University of Tehran Press

Journal of Forest and Wood Product Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

The effect of DTPA and complementally bleaching on the optical properties of hornbeam and beech CMP pulps

Ramin Vaysi[1*] | Naghme Amani Bishehgah[2]

1. Assoc., Prof., Department of Wood and Paper Engineering, Chaloos Branch, Islamic Azad University, Chaloos, I.R. Iran. Email: vaysi_r452@yahoo.com
2. Ph.D., Department of Wood Science and Paper Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, I.R. Iran. Email: naghmeh_amani4@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 31 July 2022
Revised 07 December 2022
Accepted 11 December 2022
Published 01 March 2023

Keywords:
Hydrogen peroxide,
Sodium dithionite,
Complimentary bleaching,
Spraying,
Optical properties,
DTPA.

ABSTRACT

In this research, beech and hornbeam chips were chosen randomly from the chips pile of Mazandaran Wood and Paper Industries and cooked under CMP conditions and pulps were prepared at the yield of 85%. The CMP pulps were separately bleached with hydrogen peroxide and sodium dithionite and 60 gr/m^2 hand sheet were made. Then, a solution of 0.5 percent of DTPA was sprayed over a number of hand sheets. Then, their optical characteristics were measured and compared using TAPPI Standard test methods. The results of this study explored that following H_2O_2 bleaching brightness and greenness increased and opacity, absorption coefficient, K/S ratio and a* factor decreased. After complementally bleaching with sodium dithionite, the most part of optical properties improved. Following DTPA solution spraying on the surface of hand sheets, brightness, opacity and greenness improved and absorption coefficient, K/S ratio and a* factor decreased. Among the different treatments, DTPA spray has a great effect in stability of brightness and increasing it durability against optical deterioration. Also, the complementally bleaching pattern in improving the optical properties of the paper obtained from hornbeam CMP pulp was more noticeable than that of beech.

Cite this article: Vaysi, R., Amani Bishehgah, N. (2023). The effect of DTPA and complementally bleaching on the optical properties of hornbeam and beech CMP pulps. *Journal of Forest and Wood Product*, 75 (4), 365-375. DOI: http//doi.org/ 10.22059/jfwp.2022.346580.1218.

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/ 10.22059/jfwp.2022.346580.1218

انتشارات دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فراورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

تأثیر DTPA و رنگبری تکمیلی با دی‌تیونیت سدیم بر ویژگی نوری خمیرکاغذهای شیمیایی– مکانیکی (CMP) ممرز و راش

رامین ویسی[1*] | نغمه امانی بیشه‌گاه[2]

۱. دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران. رایانامه: vaysi_r452@yahoo.com

۲. دکتری، گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران. رایانامه: naghmeh_amani4@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰

کلیدواژه‌ها:
پراکسید هیدروژن،
دی‌تیونیت سدیم،
رنگبری تکمیلی،
ویژگی‌های نوری،
DTPA.

چکیده

در این تحقیق از انباشت خرده‌چوب‌های راش و ممرز کارخانهٔ چوب و کاغذ مازندران، مقداری خرده‌چوب به‌صورت تصادفی انتخاب و خمیرکاغذ CMP با بازده ۸۵ درصد تهیه شد. خمیرکاغذهای CMP تهیه‌شده با پراکسید هیدروژن و سپس دی‌تیونیت سدیم رنگبری تکمیلی شدند و از آنها کاغذ دست‌ساز با گراماژ g/m^2 ۶۰ تهیه شد. سپس روی تعدادی از کاغذهای دست‌ساز محلول ۰/۵ درصد DTPA افشانده شد و خواص نوری آنها طبق آزمون‌های استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بر اثر رنگبری با پراکسید هیدروژن روشنی و سبزرنگی کاغذ افزایش و ماتی، ضریب جذب، فاکتور a^* و نسبت K/S آن کاهش می‌یابد. بر اثر رنگبری تکمیلی با دی‌تیونیت سدیم بیشتر خواص نوری کاغذ بهبود می‌یابد. بر اثر افشاندن DTPA روی کاغذهای دست‌ساز روشنی، ماتی و سبزرنگی کاغذ افزایش و ضریب جذب، نسبت K/S و عدد PC و فاکتور a^* کاهش می‌یابد. در بین تیمارهای مختلف افشاندن DTPA تأثیر زیادی در افزایش پایداری روشنی و افزایش دوام کاغذ در برابر تخریب نوری دارد. همچنین اثر رنگبری تکمیلی در بهبود ویژگی‌های نوری کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP ممرز، محسوس‌تر از گونهٔ راش بوده است.

استناد: ویسی، رامین؛ امانی بیشه‌گاه، نغمه (۱۴۰۱). تأثیر DTPA و رنگبری تکمیلی با دی‌تیونیت سدیم بر ویژگی نوری خمیرکاغذهای شیمیایی– مکانیکی (CMP) ممرز و راش. *نشریهٔ جنگل و فراورده‌های چوب*، ۷۵ (۴)، ۳۶۵–۳۷۵.

DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2022.346580.1218

© نویسندگان.

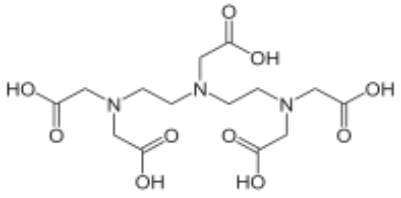
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2022.346580.1218

