



انجمن علمی مهندسی منابع آب

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و ششم، شماره سوم، ۱۳۹۸

۱-۱۳

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2019.12503.1653

بررسی ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیر کاغذ سودای باگاس رنگبری شده با روش کاملاً بدون کلر (TCF)

*رامین ویسی

دانشیار، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: سالانه حدود ۶۰۰۰۰ تن کاغذ چاپ و تحریر در کارخانه پارس هفت‌تپه- اهواز از باگاس تولید می‌شود. در این کارخانه خمیر سودای باگاس قبلاً با توالی CEH رنگبری می‌شده و در حال حاضر با توالی EH (استخراج قلیایی (E) و هیپوکلریت (H)) رنگبری می‌شود. با توجه به این‌که در مرحله کلرزنی (C) درصد خشکی خمیر کاغذ حدود ۳ درصد است و مقادیر زیادی پساب و ترکیبات کلرینه شده لیگنین (AOX) تولید می‌شود که از نظر زیست‌محیطی بسیار مهم می‌باشند؛ به همین دلیل در این کارخانه و همچنین در سیستم‌های متداول جهانی، مرحله کلرزنی (C) و برخی توالی‌های رنگبری با ترکیبات کلر همانند هیپوکلریت (H) و دی‌اکسید کلر (D) نیز حذف می‌شوند و به‌جای آن‌ها از اکسیژن (O)، ازن (Z)، پروکسید هیدروژن (P)، دی‌تیونیت سدیم (Y) و یا ترکیبی از آن‌ها استفاده می‌گردد. در این شرایط، به این سیستم، رنگبری با روش بدون کلر (TCF) گفته می‌شود. به همین منظور این پژوهش با هدف تأثیر استفاده از رنگبری با روش کاملاً بدون کلر بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ سودای باگاس انجام شد.

مواد و روش‌ها: برای انجام این پژوهش خمیر کاغذ رنگبری نشده سودای باگاس (قبل از بخش رنگبری) به‌صورت تصادفی از کارخانه پارس اهواز انتخاب شد. سپس این خمیر کاغذها با توالی‌های یک، دو و سه‌مرحله‌ای OP، O_P، OPY و O(E_P)P و با استفاده از اکسیژن (O)، پروکسید هیدروژن (P)، استخراج قلیایی با پروکسید هیدروژن (E_P) و دی‌تیونیت سدیم (Y) رنگبری شدند. از خمیر کاغذهای ساخته‌شده، کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه ۷۰ gr/m² تهیه و خواص نوری و مقاومتی آن‌ها طبق آزمون‌های استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و ویژگی‌های کاغذهای حاصل مقایسه شدند.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که در اثر رنگبری با روش کاملاً بدون کلر (TCF) روشنی، سبزرنگی، مقاومت‌های به پارگی، کششی، ترکیدن، طول پارگی و تاه شدن افزایش و ماتی و فاکتور a* کاغذهای حاصل از خمیر کاغذ سودای باگاس کاهش یافتند. در این پژوهش استفاده از پروکسید هیدروژن به‌عنوان یک رنگبر اکسایشی نیز نقش مؤثری را در بهبود سبزرنگی، مقاومت‌های به پارگی، کششی، طول پارگی و تاه شدن کاغذ داشته، ولی تأثیر محسوسی در بهبود روشنی کاغذ حاصل در مقایسه

* مسئول مکاتبه: vaysi_r452@yahoo.com

با نمونه شاهد (توالی EH کارخانه) نداشته است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نیز نشان داد که بین میانگین ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرکاغذهای حاصل در بین تیمارها تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان آماری ۹۹ درصد وجود دارد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، نقش توالی رنگبری سه‌مرحله‌ای OPY و همچنین توالی‌های رنگبری دو مرحله‌ای OP در سفیدسازی خمیرکاغذ و بهبود روشنی و مقاومت‌های کاغذ حاصل مؤثرتر از توالی دو مرحله‌ای EH (شاهد) و خمیرکاغذ رنگبری نشده سودای باگاس کارخانه بوده است.

واژه‌های کلیدی: باگاس، توالی رنگبری، خمیرکاغذ سودا، خواص نوری و مقاومتی، رنگبری کاملاً بدون کلر (TCF)

مقدمه

در سطح جهانی برخی از مراحل (توالی‌های) رنگبری با ترکیبات کلر همانند هیپوکلریت (H) و دی‌اکسید کلر (D) نیز حذف می‌گردد و به‌جای آن‌ها از اکسیژن (O_2)، ازن (O_3)، پروکسید هیدروژن (H_2O_2)، دی‌تیونیت سدیم (Y) یا ترکیبی از آن‌ها استفاده می‌گردد، در این شرایط، به این سیستم، رنگبری با روش کاملاً بدون کلر (TCF) گفته می‌شود (۱۲ و ۱۷).

به‌طورکلی، در خمیرکاغذهای رنگبری نشده حضور لیگنین، گروه‌های رنگساز و اجزای جدا شده از لیگنین طی فرآیند پخت و همچنین وجود ناخالصی‌ها، مواد عصاره‌ای و اجزای شیمیایی مواد آلی، یون‌های فلزی و معدنی موجود در خمیرکاغذ می‌توانند از عوامل مهم تیره‌رنگی، کاهش کیفیت و ویژگی‌های کاغذ تولیدی در کوتاه‌مدت، زرد شدن و شکننده شدن محسوب شوند و یا تخریب نوری آن‌ها را تسریع نماید. همچنین در اثر رنگبری و ادامه لیگنین‌زدایی خمیرکاغذ به‌ویژه با اکسیژن، هیدروکسید سدیم، پروکسید هیدروژن و غیره به همراه شستشو، عوامل تیره‌رنگ موجود در خمیرکاغذ حذف یا به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، در نتیجه خمیر و کاغذ حاصل تغییر رنگ داده و ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل بهبود و یا تغییرات محسوسی را از خود نشان می‌دهد (۱۳ و ۱۸).

