University of Tehran

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

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

Using chitosan as a chelating agent in deinking of recycled old newsprint pulp

Mehdi Rahmaninia[1*] | Roghaye Kalagar[2] | Habibollah Younesi[3]

1. Corresponding Author, Wood and Paper Science and Technology Department, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, I.R. Iran. Email: rahmaninia@modares.ac.ir
2. Wood and Paper Science and Technology Department, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, I.R. Iran. Email: r.kalagar.kaleji@gmail.com
3. Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, I.R. Iran. Email: hunesi@modares.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 06 December 2022
Revised 15 January 2023
Accepted 15 January 2023
Published online 15 June 2023

Keywords:
Biopolymer,
EDTA,
Ink elimination,
Mechanical properties,
Optical properties,
Recycled paper.

ABSTRACT

The application of chelating agents to increase the efficiency of hydrogen peroxide is important in various related processes. Synthetic chemicals such as ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) are commonly used in these processes. The feasibility of using natural and environmentally friendly products instead of synthetic materials is an important and interesting subject. In this study, the performance of hydrogen peroxide in the deinking process was considered and the use of chitosan as a natural chelating agent in the deinking process of waste newspapers was investigated. The results showed that hydrogen peroxide bleaching along with the deinking process had a positive impact on the optical properties and reduced the burst and tear indices with no effect on the tensile and fold strengths. Chitosan, similar to the EDTA chelating agent, improved brightness, whiteness, dirt removal, and metal ion absorption in comparison with the treatment without a chelating agent. EDTA performs better than chitosan in removing ink from the pulp. Furthermore, in comparison to the treatment without a chelating agent, both chelating agents improved tear and burst indices, but had no effect on the fold and tensile strengths. The current research can be a small but promising step in using natural materials, such as chitosan biopolymers, instead of synthetic chelating agents, such as EDTA.

Cite this article: Rahmaninia, M., Kalagar, R., Younesi, H.A. (2023). Using chitosan as a chelating agent in deinking of recycled old newsprint pulp. *Journal of Forest and Wood Products*, 76 (1), 11-22. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2023.351798.1230

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2023.351798.1230

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۰۵۳۰

استفاده از کایتوزان به‌عنوان کی‌لیت‌کننده در مرکب‌زدایی از خمیرکاغذ حاصل از بازیافت کاغذ روزنامه

مهدی رحمانی‌نیا[۱*]| رقیه کلاگر[۲]| حبیب‌اله یونسی[۳]

۱. نویسندهٔ مسئول، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران. رایانامه: rahmaninia@modares.ac.ir

۲. گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران. رایانامه: r.kalagar.kaleji@gmail.com

۳. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران. رایانامه: hunesi@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵

کلیدواژه:
EDTA،
پلیمر زیستی،
حذف مرکب،
کاغذ بازیافتی،
ویژگی‌های مقاومتی،
ویژگی‌های نوری.

چکیده

استفاده از کی‌لیت‌کننده‌ها به‌منظور افزایش کارایی پراکسید هیدروژن از مباحث مهم در فرآیندهای مرتبط می‌باشد. به‌طورکلی در این فرآیندها استفاده از کی‌لیت‌کننده‌های سنتزی مانند اتیلن‌دی‌آمین ترا استیک‌اسید (EDTA) متداول است. بررسی امکان جایگزینی این‌گونه ترکیبات سنتزی با کی‌لیت‌کنندهٔ طبیعی دوست‌دار محیط زیست موضوع مهم و قابل توجهی است. در این مطالعه، ابتدا عملکرد پراکسیدهیدروژن در فرآیند مرکب‌زدایی بررسی شد سپس تأثیر کی‌لیت‌کنندگی پلیمر زیستی کایتوزان در فرآیند مرکب‌زدایی از خمیرکاغذ حاصل از بازیافت کاغذ روزنامهٔ باطله مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که حضور پراکسید هیدروژن در کنار فرآیند شناورسازی بر بیشتر ویژگی‌های نوری تأثیر مثبت و بر مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پاره شدن تأثیر کاهشی داشته است. همچنین بر مقاومت به تا خوردن و مقاومت به کشش بدون تأثیر بوده است. کی‌لیت‌کنندگی کایتوزان همانند EDTA موجب بهبود درجهٔ روشنی، شاخص سفیدی، کاهش تعداد لکه در واحد سطح و جذب یون‌های فلزی از خمیرکاغذهای بازیافتی در مقایسه با تیمار بدون کی‌لیت‌کننده شده است. همچنین در مورد میزان حذف مرکب، کی‌لیت‌کنندهٔ EDTA از کایتوزان موفق‌تر عمل نموده است. همچنین هر دو کی‌لیت‌کننده در مقایسه با تیمار بدون کی‌لیت‌کننده، سبب بهبود شاخص‌های مقاومت به پاره شدن و ترکیدن شدند، اما تأثیری بر مقاومت به تا خوردن و کشش نداشته‌اند. تحقیق حاضر می‌تواند قدمی مناسب و امیدبخش در راستای جایگزینی و استفاده از محصولات ارزشمند طبیعی دوست‌دار محیط زیست مانند کایتوزان به‌جای فرآوردهای صنعتی کی‌لیت‌کنندهٔ مانند EDTA باشد.

استناد: رحمانی‌نیا، مهدی؛ کلاگر، رقیه؛ یونسی، حبیب‌اله (۱۴۰۲). استفاده از کایتوزان به‌عنوان کی‌لیت‌کننده در مرکب‌زدایی از خمیرکاغذ حاصل از بازیافت کاغذ روزنامه. *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۶ (۱)، ۱۱-۲۲.

DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2023.351798.1230

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2023.351798.1230

۱. مقدمه

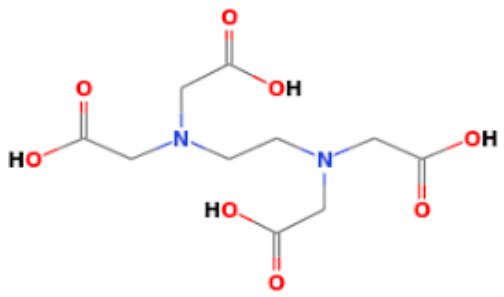
محدودیت در تأمین مواد اولیه لیگنوسلولزی که طی سال‌های اخیر تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله کاهش منابع اولیه مانند جنگل‌ها، هزینهٔ روزافزون تولید محصولات از الیاف بکر، افزایش تقاضای محصولات لیگنوسلولزی، تلاش برای کاهش مصرف آب و انرژی در جهان سبب شده است تا فرآیند بازیافت کاغذهای باطله هرچه بیشتر مورد توجه قرار گیرد [۱، ۲].

خواص نوری از ویژگی‌های مهم کاغذ است که در جریان بازیافت کاغذ کاهش می‌یابد. امروزه در صنعت کاغذسازی از ترکیبات مختلفی جهت بهبود ویژگی‌های نوری کاغذ استفاده می‌شود. پراکسید هیدروژن از جمله مواد متداول و مهم در بخش مرکب‌زدایی است که می‌تواند از یک طرف پیوندهای موجود در شبکه‌های مرکب چاپ را شکسته و ذرات مرکب را به ذرات معلق در سوسپانسیون خمیرکاغذ تبدیل و به جداسازی آن از الیاف کمک کند [۳] از طرف دیگر، به‌عنوان یک مادهٔ رنگبر بسیار متداول در صنعت خمیرکاغذ شناخته شده است که به افزایش روشنی کاغذ کمک می‌کند [۴].

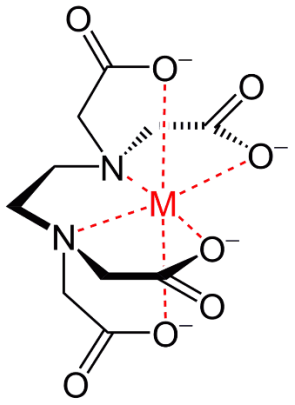
Li و همکاران (۲۰۱۵)، از پراکسید هیدروژن در محیط قلیایی به‌عنوان رنگبر در خمیرکاغذ CTMP استفاده کردند که درجهٔ روشنایی خمیرکاغذ CTMP ۱/۵ درصد ISO افزایش یافت [۵]. Rahmaninia و همکاران (۲۰۰۸)، از پراکسید هیدروژن و کی‌لیت‌کننده در فرآیند مرکب‌زدایی از خمیرکاغذ بازیافتی روزنامهٔ باطله شیمیایی–مکانیکی (CMP) استفاده نمودند. نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد که این ترکیبات در رنگبری و مرکب‌زدایی از کاغذهای باطله کهنه شده موفق عمل نموده‌اند [۶].

گزارشات مختلف نشان می‌دهند که سوسپانسیون خمیرکاغذ به‌ویژه در خمیرکاغذهای بازیافتی حاوی انواع این فلزات می‌باشد [۵]. حضور یون‌های فلزی ازقبیل مس، آهن، روی و منگنز ممکن است باعث تسریع در خوردگی تجهیزات، وقوع واکنش‌های اکسایش–کاهش و حتی تغییر رنگ محصول شوند. در مرحلهٔ رنگبری با H_2O_2 و O_3، این فلزات، با تشکیل هرچه بیشتر رادیکال OH، باعث تخریب سلولز الیاف و تجزیهٔ عوامل رنگبری می‌شوند [۷]. برای جلوگیری از تأثیر یون‌های فلزی بر عملکرد پراکسید هیدروژن از موادی به نام کی‌لیت‌کننده استفاده می‌شود. کی‌لیت‌کننده‌ها ترکیباتی هستند که دارای عناصری با جفت الکترون آزاد یا بار منفی می‌باشند و از طریق به اشتراک گذاشتن جفت الکترون‌ها یا جذب یونی قابلیت ایجاد پیوند کوئوردینانسی یا پیوند یونی با یون‌های فلزی را دارند. عمده کاربرد آن در محیط آبی است و از طریق پساب به محیط آزاد می‌شود [۷، ۸]. استفاده از پلیمرهای سنتزی EDTA (شکل ۱) یا دی‌اتیلن تری‌آمین پنتا استات (DTPA) به‌عنوان پلیمرهای سنتزی به‌همراه سیلیکات سدیم با قابلیت مهار یون‌های تخریب‌کنندهٔ عملکرد پراکسید هیدروژن در بسیاری از تحقیقات گذشته مورد توجه قرار گرفته است [۸]. شکل ۲، مکانیسم عمل EDTA به‌عنوان یکی از شناخته‌شده‌ترین کی‌لیت‌کننده‌های سنتزی را نشان می‌دهد.

نگرانی‌ها و فشارهای محیط‌زیستی سبب شده تا بسیاری از فرآیندهای صنعتی به‌دنبال ایجاد تطابق با مسائل محیط‌زیستی باشند، بنابراین در این بخش نیز استفاده از پلیمرهای کی‌لیت‌کنندهٔ طبیعی می‌تواند مورد توجه باشد. محققین مختلفی به‌عدم دوست‌دار محیط‌زیست‌بودن پلیمرهای سنتزی نظیر EDTA و DTPA اشاره داشته‌اند [۷، ۹].