۱. مقدمه

امروزه با افزایش جمعیت، افزایش تقاضای مصرف کاغذ و مقوا و همچنین محدودیت بیشتر مواد اولیهٔ مصرفی، تولید خمیرکاغذ از خمیرکاغذهای پربازده[1] و مکانیکی[2] جایگاه ویژه و طرفداران خاص خود را پیدا کرده است. این خمیرکاغذها بازده زیاد بیش از ۸۵ درصد دارند و مقدار مادهٔ چوبی حل‌شده در آنها کمتر از خمیرکاغذهای شیمیایی و نیمه‌شیمیایی است، اما به‌علت وجود لیگنین، مواد عصاره‌ای و یون‌های فلزی موجود در این خمیرکاغذها، مصرف آنها به زمان‌های کوتاه‌مدت محدود است و در طولانی‌مدت دچار برگشت روشنی و زردشدگی نوری[3] می‌شوند. خمیرکاغذهای مکانیکی و شیمیایی- مکانیکی (CMP)[4] در مقایسه با خمیرکاغذهای شیمیایی به‌دلیل تخریب بیشتر در الیاف، متوسط طول الیاف کمتر، نرمه‌های بیشتر و ماندگاری کمتر نرمه‌ها و پرکننده‌ها، لیگنین باقی‌ماندهٔ بیشتر و ویژگی‌های مقاومتی کمتر در ساخت کاغذهای باکیفیت و بادوام از مطلوبیت کمتری برخوردارند؛ اما به‌دلیل بازده بیشتر و خصوصیات چاپ‌پذیری بهتر، از این خمیرکاغذها اغلب برای تولید کاغذهای روزنامه، چاپ و تحریر مدارس و مقوا استفاده می‌شود [۱]. در این زمینه در کارخانهٔ چوب و کاغذ مازندران در شمال ایران (شهر ساری) سالیانه حدود ۵۲۰۰۰ تن کاغذ روزنامه و ۳۸۰۰۰ تن کاغذ چاپ و تحریر (سفارشی) و از خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) و چوب‌های ممرز، راش و صنوبر تولید می‌شود. برای بهبود قابلیت حرکت‌پذیری کاغذ در حین تولید و چاپ، به‌کارگیری حدود ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی ضرورت دارد. این خمیرکاغذ وارداتی به‌طور معمول خمیر کرافت سوزنی‌برگ است که از کشورهای دیگر وارد می‌شود و ضمن ایجاد وابستگی، سالیانه خروج مقادیر زیادی ارز از کشور را در پی دارد [۲].

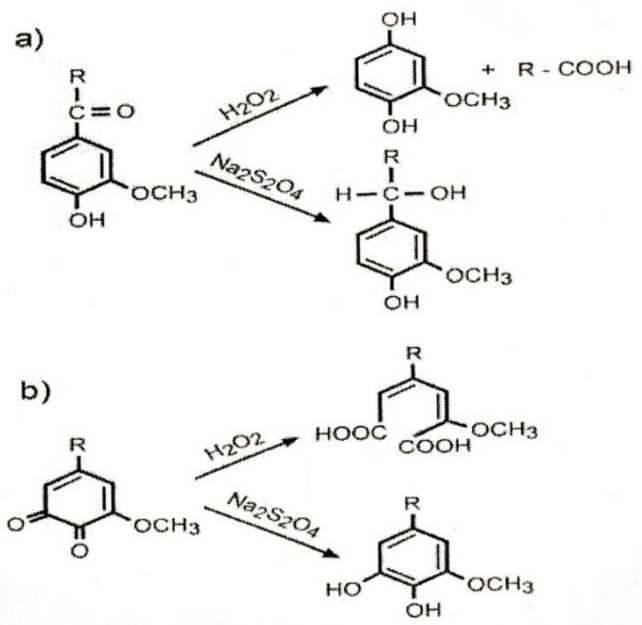
از طرفی DTPA (دی‌اتیلن تترا آمین پنتا استیک اسید) به‌عنوان عامل کی‌لیت‌کننده، برای حذف یا کاهش یون‌های فلزی به‌کار می‌رود. منشأ یون‌های فلزی موجود در خمیرکاغذ شامل آب فرایندی، فلزات سیستم و چوب (مادهٔ لیگنوسلولزی) است. یون‌های فلزی موجود در خمیرکاغذ موجب تجزیهٔ پراکسید هیدروژن و تسریع برگشت روشنی کاغذ می‌شود [۳]. در ساختار DTPA، پنج گروه کربوکسیل (COOH) وجود دارد (شکل ۲) که با افزودن هیدروکسید سدیم، پنج مولکول آب تشکیل می‌شود که در تعیین DS= ۶۴ می‌تواند در نظر گرفته شود. ازآنجا که مقدار مصرف DTPA موجب چسبنده شدن الیاف خمیرکاغذ می‌شود، ممکن است در ماشین کاغذ نیز مشکل‌ساز شود. از این‌رو مقدار مصرف بهینهٔ DTPA حدود ۰/۳ تا ۰/۵ درصد تعیین شده است که به‌عنوان پیش‌تیمار قبل از رنگبری با پراکسید هیدروژن از این عوامل کی‌لیت‌کننده استفاده می‌شود [۴].



شکل ۱. ساختار شیمیایی عامل کی‌لیت‌کنندهٔ DTPA

از طرف دیگر برای حذف عوامل رنگی در خمیرکاغذ سفیدنشده از سیستم رنگبری استفاده می‌شود. عوامل رنگی بودن خمیرکاغذ به‌طور معمول شامل کروموفورها و اجزای جداشده از لیگنین، یون‌های فلزی موجود در خمیرکاغذ و مواد عصاره‌ای جداشده از خرده‌چوب‌ها هستند. در وضعیت متداول کنونی، رنگبری به‌طور معمول با حفظ لیگنین یا حذف لیگنین انجام می‌گیرد. رنگبری با حفظ لیگنین به‌طور معمول سفیدی متوسطی به کاغذ می‌دهد و برای خمیرکاغذهای مکانیکی، مکانیکی- شیمیایی و پربازده مناسب است که در آن از پراکسید هیدروژن، ازن و هیپوکلریت به‌عنوان رنگبری اکسایشی و از دی‌تیونیت سدیم (هیدروسولفیت سدیم) و بوروهیدرید سدیم به‌عنوان رنگبری کاهشی [۵، ۶] استفاده می‌شود (شکل ۲).

1. High-yield pulps
2. Mechanical pulps
3. Photo-yellowing
4. Chemi-mechanical pulp



شکل ۲. گروه‌های فنولی (کاتکول‌ها) حاصل از کینون‌های خمیرهای پربازده، رنگبری‌شده با پراکسید هیدروژن و دی‌تیونیت سدیم [۷].

از دی‌تیونیت سدیم نیز اغلب در رنگبری تکمیلی و برای تثبیت شرایط خمیرکاغذ بعد از رنگبری با پراکسید هیدروژن و در خمیرهای پربازده استفاده می‌شود، این شرایط رنگبری تاکنون صنعتی نشده است. در دههٔ گذشته در زمینهٔ تغییر رنگ کاغذهای مکانیکی و نیمه‌شیمیایی پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است، اما تا کنون به دلایل اقتصادی و فنی، هیچ‌کدام از آنها کاربرد صنعتی پیدا نکرده‌اند. در این زمینه ویسی و عبادی (۲۰۲۲) با بررسی تأثیر کهنه‌شدگی حرارتی خمیرکاغذهای CMP ممرز طی رنگبری با پراکسید هیدروژن و دی‌تیونیت سدیم گزارش کردند که رنگبری با پراکسید هیدروژن و دی‌تیونیت سدیم در کوتاه‌مدت تأثیر زیادی در پایداری روشنی و برگشت رنگ حرارتی کاغذهای حاصل دارد [۸]. پالسون و همکاران (۲۰۰۱) دربارهٔ زردشدگی نوری خمیرکاغذهای CTMP رنگبری‌نشده و استیل‌دارشدهٔ صنوبر در جوّ معمولی، جوّ گاز آرگون و گاز اکسیژن در طی کهنه‌سازی نوری تسریع‌شده تحقیق کردند. طبق گزارش آنها اکسیژن رنگ‌باختگی نوری را افزایش و استیل‌دار شدن، زردشدگی نوری را کاهش می‌دهد [۹]. میرشکرایی و عبدالخانی (۲۰۰۵) تأثیر یون‌های فلزی بر روشنی خمیرکاغذ CMP مخلوط پهن برگان ایران را بررسی کردند. آنها با بررسی خواص نوری کاغذ گزارش دادند که افشاندن عامل کی‌لیت‌ساز DTPA روی کاغذ سبب کاهش چشمگیر اثر منفی یون‌های فلزی واسطه‌ای بر روشنی (ISO) کاغذ می‌شود [۱۰].