در این ارتباط نتایج رنگبری خمیرکاغذ سودا از کاه گندم با روش کاملاً بدون کلر (TCF) نشان داد

امروزه تولید و مصرف کاغذ به‌عنوان یکی از کالاهای مهم صنعتی و استراتژیک از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این میان تولید کاغذهای چاپ و تحریر با توجه به لیگنین‌زدایی، راندمان کم و کیفیت بالای خمیرکاغذ اولیه آن و افزایش تقاضای مصرف این کاغذ در مقیاس جهانی از یک طرف و همچنین توجه به مسائل زیست‌محیطی از طرف دیگر مورد توجه می‌باشد. برای تولید کاغذهای چاپ و تحریر از منابع لیگنوسولولزی همانند سوزنی‌برگان، برخی پهن‌برگان، باگاس، لیتربنبه و پنبه استفاده می‌شود. در ایران سالانه حدود ۶۰۰۰۰ تن کاغذ چاپ و تحریر در کارخانه پارس هفت‌تپه- اهواز از باگاس تولید می‌شود. در این کارخانه خمیرکاغذ سودای باگاس قبلاً با توالی CEH و در حال حاضر با توالی EH (استخراج قلیایی (E) و هیپوکلریت (H)) رنگبری می‌شود؛ اما در مرحله کلرزنی (C)، درصد خشکی خمیر حدود ۳ درصد است و مقادیر زیادی پساب تولید می‌شود که از نظر زیست‌محیطی مهم می‌باشد. علاوه بر مزایای کلر به‌ویژه ارزان بودن، داشتن واکنش انتخابی با لیگنین و کاهش تخریب کربوهیدرات‌های خمیرکاغذ تولیدی، به علت تولید ترکیبات کلرینه شده لیگنین (AOX)، امروزه در این کارخانه مرحله کلرزنی (C) و در سیستم‌های متداول

عمل می‌کند. اگرچه زردی اولیه در طول موج‌های حدود ۵۰ نانومتر در خمیرهای مکانیکی- شیمیایی نیز اتفاق می‌افتد (۷).

در این پژوهش هدف آن است تا با استفاده از توالی‌های رنگبری دو و سه‌مرحله‌ای OP، OPY، PY و O(Ep)P ضمن حذف مرحله کلرزی و حتی ترکیبات کلردار، تأثیر توالی‌های رنگبری با روش کاملاً بدون (ترکیبات) کلر (TCF) بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرکاغذ سودای باگاس تولیدی کارخانه پارس- اهواز بررسی و بهترین نتایج گزارش گردد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های آزمون: برای انجام این پژوهش، حدود ۲۰ کیلوگرم خمیرکاغذ سودای باگاس (قبل از بخش رنگبری) به صورت تصادفی از کارخانه پارس- هفت‌تپه اهواز انتخاب و بر اساس آزمون‌های استاندارد TAPPI آماده‌سازی شد.

لیگنین‌زدایی با اکسیژن: فرآیند لیگنین‌زدایی با اکسیژن در دیگ پخت آزمایشگاه صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس انجام گرفت. سیستم گرمایشی سیلندرهاى این دایجستر توسط المنت‌های برقی تعبیه‌شده در آن انجام گرفته که محیط خارجی آن را احاطه نموده است، این سیلندرها به بازوی محرکی متصل است که ۲ سیلندر موجود را کاملاً می‌چرخاند و بر اساس این چرخش، خمیرکاغذ موجود در سیلندرها کاملاً با اکسیژن داخل آن ترکیب شده و واکنش شیمیایی لازم در خمیرکاغذ انجام می‌شد. عمل تزریق اکسیژن از طریق یک کپسول اکسیژن که مجهز به یک مانومتر متصل بود، انجام گرفت. جهت آماده‌سازی خمیرکاغذ برای لیگنین‌زدایی با اکسیژن، ابتدا نمونه خمیرکاغذ هوا خشک سودای باگاس را به درصد خشکی ۱۰ درصد رسانده و در

که با استفاده از فرآیند رنگبری کاملاً بدون کلر O/Q/OP می‌توان از یک طرف درجه روشنی و ویژگی‌های مقاومتی بیش‌تری را در مقایسه با توالی CEH به‌دست آورد و از سوی دیگر، مقدار AOX را به نزدیک صفر رساند که این حالت از نظر زیست‌محیطی اهمیت زیادی دارد (۹). همچنین با افزایش مصرف هیدروکسید سدیم و پروکسید هیدروژن برای رنگبری خمیرکاغذ سودای حاصل از ساقه توتون با روش کاملاً بدون کلر (TCF)، روشنی خمیرکاغذ حاصل افزایش و عدد کاپای آن کاهش می‌یابد. به طوری که مرحله کی‌لیت‌سازی اولیه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بر روشنی، عدد کاپا و بازده خمیرکاغذ رنگبری‌شده مؤثر بوده است و این تیمار کم‌ترین روشنی و بیش‌ترین عدد کاپا و بازده را در بین همه تیمارها دارا بوده است (۸).

مطالعات بر روی تأثیر رنگبری بدون کلر (ECF) بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرکاغذ سودای باگاس نشان داد که در طی رنگبری با توالی‌های مذکور، عدد کاپا و مقدار لیگنین باقی‌مانده در خمیرکاغذ کاهش یافته است. در اثر رنگبری روشنی، سبز رنگی، نسبت K/S (نسبت ضریب جذب (k) به ضریب پخش (s)) کاغذ حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس افزایش می‌یابد. به‌طورکلی، در اغلب ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده، ابتدا توالی رنگبری OD(Ep)P و پس از آن توالی OD(Ep)D نسبت به توالی رنگبری EH کارخانه (شاهد) به‌عنوان مطلوب‌ترین توالی‌ها شناخته شد (۱۸).

پژوهشگران با بررسی تأثیر گروه‌های رنگساز مشتق شده از کربوهیدرات‌ها در خمیرهای پربازده که با توالی TCF رنگبری شده‌اند، گزارش دادند که با افزایش ۵- هیدروکسی متیل-۲- فرم آلدهید (HMF)، بدرنگی در خمیرکاغذ تقویت‌شده و HMF نیز به‌عنوان یک واسطه در زرد شدن خمیرهای کاغذ

کردن با DTPA رنگبری شدند. لازم به ذکر است عملیات رنگبری در داخل کیسه‌های پلاستیکی و در حمام آب گرم انجام شد. بخش دیگری از خمیرکاغذها نیز با هیدروکسید سدیم و پروکسید هیدروژن (Ep)، پروکسید هیدروژن (P) و دی‌تیونیت سدیم (Y) به‌صورت جداگانه رنگبری شدند و سپس خمیرکاغذهای رنگبری‌شده با آب مقطر شستشو شدند (جدول ۱).

