



مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد نوزدهم، شماره اول، ۱۳۹۱
<http://jwsc.gau.ac.ir>

مرکب‌زدایی آنزیمی کاغذ باطله اداری در مقایسه با روش متداول شیمیایی: بخش دوم - ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذ

حسین رسالتی^۱ و *محمد‌هادی آریائی‌منفرد^۲

^۱دانشیار گروه فناوری خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
^۲دانشجوی دکتری گروه فناوری خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۷

چکیده

مرکب‌زدایی کاغذهای مخلوط باطله اداری به روش متداول شیمیایی، علاوه بر مصرف زیاد مواد شیمیایی و انتشار قابل‌ملاحظه آلودگی‌های زیست‌محیطی، دارای کارایی به‌نسبت کمی است. از سوی دیگر، مرکب‌زدایی آنزیمی کارایی مرکب‌زدایی را، حتی با کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی افزایش می‌دهد ولی ممکن است باعث کاهش ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ مرکب‌زدایی شده گردد. در این مقاله ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی خمیر کاغذ مرکب‌زدایی شده آنزیمی مخلوط کاغذهای باطله اداری، به‌دست آمده از تیمارهای برتر از نظر کارایی مرکب‌زدایی با استفاده از آنزیم سلولاز تجاری به‌دست آمده از قارچ *Aspergillus niger* با نمونه‌های برتر به‌دست آمده از تیمار شیمیایی و شاهد مقایسه شدند. نتایج نشان داد که کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از خمیر کاغذهای مرکب‌زدایی شده به روش آنزیمی نسبت به تیمار شیمیایی دارای ضخامت و حجم ویژه کم‌تری بودند ولی از نظر ویژگی‌های مقاومتی تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های به‌دست آمده از تیمار شیمیایی نشان ندادند. در نتیجه به‌دلیل کارایی بهتر مرکب‌زدایی و نیز ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی قابل‌قبول، مرکب‌زدایی آنزیمی به‌عنوان جایگزین مناسبی برای روش متداول شیمیایی برای مرکب‌زدایی کاغذهای مخلوط باطله اداری توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مرکب‌زدایی آنزیمی، مرکب‌زدایی شیمیایی، آنزیم سلولاز، ویژگی فیزیکی، ویژگی مقاومتی

* مسئول مکاتبه: hadiaryai@yahoo.com

مقدمه

صنایع کاغذ و بازیافت از ۵۰ سال پیش با فن مرکب‌زدایی آشناست و هر روزه بر اهمیت آن به‌عنوان یک فرآیند صنعتی افزوده می‌شود (میرشکرایی، ۲۰۰۱). سهولت و یا سختی زدودن مرکب در ابتدا به نوع مرکب، فرآیند چاپ و نوع الیاف بستگی دارد. چاپ غیرتماسی فرآیندی است که به‌طور گسترده و در وسایلی مانند چاپگرهای لیزری و دستگاه‌های زیراکس و کپی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش به سطحی که چاپ بر روی آن انجام می‌شود تماس یا ضربه‌ای وارد نمی‌شود. تصویر موردنظر با استفاده از نور مرئی یا فرابنفش (از طریق یک لامپ دوقطبی لیزری) به شکل باردار و نامرئی در یک دریافت‌کننده تصویر ایجاد می‌شود. پس از آن تونرهای خشک به تصویر نامرئی متصل می‌شوند که در مرحله بعدی به کاغذ منتقل شده و در دمای بالایی (بیش‌تر از ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد) که توسط پرتوهای پراکنده‌شده تامین می‌شود برای ایجاد یک تصویر ثابت در جزئی از ثانیه به کاغذ جوش می‌خورند. مرکب مورد استفاده در چاپ غیرتماسی تونر^۱ نام دارد. تونرها پودرهای رنگی هستند که شامل ذراتی به ابعاد حدود ۱۱-۷ میکرومتر می‌باشند و از ۹۵-۸۰ درصد وزنی از چسب‌های ترموپلاستیک، ۱۲-۵ درصد رنگ‌دانه (یعنی کربن سیاه) و کم‌تر از ۲ درصد مواد افزودنی برای کنترل حرکت‌پذیری پودر و تامین ویژگی‌های الکتریکی آن، تشکیل شده‌اند (ساکری‌پتا و کیتل‌برگر، ۲۰۰۱). پلیمر شدن شیمیایی سبب تشکیل مولکول‌های بزرگی می‌شود که در بیش‌تر حلال‌ها غیرقابل حل بوده و مقاومت‌های مکانیکی زیادی را از خود نشان می‌دهند. این اتصال قوی باعث شده است که روش‌های متداول مرکب‌زدایی شیمیایی برای این نوع کاغذها کارایی اندکی داشته باشد (قاسمیان و همکاران، ۲۰۰۴). در حالی‌که کاغذهای چاپ شده به روش غیرتماسی به سختی مرکب‌زدایی می‌شوند و مقدار آن‌ها نسبت به حجم کل کاغذ بازیافت شده پیوسته در حال افزایش است (باج‌پای، ۱۹۹۸).

