

## تأثیر رنگ‌بری بدون کلر (ECF) بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیر کاغذ سودای باگاس

رامین ویسی<sup>۱\*</sup>، ربیع بهروز<sup>۲</sup> و ایمان خواجه علی<sup>۳</sup>

\*- نویسنده مسئول، دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، پست الکترونیک: vaysi\_r452@yahoo.com

۲- دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۴

### چکیده

این تحقیق باهدف بررسی اثر رنگ‌بری بدون کلر (ECF) بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ سودای باگاس انجام شد. به همین منظور مقداری خمیر رنگ‌بری نشده باگاس به صورت تصادفی از کارخانه پارس انتخاب شد. سپس این خمیرها با دو توالی OD(Ep)P و OD(Ep)D و با استفاده از اکسیژن و دی‌اکسید کلر و پروکسید هیدروژن رنگ‌بری گردید. از خمیرکاغذهای رنگ‌بری نشده و رنگ‌بری شده باگاس طی توالی‌های OD(Ep)P، OD(Ep)D و EH کارخانه (شاهد) کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه  $70 \text{ gr/m}^2$  تهیه و خواص نوری و مقاومتی آنها طبق آزمون‌های استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه شد. نتایج نشان داد که در طی رنگ‌بری با توالی‌های مذکور، عدد کاپا و مقدار لیگنین باقی‌مانده در خمیر کاهش یافت. البته در اثر رنگ‌بری روشنی، سبزرنگی و نسبت K/S کاغذ حاصل از خمیر سودای باگاس افزایش یافت. در بین تیمارهای رنگ‌بری مختلف، ویژگی‌های روشنی، ماتی، ضریب جذب، مقاومت کششی، مقاومت به پارگی و مقاومت به ترکیدن در دو توالی رنگ‌بری OD(Ep)P و OD(Ep)D نسبت به توالی EH کارخانه (شاهد) افزایش محسوسی را نشان داد. به‌طورکلی در بیشتر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، ابتدا توالی رنگ‌بری OD(Ep)P و پس از آن توالی OD(Ep)D نسبت به توالی رنگ‌بری EH کارخانه (شاهد) بهتر شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: خمیر سودا، باگاس، توالی رنگ‌بری، رنگ‌بری بدون کلر (ECF)، ویژگی نوری و مقاومتی.

### مقدمه

زیادی کاغذ چاپ و تحریر از باگاس در کارخانه پارس هفت تپه- اهواز تولید می‌شود. در این کارخانه خمیر سودای باگاس با توالی EH (استخراج قلبایی (E) و هیپوکلریت (H)) رنگ‌بری می‌شود؛ اما در مرحله کلرزنی (C)، درصد خشکی خمیر حدود ۳ درصد است و مقادیر زیادی پساب تولید می‌شود. علاوه بر مزایای کلر، به علت تولید ترکیبات کلرینه شده لیگنین (AOX)، امروزه در این کارخانه و در سیستم‌های متداول در سطح جهانی، مرحله کلرزنی (C) حذف می‌گردد و به‌جای آن از

امروزه با افزایش جمعیت و افزایش تقاضای مصرف فراورده‌های چوب و کاغذ از یک‌طرف و محدودیت سطح جنگل‌های تجاری و رقابت صنایع چوب و کاغذ از طرف دیگر، استفاده از منابع لیگنوسولوزی غیرچوبی را به یک ضرورت تبدیل کرده است. اگرچه از بعضی از این منابع لیگنوسولوزی مانند باگاس، لیتزینبه و پنبه در صنایع فیبری ایران استفاده می‌شود، اما در حال حاضر و سالیانه مقادیر

کاهش عدد کاپا خمیر رنگ‌بری شده و رنگ‌بری نشده، زردی حرارتی کاغذ را کاهش نمی‌دهد. به هر حال افزایش عدد کاپا در ابتدای مرحله دی‌اکسید کلر و در توالی رنگ‌بری با دی‌اکسید کلر و پیش‌تیمار با اسیدسولفوریک یا زایلاناز، باعث کاهش زردی حرارتی کاغذ حاصل شده است.

Hashemi (۲۰۱۴) با بررسی رنگ‌بری خمیر کاغذ سودا از ساقه توتون با روش کاملاً بدون کلر (TCF) گزارش داد که با افزایش مقدار مصرف هیدروکسید سدیم و پروکسید هیدروژن، روشنی خمیر کاغذ حاصل افزایش و عدد کاپای آن کاهش می‌یابد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که مرحله کی‌لیت سازی اولیه به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر روشنی، عدد کاپا و بازده خمیر کاغذ رنگ‌بری شده مؤثر است و این تیمار کمترین روشنی و بیشترین عدد کاپا و بازده را در بین همه تیمارها داشته است. در نهایت، تیمار ۳ درصد سود سوزآور به همراه ۵ درصد پروکسید هیدروژن با مرحله کی‌لیت سازی اولیه که دارای بیشترین روشنی (۴۴/۵۰ درصد) و کمترین بازده (۸۳/۲۰ درصد) بوده، به‌عنوان تیمار برتر انتخاب شد.

Hedjazi (۲۰۰۷) با بررسی رنگ‌بری خمیر کاغذ سودا از کاه گندم با روش کاملاً بدون کلر (TCF) گزارش داد که با استفاده از فرایند رنگ‌بری کاملاً بدون کلر O/Q/OP می‌توان از یکسو روشنی و ویژگی‌های مقاومتری را در مقایسه با توالی CEH به‌دست آورد و از سوی دیگر، مقدار AOX را به صفر رساند که این حالت از لحاظ زیست‌محیطی اهمیت زیادی دارد.

Vaysi (۲۰۱۵) با استخراج، شناسایی و حذف یون‌های فلزی و رزین‌های موجود در خمیر کاغذ سودای باگاس رنگ‌بری شده با توالی‌های ECF گزارش داد که دو ترکیب اوکتادکان و ۹-اوکتادکانوئیک اسید در خمیر کاغذ رنگ‌بری نشده وجود دارد که در طی توالی‌های رنگ‌بری مورد نظر از خمیر کاغذ حذف شده است. همچنین دو ترکیب ۲ و ۶-دی‌متیل-۶-نیترو-۲-هیپتن-۴-ان و دودکان در مرحله رنگ‌بری EH در خمیر موجود بوده، ولی در طی توالی‌های رنگ‌بری OD(Ep)P و OD(Ep)D از خمیر کاغذ باگاس حذف شده است.