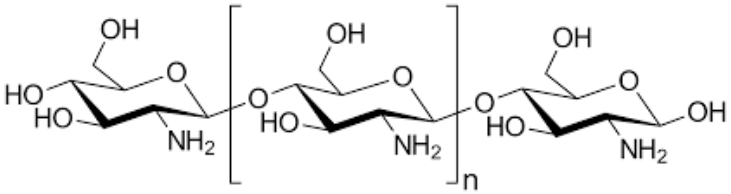


شکل ۱. ساختار اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید (EDTA)



شکل ۲. مکانیسم کی‌لیت‌کنندگی اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید (EDTA) (M نمایندهٔ یون فلزی است)

کایتوزان از جمله جاذب‌های گزینش‌پذیر طبیعی است که در صنایع مختلف به‌ویژه تصفیهٔ پساب به‌منظور حذف انواع فلزات، مورد توجه قرار گرفته است (شکل ۳) [۱۰]. این محصول مشتق استیل‌زدایی شده دومین پلی‌ساکارید طبیعی یعنی کیتین (فراوان‌ترین پلی‌ساکارید آمینی که یک هتروپلیمر سفید، سخت، غیر انعطاف‌پذیر و نیتروژن‌دار است و به آسانی از پوست خرچنگ یا میگو و قارچ میسلیا به‌دست می‌آید) می‌باشد[۱۱]. کایتوزان پلیمر خطی با وزن‌های مولکولی متنوع متشکل از مونومرهای β(1→4)-linked 2-amino-2-deoxy-β- D-glucose می‌باشد که خواص ضد میکروبی، زیست‌سازگاری، تجزیه‌پذیری زیستی، غیر سمی بودن، ارزان و فراوان بودن آن بر اهمیت کاربرد آن‌ها افزوده است [۱۱]. استفاده از کایتوزان به‌عنوان یک مادهٔ تقویت‌کننده مقاومت‌های تر و خشک کاغذ به‌خصوص الیاف بازیافتی، کمک‌کننده به آبگیری و ماندگاری، مؤثر در آهاردهی و ضد باکتری کردن سطوح کاغذ در تحقیقات مختلفی مورد توجه قرار گرفته است [۱۲–۱۴].



شکل ۳. ساختار گستردهٔ زیست‌پلیمر کایتوزان

همان‌طور که بیان شد در مطالعات مختلفی عملکرد کایتوزان برای جذب انواع فلزات در محیط‌های آبی به‌ویژه پساب‌ها مورد توجه بوده است [۱۵–۱۹].

در این راستا مطالعه‌ای در مورد استفاده از این محصول ارزشمند طبیعی به‌عنوان کی‌لیت‌کننده در فرآیند مرکب‌زدایی از الیاف بازیافتی ارائه نشده است. براساس آنچه مطالعات نشان می‌دهند به‌نظر می‌رسد کایتوزان بتواند در فرآیند جذب عناصری که بر عملکرد پروکسید هیدروژن در فرآیند مرکب‌زدایی اثر منفی دارند، تأثیرگذار باشد. همچنین با توجه به تحقیقات قبلی، کایتوزان یک مقاومت‌دهنده به ورقهٔ کاغذ است، عملکرد مقاومت‌دهندگی آن در کنار نقش کی‌لیت‌کنندگی آن نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین هدف از مطالعهٔ حاضر، بررسی عملکرد کایتوزان به‌عنوان یک عامل کی‌لیت‌کننده طبیعی در فرآیند مرکب‌زدایی از خمیرکاغذ روزنامه بازیافتی بود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

در این تحقیق، از کاغذ روزنامهٔ بشیر مازندران که از خمیرکاغذ شیمیایی–مکانیکی (CMP) کارخانهٔ چوب و کاغذ مازندران تهیه می‌شود، استفاده شد. چاپ این روزنامه از نوع افست سرد می‌باشد. خیساندن کاغذ روزنامهٔ باطله به‌مدت ۲۴ ساعت در آب تصفیه به همراه هیدروکسید سدیم به‌میزان یک درصد وزن خشک خمیرکاغذ انجام گرفت. سپس پراکنده‌سازی و پالایش مخلوط

