را در شش گروه مجزا قرار داده است (شکل ۲). همچنین، با افزایش زمان رنگ‌بری، مقدار COD پساب به‌طور معنی داری افزایش یافته است که احتمالاً دلیل آن افزایش انحلال لیگنین و دیگر ترکیبات خمیر کاغذ در نتیجه قرارگیری بیشتر الیاف در معرض محیط قلیایی است [۴].

### پراکسید هیدروژن باقی مانده

نتایج حاصل از پراکسید هیدروژن باقی مانده در پساب رنگ‌بری در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان رنگ‌بری مقدار پراکسید هیدروژن باقی مانده در پساب کاهش می‌یابد که دلیل آن احتمالاً افزایش میزان تجزیه یا مصرف پراکسید هیدروژن طی رنگ‌بری با توجه به قلیایی بودن شرایط رنگ‌بری است. همچنین، با افزایش مصرف پراکسید هیدروژن، تغییرات پراکسید هیدروژن باقی مانده در لیکور رنگ‌بری معنی دار نبوده است.

### اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی کاغذ

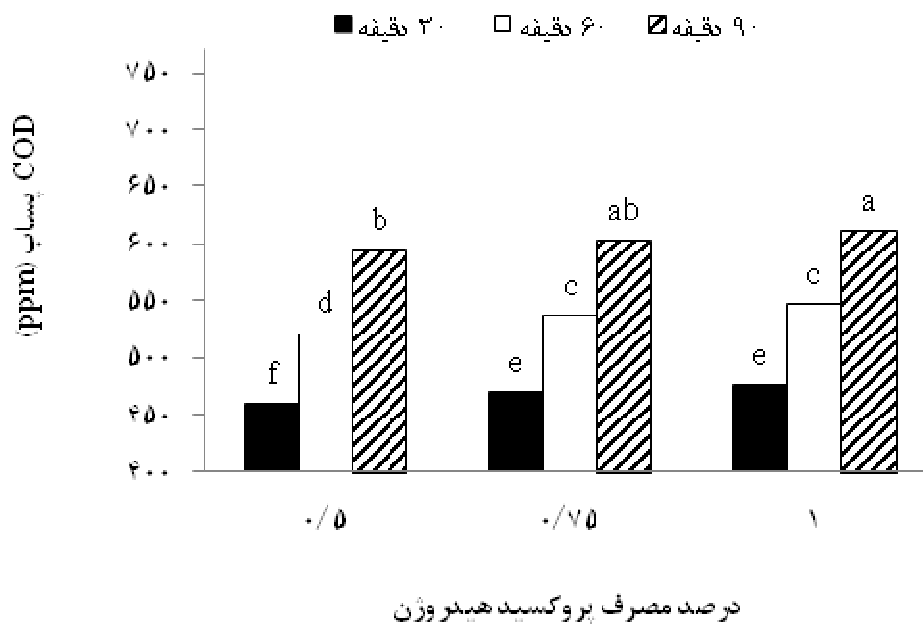
ویژگی‌های کیفی کاغذ شامل ویژگی‌های نوری، فیزیکی، و مکانیکی طبق دستورالعمل‌های آیین‌نامه تاپی (سال ۲۰۰۶) بدین ترتیب اندازه‌گیری شدند: درجه روشنایی (۰۲-om-۴۵۲ T)، ماتی (۰۱-۴۲۵om T)، ضخامت (۰۵-om-۴۱۱ T)، مقاومت به کشش (۹۲-om-۴۰۴ T)، مقاومت به ترکیدن (۰۲-۴۰۳om T)، و مقاومت به پارگی (۰۴-om-۴۱۴ T). مقادیر حجمی کاغذها نیز با توجه به نسبت ضخامت کاغذ به وزن پایه کاغذ محاسبه شدند.

