دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد هجدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۰
http://jwsc.gau.ac.ir

مرکب‌زدایی آنزیمی کاغذ باطله اداری در مقایسه با روش متداول شیمیایی: بخش اول– ویژگی‌های ظاهری و نوری خمیر کاغذ

***محمدهادی آریائی منفرد[۱]، حسین رسالتی[۲] و علی قاسمیان[۳]**

[۱]دانشجوی دکتری، [۲]دانشیار و [۳]استادیار فناوری گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۲٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۰

چکیده

کاغذهای مخلوط باطله اداری منبع عظیمی از الیاف با کیفیت می‌باشند که فرآیند چاپ به روش غیر تماسی بر روی آن‌ها صورت گرفته است. بازیافت این کاغذها با استفاده از فرآیند مرکب‌زدایی متداول شیمیایی، از نظر فنی و اقتصادی با مشکل روبه‌رو است. در این پژوهش مرکب‌زدایی آنزیمی به‌عنوان گزینه جایگزین مرکب‌زدایی متداول شیمیایی انجام گرفت. نمونه‌های کاغذ باطله اداری پس از چاپ توسط دستگاه زیراکس، با استفاده از آنزیم سلولاز تجاری حاصل از قارچ *Aspergillus niger* در سه سطح مقداری ۰/۰۲۵، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد براساس وزن خشک خمیر کاغذ (به‌ترتیب معادل ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ واحد به ازاء هر گرم وزن خشک خمیر کاغذ) و در دو سطح زمان ۱۰ و ۱۵ دقیقه و در دما ۵۰ درجه سانتی‌گراد مرکب‌زدایی شدند. تاثیر متغییرهای فرآیندی بر ویژگی‌های ظاهری و نوری کاغذهای دست‌ساز مرکب‌زدایی شده مورد مطالعه قرار گرفت. جمع‌بندی نتایج نشان داد تیماری که در آن از ۰/۰۵ درصد آنزیم و زمان ۱۵ دقیقه استفاده شده است، بهترین نتیجه را داشته و موجب بهبود ویژگی‌های ظاهری کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه‌های شاهد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: کاغذ باطله اداری، مرکب‌زدایی آنزیمی، *Aspergillus niger*، ویژگی‌های ظاهری، ویژگی‌های نوری

*مسئول مکاتبه: hadiaryaie@yahoo.com

مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از الیاف بازیافتی برای صنایع کاغذسازی به‌صورت یک ضرورت جدی مطرح می‌باشد. با این وجود، تولید کاغذ با کیفیت نیازمند اصلاحات کافی ویژگی‌های الیاف دست دوم و زدودن مقادیر زیاد مواد آلاینده‌ای مانند مواد چسبناک، آهارها و پوشش‌های سطحی، پرکننده‌های معدنی و مرکب‌ها است (میرشکرایی، ۲۰۰۱).

مخلوط کاغذهای باطله اداری[1] مشکل‌سازترین ماده خام برای مرکب‌زدایی می‌باشد. این کاغذها به‌طور عمده توسط دستگاه‌های فتوکپی و چاپگرهای لیزری که مرکب را به الیاف جوش می‌دهند چاپ شده و این امر باعث سختی زدودن مرکب‌های آن‌ها با روش‌های شیمیایی متداول گردیده است. در واقع کاغذهای باطله اداری منبعی از الیاف با کیفیت هستند که فرآیند چاپ بر روی آن‌ها انجام شده است و اگر مرکب‌زدایی بر روی آن‌ها انجام شود می‌توان از آن‌ها برای تولید کاغذهای با ارزش و انواع مختلفی از محصولات فیبری استفاده نمود (باجپای، ۱۹۹۸). علاوه بر این، زدودن مرکب‌های تونر- که کوپلیمرهای استایرن و اکریلات می‌باشند- به‌علت اتصال قوی آن‌ها که طی فرآیند چاپ و تحت گرما ایجاد می‌شود حتی با به‌کارگیری مراحل شناورسازی و شستشوی اضافه در روش شیمیایی کارآیی پائینی دارد (مارکوئیزو همکاران، ۲۰۰۳). پژوهش‌های اخیر نشان داده، آنزیم‌ها جایگزین‌های خوبی برای مواد شیمیایی به‌منظور مرکب‌زدایی از کاغذهای باطله اداری هستند. مرکب‌زدایی آنزیمی به‌علت کارآیی قابل توجه، سرعت زیاد و تاثیرات اندک زیست محیطی برای مصارف صنعتی دارای مزیت نسبی می‌باشد (پالاو همکاران، ۲۰۰٦).

سلولازها ممکن است از طریق هیدرولیز و تجزیه بخشی از مولکول سلولز در سطح فیبر، افزایش لیفچه‌ای شدن[2]، پوست‌کنی لایه سطحی که مرکب به آن چسبیده و یا زدودن فیبریل‌ها از سطح فیبر موجب آزادسازی این ذرات شوند. این مکانیزم پاک‌سازی سطح برای توجیه افزایش درجه روانی[3] 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 سلولز ناکافی است. زدودن فیبریل‌های کوچک متصل به ذرات جوهر می‌تواند منجر به جداسازی بهتر

1- Mixed Office Waste
2- Fibrillation
3- Freeness

ذرات جوهر در مرحله شناورسازی شود.. در نهایت پژوهش‌ها نشان می‌دهد سلولاز سبب کاهش ابعاد متوسط ذرات تونر می‌شود و از این طریق پراکنش ابعاد ذرات مطلوب‌تری برای جداسازی توسط شناورسازی ایجاد می‌کند (ولت، ۱۹۹٦).

به‌علت هیدرولیز انتخابی ذرات نرمه توسط آنزیم، تیمارهای آنزیمی معمولا موجب بهبود درجه روانی خمیر کاغذ به‌دست آمده می‌شود (پارک و همکاران، ۲۰۰۲). معمولاً در تیمار کاغذهای باطله به روش آنزیمی دو هدف اصلی دنبال می‌شود که اولین هدف مرکب‌زدایی مطلوب و دیگری بهبود زهکشی خمیر به‌دست آمده می‌باشد. مقدار، زمان و محل افزدن آنزیم در فرآیند بسته به هدف تیمار تغییر خواهد نمود (دینس و همکاران، ۲۰۰۲).