سلولازها ممکن است از طریق هیدرولیز و تجزیه بخشی از مولکول سلولز در سطح فیبر، افزایش لیفچه‌ای شدن^۲، پوست‌کنی لایه سطحی که مرکب به آن چسبیده و یا زدودن فیبریل‌ها از سطح فیبر موجب آزادسازی ذرات مرکب شوند. این مکانیزم پاک‌سازی سطح برای توجیه افزایش درجه روانی^۳ خمیر پس از تیمار آنزیمی الیاف دست دوم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با وجود این در برخی موارد، مقدار و زمان واکنش آنزیم مورد استفاده در مرکب‌زدایی برای ایجاد تجزیه قابل اندازه‌گیری در

- 1- Toner
- 2- Fibrillation
- 3- Freeness

سلولز ناکافی است. همچنین همی سلولازها نیز ممکن است از طریق شکستن کمپلکس لیگنین- کربوهیدرات و آزادسازی لیگنین از سطح لیف سبب آزادسازی لیگنین شوند. زدودن فیبریل‌های کوچک متصل به ذرات مرکب نیز می‌تواند منجر به جداسازی ذرات مرکب در مرحله شناورسازی شود. تیمار آنزیمی کاغذهای چاپ شده به روش غیرتماسی همچنین، سبب زدودن مواد فیبری باقی‌مانده از سطح ذرات تونر جدا شده می‌شود و از این طریق موجب افزایش آب‌گریزی این ذرات و تسهیل در پراکنده شدن آن‌ها طی شناورسازی خواهد شد. پژوهش‌ها نشان داده است باقی‌ماندن میکروفیبریل‌ها بر روی ذرات تونر جدا شده از سطح لیف سبب آب‌دوستی بیش‌تر آن‌ها و ممانعت مکانیکی از دستیابی و اتصال به حباب‌های هوا طی شناورسازی می‌شود. در نهایت پژوهش‌ها نشان می‌دهد سلولاز سبب کاهش ابعاد متوسط ذرات تونر شده و از این طریق پراکنش ابعاد ذرات مطلوب‌تری برای جداسازی توسط شناورسازی ایجاد می‌کند (ولت، ۱۹۹۶).

رات‌لج‌کروپسی و همکاران (۱۹۹۵) پس از تیمار با سلولاز کاهش معنی‌دار در گرانش و ویژگی‌های مقاومتی الیاف شیمیایی یک بار خشک شده را گزارش نمودند. از آنجا که پس از تیمار کاغذهای کپی تجاری با سلولاز چنین کاهشی مشاهده نشد، این محققان نتیجه گرفتند که آهارها و پوشش‌های موجود در کاغذهای تجاری، الیاف را از تجزیه نامطلوب حفظ می‌کنند.