حاصل به‌منظور خمیرسازی مرحلهٔ اول توسط کوبندهٔ آزمایشگاهی براساس استاندارد [۲۰] تا حدود ۲۸۰ml CSF انجام شد. در مرحلهٔ بعد، خمیرکاغذ با درصد خشکی ۱/۵ درصد در اتاق خنک در دمای سه درجهٔ سانتی‌گراد ذخیره گردید. سپس مواد شیمیایی تحت شرایط ثابت و متغیری که در جدول‌های ۱و ۲ ارائه شده‌اند؛ به خمیرکاغذ بازیافتی افزوده شد. باید بر این نکته تأکید کرد که یون‌های فلزی در این تحقیق و تأثیر آن بر تیمارهای تحقیق نقش مهمی دارند. از آنجا که در خمیرکاغذ بازیافتی تنوعی از یون‌های فلزی مانند آهن، روی، مس، آلومینیوم وجود دارند، بنابراین برای حذف واریانس و تحلیل دقیق‌تر نتایج، تصمیم بر استفاده از آب تصفیه با هدایت الکتریکی ۲۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و افزودن یون آهن (III) به‌عنوان نماینده‌ای جهت بررسی عملکرد تیمارها گرفته شد. بدین‌منظور کلرید آهن (III) (حاوی حدود ۰/۶ ppmدر هر لیتر) به خمیرکاغذ در این مرحله اضافه گردید. خمیرسازی مرحلهٔ دوم در دستگاه بن‌ماری (حمام آب) صورت گرفت. پس از این مرحله، خمیرکاغذ حاصل به سلول شناورسازی منتقل و فرآیند حذف مرکب به روش شناورسازی با در نظر گرفتن فاکتورهای ثابت فرآیند (جدول ۳) انجام شد. در ادامه، خمیرکاغذ جوهرزدایی شده بر روی غربال ۲۰۰ مش که در زیر آن غربال ۴۰۰ مش (برای نگهداری نرمه‌ها) قرار داده شده است؛ آبگیری و برای ساخت کاغذ جمع‌آوری گردید. کاغذهای دست‌ساز نیز براساس استاندارد [۲۱] توسط دستگاه ساخت کاغذ دست‌ساز[۱] تهیه شدند. ویژگی‌های نوری کاغذ شامل تعداد لکه در واحد سطح کاغذ، روشنی، ماتی، شاخص زردی و شاخص سفیدی طبق استانداردهای مربوطه [۲۲– ۲۵] به کمک دستگاه اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری ساخت شرکت FRANK- PTI اتریش و ویژگی‌های مقاومتی شامل شاخص مقاوت به کشش، شاخص مقاومت به ترکیدن، شاخص مقاومت به پاره شدن و مقاومت به تاخوردن کاغذ نیز مطابق با استاندارد [۲۶–۲۹] اندازه‌گیری شدند. همچنین بررسی وضعیت یون‌های فلزی به کمک روش جذب اتمی و دستگاه ICP-MS[۲] و اندازه‌گیری میزان مرکب حذف شده براساس استاندارد [۳۰] انجام گردید.

جدول ۱. عوامل ثابت در مرحله خمیرسازی

متغیرهای خمیرسازی	مقدار
وزن مولکولی EDTA	۲۹۲g/mol
وزن مولکولی کایتوزان	متوسط
سیلیکات سدیم	۱ درصد *
هیدروکسید سدیم	۱/۵ درصد*
پراکسید هیدروژن	۴ درصد*
کلرید آهن (III)	۰/۶ ppm در هر لیتر
درصد خشکی خمیرسازی مرحلهٔ دوم در حمام آب گرم	*۱/۵
دمای خمیرسازی مرحلهٔ دوم در حمام آب گرم	۷۰ درجه سانتی‌گراد
زمان کل خمیرسازی مرحلهٔ دوم در حمام آب گرم	۴ ساعت

* براساس وزن خشک خمیرکاغذ

جدول ۲ . تیمارهای اعمال شده در این تحقیق

تیمار
شاهد (مرکب‌زدایی نشده)
بدون هیچگونه کی‌لیت‌کننده
۰/۲۵ درصد EDTA
۰/۲۵ درصد کایتوزان

۱- Handsheet maker

۲- Inductively coupled plasma-mass-spectrometry

جدول ۳. عوامل ثابت در مرحلهٔ شناورسازی

متغیرهای شناورسازی	مقدار
سورفاکتانت	۱درصد *
درصد خشکی شناورسازی	۰/۲
دما شناورسازی	۲۵ درجه سانتی‌گراد
زمان شناورسازی	۲۰ دقیقه

* براساس وزن خشک خمیرکاغذ

نتایج به‌دست آمده براساس طرح کاملاً تصادفی و آزمون تجزیه واریانس، بررسی و در صورت معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد اطمینان، مقایسهٔ میانگین‌ها و گروه‌بندی براساس آزمون دانکن بین تیمارها انجام شد. برای تجزیه و تحلیل‌ها از نرم‌افزار SAS نسخهٔ ۹ استفاده شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

