



دانشگاه گولستان

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد هفدهم، شماره اول، ۱۳۸۹
www.gau.ac.ir/journals

اثر تغییرات pH محیط بر کارآیی مرکب‌زدایی آنزیمی از کاغذهای باطله اداری با استفاده از سلولاز حاصل از قارچ *Aspergillus niger*

*محمدهادی آریائی‌منفرد^۱، حسین رسالتی^۲، علی قاسمیان^۳ و مرتضی عبدالله‌بیگ‌مرندی^۴
^۱دانشجوی دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲دانشجوی کارشناسی‌ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۶؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۲/۱۶

چکیده

مرکب‌زدایی آنزیمی از کاغذهای چاپ شده توسط دستگاه زیراکس با استفاده از آنزیم سلولاز تجاری حاصل از قارچ *Aspergillus niger* مورد بررسی قرار گرفت. تیمار آنزیمی در شرایط مقدار ثابت ۰/۱ درصد آنزیم براساس وزن خشک خمیر (۱۰۲ واحد به‌ازای ۱۰۰ گرم خمیر خشک) و زمان ثابت ۱۵ دقیقه، در چهار سطح متفاوت pH ۴، ۵/۷، ۸ و ۹ انجام شد و سپس تأثیر آن بر ویژگی‌های ظاهری و مقاومتی خمیر کاغذ مرکب‌زدایی شده به روش شناورسازی با نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاصل از روش متداول شیمیایی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. برای تحلیل نتایج این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی، روش تجزیه واریانس ANOVA و مقایسه میانگین دانکن (در سطح ۵ درصد عدم اعتماد) استفاده گردید. نتایج نشان داد که در بین تیمارهای آنزیمی تیمار در pH برابر ۸ از نظر ویژگی‌های ظاهری نتایج بهتری داشته و موجب بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز حاصل نسبت به نمونه‌های حاصل از تیمار شیمیایی شد.

واژه‌های کلیدی: مرکب‌زدایی آنزیمی، کاغذ چاپ شده، pH، *Aspergillus niger* سلولاز

* مسئول مکاتبه: hadiaryae@yahoo.com

مقدمه

در سال‌های اخیر با کاهش منابع چوبی و افزایش تقاضا برای محصولات کاغذی و افزایش نگرانی‌های زیست محیطی ناشی از تولید کاغذهای بکر و حجم بالای کاغذ موجود در زباله‌های شهری ضرورت امر بازیافت کاغذهای مصرف شده، بیش از پیش احساس می‌شود. یکی از مراحل مهم در امر بازیافت کاغذ و استفاده مجدد از آن، مرکب‌زدایی است. در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران بین‌المللی به سوی بهینه‌سازی و یافتن راه‌های جدید در زمینه زدودن آلاینده‌ها به‌ویژه مرکب از کاغذهای چاپ شده به روش‌های گوناگون معطوف شده است (میرشکرایبی، ۲۰۰۱؛ باجپای، ۱۹۹۸؛ ولت، ۱۹۹۶).

از دشوارترین انواع کاغذهای بازیافتی برای مرکب‌زدایی، مخلوط کاغذهای باطله اداری^۱ می‌باشند زیرا بخش عمده این منابع فیبری با استفاده از دستگاه‌های فتوکپی و چاپگرهای لیزری که مرکب را به الیاف جوش می‌دهند، چاپ شده‌اند. این امر باعث دشواری زدودن آنها با روش‌های شیمیایی متداول گردیده است. در واقع مخلوط 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. بنابراین مرکب‌زدایی از کاغذهای چاپ شده به روش غیرتماسی مانع فنی بزرگی در راه دستیابی و استفاده گسترده از آنها برای تولید کاغذهای با ارزش است. بسیاری از فرآیندهای متداول مرکب‌زدایی از این کاغذها نیازمند مقادیر زیادی مواد شیمیایی هستند که استفاده از آنها منجر به هزینه‌های زیاد تیمار پساب برای دستیابی به استانداردهای زیست محیطی می‌گردد (باجپای، ۱۹۹۸). علاوه بر این، به‌کارگیری روش شیمیایی برای مرکب‌زدایی از کاغذهای چاپ شده به روش غیرتماسی به‌علت اتصال ذرات تونر که کاپلیمرهای استایرن و اکریلاتی هستند و تحت گرما با الیاف اتصال فیزیکی ایجاد می‌کنند حتی با به‌کارگیری مراحل شناورسازی و شستشوی اضافه نیز ناکارآمد می‌باشند (ولت، ۱۹۹۶؛ سازمان بیوتکنولوژی صنعتی، ۲۰۰۲). پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که استفاده از آنزیم‌هایی از قبیل پکتیناز، همی سلولاز، سلولاز و لیگنیناز می‌تواند از طریق تأثیر بر سطوح و اتصالات فیبر در مجاورت ذرات مرکب موجب تسهیل در مراحل بعدی زدودن مرکب شود (جفریز و همکاران، ۱۹۹۴؛ ال، ۲۰۰۳؛ ویاس و لچکه، ۲۰۰۳).