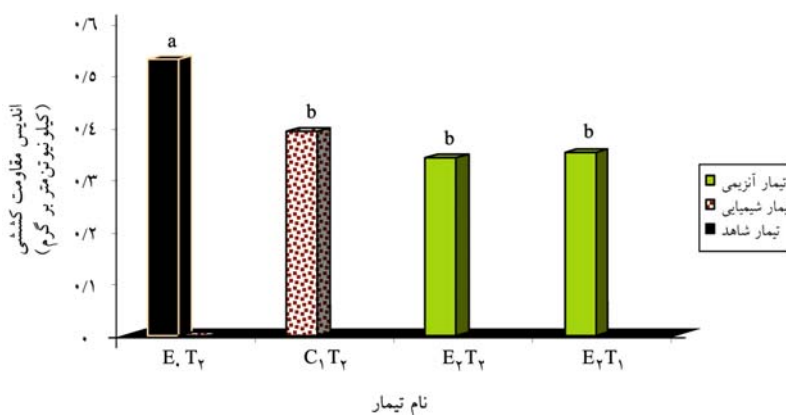
کین و همکاران (۱۹۹۸) و کین و همکاران (۲۰۰۰) در آزمایش‌های خود به این نتیجه رسیدند که فعالیت ترکیبات سلولاز به‌دست آمده از *Aspergillus L2Z* و *Trichoderma pseudokoning* ۸۲۸ اثرات مخربی بر روی مقاومت‌های کاغذ دارند. طبق مطالعات آن‌ها هنگامی که سلولازهای دارای فعالیت‌های متفاوت سلوبیوهیدرولازی و اندوگلوکانازی مورد استفاده قرار گرفتند، اثرات متفاوتی بر روی ویژگی‌های الیاف داشتند. طی فرآیند مرکب‌زدایی تیمار منفرد اندوگلوکاناز منجر به کاهش طول متوسط الیاف و یا زبری مفید برای اصلاح خمیر نمی‌شود. اثرات هم‌زمان اندوگلوکانازها و سلوبیوهیدرولازها می‌تواند منجر به شکست عرضی شود که احتمالاً مهم‌ترین علت کاهش در مقاومت‌های کاغذ است.

پالا و همکاران (۲۰۰۴) استفاده از آنزیم و مواد شیمیایی را برای مرکب‌زدایی از مخلوط کاغذ باطله اداری و کاغذهای چاپ شده با دستگاه‌های پرینتر مورد مقایسه قرار دادند. آن‌ها چندین نوع تیمار آنزیمی و دو روش جداسازی ذرات جوهر/الیاف را مورد آزمایش قرار داده و کارایی مرکب‌زدایی را با آنالیز تصاویر به‌دست آمده از سطح کاغذهای دست‌ساز و انجام تست‌های استاندارد

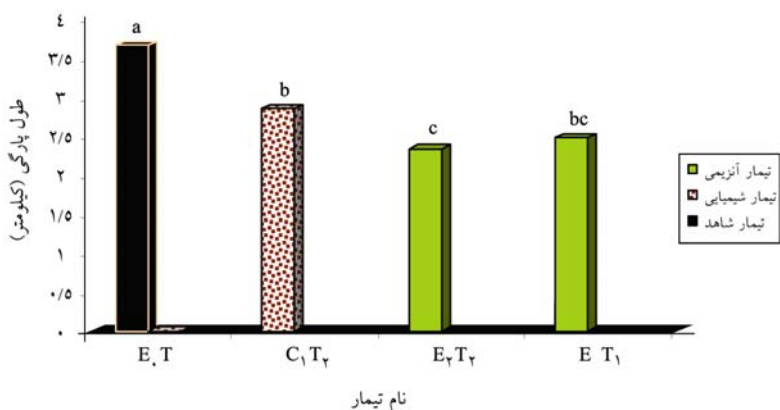
بر روی خمیر و کاغذ به دست آمده از آزمایش آنزیمی و شیمیایی را با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد استفاده از مواد شیمیایی شاخص‌های مقاومتی را افزایش می‌دهد در حالی که موجب کاهش زه‌کشی می‌شود و طبق نظر آن‌ها کارایی شناورسازی به نوع تیمار بستگی دارد. ۷ درصد مرکب‌ها هنگامی که خمیر مخلوط کاغذ باطله اداری به صورت آنزیمی تیمار شدند زدوده شد، در حالی که این مقدار در تیمار شیمیایی ۴۳ درصد بود.