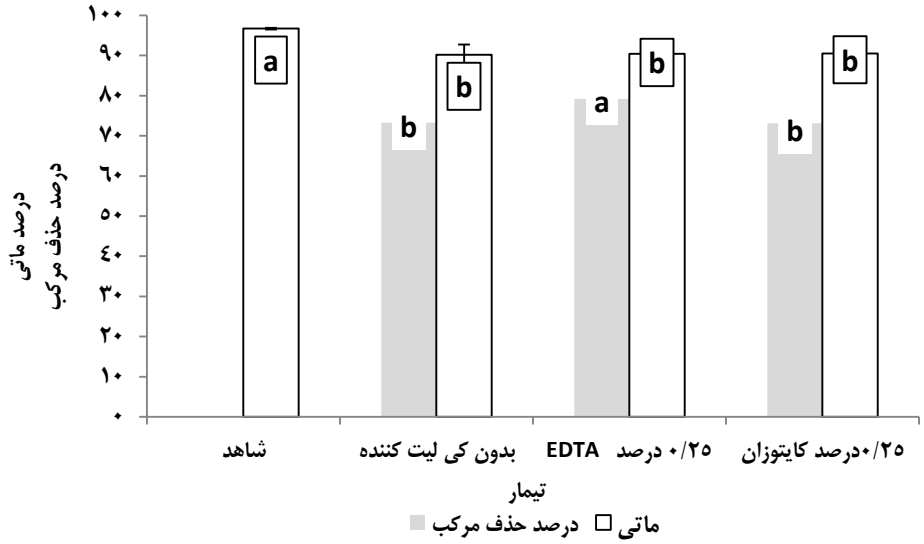
۳-۱. درجهٔ روشنی و شاخص سفیدی

براساس نتایج شکل ۴، تیمار شاهد به‌علت حضور مرکب در ساختار الیاف و عدم انجام خمیرسازی مرحلهٔ دوم (عدم افزوده شدن مواد شیمیایی) و انجام نیافتن شناورسازی، دارای کمترین درجهٔ روشنی و سفیدی می‌باشد. همچنین تیمارهای دارای کی‌لیت‌کننده بیشترین درجهٔ روشنی و سفیدی را نشان داده‌اند. به‌نظر می‌رسد با حضور کی‌لیت‌کننده (کایتوزان یا EDTA)، تا حدودی جذب یون‌های فلزی آهن (III) با موفقیت صورت گرفته است. در نتیجه به احتمال زیاد، پراکسید هیدروژن در هنگام خمیرسازی ثبات بیشتری داشته است و با حذف بیشتر گروه‌های رنگ‌ساز به‌ویژه در لیگنین و کمک به جداسازی بیشتر مرکب از الیاف، نقش مؤثری در افزایش درجهٔ روشنی و سفیدی کاغذ نهایی داشته است. در ضمن، تیمار بدون کی‌لیت‌کننده، در مقایسه با تیمار شاهد دارای درجهٔ روشنی و سفیدی بیشتر بوده است. این نتیجه بدیهی به‌نظر می‌رسد، چرا که فرآیند شناورسازی با قابلیت جداسازی قسمتی از مرکب از الیاف، باعث بهبود ویژگی‌های نامبرده شده‌اند. نکتهٔ قابل توجه آن است که این تیمار در مقایسه با تیمارهای دارای کی‌لیت‌کننده، درجهٔ روشنی و سفیدی کمتری داشته‌اند؛ که احتمالاً علت آن را می‌توان به‌حضور کایتوزان و EDTA به‌عنوان کی‌لیت‌کننده و ثبات عمل بیشتر هیدروژن پراکسید نسبت داد.

شکل ٤. مقایسهٔ درجهٔ روشنی و شاخص سفیدی در سطوح مختلف کی‌لیت‌کننده و تیمار شاهد

۳-۲. ماتی و درصد حذف مرکب

براساس نتایج شکل ۵، خمیرکاغذ، شاهد بیشترین درجهٔ ماتی را نشان داد. این خمیرکاغذ به‌علت اینکه هیچ گونه فرآیند حذف مرکبی را تجربه نکرده و همچنین از هیچ‌گونه مادهٔ شیمیایی در تیمار آن استفاده نشده است، بنابراین دارای بیشترین مقدار مرکب و همچنین لیگنین (یعنی بیشترین مقدار گروه‌های رنگ‌ساز و رنگدانه) بوده و در نتیجه جذب نور از کاغذ حاصل از این تیمار بیشتر خواهد بود و ماتی این کاغذها دارای بالاترین مقدار می‌باشد [۳۱]. بدین‌ترتیب به دلایل فوق، تیمارهای حاوی کی‌لیت‌کننده (کایتوزان و EDTA) کمترین ماتی را دارا بوده‌اند. همان‌طور که انتظار می‌رود؛ هر سه تیماری که در آن‌ها خمیرکاغذ فرآیند شناورسازی را تجربه کرده‌اند به‌طور طبیعی نسبت به تیمار شاهد حذف جوهر را نشان می‌دهند. اما تیمار ۰/۲۵ درصد EDTA از نظر عددی و آماری حذف بیشتری از مرکب را تجربه کرده است. احتمالاً این ترکیب کی‌لیت‌کننده، باعث حفظ بیشتر پراکسید و حذف مناسب‌تر ذرات مرکب بر اثر شناورسازی شده است. البته کایتوزان در این بخش عملکردی کمتر از EDTA نشان داده است.



شکل ۵. مقایسهٔ ماتی و درصد حذف مرکب در سطوح مختلف کی‌لیت‌کننده و شاهد

۳-۳. شاخص زردی

براساس نتایج (شکل ۶)، تیمار شاهد کمترین زردی را نسبت به سایر تیمارها نشان داده است. این نتیجه را می‌توان به‌عدم حضور هیچ‌گونه مادهٔ شیمیایی به ویژه هیدروکسید سدیم در تیمار شاهد و در نتیجه عدم وقوع پدیدهٔ تیرگی قلیایی و عدم زردی نسبت داد. در حالی‌که در سایر تیمارها، حضور هیدروکسید سدیم تا حدودی باعث وقوع ناخواسته زردی شده است.