### تجزیه و تحلیل آماری

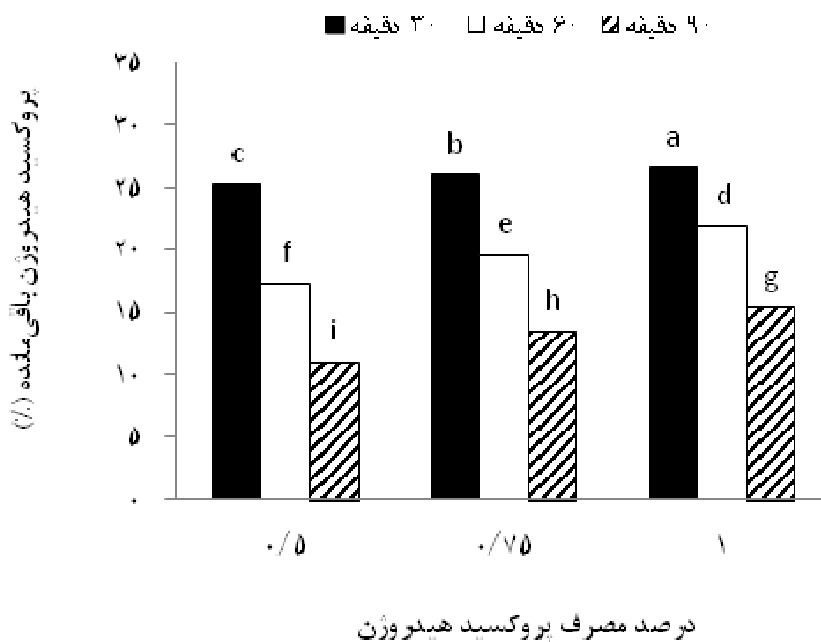
طرح آماری مورد استفاده در این تحقیق از نوع کاملاً تصادفی بود و برای مقایسه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری، فیزیکی، و مکانیکی کاغذهای ساخته شده و همچنین پساب لیکور، از آزمون تجزیه واریانس (با استفاده از روش ANOVA نرم‌افزار آماری SPSS) استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان آماری ۹۹ درصد انجام گرفت. شایان ذکر است که از هر تیمار سه تکرار انجام گرفت و ویژگی‌های مربوط به آن‌ها اندازه‌گیری شد.

### نتایج

### تأثیر سطوح متفاوت پراکسید هیدروژن و



شکل ۲. مقایسه COD پساب در سطوح متفاوت پراکسید مصرفی و زمان رنگبری



شکل ۳. مقایسه پراکسید هیدروژن باقی مانده در پساب رنگبری در سطوح متفاوت پراکسید مصرفی و زمان رنگبری

## ویژگی‌های فیزیکی کاغذ

### حجمی کاغذ

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین حجمی کاغذهای حاصل از تیمارهای متفاوت آزمایش در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد و آزمون دانکن مقادیر حجمی اندازه‌گیری‌شده را در پنج گروه مجزا قرار داده است (شکل ۴). حجمی خمیر کاغذهای رنگ‌بری‌شده در مقایسه با خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده کاهش یافته که احتمالاً دلیل آن افزایش آب‌دوستی<sup>۱</sup>، انعطاف‌پذیری، و سطح اتصال بین الیاف در نتیجه انحلال قلیایی لیگنین است [۱]. در بین خمیر کاغذهای رنگ‌بری‌شده، خمیر کاغذ رنگ‌بری‌شده در مدت‌زمان ۹۰ دقیقه با مصرف ۱ درصد پراکسید هیدروژن کمترین میزان حجمی را داشت و خمیر کاغذ رنگ‌بری‌شده در مدت‌زمان ۳۰ دقیقه با مصرف ۰/۵ درصد پراکسید هیدروژن بیشترین میزان حجمی را داشت. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، افزایش درصد ماده رنگ‌بر پراکسید هیدروژن تأثیر معنی‌داری بر حجمی نداشت، اما با افزایش زمان رنگ‌بری، حجمی به‌طور معنی‌داری کاهش یافته که دلیل آن احتمالاً افزایش آب‌دوستی، انعطاف‌پذیری، و سطح اتصال بین الیاف در نتیجه انحلال قلیایی لیگنین با توجه به قرارگیری بیشتر الیاف در معرض محیط قلیایی است. گفتنی است که در رنگ‌بری قلیایی با پراکسید هیدروژن، پراکسید بیشتر به‌عنوان عامل سفیدکننده<sup>۲</sup> استفاده می‌شود (حداکثر افزایش درجه روشنی در مقادیر کمتر از ۱/۵ درصد پراکسید رخ می‌دهد)، ولی عامل لیگنین‌زدای خوبی<sup>۳</sup> نیست [۱۰]. زمانی که شرایط فرایند رنگ‌بری شدیدتر شود، مثلاً میزان مصرف

پراکسید (به بیش از ۱/۵ درصد) افزایش یابد، تجزیه پراکسید با یون‌های فلزی یا قلیای لازم مصرفی به واکنش‌های تخریبی منجر می‌شود. می‌توان استنباط کرد که همین مسئله می‌تواند توجیه‌کننده عدم معنی‌داری مقادیر حجمی کاغذ بر اثر افزایش مصرف پراکسید باشد. از طرف دیگر، ماده قلیا عامل اصلی انحلال لیگنین و افزایش واکنش‌دهی الیاف محسوب می‌شود [۱۰، ۲۴]، و با توجه به اینکه میزان مصرف قلیا هم در طی فرایند ثابت بوده است، بنابراین، با افزایش مصرف پراکسید هیدروژن، افزایش معنی‌داری در مقادیر حجمی کاغذ دیده نشده است.