گونه‌های ممرز و راش با ۳۰ و ۲۳/۶۳ درصد به‌ترتیب بیشترین فراوانی را در جنگل‌های شمال کشور به خود اختصاص داده‌اند. در کارخانهٔ چوب و کاغذ مازندران از مخلوط ۷۵ درصد ممرز و حدود ۲۵ درصد راش و به‌تازگی مقداری صنوبر برای تولید خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی استفاده می‌شود. از طرفی ویژگی‌های ساختاری و شیمیایی چوب ممرز و راش (به‌دلیل دل‌قرمزی) با هم متفاوت است، برای مثال در راش حدود ۳۵ درصد مواد استخراجی در درون‌چوب کاذب آن از سیتوسیترول تشکیل شده است، در صورتی که در ممرز ترکیب مهم چوب آن بیس(۲-اتیل هگزیل) فتالات است. تأثیر نوع و درصد اجزای مواد شیمیایی و همچنین کروموفورهای موجود در خمیرکاغذ تولیدی بر توالی‌های رنگبری در دو گونهٔ ممرز و راش ممکن است متفاوت باشد [۱، ۱۱]. در این تحقیق تأثیر DTPA و رنگبری تکمیلی با دی‌تیونیت سدیم بر ویژگی نوری خمیرکاغذهای شیمیایی- مکانیکی (CMP) ممرز و راش بررسی و ارزیابی شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. تهیهٔ نمونه

در این تحقیق، از انباشت خرده‌چوب‌های ممرز و راش کارخانهٔ چوب و کاغذ مازندران، نمونه‌هایی به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب

شد. پس از انتقال آنها به آزمایشگاه مرکز تحقیقات کارخانهٔ مذکور، ابتدا خرده‌چوب‌های استاندارد به‌صورت دستی جداسازی و شسته شدند. سپس درصد رطوبت آنها طبق آزمون شمارهٔ ۹۷–om ۲۹۷ استاندارد TAPPI اندازه‌گیری شد.

۲. ۲. پخت CMP

از خرده‌چوب‌های تهیه‌شدهٔ ممرز و راش، خمیر شیمیایی- مکانیکی (CMP) با بازده ۸۵ درصد تهیه شد. برای پخت خرده‌چوب‌ها از لیکور سفید پخت کارخانهٔ چوب و کاغذ مازندران استفاده شد. پخت خرده‌چوب‌ها در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کارخانهٔ چوب و کاغذ مازندران (ساری) براساس شرایط مندرج در جدول ۱ انجام گرفت.

جدول ۱. شرایط پخت خمیرکاغذهای CMP ممرز و راش [۲، ۱۲]

شرایط پخت	خمیرکاغذ CMP	شرایط پخت	خمیرکاغذ CMP
نسبت L:W	۷:۱	زمان آغشته‌سازی (دقیقه)	۳۰
(g/l) Na_2O	۱۰۶	زمان پخت (دقیقه)	۶۰ (ممرز)، ۷۵ (راش)
(g/l) SO_2	۱۱۶	فشار (bar)	۶/۹
مادهٔ شیمیایی مصرفی (درصد)	۲۰	بازده (درصد)	۸۵
دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۶۰	نام مادهٔ شیمیایی مصرفی	سولفیت سدیم (Na_2SO_3)

۲. ۳. رنگبری خمیرکاغذ CMP

خمیرکاغذهای CMP تهیه‌شده از گونه‌های ممرز و راش، به‌صورت جداگانه با پراکسید هیدروژن(H_2O_2)، بدون DTPA و با DTPA رنگبری شدند. مرحلهٔ پیش‌تیمار با عامل کی‌لیت‌کننده (DTPA) در داخل کیسه‌های پلاستیکی و در حمام آب گرم انجام گرفت. پس از کی‌لیت‌سازی با DTPA، خمیرهای پیش‌تیمارشدهٔ CMP ممرز و راش ابتدا به‌صورت جداگانه با پراکسید هیدروژن رنگبری شدند (جدول ۲) [۲، ۳] و بعد از رنگبری و شست‌وشو، خمیرکاغذهای سفیدشده با پالایندهٔ آزمایشگاهی PFI Mill تا رسیدن به درجهٔ روانی CSF ۳۰۰ پالایش شدند. از مقداری از خمیرکاغذهای CMP رنگبری‌شده با پراکسید هیدروژن، طبق آزمون شمارهٔ ۸۸– om ۲۰۵ T استاندارد TAPPI، کاغذهای دست‌ساز با گراماژ ۶۰ gr/m^2 تهیه شد [۲، ۱۳]. سپس روی تعدادی از کاغذهای دست‌ساز، محلول ۰/۵ درصد DTPA افشانده شد. برای افزایش روشنی کاغذ حاصل، خمیرکاغذهای رنگبری‌شده با پراکسید هیدروژن، دوباره با دی‌تیونیت سدیم ($Na_2S_2O_4$ ، به‌عنوان مادهٔ کاهنده) نیز رنگبری (رنگبری تکمیلی) شدند [۱، ۸]. به‌عبارت دیگر فرایند اصلی رنگبری در کارخانهٔ چوب و کاغذ مازندران رنگبری با پراکسید هیدروژن بوده است. اما در این تحقیق یک مرحله تیمار با DTPA، یک مرحله بدون تیمار DTPA، یک مرحله با افشاندن DTPA و یک مرحله رنگبری تکمیلی با دی‌تیونیت سدیم، افزون‌بر رنگبری با پراکسید هیدروژن نیز انجام گرفت. بعد از رنگبری تکمیلی با دی‌تیونیت سدیم، خمیرهای مورد نظر با دور ۶۵۰۰ برای رسیدن به درجهٔ روانی ۳۰۰CSF با دستگاه PFI Mill پالایش شدند. سپس از نمونه‌های تهیه‌شده تعدادی کاغذ دست‌ساز تهیه شد.

