

## جایگزینی توالی بدون کلر عنصری (ECF) با توالی رنگبری سنتی خمیر کاغذ سودای باگاس

سعید مهدوی

- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
پست الکترونیک: smahdavi@rifr-ac.ir

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۹

### چکیده

این تحقیق با هدف رفع مشکلات زیست‌محیطی ایجاد شده در اثر رنگبری خمیر کاغذ باگاس با هیپوکلریت سدیم در کارخانه کاغذسازی پارس انجام شد. به این منظور از توالی رنگبری بدون کلر عنصری OQPD(Ep) استفاده شد. خواص خمیر کاغذ حاصل با کاغذ دست‌ساز تهیه شده از خمیر کاغذ رنگبری نشده (شاهد) و برخی خواص خمیر کاغذ رنگبری شده باگاس در کارخانه کاغذسازی پارس مقایسه شد. نتایج نشان داد که افزایش مدت زمان رنگبری خمیر کاغذ از ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه با اکسیژن، تأثیر معنی‌داری بر درجه روشنی خمیر کاغذ نداشته است، اما دانسیته، مقاومت به ترکیدن و پاره شدن کاغذ کاهش یافته است. رنگبری خمیر کاغذ با انجام توالی O<sub>1</sub>QP<sub>3</sub>D(Ep) نسبت به نمونه شاهد با درجه روشنی اولیه ۳۹٪ ایزو، منجر به تولید خمیر کاغذی با درجه روشنی حدود ۷۵٪ ایزو شد. با انجام توالی رنگبری O<sub>1</sub>QP<sub>3</sub>D(Ep)، مقاومت‌های کاغذ دست‌ساز ساخته شده در محدوده کاغذ تجاری رنگبری شده باگاس و استاندارد ملی ایران (۴۱۲۰) است. استفاده از توالی رنگبری مذکور برای خمیر کاغذ سودای باگاس، علاوه بر مزیت‌های زیست‌محیطی حاصل (مثل کاهش آلودگی‌ها)، منجر به ساخت کاغذی با ویژگی‌های فیزیکی، نوری و مکانیکی قابل قبولی شده است. از این رو توالی مذکور برای جایگزینی با روش رنگبری فعلی مورد استفاده در کارخانه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: باگاس، خمیر کاغذ سودا، رنگبری بدون کلر عنصری، ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز.

### مقدمه

رنگ تیره خمیر کاغذ تهیه شده از مواد لیگنوسلولزی به دلیل وجود لیگنین باقیمانده در آن است. عوامل رنگبری شیمیایی با اکسید کردن گروه‌های عاملی لیگنین، موجب کاهش جرم مولکولی آن، افزایش اجزای گروه‌های قابل - انحلال و جداسازی پیوندهای لیگنین- کربوهیدرات می‌شوند. با رنگ‌بری خمیر کاغذ شیمیایی، برخی از ویژگی‌های کاغذ تغییر می‌کند که شامل افزایش درجه روشنی، تمیزی، ثبات درجه روشنی، کاهش ضریب جذب نور، خروج همی سلولزها

و مواد استخراجی هستند. رنگبری خمیرهای کاغذ شیمیایی با هدف بسیار متفاوتی نسبت به رنگبری خمیرهای مکانیکی انجام می‌شود. رنگبری خمیرهای کاغذ شیمیایی با هدف حذف لیگنین حاصل انجام می‌شود که منجر به استحکام بیشتر پیوندهای فیبر با فیبر در کاغذ می‌شود. اما اگر از عوامل رنگ- بر شیمیایی قوی در رنگبری خمیر کاغذ شیمیایی استفاده شود، طول مولکول‌های سلولز کاهش یافته، در نتیجه لیاف ضعیف- تری حاصل می‌شود (Ulrich Suess, 2010).

صنعت کاغذسازی به‌عنوان چهارمین صنعت آلاینده

Hedjazi و همکاران (۲۰۰۸) بررسی را در مورد استفاده از آنتراکینون در تولید خمیرکاغذ سولفیت از باگاس انجام دادند. آنان خمیرکاغذ را با روش TCF رنگبری نموده و اثر متغیرهای فرایندی را بر ویژگی‌های خمیرکاغذ بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که با استفاده از تیمار با اکسیژن و بعد یک مرحله کی لیت کردن یون‌های فلزی و رنگبری با پراکسید (QOP)، این خمیرکاغذ می‌تواند تا درجه روشنی ۸٪ ایزو سفید شود.

Hashemi و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی رنگبری خمیرکاغذ سودای حاصل از ساقه توتون با روش کاملاً بدون کلر (TCF) گزارش کردند که با افزایش مصرف هیدروکسید سدیم و پروکسید هیدروژن، درجه روشنی خمیرکاغذ حاصل افزایش و عدد کاپای آن کاهش می‌یابد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که مرحله کی‌لیت‌سازی اولیه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بر درجه روشنی، عدد کاپا و بازده خمیرکاغذ رنگبری شده مؤثر است و این تیمار کمترین درجه روشنی و بیشترین عدد کاپا و بازده را در بین همه تیمارها دارا بوده است. در نهایت تیمار ۳٪ سود سوزآور به همراه ۵٪ پروکسید هیدروژن با مرحله کی‌لیت‌سازی اولیه که دارای بیشترین درجه روشنی (۴۴/۵٪) و کمترین بازده (۸۳/۲٪) بوده، به‌عنوان تیمار برتر انتخاب شد.

Veisi و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تأثیر رنگبری بدون کلر عنصری (ECF) بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرکاغذ سودای باگاس گزارش کردند که در طی رنگبری با توالی‌های مذکور، عدد کاپا و مقدار لیگنین باقی‌مانده در خمیرکاغذ کاهش یافته است. در اثر رنگبری درجه روشنی، سبز رنگی و نسبت K/S کاغذ حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس افزایش را نشان می‌دهد. به‌طور کلی در بیشتر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، ابتدا توالی رنگبری (OD(EP)P) و پس‌از آن توالی (OD(EP)D) نسبت به توالی رنگبری (EH) کارخانه (شاهد) بهتر شناخته شد. نتایج این بررسی نشان داد که همه مقاومت‌های خمیرهای کاغذ رنگبری شده نسبت به رنگبری نشده کاهش یافتند.