اکسیژن ( $O_2$ )، ازن ( $O_3$ )، پروکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) و یا ترکیبی از آنها استفاده می‌گردد، که این سیستم رنگ‌بری بدون کلر (ECF) نامیده می‌شود. در خمیرهای رنگ‌بری نشده حضور لیگنین و اجزای جدا شده از آن در طی پخت و همچنین وجود ناخالصی‌ها و اجزای شیمیایی مواد آلی و معدنی موجود در خمیر کاغذ می‌تواند از عوامل مهم کاهش کیفیت و ویژگی‌های کاغذ تولیدی در کوتاه‌مدت، زرد شدن و شکننده شدن آنها را به وجود آورده و یا تخریب نوری آنها را تسریع کند. علاوه بر آن در اثر رنگ‌بری و ادامه لیگنین‌زدایی از خمیر به‌ویژه با اکسیژن، دی‌اکسید کلر، هیدروکسید سدیم و پروکسید هیدروژن و غیره به همراه شستشو، عوامل بدرنگی کاغذ به‌ویژه کروموفورهای جاذب نور و کینون‌های جدا شده از لیگنین و مواد ناشی از باگاس و یون‌های فلزی موجود در خمیر حذف یا به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Vaysi, 2015)، در نتیجه خمیر و کاغذ حاصل به‌صورت سفید شده تغییر رنگ داده و ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل بهبود و یا تغییرات محسوسی را از خود نشان خواهد داد. از این‌رو در این تحقیق سعی بر آن است تا با استفاده از توالی‌های رنگ‌بری OD(Ep)P و OD(Ep)D ضمن حذف مرحله کلرزنی، تأثیر توالی‌های رنگ‌بری ECF بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیر سودای باگاس ایران بررسی و مناسب‌ترین نتایج گزارش گردد.

در این ارتباط Forsskahl و همکاران (۲۰۰۰) تأثیر کروموفورهای مشتق شده از کربوهیدرات‌ها در طی زردی خمیرهای پر بازده و TCF را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش ۵-هیدروکسی‌متیل-۲-فرم آلدئید (HMF) بدرنگی خمیر کاغذ را تقویت می‌کند و HMF به‌عنوان یک واسطه در زردی خمیرهای کاغذ عمل می‌کند. اگرچه زردی اولیه در طول موج‌های حدود ۵۰ نانومتر در خمیرهای مکانیکی و شیمیایی نیز اتفاق می‌افتد.

Tran (۲۰۰۲) زردی حرارتی خمیر کرافت سفید شده با توالی رنگ‌بری دی‌اکسید کلر را بررسی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که هیپوکلریت، ترکیبات معدنی و کلرید در خمیر رنگ‌بری شده پهن‌برگان بر روی زردی حرارتی مؤثر نمی‌باشد.

ساخت دی‌اکسید کلر نیاز به یک کیت محلول سازی شیمیایی است که در آزمایشگاه صنایع چوب و کاغذ دانشگاه پردیس منابع طبیعی کرج به روش تیتراسیون، غلظت دی‌اکسید کلر سنجیده شد و پس از آن با رعایت شرایط ایمنی دی‌اکسید کلر به آزمایشگاه صنایع چوب و کاغذ دانشگاه چالوس منتقل شد. برای رنگ‌بری توسط دی‌اکسید کلر، برای کاهش pH خمیر تا عدد ۲-۲/۵، اسید سولفوریک را توسط آب مقطر یونیزه شده و با شرایط کاملاً ایمنی رقیق کرده و به غلظت ۴ نرمال رسانده شد تا از تخریب کربوهیدرات‌ها و الیاف خمیر جلوگیری شود. در هنگام اضافه کردن اسید به خمیر باید مرتباً pH خمیر توسط pH متر کنترل شود. پس از رسیدن pH خمیر به عدد ۲-۲/۵، با توجه به وزن خشک خمیر، برحسب غلظت دی‌اکسید کلر به خمیر لیگنین زدایی شده، دی‌اکسید کلر اضافه شد تا عملیات رنگ‌بری در کیسه‌های پلاستیکی و درون بن ماری (حمام آب گرم) انجام شود (جدول ۱).

#### رنگ‌بری خمیر سودای باگاس با توالی‌های $OD(E_p)D$ و $OD(E_p)P$

بعد از رنگ‌بری خمیر سودای باگاس با دی‌اکسید کلر و شستشوی خمیر با آب مقطر، بعد از هر مرحله رنگ‌بری، بخشی از خمیرهای مورد نظر با توجه به شرایط ایجاد شده در جدول ۱ با هیدروکسید سدیم و پروکسید ( $E_p$ )، پروکسید هیدروژن ( $P$ ) و دی‌اکسید کلر ( $D$ ) به صورت جداگانه رنگ‌بری گردید و بعد خمیر رنگ‌بری شده باگاس با آب مقطر شستشو شد (جدول ۱).

#### اندازه‌گیری عدد کاپای خمیرها

عدد کاپا معرف مقدار لیگنین باقی مانده موجود در خمیر می‌باشد، اندازه‌گیری عدد کاپا بر اساس استاندارد ۲۳۶ om -۹۹ T انجام شد و نتایج حاصل نیز در جدول ۳ درج شده است.

Luiss و همکاران (۲۰۰۲) با تهیه خمیر کرافت از یک گونه نی مرداب (*Arundo donax*) و رنگ‌بری ECF سه مرحله‌ای با توالی رنگ‌بری  $D(PO)D$  به روشنی حدود ۸۶ درصد رسیدند و گزارش دادند که نتایج حاصل از رنگ‌بری خمیر کاغذ سودا و کرافت این گیاه غیرچوبی تقریباً یکسان می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### تهیه نمونه‌های آزمونی

برای انجام این تحقیق، حدود ۲۰ کیلوگرم نمونه آزمونی به صورت تصادفی از خمیر باگاس تولیدی کارخانه پارس هفت تپه-اهواز، بعد از مرحله پخت انتخاب و بر اساس آزمون‌های استاندارد TAPPI آماده‌سازی شد.