ادامه برای جلوگیری از تخریب کربوهیدرات‌ها و سلولز به‌ویژه در زمان واکنش شیمیایی با اکسیژن و لیگنین‌زدایی مناسب‌تر، به خمیرکاغذ داخل سیلندر مذکور سولفات منیزیم اضافه گردید (۱۲) (جدول ۱).
رنگبری خمیرکاغذ سودای باگاس: بعد از رنگبری با اکسیژن، بخشی از خمیرکاغذهای سودای باگاس با توجه به شرایط مندرج در جدول ۲ و پس از کی‌لیت

جدول ۱- شرایط رنگبری در توالی‌های P, OP, OPY, EH, P و O (Ep) برای خمیرکاغذ سودای باگاس (۱، ۹، ۱۴، ۱۶ و ۱۸).

Table 1. Bleaching conditions in P, OP, OPY, EH, and O(Ep)P bleaching stages for bagasse soda pulp.

Y*	P*	DTPA*	H*	Ep*	O**	شرایط Condition
4	12	4	11	10	10	درصد خشکی Consistency (%)
65	75	25	50	85	100	دما Temperature (°C)
60	60	30	60	60	60	زمان Time (min)
-	3	-	-	0.5	-	H ₂ O ₂ (%)
-	1.5	-	-	1.2	1.5	NaOH (%)
-	-	-	-	-	0.5	O ₂ (%)
8	9.1	5.1	10	11	11	pH نهایی Final pH
3	-	-	-	-	-	Na ₂ S ₂ O ₄ (%)
-	0.7	-	-	-	-	نسبت (Ratio) NaOH/H ₂ O ₂
0.25	0.25	0.3	-	-	-	DTPA
-	-	-	-	-	0.5	سولفات منیزیم Magnesium sulfite
2	-	2	2	-	-	NaOCl (%)
-	3	-	-	-	-	سیلیکات سدیم Sodium silicate

** در رنگبری با اکسیژن (O)، فشار ۶ بار اعمال شده است، * (O) اکسیژن، * (Ep) استخراج قلبایی با هیدروکسید سدیم و پروکسید هیدروژن، * (H) هیپوکلریت سدیم، * (DTPA) دی‌اتیلن تترآ آمین پنتا استیک اسید، * (P) پروکسید هیدروژن، * (Y) دی‌تیونیت سدیم.

آزمایشگاهی PFI mill تا رسیدن به درجه روانی ۳۲۰ میلی‌لیتر (CSF) پالایش گردید.

بعد از پایان رنگبری طی توالی‌های OP, OPY, O(Ep)P و PY و سپس شستشوی آن‌ها، خمیرکاغذ شسته شده و رنگبری‌شده سودای باگاس با پالایشگر

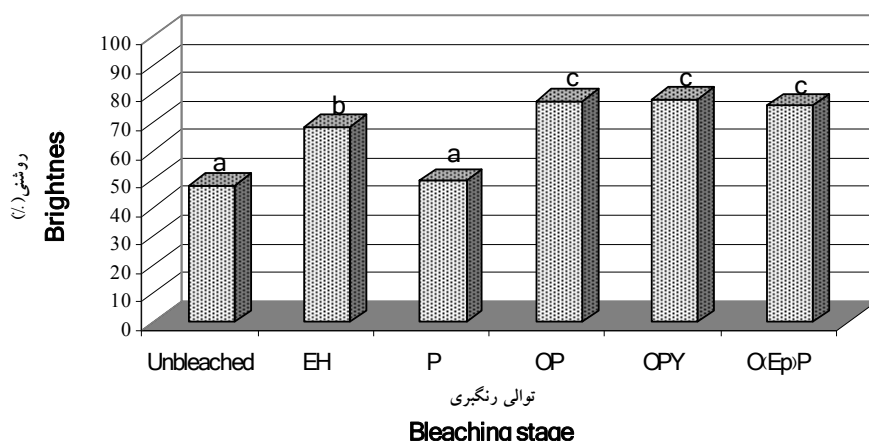
اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذهای دست‌ساز: برای اندازه‌گیری خواص نوری و مقاومتی کاغذهای حاصل از خمیرکاغذ رنگبری‌شده طی توالی‌های OP، OPY، PY و O(Ep)P و همچنین خمیرکاغذ سودای باگاس کارخانه پارس هفت‌تپه-اهواز (نمونه شاهد)، ابتدا طبق آزمون شماره ۸۸- T ۲۰۵ om استاندارد TAPPI، کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه 70 gr/m^2 تهیه شد. برای اندازه‌گیری خواص نوری کاغذهای تهیه‌شده از دستگاه طیف‌سنجی استفاده شد. به‌طوری‌که فاکتور a^* و همچنین ویژگی‌های ماتی و روشنی به‌ترتیب با استفاده از آزمون استاندارد ۹۶- T ۴۲۵ om و استاندارد ۹۸- T ۴۵۲ om تعیین شد. سپس ویژگی‌های مقاومتی به‌خصوص مقاومت‌های به پارگی، ترکیدن، کششی و طول پارگی کاغذهای حاصل به‌ترتیب با استفاده از آزمون‌های ۹۸- T ۴۱۴ om، ۰۲- T ۴۰۳ om، ۹۶- T ۴۹۴ om و ۸۸- T ۴۹۸ om استاندارد TAPPI اندازه‌گیری‌شده و در ادامه با یکدیگر مقایسه شدند (۱ و ۱۶).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام گرفت. برای بررسی اثر متقابل متغیرها و گروه‌بندی میانگین‌ها از طرح کاملاً تصادفی، آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و گروه‌بندی میانگین‌ها از روش دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس: نتایج نشان داد که در اثر رنگبری روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس افزایش محسوسی داشته است. در بین توالی‌های مختلف، بیش‌ترین روشنی طی رنگبری با توالی سه‌مرحله‌ای

