



دانشگاه گوارز، دانشکده منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و سوم، ویژه‌نامه ۱، ۱۳۹۵

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

تأثیر پیش‌ تیمار اکسیژن بر قابلیت رنگ‌بری خمیر کاغذ سودا- آنتراکینون حاصل از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه

*مریم احمدی^۱، حسین رسالتی^۲ و علی قاسمیان^۳

^۱کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲استاد گروه خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

^۳دانشیار گروه خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: صنایع کاغذسازی برای تأمین ماده اولیه خود و همچنین با هدف کاهش فشار بر مصرف چوب، در پی یافتن و به‌کارگیری دیگر منابع الیاف سلولزی نظیر باگاس، کاه و کلش، نی و بازیابی الیاف سلولزی مصرف شده (کاغذهای باطله) هستند. بسیاری از کشورهای تولیدکننده کاغذ امروزه به جمع‌آوری و بازیافت کاغذ و حتی واردات کاغذ باطله از سایر کشورها اقدام نموده‌اند. توسعه موفقیت‌آمیز یک فرایند لیگنین‌زدایی نیازمند فناوری با توانایی بهره‌گیری از تمام پتانسیل ماده اولیه است. بنابراین گزینش‌پذیری در لیگنین‌زدایی و رنگ‌بری پیش‌نیاز دستیابی به بازده بیشتر و ویژگی‌های نوری و مقاومتی مناسب است. با این وجود که فرآیند سودا و سودا - AQ مطلوب می‌باشد، ولی استفاده از قلیائیت زیاد در این فرآیندها باعث تخریب کربوهیدرات‌ها می‌شود. بنابراین در این تحقیق، تأثیر یک مرحله لیگنین‌زدایی با اکسیژن قبل از رنگ‌بری به روش ECF بر کاهش توالی و مصرف مواد شیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

*مسئول مکاتبه: ahmadi_302@yahoo.com

مواد و روش‌ها: به دلیل زیاد بودن میزان لیگنین موجود در الیاف کارتن باطله، از فرآیند خمیرسازی سودا-آنتراکینون جهت لیگنین‌زدایی اولیه استفاده شد. دو تیمار برای مقایسه تأثیر اکسیژن بر کاهش مراحل رنگ‌بری انتخاب شدند به طوری که یک تیمار بدون لیگنین‌زدایی اکسیژن با استفاده از توالی AD₁EpD₂P و تیمار دیگر با لیگنین‌زدایی اکسیژن با استفاده از توالی AD₁EpD₂ طبق شرایط مساوی، رنگ‌بری شدند.

یافته‌ها: استفاده از یک مرحله لیگنین‌زدایی با اکسیژن کاهش قابل ملاحظه در مقدار عدد کاپا و افت ناچیز بازده خمیر کاغذ OCC را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از یک مرحله لیگنین‌زدایی با اکسیژن، می‌توان از خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده با بازده و عددکاپای بیشتر استفاده نمود و پس از یک مرحله تیمار با اکسیژن نیز به بازده بیشتر و عدد کاپای تقریباً مشابه (کمتر از ۳) رسید و در نهایت این پیش‌تیمار تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر ویژگی‌های مقاومتی خمیر رنگ‌بری شده نهایی ایجاد نمی‌کند. همچنین با استفاده از لیگنین‌زدایی اکسیژن می‌توان با تعداد مراحل رنگ‌بری کمتر به ویژگی‌های نوری مشابه دست یافت و به عبارت دیگر با استفاده از یک توالی مشخص، خواص نوری مناسبی را تأمین کرد.

واژه‌های کلیدی: OCC، سودا-آنتراکینون، لیگنین‌زدایی با اکسیژن، رنگ‌بری و ECF

مقدمه

ایران کشوری است که تنها حدود ۷/۵ درصد آن توسط جنگل‌ها پوشیده شده و بدین خاطر در زمره کشورهای با پوشش جنگلی کم قرار می‌گیرد. صنایع کاغذسازی برای تأمین ماده اولیه خود و همچنین با هدف کاهش فشار بر مصرف چوب، در پی یافتن و به‌کارگیری دیگر منابع الیاف سلولزی نظیر باگاس، کاه و کلش، نی و بازیابی الیاف سلولزی مصرف شده (کاغذهای باطله) هستند. کاغذهای باطله یکی از عمده‌ترین مواد اولیه در کشورهای پیشرفته محسوب می‌گردند. بسیاری از کشورهای تولیدکننده کاغذ که قبلاً از منابع چوبی و یا سایر منابع لیگنوسلولزی برای تولید خمیرکاغذ استفاده می‌کردند، امروزه به جمع‌آوری و بازیافت کاغذ و حتی واردات کاغذ باطله از سایر کشورها اقدام نموده و با استفاده از خمیرهای بازیافتی انواع فرآورده‌های کاغذی و مصارف ویژه را تولید و به بازار عرضه می‌نمایند (۳). بر این اساس کاغذهای بازیافتی باید بتوانند با کاغذهای دست اول به خوبی رقابت کنند و در جریان تبدیل و مصرف، عملکرد خوبی داشته باشد.

کاغذ باطله را نمی‌توان به‌طور مداوم و با ارزش اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجه بازیافت کرد. با توجه به این‌که کاغذهای بازیافتی طی عمل جمع‌آوری و بازیافت به‌علت کاهش در پیوندهای درونی، بسیاری از خواص مقاومتی خود را از دست می‌دهند و کاغذی با خواص مکانیکی ضعیف تولید می‌کنند (۶، ۲۰ و ۲۱)، اما به‌کارگیری تیمارهای مختلف مکانیکی و شیمیایی می‌تواند در بهبود ویژگی‌های خمیر بازیافتی و پیوندیابی بین الیاف مؤثر واقع شود. طی سال‌های اخیر در دنیا در زمینه بازیافت کاغذهای قهوه‌ای (کارتن کنگره‌ای کهنه)، مرکب‌زدایی و رنگ‌بری کاغذهای باطله تحقیقات وسیعی در حال اجرا است. فرآیند خمیرسازی مجدد بر روی ساختار الیاف کارت‌های باطله OCC^۱ نشان می‌دهد که با افزایش زمان خمیرسازی مجدد، برش الیاف اتفاق می‌افتد و آنالیز طیف FTIR ساختار کریستالیت سلولز نیز اثبات نمود که گروه‌های عاملی جدید تشکیل نمی‌شود و مقاومت پیوند هیدروژنی در ابتدا زیاد و سپس کاهش می‌یابد (۸). در بررسی‌های صورت گرفته توسط محققان در زمینه خمیرسازی OCC مشاهده شد که افزودن آنتراکینون (۰/۰۵-۰/۱ درصد) به خمیرسازی سودا در مقایسه با فرآیندهای سودا و کرافت، سبب تسریع در فرآیند لیگنین‌زدایی و افزایش بازده می‌شود. پس از رنگ‌بری با توالی DEpDD، درجه روشنی خمیر به محدوده ۸۴-۸۱ درصد رسید (۱۷).