##### لیگنین‌زدایی با اکسیژن

عملیات لیگنین‌زدایی با اکسیژن در دیگ پخت آزمایشگاه صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس انجام شد. سیلندرهای این دایجستر توسط المنت‌های برقی که محیط خارجی آن را احاطه کرده بود گرم می‌شد، این سیلندرها به بازوی محرکی متصل بود که ۲ سیلندر موجود را کاملاً می‌چرخانید و بر اساس این چرخش خمیر موجود در سیلندرها کاملاً با اکسیژن داخل آن ترکیب شده و واکنش شیمیایی لازم در خمیر اتفاق افتاد. عمل تزریق اکسیژن از طریق یک کیسول اکسیژن که به یک مانومتر متصل بود، انجام شد. برای آماده‌سازی خمیر کاغذ برای لیگنین‌زدایی با اکسیژن، ابتدا لازم است نمونه خمیر هواخشک رنگ‌بری نشده باگاس را به درصد خشکی ۱۰٪ رسانده و برای جلوگیری از تخریب کربوهیدرات‌ها و سلولز در زمان واکنش شیمیایی با اکسیژن و لیگنین‌زدایی مناسب‌تر، به خمیر سولفات منیزیم اضافه شود (Mirshokraie, 2003) (جدول ۱).

##### رنگ‌بری با دی‌اکسید کلر

برای انجام مرحله رنگ‌بری با دی‌اکسید کلر، ابتدا لازم است محلول دی‌اکسید کلر را تهیه کرد، آنگاه برای

جدول ۱- شرایط رنگ‌بری با توالی‌های OD(E<sub>p</sub>)D و OD(E<sub>p</sub>)P برای خمیر سودای باگاس

شرایط	O	D	Ep	D	P
درصد خشکی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۲
دما (°C)	۱۰۰	۶۰	۸۵	۶۰	۷۵
زمان (min)	۶۰	۳۰	۶۰	۶۰	۶۰
فشار (bar)	۶	-	-	-	-
%ClO <sub>2</sub>	-	۲	-	۲	-
%H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	-	۰/۵	-	۳
%NaOH	۱/۵	-	۱/۲	-	۱/۵
%O <sub>2</sub>	۰/۵	-	۰/۵	-	-
%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	۰/۶۵	-	۰/۶۵	-
pH نهایی	۱۱	۲/۵	۱۱	۴	۹/۱
نسبت وزنی NaOH/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	-	-	-	۰/۷
سولفات منیزیم	۰/۵	-	-	-	-
سیلیکات سدیم	-	-	-	-	۳

استفاده از آزمون‌های ۹۸ om - ۴۱۴ T، ۹۶ om - ۴۰۳ T، ۹۶ om - ۴۹۴ T و ۸۸ om - ۴۹۸ T استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه شد.

#### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

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

#### نتایج

تأثیر توالی رنگ‌بری ECF بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل از خمیر سودای باگاس مقایسه میانگین مشخصه‌های کمی در سطح متغیرها مقایسه میانگین ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل طی توالی‌های رنگ‌بری ECF بر اساس آزمون دانکن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین

اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذهای دست‌ساز: برای اندازه‌گیری خواص نوری و مقاومتی کاغذهای رنگ‌بری نشده و رنگ‌بری شده طی توالی OD(E<sub>p</sub>)D و OD(E<sub>p</sub>)P (EH کارخانه (شاهد)، ابتدا طبق آزمون شماره ۸۸ om - ۲۰۵ T استاندارد TAPPI، کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه ۷۰ gr/m<sup>2</sup> تهیه شد. برای اندازه‌گیری خواص نوری کاغذهای تهیه شده از دستگاه اسپکتروفوتومتری استفاده شد. این دستگاه در سیستم CIElab قادر به تشخیص رنگ فراورده‌های کاغذی می‌باشد. عملکرد این سیستم بر اساس خاصیت انعکاس نور از سطح مورد مطالعه استوار است. به طوری که ویژگی‌های نوری، فاکتورهای L\*، a\* و b\*، ضریب جذب (k)، ضریب پخش (s) و نسبت (K/S) بر این اساس تعیین شدند. همچنین ویژگی‌های ماتی و روشنی بترتیب با استفاده از استاندارد ۹۴ om - ۲۲۴ T آزمون استاندارد ۹۶ om - 452 T و ۹۸ om - 452 T تعیین شد. سپس ویژگی‌های مقاومتی، به ویژه مقاومت به پارگی، ترکیدن، کششی و طول پارگی کاغذهای حاصل به ترتیب با

عدد کاپا و مقدار لیگنین باقی مانده در خمیر کاهش یافته است. ویژگی های خمیر حاصل از رنگ بری در مقایسه با نمونه شاهد افزایش و ماتی کاهش را نشان می دهد. همچنین سبزی کاغذ (فاکتور  $a^*$ ) نشان داد که کاغذ رنگ بری شده دارای ویژگی مطلوب تری می باشد. البته مقاومت به پارگی و کششی خمیر کاغذ رنگ بری شده در مقایسه با خمیر کارخانه افزایش محسوس را نشان می دهد (جدول ۳).

میانگین کلیه مشخصه ها در سطح ۱٪ اختلاف معنی داری وجود دارد (جدول ۲).

نتایج حاصل از ویژگی کاغذ حاصل از خمیر باگاس پس از رنگ بری با توالی های ECF

نتایج حاصل از خمیر سودای رنگ بری شده با توالی های OD(Ep)D و OD(Ep)P در مقایسه با خمیر سودای کارخانه پارس نشان داد که در طی رنگ بری با توالی های مورد نظر

جدول ۲- تجزیه واریانس یک طرفه ویژگی های کاغذ حاصل از خمیر سودای باگاس طی توالی های رنگ بری ECF

مشخصه متغیر		روشنی		فاکتور $a^*$		مقاومت به پارگی		ضریب جذب		مقاومت به ترکیدن	
		Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F
تیمارها	۸۱۶۵/۷	۰/۰۰۰۱	۱۱۵۵/۵۸	/۰۰۱	۱۵۵/۹	۰/۰۰۰۱	۴۱۵۱/۳	۰/۰۰۰۱	۶۹/۰۱	۰/۰۰۰۱	۶۹/۰۱