OPY (۷۷/۹ درصد) و کم‌ترین آن در توالی رنگبری P (۳۹/۳ درصد) مشاهده شد. همچنین توالی‌های دو‌مرحله‌ای OP و همچنین توالی سه‌مرحله‌ای O(Ep)P نیز باعث رنگبری مؤثرتر و بهبود مناسب روشنی خمیرکاغذ سودای باگاس در مقایسه با توالی رنگبری EH (شاهد) کارخانه پارس شده است. با توجه به این‌که در طی پخت، گروه‌های رنگساز و اجزای لیگنین در الیاف خمیرکاغذ سودای باگاس تخریب یا حل‌شده و می‌تواند در طی فرآیند رنگبری در دسترسی بهتری قرار گیرند، ظاهراً نقش اکسیژن و پروکسید هیدروژن به‌عنوان عوامل رنگبری اکسایشی در کاهش و یا حذف گروه‌های رنگساز و اجزای جدا شده از لیگنین در خمیرکاغذ مؤثرتر می‌باشد و همچنین دی‌تیونیت سدیم نیز به‌عنوان احیاکننده، به همراه اکسیژن و پروکسید هیدروژن تأثیر مثبتی در کاهش عوامل تیرگی خمیرکاغذ و در نتیجه بهبود روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس از خود نشان داده است. نتایج سایر پژوهش‌ها نشان داد که در توالی رنگبری OD(Ep)P وجود یک ماده رنگبر قوی همچون پروکسید هیدروژن باعث شده تا در مراحل پایانی توالی رنگبری، لیگنین باقی‌مانده در خمیرکاغذ حذف یا کاهش و یا به‌صورت اکسایشی تغییر رنگ داده و خمیرکاغذ حاصل سفیدتر شده است (۳ و ۶). همچنین نتایج نشان داد که رنگبری با توالی یک‌مرحله‌ای P به‌تنهایی تأثیر مطلوبی در افزایش روشنی خمیرکاغذ حاصل نداشته است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین روشنی تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۱).

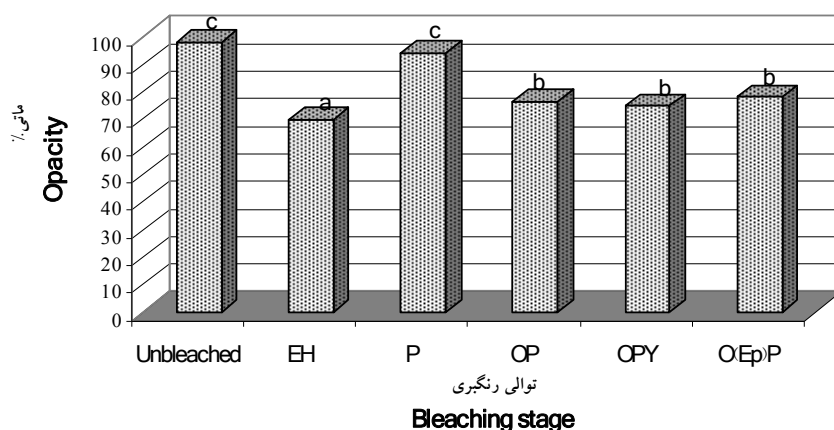


شکل ۱- مقایسه روشنی خمیر کاغذ سودای باگاس رنگبری شده با روش کاملاً بدون کلر (TCF).

Figure 1. Comparison of brightness of bagasse soda pulp bleached by a totally chlorine free (TCF) method.

EH (شاهد) کارخانه دارای ماتی بیش‌تری بوده‌اند. با توجه به این‌که در اثر رنگبری گروه‌های رنگساز موجود در خمیر کاغذ حذف یا کاهش می‌یابد، در نتیجه عبور نور از کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای سفید شده بیش‌تر و ماتی کاغذ سفید شده نسبت به سایر نمونه‌های آزمونی کاهش محسوس را نشان می‌دهد (۱۸). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین ماتی تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۲).

مقایسه ماتی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ سودای باگاس: نتایج نشان داد که در بین توالی‌های مختلف، بیش‌ترین ماتی (۹۷/۹ درصد) مربوط به کاغذ رنگبری نشده و همچنین کاغذ حاصل از توالی رنگبری یک‌مرحله‌ای P (۹۴/۲ درصد) و کم‌ترین آن (۷۰ درصد) مربوط به توالی رنگبری EH کارخانه (شاهد) بوده است. در اثر رنگبری ماتی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ سودای باگاس کاهش داشته است، اما توالی‌های سه‌مرحله‌ای O(Ep)P و OPY و همچنین توالی دو مرحله‌ای OP در مقایسه با توالی دو مرحله‌ای



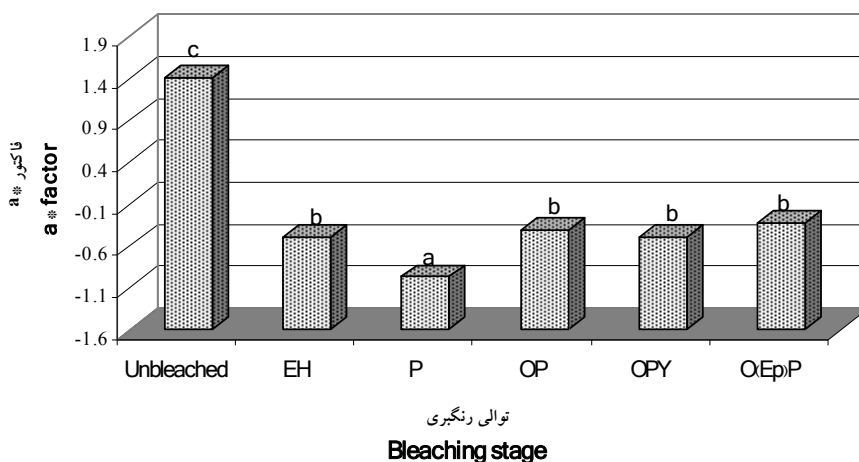
شکل ۲- مقایسه ماتی خمیر کاغذ سودای باگاس رنگبری شده با روش کاملاً بدون کلر (TCF).

Figure 2. Comparison of opacity of bagasse soda pulp bleached by a totally chlorine free (TCF) method.