محققان با استفاده از یک مرحله لیگنین‌زدایی اکسیژن‌قلیایی خمیر کارت‌ن کنگره‌ای کهنه به این نتیجه رسیدند که می‌توان بدون افت ویژگی‌های کیفی به خمیر کاغذ قابل رنگ‌بری دست یافت (۵، ۱۹ و ۲۳) و خمیر کاغذ رنگ‌بری شده، قابلیت تولید کاغذ چاپ و تحریر را نیز دارد (۲۲). لیگنین‌زدایی با اکسیژن در خمیر کاغذ سوزنی‌برگان سبب افزایش انعطاف‌پذیری و قابلیت پیوندیابی می‌شود (۲۶).

های‌وود در سال ۱۹۹۴، ارتقاء کیفیت خمیر OCC را با استفاده از لیگنین‌زدایی و رنگ‌بری به روش‌های ECF^۲، TCF^۳ مورد بررسی قرار داد. به‌دلیل قرار داشتن عدد کاپا در محدوده ۸۰ تا ۱۰۰ از پخت کرافت به‌منظور لیگنین‌زدایی و ارتقاء کیفیت خمیر کاغذ حاصله استفاده نمود. نتایج حاکی از آنست که کیفیت خمیر کاغذ کرافت حاصل از OCC، با استفاده از لیگنین‌زدایی اکسیژن (۴) و دی‌اکسیدکلر یا پراکسید هیدروژن و ازن، بهبود یافت. در بررسی‌های صورت گرفته توسط سایر محققان نیز افزایش درجه روشنی بیش از ۸۰ درصد با تأثیر ناچیز بر روی ویسکوزیته با استفاده از لیگنین‌زدایی با اکسیژن و رنگ‌بری با استفاده از دی‌اکسیدکلر به اثبات رسید (۲۴).

1- Old Corrugated Container

2- Elemental Chlorin Free

3- Total Chlorin Free

گزینش‌پذیری در لیگنین‌زدایی و رنگ‌بری پیش‌نیاز دست‌یابی به بازده بیشتر و ویژگی‌های مقاومتی و نوری مناسب است. با وجودی که فرآیند سودا و سودا-اکسیژن مطلوب می‌باشد، ولی نتایج محققان نشان داد، استفاده از قلیائیت زیاد در این فرآیندها باعث تخریب کربوهیدرات‌ها می‌شود (۹، ۱۰ و ۲۵). در این تحقیق، تأثیر یک مرحله لیگنین‌زدایی با اکسیژن قبل از رنگ‌بری به روش ECF بر کاهش توالی رنگ‌بری و ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرکاغذ رنگ‌بری شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، از کارتن‌های بسته‌بندی قهوه‌ای و سفید عاری از مواد آلاینده‌های فیزیکی استفاده شد. خمیرسازی با استفاده از خمیرساز آزمایشگاهی^۱ در درصد خشکی ۵ درصد صورت گرفت. پس از آب‌گیری از سوسپانسیون الیاف و تعیین درصد رطوبت به منظور عدم تبادل رطوبت با محیط، داخل پلاستیک‌های پلی اتیلنی قرار داده شدند.

تهیه خمیر کاغذ سودا-آتراکینون: فرآیند لیگنین‌زدایی در سه سطح هیدروکسید سدیم ۸، ۱۰ و ۱۲ درصد، در سه زمان ۲، ۳ و ۴ ساعت، درصد خشکی ۱۰ درصد، آتراکینون ۰/۱ درصد و بیشترین دمای پخت ۱۵۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد و پس از انجام پخت‌های متعدد، ۲ تیمار مناسب از نظر بازده و عدد کاپا برای رنگ‌بری تعیین گردیدند. یک تیمار در سطح ۱۲ درصد هیدروکسید سدیم و ۳ ساعت زمان و دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد با بازده ۷۳/۵ درصد و عدد کاپای ۴۱/۷ برای لیگنین‌زدایی با اکسیژن و تیمار دیگر در سطح ۱۲ درصد هیدروکسید سدیم ۴ ساعت زمان و دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد با بازده ۶۶/۵ درصد و عدد کاپای ۲۹ بدون لیگنین‌زدایی با اکسیژن جهت رنگ‌بری انتخاب شدند.

لیگنین‌زدایی با اکسیژن: فرآیند لیگنین‌زدایی اکسیژن در دو سطح هیدروکسید سدیم ۳ و ۴ درصد، سولفات منیزیم ۰/۱ درصد، فشار اکسیژن ۶ و ۷ بار، دما ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۲۰ دقیقه و درصد خشکی ۱۰ درصد انجام گرفت. ابتدا ۱۰۰ گرم خمیرکاغذ (بر مبنای وزن خشک) پخته شده به کمک سودا-آتراکینون، با محلول سولفات منیزیم در داخل کیسه پلی اتیلنی به مدت ۵ دقیقه کاملاً مخلوط گردید. سپس مایع پخت قلیایی تهیه شده به آن اضافه شده و کاملاً مخلوط گردیدند. پس از تنظیم درصد خشکی، خمیرکاغذ به داخل محفظه پخت منتقل شد و سپس گاز اکسیژن تا رسیدن به فشار موردنظر، به داخل محفظه تزریق شد.

1- Disintegrator

رنگبری به روش ECF: در مرحله پیش تیمار اسیدی، از اسید سولفوریک رقیق برای تنظیم pH خمیر کاغذ در محدوده ۲-۲/۵ با درصد خشکی ۱۰ درصد در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه انجام شد. فرآیند رنگبری خمیر کاغذ با دو توالی ADEp₂DP₂ (تیمار اسید سولفوریک-دی اکسید کلر- استخراج قلیایی با حضور پروکسید هیدروژن- دی اکسید کلر) و ADEp₂D (تیمار اسید سولفوریک- دی اکسید کلر- استخراج قلیایی با حضور پروکسید هیدروژن- دی اکسید کلر) طبق شرایط ذکر شده در جدول ۱ انجام شد. در رنگبری شیمیایی جهت دستیابی به درجه روشنی مناسب، از مقادیر مختلف دی اکسید کلر بر اساس کلر قابل دسترس و با فاکتور کاپای ۰/۳ و نیز پروکسید هیدروژن در مراحل مختلف استفاده شد. در مرحله Ep از سطوح مختلف پروکسید هیدروژن (Ep₁= ۰/۲ %، Ep₂= ۰/۵ % و Ep₃= ۱ %) و در مرحله نهایی P از دو سطح پروکسید هیدروژن P₁= ۱ % و P₂= ۲ % استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از پیش تست های اولیه، شرایط و توالی بهینه رنگبری تعیین گردید.

جدول ۱- شرایط بهینه رنگبری شیمیایی خمیر کاغذ سودا-AQ

Table 1. Optimum condition of chemical bleaching of soda-AQ.