تحقیقات ویاس و لاچک (۲۰۰۳) نشان داده است که تیمار آنزیمی مخلوط کاغذ باطله اداری در حضور ماده فعال ساز سطحی غیر یونی موجب بهبود فرایند مرکب‌زدایی می‌شود.

ویاس (۲۰۰٤) آنزیم سلولاز مقاوم به قلیایی از قارچ *Fusarium* sp. را جداسازی نمود که در دامنه pH در گستره ٤ تا ۱۰ و دما ٦۰ درجه سانتی‌گراد فعالیت می‌نمود. تیمار کاغذهای باطله اداری با آنزیم حاصل و شناورسازی خمیر کاغذ تیمار شده، موجب افزایش ۳ تا ٤ در درجه روشنی در کاغذهای مرکب زدایی شده به‌همراه کاهش در تعداد ذرات مرکب در کاغذ حاصل نسبت به تیمار شاهد بدون آنزیم گردید. این محققان افزوده‌اند ذرات کوچک‌تر (۲۰۰ μm>) مرکب نسبت به ذرات بزرگتر (۲۲۰ μm>) به‌طور موثری زدوده شدند.

مهندس و راگوکومار (۲۰۰۵) مرکب‌زدایی و رنگ‌بری کاغذهای چاپ شده با چاپگرهای جوهر افشان را به کمک باکتری‌های به‌دست آمده از رسوبات بستر اقیانوس انجام داده‌اند. نتایج پژوهش‌های این محققان نشان داده است، آمیلاز و لیپاز نیز می‌توانند به جدا شدن ذرات مرکب از سطح کاغذهای چاپ شده کمک کنند. این محققان تاثیر باکتری در بی‌رنگ شدن خمیر کاغذ را به‌دلیل تولید رادیکال‌های آزاد با وزن مولکولی کم در محیط واکنش می‌دانند که موجب بی‌رنگ می‌شوند.

فائزی‌پور و همکاران (۲۰۰٦) مرکب‌زدایی از کاغذهای روزنامه باطله و کاغذهای باطله اداری را به روش آکواسل (تعلیق در محیط آبی) مورد مطالعه قرار دادند. در این روش از مخلوط آب، حلال آلی و مواد فعال سطحی برای حل کردن، پراکنده‌سازی و دفع مرکب استفاده می‌شود. حذف بهتر مرکب به اعمال تیمار مناسب، زمان ماندگاری، دما، نوع حلال و سن چاپ بستگی دارد. نتایج این محققان نشان

داد با افزایش توام زمان و درجه حرارت و کاهش سن چاپ، درجه روشنی افزایش می‌یابد و نیز افزایش زمان یا درجه حرارت به تنهایی موجب افزایش درجه روشنی می‌شود.

لی و همکاران (۲۰۰۷) مرکب‌زدایی آنزیمی کاغذهای باطله چاپ شده با چاپگرهای لیزری را در ابعاد آزمایشگاهی و با استفاده از آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز حاصل از *Aspergillus niger* مورد بررسی قرار داده و آن را یک روش مؤثر برای بازیافت این نوع کاغذ معرفی نمودند.

اهدافی که در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفتند عبارت بودند از: بررسی تاثیر درصدهای متفاوت آنزیم سلولاز و زمان‌های مختلف تیمار بر قابلیت مرکب‌زدایی از کاغذ باطله اداری و تعیین شرایط بهینه تیمار آنزیمی و همچنین مقایسه مرکب‌زدایی آنزیمی با شیمیایی به لحاظ پارامترهایی مانند درجه روانی خمیر کاغذ، ویژگی‌های ظاهری و مقاومتی کاغذهای به‌دست آمده.

مواد و روش‌ها

کاغذهای مورد استفاده در این بررسی، کاغذهای چاپ شیمیایی معمول موجود در بازار با نام تجاری کپی‌لوکس[1] بود. جهت تهیه نمونه‌های آزمونی توسط دستگاه کپی شارپ مدل SF -۲۰۳۰، بر روی کاغذهای سفید یک طرح شطرنجی مشخص چاپ شد که ۵۰ درصد از سطح کاغذ را از مرکب پوشاند.

آنزیم سلولاز نیز پودری تجاری با فعالیت ۱/۰۲ واحد بر میلی‌گرم، محصول شرکت فلوکای کشور ژاپن و میکرو ارگانیزم تولید کننده آن قارچ *Aspergillus niger* بود. یک واحد فعالیت آنزیم مقداری از آن است که در هر دقیقه موجب آزادسازی ۱ میکرو مول قند کاهش یافته از ماده زمینه شود (پارک و همکاران، ۲۰۰۲). ماده فعال ساز سطحی نیز صابون اولئیک اسید با نام پلی سوربات ۸۰ محصول شرکت فلوکای کشور ژاپن بود. مواد شیمیایی مورد استفاده نیز عبارت بودند از: سود سوزآور، پراکسید هیدروژن، کلرید کلسیم، سیلیکات سدیم و ماده کی لیت ساز[2] EDTA که همگی ساخت شرکت مرک کشور آلمان بوده‌اند.

خمیر کاغذسازی مجدد: نمونه‌های تهیه شده پس از توزین به همراه حجم مشخصی آب برای ایجاد خمیر کاغذی با ۵ درصد خشکی[3] به‌مدت یک ساعت درون حمام آب گرم با دما ۵۰ درجه سانتی‌گراد