پالا و همکاران (۲۰۰۶) فاکتورهایی مانند pH، مواد کمک‌کننده به مرکب‌زدایی، مواد شیمیایی، آنزیم‌ها، پیش شستشو و اثر اصطکاک به دست آمده از اختلاط خمیرها را بر روی تجزیه و جداسازی مرکب‌های چاپ شده، طی مرکب‌زدایی مخلوط کاغذ باطله اداری در ابعاد آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها با تهیه کاغذ دست‌ساز، ویژگی‌های ظاهری و فیزیکی و مکانیکی کاغذهای به دست آمده را قبل و بعد از تیمار شیمیایی و آنزیمی اندازه‌گیری نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای تهیه شده از تیمار شیمیایی مطلوب‌تر از کاغذهای تیمار شده به روش آنزیمی است،

تیمارهای آنزیمی و شیمیایی به‌طور معنی‌داری سبب کاهش شاخص مقاومت کششی و طول پارگی کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه‌های شاهد می‌شوند (شکل‌های ۳ و ۴). البته این کاهش در تیمار آنزیمی بیش‌تر است، به‌طوری‌که تیمار $E_T T_T$ دارای کم‌ترین مقدار شاخص مقاومت کششی و طول پارگی نسبت به سایر تیمارها می‌باشد. علت این پدیده را می‌توان زدوده شدن میکروفیبریل‌ها از سطح الیاف دانست که موجب کاهش اتصالات و همچنین تخریب زنجیره‌های سلولزی و افت درجه پلیمریزاسیون^۱ دانست که در نتیجه کاهش مقاومت کششی را سبب می‌شود و با یافته‌های رات‌لج کروپسی و همکاران (۱۹۹۵) و ولت (۱۹۹۶) مطابقت دارد.



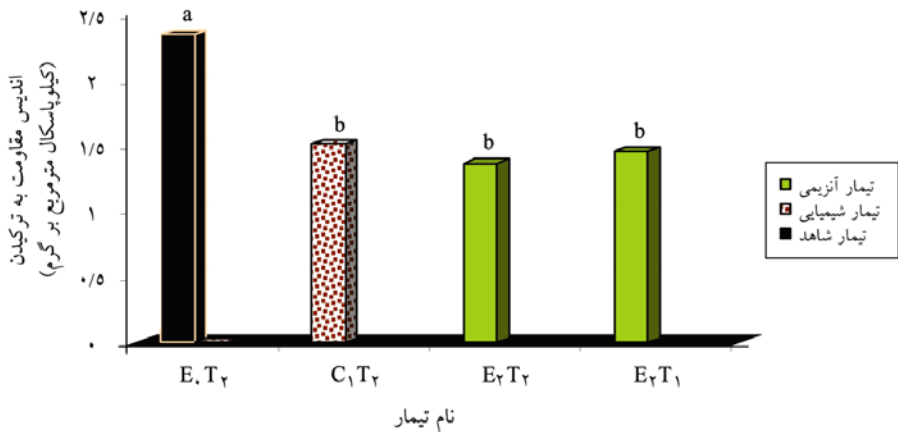
شکل ۳- شاخص مقاومت کششی کاغذهای دست‌ساز.



شکل ۴- طول پارگی کاغذهای دست‌ساز.

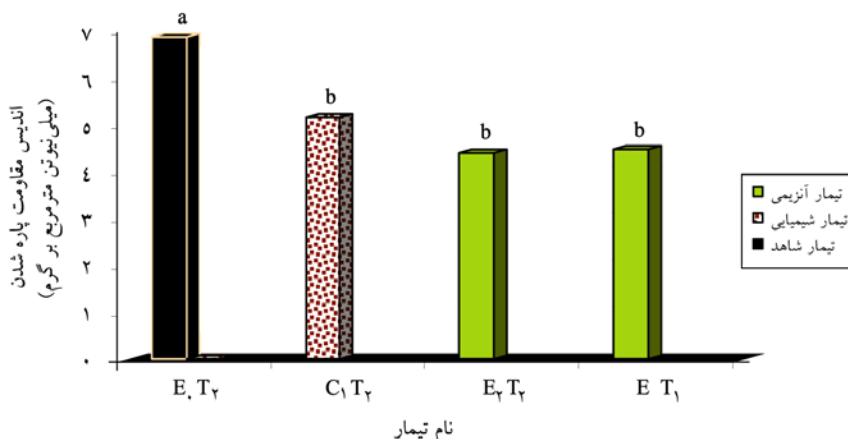
1- Degree of Polymerization (DP)