شکل ٦. مقایسهٔ شاخص زردی در سطوح مختلف کی‌لیت‌کننده و تیمار شاهد

۳–۴. تعداد لکه در واحد سطح

وضعیت شمارش چشمی تعداد لکه‌های مرکب در سطح بالای توری در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، لکه‌ها در دو گروه (زیر ۰/۱ و بین ۰/۳–۰/۱۵) از نظر اندازه، دسته‌بندی شده‌اند. براساس نتایج، بیشترین تعداد لکه‌ها به‌طور طبیعی در تیمار شاهد مشاهده می‌شوند. بدون اعمال هیچ گونه مادهٔ شیمیایی در مرحلهٔ خمیرسازی و فقط انجام شناورسازی، با کمک فرآیند عنوان شده، تعداد لکه‌ها در هر دو گروه کاهش چشمگیری می‌یابد. با اعمال مواد شیمیایی به‌ویژه پراکسید هیدروژن در خمیرسازی، روند کاهشی ادامه می‌یابد که علت آن تأثیر ترکیباتی از جمله پراکسید هیدروژن و هیدروکسید سدیم در جداسازی ذرات مرکب از روی الیاف و حذف در فرآیند شناورسازی یا ریز شدن ذرات مرکب به اندازه‌های غیرقابل مشاهده با چشم غیرمسلح می‌باشد. در ادامه با حضور کی‌لیت‌کننده‌ها این کاهش با شدت ملایم‌تری ادامه می‌یابد. در اینجا احتمالاً باید تنها نقش اصلی را به‌حضور پررنگ‌تر پراکسید هیدروژن با کمک کی‌لیت‌کننده‌ها (در کنترل یون‌های آهن افزوده‌شده در سوسپانسیون) نسبت داد. در این راستا، کایتوزان تا حدودی از EDTA بهتر عمل نموده است که این نتایج با نتایج ویژگی‌های روشنی، سفیدی هم‌خوانی داشته است.

جدول ٤. بررسی تعداد لکه‌ها در اندازه‌های مختلف در کاغذهای تیمارشده

تیمار	$(mm^2) < ۰/۱$	$۰/۱۵ - ۰/۳ (mm^2)$
شاهد	۳۹	۲۹
خمیرکاغذ فقط شناورسازی شده	۱۳	۸
بدون کی‌لیت‌کننده	۷	۵
EDTA (۰/۲۵ درصد)	۵	۲
کایتوزان (۰/۲۵ درصد)	۵	۰

۳–۵. شاخص مقاومت به ترکیدن و پاره شدن

همان‌طورکه شکل‌های ۷ و ۸ نشان می‌دهند، دو ویژگی شاخص‌های مقاومت به ترکیدن و پاره شدن از روند یکسانی برخوردار می‌باشند. در این ویژگی‌ها، تیمار شاهد بالاترین مقدار را نشان می‌دهد و در مقابل تیمارهای حاوی پراکسید هیدروژن مقادیر کمتری را به‌خود اختصاص داده‌اند. احتمالاً این کاهش بر اثر حملهٔ رادیکال‌های حاصل از تجزیهٔ پراکسید هیدروژن به ساختار الیاف، به‌ویژه سلولز بوده است که سبب کاهش این دو مقاومت شده است [۳۲]. در میان خمیرکاغذهای بازیافتی تیمار شده با مواد شیمیایی، کمترین ویژگی‌های مقاومتی در تیمار بدون کی‌لیت‌کننده مشاهده می‌شود. شاید بتوان عدم حضور کی‌لیت‌کننده

در خمیرکاغذ را عامل تجزیهٔ سریع‌تر پراکسید هیدروژن به رادیکال‌های فعال دانست که در ادامه به‌جای انجام وظایف اصلی (رنگبری و جداسازی مرکب از الیاف)، با حمله به الیاف باعث کاهش این مقاومت‌ها شده است [۳۳]. حضور هر دو کی‌لیت‌کننده کایتوزان و EDTA، باعث بهبود این ویژگی‌ها شده است که در این میان کایتوزان نتایج بهتر داشته است. به‌نظر می‌رسد کایتوزان و EDTA با حذف یون‌های آهن معلق در سوسپانسیون، با به تأخیر انداختن تجزیهٔ پراکسید هیدروژن به رادیکال‌های مؤثر، باعث کنترل فرآیند و استفاده بهینه از این رادیکال‌ها در رنگبری و مرکب‌زدایی شده‌اند که با نتایج نوری هم‌خوانی دارد.

شکل ۷. مقایسهٔ شاخص مقاومت به ترکیدن در سطوح مختلف کی‌لیت‌کننده و تیمار شاهد

شکل ۸. مقایسهٔ شاخص مقاومت به پاره‌شدن در سطوح مختلف کی‌لیت‌کننده و تیمار شاهد

۳-۶. شاخص مقاومت کشش و مقاومت به تاخوردن

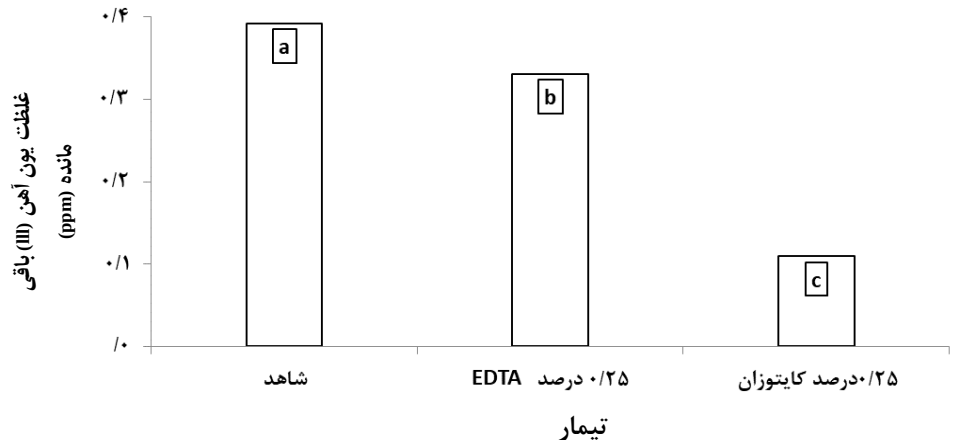
همان‌طورکه شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان می‌دهند، تیمارهای تعریف‌شده بر این دو ویژگی تأثیر خاصی نداشته و تفاوت آماری چندانی مشاهده نشده است.

