فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۳، شماره ۲، صفحه ۲۱۷-۲۰۵ (۱۳۹۷)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2018.120401.1458

بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) رنگبری شده با توالی یک و دو مرحله‌ای هیپوکلریت‌سدیم و پراکسیدهیدروژن

قاسم اسدپور[1*]، فاطمه رجبی[2] و سید مجید ذبیح‌زاده[3]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
پست الکترونیک: asadpur2002@yahoo.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۷

چکیده

هدف این پژوهش بررسی خواص نوری و مقاومتی خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) رنگبری شده با توالی یک و دو مرحله‌ای از پراکسیدهیدروژن و هیپوکلریت‌سدیم بوده است. همچنین بار اکسیژن‌خواهی شیمیایی و بیولوژیکی پساب حاصل از رنگبری خمیر کاغذ CMP موردمطالعه قرارگرفته است. بدین‌منظور خمیر کاغذ CMP رنگبری نشده مخلوط پهن‌برگان از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه گردید. سپس این خمیرها با توالی‌های یک و دو مرحله‌ای P (پراکسیدهیدروژن)، H (هیپوکلریت‌سدیم)، PH (پراکسیدهیدروژن و هیپوکلریت‌سدیم) و HP (هیپوکلریت‌سدیم و پراکسیدهیدروژن) رنگبری گردیدند. از خمیر کاغذهای رنگبری شده، کاغذ دست‌ساز آزمایشگاهی با وزن پایه ۶۰ گرم بر مترمربع تهیه و خواص نوری و مقاومتی آنها طبق آزمون‌های استاندارد TAPPI، میزان بار اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) و بار اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD) پساب رنگبری نیز با استفاده از استاندارد APHA (1998) اندازه‌گیری و مقایسه شد. نتایج نشان داده است زمانی که پراکسید در مرحله آخر رنگبری بکار رود، ویژگی‌هایی از قبیل مقاومت در برابر پارگی، کشش و روشنی افزایش و زردی کاهش می‌یابد. به‌طورکلی، نقش توالی‌های رنگبری پراکسیدهیدروژن (P) و رنگبری دو مرحله‌ای هیپوکلریت‌سدیم و پراکسیدهیدروژن (HP) در رنگبری خمیرکاغذ CMP و بهبود روشنی و مقاومت‌های کاغذ حاصل، مؤثرتر از توالی یک مرحله‌ای هیپوکلریت‌سدیم (H) و خمیر رنگبری نشده کارخانه بوده است. همچنین بیشترین و کمترین میزان بار آلودگی پساب (COD) به‌ترتیب مربوط به خمیر کاغذهای رنگبری شده با توالی هیپوکلریت‌سدیم (H) و PH (پراکسیدهیدروژن و هیپوکلریت‌سدیم) بودند. بیشترین بار BOD را نیز لیکور رنگبری با پراکسیدهیدروژن (P) دارا بوده و کمترین مقدار را نیز توالی رنگبری پراکسیدهیدروژن و هیپوکلریت‌سدیم (PH) داشته است.

واژه‌های کلیدی: خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP)، هیپوکلریت‌سدیم، پراکسیدهیدروژن، خواص نوری، ویژگی‌های مقاومتی، پساب رنگبری.

مقدمه

امروزه با افزایش جمعیت و افزایش تقاضای مصرف کاغذ و فراورده‌های آن از یکسو و محدودیت سطح جنگل‌های تجاری و رقابت صنایع چوب و کاغذ از سوی دیگر، استفاده از خمیرهای مکانیکی و پربازده را مورد توجه قرار داده است (Ghasemi & Behrooz, 2011). با توجه به اینکه

Archive of SID
www.SID.ir

خمیرکاغذهای شیمیایی- مکانیکی (CMP) بازدهی بالایی دارد، حضور لیگنین و اجزای جداشده از آن در طی پخت و همچنین وجود ناخالصی‌های موجود در این نوع خمیرکاغذها می‌تواند از عوامل مهم کاهش کیفیت و ویژگی‌های کاغذ تولیدی در کوتاه مدت، زرد شدن و شکننده شدن آنها باشد و یا تخریب نوری آنها را تسریع کند و از مصرف گسترده این خمیرهای پربازده در فراورده‌های با کیفیت بالا جلوگیری می‌کند؛ بنابراین، هدف از رنگبری خمیرکاغذهای با بازده زیاد، افزایش روشنی خمیرکاغذ، کاهش مقدار مواد لیگنین در خمیرکاغذ و در مواردی نیز افزایش مقاومت و اتصال بین الیاف است (Asadpur *et al*., 2015).

برای رنگبری خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی از توالی‌های متعددی استفاده می‌شود. از میان ترکیبات کلردار، هیپوکلریت‌سدیم قدیمی‌ترین ماده رنگبر شناخته‌شده است که دارای ویژگی‌های اکسیدکنندگی و رنگبری قوی است (Abdolkhani & Mirshokraie, 2005). همچنین، امروزه پراکسیدهیدروژن نیز به‌عنوان یک ماده رنگبر اکسایشی به‌طور گسترده‌ای در توالی‌های رنگبری خمیرهای کاغذ اعم از مکانیکی یا شیمیایی استفاده می‌گردد. همچنین از نظر زیست‌محیطی هیچ‌گونه آلودگی دربر ندارد و به‌راحتی به آب و اکسیژن تجزیه می‌شود.

بنابر پژوهش انجام شده توسط Vaysi و Salimifar (۲۰۱۷)، با بررسی تأثیر توالی‌های رنگبری اکسیژن/ هیدروکسیدسدیم، اکسیژن/ پراکسیدهیدروژن، پراکسیدهیدروژن/ دی‌تیونیت‌سدیم، اکسیژن/ پراکسیدهیدروژن/ دی‌تیونیت‌سدیم، اکسیژن/ پراکسیدهیدروژن بر خمیر کاغذ CMP کارخانه چوب و کاغذ مازندران، گزارش نمودند که در اثر رنگبری بدون ترکیبات کلر، روشنی، سبزرنگی، مقاومت به پارگی، کششی، ترکیدن و تاشدن افزایش و ماتی کاغذهای حاصل از خمیرکاغذ CMP را کاهش می‌دهد. به‌طورکلی، نقش توالی رنگبری سه مرحله‌ای O(Eo)P و همچنین توالی‌های رنگبری دومرحله ای (OP)و (PY) در رنگ‌بری خمیرکاغذCMP و بهبود روشنی و مقاومت‌های کاغذ حاصل مؤثرتر از توالی یک مرحله‌ای (P) بوده است.

