

کاربرد آنزیم سلولاز در بازیافت کاغذهای باطله و نقش آن در کاغذهای بسته‌بندی

طاهره نیک‌نژاد^{۱*}، حسین رسالتی^۲، علی قاسمیان^۳

تاریخ دریافت مقاله: تیرماه ۱۳۹۲

تاریخ پذیرش مقاله: مرداد ماه ۱۳۹۲

چکیده

در این تحقیق نتایج عملی تأثیر آنزیم سلولاز بر کیفیت الیاف بازیافتی مورد مصرف در صنایع بسته‌بندی کاغذی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی

کاغذ بسته‌بندی، بازیافت، فناوری زیستی، سلولاز، مرکب‌زدایی و خواص مقاومتی.

۱- مقدمه

کاغذ یک کالای راهبردی است و نقش حیاتی در توسعه فرهنگی به عهده دارد. صنعت کاغذسازی (مصرف‌کننده اصلی کاغذهای بازیافتی^۱) به‌عنوان ماده اولیه دست‌دوم می‌باشد، به طوری که در تولید کاغذ و مقوای بسته‌بندی از انواع مختلف کاغذهای بازیافتی استفاده می‌شود [۵]. صنعت بازیافت^۲ در سال‌های گذشته تحول بزرگی را در زمینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی تجربه کرده است [۸].

ضروری است که از کاغذ باطله^۳ و الیاف بازیافتی، محصولی با کیفیت مطلوب به‌دست آید. وقتی از کاغذ باطله برای تولید کاغذ استفاده می‌شود، دست‌یافتن به ویژگی‌های موردنیاز در محصول نهایی مشکل‌تر از زمانی است که از خمیر کاغذ بکر استفاده می‌کنید البته ویژگی‌های لازم با توجه به نوع کاغذ تولیدی متفاوت است [۳]. با توجه به نیاز روزافزون به کاغذهای چاپ،

صنعت بسته‌بندی به عنوان صنعتی رو به رشد در تجارت خمیر و کاغذ می‌باشد که نیاز به مقاومت‌های معینی دارد تا پاسخ‌گوی نیاز بازار مصرف باشد. بازیافت الیاف کاغذهای باطله، یکی از منابع تأمین‌کننده ماده اولیه برای تولید انواع کاغذ و مقوای بسته‌بندی است که با وجود مزیت‌ها و پتانسیل‌ها موجب ایجاد نگرانی برای اکثر تولیدکننده‌های کاغذهای مورد استفاده در این صنایع شده است، زیرا بازیافت الیاف، موجب کاهش ویژگی‌های ظاهری و مقاومتی آن‌ها می‌شود که این مسئله برای تولید کاغذ و مقوای بسته‌بندی حائز اهمیت است. فناوری زیستی، پتانسیل لازم را جهت بهبود کیفیت الیاف دارا است. در این مقاله سعی بر آن است تا به معرفی برخی از آنزیم‌های کاربردی در ارتقای کیفیت الیاف بازیافتی مورد مصرف در صنایع بسته‌بندی پرداخته شود. سلولاز از جمله این آنزیم‌هاست که می‌تواند از طریق هیدرولیز^۴ اتصال ذرات مرکب و الیاف، همچنین افزایش آبدوستی، فیبریله کردن^۵ بهتر الیاف، موجب بهبود کیفیت نوری و مقاومتی کاغذهای بسته‌بندی حاصل از الیاف بازیافتی شود.

۱- دانشجوی کارشناس ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

(* نویسنده مسئول: s.nicnezhad@yahoo.com)

۲- استاد تکنولوژی خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گروه صنایع خمیر و کاغذ.

۳- دانشیار تکنولوژی خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گروه صنایع خمیر و کاغذ.

6- Recycled paper

7- Recycling

8- Waste paper

4- Hydrolysis

5- Fibrils

را به رقیب سختی در برابر سایر مواد بسته‌بندی تبدیل کرده است.