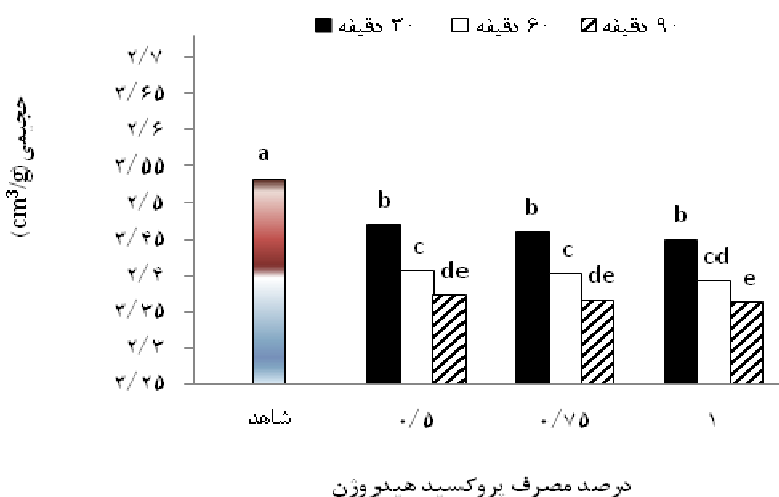
### درجه روشنی کاغذ

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین درجه روشنی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای متفاوت آزمایش در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد و آزمون دانکن مقادیر درجه روشنی اندازه‌گیری‌شده را در هفت گروه مجزا قرار داده است (شکل ۵). درجه روشنی خمیر کاغذهای رنگ‌بری‌شده در مقایسه با خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده افزایش یافته و دلیل آن احتمالاً تخریب گروه‌های رنگ‌ساز موجود در ساختار لیگنین در نتیجه واکنش یون  $\text{HOO}^-$  (یون پرهیدروکسیل که عامل اصلی تخریب گروه‌های رنگ‌ساز است و از تجزیه پراکسید هیدروژن در شرایط قلیایی تولید می‌شود) با لیگنین است [۸]. در بین خمیر کاغذهای رنگ‌بری‌شده، خمیر کاغذ حاصل از تیمار ۱ درصد پراکسید و مدت‌زمان ۹۰ دقیقه بیشترین درجه روشنی را دارد و خمیر کاغذ حاصل از تیمار با ۰/۵ درصد پراکسید و مدت‌زمان ۳۰ دقیقه دارای کمترین درجه روشنی است. با افزایش درصد پراکسید هیدروژن درجه روشنی افزایش یافته که احتمالاً دلیل آن افزایش غلظت یون غلظت  $\text{HOO}^-$  و انجام واکنش

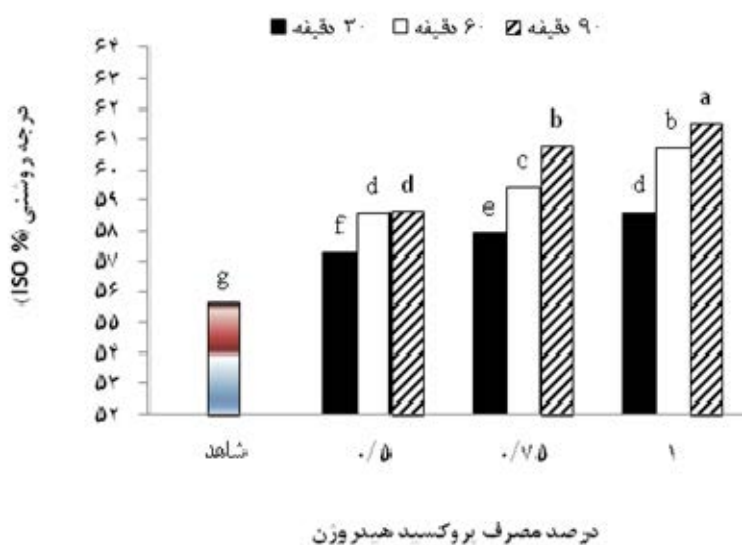
1. Hydrophilicity
2. Bleaching agent
3. Good delignifying agent