راه‌های مختلفی برای عمل آنزیم‌ها طی فرآیند مرکب‌زدایی وجود دارد: اول هیدرولیز لایه‌های بیرونی الیاف برای آزادسازی مرکب از سطح الیاف توسط سلولاز، دومین راه استفاده از لیپاز برای هیدرولیز

1. Mixed Office Waste

حامل‌های مرکب از جنس روغن‌های گیاهی و معدنی، سوم زدودن نرمه‌ها از خمیر و بهبود زهکشی توسط سلولازها، چهارم زدودن میکروفیبریل‌ها از سطح ذرات تونر و افزایش خاصیت آب‌گریزی آنها و کاهش ابعاد ذرات درشت تونر توسط سلولازها و پنجم در مورد کاغذهای قلیایی که بخش اصلی مرکب بر روی کربنات کلسیم و آهارهای موجود در پوشش‌ها و یا پرکننده‌ها واقع شده‌اند، فعالیت آمیلازها می‌تواند به زدودن آنها کمک کند (ویسچرز و همکاران، ۱۹۹۹؛ دینس و همکاران، ۲۰۰۲).

صنایع خمیر و کاغذ جهت استفاده از آنزیم‌ها نیازمند آشنایی کامل با شرایط بهینه استفاده از آنها می‌باشند. با توجه به این که آنزیم یک ماده بیوشیمیایی است و در شرایط محدود دمایی و pH فعالیت بهینه دارد، بنابراین تغییرات جزئی این عوامل می‌تواند در میزان فعالیت این مواد مؤثر باشد. در حال حاضر برای استفاده از آنزیم‌های فعال در محیط‌های اسیدی، قلیایی و خنثی نظرات متفاوتی وجود دارد. جفریز و همکاران (۱۹۹۴)، در آزمایشگاه محصولات جنگلی ایالات متحده بر روی متغیرهای مؤثر بر مرکب‌زدایی مخلوط کاغذ باطله اداری تحقیقاتی انجام داده‌اند. نتایج آنها نشان داد مرکب‌زدایی از کاغذهای چاپ و تحریر شیمیایی که به روش غیرتماسی چاپ شده‌اند با استفاده از سلولاز موجب بهبود ویژگی‌های آنها نسبت به روش‌های متداول شیمیایی می‌شود. آنها همچنین مشاهده نمودند که سلولازهای فعال در محیط خنثی حتی در خمیر اسیدی شده مخلوط کاغذهای باطله اداری (توسط اسید سولفوریک) نیز مزایایی نسبت به سلولازهای فعال در محیط اسیدی نشان می‌دهند.

ویسچرز و همکاران (۱۹۹۹)، مطالعه مقایسه‌ای در مورد اثر زمان خمیرسازی مجدد و شرایط pH (قلیایی و اسیدی) بر روی نمونه‌های تیمار شده با سلولاز و لیباز و نمونه کنترل انجام دادند. نتایج نشان داد آماده‌سازی خمیر با سلولاز همانند لیباز، موجب کاهش ابعاد ذرات تونر شده و ارتباط فیبر-تونر را تخریب می‌کند و از این طریق کارایی زدودن مرکب را در مقایسه با نمونه کنترل بهبود می‌بخشد. به‌علاوه اسیدی نمودن سوسپانسیون خمیر تا pH ۳، پس از خمیرسازی مجدد موجب کاهش سطح مرکب باقی‌مانده و بهبود معنی‌دار کارایی شناورسازی نسبت به شناورسازی در pH قلیایی ۸ یا کمی اسیدی ۵ گردید. نتایج افزایش معنی‌داری ($P < 0.05$) در کاهش ابعاد ذرات تونر طی تیمار آنزیمی برای خمیرهای تیمار شده در pH ۳ نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهد. با این حال اثر آنزیم بر روی خمیرهای اسیدی نشده (pH برابر ۸) تفاوت معنی‌داری نداشت. اسیدی نمودن خمیر تا pH ۵ و یا حتی ۳ به‌طور فزاینده‌ای شکستن ذرات تونر را در مقایسه با خمیر اسیدی نشده بهبود می‌بخشد.

مارکوئیز و همکاران (۲۰۰۳) آنزیم‌های حاصل از دو نژاد *Aspergillus terreus* CCMI 249 رشد نموده بر روی زایلان و *Trichoderma viride* CCMI 84 رشد نموده بر روی سلولز را که دارای فعالیت گلیکانازی متفاوت بودند را جهت مرکب‌زدایی از مخلوط کاغذهای باطله اداری استخراج نمودند. این پژوهشگران دمای بهینه فعالیت این آنزیم‌ها را دامنه ۴۵ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد اعلام کرده‌اند. سیستم‌های اندوگلوکاناز بدون توجه به گونه و نوع ماده زمینه‌ای که بر روی آن فعالیت می‌نمودند، نیم‌رخ فعالیت یکسانی نسبت به دما نشان دادند. در مقابل اندوگلوکانازهای تولید شده توسط هر دو گونه حداکثر فعالیت خود را در pHهای متفاوت (از ۴/۵ تا ۵/۵) نشان دادند که بیشترین فعالیت در محیط اسیدی مربوط به زایلاناز اسیدی تولید شده توسط *T. viride* رشد نموده بر روی سلولز بود. طبق یافته‌های این محققان آنزیم حاصل از *T. viride* سبب افزایش ۲۴ درصدی در زدایش مرکب در مقایسه با نمونه کنترل می‌گردد، در حالی که هر دو نوع آنزیم سبب بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای حاصل می‌شوند.