Sheikhi و همکاران (۲۰۱۳) نیز خمیر باگاس تهیه‌شده از روش سودا و سولفیت خنثی را با استفاده از ۸٪ هیپوکلریت‌سدیم رنگبری نمودند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که خمیر سولفیت خنثی قابلیت رنگبری بهتری از خود نشان داد، همچنین خمیر سودا در مقایسه با خمیر سولفیت ماتی بیشتری داشته است.

Rapson (۱۹۷۷) بیان کرد که در طی رنگبری خمیر کاغذ با هیپوکلریت‌سدیم، سفیدی قابل قبولی به‌دست می‌آید، ولی بر اثر واکنش‌های اکسایشی رنگبری، ترکیباتی تشکیل می‌شوند که پایداری روشنی خمیر کاغذ را در اثر شرایط محیطی کاهش می‌دهد.

Pourjoozi و همکاران (۲۰۰۴)، ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیر کاغذ رنگبری شده حلال آلی کاه برنج را با توالی‌های هیدروکسیدسدیم/ هیپوکلریت‌سدیم/ هیدروکسیدسدیم/ پراکسیدهیدروژن و هیپوکلریت‌سدیم/ هیدروکسیدسدیم و پراکسید هیدروژن بررسی نمودند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که توالی EHEP در مقایسه با HEP سبب بهبود در ویژگی‌های نوری و افت در ویژگی‌های مقاومتی کاغذ گردیده است. آنان علت این افزایش و کاهش را مربوط به واکنش کلرین فعال در مقایسه با ترکیبات کلر مانند هیپوکلریت دانستند. همچنین بر اساس پژوهش انجام شده توسط Filion و همکاران (۲۰۰۶) بر ویژگی‌های خمیر بازیافتی رنگبری شده با سه توالی پراکسیدهیدروژن/ هیپوکلریت‌سدیم، پراکسیدهیدروژن و پراکسیدهیدروژن/ دی‌تیونیت‌سدیم، آنان دریافتند که توالی PH در مقادیر کمتر از ۵٪ خمیر مکانیکی نسبت به دیگر توالی‌های رنگبری، سبب بهبود روشنی خمیر می‌گردد، اما با افزودن خمیر مکانیکی بیش از ۵٪ سبب افت روشنی می‌شود. ازآنجایی‌که خمیر مکانیکی حاوی مقدار زیاد لیگنین و گروه‌های کروموفوری و همین‌طور یون‌های فلزی است که تأثیر مخربی روی واکنشگری پراکسیدهیدروژن دارند و مانع نقش‌آفرینی مؤثر آن در بهبود ویژگی‌های نوری خمیر کاغذ می‌شوند.

در حال حاضر خمیرکاغذ CMP تولیدی با یک مرحله

Archive of SID
www.SID.ir

پراکسیدهیدروژن رنگبری می‌شود و معمولاً برای تولید کاغذ چاپ و تحریر سفارشی، ویژگی‌های نوری و مقاومتی مطلوبی ندارد. درواقع فرایندهای متداول رنگبری نمی‌توانند بدون کاستن از ویژگی‌های مقاومتی خمیر، روشنی آن را به میزان مطلوبی ارتقا دهند. ازاین‌رو یافتن تکنیک‌های جدید در تولید و رنگبری خمیر کاغذ، به‌منظور تولید کاغذهایی با کیفیت بهتر ضروریست (Ghosh, 2006). در این تحقیق، کارایی استفاده از پراکسیدهیدروژن به‌عنوان ماده اکسایشی قوی و دوستدار محیط‌زیست در توالی رنگبری، به‌عنوان مرحله ابتدایی و انتهایی به همراه هیپوکلریت‌سدیم موردبررسی قرارگرفته است. همچنین، کارایی رنگبری با هیپوکلریت‌سدیم در مقایسه با پراکسیدهیدروژن مقایسه شده است؛ بنابراین، خمیر کاغذ شیمیایی–مکانیکی (CMP) کارخانه چوب و کاغذ مازندران، با استفاده از توالی‌های رنگبری P، H، HP و PH رنگبری شده است. همچنین تأثیر این توالی‌های رنگبری بر ویژگی‌های نوری، مقاومتی خمیر کاغذ و بار آلودگی لیکور رنگبری مورد ارزیابی قرارگرفته است.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های آزمونی

برای انجام این تحقیق، خمیر شیمیایی– مکانیکی (CMP) رنگبری نشده از کارخانه چوب و کاغذ مازندران انتخاب شد. مشخصات نمونه خمیر نمونه‌برداری شده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱– مشخصات خمیر کاغذ CMP اولیه

درجه روانی (C.S.F.)	روشنی (ISO %)	زردی	ماتی (٪)
۴۱۰	۵۰	۲۶/۲	۹۰/۱

رنگبری خمیر کاغذ CMP

رنگبری با توالی‌های یک مرحله‌ای پراکسیدهیدروژن (P)، هیپوکلریت‌سدیم (H)، توالی رنگبری دو مرحله‌ای PH (پراکسیدهیدروژن و به‌دنبال آن هیپوکلریت‌سدیم) و توالی رنگبری دو مرحله‌ای HP (هیپوکلریت‌سدیم و به‌دنبال آن پراکسیدهیدروژن) انجام شد. همچنین مشخصات سطوح مصرفی این مواد رنگبر و متغیرهای فرایندی آنها در جدول ۲ آمده است.

مرحله کیلیت‌سازی: نمونه‌های خمیرکاغذ با درصد خشکی ۱۰، در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و در مدت ۴۰ دقیقه توسط ۰/۲٪ DTPA بر مبنای وزن خشک خمیرکاغذ و pH ۴/۵ تیمار شدند. همچنین کلیه نمونه‌ها پس از اتمام پیش تیمار، با آب مقطر شستشو گردیدند.