تحقیقات اخیر رنگ‌بری خمیرکاغذ معمولاً به دنبال روش‌هایی است که بتواند با کمترین مشکلات زیست‌محیطی، آسیب به لیاف سلولزی و هزینه به بیشترین درجه روشنی برسد. این

آب‌وهوا شناخته شده است (Ebrahimi and tavakoli, 2013). استفاده از کلر و ترکیبات آن با توجه به ایجاد ترکیب‌های بسیار خطرناک (مثل پنتاکلروفنل) که ناشی از ترکیب با گروه‌های فنیل پروپان لیگنین موجود در مواد لیگنوسلولزی است، همواره در جهان رو به کاهش است. با توجه به لزوم لیگنین‌زدایی بیشتر و کیفیت بالای خمیرکاغذ چاپ و تحریر و افزایش مصرف این نوع کاغذ در مقیاس جهانی، مشکلات زیست‌محیطی ایجاد شده برای این نوع کاغذها بیشتر است.

باگاس یا تفاله نیشکر حاصل از فرایند قندگیری در کارخانه قند می‌باشد که بنا بر آمار و اطلاعات موجود متأسفانه به دلیل عدم استفاده مقادیر معتدایی از آن سالانه سوزانده می‌شود. میزان تولید باگاس (تفاله نیشکر) در جهان در حدود ۱۲۰ میلیون تن است که در مقایسه با سایر مواد اولیه لیگنوسلولزی غیرچوبی از ویژگی‌های نسبتاً مناسب‌تری برخوردار است (Fahmy et al., 2017). این ماده لیگنوسلولزی به دلیل طول مناسب لیاف و ویژگی‌های شیمیایی، برای ساخت انواع کاغذ مناسب است. کارخانه کاغذسازی پارس با ظرفیت تولید اسمی سالیانه حدود ۷۰۰۰۰ تن خمیرکاغذ و کاغذ از باگاس با رنگ‌بری خمیرکاغذ سودای حاصل، قابلیت تولید خمیرکاغذ بهداشتی و چاپ و تحریر را داراست. در کارخانه پارس خمیرکاغذ سودای باگاس قبلاً با توالی (CEH) و در حال حاضر با توالی (EH) یعنی استخراج قلیایی (E) و هیپوکلریت (H) رنگبری می‌شود که از نظر زیست‌محیطی مسئله‌دار می‌باشد.

Lal و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه مبسوطی بر روی رنگبری خمیرکاغذ کاه گندم، باگاس و بامبو انجام دادند. در این بررسی از اکسیژن به‌عنوان پیش‌تیمار برای کاهش عدد کاپای خمیرکاغذ استفاده شد و این کاهش برای باگاس ۴۲ درصد گزارش شد. درجه روشنی نهایی خمیرکاغذ رنگبری شده باگاس با توالی OPD(EP)D حدود ۸۱٪ و برای توالی OPP در حدود ۷۵٪ گزارش شد. کاهش مقاومت‌های خمیرکاغذ در دو روش تقریباً مشابه بود و اثر عوامل کی‌لیت‌کننده قبل از رنگبری بر روی کاهش یون‌های فلزی خمیرکاغذ معنی‌دار بود.

کاغذسازی پارس، دو نوع خمیرکاغذ رنگبری نشده و رنگبری شده باگاس (نمونه شاهد) تهیه شد. درجه روانی اولیه خمیرکاغذ رنگبری نشده در حدود ۵۷۰ ml.csf بود که با ۲۵۰۰ دور کوبیدن با کوبنده آزمایشگاهی نوع PFI به حدود ۴۰۰ ml.csf رسید. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق همگی از نوع آزمایشگاهی بودند.

### روش‌ها

برای انجام آزمون‌های لازم خمیرکاغذ از استانداردهای مندرج در جدول زیر استفاده شد.

### مواد و روش‌ها

برای تهیه نمونه خمیرکاغذ، پس از هماهنگی با شرکت

جدول ۱- عنوان و روش آزمون‌های استاندارد مورد استفاده برای کاغذهای دست‌ساز

عنوان آزمون مورد استفاده	روش آزمون استاندارد
روش نمونه‌برداری از کاغذ و مقوا برای آزمون	ISIRI 133
خمیرکاغذ- تعیین میزان رطوبت موجود در یک بهر- روش خشک کردن در گرمخانه	ISIRI 559
خمیرکاغذ- پالایش آزمایشگاهی - قسمت ۲: روش PFI	ISIRI 3790-2
خمیرکاغذ - تهیه ورق‌های آزمایشگاهی برای آزمون‌های فیزیکی - قسمت ۳	ISIRI 3788-3
اندازه‌گیری جرم پایه (گراماژ)	ISIRI 471
تعیین ضخامت، چگالی و حجم مخصوص	ISIRI 151
تعیین سفتی خمشی - قسمت دوم: دستگاه تابر	ISIRI 7880-2
تعیین مقاومت به ترک‌شدن - روش آزمون	ISIRI 1821
اندازه‌گیری ویژگی کششی قسمت دوم: ازدیاد طول با سرعت ثابت	ISIRI 8273-2
مقاومت در برابر پاره شدن - روش المندرف	ISIRI 1297
تعیین مقاومت فشاری - روش لهیدگی حلقوی (RCT)	ISIRI 18051

هدف از انجام این مطالعه رسیدن به محدوده روشنی خمیر رنگبری شده در کارخانه بوده است، از این رو کمترین سطح استفاده از پراکسید یعنی تیمار P3 برای مراحل بعدی رنگبری D(Ep) انتخاب شد. اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی کاغذهای دست‌ساز شامل گراماژ و ضخامت، ویژگی‌های نوری شامل روشنی، زردی و ماتی و مقاومت‌های کاغذ شامل کشش، ترک‌شدن و پارگی طبق استانداردهای TAPPI با ۳ تکرار انجام شد.