جدول ۱- انواع مقوای کارتنی

معادل انگلیسی	مخفف	نوع
Folding Boxboard White Lined Cheapboard	FBB	مقوای جعبه‌ای تاشو
Solid Bleached board	SBB	مقوای چندلا با روکش سفید
Solid Unbleached board	SUB	مقوای توپر رنگبری شده
Liquid Packaging Board	LPB	مقوای بسته‌بندی مایعات

مقوای بسته‌بندی از جمله محصولاتی است که نقش مهمی در صنعت بازیافت محصولات کاغذی دارد، به طوری که هم در تولید آن از انواع الیاف بازیافتی استفاده می‌شود و هم خود محصول، مورد بازیافت مجدد قرار می‌گیرد. از این رو بهبود ویژگی‌های الیاف بازیافتی تأثیر مهمی را در گسترش صنعت تولید محصولات بسته‌بندی کاغذی خواهد داشت [۴].

۲- کاغذهای بسته‌بندی و فرایند بازیافت

مقوای چندلا با روکش سفید^۳ (WLC) و مقوای روکش برای روکش کردن مقوای کنگره‌دار از جمله محصولات بسته‌بندی می‌باشند که در ساخت آن‌ها از الیاف بازیافتی استفاده می‌شود. مقوای روکش حاصل از الیاف بازیافتی را آزمون لاینر^۴ می‌نامند.

WLC نوعی از مقوای کارتنی است که از انواع مختلف خمیر برای تولید آن استفاده می‌شود. شکل (۱) ساختار معمول WLC را به تصویر می‌کشد. WLC برای بسته‌بندی محصولاتی همچون غذا (تماس غیر مستقیم)، داروها، مواد

بسته‌بندی و هزینه زیاد تولید این محصولات از مواد بکر، محققین برای بهبود ویژگی‌های ساخت این محصولات از الیاف بازیافتی به بررسی فناوری‌های مختلف مانند کاربرد آنزیم‌ها^۱ برای افزایش اتصال الیاف و سایر خواص محصول حاصله از این الیاف پرداخته‌اند [۶].

فناوری زیستی برای تأمین و افزایش کیفیت مواد اولیه صنایع خمیر و کاغذ، کاهش هزینه‌های تولید و معرفی محصولات جدید با ارزش افزوده زیاد، دارای پتانسیل مناسبی است. فناوری‌های آنزیمی جدید قادرند مشکلات زیست‌محیطی را کاهش داده و ویژگی‌های الیاف را بهبود بخشند. از آنجایی که صنایع خمیر و کاغذ دارای تجهیزات بسیار تخصصی و از نوع سرمایه‌بر می‌باشد، بسیار ضروری است که فناوری‌های جدید پیشنهادی، قابلیت کاهش هزینه‌ها و یا تطابق آسان با فرآیندهای طراحی شده موجود را داشته باشند [۴].

مقوا^۲ به عنوان یکی از محصولات صنعت کاغذ، نوع سنگین‌تر و ضخیم‌تر صفحاتی است که به دو گروه کلی کاغذ و مقوا طبقه‌بندی می‌شود. سالانه کمی بیش از نصف کل کاغذ و مقوای تولید شده را مقوا تشکیل می‌دهد [۱]. انواع بسیار مختلفی از مقوا در بازار موجود است. مقوای بسته‌بندی به سه دسته تقسیم می‌شوند: مقوای کارتنی (جعبه‌ای)، مقوای کنگره‌ای (کانتینری یا بشکه‌ای) و مقوای مخصوص. هیچ گونه تعریف واضحی که تفاوت مقوا با کاغذ را بیان کند وجود ندارد. به هر حال خواص مشخصی وجود دارد که در اکثر انواع مقواها مشترک می‌باشد [۴].