1- Copylux
2- Ethylene Diamine Tetraacetic Acid
3- Consistency

قرار گرفت تا الیاف کاغذ کمی نرم شوند. بعد از این مدت کاغـذها و آب همـراه آن‌هـا و مقـدار ۰/۲ درصد بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ ماده فعال ساز سطحی (پلی سوربات ۸۰) به‌مـدت ۱۰ دقیقـه در داخل دستگاه الیاف بازکن قرار گرفتند. کاغذهای چاپ مورد استفاده در این پژوهش به‌دلیل داشتن پرکننده کربنات کلسیم به‌طور طبیعی pH حدود ۸ داشتند. سپس از روش آب‌گیری از خمیر کاغذ بـه کمک الک دارای مش ۳۰۰، درصد خشکی خمیر کاغذ به ۸ درصد رسانده شد. خمیـر کاغـذ حـاوی ذرات مرکب و الیاف در داخل حمام آب گرم در دما ۵۰ درجه سانتی‌گراد قـرار گرفـت در تیمارهـای آنزیمی مقدار ۰/۱ درصد آنزیم سلولاز بر اسـاس وزن خـشک خمیـر کاغـذ (مقـدار بهینـه آنـزیم در آزمایش‌های اولیه تعیین شد) که معادل IU ۱۰۰ به‌ازاء ۱۰۰ گرم خمیر کاغـذ خـشک بـوده، و نیـز در تیمار شیمیایی مقدار ۱ درصد سود سوزآور، ۱ درصد پراکسیدهیدروژن، ۰/۲ درصد سیلیکات سـدیم، ۰/۳ درصد عامل کلیت ساز (EDTA)، (براساس وزن خشک خمیر کاغذ)، به خمیر کاغذ افزوده شـد و به مدت ۱۵ دقیقه عمل همزدن انجام گردید. سپس برای غیرفعال نمودن آنزیم مقدار کمی پراکـسید هیدروژن (حدود ۰/۱٦ درصد براساس وزن خشک خمیر کاغذ) به آن افزوده گردید. در تیمـار شـاهد کلیه مراحل بالا بدون حضور مواد شیمیایی و آنزیم انجام گردید.

شناورسازی: خمیر کاغذ با درصد خشکی ۰/۸ درصد همراه با افزودن ۰/۳۳ درصد کلرید کلـسیم بـه تیمارهای آنزیمی و شیمیایی، در یک سلول شناورسـازی ۲۰ لیتـری سـاخته شـده در دانـشگاه علـوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان طی مراحل همـین پـژوهش، شناورسـازی شـد. کـارکرد ایـن سـلول شناورسازی بر اساس جداسازی ذرات مرکب در اثر اتصال به حباب‌هـای هـوای در حـال صـعود در سوسپانسیون خمیر است. کلیه نمونه‌ها تحت جریان هوای حدود ٦ لیتر بر دقیقه، بـه‌مـدت ۲۰ دقیقـه شناورسازی شدند.

ارزیابی مرکب‌زدایی: از دوغاب خمیر مرکب‌زدایی شده طبق استاندار شماره T ۲۰۵ om-۸۸ آئین‌نامه تاپی[1] کاغذ دست‌ساز دارای گراماژ ۲ ± ٦۰ گرم بر مترمربع ساخته شد و ویژگی‌های خمیر و کاغذ مانند: درجه روانی[2]، تعداد ذرات باقیمانده مرکب، سطح پوشیده از مرکب در سطوح توری و

1- TAPPI
2- Freeness

رویی، همچنین ماتی و درجه روشنی[1] به‌ترتیب طبق استانداردهای T ۲۲۷ om-۹٤، T ۵۳۷ om -۹٦، T ٤۳۷ om-۹٦، T ٤۲۵ om-۹٦، T ٤۵۲ om-۹۸ اندازه‌گیری شد (روش‌های آزمایشی تاپی، ۲۰۰۰).

کارآیی مرکب‌زدایی بااستفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (ویاس و لاچک، ۲۰۰۳ و ویسچرز و همکاران، ۱۹۹۹):

$$\text{درصد کارایی مرکب‌زدایی} = \frac{(N_b - N_s)}{N_b} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

N_b= تعداد ذرات مرکب درکاغذهای دست‌ساز نمونه شاهد

N_s= تعداد ذرات مرکب در کاغذهای دست‌ساز نمونه مرکب‌زدایی شده

طرح آزمایش‌ها و روش تجزیه و تحلیل آماری: برای تحلیل نتایج این پژوهش از طرح فاکتوریل در غالب کاملا تصادفی استفاده شد و نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS و روش تجزیه واریانس ANOVA و مقایسه میانگین GLM (در سطح ۵ درصد) مورد ارزیابی قرار گرفت.

در تمام جدول‌ها و شکل‌ها برای معرفی تیمارها علامت‌های اختصاری به شرح جدول ۱ مورد استفاده قرار گرفته است.

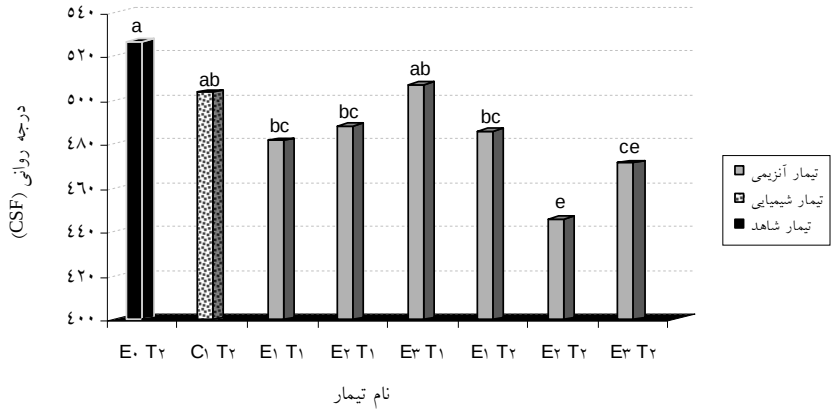
جدول ۱- علائم اختصاری مورد استفاده برای معرفی تیمارها.