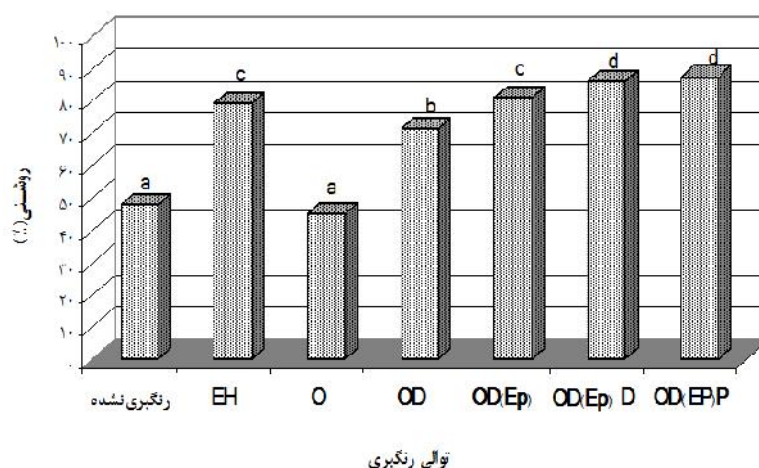
جدول ۳- ویژگی های خمیر سودای رنگ بری شده با توالی های OD(Ep)D و OD(Ep)P

تیمار رنگ بری	رنگ بری نشده	EH	O <sub>2</sub>	OD	OD(Ep)D	OD(Ep)P
بازدهی رنگ بری (%)	-	۹۸/۰۴	۹۶	۸۳/۱۹	۹۹/۵۹	۹۹/۳۳
عدد کاپای خمیر	۱۰/۹	۳/۸۲	۷/۵۶	۳	۲/۹۷	۳/۸
لیگنین باقی مانده در خمیر (%)	۱/۸۱	۰/۱	۱/۲۴	-	۱/۲	۱/۳۷
روشنی (%)	۴۷/۲۶	۷۹/۴۴	۴۴/۸۶	۷۱/۱۲	۸۶/۰۵	۸۷/۳۲
Tear (mN)	۲۴	۱۰	۲۸/۰۹	۲۰/۰۸	۲۸	۳۰

اجزای لیگنین از الیاف باگاس تخریب و انحلال می گردد، ظاهراً نقش توالی رنگ بری چهار مرحله ای در سفیدسازی خمیر باگاس و بهبود روشنی خمیر حاصل بیشتر از توالی دومرحله ای کارخانه بوده و در این میان استفاده از پروکسید هیدروژن به عنوان یک رنگ بر اکسایشی نیز مؤثرتر از دی اکسید کلر به نظر می رسد. بنابراین تجزیه و تحلیل آماری داده ها نشان داد که بین میانگین روشنی تیمارها در سطح ۱٪ تفاوت معنی داری وجود دارد (شکل ۱).

مقایسه روشنی کاغذهای رنگ بری شده باگاس طی توالی های رنگ بری ECF

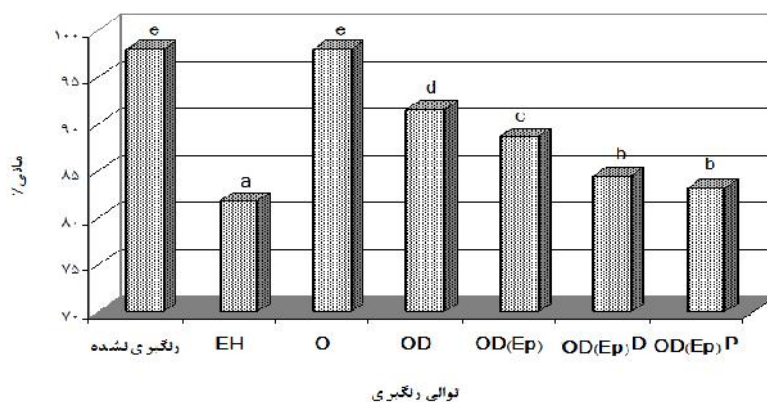
نتایج نشان داد که در اثر رنگ بری روشنی کاغذ حاصل از خمیر سودای باگاس افزایش محسوسی را داشته است. در میان توالی های مختلف، بیشترین روشنی طی رنگ بری با دو توالی OD(Ep)P (۸۷/۳۲٪) و OD(Ep)D (۸۶/۰۵٪) و کمترین آن در خمیر سفید نشده باگاس (۴۷/۲۶٪) مشاهده شد. با توجه به اینکه در طی یخت سودا، کروموفورها و



شکل ۱- مقایسه روشنی کاغذهای رنگ‌بری شده با گاس طی توالی‌های رنگ‌بری ECF

از رنگ‌بری با اکسیژن (۹۷/۹۹٪) مشاهده شد. با توجه به اینکه در اثر رنگ‌بری گروه‌های رنگ‌ساز موجود در خمیر حذف می‌گردد، در نتیجه عبور نور از کاغذ حاصل از خمیرهای سفید شده بیشتر و ماتی کاغذ سفید شده نسبت به سایر نمونه‌های آزمون کاهش محسوس را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین ماتی تیمارها در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۲).

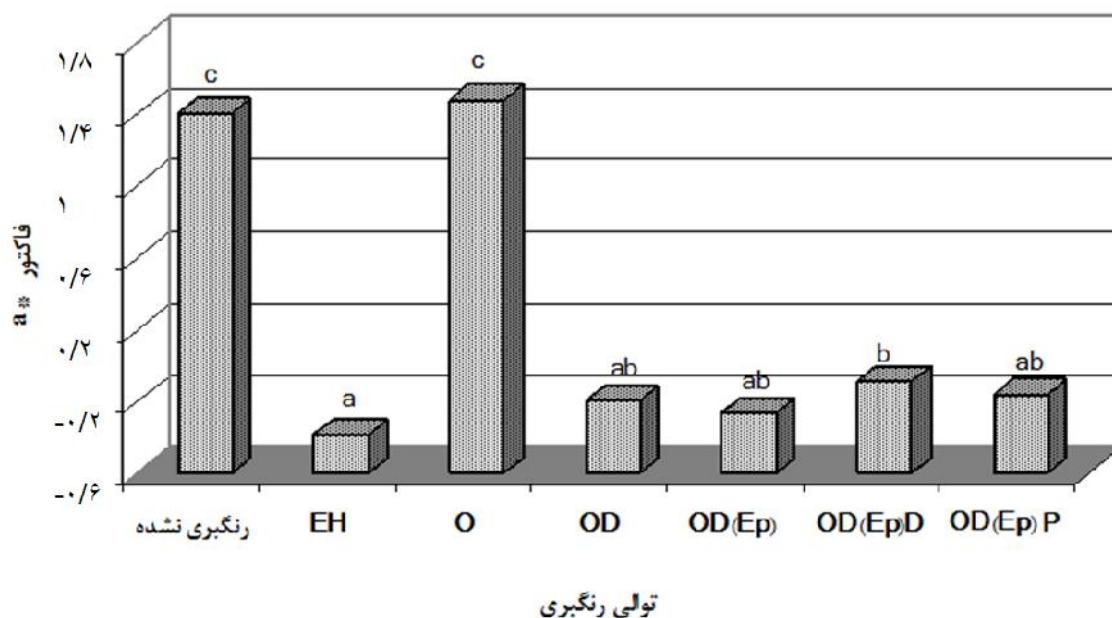
مقایسه ماتی کاغذهای رنگ‌بری شده با گاس طی توالی‌های رنگ‌بری ECF نتایج نشان داد که در اثر رنگ‌بری ماتی کاغذ حاصل از خمیر سودای با گاس کاهش یافته است. در میان توالی‌های مختلف، کمترین ماتی طی رنگ‌بری با سه توالی OD(Ep)P (۸۳/۵۸٪)، OD(Ep)D (۸۲/۵۸٪) و EH کارخانه (۸۱/۷۸٪) و بیشترین ماتی در خمیر سفید نشده با گاس (۹۷/۹۹٪) و بعد