به دلیل کاربرد انواع مقوا در بسته‌بندی، ویژگی‌های مقاومتی برای مقوا بسیار مهم می‌باشد. مقوای کارتنی (جعبه‌ای) عمدتاً برای بسته‌بندی محصولاتی نظیر غذا، سیگار، شیر و داروها استفاده می‌شوند. این مقواها به زیرگروه‌های متعددی تقسیم می‌شوند که در (جدول ۱) به آن‌ها اشاره شده است. این واقعیت که محصولات بسته‌بندی کاغذی سازگار با محیط زیست و قابل بازیافت هستند، آن‌ها

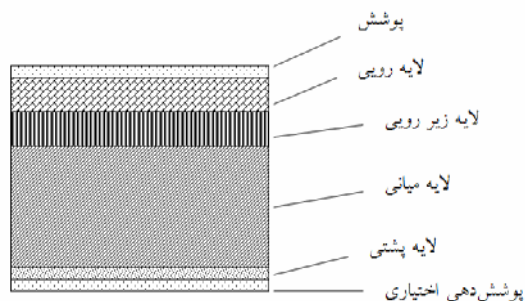
3- White lined cheapboard

4- Test Liner

1- Enzymes

2- Paperboard

شوینده، محصولات خانگی بادوام، پوشاک، کفش و محصولات کاغذی کاربرد دارد.



شکل ۱- ساختار معمول مقوای چندلایه با روکش سفید

لایه رویی معمولاً از خمیر شیمیایی رنگبری شده تشکیل شده و همچنین از کاغذهای اداری بازیافتی مرکب‌زدایی شده^۱ و کاغذهای سفید دفاتر مالی و حسابداری نیز ممکن است استفاده شود. معمولاً لایه‌ای در زیر لایه رویی (بین لایه میانی و لایه رویی) قرار گرفته است که از خمیر مرکب‌زدایی شده، کاغذ سفید دفاتر مالی و حسابداری یا خمیر مکانیکی تولید می‌شود. علت وجود این لایه، به حداقل رساندن مقدار استفاده از خمیر گران‌قیمت لایه رویی است. خمیر لایه میانی از انواع کارتن‌های کنگره‌ای بازیافتی، کاغذ روزنامه بازیافتی و ضایعات مخلوط^۲ تشکیل می‌شود. خمیر لایه پشتی عمدتاً خمیر مرکب‌زدایی شده یا خمیر شیمیایی رنگبری شده است [۴].

از آنجایی که بخش وسیعی از مواد بسته‌بندی فیبری برای حفاظت کالا در طی نقل و انتقال استفاده می‌شود، به خواص مقاومتی مناسب نیاز است، مثلاً مقاومت در برابر پاره‌شدن در کاغذهای بسته‌بندی نظیر پاکت‌های خواروبارفروشی بسیار مهم است [۳]. با این حال کاملاً آشکار است که ویژگی‌های مقاومتی محصول حاصل از الیاف بازیافتی کاهش خواهد یافت [۷]. علاوه بر این، با افزایش دفعات بازیافت این کاهش

- 1- Deinked office waste
- 2- Mixed waste

خواص افزایش می‌یابد، تا آنجا که مخمل استفاده از آن‌ها در ساخت محصولات کاغذی می‌شود [۶]. علاوه بر خواص مقاومتی، ویژگی‌های ظاهری نیز برای بسیاری از مقوهای بسته‌بندی مانند WLC حائز اهمیت می‌باشد. سفیدی مناسب و ویژگی‌های چاپ خوب از آن جمله می‌باشد.

روش‌های متداول کنونی مورد استفاده برای بازیافت و مرکب‌زدایی در بعضی از موارد غیرمؤثر هستند، به همین دلیل نیاز به روش‌های نوین احساس می‌شود تا بتواند خواص مقاومتی و ظاهری الیاف بازیافتی کاربردی صنایع را بهبود بخشد.