شرایط رنگبری خمیرکاغذ با روش فاقد کلر عنصری (ECF) و توالی رنگبری OQPD(Ep) طبق جدول ۲ انجام شد. شستشوی خمیرکاغذ با آب مقطر پس از هر مرحله رنگبری انجام و بازده خمیرکاغذ در پایان هر مرحله محاسبه شد. برای ساخت کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی، از خمیرکاغذ رنگبری شده در هر مرحله و رنگبری نشده (شاهد) استفاده شد. باتوجه به اینکه پراکسید هیدروژن ماده گرانبه‌ای است و

جدول ۲- مراحل رنگبری خمیرکاغذ باگاس با توالی OQPD(EP) و شرایط اعمال شده

شرایط	مرحله O	مرحله Q	مرحله P	مرحله D	مرحله EP
درصد خشکی (%)	۱۰	۵	۱۲	۱۰	۱۲
دما (°C)	۱۰۰	۷۰	۷۵	۶۰	۷۵
زمان (min)	O1:۳۰-O2:۶۰-O3:۹۰	۳۰	P1:۶۰-P2:۱۲۰-P3:۶۰	۶۰	۶۰
فشار (bar)	۶	-	-	-	-
درصد ClO2	-	-	-	۱	-
درصد DTPA	-	۰/۳	-	-	-
درصد H2O2	-	-	P1:۱-P2:۲-P3:۰/۲	-	۱
درصد NaOH	۱/۵	-	-	-	۱/۴
درصد O2	۰/۵	-	-	-	-
درصد H2SO4	-	۱	-	۰/۶۵	-
pH نهایی	O1:۱۱-O2:۱۰/۳-O3:۱۰	۵	O1:۱۲-O2:۱۱/۳-O3:۱۰/۸	O1:۲/۸-O2:۲/۷-O3:۲/۹	-O2:۱۰/۳-O3:۱۰/۴ O1:۱۰/۴
نسبت NaOH/H2O2	-	-	-	-	۰/۷
درصد MgSO4	۰/۵	-	-	-	-
درصد NaSiO4	-	-	-	-	۳
درصد بازده خمیرکاغذ	-O2:۹۱/۹-O3:۸۸/۴ O1:۹۸/۴	-	O1:۹۸/۲-O2:۹۷-O3:۹۴	O1:۹۴-O2:۹۰-O3:۸۷	-O2:۹۴/۱-O3:۹۲/۶ O1:۹۶

پس از ثبت داده‌ها، تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و براساس جدول تجزیه واریانس انجام شد و اختلاف بین میانگین صفات شامل ویژگی‌های فیزیکی، نوری و مکانیکی کاغذهای رنگبری شده و شاهد مورد بررسی قرار گرفت که در صورت معنی دار شدن، گروه‌بندی میانگین‌ها توسط آزمون دانکن انجام شد.

## نتایج

تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده از مراحل رنگبری

خمیرکاغذ باگاس نشان داد که بین میانگین ۱۳ ویژگی مورد بررسی کاغذهای دست‌ساز آزمایشگاهی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. جدول ۳ سطح معنی‌داری اختلاف آماری را بین ویژگی‌های مختلف نشان می‌دهد. برای گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح اعتماد ۹۵٪ استفاده شد. یادآوری می‌شود که اختلاف بین تکرار آزمون‌های کاغذ براساس مقایسات آماری معنی‌دار نمی‌باشد، اما اختلاف بین میانگین ۱۳ ویژگی مورد بررسی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز رنگبری شده باگاس

منبع تغییرات	درجه آزادی	جمع مربعات	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
دانسیته کاغذ	۱۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۱/۸۱	۰/۰۰۰**
روشنی کاغذ	۱۸	۶۰۷۵	۳۳۷/۵	۵۹۳/۴	۰/۰۰۰**
ماتی کاغذ	۱۸	۶۹۸/۳	۳۸/۸	۱۱۹۹	۰/۰۰۰**
زردی کاغذ	۱۸	۹۵۰۱/۹	۵۲۷/۹	۵۲۲۴	۰/۰۰۰**
مقاومت کششی	۱۸	۴/۳	۰/۲۳۹	۵/۵	۰/۰۰۰**
مقاومت ترکیدن	۱۸	۵/۷	۰/۳۱۷	۳۰/۵	۰/۰۰۰**
مقاومت پاره شدن	۱۸	۱۹/۶	۱/۱	۲۳	۰/۰۰۰**

\*\* اختلاف بین میانگین‌ها با سطح اعتماد ۹۹٪ معنی‌دار است.

## دانسیته کاغذ

مقایسه بین میانگین دانسیته کاغذهای رنگبری شده طی مراحل مختلف با نمونه شاهد (رنگبری نشده) در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین میانگین دانسیته‌های کاغذ ساخته شده اختلاف معنی‌داری وجود دارد و گروه‌بندی دانکن از نظر آماری آنها را در گروه‌های مختلفی قرار داده است. میانگین دانسیته کاغذ نمونه شاهد نسبت به میانگین دانسیته کاغذهای تیمار شده در مراحل رنگبری نهایی OQPD(Ep) کمتر است.