پروکسید هیدروژن	دی اکسید کلر	استخراج قلیایی	دی اکسید کلر	شرایط
Hydration peroxide (P)	Chlorine Dioxide (D ₂)	Alkaline extraction (Ep)	Chlorine Dioxide (D ₁)	Condition
10	10	10	10	درصد خشکی (%) Consistency
70	70	70	70	دما (°C) Temperature
90	120	60	60	زمان (دقیقه) Time (min)
0.75	-	5.22	-	هیدروکسید سدیم (%) NaOH ¹
-	1.87- 2.17	-	7.5-8.7	دی اکسید کلر بر پایه کلر قابل دسترس ¹ (%) Chlorine dioxide, On the basis of available chlorine ¹ (%)
2	-	0.5	-	پروکسید هیدروژن ¹ (%) Hydration Peroxide ¹
0.3	-	0.3	-	DTPA (%) ¹
2	-	-	-	سیلیکات سدیم (%) Sodium Silicate ¹

۱- بر مبنای وزن خشک الیاف

1- Based on oven dry weight

هر مرحله رنگ‌بری، با استفاده از کیسه‌های پلی‌اتیلنی و در داخل حمام آب گرم قرار گرفت. بعد از پایان هر مرحله، خمیر کاغذ روی الک با اندازه ۲۰۰ مش شسته شد و در شرایط تاریک و خنک نگه‌داری شد. خمیر کاغذ رنگ‌بری شده از کارتن‌های باطله توسط دستگاه پالایشگر PFI تا رسیدن به درجه روانی^۱ ۴۰۰ میلی‌لیتر پالایش شد. از خمیرهای پالایش شده کاغذ دست‌ساز تهیه و ویژگی‌های نوری و مقاومتی ارزیابی شدند.

ارزیابی خمیر کاغذ و کاغذ: آزمون‌های خمیر کاغذ و کاغذ دست‌ساز بر طبق استانداردهای زیر در آیین‌نامه TAPPI انجام شد. اندازه‌گیری عدد کاپای خمیر کاغذ طبق شماره استاندارد T236 om-99، تعیین درجه روانی خمیر کاغذ به شماره استاندارد T227 om-04، پالایش خمیر کاغذ به شماره T248 sp-00، کاغذ دست‌ساز به شماره T205 sp-02، مقاومت به ترکیدگی طبق شماره T 403 om-02، مقاومت به کشش به شماره T1009 om-06، مقاومت به پاره شدن به شماره T 414 om-04، ضخامت به شماره T411 om-89، درجه‌روشنی به شماره T452 om-02 و ماتنی به شماره T425 om-01 انجام شد. فاکتور L^۲ (سفیدی) کاغذ پس از رنگ‌بری در مقیاس CIELab با استفاده از دستگاه Datacolor Elerpho 2000 اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های خمیر کاغذهای رنگ‌بری شده با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب آزمون T-Test مستقل انجام شد.

نتایج و بحث

خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون: بر اساس شرایط فرآیندی مندرج در جدول ۲ و با توجه به هدف این مرحله، رسیدن به شرایط مناسب لیگنین‌زدایی OCC برای تولید خمیر کاغذ قابل رنگ‌بری بوده است لذا دو خمیر کاغذ با مقدار بازده و عدد کاپای مناسب انتخاب شدند. گزینش‌پذیری در لیگنین‌زدایی و رنگ‌بری پیش‌نیاز دست‌یابی به بازده بیشتر و ویژگی‌های نوری و مقاومتی خوب است (۹ و ۱۰). یک تیمار با ۱۲ درصد قلیا، ۳ ساعت پخت و دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد با بازده ۷۳/۵ درصد و عدد کاپای ۴۱/۷ برای لیگنین‌زدایی با اکسیژن انتخاب گردید و با استفاده از توالی AD₁EpD₂ رنگ‌بری شد. تیمار دیگر با ۱۲ درصد قلیا و ۴ ساعت زمان و دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد با بازده ۶۶/۵ درصد و عدد کاپای ۲۹ بدون لیگنین‌زدایی با اکسیژن و با استفاده از توالی AD₁EpD₂P، رنگ‌بری شد.

1- Canadian Standard Freeness

2- Lightness

جدول ۲- شرایط فرآیندی جهت لیگنین زدایی خمیر کاغذ سودا- آنتراکینون.

Table 2. Process condition for delignification of soda-AQ pulp.

عدد کاپا Kappa number	بازده (%) Yield (%)	آنتراکینون ^۱ AQ ^۱	دمای پخت (سانتی گراد) Temp (°C)	زمان پخت (ساعت) Time (h)	هیدروکسید ^۱ سدیم (%) NaOH ^۱ (%)	ردیف Raw
56.78	78.1	0.1	150	2	8	1
56.48	77.05	0.1	150	2	10	2
46.8	75.3	0.1	150	2	12	3
41.67	73.56	0.1	150	3	12	4
46.04	70.2	0.1	150	4	12	5
35.74	67.85	0.1	160	3	12	6
29	66.5	0.1	160	4	12	7

۱- بر مبنای وزن خشک الیاف

1- Based on oven dry weight

لیگنین زدایی با اکسیژن: نتایج حاصل از آزمون‌های اولیه در جدول ۳ نشان داده شده است. شرایط بهینه لیگنین زدایی با اکسیژن، بر اساس میزان لیگنین زدایی مناسب برای رنگ‌بری، تیمار با مقدار قلیا ۴ درصد، زمان ۱۲۰ دقیقه و فشار ۷ بار انتخاب گردید. نتایج نشان داد که استفاده از یک مرحله لیگنین زدایی با اکسیژن این فرصت را فراهم می‌کند تا بتوان از خمیر کاغذی با بازده بیشتر استفاده نمود (۲۹). در نتیجه مرحله لیگنین زدایی با اکسیژن برای گسترش مرحله پخت با کاهش جزئی بازده اما کاهش قابل توجه عدد کاپا ترجیح دارد (۹ و ۱۰). همان‌طور که ملاحظه می‌شود تیمار شماره ۳ در جدول ۳ عدد کاپای خمیر کاغذ، پس از لیگنین زدایی با اکسیژن به مقدار ۲۵/۷ کاهش یافت که دلیل گزینش پذیر بودن اکسیژن نسبت به قلیا را نشان می‌دهد. حتی از عدد کاپای خمیر کاغذ مربوط به تیمار با ۱۲ درصد قلیا، ۴ ساعت و دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، با شرایط تیمار شیمیایی شدیدتر، نیز کمتر است. با وجودی که از فرآیند سودا و سودا- اکسیژن استفاده شده است، ولی استفاده از قلیابیت زیاد در این فرآیندها باعث تخریب کربوهیدرات‌ها می‌شوند. بنابراین برای جبران و حفظ بیشتر کربوهیدرات‌ها یک مرحله لیگنین زدایی با اکسیژن راه حل مناسبی است (۱۳).

لازم به ذکر است که در این مرحله، مقدار درصد خشکی ۱۰ درصد، دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و سولفات منیزیم ۰/۱ درصد ثابت است.