رنگبری، مقاومت به پارگی افزایش یافته است. به طوری که بیشترین مقاومت به پارگی در خمیر کاغذ سفید شده با توالی رنگبری OP (۵۲۱/۷ mN) و کمترین آن در کاغذ حاصل از توالی رنگبری EH (شاهد) کارخانه (۲۱۲/۷ mN) مشاهده گردید. با توجه به این که اکسایش لیگنین و اجزای جدا شده از آن در اثر اکسیژن و پروکسید هیدروژن در توالی های رنگبری OP و O(Ep)P و همچنین کاهش کروموفورها و گروه های رنگی باقی مانده در خمیر کاغذ سودای باگاس در اثر رنگبری با دی تیونیت و همچنین توالی های رنگبری PY، می تواند تأثیر بیشتری در افزایش انعطاف پذیری الیاف داشته باشد و باعث افزایش مقاومت به پارگی کاغذ حاصل نیز می گردد. نتایج سایر پژوهش ها نشان داد که در اثر رنگبری و کاهش تأثیر لیگنین در بلوکه کردن گروه های هیدروکسیل سلولز و همی سلولز، انعطاف پذیری الیاف افزایش یافته، در نتیجه سطح پیوند افزایش و مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از رنگبری افزایش می یابد (۱۸ و ۱۹). تجزیه و تحلیل آماری داده ها نشان داد که بین میانگین میزان مقاومت به پارگی نمونه ها تفاوت بسیار معنی داری در سطح ۱ درصد وجود دارد (شکل ۴).

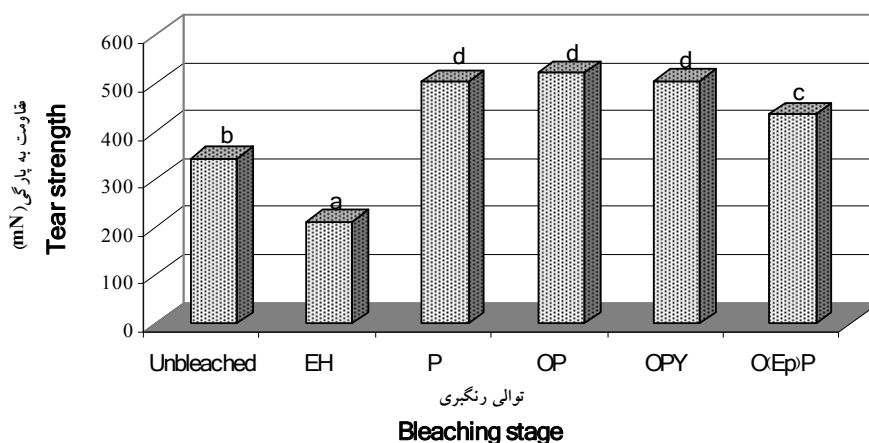
مقایسه فاکتور a^* کاغذ حاصل از خمیر کاغذ سودای باگاس: بر اساس سیستم کمیته بین المللی رنگ، روشنایی و نور (CIE lab)، فاکتور a^* نشان دهنده طیف رنگی سبز تا قرمز در کاغذ می باشد (۱۴). نتایج نشان داد که در اثر رنگبری، فاکتور a^* کاهش و سبزرنگی کاغذ افزایش یافت. به طوری که کمترین فاکتور a^* و بیشترین سبزی در کاغذ حاصل از توالی رنگبری P کارخانه (۰/۹۷-) مشاهده شد. همچنین بیشترین فاکتور a^* و کمترین سبزی در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ رنگبری نشده (۱/۴۷) مشاهده شد. نتایج سایر پژوهش ها نشان داد که گروه های رنگساز و کینون های جدا شده از لیگنین که جاذب نور هستند در طی رنگبری حذف و یا کاهش می یابد، در نتیجه قرمز رنگی در کاغذ های سفید شده کاهش و سبزرنگی که برای کاغذ های چاپ و تحریر مناسب است، افزایش می یابد (۱۹). تجزیه و تحلیل آماری داده ها نشان داد که بین میانگین فاکتور a^* تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی داری وجود دارد (شکل ۳).

مقایسه مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ سودای باگاس: نتایج نشان داد که در اثر



شکل ۳- مقایسه فاکتور a^* خمیر کاغذ سودای باگاس رنگبری شده با روش کاملاً بدون کلر (TCF).

Figure 3. Comparison of a^* factor of bagasse soda pulp bleached by a totally chlorine free (TCF) method.

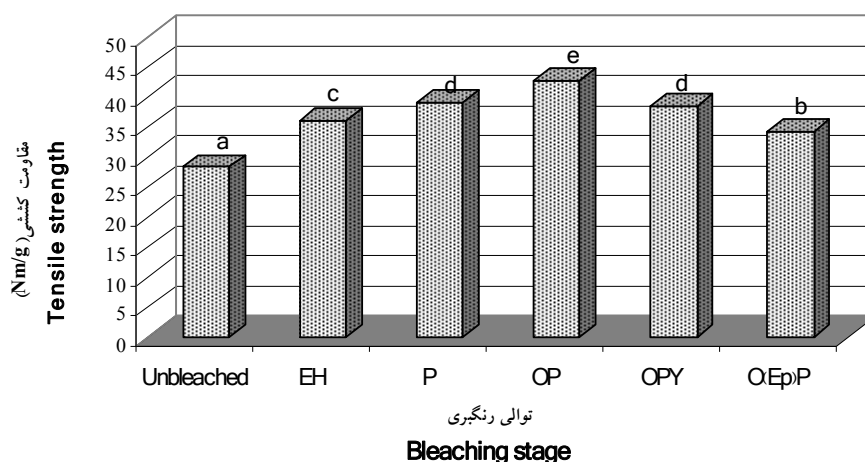


شکل ۴- مقایسه مقاومت به پارگی خمیر کاغذ سودای باگاس رنگبری شده با روش کاملاً بدون کلر (TCF).

Figure 4. Comparison of tear of bagasse soda pulp bleached by a totally chlorine free (TCF) method.

را از خود نشان داده‌اند. نتایج سایر پژوهش‌ها نشان داد که در اثر رنگبری و کاهش مقدار و تأثیر لیگنین بر الیاف، گروه‌های هیدروکسیل بیش‌تری در دسترس بوده، سطح اتصال و سطح پیوند افزایش یافته و مقاومت کششی کاغذهای حاصل از خمیر کاغذ رنگبری شده افزایش محسوسی را نشان داده است (۵ و ۱۸). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین شاخص مقاومت کششی نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد (شکل ۵).