۶۰ به ۹۰ دقیقه، تغییر معنی‌داری در درجه روشنایی خمیرکاغذ مشاهده نشده است. در رنگ‌بری خمیرکاغذ با پراکسید هیدروژن، به دلیل قلیایی بودن محیط رنگ‌بری، واکنش‌های رنگ‌بری و تیرگی قلیایی در رقابت با هم رخ می‌دهند [۲۵]. به نظر می‌رسد در تیمار شامل ۰/۵ درصد پراکسید و مدت‌زمان ۳۰ دقیقه میزان پراکسید هیدروژن باقی‌مانده در محیط واکنش به اندازه‌ای بوده است که توانسته از تیرگی قلیایی خمیرکاغذ جلوگیری کند.

بیشتر با لیگنین در نتیجه افزایش میزان تخریب گروه‌های رنگ‌ساز لیگنین است [۱۰]. با افزایش زمان رنگ‌بری، درجه روشنایی کاغذهای حاصل به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است و احتمالاً دلیل آن افزایش میزان واکنش یون  $\text{HOO}^-$  موجود در محیط واکنش با گروه‌های رنگ‌ساز، با توجه به طولانی‌تر شدن زمان واکنش است [۲۱]. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در رنگ‌بری با ۰/۵ درصد پراکسید هیدروژن با افزایش زمان رنگ‌بری از



شکل ۴. مقایسه حجمی کاغذها در سطوح متفاوت پراکسید مصرفی و زمان رنگ‌بری



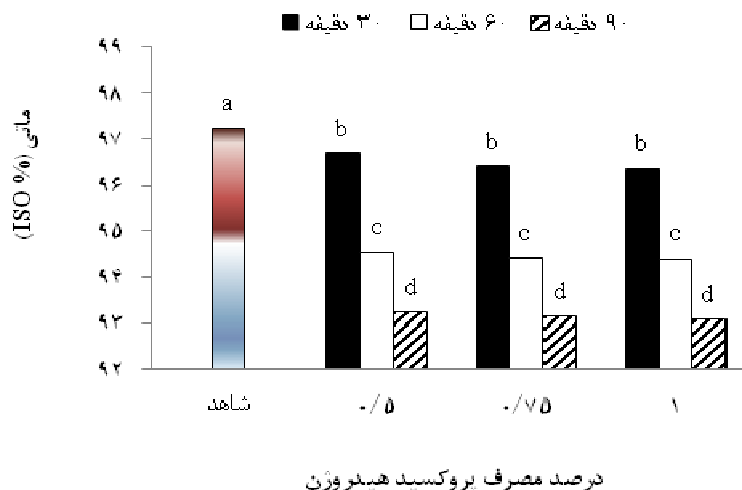
شکل ۵. مقایسه درجه روشنایی کاغذها در سطوح متفاوت پراکسید مصرفی و زمان رنگ‌بری



پراکسید رنگ‌بری شد، کمترین ماتی، و خمیر کاغذ رنگ‌بری‌شده در زمان ۳۰ دقیقه و مصرف ۰/۵ درصد پراکسید بیشترین ماتی را نشان داد. با توجه به شکل ۶، افزایش درصد ماده رنگ‌بر تأثیر معنی‌داری بر ماتی نداشته، در حالی که ماتی کاغذ با افزایش زمان رنگ‌بری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که با کاهش تفرق و شکست نور در بین الیاف در نتیجه کاهش حجمی کاغذ قابل توجیه است [۲۶]. با توجه به اینکه مقادیر حجمی کاغذ در سطوح متفاوت پراکسید مصرفی به‌طور معنی‌داری تغییر نیافت، بنابراین، می‌توان انتظار داشت که تغییرات ماتی کاغذ هم معنی‌دار نباشد.