شکل ۲- مقایسه ماتی کاغذهای رنگ‌بری شده با گاس طی توالی‌های رنگ‌بری ECF

این خمیرهای سفید شده بسیار مناسب و قابل توجه می باشد. با توجه به اینکه کروموفورها و کینون های جدا شده از لیگنین که جاذب نور هستند در طی رنگ بری حذف و یا کاهش می یابد، در نتیجه قرمزرنگی در کاغذهای سفید شده کاهش و سبزرنگی که مناسب کاغذهای چاپ و تحریر است، افزایش می یابد. تجزیه و تحلیل آماری داده ها نشان داد که بین میانگین فاکتور  $a^*$  تیمارها در سطح ۱٪ تفاوت معنی داری وجود دارد (شکل ۳).

مقایسه فاکتور  $a^*$  کاغذهای رنگ بری شده با گاس طی توالی های رنگ بری ECF  
فاکتور  $a^*$  نشان دهنده طیف رنگی سبز تا قرمز در کاغذ می باشد. نتایج نشان داد که در اثر رنگ بری فاکتور  $a^*$  کاهش و سبزرنگی کاغذ رنگ بری شده افزایش را نشان می دهد. به طوری که کمترین فاکتور  $a^*$  و بیشترین سبزی در کاغذ حاصل از توالی رنگ بری EH کارخانه (-۰/۳۸) مشاهده شد. همچنین میزان کاهش در فاکتور  $a^*$  با دو توالی OD(Ep)P (-۰/۱۶) و OD(Ep)D (-۰/۰۹) و در نتیجه افزایش سبزرنگی در



شکل ۳- مقایسه فاکتور  $a^*$  کاغذهای رنگ بری شده با گاس طی توالی های رنگ بری ECF

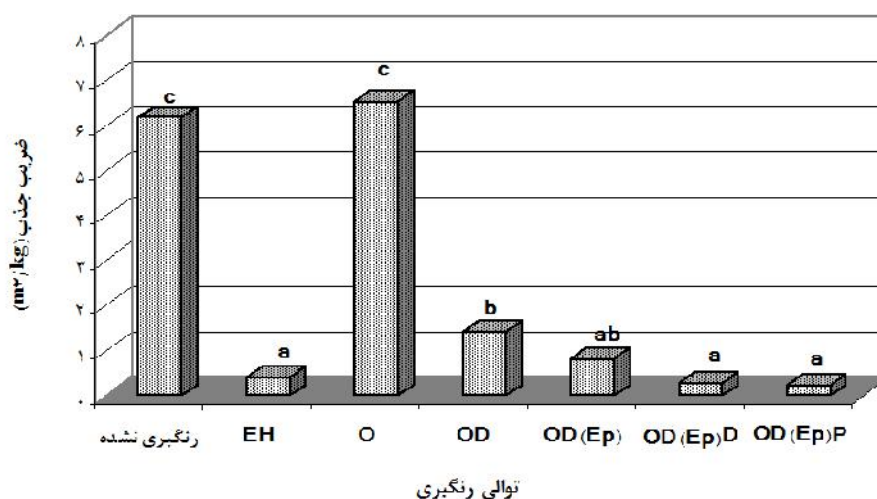
سفید نشده ( $6/18 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) مشاهده شد. در خمیرهای رنگ بری نشده حضور لیگنین و اجزای جدا شده از آن در طی پخت و در نتیجه وجود ناخالصی ها و تیره رنگی ها در اثر وجود یون های فلزی و سایر مواد عصاره ای باعث شده تا در نتیجه ضریب جذب نور در این کاغذها افزایش یابد. در مجموع می توان گفت که در اثر رنگ بری با توالی های ECF، حدود ۲۸ برابر ضریب جذب نور توسط کاغذ کاهش یافته است. تجزیه و تحلیل آماری داده ها نشان داد که

مقایسه ضریب جذب کاغذهای رنگ بری شده با گاس طی توالی های رنگ بری ECF  
نتایج نشان داد که در اثر رنگ بری ضریب جذب نور توسط خمیر کاغذ رنگ بری شده کاهش محسوسی را نشان می دهد. به طوری که کمترین ضریب جذب در کاغذ حاصل از خمیر رنگ بری شده با دو توالی OD(Ep)P ( $0/22 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) و OD(Ep)D ( $0/27 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) و بیشترین ضریب جذب در کاغذ حاصل از رنگ بری با اکسیژن ( $6/53 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) و خمیر