علامت اختصاری	توضیحات
E.	تیمار شاهد بدون استفاده از مواد شیمیایی و آنزیم
$E_۱$	تیمار ۰/۰۲۵ درصد آنزیم بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ
$E_۲$	تیمار ۰/۰۵ درصد آنزیم بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ
$E_۳$	تیمار ۰/۱ درصد آنزیم بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ
$T_۱$	زمان ۱۰ دقیقه تیمار
$T_۲$	زمان ۱۵ دقیقه تیمار
$C_۱$	تیمار شیمیایی

1- Brightness

نتایج و بحث

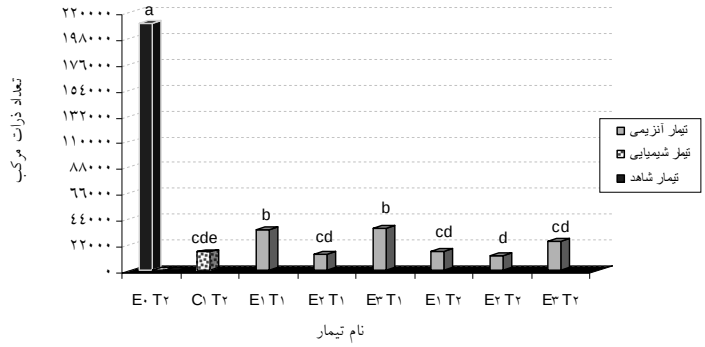
همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود، در این بررسی به‌دلیل مقدار کم آنزیم و زمان کوتاه واکنش، اثر آنزیم در افزایش درجه روانی نسبت به تیمار شاهد مشاهده نشد. در تیمارهای E_1T_1، E_2T_1 و E_3T_1 با افزایش مقدار آنزیم روند این تاثیر در افزایش درجه روانی به خوبی دیده می‌شود. خمیر کاغذ شاهد به‌طور معنی‌داری دارای درجه روانی بیشتری نسبت به سایر تیمارها می‌باشد که دلیل آن را می‌توان وجود دستجات الیاف به‌دلیل باز نشدن کامل الیاف در خمیر کاغذ دانست و بنابراین این افزایش درجه روانی نسبت به خمیر کاغذهای تیمار شده به روش آنزیمی کاذب می‌باشد. در تیمارهای آنزیمی الیاف از هم بهتر باز شده و به‌صورت منفرد در می‌آیند. در واقع تیمارهای مختلف آنزیمی و شیمیایی به‌طور جدی پیوند بین دستجات الیاف را که به‌طور طبیعی در خمیر کاغذ حاصل از مرحله وابری الیاف وجود دارد را تحت تاثیر قرار می‌دهد (باجپای، ۱۹۹۸)، که در تیمار شاهد این واکنش‌ها اتفاق نیافتاده است. از سوی دیگر در تیمارهای آنزیمی با افزایش شدت تیمار در سطح زمانی ۱۵ دقیقه نسبت به سطح زمانی ۱۰ دقیقه، احتمالا به‌دلیل شکسته شدن الیاف و افزایش نرمه‌ها کاهش معنی‌دار درجه روانی در تیمارهای E_2T_2 و E_2T_1 مشاهده شده است.



شکل ۱- درجه روانی (CSF[1]) خمیر کاغذ حاصل از تیمارهای آنزیمی، شیمیایی و شاهد.

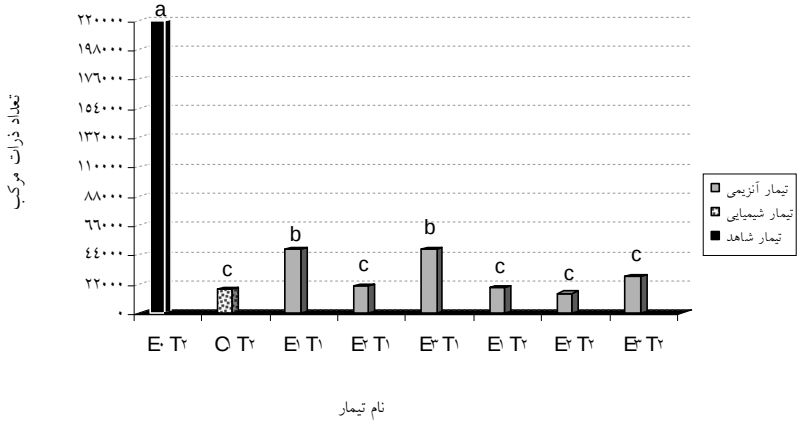
1- Canadian Standard Freeness

در سطح توری کاغذهای دست ساز، کمترین تعداد مرکب به تیمار آنزیمی E_2T_2 تعلق دارد. تفاوت تعداد ذرات مرکب در این تیمار با تیمارهای E_2T_1، E_1T_2 و شیمیایی معنی‌دار نمی‌باشد. تعداد ذرات مرکب در سطح توری تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بیشترین مقدار را دارد.



شکل ۲– تعداد ذرات مرکب در سطح توری کاغذهای دست ساز.

همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ نیز مشاهده می‌شود تعداد ذرات مرکب در سطح رویی کاغذهای دست‌ساز تمامی تیمارها بیشتر از مقدار آن در سطح توری آن‌ها است. اندازه‌گیری تعداد ذرات مرکب موجود در طرف توری کاغذ دست‌ساز نشان داد که تیمار E_2T_2 در سطح توری دارای کمترین تعداد ذرات مرکب بوده اما این اختلاف در تعداد ذرات مرکب با تیمارهای E_2T_1، E_1T_2، E_3T_2 و شیمیایی معنی‌دار نبود. در بین تمام تیمارها در سطح رویی تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری دارای تعداد ذرات مرکب بیشتری بود.



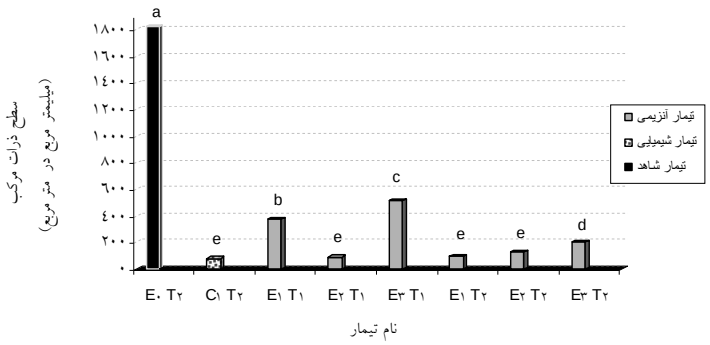
شکل۳– تعداد ذرات مرکب در سطح رویی کاغذهای دست ساز