## ماتی

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین ماتی کاغذهای حاصل از تیمارهای متفاوت آزمایش در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد و آزمون دانکن مقادیر ماتی اندازه‌گیری‌شده را در پنج گروه مجزا قرار داده است (شکل ۶). ماتی خمیر کاغذهای رنگ‌بری‌شده در مقایسه با خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده کاهش یافته است و دلیل آن می‌تواند کاهش تفرق و شکست نور در بین الیاف در نتیجه کاهش حجمی کاغذ باشد [۲۶]. در بین خمیر کاغذهای متفاوت رنگ‌بری‌شده، خمیر کاغذی که در مدت زمان ۹۰ دقیقه و مصرف ۱ درصد

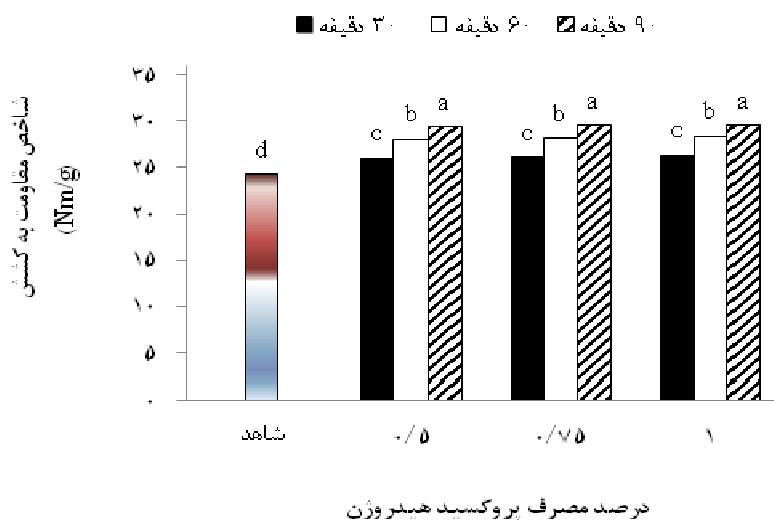


شکل ۶. مقایسه ماتی کاغذها در سطوح متفاوت پراکسید مصرفی و زمان رنگ‌بری

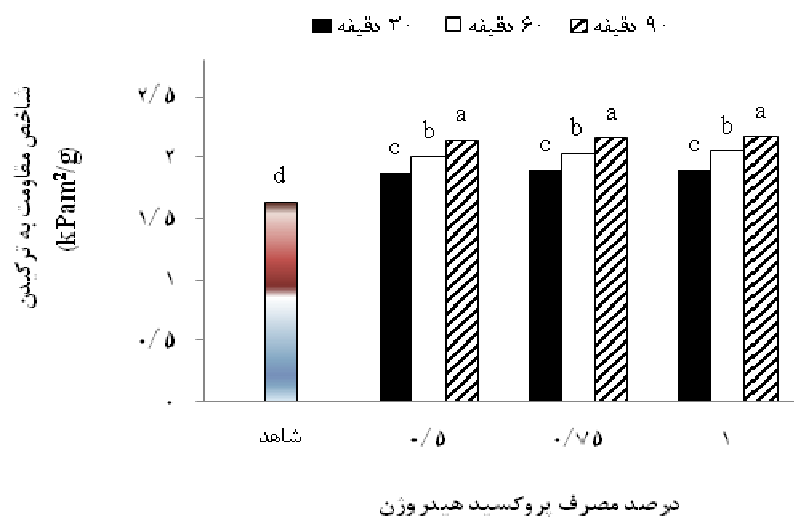
خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده افزایش یافته که احتمالاً دلیل آن افزایش آب‌دوستی، انعطاف‌پذیری، و اتصال بین الیاف در نتیجه انحلال قلیایی لیگنین است [۹]. در بین خمیر کاغذهای رنگ‌بری‌شده، خمیر کاغذ حاصل از تیمار با ۱ درصد پراکسید و مدت زمان ۹۰ دقیقه، بیشترین شاخص مقاومت به کشش، و خمیر کاغذ حاصل از تیمار با ۰/۵ درصد پراکسید و مدت زمان ۳۰ دقیقه، کمترین شاخص مقاومت به کشش را نشان داد.