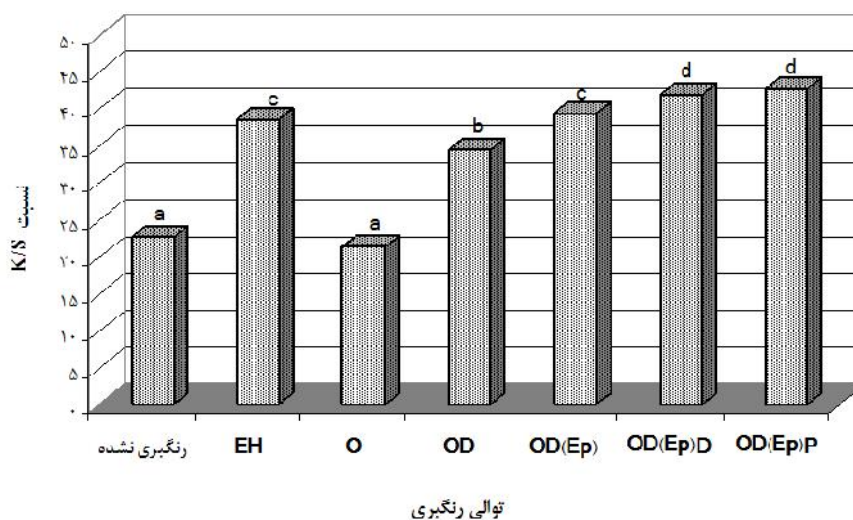
OD(Ep)P، بیشترین نسبت عدد k/S (۴۲/۶۶) در کاغذهای رنگ‌بری شده با توالی رنگ‌بری OD(Ep)P و کمترین آن (۳۸/۷۲) مربوط به توالی رنگ‌بری EH بوده است. در کاغذ حاصل از خمیر رنگ‌بری نشده و خمیر بعد از رنگ‌بری با توالی اکسیژن کمترین نسبت k/S مشاهده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین میزان نسبت k/S نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد (شکل ۵).

بین میانگین ضریب جذب نور تیمارها در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۴).

مقایسه نسبت K/S کاغذهای رنگ‌بری شده با گاس طی توالی‌های رنگ‌بری ECF نتایج حاصل از اندازه‌گیری نسبت k/S کاغذها نشان داد که در اثر رنگ‌بری نسبت k/S افزایش یافته است. به طوری که بین کاغذ رنگ‌بری شده کارخانه طی توالی EH و کاغذ رنگ‌بری شده طی دو توالی OD(Ep)D و



شکل ۴- مقایسه ضریب جذب کاغذهای رنگ‌بری شده با گاس طی توالی‌های رنگ‌بری ECF

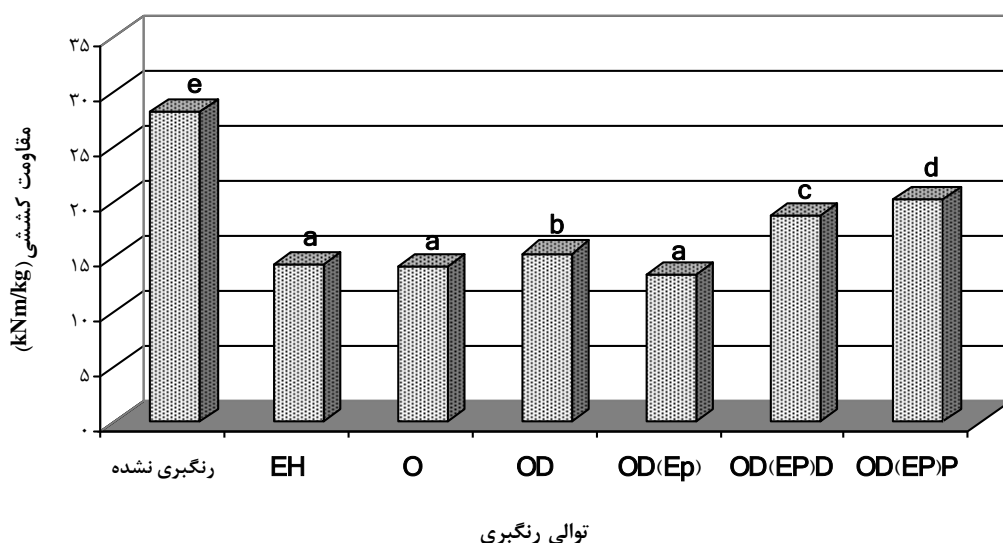


شکل ۵- مقایسه نسبت K/S کاغذهای رنگ‌بری شده با گاس طی توالی‌های رنگ‌بری ECF



و (۱۸/۷۶ kNm/kg) بیشتری را نسبت به توالی رنگ‌بری EH کارخانه (شاهد) (۱۴/۲۷ kNm/kg) داشته‌اند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین میزان مقاومت کششی نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد (شکل ۶).

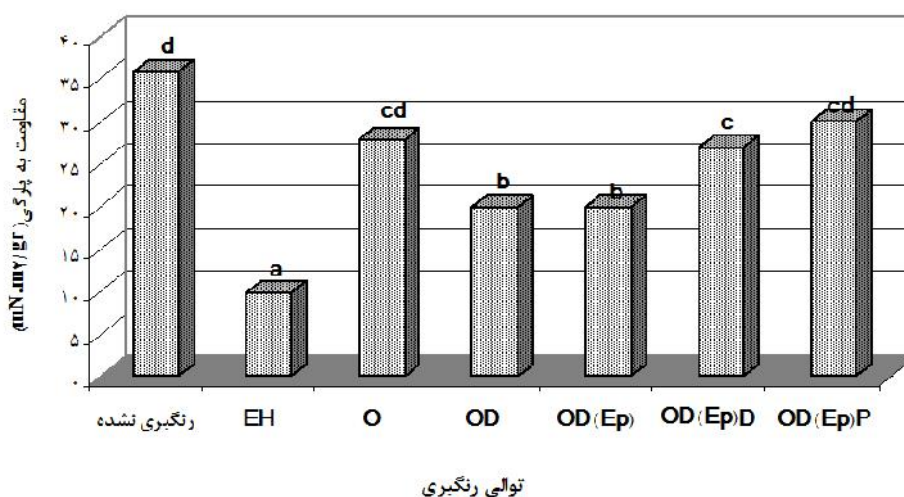
مقایسه مقاومت کششی کاغذهای رنگ‌بری شده باگاس طی توالی‌های رنگ‌بری ECF نتایج نشان داد که در اثر رنگ‌بری مقاومت کششی نمونه‌های آزمون کاهش یافته است. در میان نمونه‌های رنگ‌بری شده، کاغذهای حاصل از دو توالی OD(E<sub>p</sub>)P و OD(E<sub>p</sub>)D، به ترتیب مقاومت به کشش (۲۰/۳۱ kNm/kg)



شکل ۶- مقایسه مقاومت کششی کاغذهای رنگ‌بری شده باگاس طی توالی‌های رنگ‌بری ECF

شده کارخانه طی توالی EH (۱۰ mN.m<sup>2</sup>/kg) و کاغذ رنگ‌بری شده طی دو توالی OD(E<sub>p</sub>)P (۳۰ mN.m<sup>2</sup>/kg) و OD(E<sub>p</sub>)D (۲۷ mN.m<sup>2</sup>/kg) مشاهده شد که می‌تواند بر اثر تأثیر رنگ‌بری اکسایشی با حفظ لیگنین و همچنین کاهش تخریب کربوهیدرات‌ها و در نتیجه افزایش دانسیته خطی الیاف و بهبود مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از توالی OD(E<sub>p</sub>)P در مقایسه با سایر توالی‌های رنگ‌بری در این تحقیق باشد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین میزان مقاومت به پارگی نمونه‌ها تفاوت بسیار معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد (شکل ۷).