طبق نتایج مهندس و راگوکومار (۲۰۰۵) نیز بر اثر عمل آنزیم ذرات بزرگ مرکب به ذرات کوچک تر شکسته می‌شوند و طی شناورسازی این ذرات به‌طور مؤثرتری نسبت به ذرات اولیه زدوده می‌شوند. بنابر این تیمار مناسب آنزیمی می‌تواند موجب بهبود در مرکب‌زدایی شود که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مطابقت دارد. در تیمارهای انجام گرفته در کمترین مقدار آنزیم یعنی ۰/۰۲۵ درصد نسبت به وزن خشک خمیر کاغذ، به‌دلیل عمل ناکافی آنزیم برای تجزیه میکروفیبریل‌های سطحی و آزادسازی ذرات مرکب و همچنین کاهش کافی در ابعاد مرکب‌های درشت که برای شناورسازی مناسب باشد، همچنان تعداد زیادی از آن‌ها در خمیرهای مرکب‌زدایی شده باقی ماندند. از سوی دیگر، دربیشترین مقدار آنزیم (۰/۱ درصد) به‌دلیل فعالیت زیاد آنزیمی، خرد شدن بیش از حد ذرات مرکب و پراکنده شدن آن‌ها در سلول شناورسازی و در نتیجه ناتوانی مواد جمع‌کننده[1] برای ایجاد توده‌های[2] قابل شناور شدن اتفاق افتاده است. در دو سطح زمانی تیمار نیز مشاهده می‌شود با افزایش زمان در تیمارهای انجام شده در زمان ۱۵ دقیقه نسبت به ۱۰ دقیقه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش در تعداد ذرات اتفاق افتاده است که نشان‌دهنده تاثیر مثبت زمان تیمار بر مرکب‌زدایی است.

بررسی مساحت پوشیده از ذرات مرکب در سطح توری نشان داد که تیمار E_2T_1 دارای کمترین سطح پوشیده از مرکب بوده اما این اختلاف با تیمارهای E_1T_2، E_2T_2 و شیمیایی معنی‌دار نمی‌باشد. تمامی تیمارها در سطح توری به‌طور معنی‌داری دارای سطح پوشیده از مرکب کمتری نسبت به تیمار شاهد هستند (شکل ٤). همچنین با مشاهده روند تغییرات در نمودار مساحت پوشیده از ذرات مرکب در سطح توری کاغذهای دست‌ساز می‌توان به این نتیجه رسید که به‌طور کلی مساحت پوشیده از مرکب تیمارهایی که در زمان ۱۵ دقیقه انجام گرفته‌اند کمتر از کاغذهای تیمار شده در ۱۰ دقیقه است و در هر دو سری با افزایش مقدار آنزیم به سطح ۰/۱ درصد به‌علت تاثیر آنزیم بر کاهش ابعاد ذرات مرکب و در نتیجه کاهش خروج این ذرات در فرآیند شناورسازی، مساحت پوشیده از مرکب در کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده افزایش می‌یابد. تاثیر مثبت افزایش زمان تیمار نسبت به تاثیر منفی افزایش مقدار آنزیم را می‌توان به این علت دانست که در اثر افزایش زمان تیمار، آنزیم فرصت بیشتری را برای عمل بر روی میکرو فیبریل‌ها و در نتیجه آزادسازی ذرات مرکب از سطح الیاف دارد. در حالی

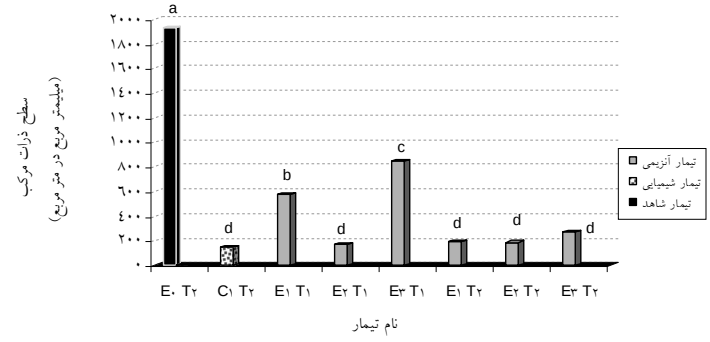
1- Collector
2- Flocs

که با افزودن بر میزان آنزیم در زمان تیمار ثابت، تاثیر آنزیم برروی مرکب‌های موجود در سطح الیاف شدیدتر بوده و با کاهش ابعاد مرکب سبب کاهش قابلیت شناورسازی آن می‌گردد.



شکل ٤– سطح پوشیده از مرکب در سطح توری کاغذهای دست‌ساز

در سطح رویی کاغذ، تیمار شیمیایی دارای کمترین سطح پوشیده از مرکب بوده اما اختلاف این تیمار با تیمارهای آنزیمی E_2T_1، E_2T_2، E_1T_2 و E_3T_2 معنی‌دار نمی‌باشد. در سطح رویی نیز تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری دارای بیشترین سطح پوشیده از مرکب بود. مقایسه نتایج به‌دست آمده از شمارش تعداد ذرات مرکب و مساحت پوشیده از آن‌ها نشان می‌دهد که در تیماری مانند E_2T_2 با وجود دارا بودن کمترین تعداد ذرات، از نظر مساحت پوشیده از مرکب رتبه سوم کمترین سطح پوشیده از مرکب را داراست که نشان‌دهنده باقی ماندن ذرات درشت‌تر در خمیر کاغذ شناورسازی شده این تیمار، نسبت به ذرات ریزتر است (شکل۵).



شکل ۵– سطح پوشیده از مرکب در سطح رویی کاغذهای دست ساز.

در جدول‌های ۲ و ۳ فراوانی و پراکنش ابعادی ذرات مرکب در تیمارهای مختلف به ترتیب در سطح توری و رویی کاغذهای دست‌ساز حاصل از خمیرهای مرکب‌زدایی شده قابل مشاهده است.

جدول ۲- پراکنش ابعاد (میلی‌متر مربع) و تعداد ذرات مرکب در سطح توری کاغذهای دست‌ساز حاصل از تیمارهای مختلف.