در بررسی‌های بیشتر پالا و همکاران (۲۰۰۶) فاکتورهایی از قبیل pH، مواد کمک‌کننده به مرکب‌زدایی، مواد شیمیایی، آنزیم‌ها، پیش شستشو و اثر اصطکاک حاصل 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، فیزیکی و مکانیکی کاغذهای حاصل را قبل و بعد از تیمار شیمیایی و آنزیمی اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان داد که شستشو نسبت به شناورسازی در جداسازی ذرات مرکب از الیاف تیمار شده با آنزیم مؤثرتر است و علت آن را ابعاد متوسط ذرات مرکب در نمونه عنوان نمودند. همچنین مشخص شد که ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای تهیه شده از تیمار شیمیایی مطلوب‌تر از کاغذهای تیمار شده به روش آنزیمی است، ولی در مقابل سرعت زهکشی نمونه‌های حاصل از تیمار آنزیمی بهتر است.

کاغذهای مخلوط باطله اداری برای تولید خمیر با کیفیت به‌عنوان جایگزین خمیر شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در این حالت بازده فرآیند بازیافت در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد است. در ایران، تنها شرکت صنایع کاغذی لطیف کاغذهای باطله اداری را به روش شیمیایی و شناورسازی برای تولید دستمال کاغذی مرکب‌زدایی و بازیافت می‌کند (فائزی‌پور و همکاران، ۲۰۰۶). هدف این بررسی تعیین بهترین pH محیط برای فعالیت آنزیم سلولاز حاصل از قارچ *Aspergillus niger* طی مرکب‌زدایی از کاغذهای چاپ شده به روش غیرتماسی و مقایسه آن با نمونه حاصل از مرکب‌زدایی به روش شیمیایی و شاهد بوده است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: کاغذهای مورد استفاده در این پژوهش، کاغذهای چاپ شیمیایی معمول موجود در بازار با نام تجاری Coplux بود. جهت تهیه نمونه‌های آزمونی توسط دستگاه کپی شارپ مدل SF-2030، 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 ژاپن و میکروارگانیزم تولیدکننده آن قارچ *Aspergillus niger* بود. یک واحد فعالیت آنزیم مقدار از آن است که در هر دقیقه موجب آزادسازی ۱ میکرومول قند کاهش یافته از ماده زمینه شود (پارک و همکاران، ۲۰۰۲). فعال‌ساز سطحی نیز پلی‌سوربات ۸۰ محصول شرکت فلوکای ژاپن بود. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده نیز عبارت بودند از: سود سوزآور، پراکسید هیدروژن، کلرید کلسیم، سیلیکات سدیم و ماده کی‌لیت‌کننده EDTA^۱ که همگی ساخت شرکت مرک آلمان بودند.

خمیرسازی: نمونه‌های تهیه شده پس از توزین به همراه حجم مشخصی آب برای ایجاد خمیری با ۵ درصد خشکی^۲ به مدت یک ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا الیاف کاغذ کمی نرم شوند. بعد از این مدت کاغذها در همان درصد خشکی به همراه مقدار ۰/۲ درصد ماده فعال‌ساز سطحی (پلی‌سوربات ۸۰) براساس وزن خشک خمیر به مدت ۱۰ دقیقه در داخل دستگاه الیاف بازکن قرار گرفتند. کاغذهای چاپ مورد استفاده در این پژوهش به دلیل داشتن پرکننده کربنات کلسیم به طور طبیعی pH حدود ۸ داشتند. به همین منظور برای تنظیم pH به سطح اسیدی از محلول اسید سولفوریک و به سطح قلیایی از محلول سود سوزآور استفاده شد. پس از آن از طریق آب‌گیری از خمیر به کمک الک ۳۰۰ مش درصد خشکی خمیر به ۸ درصد رسانده شد. در مرحله تیمار، خمیر حاوی ذرات مرکب و الیاف داخل حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت که در تیمارهای آنزیمی، ۰/۱ درصد آنزیم سلولاز براساس وزن خشک خمیر (مقدار بهینه آنزیم در آزمایش‌های اولیه تعیین گردید) که معادل ۱۰۲ واحد به ازای ۱۰۰ گرم خمیر خشک است به خمیر افزوده شد و به مدت ۱۵ دقیقه به همراه عمل هم‌زدن تیمار انجام شد. در پایان این زمان، برای غیرفعال نمودن آنزیم مقدار کمی (حدود ۰/۱۶ درصد براساس وزن خشک خمیر) پراکسید هیدروژن به آن

1. Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid
2. Consistency

افزوده شد. در تیمار شیمیایی نیز ۱ درصد (براساس وزن خشک خمیر) سود سوزآور، ۱ درصد پراکسید هیدروژن، ۰/۲ درصد سیلیکات سدیم و ۰/۳ درصد عامل کی‌لیت‌ساز به خمیر افزوده شد و به مدت ۱۵ دقیقه به همراه عمل هم‌زدن تیمار انجام شد. در تیمار شاهد کلیه مراحل فوق بدون حضور مواد شیمیایی و آنزیم انجام شد.

شناورسازی: خمیر با درصد خشکی ۰/۸ درصد همراه با افزودن ۰/۳۳ درصد کلرید کلسیم به تیمارهای آنزیمی و شیمیایی، در یک سلول شناورسازی ۲۰ لیتری ساخته شده در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان طی مراحل همین پژوهش، شناورسازی شد. کارکرد این سلول شناورسازی براساس جداسازی ذرات مرکب در اثر اتصال به حباب‌های هوای در حال صعود در سوسپانسیون خمیر است. کلیه نمونه‌ها تحت جریان هوای حدود ۶ لیتر بر دقیقه، به مدت ۲۰ دقیقه شناورسازی شدند.