مرحله P: رنگبری با استفاده از روش اصلاح‌شده P_M (استفاده از پیش تیمار حرارتی) انجام شد. در این روش ابتدا سیلیکات‌سدیم و هیدروکسیدسدیم به خمیر در داخل بشر افزوده و با خمیر مخلوط شد. سپس پراکسیدهیدروژن موردنظر به آن افزوده شد. در ادامه عملیات رنگبری خمیر کاغذ در حمام آب گرم با دمای ۷۵°C برای مدت زمان ۱۱۰ دقیقه انجام گردید. در پایان رنگبری، نمونه از حمام آب گرم خارج و لیکور حاصل از آن برای اندازه‌گیری COD و BOD برداشته شد. سپس خمیر رنگبری شده با آب مقطر شسته شده و با اسیدسولفوریک رقیق و pH آن به ۵/۵ رسانده شد.

مرحله H: ابتدا هیدروکسیدسدیم به خمیر افزوده و با آن مخلوط شد. سپس هیپوکلریت‌سدیم موردنظر به آن اضافه شده و درنهایت رنگبری خمیر کاغذ، در حمام آب گرم با دمای ۳۵°C برای مدت زمان ۳۰ دقیقه انجام گردید. در پایان، لیکور حاصل از شستشوی خمیر را برای انجام بررسی بار آلودگی BOD و COD برداشته و خمیر رنگبری شده نیز با آب مقطر شسته شده و با اسیدسولفوریک رقیق و pH آن به ۵/۵ رسانده شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- مشخصات متغیرها و سطوح مواد در مرحله رنگبری با هیپوکلریت‌سدیم (H) و پراکسیدهیدروژن (P)

هیپوکلریت‌سدیم (٪)	پراکسیدهیدروژن (٪)	هیدروکسیدسدیم (٪)	سیلیکات‌سدیم (٪)	DTPA (٪)	دما (°C)	زمان (دقیقه)	خشکی (٪)	pH
۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و ۱۰	–	۰/۹	–	۰/۰۴۸	۳۵	۳۰	۱۰	۹
–	۳	۷/۵	۲	۰/۲	۷۵	۱۱۰	۱۰	۱۰/۵

اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذهای دست‌ساز

برای اندازه‌گیری خواص نوری و مقاومتی کاغذهای رنگبری نشده و رنگبری شده، ابتدا طبق آزمون شماره T 205 om -88 استاندارد TAPPI، کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه ۶۰ gr/m^2 تهیه شد. برای اندازه‌گیری خواص نوری کاغذهای تهیه‌شده از دستگاه اسپکتروفتومتری استفاده شد. همچنین ویژگی‌های ماتی و روشنی به‌ترتیب با استفاده از آزمون استاندارد T452 om -96 و استاندارد T425 98 تعیین شد. سپس ویژگی‌های مقاومتی به‌ویژه مقاومت به پارگی، ترکیدن و کششی کاغذهای حاصل به‌ترتیب با استفاده از آزمون‌های T 414 om – 98، T 403 om–96 و T 494 om-96 استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه شدند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های پساب رنگبری

بار اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) و بار اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD) پساب به‌عنوان شاخص‌های مهم پساب مطابق با استاندارد APHA (1998) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری COD ابتدا روی نمونه‌های حاصل از پساب رنگبری در راکتور حرارتی عملیات هضم انجام شد؛ سپس با استفاده از اسپکتروفتومتر، میزان COD در طول‌موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری BOD نیز، ابتدا نمونه‌ها هوادهی شدند تا مقدار اکسیژن محلول در شروع آزمایش به حد تقریبی اشباع برسد. سپس نمونه‌ها درون شیشه‌های آزمایشگاهی مخصوصی ریخته شده و پس از اندازه‌گیری اکسیژن محلول یکی از نمونه‌ها به‌صورت تصادفی، به مدت ۵ شبانه‌روز در دستگاه انکوباتور و در دمای ۲۰°C نگهداری گردید. آنگاه میزان اکسیژن محلول باقیمانده در نمونه‌های کشت‌شده مورداندازه‌گیری قرارگرفته و BOD در پنجمین روز محاسبه‌شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق از طرح آماری کاملا تصادفی استفاده شده و برای مقایسه و بررسی داده‌ها از آزمون تجزیه واریانس استفاده گردیده است. مقایسه میانگین داده‌ها نیز به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان آماری ۹۵ انجام شد. مقدار تکرار آزمایش‌ها در هر مورد ۳ بار بوده است.

نتایج

مقایسه میانگین مشخصه‌های کمی در سطح متغیرها

مقایسه میانگین ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل خمیرکاغذ CMP طی توالی‌های رنگبری موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین میانگین کلیه مشخصه‌ها در سطح ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳).

Archive of SID

www.SID.ir

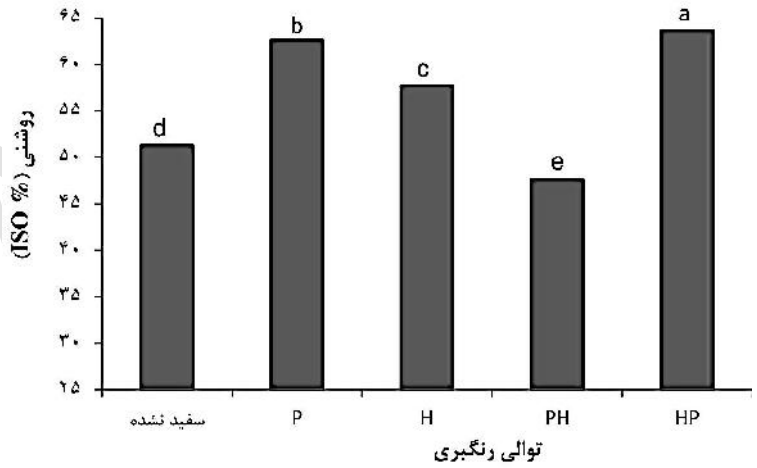
جدول ۳- خلاصه نتایج آنالیز واریانس ویژگی‌های موردبررسی خمیرکاغذ رنگبری شده