۲. ۴. تهیه و آماده‌سازی DTPA

دی‌اتیلن تترا آمین پنتا استیک اسید (DTPA) به‌عنوان مادهٔ کی‌لیت‌کننده با شکل ظاهری مایع متمایل به زرد، مقدار مواد جامد ۵۰ درصد، محدودهٔ pH ۱۲–۱۱ (محلول با غلظت ۱۰ درصد)، ویسکوزیتهٔ ۲۵ cps و دانسیتهٔ ۱/۳۱–۱/۲۷ (در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد) از شرکت DIPER-Samchun تهیه شد. ابتدا مقداری DTPA به‌صورت محلول ۰/۵ درصد آماده شده و روی کاغذهای دست‌ساز افشانده شد. این کار به‌مدت۲۰ ثانیه و در فاصلهٔ ۲۰سانتی‌متری انجام گرفت [۱، ۸]. سپس با رعایت شرایط استاندارد، ویژگی‌های نوری و مقاومتی بعد از خشک شدن نمونه‌ها اندازه‌گیری و مقایسه شد.

جدول ۲. شرایط پیش‌تیمار، رنگبری با پراکسید هیدروژن و رنگبری تکمیلی [۱، ۲، ۱۴]

	پیش‌تیمار با DTPA	رنگبری با H_2O_2	رنگبری تکمیلی با دی‌تیونیت سدیم
دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۵	۷۵	۶۵
درصد خشکی	۴	۱۲	۴
زمان (دقیقه)	۳۰	۶۰	۶۰
غلظت پراکسید هیدروژن مصرفی (درصد)	–	۳	–
DTPA یا EDTA مصرفی (درصد)	۰/۳	–	/۲۵
pH	۵/۱	۹/۱	۸
نسبت وزنی $NaOH/H_2O_2$	–	۰/۷	–
سیلیکات سدیم مصرفی (درصد)	–	۳	–
دی‌تیونیت سدیم ($Na_2S_2O_4$) مصرفی (درصد)	–	–	۳

۲. ۵. اندازه‌گیری خواص نوری

برای اندازه‌گیری خواص نوری کاغذهای تهیه‌شده، از دستگاه اسپکتروفتومتری از نوع Technibrite Micro TB-1C spectrophotometer از شرکت الرفو سوئد (Elrepho Co., Stockholm Sweden) استفاده شد. عملکرد این سیستم بر خاصیت انعکاس نور از سطح استوار است. سپس ویژگی‌های نوری نمونه‌های آزمونی به‌ویژه روشنی (ISO)، ماتی، زردی، فاکتور a^*، ضریب جذب (K)، ضریب پخش (S) طبق آزمون‌های استاندارد TAPPI تعیین شد [۱۵–۱۷].

۲. ۶. تجزیه‌وتحلیل آماری

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. برای مقایسهٔ ویژگی‌های نوری در سطوح گونه از آزمون آماری t و برای مقایسهٔ میانگین‌ها در سطح تیمارها از تجزیهٔ واریانس یکطرفه و آزمون دانکن استفاده شد.

۳. نتایج

۳. ۱. مقایسهٔ میانگین مشخصه‌های کمی در سطح متغیرها

نتایج جدول آزمون t نشان می‌دهد که در آزمون تساوی میانگین مشخصه‌های روشنی، ماتی و فاکتورهای L^* و b^*، در سطوح گونه (راش و ممرز)، شواهد کافی برای رد فرض صفر ($\mu_1 = \mu_2$) وجود ندارد و اختلاف معنی‌داری بین میانگین روشنی، ماتی و فاکتورهای L^* و b^* در سطح گونه‌های راش و ممرز دیده نمی‌شود (جدول ۳).

همچنین تجزیهٔ واریانس یکطرفه و آزمون دانکن نشان داد که بین میانگین خواص نوری در سطح تیمارها و در سطح اعتماد ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴).

جدول ۳. آزمون t بین متغیرها و خواص نوری خمیرکاغذهای CMP ممرز و راش

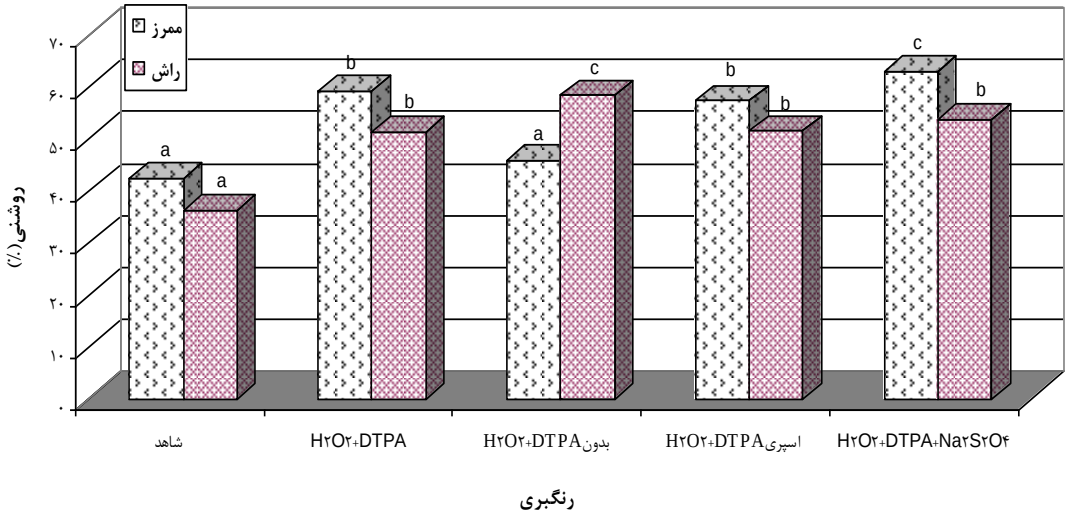
مشخصه	روشنی (درصد)		فاکتور a^*		نسبت K/S × ۱۰۰۰		ضریب جذب		ماتی	
متغیر	t	سطح معنی‌داری	t	سطح معنی‌داری	t	سطح معنی‌داری	t	سطح معنی‌داری	t	سطح معنی‌داری
تیمار	۸/۱۱۶	۰/۰۰۱	–۹/۹۳۶	۰/۰۰۱	–۴/۰۵۱	۰/۰۰۱	–۳/۹۷۹	۰/۰۰۱	–۳/۳۵۲	۰/۰۰۱