شکل ۹. مقایسهٔ شاخص مقاومت به تاخوردن در سطوح مختلف کی‌لیت‌کننده و تیمار شاهد

شکل ۱۰. مقایسهٔ شاخص مقاومت به کشش در سطوح مختلف کی‌لیت‌کننده و تیمار شاهد

۳-۷. آزمون جذب اتمی

شکل ۱۱ غلظت یون آهن باقیمانده در خمیرکاغذ پس از تیمار را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تیمار کایتوزان توانسته است نسبت به تیمار EDTA وظایف کی‌لیت‌کنندگی خود را بهتر ایفا نماید. احتمال می‌رود کایتوزان به‌علت دارا بودن مولکول پلیمری (که هر مونومر آن حاوی یک گروه آمینی است)، در مقابل مولکول EDTA (که فقط دو عنصر نیتروژن و ۴ گروه کربوکسیلی به‌عنوان مکان‌های واکنش دارد) عملکرد بهتری ارائه دهد.



شکل ۱۱. مقایسهٔ وضعیت غلظت یون آهن باقیمانده در سطوح مختلف کی‌لیت‌کننده و تیمار شاهد

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در تحقیق حاضر تلاش شد تا در ابتدا عملکرد پراکسید هیدروژن در فرآیند مرکب‌زدایی و سپس توانایی کایتوزان به‌عنوان کی‌لیت‌کننده در رقابت با EDTA در فرآیند بازیافت و مرکب‌زدایی از خمیرکاغذ بازیافتی کاغذ روزنامهٔ مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. نتایج حاصل از بررسی ویژگی‌های نوری (درجهٔ روشنی، سفیدی، ماتی، زردی و میزان حذف مرکب) نشان داد که هرچند فرآیند شناورسازی به‌خودی خود بر این ویژگی‌ها تأثیر خواهد داشت، اما حضور پراکسید هیدروژن نیز تأثیر خود بر ویژگی‌های فوق را دارا می‌باشد. عملکرد مناسب پراکسید هیدروزن در حضور زیست‌پلیمر کایتوزان، همانند EDTA از نتایج این پژوهش است. در این میان، حضور هر دو کی‌لیت‌کننده EDTA و کایتوزان بر درجهٔ روشنی و سفیدی و کاهش تعداد لکهٔ ورقهٔ کاغذ نهایی معنی‌دار و مثبت بوده است. در واقع کایتوزان توانسته است همانند EDTA به‌عنوان یک کی‌لیت‌کننده متداول در صنعت (در کنترل یون‌های آهن موجود در سوسپانسیون خمیرکاغذ) به‌خوبی عمل نماید. بنابراین این پلیمر زیستی، دوستدار محیط زیست، امیدواری برای جایگزینی به‌جای سایر ترکیبات سنتزی در فرآیند مرکب‌زدایی و رنگبری با پراکسید هیدروژن ایجاد نموده است. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از پراکسید هیدروژن باعث کاهش دو شاخص مقاومتی پاره شدن و ترکیدن گردیده است. به‌نظر می‌رسد این کاهش بر اثر حملهٔ رادیکال‌های حاصل از تجزیه پراکسید هیدروژن به ساختار الیاف، به‌ویژه سلولز بوده است. همچنین در میان کاغذهای تیمار شده، تیمار بدون کی‌لیت‌کننده کمترین مقاومت‌ها را دارا بوده است. احتمال می‌رود عدم حضور کی‌لیت‌کننده در خمیرکاغذ سبب تجزیهٔ سریع‌تر پراکسید هیدروژن به رادیکال‌های فعال شود که در ادامه، به‌جای انجام وظایف اصلی به‌ویژه رنگبری، با حمله به الیاف باعث کاهش این مقاومت‌ها شده است. حضور هر دو کی‌لیت‌کننده کایتوزان و EDTA، باعث بهبود این ویژگی‌ها شده است که در این میان، کایتوزان نتایج بهتری داشته است. همچنین نتایج نشان داد که دو ویژگی مقاومت به کشش و مقاومت به تا خوردن، چندان تحت تأثیر تیمارهای مذکور نبوده‌اند. بررسی وضعیت جذب یون فلز آهن (III) نشان داد که کایتوزان در حذف این یون‌ها حتی از EDTA نیز موفق‌تر عمل نموده و به‌خوبی وظایف کی‌لیت‌کنندگی خود را انجام داده است.

۵. منابع

[1]. Kermanian, H., Razmpour, Z., Ramezani, O., Mahdavi, S., Rahmaninia, M., and Ashtari, H. (2013). The influence of refining history of waste NSSC paper on its recyclability. *BioResources*, 8(4): 5424-5434.

[2]. Sabazoodkhiz, R., Rahmaninia, M., and Ramezani O. (2017). Interaction of Chitosan Biopolymer with Silica Nano-particle as a Novel Retention/Drainage and Reinforcement Aid in Recycled Cellulosic Fibers. *Cellulose*, 24: 3433-3444.

[3]. Bajpai, P. (2012). Environmentally Benign Approaches for Pulp Bleaching (2nd Edition). Elsevier, 395 p.

[4]. Jiang, C., and Ma, J. (2000). Encyclopedia of separation science, level iii. Practical applications, deinking of waste paper. *Flotation*, 2537-2544.