ارزیابی مرکب‌زدایی: پس از هر تیمار، کاغذهای دست‌ساز استاندارد 2 ± 60 گرم بر مترمربع براساس استاندارد شماره ۸۸-T۲۰۵۰om آئین‌نامه TAPPI تهیه گردید. ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خمیر و کاغذ حاصل از قبیل: درجه روانی^۱ براساس استاندارد شماره ۹۴-T۲۲۷om، تعداد ذرات مرکب موجود در سطح توری و رویی براساس استاندارد شماره ۹۶-T۵۳۷om، سطح پوشیده از مرکب موجود در سطح توری و رویی براساس استاندارد شماره ۹۶-T۴۳۷om، ماتی براساس استاندارد شماره ۹۶-T۴۲۵om، روشنی^۲ براساس استاندارد شماره ۹۸-T۴۵۲om پس از شناورسازی اندازه‌گیری شد. همچنین مقاومت کششی براساس استاندارد شماره ۹۲-T۴۰۴om، مقاومت به ترک‌شدن براساس استاندارد شماره ۹۷-T۴۰۳om، مقاومت به پارگی براساس استاندارد شماره ۸۸-T۴۱۴om و ضخامت براساس استاندارد شماره ۸۹-T۴۱۱om آئین‌نامه TAPPI اندازه‌گیری شدند. کارایی مرکب‌زدایی نیز با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (ویاس و لچکه، ۲۰۰۳؛ ویسچرز و همکاران، ۱۹۹۹):

$$\text{درصد کارایی مرکب‌زدایی} = \frac{(N_b - N_s)}{N_b} \times 100 \quad (1)$$

N_b = تعداد ذرات مرکب در کاغذهای دست‌ساز نمونه شاهد

N_s = تعداد ذرات مرکب در کاغذهای دست‌ساز نمونه مرکب‌زدایی شده

1. Freeness
2. Brightness

برای تحلیل نتایج این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی، روش تجزیه واریانس ANOVA و مقایسه میانگین دانکن (در سطح ۵ درصد عدم اعتماد) استفاده گردید.

نتایج و بحث

درجه روانی: درجه روانی خمیر کاغذ شاخصی است که قابلیت و سرعت عبور آب از خمیر را نشان داده و در کاغذهای مرکب‌زدایی شده به عوامل مختلفی از جمله فرآیند خمیرسازی، نوع ماده اولیه (نوع کاغذ) و نوع فرآیند مرکب‌زدایی (شناورسازی یا شستشو)، نوع و میزان تیمار (آنزیمی یا شیمیایی) و نوع آنزیم و منشاء آن بستگی دارد (رات‌لج‌کراپسی و همکاران، ۱۹۹۸). مقایسه میانگین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری درجه روانی خمیرها نشان داد خمیر تیمار شده با آنزیم در pH ۵/۷ به‌طور معنی‌داری درجه روانی بیشتری نسبت به تیمارهای دیگر داشت، در مقابل تیمار انجام گرفته در pH برابر ۸ به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای شاهد و pH‌های برابر ۴ و ۹، کمترین درجه روانی را دارا بود اما این اختلاف با تیمار شیمیایی معنی‌دار نبود (جدول ۱). در اثر واکنش اسید افزوده شده به خمیر با کربنات کلسیم موجود در آن، این ماده به آب و دی‌اکسیدکربن تبدیل شده و بدین ترتیب افزایش درجه روانی خمیر را سبب می‌شود که در طی انجام این پژوهش نیز مشاهده گردید (رات‌لج و همکاران، ۱۹۹۸). البته تیمار آنزیمی در pH ۴ از روند مورد انتظار پیروی نمی‌کند که با اطلاعات موجود قادر به بیان علت آن نمی‌باشیم. دلیل اصلی تغییرات کم درجه روانی را در کل تیمارها می‌توان به کم بودن مقدار و زمان تاثیر آنزیم بر الیاف نرمة نسبت داد (باجپای، ۱۹۹۸).

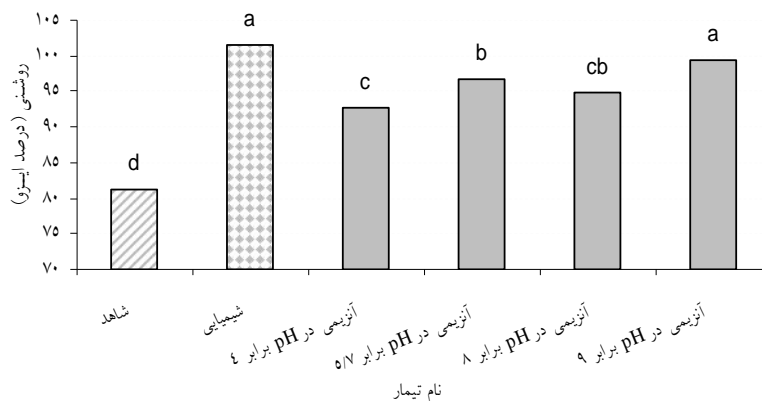
جدول ۱- مقادیر درجه روانی تیمارهای مختلف.

گروه‌بندی	درجه روانی (CSF) ^۱	نام تیمار
b	۵۳۰/۴	آنزیمی در pH برابر ۴
a	۵۷۵	آنزیمی در pH برابر ۵/۷
c	۴۷۱/۱	آنزیمی در pH برابر ۸
b	۵۲۳/۳	آنزیمی در pH برابر ۹
bc	۵۰۳/۵	شیمیایی
b	۵۲۶/۴	شاهد

1. Canadian Standard Freeness

ویژگی‌های ظاهری کاغذ

روشنی کاغذ: مقادیر روشنی کاغذهای حاصل از خمیر مرکب‌زدایی شده کاغذهای چاپ و تحریر شیمیایی به علت وجود کربنات کلسیم و سایر رنگ‌های مصنوعی مثل سفیدکننده‌های نوری و پرکننده‌ها اثر واقعی مرکب‌زدایی را آشکار نمی‌سازد (ویسچرز و همکاران، ۱۹۹۹). با این حال مقایسه میانگین روشنی سطح توری کاغذهای دست‌ساز نشان داد تیمار آنزیمی در pH برابر ۹ و تیمار شیمیایی به طور معنی‌داری روشنی بیشتری نسبت به سایر تیمارها دارند (شکل ۱).