## شاخص مقاومت به کشش کاغذ

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین شاخص مقاومت به کشش خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای متفاوت آزمایش در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد و آزمون دانکن مقادیر شاخص مقاومت به کشش اندازه‌گیری‌شده را در چهار گروه مجزا قرار داده است (شکل ۷). شاخص مقاومت به کشش خمیر کاغذهای رنگ‌بری‌شده در مقایسه با



شکل ۷. مقایسه شاخص مقاومت به کشش کاغذها در سطوح متفاوت پراکسید مصرفی و زمان رنگبری



شکل ۸. مقایسه شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذها در سطوح متفاوت پراکسید مصرفی و زمان رنگبری

پراکسید هیدروژن موجب افزایش چشمگیر نیاز کاتیونی<sup>۱</sup> خمیرکاغذ مکانیکی به دلیل آزاد شدن انواع همی سلولزهای کربوکسیل دار<sup>۲</sup> و نیز محصولات جنبی حاصل از تجزیه این ترکیبات در رنگبری با پراکسید هیدروژن می شود [۲۷-۲۸]. بنابراین، می توان گفت که با افزایش مصرف پراکسید هیدروژن، مقدار گروه های کربوکسیل خمیرکاغذ افزایش یافته اما این

همان طور که در شکل ۷ مشاهده می شود، افزایش درصد ماده رنگ بر پراکسید تأثیر معنی داری بر شاخص مقاومت به کشش نداشته، ولی با افزایش زمان رنگبری شاخص مقاومت به کشش به طور معنی داری افزایش یافته است که احتمالاً دلیل آن هم می تواند افزایش انعطاف پذیری و سطح اتصال بیشتر بین الیاف هم زمان با انحلال قلیایی بیشتر لیگنین باشد. طبق گزارش های منتشر شده، رنگبری با

1. Cationic demand  
2. Carboxylated hemicellulose species

شش گروه مجزا قرار داده است (شکل ۹). در مقایسه با خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده، شاخص مقاومت به پاره‌شدن خمیر کاغذهای رنگبری‌شده افزایش یافت که مهم‌ترین دلایل آن می‌تواند خروج بیشتر لیگنین همراه با افزایش انعطاف‌پذیری الیاف باشد [۴، ۹]. تیمار شامل ۱ درصد پراکسید و مدت‌زمان ۹۰ دقیقه در بین خمیر کاغذهای رنگبری‌شده، بیشترین شاخص مقاومت به پاره‌شدن، و خمیر کاغذ حاصل از تیمار با ۰/۵ درصد پراکسید و مدت‌زمان ۳۰ دقیقه کمترین شاخص مقاومت به پاره‌شدن را نشان داد. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، افزایش درصد ماده رنگبر پراکسید تأثیر معنی‌داری بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن نداشته، اما شاخص مقاومت به پاره‌شدن با افزایش زمان رنگبری افزایش یافته است. احتمالاً افزایش میزان انحلال قلیایی لیگنین (در محیط رنگبری قلیایی) و همراه با آن افزایش آب‌دوستی و انعطاف‌پذیری الیاف در بهبود شاخص مقاومت به پاره‌شدن مؤثر بوده است.

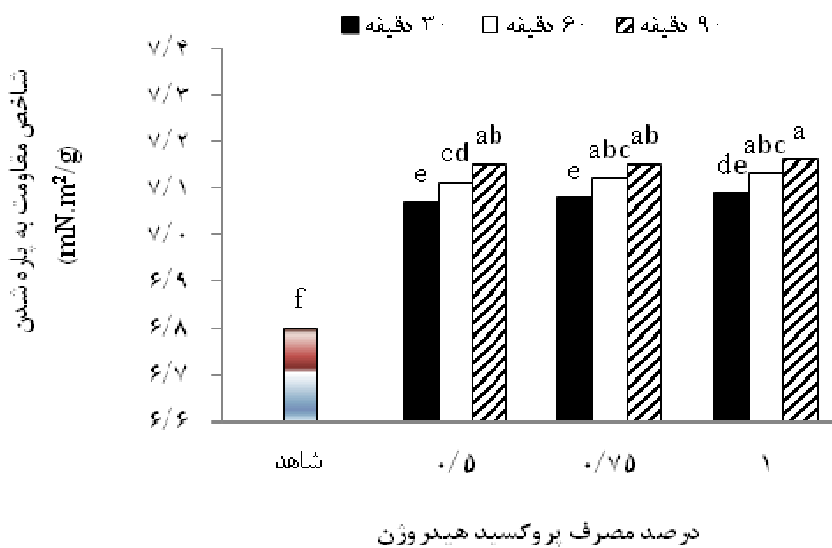
افزایش در حدی نبوده که منجر به افزایش معنی‌دار مقادیر ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ شود.