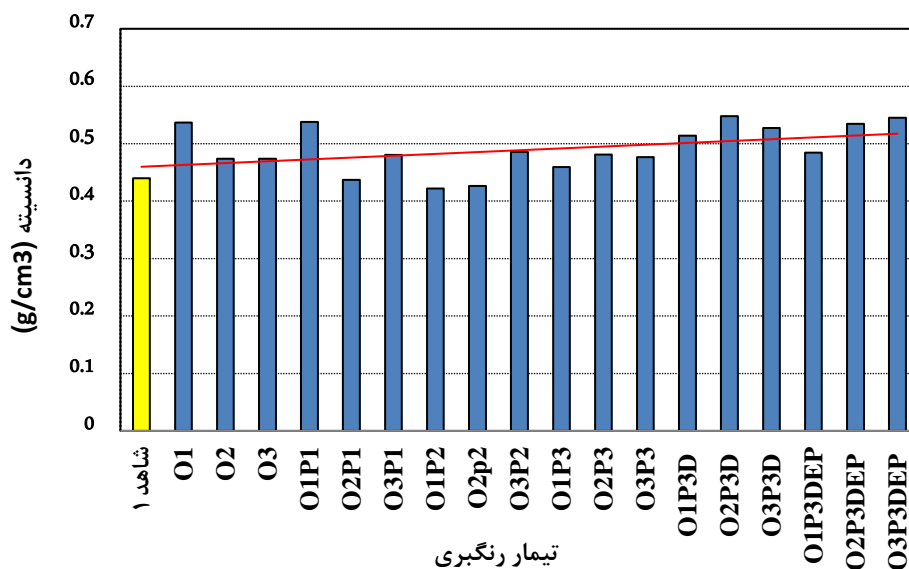
## روشنی کاغذ

از جمله ویژگی‌های مهم نوری کاغذهای چاپ و تحریر،

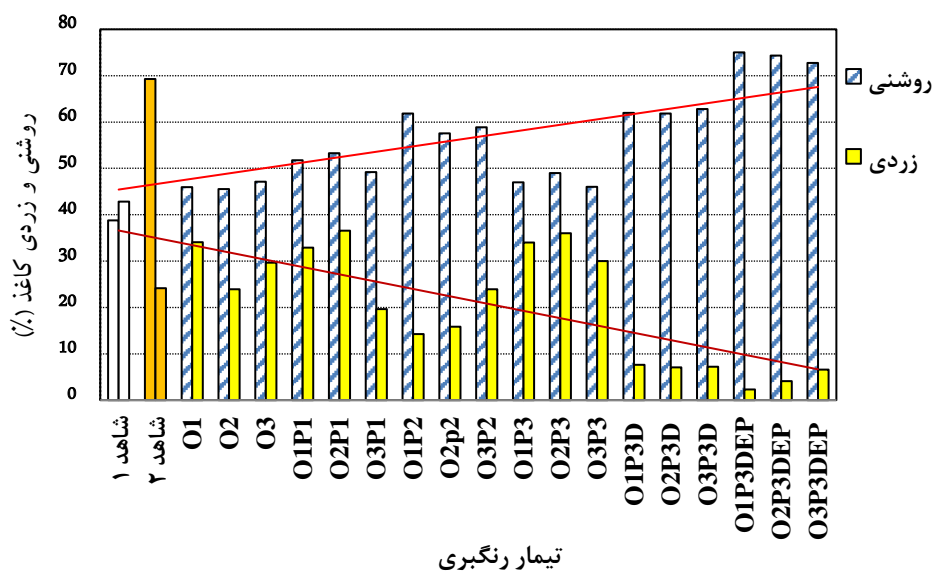
درصد روشنی آنهاست. شکل ۲ مقایسه بین میانگین روشنی کاغذهای رنگبری شده با نمونه شاهد ۱ (رنگبری نشده) و شاهد ۲ (رنگبری شده در کارخانه) را طی مراحل مختلف نشان می‌دهد. آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین میانگین روشنی کاغذ ساخته شده اختلاف معنی‌داری وجود دارد و گروه‌بندی دانکن از نظر آماری آنها را در گروه‌های مختلفی قرار داد. گروه‌بندی دانکن کمترین میانگین روشنی مربوط به خمیرکاغذ رنگبری نشده (شاهد) را در گروه مستقل h و بیشترین میانگین روشنی خمیرکاغذ رنگبری شده طی توالی O<sub>1</sub>P<sub>3</sub>D(Ep) را در گروه مستقل a قرار داده است. زردی کاغذهای چاپ و تحریر نیز از جمله ویژگی‌های نوری مهم در آنها می‌باشد. بازگشت رنگ و به عبارت بهتر افزایش زردی با

و طبق گروه‌بندی دانکن از نظر آماری نمونه شاهد ۱ با بیشترین زردی در گروه مستقل a و نمونه رنگبری شده با توالی  $O_1P_3D(E_p)$  با کمترین زردی در گروه مستقل i قرار می‌گیرد و نسبت به نمونه شاهد ۲ یعنی خمیرکاغذ رنگبری شده در کارخانه به‌طور قابل توجهی (۲۲ درصد) کمتر است.

گذشت زمان در کاغذ، موجب افت کیفیت مندرجات چاپ‌شده بر روی کاغذ خواهد شد. شکل ۲ همچنین مقایسه-ای بین میانگین زردی کاغذهای رنگبری شده را با نمونه شاهد ۱ (رنگبری نشده) و شاهد ۲ (رنگبری شده در کارخانه) طی توالی‌های مختلف رنگبری نشان می‌دهد. البته بین میانگین زردی کاغذهای رنگبری شده اختلاف معنی‌داری وجود دارد



شکل ۱- مقایسه دانسیته کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف رنگبری خمیرکاغذ باگاس

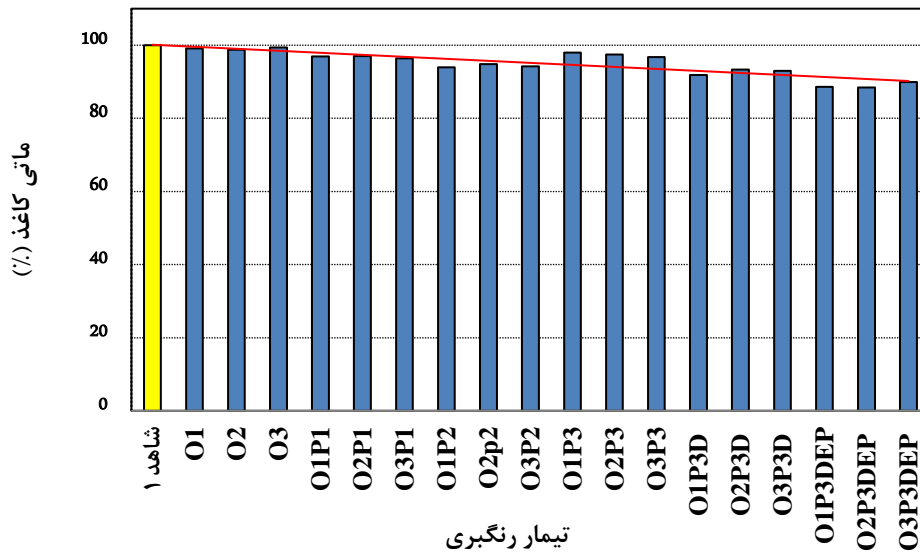


شکل ۲- مقایسه روشنی و زردی کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف رنگبری خمیرکاغذ باگاس