نام تیمار / میلی‌متر مربع	E_0T_2	C_1T_2	E_1T_1	E_2T_1	E_3T_1	E_1T_2	E_2T_2	E_3T_2
<۰/۰٤	۳٦۲۲	۲۹٤	٦۱٥	۲٥٥	٦۱٤	۲۹۳	۲۲۸	٤٥٦
۰/۰٤-۱/۰	٤۷۸	۱۳	٤۸	۱۸	٦۷	۲٤	۱٥	۳۱
۰/۱-۰/۲	٤٤	۳	۱۳	۳	۱٥	۲	٤	٦
۰/۲-۰/۳	۱۰	۱	٥	۱	۱۰	۲	۱	۳
>۰/۳	۱۸	۱	٤	۱	٥	۰	۲	۲

جدول ۳- پراکنش ابعاد (میلی‌مترمربع) و تعداد ذرات مرکب در سطح رویی کاغذهای دست‌ساز حاصل از تیمارهای مختلف.

نام تیمار / میلی‌متر مربع	E_0T_2	C_1T_2	E_1T_1	E_2T_1	E_3T_1	E_1T_2	E_2T_2	E_3T_2
<۰/۰٤	۳٥۲۲	۳۲۹	۸۳٥	۳٦۸	۷۸۹	۳٤۳	۲٦۷	٤۹۱
۰/۰٤-۱/۰	٥۰۳	۲٦	۸۳	۳٥	۱۲۸	۲۹	۲٤	٤۳
۰/۱-۰/۲	۱۲	۳	۲۰	۳	۲۳	٥	٤	۹
۰/۲-۰/۳	۱۰	۲	۹	۲	۱۸	۱	٤	۳
>۰/۳	۱٦	۱	٤	۱	۷	۱	۲	۳

در جدول‌های مربوط به پراکنش ابعاد ذرات مرکب، در بین تیمارهای آنزیمی شاهد یک روند کاهشی و سپس افزایش در تعداد ذرات مرکب در یک سری افزایشی مقدار آنزیم یعنی بین تیمارهای E_1T_1، E_2T_1 و E_3T_1 هستیم. در بین دو زمان تیمار با افزایش زمان، شاهد کاهش تعداد بیشتری مرکب می‌باشیم و این کاهش بسیار بیشتر از کاهش متاثر از تغییر در مقدار آنزیم می‌باشد. نتایج بالا نشان دهنده تاثیر بیشتر تغییرات زمان نسبت به تغییرات مقدار آنزیم بر نتیجه مرکب‌زدایی است.

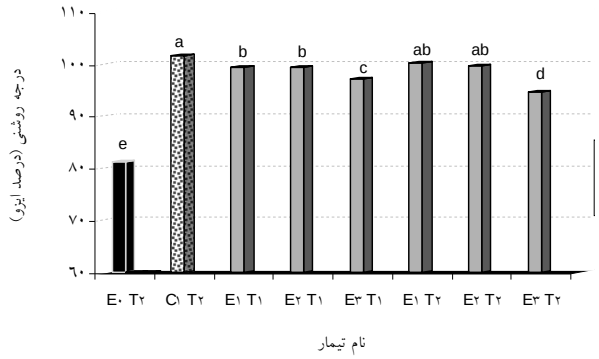
درجه روشنی یکی از ویژگی‌های مهم کاغذ است که در سطح توری و رویی کاغذ دست‌ساز اندازه‌گیری می‌شود. طی ساختن ورقه‌های دست‌ساز و در اثر مکش دستگاه ورق‌ساز، نرمه‌ها و برخی از ذرات ریز مرکب باقی‌مانده و پرکننده‌ها به سطح توری منتقل می‌شوند. از سوی دیگر، ذرات مرکب تونر

باقی‌مانده در خمیر کاغذ به‌علت سبکی بر روی سوسپانسیون قرار گرفته و پس از تشکیل ورق کاغذ تعداد بیشتری از آن‌ها در سطح رویی دیده می‌شوند (فائزی‌پور و همکاران، ۲۰۰٦). مقادیر درجه روشنی کاغذهای به‌دست آمده از خمیر مرکب‌زدایی شده کاغذهای چاپ و تحریر شیمیایی به‌علت وجود براق کننده‌های نوری[1] و پرکننده‌های دارای مواد فلوئورسانس، اثر واقعی مرکب‌زدایی را آشکار نمی‌کند و موجب می‌شود مقادیر درجه روشنی اعداد غیر واقعی بوده و گاهی از ۱۰۰ درصد هم بیشتر باشد (ویسچرز و همکاران، ۱۹۹۹؛ ویاس، ۲۰۰٤). اما در هر حال گمان می‌رود به‌علت یکسان بودن شرایط به‌صورت مقایسه‌ای اثر تیمار آنزیمی برروی درجه روشنی در این کاغذها مورد بررسی قرار گیرد.

همان‌گونه که در شکل ٦ نیز دیده می‌شود، در بین تیمارهای آنزیمی، تیمار E_1T_2 و E_2T_2 دارای بیشترین مقدار درجه روشنی در سطح توری بودند. تیمار شیمیایی دارای بیشترین درجه روشنی در سطح توری بود اما این اختلاف با تیمارهای E_1T_2 و E_2T_2 معنی‌دار نبود. در روش مرکب‌زدایی معمول، پراکسید هیدروژن در خمیرسازی مانند یک مرحله رنگ‌بری عمل می‌کند و موجب بهبود درجه روشنی می‌شود، اما در روش مرکب‌زدایی آنزیمی پراکسید هیدروژن استفاده نمی‌شود (باج پای، ۱۹۹۸). نتایج نشان می‌دهد نمونه‌های شاهد در سطح توری به‌طور معنی‌داری دارای درجه روشنی کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها می‌باشند.