جدول ۳- نتایج لیگنین زدایی با اکسیژن برای خمیر کاغذ سودا-AQ

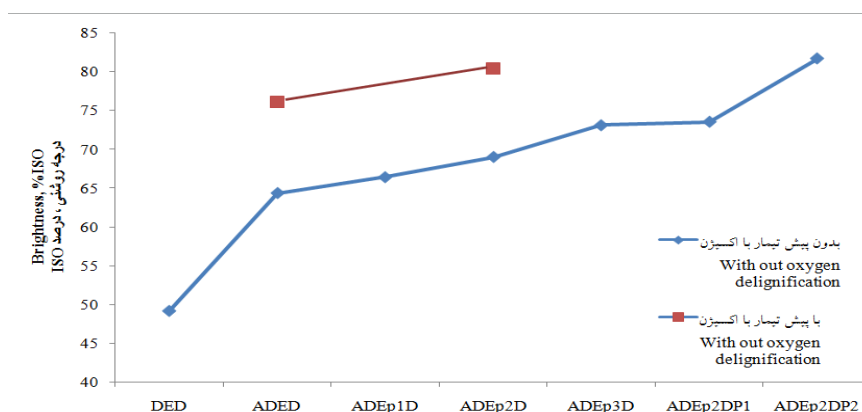
Table 3. Result of oxygen delignification for soda-AQ pulp.

بازده (درصد) ^۱ Yield (%)	عدد کاپا Kappa number		زمان (دقیقه) Time (min)	فشار اکسیژن (بار) Oxygen pressure (bar)	هیدروکسید سدیم ^۱ (درصد) NaOH ^۱ (%)	شماره تیمار Teat number
	نهایی final	اولیه Initial				
96.2	32	41.67	60	6	3	1
92.06	29	41.67	90	7	4	2
89	25.7	41.67	120	7	4	3

۱- بازده نسبت به خمیر تیمار نشده با اکسیژن

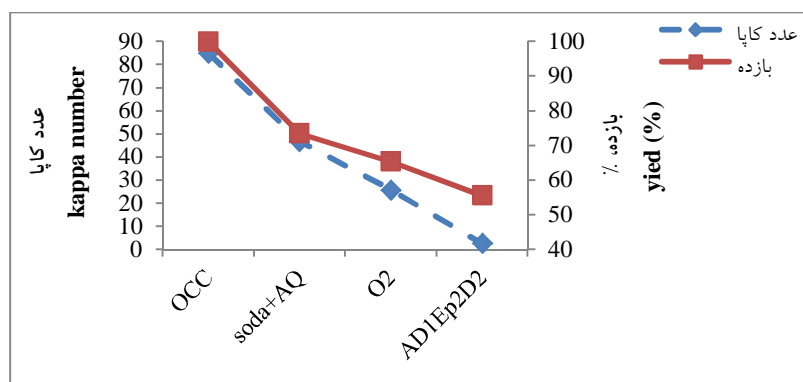
1- Based on oven dry weigh of without oxygen delignification.

رنگ‌بری به روش ECF در رنگ‌بری شیمیایی از توالی‌های مختلف برای رنگ‌بری دو نمونه خمیر کاغذ شیمیایی منتخب مورد بررسی قرار گرفت. یک مرحله پیش‌تیمار اسیدی سبب کاهش pH خمیر کاغذ و افزایش عملکردی دی‌اکسید کلر در مرحله اول می‌شود. چنانچه در شکل ۱ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار درجه‌روشنی مربوط به توالی AD₁EpD₂P بدون پیش‌تیمار با اکسیژن و توالی OAD₁EpD₂ با پیش‌تیمار اکسیژن می‌باشد. با افزایش ماده شیمیایی رنگ‌بر، اکسیداسیون ترکیبات آروماتیک و رنگ‌ساز افزایش یافته و درجه‌روشنی نهایی خمیر کاغذ کاهش می‌یابد. با توجه به درجه‌روشنی نهایی، دو توالی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. کاغذهای ساخته شده از نظر پالایش‌پذیری و ویژگی‌های مقاومتی و نوری با هم مقایسه شدند.

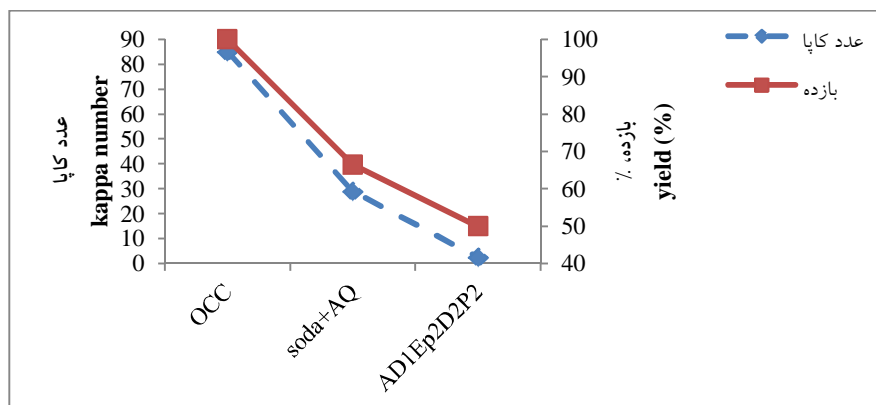


شکل ۱- تغییرات درجه‌روشنی طی توالی‌های مختلف رنگ‌بری خمیر کاغذ سودا-AQ با و بدون پیش‌تیمار با اکسیژن.
Figure 1. The change Brightness conversion bleaching sequence of soda-AQ with and without oxygen delignification.

تغییرات عدد کاپا و بازده طی مراحل مختلف لیگنین زدایی: عدد کاپا در واقع معیاری از لیگنین باقی مانده در خمیر کاغذ می باشد. تعیین عدد کاپا، آزمایشی است که برای تعیین درجه لیگنین زدایی و قابلیت رنگبری به کار می رود. هر قدر عدد کاپای خمیر زیادتر باشد، خمیر تیره تر و برای رنگبری آن نیاز به مواد شیمیایی بیشتر بوده و اساساً این کار دشوارتر می گردد (۱ و ۱۴)، از طرفی زیاد بودن عدد کاپا به معنی صرف هزینه بیشتر به منظور رنگبری خمیر کاغذ می باشد (۲۵). تغییرات عدد کاپا و بازده خمیر کاغذ بعد از هر مرحله لیگنین زدایی شامل سودا- آنتراکینون، لیگنین زدایی با اکسیژن و رنگبری در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که با استفاده از یک مرحله لیگنین زدایی با اکسیژن، می توان از خمیر کاغذی با بازده و عدد کاپای بیشتر استفاده نمود و در نهایت پس از تیمار نیز به بازده بیشتر و عدد کاپای تقریباً مشابه (کمتر از ۳) رسید (۱۵). در حالت تیمار با اکسیژن، افت بازده کمتر و کاهش مقدار عدد کاپا بیشتر است. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین کاهش بازده در مرحله خمیرسازی اتفاق افتاده است (۲ و ۱۱). طی این مرحله بخشی از مواد تشکیل دهنده دیواره الیاف OCC در مایع پخت حل شده است. لیگنین زدایی با اکسیژن پلی است بین مرحله پخت و رنگبری. بنابراین اگر فقط مرحله پخت باشد، خمیر کاغذ با عدد کاپای زیاد وارد مرحله رنگبری می شود. در نتیجه مرحله لیگنین زدایی با اکسیژن برای گسترش مرحله پخت با کاهش جزئی بازده اما کاهش قابل توجه عدد کاپا ترجیح داده می شود (۲۵).