مقایسه مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ سودای باگاس: نتایج نشان داد که در اثر رنگبری مقاومت کششی نمونه‌های آزمون‌ی افزایش یافته است. در بین نمونه‌های رنگبری شده، کاغذ حاصل از توالی دومرحله‌ای OP بیش‌ترین مقاومت به کشش (Nm/g) (۴۲/۶۴) و کاغذ حاصل از خمیر کاغذ رنگبری نشده کم‌ترین مقاومت کششی (۲۸/۳ Nm/g) را داشته‌اند. همچنین توالی‌های رنگبری OPY و P در مقایسه با توالی رنگبری EH (شاهد)، مقاومت کششی مطلوبی



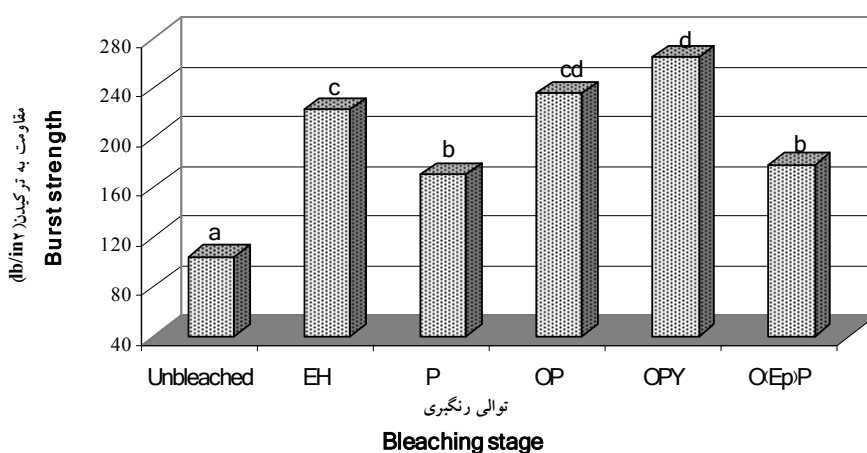
شکل ۵- مقایسه مقاومت کششی خمیر کاغذ سودای باگاس رنگبری شده با روش کاملاً بدون کلر (TCF).

Figure 5. Comparison of tensile of bagasse soda pulp bleached by a totally chlorine free (TCF) method.

نشان داد که بین میانگین میزان مقاومت به ترکیدن نمونه‌ها تفاوت بسیار معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد (شکل ۶).

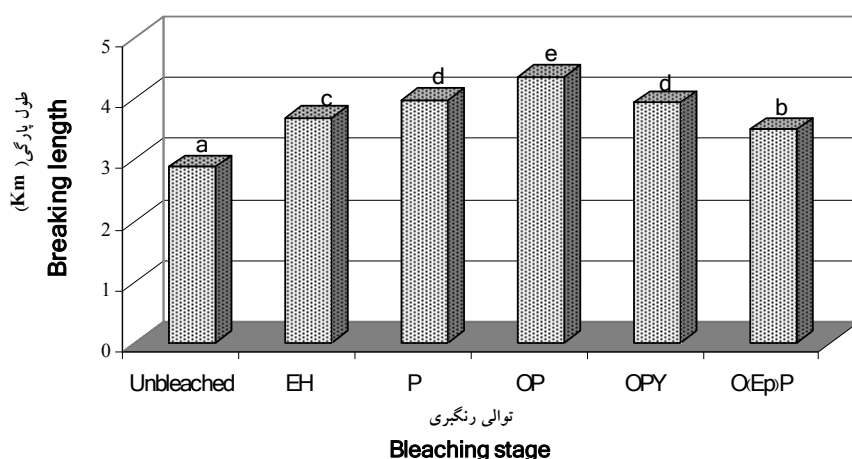
مقایسه طول پارگی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس: نتایج نشان داد که در اثر رنگبری طول پارگی کاغذهای حاصل افزایش یافته است. به طوری که بیش‌ترین طول پارگی (۴/۳۵ km) در کاغذ حاصل از توالی دومرحله‌ای OP و کم‌ترین آن (۲/۸۸ km) مربوط به کاغذ حاصل از خمیرکاغذ رنگبری نشده بوده است. همچنین کاغذ حاصل از توالی‌های رنگبری سه‌مرحله‌ای OPY و توالی تک‌مرحله‌ای P در مقایسه با توالی EH (شاهد) کارخانه، طول پارگی مناسب‌تری را از خود نشان داده‌اند. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان داد که حذف ترکیبات و گروه‌های آروماتیکی، گروه‌های رنگ‌ساز و گروه‌های جاذب نور در این توالی در طی رنگبری، باعث بالا رفتن مقاومت‌ها شده است (۱۰). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین طول پارگی نمونه‌های آزمونی تفاوت بسیار معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد (شکل ۷).

مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس: نتایج نشان داد در اثر رنگبری مقاومت به ترکیدن کاغذهای حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس افزایش داشته است. به طوری که بیش‌ترین مقاومت به ترکیدن ($264/6 \text{ lb/in}^2$) در کاغذ حاصل از توالی سه‌مرحله‌ای OPY و کم‌ترین آن ($104/1 \text{ lb/in}^2$) در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ رنگبری نشده باگاس مشاهده شد. در این ارتباط، نقش استفاده از اکسیژن و پروکسید هیدروژن به‌عنوان رنگبر اکسایشی در توالی دومرحله‌ای OP و همچنین نقش دی‌تیونیت سدیم در کاهش عوامل تیرگی باقی‌مانده در خمیرکاغذ در توالی سه‌مرحله‌ای OPY محسوس‌تر و مؤثرتر از توالی دومرحله‌ای EH (شاهد) کارخانه بوده است. نتایج سایر پژوهش‌های نشان داد که با توجه به حذف و کاهش قابل‌ملاحظه کروموفورها و عوامل تیرگی در خمیرکاغذ، گروه‌های هیدروکسیل بیش‌تری در الیاف خمیرکاغذ در دسترس قرار می‌گیرند که خود باعث افزایش سطح و مقاومت پیوند شده و مقاومت به ترکیدن افزایش محسوسی را نشان داده است (۱۳ و ۱۸). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها



شکل ۶- مقایسه مقاومت به ترکیدن خمیرکاغذ سودای باگاس رنگبری شده با روش کاملاً بدون کلر (TCF).

Figure 6. Comparison of burst in bagasse soda pulp bleached by a totally chlorine free (TCF) method.