ویژگی	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	معنی‌داری
روشنی	۴	۱۴۶/۴۶۹	۷۶۵/۵۱۷	❊
زردی	۴	۹۸/۲۶۶	۸۱۸/۸۸۳	❊
ماتی	۴	۲/۸۹۴	۲/۲۲۳	❊
کشش	۴	۱۲۶/۷۲۲	۵۰/۰۰۹	❊
پارگی	۴	۰/۳۵۸	۵/۴۵۸	❊
ترکیدگی	۴	۰/۳۲۹	۱۰۳/۱۲۶	❊

❊: معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵٪

روشنی کاغذهای حاصل از خمیر CMP

نتایج مربوط به آزمون روشنی نشان داد که نمونه رنگبری شده با توالی HP، دارای بیشترین روشنی و نمونه رنگبری شده با توالی PH کمترین میزان روشنی را دارد (شکل ۱)؛ بنابراین پراکسیدهیدروژن کارایی لازم را در بهبود روشنی خمیر کاغذ به‌عنوان نخستین واکنشگر در توالی دومرحله‌ای پیش از هیپوکلریت‌سدیم نداشته است؛ اما در توالی HP، احتمالاً در حضور پراکسید در مرحله پایانی رنگبری یک واکنش اکسیداسیون خودبه‌خودی رخ‌داده و سبب بهبود روشنی گردیده است (Loureiro *et al.*, 2010). نتیجه تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نیز نشان داد که بین میانگین روشنی کاغذهای رنگبری شده حاصل از توالی‌های مختلف در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد.



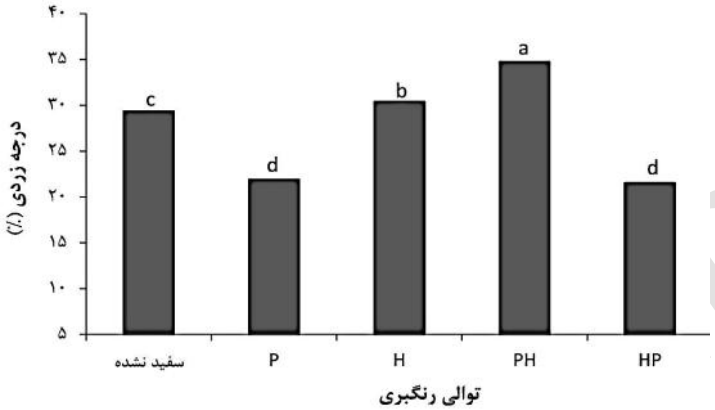
شکل ۱- مقایسه درجه روشنی کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای رنگبری شده CMP

Archive of SID

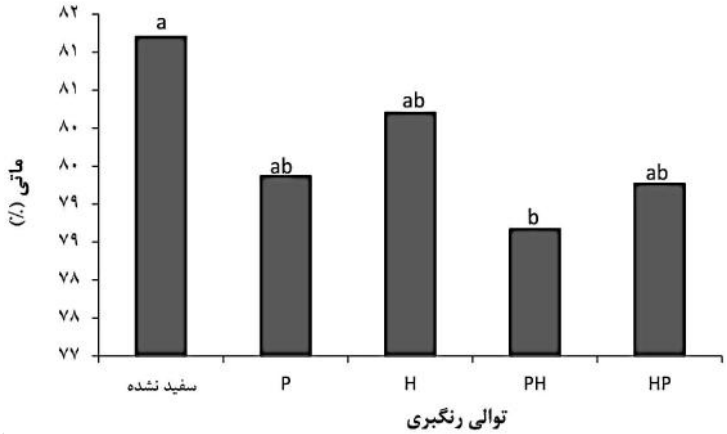
www.SID.ir

زردی کاغذهای رنگبری شده

آزمون دانکن اثر توالی‌های مختلف رنگبری روی زردی خمیر کاغذ رنگبری شده در سطح اعتماد آماری ۹۵٪ را در ۴ گروه شناسایی کرد که در شکل ۲ نشان داده‌شده است. کمترین زردی مربوط به نمونه‌های رنگبری شده با توالی P و HP هستند. همچنین، بیشترین زردی مربوط به نمونه رنگبری شده با توالی PH می‌باشد.



شکل ۲- مقایسه درجه زردی کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای رنگبری شده CMP



شکل ۳- مقایسه شاخص ماتی کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای رنگبری شده CMP

ماتی کاغذهای رنگبری شده

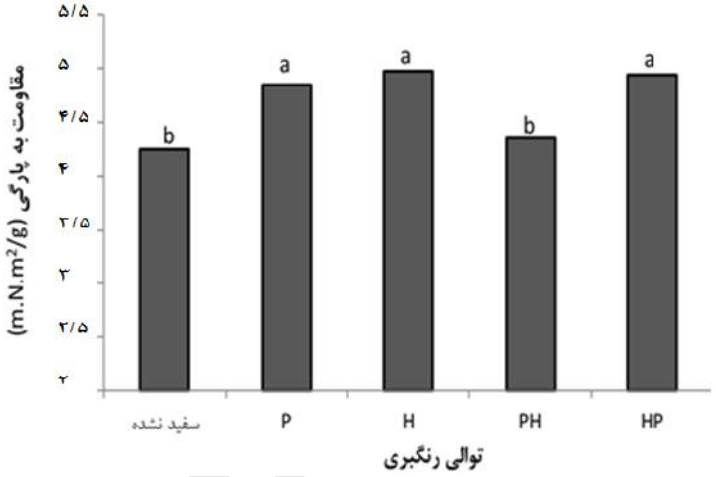
ماتی معیاری از میزان نور عبوری از خمیر کاغذ بوده و تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند انعطاف‌پذیری الیاف، مرفولوژی الیاف و سطح تماس الیاف در ورقه‌های دست‌ساز بستگی دارد (Mehri Iraie *et al*., 2016). نتایج مربوط به آزمون ماتی نشان داد که بیشترین ماتی مربوط به نمونه رنگبری نشده و کمترین نیز مربوط به نمونه رنگبری شده با توالی PH می‌باشد. با توجه به اینکه در اثر رنگبری گروه‌های رنگ‌ساز موجود در خمیر حذف می‌گردد، درنتیجه عبور نور از کاغذ حاصل از خمیرهای سفید شده بیشتر و ماتی کاغذ سفید شده نسبت به سایر نمونه‌های آزمونی کاهش محسوس را نشان می‌دهد (Vaysi & Salimifar, 2017). همچنین بین ماتی نمونه‌های رنگبری شده با توالی‌های P، H و HP از نظر آماری اختلاف معنی‌داری یافت نشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود تأثیر پراکسیدهیدروژن در کاهش ماتی بیشتر از هیپوکلریت‌سدیم