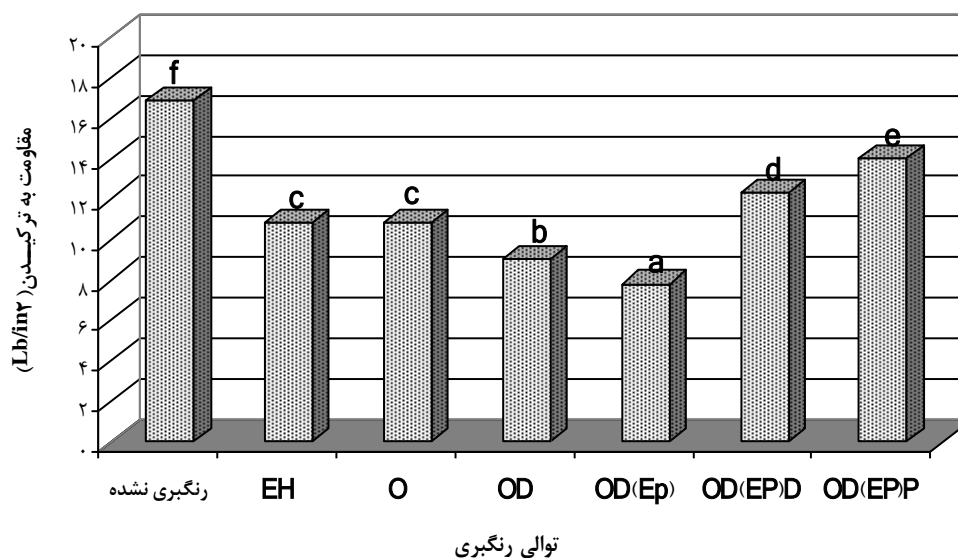
مقایسه مقاومت به پارگی کاغذهای رنگ‌بری شده باگاس طی توالی‌های رنگ‌بری ECF نتایج نشان داد که در اثر رنگ‌بری مقاومت به پارگی کاهش یافته است. به طوری که بیشترین مقاومت به پارگی در کاغذ سفید نشده کارخانه (۳۵ mN.m<sup>2</sup>/kg) و کمترین آن در خمیر سفید شده با توالی رنگ‌بری EH (۱۰ mN.m<sup>2</sup>/kg) مشاهده شد. در اثر رنگ‌بری دانسیته خطی الیاف که نسبت وزن به طول الیاف است، کاهش یافته و مقاومت به پارگی کاغذ حاصل کاهش را نشان می‌دهد. در میان خمیرهای سفید شده نیز بیشترین مقاومت به پارگی در کاغذ رنگ‌بری



شکل ۷- مقایسه مقاومت به پارگی کاغذهای رنگ‌بری شده باگاس طی توالی‌های رنگ‌بری ECF

رنگ‌بری کاهش مقاومت به ترکیدن در بین کلیه تیمارها مشاهده شد که این کاهش در توالی رنگ‌بری EH محسوس‌تر بود. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین میزان مقاومت به ترکیدن نمونه‌ها تفاوت بسیار معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود داشت (شکل ۸).

مقاومت به ترکیدن کاغذهای شاهد نتایج نشان داد که بیشترین مقاومت به ترکیدن (۱۴/۰۱) در کاغذهای رنگ‌بری شده مربوط به توالی رنگ‌بری OD(Ep)P و کمترین آن (۱۰/۸۷) مربوط به توالی رنگ‌بری EH بوده است. به طوری که در اثر



شکل ۸- مقایسه مقاومت به ترکیدن کاغذهای رنگ‌بری شده باگاس طی توالی‌های رنگ‌بری ECF

## بحث

در میان توالی‌های رنگ‌بری مورد نظر، ویژگی‌های روشنی، ماتی، ضریب جذب، مقاومت کششی، مقاومت به پارگی و مقاومت به ترکیدن در دو توالی OD(Ep)P و OD(Ep)D نسبت به توالی EH کارخانه افزایش محسوسی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی در بیشتر فاکتورهای اندازه‌گیری شده، توالی رنگ‌بری OD(Ep)P و پس‌از آن توالی OD(Ep)D نسبت به توالی رنگ‌بری EH کارخانه بهتر شناخته شد. این افزایش می‌تواند بر اثر تأثیر رنگ‌بری اکسایشی با حفظ لیگنین و همچنین کاهش تخریب کربوهیدرات‌ها و بهبود مقاومت‌های کاغذ حاصل از توالی OD(Ep)P در مقایسه با سایر توالی‌های رنگ‌بری مورد نظر در این تحقیق باشد. در تحقیقی با بررسی یون‌های فلزی و رزین‌های موجود در خمیر کاغذ سودای باگاس رنگ‌بری شده با توالی‌های ECF گزارش شد که دو ترکیب ۲ و ۶-دی متیل-۶-نیترو-۲-هپتن-۴-ان و دودکان در مرحله رنگ‌بری EH در خمیر موجود بوده، ولی در طی توالی‌های رنگ‌بری OD(Ep)P و OD(Ep)D از خمیر کاغذ باگاس حذف شده است. به‌طوری‌که توالی‌های رنگ‌بری OD(Ep)P، OD(Ep)D و EH نقش مؤثری در سفیدسازی، حذف ترکیبات شیمیایی موجود و روشنی خمیر کاغذ سودای باگاس داشته‌اند (Vaysi, 2015). نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان داد که حذف ترکیبات گروه‌های آروماتیکی، گروه‌های رنگ‌ساز و گروه‌های جاذب نور در این توالی در طی رنگ‌بری است که باعث بالا رفتن این مقدار شده است (Jeffries *et al.*, 1996).

## منابع مورد استفاده

- Barzan A., S. Soraki, 2002. Procedure of experimental for pulp and paper, Mazandaran Wood and Paper Industries, Sari, Iran, 111-121, (in Persian).
- 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
- Bajpai, P., 1998. *Biotechnology for environmental protection in pulp and paper industry*. Springer.Germany, Pp: 91-107.