شکل ۲- تغییرات عدد کاپا و بازده خمیر کاغذ رنگبری شده با استفاده از پیش تیمار اکسیژن.
Figure 2. The change of kappa and yield bleached pulp with oxygen delignification.



شکل ۳- تغییرات عدد کاپا و بازده خمیر کاغذ رنگ‌بری شده بدون پیش تیمار اکسیژن.

Figure 3. The change of kappa number and yield bleached pulp without oxygen delignification.

پالایش: پس از تعیین درجه‌روانی اولیه خمیرهای رنگ‌بری شده، پالایش به‌منظور دستیابی به درجه‌روانی 400 ± 25 (ml, CSF) در دوره‌های متفاوت صورت پذیرفت. در جدول ۴ درجه‌روانی و دوره‌های پالایش خمیرهای رنگ‌بری شده ارائه شدند. پالایش یکی از مهم‌ترین تیمارهای فیزیکی انجام شده بر خمیر کاغذ پیش از کاغذسازی است. پالایش به‌طور مؤثری بر ویژگی فیزیکی ورقه‌های کاغذ تهیه شده تأثیرگذار است. هدف از پالایش افزایش سطح تماس بین الیاف به وسیله عمل فیبریله شدن الیاف است. خمیر کاغذ رنگ‌بری شده با توالی OAD_1EpD_2 در مقایسه با توالی AD_1EpD_2P جهت دستیابی به درجه‌روانی مشخص، به انرژی پالایش کمتری نیاز دارد. پیش‌بینی می‌شود، فراوانی نسبی همی سلولز و سلولز در خمیر کاغذهای رنگ‌بری شده میزان پالایش‌پذیری را تحت تأثیر قرار داده است.

جدول ۴- تعداد دور پالایش مورد نیاز جهت دستیابی به درجه‌روانی مشابه حدود 400 CSF، ml

Table 4. The rounds per minute Refiner required to achieve similar freeness about 400CSF, ml.

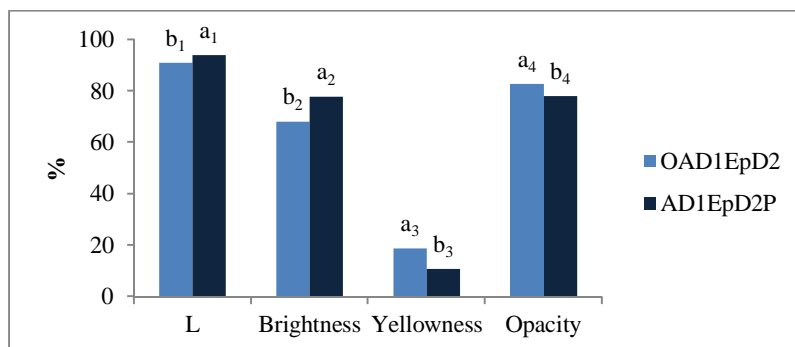
درجه‌روانی نهایی ml, CSF	تعداد دور پالایش	درجه‌روانی اولیه ml, CSF	توالی رنگ‌بری
Final freeness	PFI revolutions	Initial freeness	Bleaching Sequence
410	3000	520	AD_1EpD_2P
400	2000	520	OAD_1EpD_2

ویژگی‌های نوری: مقادیر ویژگی‌های نوری از قبیل فاکتور L، درجه‌روشنی، زردی و ماتی خمیر کاغذهای رنگ‌بری شده به روش ECF و با استفاده از دو توالی OAD_1EpD_2 و AD_1EpD_2P در شکل ۴ نشان داده شده است. بین مقادیر ویژگی‌های نوری کاغذهای حاصله اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد وجود دارد.

درجه‌روشنی و مقدار فاکتور L (سفیدی) خمیر رنگ‌بری شده با توالی AD_1EpD_2P بیشتر و مقدار زردی و ماتی نیز کمتر از توالی OAD_1EpD_2 است. درجه‌روشنی با مقدار سفیدی رابطه مستقیم دارد. با افزایش درجه‌روشنی مقدار ماتی و زردی کاهش می‌یابد (۱). لیگنین عامل جذب نور مرئی است و کاهش جذب نور به معنی افزایش درجه‌روشنی می‌باشد. درجه‌روشنی و مقدار فاکتور L (سفیدی) خمیر رنگ‌بری شده با توالی AD_1EpD_2P بیشتر و مقدار زردی و ماتی نیز کمتر از توالی OAD_1EpD_2 است.

روند تغییرات زردی عکس درجه‌روشنی است. وجود گروه‌های آروماتیکی، گروه‌های رنگ‌ساز و گروه‌های جذب نور، باعث افزایش ضریب جذب نور شده، کاهش درجه‌روشنی و افزایش زردی کاغذهای دست‌ساز را به دنبال دارند (۱ و ۱۴). به‌نظر می‌رسد، تیمار با AD_1EpD_2P در مقایسه با OAD_1EpD_2 ، گروه‌های رنگ‌ساز بیشتری از خمیرکاغذ حذف شده است. استفاده از یک مرحله پروکسیدهدروژن سبب یکنواختی نوری به‌طور مؤثر می‌شود (۱۸).

ماتی یک خاصیت مهم کاغذهای چاپ و تحریر می‌باشد که با مجموعه نور عبور کرده از کاغذ تعیین می‌شود. طبق تئوری کوبلکا-مونک هر عاملی که میزان پراکنش و میزان جذب نور را افزایش دهد سبب افزایش مقدار ماتی خواهد شد. عوامل مؤثر روی میزان جذب، پراکنش نور و تغییر در ماتی کاغذ، میزان لیگنین موجود در دیواره الیاف و وجود فضای خالی بین الیاف می‌باشد (۲). در شکل ۴ نشان می‌دهد که وجود یک مرحله پروکسیدهدروژن در تیمار AD_1EpD_2P سبب تغییر در ساختار لیگنین و سایر گروه‌های رنگ‌ساز موجود در دیواره الیاف شده است (۱ و ۲). همچنین مشاهده اختلاف معنی‌دار بین حجم ویژه این دو تیمار هم این مسئله را ثابت می‌کند. به‌طوری که با افزایش حجم ویژه، مقدار پراکنش نور نیز افزایش یافته که این مسئله سبب افزایش ماتی کاغذ می‌گردد.