www.SID.ir

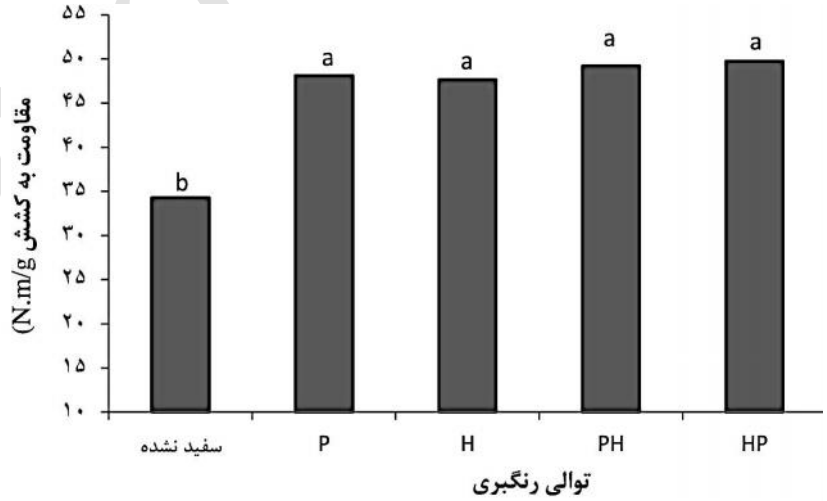
بوده است.

شاخص مقاومت به پارگی

مقاومت به پارگی کاغذ وابسته به مقاومت مجزای الیاف است و تحت تأثیر جهت‌گیری الیاف، مقاومت الیاف، طول الیاف و انعطاف‌پذیری الیاف و اتصال آنها قرار دارد (Andrade & Colodette, 2016). نتایج آزمون تجزیه واریانس بیانگر آن بوده که بین شاخص پارگی کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در مقاومت به پارگی خمیر کاغذهای رنگبری شده با P و HP و PH مشاهده نشده است و نمونه‌های رنگبری شده با این توالی‌های رنگبری، بیشترین شاخص مقاومت به پارگی را دارند. کمترین مقاومت به پارگی نیز مربوط به نمونه‌های رنگبری نشده و رنگبری شده با توالی PH است. احتمالاً بهبود مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از توالی HP در مقایسه با توالی رنگبری PH می‌تواند بر اثر تأثیر رنگبری اکسایشی و کاهش تخریب کربوهیدرات‌ها باشد.



شکل ۴- مقایسه شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای رنگبری شده CMP



شکل ۵- مقایسه شاخص مقاومت به کشش کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای رنگبری شده CMP

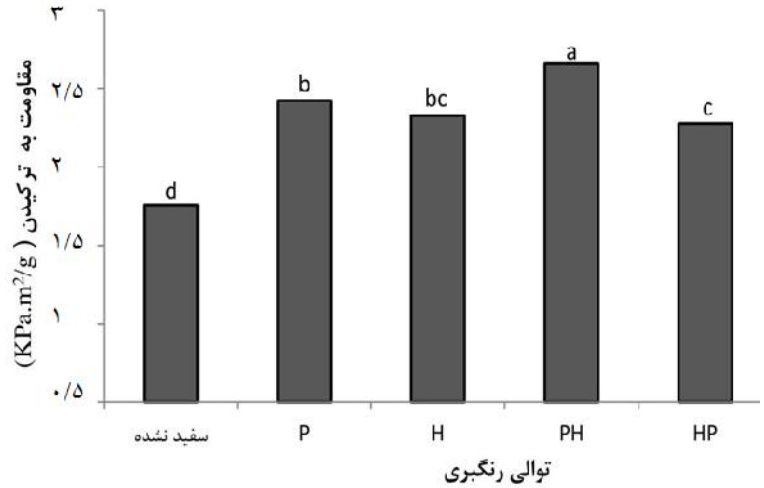
www.SID.ir

شاخص مقاومت به کشش کاغذ

این شاخص، بیانگر مقاومت الیاف، اتصال و طول آنهاست و عامل انعطاف‌پذیری و اتصال‌پذیری الیاف، شاخص مقاومت کششی را بهبود می‌بخشند (Scott,1989). تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به کشش کاغذهای حاصل از خمیر کاغذ رنگبری شده و نشده در سطح تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده‌شده است، کمترین مقاومت به کشش مربوط به نمونه سفید نشده است، همچنین تفاوت معنی‌داری بین مقاومت به کشش نمونه‌های رنگبری شده وجود ندارد.

شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ

به‌طورکلی از آزمون ترکیدن به‌عنوان شاخصی کلی و ساده از میزان مقاومت و سفتی کاغذ استفاده می‌شود و در این آزمون می‌توان میزان تراکم و اتصال الیاف با یکدیگر را به‌خوبی مشاهده کرد (Andalibian *et al.*, 2013). تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین میزان مقاومت به ترکیدن نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد و آزمون دانکن مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن اندازه‌گیری شده را در ۴ گروه قرار داده است (شکل ۶). نتایج نشان داد که بیشترین میزان مقاومت به ترکیدن مربوط به کاغذ حاصل از توالی رنگبری PH و کمترین آن مربوط به کاغذ حاصل از خمیر رنگبری نشده بوده است.



شکل ۶- مقایسه مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای رنگبری شده CMP

ویژگی‌های پساب لیکور رنگبری

بار اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین بار حاصل از تیمارهای مختلف آزمایشی در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد و آزمون دانکن مقادیر COD اندازه‌گیری شده را در ۳ گروه قرار داده است (شکل ۷).