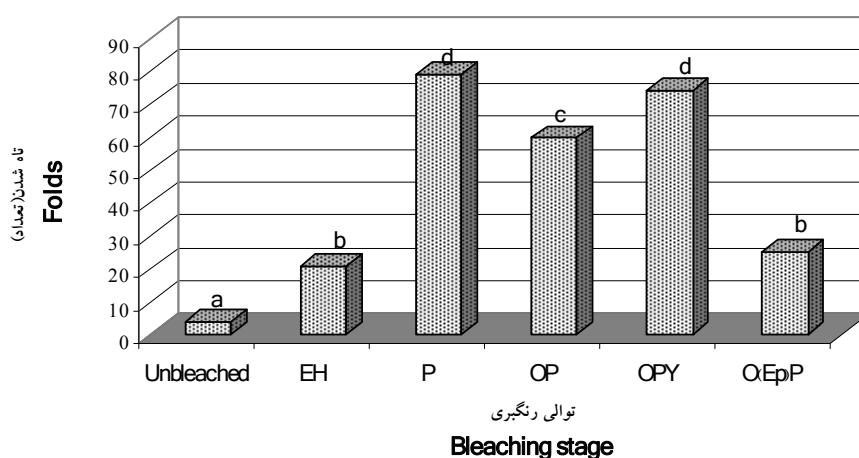


شکل ۷- مقایسه طول پارگی خمیر کاغذ سودای باگاس رنگبری شده با روش کاملاً بدون کلر (TCF).

Figure 7. Comparison of breaking length of bagasse soda pulp bleached by a totally chlorine free (TCF) method.

کاهش مقدار و اجزای جدا شده از لیگنین موجود در خمیر کاغذ، سطح و مقاومت اتصال افزایش یافته و مقاومت به تاه شدن کاغذ نیز در بین خمیر کاغذهای رنگبری شده افزایش یافته است. نتایج سایر پژوهش‌ها نشان داد که در بیش تر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، ابتدا توالی رنگبری OEpP و پس از آن توالی OD(Ep)D نسبت به توالی رنگبری EH کارخانه (شاهد) بهتر شناخته شد (۱۸). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به تاه شدن نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد (شکل ۸).

مقاومت به تاه شدن کاغذ حاصل از خمیر کاغذ سودای باگاس: نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقاومت به تاه شدن (۹۷ عدد) در کاغذ حاصل از توالی رنگبری P و کم‌ترین آن (۴ عدد) مربوط به کاغذ حاصل از خمیر کاغذ رنگبری نشده باگاس بوده است. همچنین در اثر رنگبری مقاومت به تاه شدن افزایش یافته است، به طوری که نقش توالی دومرحله‌ای OP و به خصوص توالی سه‌مرحله‌ای OPY، در افزایش مقاومت به تاه شدن محسوس‌تر بوده است. با توجه به نقش اکسیژن (O) و پروکسید هیدروژن (P) و همچنین دی‌تیونیت سدیم (Y) در رنگبری خمیر کاغذ و



شکل ۸- مقایسه مقاومت به تاه شدن خمیر کاغذ سودای باگاس رنگبری شده با روش کاملاً بدون کلر (TCF).

Figure 8. Comparison of folds of bagasse soda pulp bleached by a totally chlorine free (TCF) method.

سبزرنگی، مقاومت‌های به پارگی، کششی، طول پارگی و تاه شدن داشته، ولی تأثیر محسوسی در بهبود روشنی کاغذ حاصل در مقایسه با نمونه شاهد نداشته است. نتایج سایر پژوهش‌ها نشان داد در اثر رنگبری روشنی، سبزرنگی، نسبت K/S کاغذ حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس افزایش یافته است. در بین تیمارهای رنگبری انجام‌شده، ویژگی‌های روشنی، ماتی، ضریب جذب، مقاومت کششی، مقاومت به پارگی و مقاومت به ترکیدن در دو توالی رنگبری $OD(E_p)P$ و $OD(E_p)D$ نسبت به توالی EH کارخانه (شاهد) افزایش محسوسی را نشان می‌دهد. به‌طورکلی، در بیش‌تر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، ابتدا توالی رنگبری $OD(E_p)P$ و پس از آن توالی $OD(E_p)D$ نسبت به توالی رنگبری EH کارخانه (شاهد) بهتر شناخته شد (۱۸). نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان داد که حذف ترکیبات و گروه‌های آروماتیکی، گروه‌های رنگساز و گروه‌های جاذب نور در این توالی در طی رنگبری باعث بالا رفتن مقاومت‌ها شده است (۱۰). همچنین تیره‌تر بودن رنگ کاغذ حاصل از این خمیرکاغذ، به‌علت وجود ترکیبات جدا شده لیگنین (کینون‌ها) می‌باشد. جاذب نور بودن این ترکیبات، سبب جذب بیش‌تر نور در کاغذ حاصل از این توالی شده است (۲ و ۱۸).

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر رنگبری با روش کاملاً بدون کلر (TCF) بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس انجام شد. نتایج نشان داد که در اثر رنگبری با TCF، روشنی، سبزرنگی، مقاومت‌های به پارگی، کششی، ترکیدن، طول پارگی و تاه شدن افزایش و ماتی و فاکتور a^* کاغذهای حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که طی فرآیند پخت، گروه‌های رنگساز و اجزای لیگنین در الیاف خمیرکاغذ سودای باگاس تخریب و یا انحلال می‌یابند و می‌توانند در دسترس قرار گیرند، نقش توالی رنگبری سه‌مرحله‌ای OPY و همچنین توالی رنگبری دو مرحله‌ای OP در سفیدسازی خمیرکاغذ سودای باگاس و بهبود روشنی و مقاومت‌های کاغذ حاصل مؤثرتر از توالی دو مرحله‌ای EH (شاهد) و خمیر رنگبری نشده سودای باگاس کارخانه بوده است. نتایج سایر پژوهش‌ها نشان داد که در توالی رنگبری $OD(E_p)P$ ، وجود یک ماده رنگبر قوی هم‌چون پروکسید هیدروژن باعث شده تا در مراحل پایانی توالی رنگبری، لیگنین باقی‌مانده در خمیرکاغذ حذف شده یا کاهش یافته و یا به‌صورت اکسایشی تغییر رنگ داشته و خمیرکاغذ حاصل سفیدتر شده است (۳، ۴ و ۱۱). در این پژوهش استفاده از پروکسید هیدروژن به‌عنوان یک رنگبر اکسایشی نیز نقش مؤثری در بهبود

منابع

1. Barzan, A., and Soraki, S. 2002. Procedure of experimental for pulp and paper, Mazandaran Wood and Paper Industries, Sari, Iran. Pp: 111-121. (In Persian)
2. Buchert, J., Tenkanen, M., Kantelinen, A., and Viikari, L. 1994. Application of xylanases in the pulp and paper industry. *BioResource Technology*. 50: 1. 65-72.
3. Bajpai, P. 1998. *Biotechnology for environmental protection in pulp and paper industry*. Springer, Germany, Pp: 91-107.
4. Costa, M.M., and Colodette, J.L. 2007. The impact of kappa number composition on eucalyptus kraft pulp bleachability. *Brazilian J. of Chemical Engineering*. 24: 1. 61-71.