### شاخص مقاومت به ترکیدن

نتایج ارزیابی آماری تجزیه واریانس و دانکن مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذها در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به اینکه بین ویژگی‌های مقاومت به ترکیدن و مقاومت به کشش کاغذ همواره رابطه نسبتاً مستقیم وجود دارد و این دو پارامتر عموماً متأثر از سطح اتصال بین الیاف‌اند [۲۶]، بنابراین، روند تغییرات مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ در سطوح متفاوت ماده رنگبر پراکسید و زمان‌های متفاوت رنگبری با تغییرات شاخص مقاومت به کشش مشابه بوده است.

### شاخص مقاومت به پاره‌شدن

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف مقادیر شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذهای حاصل از تیمارهای متفاوت آزمایش در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بوده و آزمون دانکن این مقادیر را در



شکل ۹. مقایسه شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذها در سطوح متفاوت پراکسید مصرفی و زمان رنگبری

## نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بررسی دو پارامتر کنترلی مهم در رنگ‌بری مخلوط خمیر کاغذهای مرکب‌زدایی‌شده روزنامه و مجله باطله، یعنی مقدار مصرف پراکسید هیدروژن و زمان رنگ‌بری بر مشخصات کیفی کاغذ تولیدی و پراکسید باقی‌مانده و COD پس‌اب رنگ‌بری، انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که رنگ‌بری خمیر کاغذ مرکب‌زدایی‌شده موجب بهبود درجه روشنایی، افزایش بار COD لیکور پس‌اب، شاخص مقاومت به کشش، شاخص مقاومت به ترکیدن، و شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذ شد، اما حجیمی و ماتی کاغذ کاهش یافت. با افزایش مصرف پراکسید، درجه روشنی کاغذهای ساخته‌شده به‌طور معنی‌داری بهبود یافت، اما ماتی کاغذ کمی کاهش یافت که این کاهش به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. همچنین، هنگامی‌که زمان رنگ‌بری تا ۹۰ دقیقه افزایش یافت، درجه روشنایی کاغذ بهبود یافت، اما

ماتی کاغذ کاهش یافت. به‌طور کلی، افزایش درصد ماده رنگ‌بر پراکسید تأثیر معنی‌داری بر شاخص مقاومت به کشش و ترکیدن کاغذ نشان نداد، اما با افزایش زمان رنگ‌بری این شاخص به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش درصد ماده رنگ‌بر پراکسید تأثیر معنی‌داری بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن نداشت، اما شاخص مقاومت به پاره‌شدن با افزایش زمان رنگ‌بری افزایش یافت. برای نتیجه‌گیری نهایی، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده این تحقیق می‌توان گفت که هرچند بسیاری از ویژگی‌ها بهبود یافتند، افزایش مصرف پراکسید تقریباً بر ویژگی‌های کیفی کاغذ تولیدی اثری نداشت؛ در حالی که تغییر زمان رنگ‌بری منجر به تغییرات معنی‌داری مشخصات کیفی کاغذ شد. بنابراین، با مقایسه آثار دو عامل متغیر بررسی‌شده در این تحقیق، زمان رنگ‌بری پارامتر کنترلی بسیار مهم‌تری در مقایسه با درصد ماده رنگ‌بر در محدوده مورد بررسی به‌نظر می‌رسد.