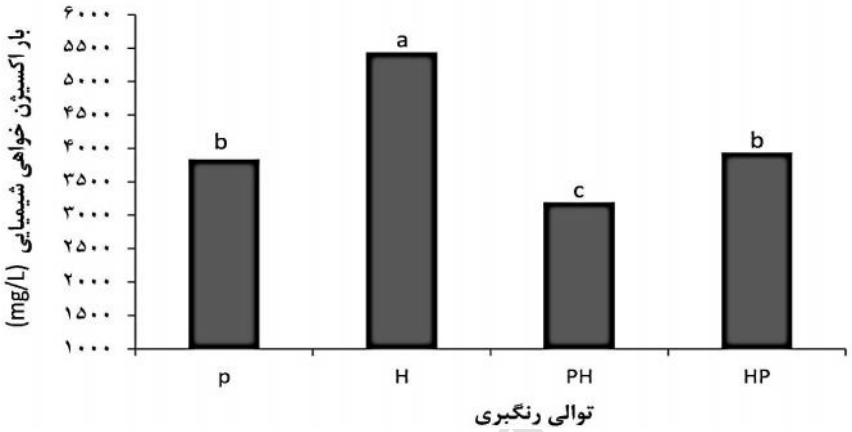
بیشترین و کمترین میزان COD به‌ترتیب مربوط به خمیر کاغذهای رنگبری شده با توالی H و PH هستند. این افزایش بار آلودگی در لیکور رنگبری با هیپوکلریت‌سدیم را می‌توان به افزایش مقدار حل شدن مواد آلی از خمیر در طی رنگبری نسبت داد (He *et al.*, 2005). همچنین از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین COD لیکور رنگبری توالی P و HP وجود ندارد.

بار اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی پساب (BOD)

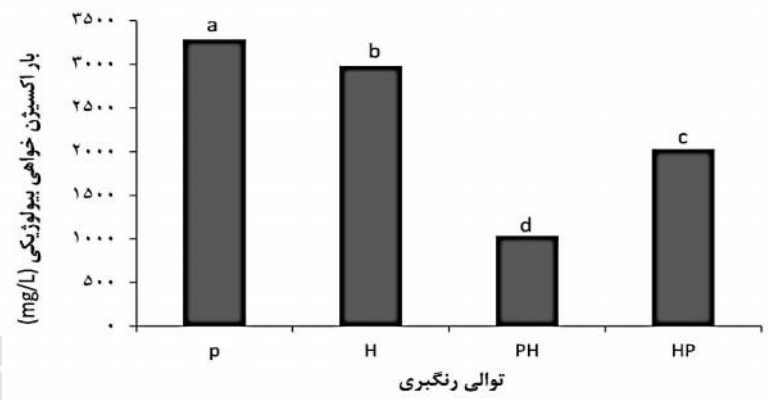
آزمون دانکن ویژگی اکسیژن خواهی بیولوژیکی لیکور

www.SID.ir

رنگبری خمیر کاغذهای CMP را در ۴ گروه جای‌داده است. بار اکسیژن خواهی بیولوژیکی، شاخصی از بار آلی پساب است. در حقیقت BOD تعیین‌کننده مقدار اکسیژن مورد لزوم برای ثبوت بیولوژیکی مواد آلی نمونه موردنظر خواهد بود. البته هرچه مواد آلی موجود در فاضلاب بیشتر باشد BOD آن بالاتر است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، بیشترین بار BOD را لیکور رنگبری با پراکسیدهیدروژن داشته و کمترین میزان را نیز توالی رنگبری PH داشته است.



شکل ۷- مقایسه بار **COD** پساب لیکور رنگبری خمیر کاغذ



شکل ۸- مقایسه بار **BOD** پساب لیکور رنگبری خمیر کاغذ

بحث

با توجه به اینکه خمیرهای مکانیکی به دلیل حضور لیگنین و اجزای جداشده از آن، در برابر نور و عوامل محیطی ناپایدار بوده و مقاومت مکانیکی این خمیرها نیز نسبت به خمیرهای شیمیایی نسبتاً کمتر است؛ بنابراین انتخاب توالی رنگبری مناسب برای حصول ویژگی‌های نوری و مقاومتی مطلوب ضروریست. ازاین‌رو، در این تحقیق تأثیر استفاده از توالی رنگبری پراکسیدهیدروژن و هیپوکلریت‌سدیم بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP بررسی شد. همچنین بار آلودگی پساب رنگبری نیز مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که نقش توالی رنگبری دومرحله‌ای (HP) در سفیدسازی خمیرکاغذ CMP و بهبود روشنی خمیر حاصل بیشتر از توالی یک مرحله‌ای بوده است. بر اساس پژوهش‌های

www.SID.ir

پیشین، احتمالاً حضور ماده رنگبر قوی همانند پراکسیدهیدروژن باعث شده تا در مراحل پایانی رنگبری، لیگنین باقیمانده در خمیر حذف یا کاهش یافته و یا به‌صورت اکسایشی تغییر رنگ داشته و خمیرکاغذ حاصل سفیدتر شود (Hassan, 2003; Fillion *et al.*, 2006; Loureiro *et al.*, 2010).

پراکسیدهیدروژن در توالی رنگبری PH، کارایی لازم را پیش از هیپوکلریت‌سدیم نداشته است. اما در توالی HP، احتمالاً در حضور پراکسید در مرحله پایانی رنگبری یک واکنش اکسیداسیون خودبه‌خودی رخ داده و سبب بهبود روشنی گردیده است (Loureiro *et al.*, 2010). در این میان استفاده از پراکسیدهیدروژن (P) به‌عنوان یک رنگبر اکسایشی نیز مؤثرتر از هیپوکلریت‌سدیم بوده است. هیپوکلریت سبب اکسایش گروه‌های فنولی لیگنین می‌گردد و از سویی سبب شکل‌گیری گروه‌های کتونی و آلدهیدی در ساختار کربوهیدرات‌ها نیز شده که این گروه‌ها بر اثر اکسایش (اکسیژن، نور و حرارت) به ترکیبات رنگی پیچیده‌تری تبدیل می‌شوند (Abdolkhani & Mirshokraie, 2005).