5. Cater, H.A. 1996. The chemistry of paper preservation. *J. of Chemical Education*. 73: 11. 1068-1073.
6. EK, M. 1992. Some aspects on the mechanisms of photo-yellowing of high-yield pulps. Royal institute of technology. Stockholm, Sweden, Ph.D Thesis.
7. Forsskahl, I., Tylli, H., and Olkkonen, C. 2000. Participation of carbohydrate-derived chromospheres in the yellowing of high-yield and TCF pulps. *J. of Pulp and Paper Science*. 26: 7. 521-529.
8. Hashemi, S.R. 2015. Investigation on TCF bleaching of Tobacco stalk soda pulp. *Iranian J. of Wood and Paper Science and Technology*. 29: 4. 619-628. (In Persian)
9. Hedjazi, S., Jahan Latibari, A., and Patt, R. 2007. Investigation on TCF bleaching of wheat straw soda pulp. *Iranian J. of Natural Resources*. 59: 4. 935-951. (In Persian)
10. Jeffries, T.W., and Viikari, L. 1996. *Enzymes for pulp and paper processing*. American chemical society. Washington, DC, 326p.
11. Luiss, A.J., and Jackson, C. 2002. *Text book of pulping technology*, Mc Graw-Hill international edition, New York, NY, Pp: 126-132.
12. Mirshokraie, S.A. 2003. *Pulp and paper technology*. Aeeizh publication, Tehran, Iran, Pp: 209-210. (Translated in Persian)
13. Mirshokraie, S.A., and Abdolkhani, A. 2005. Effects of metallic ions on brightness CMP pulp of hardwoods in north of Iran. *Iranian J. of National Resources*. 58: 2. 405-406. (In Persian)
14. Paullsson, M., Lucian, A., and Arthur, J. 2001. Potoyellowing of untreated chemi-thermo-mechanical pulp under argon, ambient and oxygen atmosphere. *J. of Wood Chemistry and Technology*. 21: 4. 343-360.
15. Tran, A.V. 2003. Thermal yellowing of hard wood kraft pulp bleaching with a chlorine dioxide based sequence. *J. of Pulp and Paper Science*. 28: 4. 115-121.
16. Technical association of the pulp and paper industry, 2009. *Standard test methods*. tappi press, Atlanta, GA. USA.
17. 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 J. of Wood and Paper Science and Technology*. 30: 1. 72-84. (In Persian)
18. Vaysi, R., Behrooze, R., and Khaj-e-Ali, E. 2016. The effect of ECF bleaching on optical and mechanical of bagasse soda pulp. *Iranian J. of Wood and Paper Science and Technology*. 30: 2. 349-361. (In Persian)
19. Yuan, Z., and Mc Garry, P. 2002. Application of yellowing inhibitors to mechanical papers using a pilot liquid application system. *J. of Pulp and Paper Science*. 28: 5. 159-166.



Investigating the optical and mechanical properties of bagasse soda pulp bleached using totally chlorine free (TCF) method

*R. Vaysi

Associate Prof., Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

Received: 02.05.2017; Accepted: 12.07.2019

Abstract

Background and Objectives: About 60,000 tons of printing paper are annually produced from bagasse in Ahvaz Haft-Tapeh Pars factory. In this factory, bagasse soda pulp was already bleached with the CEH sequence and is currently bleached with the EH sequence (alkaline extraction (E) and hypochlorite (H)). The chlorination stage (C) due to consistency of the pulp (about 3%) and the production of large amounts of effluents and absorbable organic X-halide (AOX) of lignin is significantly important in terms of the environment. Therefore, in the Pars factory and in conventional global systems, the chlorinated (C) stage and some of the bleaching sequences with chlorine compounds such as hypochlorite (H) and chlorine dioxide (D) are eliminated and instead of them are used oxygen (O), ozone (Z), hydrogen peroxide (P), disodium hydrosulfite (Y) or a combination of them as a totally chlorine-free (TCF) system. Therefore, this study was conducted to evaluate the effect of bleaching on optical and mechanical properties of paper from bagasse soda pulp using TCF method.

Materials and Methods: In this research, the unbleached soda pulp of bagasse (before the bleaching) was randomly selected from the Ahvaz Pars factory. Then, the selected pulps were bleached with 1, 2, and 3 step sequences of P, OP, OPY, and O(Ep)P using the oxygen (O), hydrogen peroxide (P), and also alkaline extraction by hydrogen peroxide (PE) and di-sodium hydrosulfite (Y). Hand-sheets with a basic weight of 70 gr/m² were prepared from the pulp. After that, the optical and mechanical properties of the samples were measured according to the TAPPI standard test methods and then the paper properties were compared.

Results: The results showed that some properties such as the brightness, greenness, tear strength, tensile, burst, tear length, and folding strength were increased due to bleaching by totally chlorine free (TCF) method. On the other hand, the opacity and a* factor of papers resulting from bagasse soda pulp were decreased. In the current study, hydrogen peroxide as an oxidative bleach had an effective role in improving the greenness, tear strength, tensile, tear length, and folding strength. However, no significant effect was observed on improving the made paper brightness compared to the control sample (EH sequence of Factory). Furthermore, statistical analysis results showed that there are significant differences at 1% level between the averages of the optical and mechanical properties of the modified pulps.

Conclusion: In general, the role of the three-stage bleaching sequences of OPY and also the two-stage bleaching sequences of OP were more effective in bleaching of the pulp and improving the brightness and strength of the made papers compared to the two-stage sequences of EH (control) and unbleached bagasse soda pulp of the factory.

Keywords: Bagasse, Bleaching stage, Soda pulp, Optical and mechanical properties, TCF bleaching

*Corresponding author: vaysi_r452@yahoo.com