[5]. Li, Z., Dou, H., Fu, Y., and Qin, M. (2015). Improving the hydrogen peroxide bleaching efficiency of aspen chemithermomechanical pulp by using chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 132: 430-436.
[6]. Rahmaninia, M., Jahan Latibari, A., Mirshokraei, A., and Azadfallah, M. (2008). The influence of newspaper aging on optical properties of its de-Inked pulp. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 32(1): 35-39.
[7]. Oviedo, C., and Rodríguez, J. (2003). EDTA. The chelating agent under environmental scrutiny. *Quimica Nova*, (26)6: 901-905.
[8]. Fu, F., and Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from waste waters. A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3): 407-418.
[9]. Sankari, M., and Aksela, R. (2011). Environmental Friendly Chelating Agents in Pulp & Paper Industry–Mill Scale Experiences. Wochenblatt für Papierfabrikation 8: 34-37.
[10]. Crini, G., Morin-Crini, N., Fatin-Rouge, N., Déon, S., and Fievet, P. (2014). Metal removal from aqueous media by polymer-assisted ultrafiltration with chitosan. *Arabian Journal of Chemistry*, 10: 3826-3839.
[11]. Kumar, P., Dutta, J.D., and Tripathi, V.S. (2004). Chitin and chitosan. Chemistry, properties and applications. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 63: 20-31.
[12]. Rohi, M., Ramezani, O., Rahmaninia, M., Zabihzadeh, S.M., and Hubbe, M.A. (2016). The influence of pulp suspension pH on the performance of chitosan as a strength agent for paper. *Cellulose Chemistry and Technology*, 50(7-8), 873-878.
[13]. Ashori, A., Harun, J., Zin, W., and Yusoff, M., (2006). Enhancing dry-strength properties of kenaf (*hibiscus cannabinus*) paper through chitosan. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 45(1), 125-129.
[14]. Rahmaninia, M., Rohi, M., Hubbe, M.A., Zabihzadeh, S.M., and Ramezani, O. (2018). The performance of chitosan with bentonite microparticles as wet-end additive system for paper reinforcement. *Carbohydrate Polymers*, 179: 328-332.
[15]. Sobhanardakani, S., Zandipak, R., Parvizimosaed, H., Javanshir Khoei, A., Moslemi, M., Tahergorabi, M., Hosseini, S.M., and Delfieh, P. (2014). Efficiency of chitosan for the removal of Pb (ii), Fe (ii) and Cu (ii) ions from aqueous solutions. *Iranian Journal of Toxicology*, 8(26): 1145-1151.
[16]. Gamage, A., and Shahidi, F. (2007). Use of chitosan for the removal of metal ion contaminants and proteins from water. *Food Chemistry*, 104(3): 989-996.
[17]. Dai, B., Cao, M., Fang, G., Liu, B., Dong, X., Pan, M., and Wang, S. (2012). Schiff base-chitosan grafted multiwalled carbon nanotubes as a novel solid-phase extraction adsorbent for determination of heavy metal by ICP-MS. *Journal of Hazardous Materials*, 219: 103-110.
[18]. He, J.C., Zhou, F.Q., Mao, Y.F., Tang, Z.N., and Li, C.Y. (2013). Preconcentration of trace cadmium (II) and copper (II) in environmental water using a column packed with modified silica gel-chitosan prior to flame atomic absorption spectrometry determination. *Analytical Letters*, 46(9): 1430-1441.
[19]. Cui, C., He, M., Chen, B., and Hu, B. (2014). Chitosan modified magnetic nanoparticles based solid phase extraction combined with ICP-OES for the speciation of Cr (III) and Cr (VI). *Analytical Methods*, 6(21): 8577-8583.
[20]. TAPPI T 200 sp-01. Laboratory Beating of Pulp (Valley beater method) .2007.
[21]. TAPPI T 205 sp-02. Forming Handsheets for Physical Tests of Pulp. 2007.
[22]. TAPPI T 452 om-02. Brightness of Pulp, Paper, and Paperboard (directional reflectance at 457 nm). 2007.
[23]. TAPPI T 425 om-02. Opacity of paper (15/d geometry, illuminant A/2°, 89% reflectance backing and paper backing). 2007.
[24]. TAPPI T 537 om-02. Dirt count in paper and paperboard (optical character recognition–ocr). 2007.
[25]. TAPPI T 562 om-05. CIE whiteness and tint of paper and paperboard (45/0 geometry, c/2 illuminant/observer), 2007.
[26]. TAPPI, T 403 om-97. Bursting strength of paper. 2007.
[27]. TAPPI T 414 om-98. Internal tearing resistance of paper. 2007.
[28]. TAPPI T494 om-01. Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus). 2007.
[29]. TAPPI T 511 om-02. Folding endurance of paper (MIT tester). 2007.
[30]. INGEDE Method No.2. Measurement of optical characteristics of pulps and filtrates from deinking processes. 2014.
[31]. Ghasemi, s., Berooz, R.K., Fatehi, P., and Ni, Y., 2012. Impact of acid washing and chelating on $Mg(OH)_2$ base hydrogen peroxide bleaching of mixed hardwood CMP at a high consistency. *BioResources*, 5(4): 2258-2267.
[32]. Sadeghi, A., and Behrooz, R. 2012. Investigtion on the optimal dosage of hydrogen peroxide and sodium hydroxide to improve flotation deinking efficiency for mixed waste papers. *Journal of Forest and Wood Product*, 65(2): 157-168. (In Persian)
[33]. Zeronian, S.H., and Inglesby, M.K., 1995. Bleaching of cellulose by hydrogen peroxide. *Cellulose*, 2(4): 265-272.