شکل ۴- ویژگی‌های نوری خمیر کاغذ رنگ‌بری شده با و بدون استفاده از پیش‌تیمار اکسیژن. (حروف‌ها نشان دهنده تفاوت معنی‌داری می‌باشند).

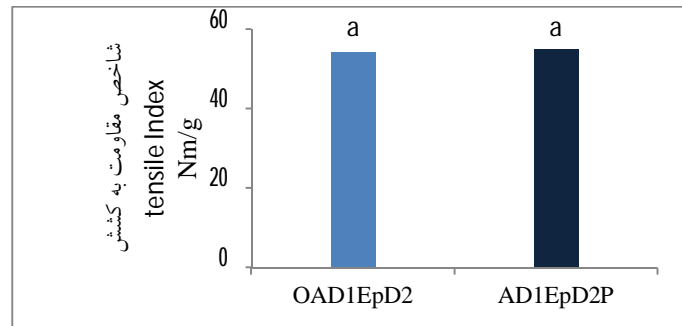
Figure 4. Optical properties bleached pulp with and without oxygen delignification (Letters indicate significant differences).

جدول ۵- نتایج آزمون تی تست مستقل تأثیر پیش‌تیمار اکسیژن بر ویژگی‌های کاغذ رنگ‌بری شده.

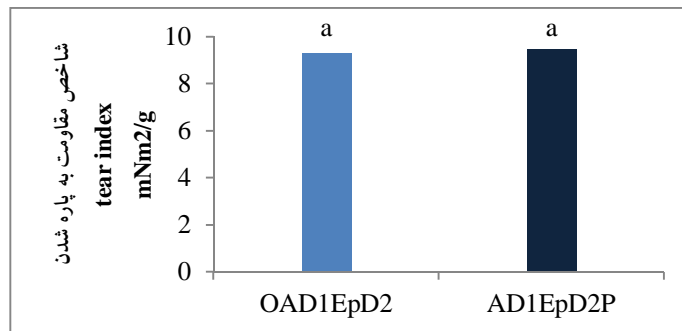
Table 5. Results of Independent t-test on the influence oxygen delignification.

میانگین‌ها Averages		P	d.f	t	متغیر variable
ADEpDP	OADepD				
94.07±0.012	91.09±0.29	0.001	4	10.22	L, L factor, فاکتور
77.76±0.08	68.05±1.08	0.001	4	8.91	Brightness (% ISO) درجه روشنی
10.94±0.3	18.83±0.73	0.001	4	9.98	Yellowness زردی
78.1±1	82.70±0.2	0.011	2.17	4.48	Opacity ماتی

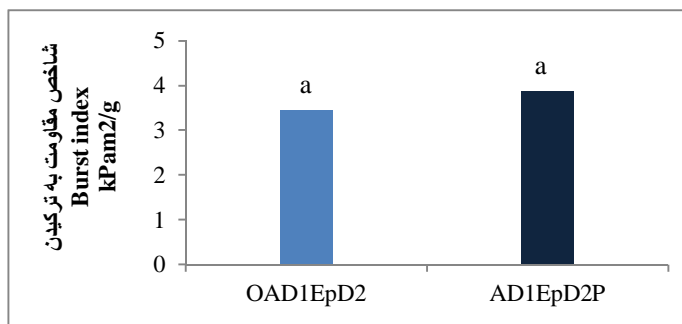
ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی: نتایج حاصل از تأثیر اکسیژن بر خمیر کاغذ شیمیایی سودا-AQ و توالی‌های رنگ‌بری بر ویژگی‌های ساختاری و مقاومتی خمیر کاغذ OCC در شکل‌های ۵ الی ۹ نشان داده شده است. نتایج حاصل از مقایسه ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ رنگ‌بری شده با و بدون استفاده از پیش‌تیمار اکسیژن نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. بنابراین طبق نتایج این تحقیق، به نظر می‌رسد استفاده از یک مرحله لیگنین‌زدایی با اکسیژن سبب کاهش قابل توجه عدد کاپا شده است در حالی که تخریب الیاف و کاهش مقاومت ایجاد نشده است و با یافته‌های سایر محققان نیز مطابقت دارد (۲، ۵، ۱۹ و ۲۳).



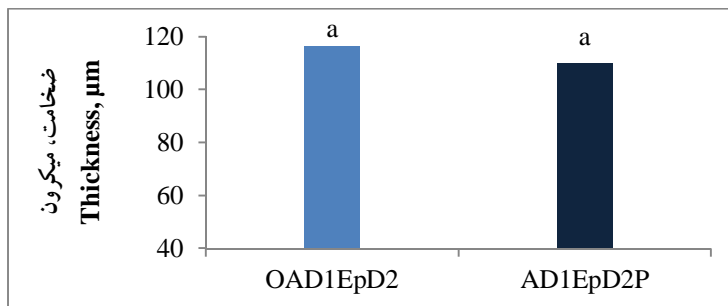
شکل ۵- مقایسه شاخص مقاومت به کشش خمیر کاغذ رنگ‌بری شده با و بدون استفاده از پیش تیمار اکسیژن.
 Figure 5. Comparison of tensile index bleached pulp with and without the oxygen delignification.



شکل ۶- مقایسه شاخص مقاومت به پاره شدن خمیر کاغذ رنگ‌بری شده با و بدون استفاده از پیش تیمار اکسیژن.
 Figure 6. Comparison of tear index bleached pulp with and without the oxygen delignification.



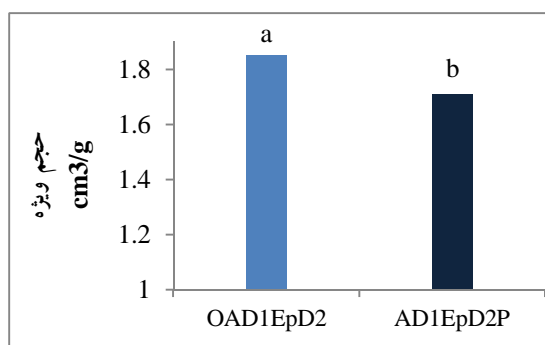
شکل ۷- مقایسه شاخص مقاومت به ترکیدن خمیر کاغذ رنگ‌بری شده با و بدون استفاده از پیش تیمار اکسیژن.
 Figure 7. Comparison of Burst index bleached pulp with and without the oxygen delignification.



شکل ۸- مقایسه ضخامت خمیر کاغذ رنگ‌بری شده با و بدون استفاده از پیش تیمار اکسیژن.

Figure 8. Comparison of thickness bleached pulp with and without the oxygen delignification.