جدول ۴. میانگین و انحراف معیار خواص نوری کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP ممرز و راش

مشخصه	روشنی (درصد)		فاکتور a^*		نسبت K/S × ۱۰۰۰		ضریب جذب		ماتی	
متغیر	F	سطح معنی‌داری	F	سطح معنی‌داری	F	سطح معنی‌داری	F	سطح معنی‌داری	F	سطح معنی‌داری
تیمار	۲۵/۱۱	۰/۰۰۰۱	۳۵/۷۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۱۳۰/۶۸	۱۴۸	۰/۰۰۰۱	۵۷/۸۲	۰/۰۰۰۱

۳. ۲. مقایسهٔ درجهٔ روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP ممرز و راش

نتایج نشان داد که در طی رنگبری با پراکسید هیدروژن (H_2O_2) روشنی کاغذ حاصل افزایش یافت. این افزایش روشنی در خمیرکاغذ CMP ممرز محسوس‌تر از راش است که ممکن است به‌علت وجود مواد استخراجی بیشتر در راش و نیز به‌دلیل دل‌قرمزی آن باشد. در بین تیمارهای مختلف کمترین روشنی در خمیرکاغذ CMP سفیدنشده (۴۲/۳ درصد در ممرز و ۳۶/۲۸ درصد در راش) و بیشترین روشنی در کاغذ حاصل از رنگبری با $Na_2S_2O_4 + H_2O_2$ (۶۲/۹۱ درصد در ممرز) مشاهده شد. نتایج نشان داد که رنگبری تکمیلی با پراکسید هیدروژن و دی‌تیونیت سدیم ($Na_2S_2O_4 + H_2O_2$) سبب افزایش روشنی شد. افشاندن DTPAروی کاغذهای دست‌ساز نیز موجب بهبود روشنی کاغذ شد که ممکن است به‌دلیل تعدیل یون‌های فلزی، کاهش اثر نور بر کروموفورها و گروه‌های رنگساز لیگنین موجود در سطح کاغذ توسط DTPA باشد [۸، ۱۰]. چون پدیدهٔ تغییر رنگ در کاغذ یک پدیده سطحی است، یون‌های فلزی موجود در کاغذ دوباره فعال می‌شوند. افشاندن DTPA روی کاغذ ممکن است تا حد زیادی اثر منفی یون‌های فلزی را مرتفع سازد و پایداری روشنی در کاغذ حاصل را افزایش دهد [۱، ۱۸]. همچنین رنگبری با تیمار بدون H_2O_2 + DTPA روشنی مناسبی را در خمیر راش از خود نشان داده است. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین روشنی همهٔ تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۳).

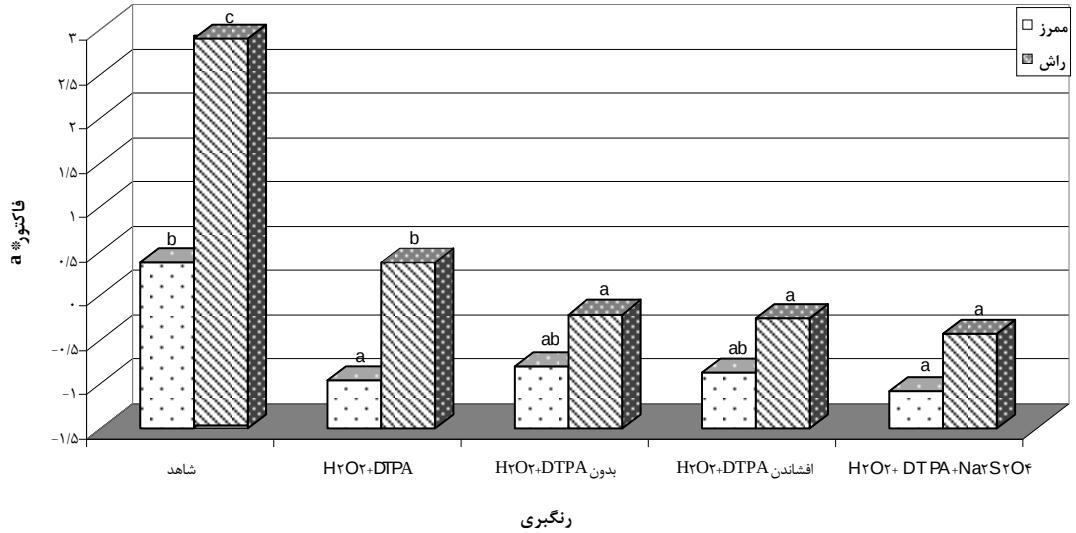


شکل ۳. مقایسهٔ روشنی خمیرهای CMP راش و ممرز در طی رنگبری تکمیلی و افشاندن DTPA

۳. ۳. مقایسهٔ فاکتور*a کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP ممرز و راش

فاکتور*a نشان‌دهندهٔ طیف رنگی سبز تا قرمز در کاغذ است. نتایج نشان داد که فاکتور*a در خمیرکاغذ CMP سفیدنشده ممرز (۰/۳۸) کمتر از راش (۲/۸۹۵) است. در طی رنگبری با H_2O_2 فاکتور*a کاغذ کاهش می‌یابد و سبزرنگی کاغذ حاصل افزایش نشان می‌دهد. در بین تیمارهای مختلف کمترین فاکتور*a (بیشترین سبزرنگی) در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ رنگبری‌شده با $Na_2S_2O_4 + H_2O_2$ مشاهده شد. نتایج نشان داد که در پی رنگبری تکمیلی با پراکسید هیدروژن و دی‌تیونیت سدیم (H_2O_2 + $Na_2S_2O_4$)، به‌دلیل کاهش کروموفورها، مواد عصاره‌ای و رنگی موجود در خمیرکاغذ، قرمزی کاغذ کاهش و سبزرنگی کاغذ افزایش یافت که مشخصهٔ مطلوبی در کاغذهای چاپ و تحریر و روزنامه به‌شمار می‌رود. در این زمینه پالسون و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی کاغذهای اصلاح‌شده از صنوبر در اثر استیله شدن گزارش داده‌اند که در طی کهنه‌سازی نوری، فاکتور a^* کاهش و سبزی کاغذ افزایش می‌یابد [۹]. افشاندن DTPA روی کاغذهای دست‌ساز نیز موجب بهبود سبزرنگی در کاغذ شده است. همچنین رنگبری با تیمار بدون H_2O_2 + DTPA سبزرنگی مناسبی را در خمیرکاغذ حاصل نشان داده است. در این زمینه رضازاده و همکاران گزارش دادند که با افشاندن DTPA روی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP مقاومت به پارگی، جذب آب، درجهٔ روشنی و سبزرنگی افزایش و دیگر ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده کاهش یافته است. اما افشاندن همزمان ۲ درصد نانوکیتوزان، ۰/۵ درصد