شکل ۱- اثر تغییرات pH بر روشنی سطح توری کاغذهای دست‌ساز.

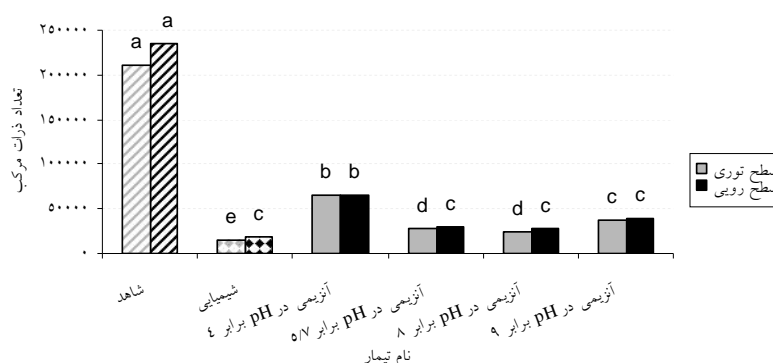
مساحت پوشیده از مرکب^۱ و تعداد ذرات مرکب^۲: به علت این که هدف از مرکب‌زدایی، به دست آوردن کاغذهای کاملاً عاری از هرگونه کثیفی و ذرات خارجی از قبیل مرکب می‌باشد. بنابراین تعداد این ذرات و مساحت پوشیده از آن در کاغذهای دست‌ساز شاخص مهمی است. به همین منظور مساحت مجموع ذرات مرکب و تعداد آنها در یک مترمربع در دو طرف توری و رویی کاغذهای دست‌ساز اندازه‌گیری شد. به علت این که طی ساختن کاغذ دست‌ساز و در اثر مکش دستگاه ورق‌ساز، الیاف نرمة، ذرات ریز مرکب باقی‌مانده و پرکننده‌ها به سطح توری منتقل می‌شوند و در عین حال ذرات

1. Dirt Area
2. Dirt Count

سبک و بزرگ‌تر تونر بر روی آب موجود در دستگاه ورق‌ساز شناور شده و سپس در طرف رویی کاغذ دست‌ساز قرار می‌گیرند، شاهد پدیده دورویی^۱ در این کاغذها هستیم.

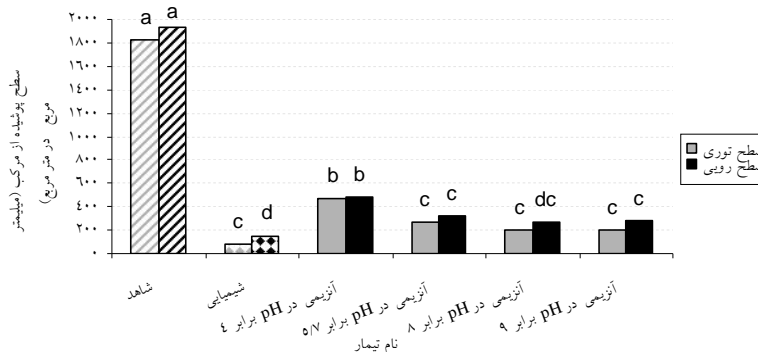
مقایسه میانگین نتایج حاصل از شمارش تعداد ذرات مرکب در طرف توری نشان داد تیمار آنزیمی در pH ۴ به‌طور معنی‌داری، دارای تعداد مرکب بیشتری نسبت به سایر تیمارهای آنزیمی و شیمیایی می‌باشد. اما تعداد ذرات مرکب موجود در کاغذهای دست‌ساز حاصل از این تیمار در سطح ۹۵ درصد مقدار مرکب کمتری نسبت به نمونه شاهد دارد. این در حالی است که تیمار شیمیایی به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها کمترین تعداد مرکب را دارا می‌باشد. در سطح رویی نیز تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری تعداد مرکب بیشتری از سایر تیمارها می‌باشد. کاغذهای حاصل از تیمار در pH ۴ در سطح رویی نیز به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارهای آنزیمی و شیمیایی تعداد مرکب بیشتری داشتند، اما این اختلاف در میان سایر تیمارها معنی‌دار نبود (شکل ۲).

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان می‌دهد تیمار شاهد و تیمار آنزیمی در pH ۴ در دو سطح توری و رویی به‌طور معنی‌داری سطح پوشیده از مرکب بزرگ‌تری نسبت به سایر تیمارها دارند. همچنین تیمار شیمیایی در سطح رویی به‌طور معنی‌داری از تیمار در pH ۵/۷ و ۹ سطح پوشیده از مرکب کوچک‌تری دارد، اما تفاوت آن با تیمار آنزیمی در pH برابر ۸ معنی‌دار نیست. در حالی‌که در سطح توری اختلاف تیمار شیمیایی با تیمار در pH های ۹، ۸ و ۵/۷ معنی‌دار نیست (شکل ۳).