گروه‌بندی میانگین نتایج به کمک آزمون دانکن نشان داد که تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری دارای شاخص مقاومت به ترکیدن بیش‌تری نسبت به سایر تیمارهای شیمیایی و آنزیمی است (شکل ۵). تیمار آنزیمی نسبت به تیمار شیمیایی موجب کاهش مقاومت به ترکیدن می‌شود اما این کاهش معنی‌دار نمی‌باشد. مشابه مقاومت کششی، زدودن میکروفیبریل‌های سطحی و افت درجه پلیمریزاسیون در اثر تیمار آنزیمی ممکن است موجب کاهش اتصالات و در نتیجه کاهش مقاومت به ترکیدن شود (ولت، ۱۹۹۶).



شکل ۵- شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز.

همان‌گونه‌که در شکل ۶ نیز نشان داده شده تیمار آنزیمی همچنین سبب کاهش اندیس مقاومت به پاره شدن کاغذهای دست‌ساز نسبت به تیمار شیمیایی می‌شود، اما این اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد. تیمار شاهد نیز به‌طور معنی‌داری، دارای مقاومت به پاره شدن بیش‌تری نسبت به سایر تیمارها بود. علت کاهش مقاومت به پاره شدن را می‌توان به تأثیر آنزیم سلولاز در افت DP سلولز و کاهش مقاومت تک‌تک الیاف نسبت داد (باج‌پای، ۱۹۹۸).



شکل ۶- شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای دست‌ساز.

با توجه به این‌که تیمارهای آنزیمی از نظر حجم ویژه به‌طور معنی‌داری بهتر از تیمار شیمیایی بوده و همان‌گونه‌که نتایج بررسی‌های نوری در بخش اول نیز نشان داد تیمارهای آنزیمی از نظر روشنی و ماتی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار شیمیایی ندارند، پیش‌بینی می‌شود کاغذهای مرکب‌زدایی شده به روش آنزیمی در مقایسه با روش متداول شیمیایی دارای خواص چاپ‌پذیری بهتری باشند. از نظر ویژگی‌های مقاومتی نیز اگرچه خمیر کاغذ مرکب‌زدایی شده با تیمار آنزیمی سلولاز در نتیجه تخریب نسبی سلولز دارای مقاومت‌های مکانیکی کم‌تری نسبت به تیمار شیمیایی می‌باشد ولی این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد که با نتایج کین و همکاران (۱۹۹۸) یکسان است. بنابراین با توجه به مزیت‌های زیست‌محیطی متعدد از جمله کاهش آلاینده‌های پساب، کاهش مصرف انرژی و مواد شیمیایی مضر و همچنین ویژگی‌های چاپ‌پذیری مطلوب‌تر تیمارهای آنزیمی (باج‌پای، ۱۹۹۸)، مرکب‌زدایی آنزیمی به‌جای سیستم متداول شیمیایی توصیه می‌گردد.