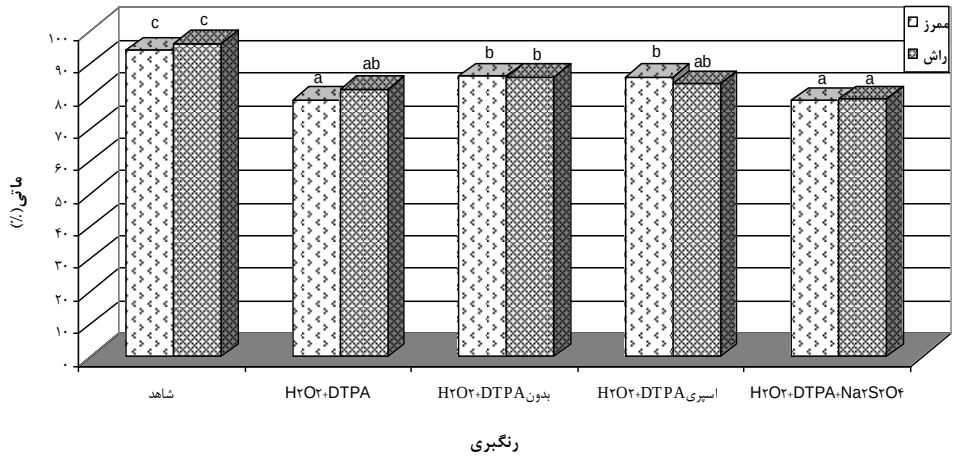
DTPA و ۲ درصد نانوسلولز به خمیرکاغذ CMP سبب بهبود اغلب ویژگی‌ها (به‌جز ماتی و جذب آب) در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP شده است [۱۹]. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین فاکتور*a همهٔ تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسهٔ فاکتور*a خمیرهایCMP راش و ممرز در طی رنگبری تکمیلی و افشاندن DTPA

۳. ۴. مقایسهٔ ماتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP ممرز و راش

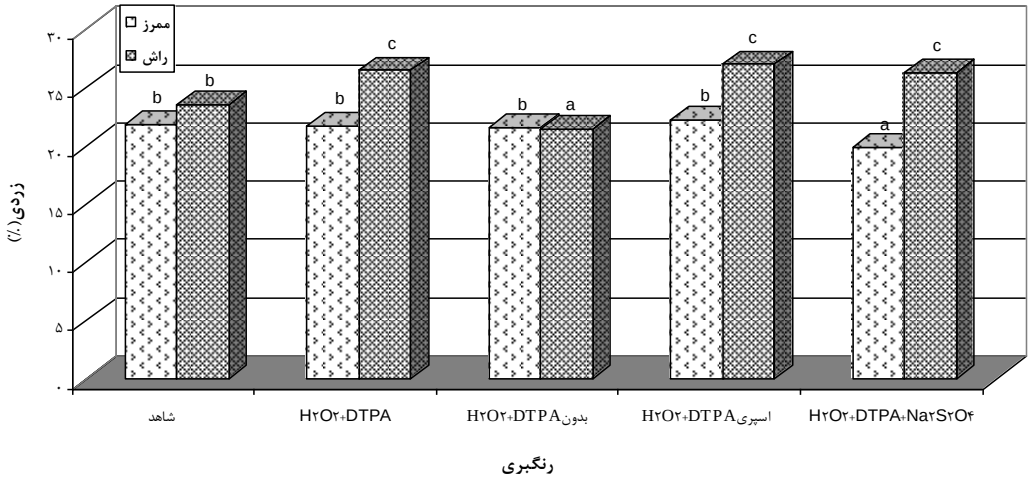
نتایج نشان داد که در طی رنگبری با پراکسید هیدروژن (H_2O_2) ماتی کاغذ حاصل کاهش یافت. این کاهش ماتی در خمیرکاغذ CMPراش محسوس‌تر از ممرز است. در بین تیمارهای مختلف بیشترین ماتی در خمیرکاغذ CMP سفیدنشدهٔ راش (۹۶/۰۵ درصد) و کمترین آن در کاغذ حاصل از رنگبری با DTPA + H_2O_2 در ممرز (۸۲/۲۸ درصد) مشاهده شد. نتایج نشان داد که رنگبری تکمیلی با پراکسید هیدروژن و دی‌تیونیت سدیم ($Na_2S_2O_4$ + H_2O_2) موجب کاهش ماتی شد. با توجه به اینکه در اثر رنگبری برخی از ترکیبات رنگی موجود در خمیرکاغذ از آن خارج می‌شود، عبور نور راحت‌تر می‌شود و ماتی کاغذ حاصل از خمیر رنگبری‌شده نیز کاهش می‌یابد. افشاندن DTPA روی کاغذهای دست‌ساز نیز سبب کاهش ماتی کاغذ شد که ممکن است به‌علت تعدیل یون‌های فلزی رنگی موجود در سطح کاغذ توسط DTPA باشد [۱، ۸]. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین ماتی همهٔ تیمارها در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۵).



شکل ۵. مقایسهٔ ماتی خمیرهایCMP راش و ممرز در طی رنگبری تکمیلی و افشاندن DTPA

۳. ۵. مقایسهٔ زردی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهایCMP ممرز و راش

براساس نتایج، در طی رنگبری زردی کاغذ حاصل خمیرکاغذ CMP ممرز کاهش یافت و از ۲۱/۹ درصد در خمیر سفیدنشده به کمترین مقدار خود (۱۹/۸۷ درصد) در خمیر رنگبری‌شده با پراکسید هیدروژن و دی‌تیونیت سدیم ($Na_2S_2O_4 + H_2O_2$) رسید. در این زمینه زردی خمیرکاغذ CMP سفیدنشدهٔ راش (۲۳/۵۳ درصد) بیشتر از ممرز است که ممکن است به‌دلیل وجود درون‌چون کاذب (دل‌قرمزی) و همچنین مواد استخراجی بیشتر در راش باشد. کمترین آن نیز در کاغذ حاصل از رنگبری با H_2O_2 + DTPA (۲۱/۴۷ درصد) ممرز مشاهده شد. افشاندن DTPA روی کاغذهای دست‌ساز نیز موجب افزایش محسوس زردی کاغذ حاصل به‌ویژه در راش شد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین زردی همهٔ تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۶).