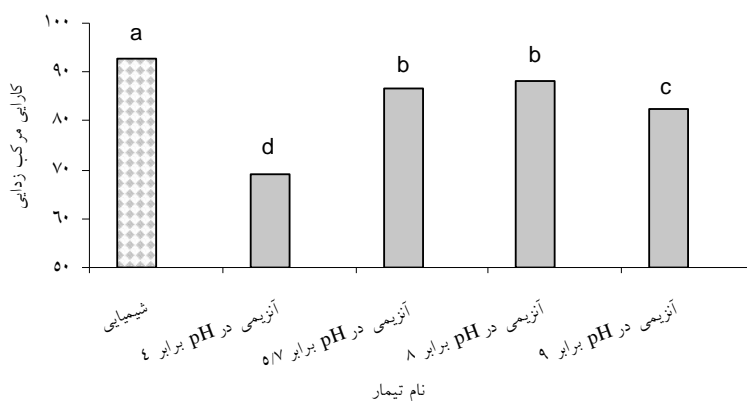
شکل ۲- تعداد ذرات مرکب موجود در یک مترمربع از سطح توری و رویی کاغذهای دست‌ساز.

1. Two-Sidedness



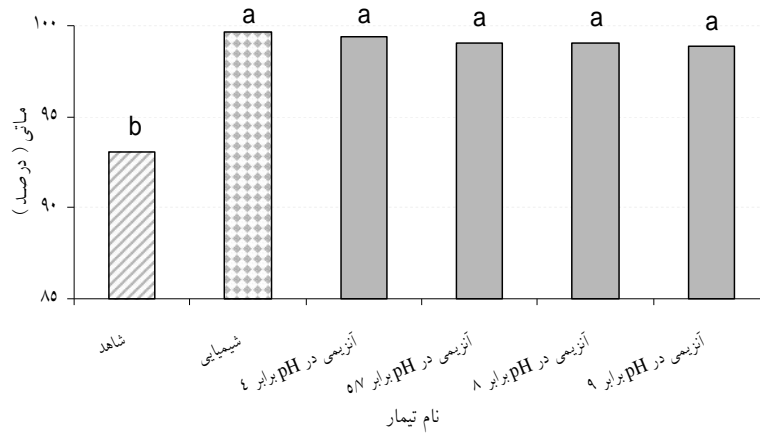
شکل ۳- مساحت پوشیده از مرکب در سطح توری و رویی کاغذهای دست‌ساز.

کارایی مرکب‌زدایی: کارایی مرکب‌زدایی کاغذهای دست‌ساز نسبت به تیمار شاهد محاسبه گردید و همان‌گونه که در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود، تیمار شاهد به‌عنوان مبنا قرار گرفته و عددی برای آن در نظر گرفته نشده است. در مورد کارایی مرکب‌زدایی نیز تیمار شیمیایی به‌طور معنی‌داری مقادیر بیشتری نسبت به تیمارهای آنزیمی دارا بود. در بین تیمارهای آنزیمی تیمار در pH برابر ۸ بیشترین مقدار را دارا بود، اما این تفاوت نسبت به تیمار در pH برابر ۵/۷ معنی‌دار نبود.



شکل ۴- کارایی مرکب‌زدایی در سطح توری کاغذهای دست‌ساز.

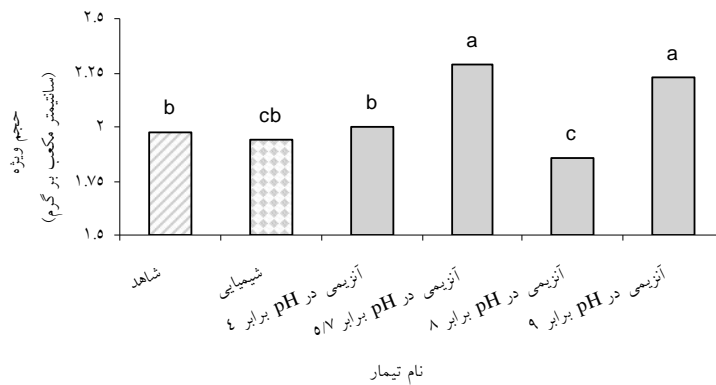
ماتی: همان‌گونه که در شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود مقایسه میانگین نتایج نشان می‌دهد تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری ماتی کمتری نسبت به سایر تیمارها دارد، اما تفاوت بین تیمارهای دیگر معنی‌دار نیست.



شکل ۵- ماتی کاغذهای دست‌ساز.

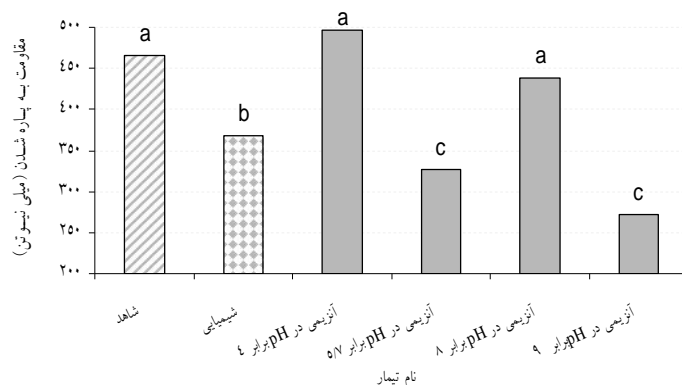
ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذ

حجم ویژه: مقایسه میانگین نتایج نشان می‌دهد حجم ویژه کاغذهای دست‌ساز تیمارهای دارای pHهای برابر ۵/۷ و ۹ به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر می‌باشد. در مقابل تیمار آنزیمی انجام شده در pH برابر ۸ به‌طور معنی‌داری حجم ویژه کمتری نسبت به سایر تیمارها داشت که این اختلاف با تیمار شیمیایی معنی‌دار نبود (شکل ۶).