این تحقیق با هدف بررسی اثر رنگ‌بری بدون کلر (ECF) بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ سودای باگاس انجام شد. نتایج حاصل از خمیر سودای رنگ‌بری شده با توالی‌های OD(Ep)P و OD(Ep)D در مقایسه با خمیر سودای کارخانه پارس نشان داد که در طی رنگ‌بری با توالی‌های مورد نظر عدد کاپا و مقدار لیگنین باقی‌مانده در خمیر کاهش یافته است. با توجه به استفاده از دی‌اکسید کلر و خاصیت اکسیدکنندگی قوی این ماده رنگ‌بری مقدار لیگنین باقی‌مانده در خمیر و بازدهی خمیر حاصل کاهش یافته است. در توالی رنگ‌بری OD(Ep)P با وجود یک ماده رنگ‌بری قوی همانند پروکسید هیدروژن باعث شده تا در مراحل پایانی توالی رنگ‌بری لیگنین باقی‌مانده در خمیر حذف یا کاهش یابد و یا به‌صورت اکسایشی تغییر رنگ داشته و خمیر کاغذ حاصل سفید شود (Bajpai *et al.*, 1998).

همچنین نتایج نشان داد که در اثر رنگ‌بری روشنی، سبزرنگی و نسبت K/S کاغذ حاصل از خمیر سودای باگاس افزایش را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین میزان ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذهای حاصل در بین تیمارها تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد. با توجه به اینکه در طی پخت سودا، کروموفورها و اجزای لیگنین از الیاف باگاس تخریب می‌گردد، ظاهراً نقش توالی رنگ‌بری چهار مرحله‌ای در سفیدسازی خمیر باگاس و بهبود روشنی خمیر حاصل بیشتر از توالی دو مرحله‌ای کارخانه بوده و در این میان استفاده از پروکسید هیدروژن به‌عنوان یک رنگ‌بری اکسایشی نیز مؤثرتر از دی‌اکسید کلر به نظر می‌رسد. نتایج سایر تحقیقات نشان داد به‌دلیل تیره‌تر بودن رنگ کاغذ حاصل از این خمیر بوده است که می‌تواند به علت وجود ترکیبات جدا شده لیگنین (کینون‌ها) در این خمیر باشد که به‌دلیل جاذب نور بودن این ترکیبات در کاغذ حاصل باعث جذب بیشتر نور در کاغذ حاصل از این توالی شده است (Buchert *et al.*, 1994).

- Mirshokraie S.A., 2003. Pulp and paper technology, Aeeizh publication, Tehran, Iran, 209-210p, (Translated in Persian).
- Mirshokraie S.A. and Abdolkhani A.,2005. Effects of metallic ions on brightness CMP pulp of hardwoods in north of Iran, Iranian journal national resource,58 (2), (in Persian).
- Paullsson M. , Lucian A. , Arthur J. , (2001), Potoyellowing of untreated chemi-thermo-mechanical pulp under argon, ambient and oxygen atmosphere, Journal of wood chemistry and technology ,21 (4).
- Tran A .V., (2003) , Thermal yellowing of hard wood kraft pulp bleaching with a chlorine dioxide based sequence , Journal of pulp and paper science , Vol . 28 , No.4 .
- Technical Association of Pulp and Paper Industry, 2009. Standard Test Methods. 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 j. of wood and paper sci. and technology 30(1), 72-84.
- Xu E . C . , (2002) , H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bleaching of mechanical pulps , Journal of pulp and paper science , Vol . 28 , No . 1 .
- Costa, M.M., and Colodette, J.L., 2007. The impact of kappa number composition on eucalyptus kraft pulp bleachability. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 24(1): 61-71.
- EK, M., 1992. Some aspects on the mechanisms of photo-yellowing of high- yield pulps ,Royal institute of technology, Stockholm, Sweden, Ph.D Thesis.
- Cater, Henry A., 1996. The Chemistry of paper preservation, Journal of Chemical Education, 73(11), 1068-1073.
- Forsskahl I .,H. Tylli and C .Olkkonen , (2000) , Participation of carbohydrate – derived chromospheres in the yellowing of high – yield and TCF pulps , Journal of pulp and paper science Vol . 26 , No 7 .
- 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.,A. Jahan Latibari, R. Patt., 2007. Investigation on TCF bleaching of wheat straw soda pulp, Journal of the Natural Res., 59(4), 935-951.
- Jeffries, T.W., and Viikari, L., 1996. Enzymes for pulp and paper processing. American chemical society.Washington, DC, 326p.
- Luiss, A.J., and Jackson, 2002. Textbook of pulping technology, McGraw-Hill, New York, NY, 126-132.

## The effect of ECF bleaching on optical and mechanical properties of bagasse soda pulp

R. Vaysi<sup>1\*</sup>, R. Behrooze<sup>2</sup> and E. Khaj-e-Ali<sup>3</sup>

1\*- Corresponding author, Associate Prof., Islamic Azad University of Chalous, Iran, email:vaysi\_r452@yahoo.com.

2-Associate Prof., Tarbiat-Modares University, Faculty of Natural Resources, Noor, Iran

3- Graduated in Wood and Paper Technology, Islamic Azad University of Chalous, Iran

Received: Sep., 2015

Accepted: March, 2016

### Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of ECF bleaching on optical and mechanical properties of bagasse soda pulp. For this purpose, some soda unbleached pulps were randomly selected from Pars mill. Then these pulps were bleached using OD(Ep)P and OD(Ep)D sequence. The hand sheets with 70 gr/m<sup>2</sup> were prepared from soda unbleached and bleached from EH(control), OD(Ep)P and OD(Ep)D pulps. Then the optical and mechanical properties were measured according to TAPPI Standard test methods. The results showed that residual lignin and kappa number was decreased following above-mentioned of bleaching stages. The brightness, greenness and K/S ratio were increased in bleached bagasse soda pulps. In different treatments, the brightness, opacity, absorbance coefficient, burst, breaking length, tensile, tear strength were determined to be increased in OD(Ep)P and OD(Ep)D as compared with EH (control) mill bleaching stages. In general, OD(Ep)P sequence was better, than OD(Ep)D and both were superior to EH (control) mill stage in majority of measured properties.

**Key words:** Soda pulp, bagasse, bleaching stage, ECF bleaching, optical and mechanical properties.