شکل ۶. مقایسهٔ زردی خمیرهایCMP راش و ممرز در طی رنگبری تکمیلی و افشاندن DTPA

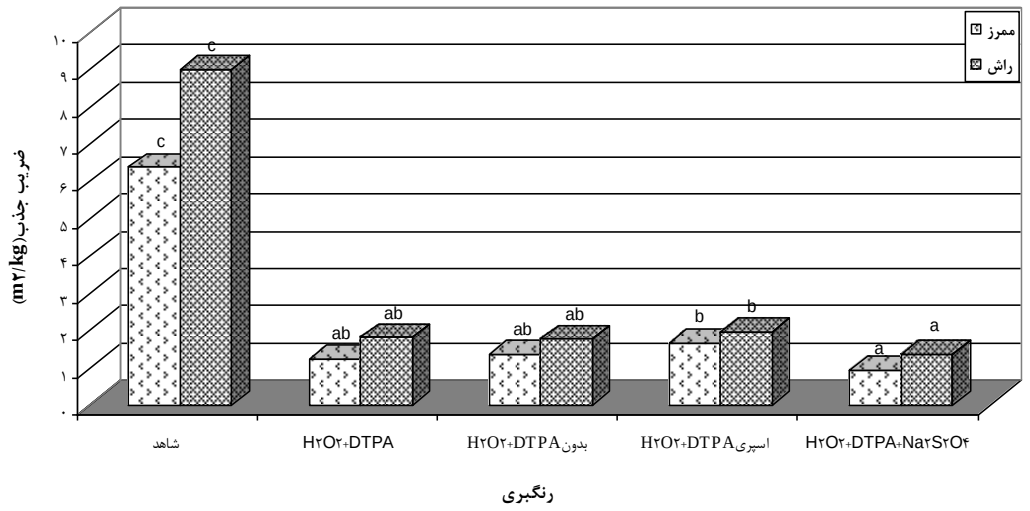
۳. ۶. مقایسهٔ ضریب جذب کاغذ حاصل از خمیرکاغذهایCMP ممرز و راش

نتایج نشان داد که در طی رنگبری با پراکسید هیدروژن (H_2O_2) ضریب جذب کاغذ حاصل کاهش یافت. این کاهش ضریب جذب در خمیرکاغذ CMP راش محسوس‌تر از ممرز است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین ضریب جذب در خمیرکاغذ CMP سفیدنشدهٔ راش (۹ m^2/kg) و کمترین آن (۱/۲ m^2/kg) در کاغذ حاصل از رنگبری تکمیلی با پراکسید هیدروژن و دی‌تیونیت سدیم ($Na_2S_2O_4 + H_2O_2$) مشاهده شد. با عنایت به اینکه در اثر رنگبری برخی از کروموفورها، گروه‌های جاذب نور (کینون‌ها) و ترکیبات رنگی موجود در خمیرکاغذ از آن خارج می‌شود، ضریب جذب نیز در کاغذ حاصل از خمیر رنگبری‌شده کاهش می‌یابد. در این زمینه EK (۱۹۹۱) با بررسی نتایج حاصل از استیله شدن خمیر GW پیسهآ گزارش داد که در طی کهنه‌سازی، ضریب جذب افزایش می‌یابد [۷]. افشاندن DTPA روی کاغذهای دست‌ساز نیز موجب کاهش ضریب جذب کاغذ شد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین ضریب جذب کاغذ در همهٔ تیمارها و در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۷).

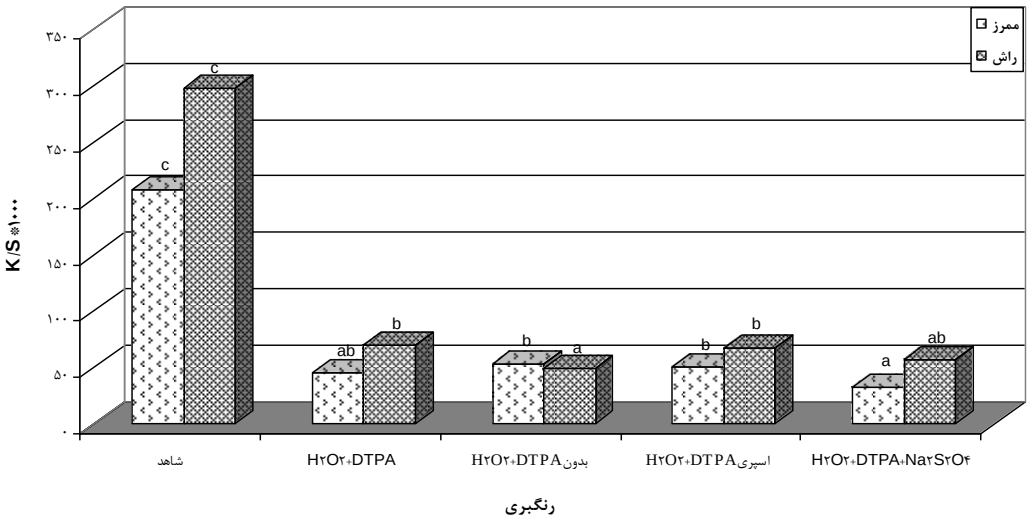
۳. ۷. مقایسهٔ نسبت K/S کاغذ حاصل از خمیرکاغذهایCMP ممرز و راش

براساس نتایج، در طی رنگبری با پراکسید هیدروژن (H_2O_2) نسبت ضریب جذب به ضریب پخش (K/S) کاغذ حاصل کاهش یافت. نسبت K/S در خمیرکاغذ CMP راش (۲۹۸/۲۶) بیشتر از ممرز (۲۰۷/۹۶) بوده است. در بین تیمارهای مختلف بیشترین نسبت K/S در خمیرکاغذ CMP سفیدنشدهٔ راش (۲۹۸/۲۶) و کمترین آن (۳۲/۴۹) در کاغذ حاصل از رنگبری تکمیلی با پراکسید هیدروژن و دی‌تیونیت سدیم ($Na_2S_2O_4 + H_2O_2$) مشاهده شد. در این زمینه میرشکرایی و عبدالخانی (۱۳۸۳) با بررسی تأثیر یون‌های فلزی بر روشنی خمیرکاغذ شیمیایی مکانیکی مخلوط پهن‌برگان شمال ایران گزارش دادند که در طی کهنه‌سازی K/S افزایش می‌یابد [۱۰]. افشاندن DTPA روی کاغذهای دست‌ساز نیز موجب کاهش نسبت K/S کاغذ شد. با توجه به اینکه

دی‌تیونیت سدیم نوعی مادهٔ کاهنده است و کینون‌های جاذب نور را به کاتکول تبدیل می‌کند و در اثر تابش‌دهی طولانی‌مدت، کینون‌های جاذب نور دوباره تشکیل می‌شوند. این کینون‌ها سبب جذب نور و افزایش عدد کهنه‌شدگی (PC)[1] و کاهش پایداری روشنی کاغذ می‌شوند [۲۰،۱]. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین نسبت K/S کاغذ در همهٔ تیمارها و در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۸).