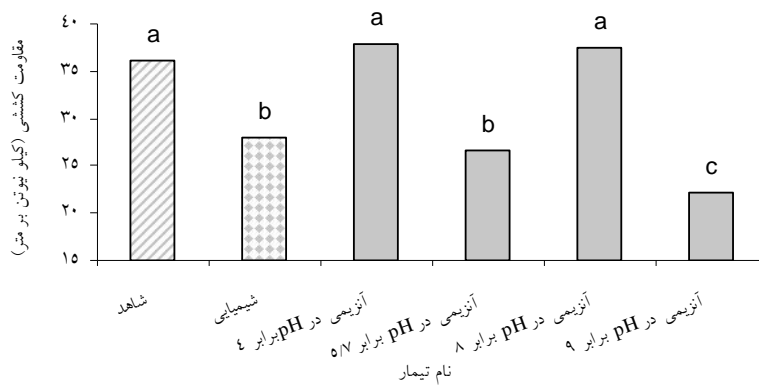
شکل ۶- تغییرات حجم ویژه کاغذهای دست‌ساز.

مقاومت به پاره شدن: بین تیمارهای شاهد، pHهای ۴ و ۸ تفاوت معنی‌داری از نظر مقاومت به پاره شدن وجود نداشت و به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها بهتر بودند (شکل ۷).



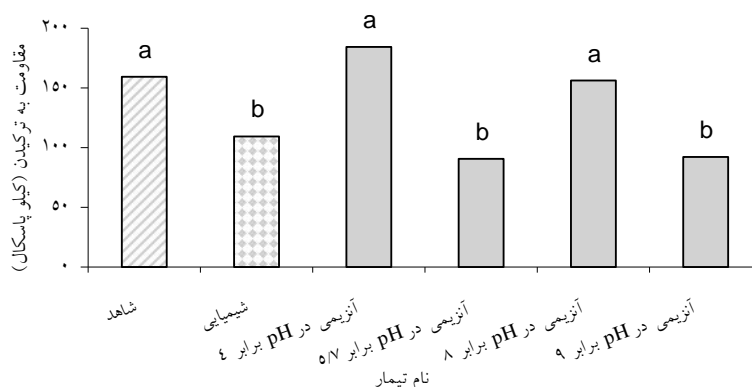
شکل ۷- تغییرات مقاومت به پاره شدن کاغذهای دست‌ساز.

مقاومت کششی: مطابق شکل ۸ تیمارهای انجام گرفته در pHهای ۴، ۸ و شاهد، به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها مقاومت کششی بهتری داشتند، اما بین این سه تیمار تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.



شکل ۸- تغییرات مقاومت کششی کاغذهای دست‌ساز.

مقاومت به ترکیدن: همان‌گونه که در شکل ۹ دیده می‌شود تیمارهای انجام گرفته در pH های ۴، ۸ و شاهد، به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها مقاومت به ترکیدن بهتری را نشان می‌دهند در حالی که بین آنها این اختلاف معنی‌دار نیست.



شکل ۹- تغییرات مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد مرکب‌زدایی آنزیمی از نظر ویژگی‌های ظاهری می‌تواند به اندازه مرکب‌زدایی شیمیایی کارآمد باشد. به‌نظر می‌رسد بهتر بودن روشی در تیمار شیمیایی به‌دلیل وجود پراکسید هیدروژن در این تیمار باشد. همچنین علت اصلی کم بودن ماتی در تیمار شاهد نسبت به سایر تیمارها وجود ذرات نرمه بیشتر در کاغذ حاصل از این تیمار است که باعث افزایش سطح تماس الیاف در نتیجه کاهش ماتی می‌شود. به‌نظر می‌رسد به‌دلیل فعالیت بهتر آنزیم در pH برابر با ۸ کاغذهای حاصل از آن، از نظر تعداد و مساحت پوشیده از ذرات مرکب در بین سایر تیمارهای آنزیمی کمترین مقدار را دارا بوده و بنابر این با نتایج ویسچرز و همکاران (۱۹۹۹) مغایرت دارد. از نظر تعداد و مساحت پوشیده از ذرات مرکب تیمار آنزیمی در pH برابر با ۸ در سطح رویی با تیمار شیمیایی اختلاف معنی‌داری ندارد. تیمار آنزیمی با عمل بر روی ریزلیفچه‌های سطح الیاف و زدودن آنها موجب رهاسازی ذرات مرکب از سطح لیف شده و همچنین با کاهش اندازه ذرات مرکب موجب تسهیل در شناورسازی و خروج آنها از خمیر می‌گردند (ویسچرز و همکاران، ۱۹۹۹؛ دینس و همکاران، ۲۰۰۲).

تیمار آنزیمی موجب بهبود در ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز شده است که این مطلب نتایج تحقیقات پالا و همکاران (۲۰۰۶) را نفی می‌کند. مکانیزمی که از طریق آن سلولاز سبب بهبود مقاومت‌ها می‌شود هنوز کاملاً شناخته شده نیست. ممکن است به‌علت این که مقادیر کم آنزیم تنها سطوح فیبر را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد موجب بهتر لیفچه‌ای شدن و افزایش پیوندها شده و در نتیجه کاغذهای مقاوم‌تری حاصل شود. همچنین به‌نظر می‌رسد تیمار آنزیمی از طریق تأثیر بر روی دیواره الیاف موجب افزایش انعطاف‌پذیری و تغییر شکل^۱ آنها شده که در نتیجه سبب کاهش حجم ویژه و بهبود اتصالات می‌شود (مارکوئیز و همکاران، ۲۰۰۳).