حجمی که توسط یک گرم کاغذ اشغال شده است، حجم ویژه گویند. در این بررسی مقدار حجم ویژه در خمیر کاغذ تیمار OAD_1EpD_2 بیشتر از تیمار AD_1EpD_2P شده است در حالی که نتایج آزمایش سایر مقاومت‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. از آنجایی که حجم ویژه یک متغیر وابسته است در نتیجه با تغییر پارامترهای تعیین کننده تغییر می‌کند. در مقایسه ویژگی‌های نوری دو تیمار مشاهده شد که درجه‌روشنی و سفیدی تیمار AD_1EpD_2P بیشتر از OAD_1EpD_2 شده است که ناشی از خروج بیشتر لیگنین و مواد رنگ‌ساز از دیواره الیاف است و به طوری که مقدار لیگنین بیشتری خارج گردد، انعطاف‌پذیری الیاف بیشتر خواهد شده و قابلیت پیوندیابی نیز افزایش خواهد یافت. افزایش پیوند بین الیاف سبب افزایش دانسیته کاغذ و کاهش در حجم ویژه می‌گردد.



شکل ۹- مقایسه حجم ویژه خمیر کاغذ رنگ‌بری شده با و بدون استفاده از پیش تیمار اکسیژن.

Figure 8. Comparison of bulk bleached pulp with and without the oxygen delignification.

جدول ۶- نتایج آزمون تی تست مستقل تأثیر پیش تیمار اکسیژن بر ویژگی های کاغذ رنگ بری شده.

Table 6. The results of Independent t-test the influence of oxygen delignification on bleached pulp properties.

Averages میانگین ها		P	d.f	t	Variable متغیر
ADEpDP	OADEpD				
55.20±1.25	54.28±1.05	0.604	4	0.562	شاخص مقاومت به کشش Tensile Index
9.45±0.180	9.29±0.101	0.492	4	0.756	شاخص مقاومت به پاره شدن Tear Index
3.88±0.17	3.46±0.066	0.086	4	2.26	شاخص مقاومت به ترکیدن Burst Index
1.1±2.08	1.16±1.4	0.058	4	2.62	ضخامت (میکرون) Thickness
1.71±0.032	1.85±0.017	0.023	4	3.59	حجم ویژه (Cm ³ /g) Bulk

نتیجه گیری

تغییرات بازده و عدد کاپا طی مراحل مختلف لیگنین زدایی در تولید خمیر کاغذ شیمیایی کاملاً رنگ بری شده: بازده کلی و نهایی خمیر کاغذ طی فرآوری متوالی تیمار پخت سودا -AQ و رنگ بری در حدود ۵۰ درصد شده است. در واقع حدود ۵۰ درصد از ترکیبات دیواره الیاف طی این فرآوری ها خارج شده اند. عدد کاپای خمیر کاغذ OCC طی دو مرحله پخت و رنگ بری به کاپای ۲/۵ کاهش یافته است. بازده کلی و نهایی خمیر کاغذ طی فرآوری متوالی تیمار پخت سودا -AQ، اکسیژن و رنگ بری در حدود ۵۶/۵ درصد شده است. در واقع حدود ۴۳ درصد از ترکیبات دیواره الیاف طی فرآوری ها خارج شده اند. کاپای خمیر کاغذ OCC طی سه مرحله فوق الذکر از مقدار حدود ۸۵ (۲) و ۱۲) به کاپای ۲/۷ کاهش یافته است. طبق نتایج به دست آمده می توان با استفاده از تیمار سودا -AQ، عدد کاپای خمیر کاغذ OCC را در حد مناسب برای رنگ بری به روش ECF کاهش داد (۲، ۱۲). خمیر کاغذ سودا -AQ حاصل از خمیر کاغذ OCC با استفاده از توالی های OAD₁EpD₂ و AD₁EpD₂P رنگ بری شدند. با توجه به شرایط رنگ بری یکسان برای هر مرحله از توالی، پیش بینی می شود که استفاده از پیش تیمار اکسیژن به دلیل کاهش قابل ملاحظه در عدد کاپا (تقریباً ۲۰ واحد)، امکان بازیافت لیکور مرحله اکسیژن و کاهش یک مرحله از رنگ بری (مرحله نهایی P)، باعث صرفه جویی در مصرف مواد شیمیایی رنگ بر، کاهش بار آلودگی و مشکلات زیست محیطی پساب کارخانه خمیر و کاغذ می شود.

تأثیر پیش تیمار اکسیژن و توالی رنگبری بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیر کاغذ OCC: نتایج نشان می‌دهد بین ویژگی‌های نوری خمیر کاغذهای رنگبری شده با استفاده از توالی‌های AD_1EpD_2P و OAD_1EpD_2 در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار می‌باشد. خمیر کاغذ رنگبری شده با توالی AD_1EpD_2P دارای درجه‌روشنی و سفیدی (L) بیشتر و زردی و ماتی کمتری نسبت به خمیر توالی OAD_1EpD می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که بین ویژگی‌های مقاومتی شامل: شاخص مقاومت به کشش، شاخص مقاومت به ترکیدن و شاخص مقاومت به پاره‌شدن و ضخامت خمیر کاغذهای رنگبری شده اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. حجم‌ویژه دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. توالی OAD_1EpD_2 علاوه بر مزایای زیست‌محیطی و بازده نهایی به مراتب بیشتر، به انرژی پالایش کمتر نیاز دارد. این توالی، با دارا بودن ماتی بیشتری نسبت به توالی AD_1EpD_2P ، که می‌تواند به چاپ‌پذیری بیشتر منجر شود، اولویت دارد. طبق نتایج به‌دست آمده این تحقیق نشان داد که خمیر کاغذ رنگبری شده OCC به‌عنوان منبع لیفی مناسب قابلیت استفاده جهت تولید کاغذ چاپ و تحریر را دارد (۱، ۲، ۱۲ و ۲۴).

منابع

1. Abdollahbeikmarandi, M., Resalati, H., and Saraeian, A.R. 2008. Study of Enzymatic Pre bleaching on Optical, Physical and Mechanical Properties of Bagasse Kraft pulp. The 1st Iranian Conference on Supplying Raw Material and Development of Wood and Paper Industries.
2. Azadfar, M.A., Behroz, R., and Jahan Latibari, A. 2009. Upgrading Old Corrugated Containers (OCC) Fibers by Delignification Treatments, M.Sc. Thesis, Department of Tarbiat Modares University. (In Persian)
3. Asadpur, G., Ghasemyan, A., Saraeiyan, A.R., and Ghaffari, M. 2007. OCC pulp quality study and optimum OCC consumption mixed with NSSC pulp from hard wood possibility to produce fluting paper in mazandran wood and paper industries. The First Iranian Conference on Supplying Raw Materials and Development of Wood and Paper Industries. Gorgan. (In Persian)
4. Dang, Z., and Genco, M.J. 2002. Pulp Pretreatments for Improved Selectivity and Extended Oxygen Delignification. The Thesis Presented in Partial Fulfillment, M.Sc. Thesis, In Chemical Engineering. Fogler Library. The University of Maine.
5. De Ruvo, A., Farnstrand, P.A., Hagen, N., and Haglund, N. 1986. Upgrading pulp from corrugated containers by oxygen delignification. Tappi J. 6: 7, 100-105.