شکل ۷. مقایسهٔ ضریب جذب خمیرهایCMP راش و ممرز در طی رنگبری تکمیلی و افشاندن DTPA



شکل ۸. مقایسهٔ نسبت K/S خمیرهایCMP راش و ممرز در طی رنگبری تکمیلی و افشاندن DTPA

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق تأثیر DTPA و رنگبری تکمیلی با پراکسید هیدروژن و دی‌تیونیت سدیم بر ویژگی نوری خمیرکاغذهای شیمیایی-مکانیکی (CMP) ممرز و راش بررسی شد. نتایج نشان داد که بر اثر رنگبری با پراکسید هیدروژن روشنی و سبزی کاغذ افزایش و ماتی، ضریب جذب ، فاکتور a^* و نسبت K/S آن کاهش می‌یابد. بر اثر رنگبری تکمیلی با دی‌تیونیت سدیم بیشتر خواص نوری کاغذ بهبود می‌یابد. در اثر افشاندن DTPA روی کاغذهای دست‌ساز، روشنی، ماتی و سبزرنگی افزایش و ضریب جذب و نسبت K/S کاهش می‌یابد. افشاندن DTPA تأثیر زیادی در افزایش روشنی و بهبود ویژگی‌های نوری کاغذهای حاصل نیز داشته است.

1. Post color number

همچنین افشاندن عامل کی‌لیت‌ساز DTPA روی کاغذ سبب کاهش چشمگیر اثر منفی یون‌های فلزی واسطه‌ای بر روشنی (ISO) کاغذ می‌شود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با وجود دل‌قرمزی و مواد استخراجی فنولی موجود در گونهٔ راش، رنگبری تکمیلی تأثیر کمتری در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP راش نسبت به ممرز داشته است. به‌عبارت دیگر، تأثیر رنگبری با پراکسید هیدروژن به‌عنوان نوعی مادهٔ مؤثر و اکسیدکننده و سپس رنگبری تکمیلی با دی‌تیونیت سدیم به‌عنوان نوعی مادهٔ کاهنده، در هر دو گونه مؤثر بوده است، اما نتایج کاربرد آنها در بهبود ویژگی‌های نوری کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP ممرز مؤثرتر و محسوس‌تر از گونهٔ راش بوده است.

References

[1]. Vaysi, R., and Kord, B. (2013). The effects of H_2O_2 bleaching and DTPA spraying on the brightness stability of hornbeam CMP pulp following accelerated irradiation aging. *BioResources*, 8: 1909-1917.

[2]. Rashidi Joybari, I., Azadfalah, M., Resalati, H., Hamzeh, Y., and Yosofi, H. (2015). Investigation of effect cationic soft wood fiber by EPTMAC and mixed it's with CMP pulp, *Journal of Forest and Wood Products*, 68(2):235-245. (In Persian).

[3]. Qiu, Z., Ni, Y., and Yang, S. (2003). Using DTPA to decrease manganese induced peroxide decomposition. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 23: 1-11.

[4]. Suess, H. U. (2010). *Pulp Bleaching Today*. DeGruyter, Berlin, Germany.

[5]. Mirshokraei, S.A. (2002). *Wood chemistry*. Aieg Press. Tehran.

[6]. Vaysi, R., (2016). The effect of ECF bleaching on optical and mechanical properties of bagasse soda pulp. I*ranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 31: 349-361. (In Persian).

[7]. Ek, M., Lennholm, H., Lindblad, G., and Iversen, T. (1992). Study on the mechanism of the photo-yellowing of partially acetylated ground wood pulps. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 7: 108-112.

[8]. Vaysi, R., and Ebadi, S.E. (2021). Thermal yellowing of hornbeam chemi-mechanical pulps bleached with hydrogen peroxide and sodium dithionite. *BioResources*, 16: 7635-7647.

[9]. Paulsson, M., Lucia, L. A., Ragauskas, A. J., and Li, C. (2001). Photo-yellowing of untreated chemi-thermo-mechanical pulp under argon, ambient and oxygen atmosphere, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 21: 343-360.

[10]. Abdulkhani, A., and Mirshokraie, S. A. (2006). The effect of water quality on the optical properties of chemimechanical pulp of Northern Iranian hardwoods. *Cellulose Chemistry and Technology*, 40: 431-438.

[11]. Vaysi, R. and Habib Porian, M. H. (2022). A study on the possibility of identification and comparison of organic chemical components in wood and bark of hornbeam and iron wood trees by GC-MS methods, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 37(2), 150-165. (In Persian).

[12]. Technical Information Papers, and Useful Methods of TAPPI Standards. TAPPI Press, Atlanta, GA, USA. 2009.

[13]. Forming handsheets for physical tests of pulp of TAPPI Standards. T205 om-88. 1998.

[14]. Tutuş, A., and Usta, M. (2004). Bleaching of chemi-thermomechanical pulp (CTMP) using environmentally friendly chemicals. *Journal of Environmental Biology*, 25: 141-145.

[15]. Brightness of pulp, paper, and paperboard (directional reflectance at 457 nm) of TAPPI Standards. T452 om-98. 1996.

[16]. Color of pulp, paper, and paperboard (d/0, c/2) of TAPPI Standards.T527 om-02. 2007.

[17]. Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices for instrumentally measured color coordinate of ASTM Standard. 2015.

[18]. Andrady, A. L., and Searle, N. D. (1995). Photo-yellowing of mechanical pulps; Part 2: Activation spectra for light-induced yellowing of newsprint paper by polychromatic radiation. *TAPPI Journal*, 78: 131-138.

[19]. Rezazadeh, E., Vaysi, R., Ebadi, S.E., Soltani, M., and Najafi, A. (2022). Comparison of the internal functionalization and surface modification methods of chemi-mechanical pulp handsheets using cellulose-chitosan nano-biopolymers and DTPA. *BioResources*, 17: 2810-2826.

[20]. Tran, A. V. (2003). Thermal yellowing of hardwood kraft pulp bleaching with a chlorine dioxide based sequence. *Journal of Pulp and Paper Science*, 28: 115-121. (In Persian).