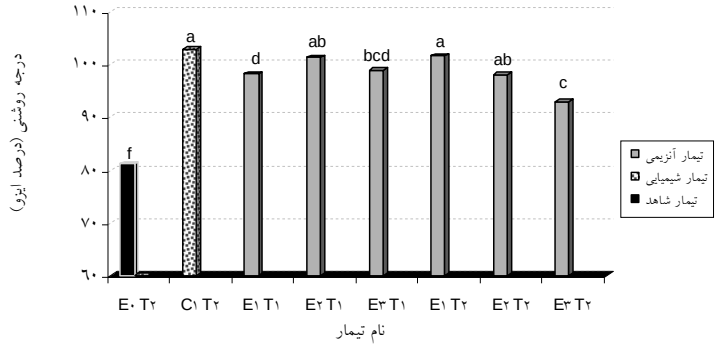
تیمار E_3T_2 به‌طور معنی‌داری دارای درجه روشنی کمتری در سطح توری بود. کاهش درجه روشنی در بیشترین مقدار تیمار آنزیمی (۰/۱ درصد) را می‌توان نتیجه اثر آنزیم بر روی ابعاد ذرات مرکب دانست. کاهش یا افزایش بیش از حد اندازه ذرات مرکب، موجب کاهش قابلیت شناورسازی آن‌ها می‌گردد (میرشکرایی، ۲۰۰۱). پراکنده شدن جزئی این ذرات است که موجب بروز مشکلاتی در جمع‌آوری و شناورسازی آن‌ها شده که در نهایت به رسوب دوباره این مواد بر روی سطوح الیاف و یا نفوذ به بخش‌های متخلخل الیاف و در نتیجه محدود شدن کارآیی شناورسازی می‌انجامد (ویسچرز و همکاران، ۱۹۹۹). در سوی مقابل اگر ذرات مرکب بیش از اندازه بزرگ باشند، به‌علت سنگینی و همچنین ممانعت فیزیکی ناشی از برخورد آن‌ها با سایر اجزا موجود در دوغاب امکان شناور شدن نخواهند داشت.

1- Optical Brighteners



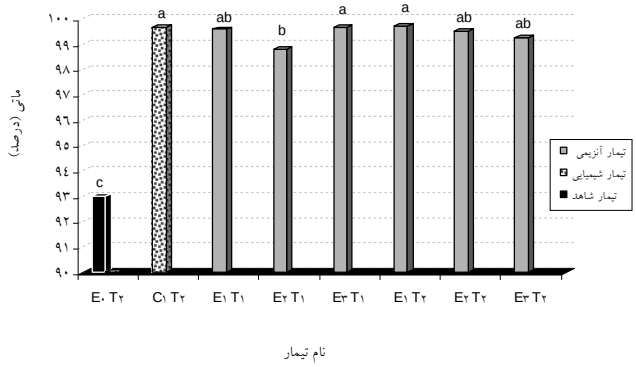
شکل ٦– درجه روشنی سطح توری کاغذهای دست‌ساز.

به‌طور کلی سطح رویی، دارای درجه روشنی کمتری نسبت به سطح توری بود که علت آن را می‌توان وجود ذرات مرکب بیشتر در این سطح دانست. در سطح رویی کاغذهای دست‌ساز حاصل از تیمارهای آنزیمی و مقدار میانی آنزیم (۰/۰۵ درصد) شاهد بیشترین مقدار درجه روشنی هستیم اما در سطوح کمتر از این حد به‌دلیل فعالیت کمتر آنزیمی و وجود ذرات بزرگ مرکب، شناورسازی به‌طور موثری انجام نشده است. در سطح سوم یا ۰/۱ درصد نیز به‌دلیل تیمار شدیدتر، ذرات مرکب ریزتر شده‌اند که به‌دلیل جمع نشدن و شناور نشدن این ذرات ریز مرکب، شاهد باقی ماندن آن‌ها در خمیر می‌باشیم. در این سطح تیمار شیمیایی دارای بیشترین درجه روشنی بود، اما این اختلاف با تیمارهای آنزیمی $E_۱T_۲$، $E_۲T_۱$ و $E_۲T_۲$ معنی‌دار نبود. تیمار شاهد نیز به‌طور معنی‌داری دارای کمترین مقدار درجه روشنی در سطح رویی بود (شکل ۷).



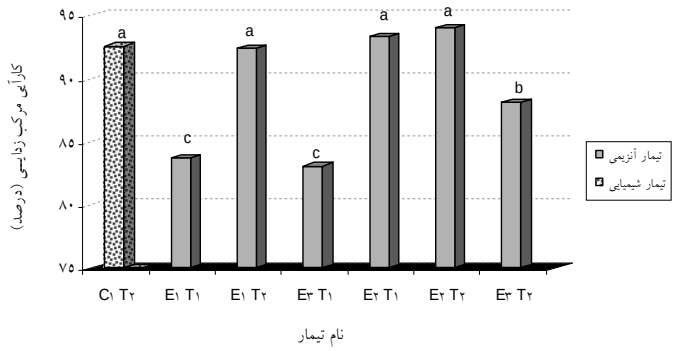
شکل ۷– درجه روشنی سطح رویی کاغذهای دست‌ساز.

همان‌گونه که در شکل ۸ نیز مشاهده می‌شود در تیمارهای آنزیمی به‌دلیل زدوده شدن میکروفیبریل‌ها و در نتیجه کاهش پیوند بین الیاف، ماتی افزایش می‌یابد. در تیمار شاهد به‌دلیل سطح تماس بیشتر الیاف با یکدیگر در نتیجه وجود میکرو فیبریل‌های بیشتر در سطح لیف کاهش ماتی نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری ایجاد می‌شود. در بین تیمارهای آنزیمی تیمار E_1T_2 دارای بیشترین مقدار ماتی بوده که اختلاف آن تنها با تیمار E_2T_1 معنی‌دار است. تیمار شیمیایی به جز با تیمارهای E_2T_1، E_3T_2 و شاهد با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری ندارد.



شکل ۸– ماتی کاغذهای دست ساز.

بررسی کارآیی مرکب‌زدایی تیمارها در سطح توری کاغذهای دست‌ساز نشان داد که تیمار آنزیمی E_2T_2 که دارای کمترین تعداد ذرات مرکب بود، بیشترین کارآیی مرکب‌زدایی را نیز دارا می‌باشد. اما این اختلاف با تیمارهای شیمیایی، E_1T_2 و E_2T_1 معنی‌دار نبود. در واقع تیمار آنزیمی تا حدود ۲ درصد موجب بهبود در کارآیی مرکب‌زدایی نسبت به تیمار شیمیایی می‌شود. تیمارهای E_1T_1 و E_3T_1 به‌طور معنی‌داری، دارای کارآیی کمتر نسبت به سایر تیمارها بودند.



شکل ۹- کارآیی مرکب‌زدایی تیمارهای آنزیمی و تیمار شیمیایی.