6. Ebrahim, R. 2003. Structural, Mechanical and Optical Properties of Recycled Paper Bleached with Oil Palm Empty Fruit Bunch Pulp. *Journal of Oil Palm Research*. 15(2): 28-34.
7. Economou, A.M., Economides, D.G., and Vlyssides, A.G. 1996. Oxygen bleaching of secondary fibers with low mechanical pulp content. *Progress in Paper Recycling*, May: 53-61.
8. Guo, W., Wang, Y., Wan, J., and Ma, Y. 2010. Effects of slushing process on the pore structure and crystallinity in old corrugated container cellulose fiber, *Carbohydrate Polymers*: 1-30p.
9. Hedjazi, S., Kordsachia, O., Patt, R., JahanLatibari, A., and Tschirner, U. 2008. Alkaline sulfite pulping (AS/AQ) pulping of wheat straw and totally chlorine free (TCF) bleaching of pulps. *Industrial Crops and Products*, 29: 27-39.
10. Hedjazi, S., Kordschia, O., JahanLatibari, A., and Tschirner, U. 2009. Alkaline sulfite/anthraquinone (AS/AQ) pulping of rice straw and TCF bleaching of pulps. *Appita* 62: 2, 137-145.
11. Jackson, M., Croon, I., and Nardi, F. 1994. Bleached Fiber from OCC by the NACO Process, *Recycling Symposium Proceedings*.
12. Jalilvand, M., Behroz, R., and Hamzeh, Y. 2009. Old Corrugated Containers Soda-AQ Pulp Bleaching by OQ(OP) P Sequences, M. Sc. Thesis, Department of Tarbiat Modares University. (In Persian)
13. Jahan Latibari, A., and Haghghat, F. 2011. Properties of Bleachable Alkaline Sulfite Pulp from Old corrugated Container. *Gorgan, J. of Wood and Forest Science and Technology*. 18: 3. 171-184. (In Persian)
14. Jeffreis, T.W., Davis, M., Rosin, B., and landucci, L. 1998. Mechanism for kappa reduction and color removal by xylanases. The 7th ICBPPI, June 16-19. Vancouver, BC, Canada. Abstract-book.
15. Haywood, S.T. 1994. Upgrading of Old Corrugated Cartons to bleached Pulp Using TCF and ECF Delignification and Bleaching Sequences, *Pulping Conference Proceedings*.
16. Lapierrre, L., Piter, D., Bouchard, J. 2001. Bleaching of deinked recycled pulp: benefites of fiber fractionation. *Pulp and paper Canada*. 35-38.
17. Lee, S., McKean, W.T., and Gustafson, R. 1996. Manufacture of Bleached Pulp from Recycled OCC Linerboard, *Pulping Conference Proceedings*.
18. Magnin, L., Angelier, M.C., and Gailand, G. 2000. Comarison of Various Oxiding And Reducing Agent To Bleach Wood-Free Recycled Fiber, 9th CTP Deinking Symposiom, Munich- Germany.
19. Markham, L.D, and Courchene, C.E. 1988. Oxygen bleaching of secondary fiber grades, *Tappi J*. 71: 12. 168-174.
20. Minor, J.M., Scott, C.T., and Atalla, R.H. 1993. Restoring bonding strength to recycled fibers. *Recycling Symposium*. TAPPI, Atlanta, Pp: 379-385.
21. Nazhad, M.M., and Paszner, L. 1994. Fundamentals of strength loss in recycled

- paper. Tappi J. 77: 9. 171-179.
22. Nguyen, X.T., Shariff, A., Earl, R.F., and Eamer, R.J. 1993. Bleached pulp for printing and writing papers from old corrugated containers. Prog. Paper Recycling 2: 3, 25-32.
23. Nguyen, X.T. 1994. Oxygen delignification of old corrugated containers. US Patent. 5: 302-244.
24. Punya, B.C. 1994. Producing white pulp from OCC. PAPRICAN, Progress in Paper Recycling, Nov: 32-36.
25. Rauvanto, D.I. 2003. The Effect of Oxygen Delignification on Fiber Properties in Kraft Pulp Production– A Review. Lappeenranta University of Technology ISSN 1459-2878. 26p.
26. Salvador, E., Colodette, J.L., Gomide, J.L., and De Oliveira, R.C. 2001. Efeito da deslignificação com oxigênio nas propriedades físico-mecânicas de polpaskraft, O Papel, 62: 2. 75.
27. Simard, L., and Nguyen, X.T. 1996. On the Delignification of OCC with Hydrogen Peroxide, International Pulp Bleaching Conference Proceedings.
28. Solomon, K.R. 1996. Chlorine in the bleaching of pulp and paper. Pur & Appl. Chem. 68: 9. 1721-1730.
29. Zou, H., Genco, J.M., Van Heiningen, A., Cole, B., and Fort, R. 2002. Effect of hemicellulose content in kraft brownstock on oxygen delignification, Fall Technical Conference and trade fair, San Diego, 8-111.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (1), 2016

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

The Effect of Oxygen Pre-treatment on The ECF Bleach-ability of Soda-AQ Pulp of OCC

***M. Ahmadi¹, H. Resalati² and A. Ghasemian³**

¹M.Sc. Graduated of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Professor, Dept., of Wood and Paper Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept., of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 02/01/2014 ; Accepted: 05/16/2016

Abstract

Background and objectives: Paper making industries to supply their raw material and also aims to reduce the pressure on wood consumption, to find and to use other sources of cellulosic fibers such as bagasse, straw, reeds and recovery of cellulosic fibers used (RECYCLED FIBERS).

Many paper-producing countries, is now collecting and recycling paper and even import waste paper from other countries have taken action. Successful development requires a delignification process technology can take advantage of all the potential raw material. The selectivity of the delignification and bleaching prerequisite to achieve greater efficiency and optical characteristics and is suitable resistance. Although the process of Soda and Soda - AQ is good, but the use of high alkalinity is in the process of degradation of carbohydrates. In this study the effectiveness of an oxygen delignification stage before bleaching ECF method to reduce the use of chemicals sequences were evaluated.

Materials and Methods: Due to the high amount of lignin in the fibers of old corrugated Carton; soda-AQ pulping process was used for the initial delignification.

Two treatments were selected to compare the effects of oxygen on reducing the bleaching process So that a treatment without oxygen delignification using the sequence AD1EpD2P delignification with oxygen and other treatments using the sequence AD1EpD2 equal terms, they were bleached.

Results: The use of an oxygen delignification stage a dramatic decrease in the amount of kappa number and showed a slight drop of yield OCC pulp.

Conclusion: The results show that using an oxygen delignification stage, can be used the unbleached pulp kappa number with greater efficiency and after treatment

*Corresponding author: Ahmadi_302@yahoo.com

with oxygen, more yield and kappa number of similar (less than three) receipts and Finally, this pre-treatment did not cause a significant impact on the final bleached pulp strength properties As well as using oxygen delignification bleaching process can be less detecting the optical properties reached a similar conclusion in other words using a certain sequence, provided good optics.

Keywords: OCC, Soda-AQ, Oxygen delignification, Bleaching and ECF