زردی خمیر یک شاخص وجود ساختارهای کروموفوری باقیمانده در خمیر است. ساختارهای کروموفوری می‌توانند لیگنین یا دیگر مواد لیگنوسلولزی باشند که نور را جذب می‌کنند. کاهش در شاخص زردی متناسب با افزایش روشنی در خمیر است و نشان‌دهنده این است که مقدار کمتری از ساختارهای کروموفوری در خمیر بعد از رنگبری باقی‌مانده است (Goli *et al.*, 2016). همچنین، ازآنجایی‌که توالی PH کمترین میزان روشنی، ماتی و بیشترین میزان زردی را دارد؛ ازاین‌رو استفاده از پروکسیدهیدروژن به‌عنوان یک رنگبر اکسایشی در مرحله آخر رنگبری مؤثرتر از هیپوکلریت‌سدیم به نظر رسید.

نمونه‌های رنگبری شده دارای مقاومت مکانیکی مطلوب‌تری نسبت به نمونه‌های رنگبری نشده بوده‌اند. حل شدن اجزاء چوب ازجمله لیگنین، سبب انعطاف‌پذیری بیشتر الیاف و افزایش سطح تماس بین آنها شده است، درنتیجه تقویت پیوند الیاف با الیاف، مقاومت‌های مکانیکی افزایش‌یافته است (Pan, 2004). همچنین محیط قلیایی فرایند رنگبری نیز سبب شده که یون‌های هیدروکسید بهتر به داخل دیواره الیاف نفوذ کرده و باعث تورم و انعطاف‌پذیری بهتری در الیاف شوند که خود افزایش سطح تماس الیاف و شکل‌پذیری بهتر آنها را به‌دنبال داشته است (Andalibian *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2011).

به‌جز نمونه رنگبری شده با توالی PH، کلیه‌های نمونه‌های رنگبری شده دارای مقاومت به پارگی بیشتری نسبت به نمونه رنگبری نشده بودند. بنابر پژوهش‌های انجام شده، در اثر رنگبری و درنتیجه کاهش تأثیر لیگنین در مسدود نمودن گروه‌های هیدروکسیل سلولز و همی سلولز، انعطاف‌پذیری الیاف افزایش یافته، درنتیجه مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از رنگبری افزایش‌یافته است (Vaysi, 2015; Vaysi *et al.*, 2016).

البته نمونه رنگبری نشده، مقاومت به کشش کمتری را نسبت به نمونه‌های رنگبری شده داشته است. از نظر آماری نیز اختلاف معناداری در میزان مقاومت به کشش نمونه‌های رنگبری شده مشاهده نشد. بنابر نتایج پژوهش‌های پیشین، در اثر رنگبری و کاهش مقدار و تأثیر لیگنین بر الیاف، گروه‌های هیدروکسیل بیشتری در دسترس بوده، سطح اتصال و پیوند افزایش یافته و مقاومت کششی کاغذهای حاصل از خمیر رنگبری شده افزایش محسوسی را نشان داده است (Vaysi, 2015; Cater, 1996).

بیشترین و کمترین میزان بار آلودگی COD مربوط به لیکور رنگبری هیپوکلریت‌سدیم و توالی PH می‌باشد. این افزایش بار آلودگی در لیکور رنگبری با هیپوکلریت‌سدیم را می‌توان به افزایش مقدار حل شدن مواد آلی خمیر در طی رنگبری نسبت داد (He *et al.*, 2005). همچنین قلیاییت بالای ماده رنگبر نیز خود سبب افزایش حل شدن مواد لیگنوسلولزی طویل زنجیر و زائد آنیونی خمیر گردیده، درنتیجه بار آلودگی را افزایش داده است (Zeinaly *et al.*, 2009). بیشترین و کمترین میزان بار آلودگی BOD نیز مربوط به لیکور رنگبری پراکسیدهیدروژن و توالی رنگبری

Archive of SID

www.SID.ir

PH می‌باشد.

ازآنجایی‌که خمیر کاغذ رنگبری شده با توالی رنگبری HP، دارای ویژگی‌های نوری و همچنین مقاومت مکانیکی مطلوب‌تری در مقایسه با توالی رنگبری P و H است؛ می‌توان نتیجه گرفت که رنگبری دومرحله‌ای HP می‌تواند جایگزین مناسبی برای رنگبری یک مرحله‌ای با پراکسید و هیپوکلریت‌سدیم محسوب گردد. همچنین بار آلودگی پساب رنگبری کمتری را نسبت به توالی رنگبری یک مرحله‌ای داراست که سبب کاهش هزینه‌ها در بخش تصفیه پساب خواهد شد.

منابع مورد استفاده

-Abdulkhani, A. and Mirshokraie, S.A., 2005. Improving optical properties of soda bagasse pulp utilizing complementary bleaching with sodium hydrosulfite. Iranian Journal of. Natural Resources, 58(1): 173-181.

-Andalibian, M.A., Mahdavi, S., Kermanian, H. and Ramezani, O., 2013. Strength improvement of OCC by thermal and chemical treatments. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 20(3): 139-152.

-Andradade, M.F., Colodette J., 2016. Production of Printing and Writing Paper Grade Pulp from Elephant Grass. CERNE, 22(3): 325-336.

- Asadpour, Gh., Zahedi, A.R., Barzan, A., Mangholi, M.T. and Ghazvini, Z., 2016. Investigation of the CMP pulp yield on its strength and optical properties. Journal of Forest and Wood Products, 69(2): 397-406.

-Cater Henry A., 1996. The chemistry of paper preservation. Journal of Chemical Education, 73(11): 1068-1073.

-Fillion, M., Ager, P. and Gaudreault, R., 2006. Comparison of bleaching sequences (PF, PH and PY) for deinked mixed office waste (MOW) containing various percentages of mechanical pulp, PAPTAC 92nd Annual Meeting, Montreal, Canada, February 7-9, B179-186.

-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.

-Ghosh, U.K., 2006. Short sequence environment friendly bleaching of wheat straw pulp. Journal of Scientific & Industrial Research, 65: 68-71.