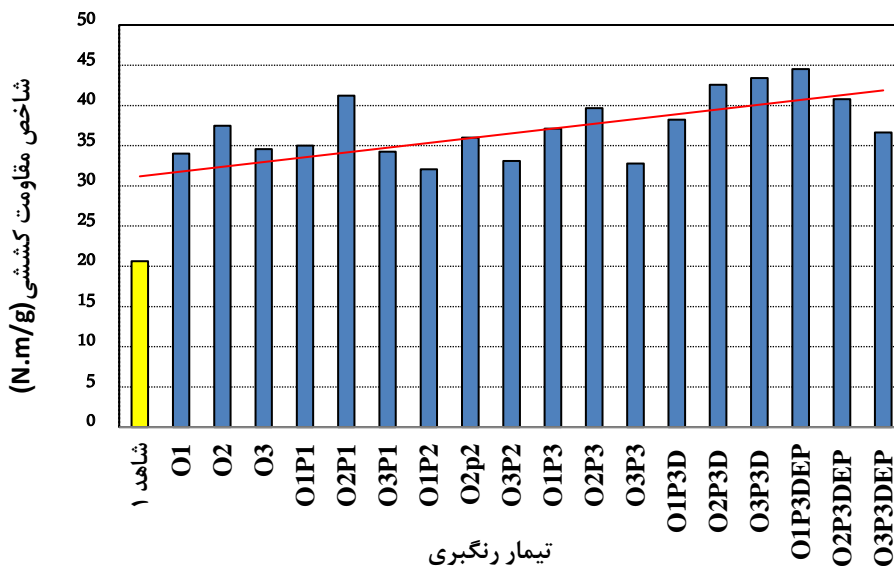
ماتی کاغذ

ماتی کاغذ به عنوان یکی از مشخصه‌های مهم در چاپ کاغذ مطرح است. یکی از دلایل دیده شدن محتویات چاپ شده در پشت کاغذهای چاپ و تحریر، ماتی یا کدری کم این نوع کاغذهاست. مقایسه بین میانگین ماتی کاغذهای رنگبری شده با نمونه شاهد طی مراحل مختلف رنگبری در شکل ۳ آورده شده است. آزمون تجزیه واریانس نشان داد که

بین میانگین دانسیته‌های کاغذ ساخته شده اختلاف معنی داری وجود دارد و گروه بندی دانکن از نظر آماری آنها را در گروه-های مختلفی قرار داد. نمونه شاهد با بیشترین ماتی (۱۰۰٪) در گروه مستقل a و نمونه کاغذ رنگبری شده طی توالی  $O_2P_3D(Ep)$  با کمترین ماتی (۸۸/۴۱٪) در گروه مستقل h قرار می‌گیرد.



شکل ۳- مقایسه ماتی کاغذهای ساخته شده از تیمارهای مختلف رنگبری خمیر کاغذ باگاس



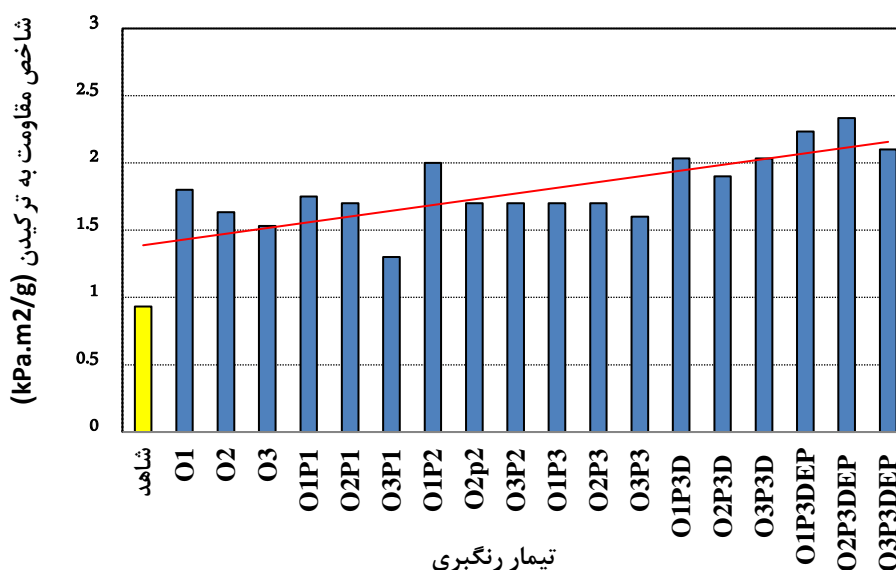
شکل ۴- مقایسه شاخص کششی کاغذهای ساخته شده از تیمارهای مختلف رنگبری خمیر کاغذ باگاس

## شاخص کشش

روند تغییرات شاخص مقاومت کششی خمیرکاغذهای رنگبری شده در مقایسه با نمونه رنگبری نشده در شکل ۴ قابل مشاهده است. به طوری که بین میانگین شاخص کششی کاغذهای ساخته شده اختلاف معنی داری وجود دارد. طبق گروه بندی دانکن از نظر آماری نمونه شاهد با کمترین شاخص کششی در گروه مستقل d و نمونه رنگبری شده با توالی  $O_1P_3D(E_P)$  با بیشترین شاخص کششی در گروه مستقل a قرار می گیرد و نسبت به نمونه شاهد بیش از دو برابر افزایش یافته است. روند تغییرات این مقاومت کاغذهای ساخته شده با افزایش مراحل رنگبری به صورت افزایشی است و افزایش مقدار پراکسید مورد استفاده در رنگبری (به ویژه تیمار  $P_2$ ) موجب افزایش شاخص کششی شده است.