منابع

1. Bajpai, P. 1998. Biotechnology for Environmental Protection in pulp and paper Industry. Springer, German, Pp: 91-107.
2. Ghasemian, A., Enayati, A., Resalati, H. and Pinder, L.K. 2004. A Study on the Properties of Local ONP/OMG Deinked Pulp in Comparison with Local CMP Pulp, Iran Natur. Resour. J. 57: 3. (In Persian)

3. Jeffries, W.T. (USDA Forest Products Laboratory). 2001. Enzymatic treatments of pulps: opportunities for the enzyme industry in pulp and paper manufacture.
4. Marques, S., Pala, H., Alves, L., Amaral-Collaco, M.T., Gama, F.M. and Girio, F.M. 2003. Characterisation and application of glycanases secreted by *Aspergillus terreus* CCMI 498 and *Trichoderma viride* CCMI 84 for enzymatic deinking of mixed office wastepaper. J. Biotechnol. 100: 209-219.
5. Mirshokraie, A. 2001. Guide to Waste Paper recycling. Aeeizh press, Pp: 94-95. (Translated In Persian)
6. Pala, H., Mota, M. and Gama, F.M. 2004. Enzymatic versus chemical deinking of non-impact ink printed paper. J. Biotechnol. 108: 79-89.
7. Pala, H., Mota, M. and Gama, F.M. 2006. Factors influencing MOW deinking: laboratory scale studies. Enzyme and Microbial Technology, 38: 81-87.
8. Park, K., Park, J., Song, H., Shin, H., Park, J. and Ahn, J.S. 2002. Biological reprocessing of mixed office waste (MOW) using modified cellulase by production of functional copolymer. Korean J. Chem. Eng. 19: 2. 285-289.
9. Qin, M., Gao, P., Yinbo, Q., Fu, Y., Shao, Z. and Quan, W. 1998. Physical characteristics of enzymically modified fiber from old newsprint. Proc Int Symp Emerging Technol Pulping Papermaking Fast-Grow Wood, Pp: 462-73.
10. Qin, M., Gao, P., Shao, Z., Fu, Y. and Wang, Q. 2000. Enzymatic deinking of old newsprint. Zhongguo Zaozhi (Chinese), 19: 7-13.
11. Rutleg-Cropsey, K., Abubakr, S.M. and Klungness, J.H. 1995. Drying effects secondary fiber on papermachine runability, TAAPI Papermakers Conference Proceedins, Chicago, Pp: 311-317.
12. Rutleg-Cropsey, K., Jeffries, T.W., Klungness, J.H. and Sykes, M. 1994. Preliminary results of effect of sizing on enzyme-enhanced deinking, P 103-105. In: Proc. of TAPPI Recycl. Symposium.
13. Sacripante, G. and Kittelberger, S. 2001. Describe how new inks will make feasible the recyclings of high quality office paper. <http://www.Chembytesezine.com>.
14. Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI). 2000. Standard test methods, TAPPI Press, Atlanta, GA.
15. Welt, T. 1996. Enztmatic deinking effectiveness and mechanisms. Doctoral dissertation. The Institute of Paper Science and Technology, Atlanta, Georgia.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 19(1), 2012

http://jwsc.gau.ac.ir

Enzymatic Deinking of Office Waste Papers in Comparison with Conventional Chemical Deinking: part 2-physical and strength properties of paper

H. Resalati¹ and *M.H. Aryaie Monfared²

¹Associate Prof., Dept. Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Ph.D. Student, Dept. of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2009/03/10; Accepted: 2010/06/28

Abstract

Mixed office waste deinking by conventional chemical process, other than having higher chemical consumption and considerable emission of environmental pollutions, has relatively lower deinking efficiency. On the other hand, enzymatic deinking increases deinking efficiency even at reduced environmental pollutions, but it may reduce the strength properties of deinked pulp. At present paper, the physical and strength properties of mixed office waste enzymatic deinked pulps, selected from superior enzymatic treatments in terms of deinking efficiency using commercial cellulase enzyme from *Aspergillus niger*, were compared with the selected superior samples of chemical deinking treatments and the reference sample. The results showed that, the hand sheets of enzymatic deinked pulps, in comparison with chemical deinking, had lower caliper and bulk but without having significant differences with chemically deinked pulps in terms of the strength properties. As a result, because of its better deinking efficiency and also acceptable physical and strength properties, enzymatic deinking was recommended, as a proper substitute of conventional chemical deinking, for deinking of mixed office waste papers.

Keywords: Enzymatic deinking, Chemical deinking, Cellulase, Physical properties, Strength properties

* Corresponding Author; Email: hadiaryaie@yahoo.com