## References

- [1]. Ghasemian, A., and Khalili, A. (2012). Fundamentals and Procedures of Paper Recycling, Aej Press, Tehran.
- [2]. Azad Falah, M., Mirzazad, F., and Hamzeh, Y. (2012). Influence of recycling on chemical properties and hornification of CMP and NSSC pulps. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 3(1):99-108.
- [3]. Mirshokrai, A. (2001). Guide to waste paper. Tehran Aiezh Press. 2<sup>nd</sup> Edition. 140pp.
- [4]. Latibari, A., Khosravani, A., and Rahmaninia, M. (2007). Technology of Paper Recycling, Aej Press, Tehran.
- [5]. Ghasemian, A., Resalati, H., and Pinder, K. (2004). Deinking of ONP and OMG, Part 1: Comparison of properties of ONP and OMG deinked compared to local CMP pulp. Iranian Journal of Natural Resources, 57(3): 537-550.
- [6]. Akbarpour, I., Resalati, H., and Saraeian, A.R. (2010). Investigation on The deinkability of old newspaper. Iranian Journal of Wood & Forest Science and Technology, 17(2): 73-87.
- [7]. Ghasemian, A., and Akbarpour, I. (2011). The strategy of paper recycling and its position on supplying the lignocellulosic materials required for local pulp and paper industries. 1<sup>st</sup> Road Map Conference for Supplying of Raw Material and Development of Wood and paper Industry at Horizon 1404, p.4.
- [8]. Gullichsen, J., Hanna, P. (2000). Recycle fiber and deinking. Book 7, Papermaking Science and Technology, Fapet Oy, Helsinki, Finland, 427p.
- [9]. Mirshokrai, A. (2000). Handbook of Pulp and Paper Technology. 2<sup>nd</sup> Ed., Aej, Tehran, 520p (In Persian)
- [10]. Bajpai, P. 2006. Environmentally benign approaches for pulp bleaching. The Center for Industrial Research Development Patiala, India, 289p.
- [11]. Akbarpour, I., Ghaffari, M., and Ghasemian, A. (2013). Effect of sodium silicate on the optical and physical properties of ONP deinked pulp. Iranian Journal of Wood & Forest Science and Technology, 19(4): 163-169.
- [12]. Ghasemian, A., Ghaffari, M., and Akbarpour, I. (2011). Effect of organic complex of polyhydroxyl acrylic acid and sodium Salt on optical and physical properties of ONP deinked pulp. Iranian Journal of Wood & Forest Science and Technology, 17(2): 89-102.
- [13]. Welt, T. (1996). Enzymatic deinking effectiveness and mechanisms. Doctoral dissertation. The Institute of Paper Science and Technology, 19(7): 335-349.
- [14]. Johnson, D.A., Park, S., Genco, G.M., Gibson, A., Branch, B., and Wajer, M. (2002). Hydrogen peroxide bleaching of TMP pulps using Mg(OH)<sub>2</sub>. Tappi Pulping Conference Proceedings, San Diego, September, P: 8-11.
- [15]. Akbarpour, I., and Resalati, H. (2011). Utilization of organic complex of glanapone stab rather than sodium silicate in peroxide bleaching of mixed hardwood CMP pulp. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 26(2): 193-217.
- [16]. Joachimides, T., Hache, M. (1991). Bleaching deinking pulp. Tappi Journal, 91, 211-216.
- [17]. Daneault, C., Leduc, C. (1995). Bleaching efficiency of formamidine sulfonic acid (FAS) in comparison to hydrosulfite, borohydride, and peroxide in one and two stages. Tappi Journal, 78 (7): 97-106.
- [18]. Tschirner, U., Wang, D. (1998). Hydrogen peroxide bleaching of recycle fiber. Paprican, Progress in Paper Recycling, 8(1):15-25.
- [19]. Ghasemian, A., Resalati, H., Enayati, A.A., and Pinder, K. (2006). ONP/OMG deinking, Part 2:

- effect of DIP use on the properties of local CMP pulp. *Iranian Journal of Natural Resources*, 59 (3): 727-740.
- [20]. Nishi, K.B., Nguyen, K.L. (2005). Charge accepts of hydrogen peroxide bleached deinked pulp. *Journal of Colloids & Surfaces*, 262 (1-3): 232-237.
- [21]. Aryaie Monfared, M.H., Resalati, H., and Zeinali, F. (2013). Assessment of flotation time effect on appearance properties of chemical and enzymatic deinked pulp by reverse power fit equation. *Iranian Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 19(4):137-150.
- [22]. Akbarpour, I., Resalati, H., and Saraeian, A.R. (2011). Investigation on the physical and mechanical properties of waste newspaper deinked. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 26(2):243-255.
- [23]. MacDonald, R.G., and Franklin, J.N. (1986). *Textbook of Pulp and Paper Manufacture: Volume 3*, McGraw-Hill Inc; 2<sup>nd</sup> Edition, 1966p.
- [24]. Helmling, O., Süß, U., Eul, W., 1986. Upgrading of waste paper with hydrogen peroxide. In: *Tappi Pulping Conference, Proceedings*, Tappi Press, Atlanta, p. 407.
- [25]. Suess, H.A. (2010). *Pulp Bleaching Today*. Library of Congress Cataloging- in Publication Data, ISBN: 978-3-11020737-8, 309p.
- [26]. Afra, E. (2003). *Properties of Paper*. Agricultural Sciences Press, 392p. (In Persian).
- [27]. Alanko, K., Paulapuro, H., and Stenius, P. (1995). Recyclability of thermomechanical pulp fibers. *Journal of Paperi Puu*. 77(5): 315-328.
- [28]. Jiang, Z.H., Van Lierop, B., and Berry, R. (2000). Hexenuronic acid groups in pulping and bleaching chemistry, *Tappi Journal*., 83(1), 167-175.