-Goli, M., Zabihzade, M., Mahdavi, S. and Sadaghifar, H., 2016. The effect of TCF bleaching before and after refining on the CMP pulp properties. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(3): 510-521.

-Hassan, E.M., 2003. Oxygen-Peroxide (EOP) Delignification and Peroxide (P) Bleaching of Bagasse kraft Pulp. Journal of Scientific and Industrial Research, 62: 699-706.

-He, Z., Wekesa, M. and Ni, Y., 2005. A comparative study of $Mg(OH)_2$-based and NaOH-based peroxide bleaching of TMP: Anionic trash formation and its impact on filler retention. Pulp and Paper Canada, 107(3): 29-32.

-Jalalvand, S., Kermanian, H., Ramezani, O., Rasouli, I. and Hejazi, S., 2016. The effect of pH on bleaching by hypocholorite on pulp properties. Iranian Natural Resources Journal, Forest and wood Products, 69(2): 387-396.

-Jeffries, T.W. and Viikari, L., 1996. Enzymes for pulp and paper processing, American chemical society, Washington, DC, 326p.

-Kajforush, S., Resalati, H., 2012. The effect of acid pretreatment and peroxide reinforcement in alkaline extraction on optical and strength properties of *Eucalpytus Camaldulensis* kraft pulp during DED bleaching sequence. Lignocellulose, 1(3): 228-240.

-Li, L., Lee, S., Lee, H.L. and Youn, H.J., 2011. Hydrogen peroxide bleaching of hardwood kraft pulp with adsorbed Birch xylan and its effect on paper properties. Bioresources, 6(1): 721-736.

- Loureiro, P.E., Santos, A.M., Evtuguin, D.V. and Carvalho, M.V.S., 2010. Performance of a final hydrogen peroxide stage in different ECF bleaching sequences, XXI Tecnicelpa Conference and Exhibition/VI Ciadicyp 2010, Lisbon, Portugal, 12-15 October.

- Mehri Iraie, H.R., Ghasemian, A., Resalati, H., Aryaie Monfared M.H. and Saraeyan, M., 2016. Two-Stage Bleaching of Deinked Pulp with Sodium Dithionite and Hydrogen Peroxide. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 23(2): 241-263.

-Pan G.X., 2004. Relationship between dissolution of fiber materials and development of pulp strength in alkaline peroxide bleaching of mechanical pulp. Holzforschung, 58(4): 369-374.

-Pourjoozi, M., Roshandeh, J.M. and Navaee, S., 2004. Bleachability of rice straw organosolv pulps. Iranian Polymer Journal, 13(4): 275-280.

-Rapson, H.W., 1963. The Bleaching of Pulp. TAPPI Press, USA, 460p.

- Scott, W.E., 1989. Properties of Paper. TAPPI Press, USA, 170p.

-Sheikhi, P., Ghobadifar, P. and Rezaei Arjomandi, F., 2013. Investigation on characteristics of bleached bagasse pulp using neutral sulfite and soda solutions. Lignocellulose, 2(2):369-376.

Archive of SID

www.SID.ir

-Technical Association of Pulp and Paper Industry, 2009. Standard Test method, TAPPI Press, Atlanta, GA.USA.
-Vaysi, R., 2015. A Study on the possibility of extraction, identification and removal of metallic ions and resins in bleached bagasse pulp by ECF stages. Iranian journal of wood and paper science research, 30(1): 72-84.
-Vaysi, R., Nikkar, M. and Salarian, H.R., 2016. Investigation and comparison of newsprint properties from bleached CMP pulp produced using ash and sour orange tree woods. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(4): 569-580.
-Vaysi, R., Behrooz, R. and Khajeali, E., 2016. The effect of ECF bleaching on optical and mechanical properties of bagasse soda pulp. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(2), 349-361.
-Vaysi, R. and Salimifard, M.R., 2017. Investigation on optical and mechanical properties of oxygen, hydrogen peroxide and sodium dithionite bleached chemi-mechanical pulps (CMP), Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 32(3), 311-321.
-Zeinaly, F., Shakhes, J., Dehghani Firozabadi, M. and Shakeri, A., 2009. Hydrogen peroxide bleaching of CMP pulp using magnesium hydroxide. BioResources, 4(4):1409-1416.

Archive of SID

www.SID.ir

Evaluating the properties of bleached chemi-mechanical pulp (CMP) with one and two-stage sodium hypochlorite and hydrogen peroxide

GH. Asadpour[1*], F. Rajabi[2] and S. M. Zabizadeh[3]

1*-Corresponding Author, Associate Prof., Department of Wood and Paper, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, Email:asadpur2002@yahoo.com
2-M.Sc., Graduated, Department of Wood and Paper, Faculty of Natural Resources Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
3-Associate Prof., Department of Wood and Paper, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Received: Jan., 2018 Accepted: April, 2018

Abstract

The objective of this study was the evaluation of optical, and mechanical properties of chemi-mechanical pulp which was bleached using one and two stage bleaching sequence with hydrogen peroxide and sodium hypochlorite. Also the environmental effects of effluents from bleaching liquor were studied. For this purpose, unbleached CMP pulp produced using mixture of hardwoods was obtained from Mazandaran Wood and Paper mill. Then, the pulps were bleached using P (hydrogen peroxide), H (Sodium Hypochlorite), PH (Hydrogen Peroxide and Sodium Hypochlorite) and HP (Sodium Hypochlorite and hydrogen peroxide) sequences. 60 gr/m2 hand sheets were prepared and the optical, mechanical properties of hand sheets and also the effluent characteristics from bleaching were measured and analyzed based on TAPPI and APHA Standard method. The results showed that when peroxide was applied at the last stage of bleaching, the properties such as tear, tensile and brightness were increased and yellowness was decreased. Generally, the role of single sequence of bleaching using P and two stages bleaching with HP were more effective than single stage H on unbleached pulp. Based on the results, the highest and lowest COD load was related to bleaching effuent of H and PH respectively. Moreover, bleaching liquor of hydrogen peroxide had the highest BOD load and the lowest amount of BOD was related to PH sequence.

Keywords: Bleached pulp, chemi-mechanical pulp (CMP), sodium hypochlorite, optical properties, mechanical properties, chemical oxygen demand.

Archive of SID

www.SID.ir