از آنجا که آنزیم‌ها جزء مواد زیستی و از جنس پروتئین می‌باشند، میزان فعالیت زیستی آنها در موفقیت مرکب‌زدایی آنزیمی حیاتی است. به همین منظور متغیرهای بسیاری باید بهینه شوند که این متغیرها شامل: دما، PH، فعالیت و میزان مصرف آنزیم، زمان و مرحله اضافه‌سازی آنزیم، زمان واکنش، غلظت خمیر و عمل مکانیکی می‌باشند (باجپای، ۱۹۹۸؛ ال، ۲۰۰۳). استفاده از pH های اسیدی طی تیمار آنزیمی به‌علت استفاده از مقادیر قابل توجه مواد شیمیایی و مشکلاتی از قبیل خوردگی در تجهیزات، آلودگی پساب و هزینه‌های اضافه و pH های قلیایی به‌علت ایجاد حالت زردشدگی قلیایی برای مرکب‌زدایی در بخش صنعت مطلوب نمی‌باشند. با توجه به نتایج حاصل از مقایسه ویژگی‌های ظاهری و مقاومتی کاغذهای دست‌ساز می‌توان نتیجه گرفت تیمار آنزیمی در pH برابر ۸ که pH طبیعی کاغذهای چاپ و تحریر است بهترین نتیجه را دارد.

منابع

1. Aehle, W. 2003. Enzymes in Industry, 2E. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Pp: 234-236.
2. Bajpai, P. 1998. Biotechnology for Environmental Protection in pulp and paper industry. Germany. Springer, Pp: 91-107.
3. Biotechnology industry organization. 2002. New biotech tools for a cleaner environment industrial biotechnology for pollution prevention, resource conservation, and cost reduction, Pp: 1-5.
4. Dienes, D., Egyhazi, A., Sardi, Z., and Reczey, K. 2002. Treatment of recycled fiber with trichoderma cellulases. International Congress and Trade show Green-Tech. Netherland, 1p.

5. 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. Iranian J. Natur. Res. 59:2. 457-470. (In Persian)
6. Jeffries, T.W., Klungness, J.H., Sykes, M.S., and Rutledge-Cropsy, K.R. 1994. Comparison of enzyme-enhanced with conventional Deinking of xerographic and laser-printed paper. Tappi J. 77:4. 173-179.
7. Marques, S., Pala, H., Alves, L., Amaral-Collaco, M.T., Gama, F.M., and Girio, F.M. 2003. Characterization and application of glycanases secreted by *Aspergillus terreus* CCM1 498 and *Trichoderma viride* CCM1 84 for enzymatic deinking of mixed office wastepaper. J. Biotechnol. 100: 209-219.
8. Mirshokraie, A. 2001. Guide to Waste Paper recycling. Aeeizh Press, Pp: 94-95. (Translated In Persian)
9. Pala, H., Mota, M., and Gama, F.M. 2006. Factors influencing MOW deinking: laboratory scale studies. Enzyme and Microb. Technol. 38: 81-87.
10. Park, K., Park, J., Song, H., Shin, H., Park, J., and Ahn, J. 2002. Biological Reprocessing of Mixed Office Waste (MOW) Using Modified Cellulase by Production of Functional Copolymer. Korean J. Chem. Eng. 19:2. 285-289.
11. Rutleg-Cropsey, K., Klungness, J.H., and Abubakr, S.M. 1998. Performance of enzymatically deinked recovered paper on paper machine runnability. Tappi Journal. 81:2. 148-151.
12. Tappi. 2000. Standard test methods, TAPPI Press, Atlanta, GA.
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. Vyas, S.R., and Lachke, A. 2003. Biodeinking of mixed Office Waste Paper by Alkaline Active Cellulases from alkalotolerant *Fusarium SP*. Enzyme and micro. technol. 32: 236-245.
15. Welt, T. 1996. Enzymatic 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. 17(1), 2010
www.gau.ac.ir/journals

Effect of medium pH variations on enzymatic deinking efficiency of office waste papers with cellulase from *Aspergillus niger*

***M.H. Aryaie Monfared¹, H. Resalati², A. Ghasemian³
and M. Abdollah Beig Marandi⁴**

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

³Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴M.Sc. Student, of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Abstract

Enzymatic deinking of Xerox printed papers by commercial cellulase from *Aspergillus niger* fungi was investigated. Enzymatic treatment was done under constant condition of 0.1 percent enzyme based on oven-dried weight of pulp (102 unit per 100 gram oven-dried pulp), 15 min. treatment time, in four pH levels as 4, 5.7, 8 and 9. Then, the effect of pH variation on the appearance and strength properties of the enzymatic deinked pulp was evaluated and compared with those of the control and conventional chemically deinked samples. The study data were analysed with completely randomized design, ANOVA analysis of variance and Duncan mean comparison ($P < 0.05$). The Results showed enzymatic deinking in pH 8 had the best appearance properties and caused improvement in strength properties of handsheets in comparison with chemically treated samples.

Keywords: Enzymatic deinking, Printed paper, pH, *Aspergillus niger*, Cellulase

* Corresponding Author; Email: hadiaryaie@yahoo.com