## شاخص ترکیدن

بر اساس شکل ۵ مقایسه ای بین میانگین های شاخص ترکیدن نمونه شاهد (رنگبری نشده) و کاغذهای رنگبری شده انجام شده است. به نحوی که بین میانگین شاخص کششی کاغذهای ساخته شده طبق آنالیز واریانس میانگین داده ها، اختلاف معنی داری در سطح اعتماد ۹۹٪ وجود دارد. گروه بندی دانکن نیز از نظر آماری نمونه شاهد را با کمترین شاخص ترکیدن در گروه مستقل i و نمونه رنگبری شده با توالی  $O_2P_3D(E_P)$  را با بیشترین شاخص ترکیدن در گروه مستقل a قرار داده است که نسبت به نمونه شاهد حدود ۱۵۰٪ افزایش یافته است، اما با توالی رنگبری  $O_1P_3D(E_P)$  اختلاف معنی داری ندارد. البته روند تغییرات شاخص ترکیدن کاغذهای ساخته شده با افزایش مراحل رنگبری نیز به صورت افزایشی است.



شکل ۵- مقایسه شاخص ترکیدن کاغذهای ساخته شده از تیمارهای مختلف رنگبری خمیرکاغذ باگاس

## شاخص پارگی

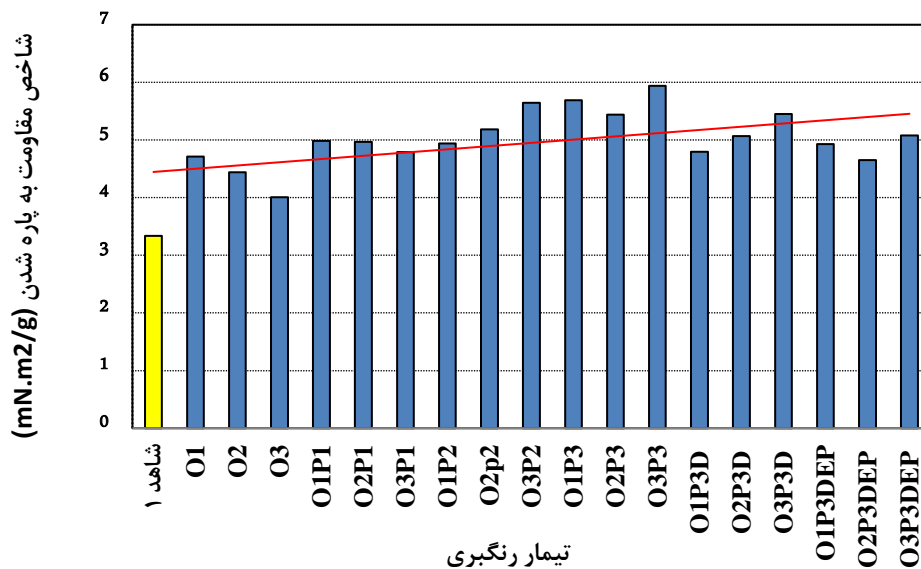
میانگین های شاخص پارگی نمونه شاهد و کاغذهای رنگبری شده در شکل ۶ مقایسه شده است. طبق آنالیز واریانس میانگین داده ها بین میانگین شاخص پارگی کاغذهای ساخته شده اختلاف معنی داری در سطح اعتماد ۹۹٪

وجود دارد. کمترین میانگین شاخص پارگی مربوط به نمونه شاهد بوده که در گروه مستقل g قرار گرفته و بیشترین میانگین شاخص پارگی به نمونه رنگبری شده با توالی  $O_3P_3$  تعلق دارد که در گروه مستقل a قرار گرفته و نسبت به نمونه شاهد حدود ۷۸٪ افزایش یافته است. میانگین شاخص پارگی کاغذ با



استفاده از دی‌اکسید کلر (مرحله D) مثل شاخص کششی روند صعودی داشته است.

انجام توالی رنگبری  $O_1P_3D(E_P)$  به  $4/93 \text{ mN.m}^2/\text{g}$  رسیده است. روند تغییرات شاخص پارگی کاغذهای ساخته‌شده با



شکل ۶- مقایسه شاخص پارگی کاغذهای ساخته‌شده از تیمارهای مختلف رنگبری خمیر کاغذ باگاس

رنگبری شده طی توالی  $O_1P_3D(E_P)$  نشان داد که می‌توان به روشنی حدود ۷۵٪ ایزو دست یافت که از خمیر کاغذ رنگبری شده در کارخانه (شاهد ۲) ۵٪ بیشتر است و از نظر زیست-محیطی یعنی کاهش ایجاد آلاینده‌هایی مانند کلر فرم، دی-اکسین‌ها و  $PCBs^1$  نیز حائز اهمیت است. این ترکیب‌ها علاوه بر مشکلاتی که برای آلودگی آب‌ها ایجاد می‌کنند می‌توانند در کاربرد محصولات کاغذی ساخته‌شده از خمیرهای کاغذ رنگبری شده با روش فعلی کارخانه مشکلاتی را برای مصرف‌کننده ایجاد نمایند. در صورتی که روشنی حدود ۸۰٪ ایزو برای فراورده نهایی کاغذی مورد نظر باشد، می‌توان از سطوح بالاتر پراکسید (مثل تیمار  $P_1$ ) بعد از مرحله رنگبری با اکسیژن یعنی توالی  $O_1P_2$  و/یا افزایش مقدار پراکسید مورد استفاده در مرحله انتهایی توالی رنگبری (بیشتر از ۱٪) استفاده کرد.