مجموع نتایج به‌دست آمده نشان داده که بهترین تیمار آزمایشی، تیمار E_2T_2 یا همان تیمار آنزیمی ۰/۰۵ درصد آنزیم بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ در زمان ۱۵ دقیقه بوده است و در مرتبه بعدی تیمار E_2T_1 یا همان تیمار آنزیمی ۰/۰۵ درصد بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ در زمان تیمار ۱۰ دقیقه بود، که این تیمارها به‌عنوان تیمار برتر آنزیمی جهت ارزیابی‌های بعدی انتخاب شدند.

سیستم آنزیمی یک سیستم پیچیده است که عوامل متعددی بر روی آن تاثیر می‌گذارند. در این پژوهش به‌دلیل وجود محدودیت‌هایی در تجهیزات لازم، امکان اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های آنزیم، خمیر کاغذ و کاغذهای دست‌ساز که دانستن آن‌ها سبب نتیجه‌گیری کامل‌تر و توجیه برخی پدیده‌ها می‌شد وجود نداشت. در مورد ویژگی‌های ظاهری و نوری نتایج نشان داد که تیمار آنزیمی نسبت به تیمار شیمیایی کاغذهایی با ویژگی‌های نوری به مراتب بهتر ایجاد می‌کند. در مورد برخی نتایج مانند کارآیی مرکب‌زدایی بهبودهایی نسبت به نتایج ذکر شده در منابع نیز دیده می‌شود. برای مثال لی و همکاران (۲۰۰۷) حداکثر کارآیی مرکب‌زدایی را حدود ۷۳ درصد ذکر کرده اند که این مقدار در مطالعه پیش رو حدود ۹٤ درصد بوده است.

در تیمار آنزیمی انتظار می‌رفت درجه روانی خمیر کاغذها همانند نتایج ذکر شده در منابع به‌علت تمایل بیشتر آنزیم سلولاز به عمل برروی نرمه‌ها و میکروفیبریل‌های بیرون آمده از سطح فیبر شاهد بهبود درجه روانی خمیر کاغذ باشیم، اما به نظر می‌رسد به‌علت محدود بودن زمان تیمار و همچنین مقدار کم آنزیم، امکان چنین تجزیه‌ای برای آنزیم ایجاد نشده است.

منابع

1.Bajpai, P. 1998. 'Biotechnology for Environmental Protection in pulp and paper Industry'. Springer, Germany, Pp: 91-107.

2.Dienes, D., Egyhazi, A., Sardi, Z., Reczey, K. 2002. Treatment of recycled fiber with trichoderma cellulases. P 355, Proceeding of the international Congrees and Trade show Green-Tech with the European Symposium Industrial Crops and Products The World Horticultural Exhibition Floriade, Netherlands.

3.Faezipour, M., Khalafi, A., Mirshokraie, A., Lohrasebi, A., and Pirjani, A. 2006. A Study of the Possibility of Aquasol Process to Deink ONP and MOW. Iran Natural Resource Journal., vol 59, 2 ,457-470. (In Persian).

4.Lee, C.K., Darah, I., and Ibrahim, C.O. 2007. Enzymatic deinking of laser printed office waste papers: som governing parameters on deinking efficiency. Bioresource technology 98, pp 1684-1689

5.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. Journal of Biotechnology, 100: 209-21

6.Mirshokraie, A. 2001. Guide to Waste Paper recycling. Aeeizh press, 140p. (in Persian)

7.Mohandass, C and Raghukumar, C. 2005. Biological deinking of inkjet-printed paper using *Vibrio alginolyticus* and its enzymes . journal of industrial microbiology and biotechnology Vol 32, N 9,P 424-429

8.Pala, H., Mota, M., and Gama, F.M. 2006. Factors influencing MOW deinking: laboratory scale studies. Enzyme and Microbial Technology 38, pp 81-87

9.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

10.Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI). 2000. Standard test methods, TAPPI Press, Atlanta, GA.

11.Vyas, S. R., and Lachke, A. 2003. Biodeinking of Mixed Office Waste Paper by Alkaline Active Cellulases from alkalotolerant *Fusarium SP*. Enzyme and microbial technology 32; pp 236-245

12.Vyas, S. 2004. Characterization of alkali stable fungal cellulases and their potential industrial application. Ph.D Thesis. The University of Pune. India, 240

13.Viesturs, U., Leite, M., Treimanis, A., and Eisimonte, M. 1999. Enzyme-improved recycling of laser-printed office waste paper. R. 99 Congress (Recovery, Recycling, Re-integration). www.environmental-expert.com/events /r2000/r2000.htm

14.Welt, T. 1996. Enztmatic deinking effectiveness and mechanisms.Doctoral dissertation. The Institute of Paper Science and Technology. Atlanta, Georgia, 201

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 18(4), 2012
http://jwsc.gau.ac.ir

Enzymatic Deinking of Office Waste Papers in the Comparison with Conventional Chemical Method: part 1- appearance and optical properties of pulp

***M. Hadi Aryaie Monfared[1], H. Resalati[2] and A. Ghasemian[3]**
[1]Ph.D Student, [2]Associate Prof. and [3]Assistant Prof. in Pulp and Paper Technology,
University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
Received: 2009-1-3; Accepted: 2010-12-11

Abstract

Mixed office waste papers are considered as a large source of high quality papers that were printed with non impact printing methods. This papers have involved and economical problem in deinking with conventional chemical methods. In this research Enzymatic deinking was done as an alternative for conventional chemical method. Enzymatic deinking of Xerox machine printed papers with cellulase from *Aspergillus niger* at three different dosages of 0.025, 0.05 and 0.1 percent on OD pulp (25, 50 and 100 IU), and repulping treatment times of 10 and 15 minutes at 50 °C were carried out and the effects of this treatmens on appearance and optical properties of handsheets were studied. The results were shown that treatment with 0.05 percent enzyme at 15 minute was better than other enzymatic treatments and caused improvement in appearance properties of handsheets compared with control (without any chemical or enzyme).

***Keywords*:** Mixed Office Waste Paper; Enzymatic Deinking; *Aspergillus niger*; Appearance Properties; Optical Properties.

*Corresponding author; Email: Hadiaryaie@yahoo.com