## بحث

با افزایش دانسیته کاغذ، انتظار افزایش پیوندهای بین لیفی در کاغذ را داشته که می‌تواند منجر به افزایش مقاومت‌های کاغذ شود. به‌طور کلی، روند تغییرات دانسیته کاغذهای ساخته‌شده با افزایش مراحل رنگبری به‌صورت افزایشی است. از آنجایی که دانسیته کاغذ با ضخامت کاغذ رابطه معکوس دارد، از این رو با کاهش ضخامت کاغذ، روند تغییرات دانسیته نیز صعودی است. روند تغییرات روشنی کاغذهای ساخته‌شده با افزایش مراحل رنگبری به‌صورت افزایشی است. افزایش مقدار پراکسید مورد استفاده در رنگبری تا ۲٪ (تیمارهای  $P_2$ ) موجب افزایش روشنی تا حدود ۶۰٪ ایزو شده است که می‌تواند نوید عدم استفاده از مرحله رنگبری D و به‌عبارت بهتر استفاده از روش TCF را به‌جای ECF برای رنگبری خمیر باگاس بدهد. روشنی کاغذ ساخته‌شده از خمیر

چاپ شیمیایی استاندارد ملی ایران ۴۱۲۰ است. مقایسه مقاومت‌های کاغذ تهیه شده از باگاس با توالی مذکور، حکایت از بیشتر بودن آنها نسبت به کاغذ سفید تجاری کارخانه پارس دارد. همچنین شاخص کششی و ترکیب کاغذ ساخته شده از توالی منتخب، نسبت به گزارش Vaysi و همکاران (۲۰۱۶) به ترتیب حدود ۱۰۰٪ و ۵۰٪ بیشتر است. نکته قابل توجه اختلاف نتایج این تحقیق با گزارش مذکور، افزایش همه مقاومت‌ها با رنگبری خمیرکاغذ باگاس نسبت به خمیرکاغذ رنگبری نشده در این تحقیق است.

#### نتیجه‌گیری

این تحقیق به منظور امکان‌سنجی تغییر توالی رنگبری خمیرکاغذ باگاس با روش متداول در کارخانه کاغذسازی پارس انجام شد. به این منظور، از روش رنگبری ECF با انجام توالی  $OPD(Ep)$  استفاده شد. سپس روشی و زردی کاغذ حاصل با کاغذ تهیه شده از خمیر رنگبری شده باگاس (با توالی EH) در کارخانه و نیز خواص کاغذ تهیه شده از خمیر رنگبری نشده باگاس مقایسه شد. نتیجه‌گیری به دست آمده از این تحقیق به شرح زیر خلاصه شده است.

افزایش مدت زمان تیمار خمیرکاغذ به‌تنهایی با اکسیژن از ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه تأثیر معنی‌داری بر روشی کاغذها نداشت اما بازده، دانسیته، مقاومت به ترکیب و پاره شدن کاغذ را کاهش داد. از این رو استفاده از مدت زمان تیمار با اکسیژن ۳۰ دقیقه برای رنگبری باگاس توصیه می‌شود.

استفاده از پراکسید هیدروژن پس از تیمار خمیرکاغذ باگاس با اکسیژن نشان داد که به دلیل گران‌قیمت بودن پراکسید و افزایش بازده می‌توان از ملایم‌ترین تیمار یعنی  $P_3$  با اعمال توالی‌های بعدی برای رسیدن به روشی ۷۵٪ ایزو استفاده کرد. در صورتی که روشی بیشتری مورد نظر باشد ( $> ۸۰\%$ ) می‌توان از تیمار  $P_1$  و/یا  $(Ep)$  با درصد بیشتر پراکسید ( $< ۱\%$ )

Bajpai (۲۰۱۳) استفاده از یک ماده رنگبر قوی مانند پروکسید هیدروژن را در مرحله انتهایی توالی علت سفیدتر شدن خمیرکاغذ به دلیل حذف لیگنین باقیمانده می‌داند. روند تغییرات زردی کاغذهای ساخته شده با افزایش توالی رنگبری به صورت کاهش است. استفاده از دی‌اکسید کلر در توالی رنگبری (مرحله D) موجب کاهش قابل توجهی در زردی کاغذها شده است که حکایت از خروج بخش قابل توجهی از گروه‌های رنگی<sup>۱</sup> حاصل از لیگنین موجود در خمیرکاغذ دارد. همچنین استفاده از ۲٪ پراکسید هیدروژن (مرحله P2) نیز موجب کاهش قابل ملاحظه این ویژگی در کاغذهای مورد بررسی شده است. مقدار زردی کاغذ رنگبری شده با توالی برتر نیز از زردی کاغذ شاهد ۲ به طور معنی‌داری کمتر است که در نتیجه نوید کندی بازگشت زردی کاغذ را می‌دهد. روند تغییرات ماتی کاغذهای ساخته شده با افزایش مراحل رنگبری به صورت کاهش است که این موضوع با افزایش روشی کاغذها بدیهی است. برای افزایش ماتی و رسیدن به ماتی مورد نظر برای چاپ، واحدهای تولید خمیرکاغذ سفید معمولاً از مواد معدنی مثل کربنات کلسیم استفاده می‌کنند. البته مقایسه ماتی خمیر رنگبری شده طی توالی  $O_1P_3D(Ep)$  با خمیرکاغذ رنگبری شده کارخانه نشان داد که این ویژگی در محدوده ذکر شده (۹۰٪-۸۵٪) است. ضریب پخش نور با تعداد پیوندهای بین‌لیفی در کاغذ ارتباط مستقیمی دارد (Džimbeg-Malčić و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین انتظار افزایش مقاومت‌های کاغذ با افزایش شدت رنگبری وجود دارد. افزایش مقدار پراکسید مورد استفاده در رنگبری (تیمارهای  $P_2$ ) موجب افزایش روشی تا حدود ۷۳٪ ایزو شده است که می‌تواند نوید عدم استفاده از مرحله رنگبری D و به عبارت بهتر استفاده از روش TCF به جای ECF را برای رنگبری خمیرکاغذ باگاس بدهد. مقایسه شاخص کششی کاغذ ساخته شده از خمیر رنگبری شده با توالی  $O_1P_3D(Ep)$  نشان داد که این مقاومت در محدوده کاغذ

استفاده نمود.

تغییر روش رنگبری فعلی کارخانه پارس توصیه می‌شود.

### منابع مورد استفاده

- Džimbeg-Malčić, V., Barbarić-Mikočević, Z. and Itrić, K., 2012. Kubelka – Munk theory in describing optical properties of paper, Tehnički vjesnik 19:1, 191-196.
- Ebrahimi barisa, R. and Tavakoli, H.R., 2013. Environmental pollutants in the pulp and paper industries and their control methods, 2th national conference on environmental protection and planning, 15 p.
- Fahmy, T.Y.A., Mobarak, F., El-Sakhawy, M. and Fadl, M.H., 2017. Agricultural residues (wastes) for manufacture of paper, board, and miscellaneous products: background overview and future prospects, International journal of chemtech research, 10:2, 424-448.
- Hashemi, S.R., 2015. Investigation on TCF bleaching of Tobacco stalk soda pulp, Iranian j. of wood and paper sci. and technology 29(4), 619-628.
- Hedjazi, S., Kordsachia, O., Patt, R., Jahan Latibari, A. and Tschirner, U., 2008. Bagasse alkaline sulfite-anthraquinone (AS/AQ) pulping and totally chlorine free (TCF) bleaching, Holzforschung, Vol. 62, pp. 142-148.
- Jung, H. and Sato, T., 2013. Comparison between the color properties of whiteness index and yellowness index on the CIELAB, Textile Coloration and Finishing, 25:4, 241-246.
- Lal, P.S., Bist, V., Godiyal, R. and Roy, T.K., 2008. MODIFIED Oxygen pretreatment of unbleached pulp of indigenous raw material for better bleachability, Central pulp and paper research institute Saharanpur (U.P.), India.
- Ragauskas, A.J., 2016. Basics of bleaching chemical pulps, Institute of Paper Science and Technology, Georgia institute of technology, 58 p.
- Sixta, H., 2006. Handbook of pulp, Pulp Bleaching: Sections 7.1-7.3.5, Wiley book publisher, 609-708.
- Ulrich Suess, H., 2010. Pulp Bleaching Today, Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin/New York, 309 p.
- Vaysi, R., Behrooz, R. and Khaj-e-Ali, 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.

رنگبری خمیرکاغذ باگاس با دی‌اکسید کلر (مرحله D) با توجه به تیمارهای مورد بررسی، به‌طور میانگین افزایش حدود ۱۳ درصدی را در روشنی خمیرکاغذ نشان داد. استفاده از دی‌اکسید کلر در توالی رنگبری موجب کاهش قابل‌توجهی در زردی کاغذها شده است که حکایت از خروج بخش قابل‌توجهی از گروه‌های رنگی موجود در خمیرکاغذ دارد. استفاده از مرحله آخر رنگبری یعنی مرحله (E<sub>p</sub>) برای خمیرکاغذ رنگبری نشده باگاس نیز به‌طور میانگین افزایش روشنی در حدود رنگبری با دی‌اکسید کلر (مرحله D) را در خمیرکاغذ نشان داد که منطبق با نتایج سایر محققان است.

رنگبری خمیرکاغذ با انجام توالی O<sub>1</sub>P<sub>3</sub>D(E<sub>p</sub>) نسبت به نمونه شاهد ۱ با روشنی ۳۹٪ ایزو (خمیر باگاس رنگبری نشده) منجر به تولید خمیرکاغذی با روشنی حدود ۷۵٪ ایزو شد که نسبت به خمیرکاغذ رنگبری شده کارخانه (شاهد ۲) با روشنی حدود ۷۰٪ ایزو حدود ۵٪ بیشتر است.

نتایج اندازه‌گیری ماتی کاغذهای ساخته‌شده از خمیر رنگبری شده طی توالی رنگبری O<sub>1</sub>P<sub>3</sub>D(E<sub>p</sub>) نسبت به نمونه شاهد (رنگبری نشده) نشان داد که این ویژگی حدود ۱۰٪ کاهش یافته است، اما استفاده از این توالی رنگبری موجب درجه ماتی مشابه نسبت به خمیرکاغذ تجاری رنگبری شده باگاس در کارخانه شده است.

نتایج اندازه‌گیری مقاومت‌های کاغذ با اعمال توالی رنگبری O<sub>1</sub>P<sub>3</sub>D(E<sub>p</sub>) حکایت از مناسب بودن مقاومت‌ها در مقایسه با کاغذ تجاری سفید کارخانه، استاندارد ملی ایران (۴۱۲۰) و سایر نتایج گزارش شده دارد.

استفاده از توالی رنگبری O<sub>1</sub>P<sub>3</sub>D(E<sub>p</sub>) برای خمیرکاغذ سودای باگاس، منجر به ساخت کاغذی با ویژگی‌های فیزیکی، نوری و مکانیکی قابل‌قبولی شده است، بنابراین برای

## Replacement of elemental chlorine-free (ECF) with the traditional method for bagasse soda pulp bleaching

S. Mahdavi

-Associate prof., Wood and Forest Products Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO). Tehran, Iran. Email: [smahdavi@rifr-ac.ir](mailto:smahdavi@rifr-ac.ir)

Received: April, 2020

Accepted: Sep., 2020

### Abstract

The aim of this study was to solve the environmental problems caused by bleaching of bagasse pulp using sodium hypochlorite in Pars paper mill. For this purpose, ECF bleaching was used by applying OQPDE<sub>P</sub> sequence. The properties of bleached paper were compared to the bagasse unbleached paper as control and the properties of paper made from bagasse bleached pulp by EH sequence. The results showed that increasing the oxygen delignification time of bagasse pulp from 30 to 120 minutes had no significant effect on paper brightness, but paper density, burst and tear indices decreased. Pulp bleaching by O<sub>1</sub>QP<sub>3</sub>D (E<sub>P</sub>) sequence compared to bagasse unbleached paper led to the paper brightness of about 75% ISO that is about 5% ISO more than the commercial bleached paper. Paper strengths were similar to commercial paper made of soda bagasse and the national standard of Iran (ISIRI 4120). Soda pulp bleaching using O<sub>1</sub>QP<sub>3</sub>D (E<sub>P</sub>) sequence has led to acceptable physical, optical and mechanical properties in addition to environmental benefits such as reduced pollution. Therefore, it is recommended to replace the current bleaching method of in Pars paper mill by new sequence.

**Keywords:** Bagasse, soda pulp, elemental chlorine-free, paper characteristics.