در این زمینه در سال‌های اخیر آنزیم‌ها توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. آنزیم‌ها^۳ پروتئین‌هایی هستند که دارای یک "سایت فعال"^۴ می‌باشند. در سایت فعال، آمینواسیدهای^۵ خاص با سوبسترا^۶ (ماده زمینه) تعامل حاصل می‌کنند و تغییرات سوبسترا اتفاق می‌افتد. آنزیم‌ها، کاتالیزورهای طبیعی هستند که مانند همه کاتالیزورها موجب افزایش سرعت واکنش می‌شوند.

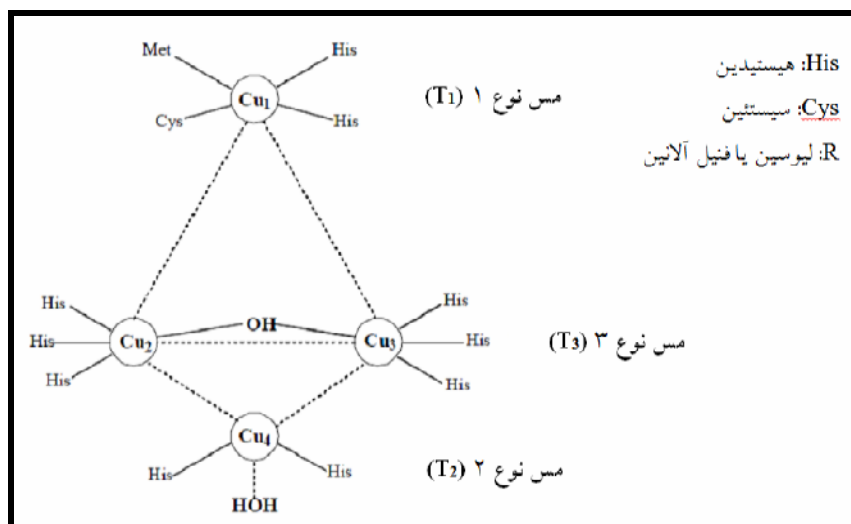
در واقع آنزیم‌ها موجب کاهش انرژی فعال‌سازی واکنش می‌شوند [۱۳]. از جمله آنزیم‌های مورد توجه در این زمینه، می‌توان سلولاز^۷ و لاکاز^۸ را نام برد.

در حال حاضر به‌خوبی ثابت شده است که گروه‌های کربوکسیلیک اسید^۹ در اتصال الیاف خمیر کاغذ مفید هستند و می‌توانند خواص مقاومتی محصول را افزایش دهند. این افزایش خواص مقاومتی به بهبود تورم یا توانایی پیوندیابی الیاف در نتیجه‌ی افزایش گروه‌های کربوکسیلیک اسید نسبت داده شده است. یک روش مناسب برای افزایش این گروه‌های مفید الیاف بازیافتی، استفاده از یک

- 3- Enzyme
- 4- Action site
- 5- Amino acid
- 6- Substrate
- 7- Cellulase
- 8- Laccase
- 9- Carboxylic acids groups

اتصال به سایت فعال آنزیم خیلی بزرگ هستند، یا دارای پتانسیل ردوکس (اکسایش - کاهش) بالا می‌باشند. برای غلبه بر این مشکل، از واسطه‌های شیمیایی و طبیعی استفاده می‌شود. این واسطه‌ها ترکیبات مناسبی هستند که برای لاکاز به عنوان سوبسترای حد واسط عمل می‌کنند و اشکال رادیکال اکسید شده قادر به تعامل با سوبستراهای بالکی و یا دارای پتانسیل ردوکس بالا می‌باشند [۱۰].

تیمار آنزیمی اکسایشی است. لاکاز آنزیمی است که دارای قابلیت اکسایش انواع سوبسترا شامل فنول‌ها^۱، دی‌فنول‌ها^۲، آمینوفنول‌ها^۳، پلی‌فنول‌ها^۴، پلی‌آمین‌ها^۵ و مولکول‌های مرتبط با لیگنین^۶ می‌باشد. این آنزیم می‌تواند موجب رشد ویژگی‌های مقاومتی مورد نیاز برای محصولات کاغذی از جمله کاغذهای بسته‌بندی شود. ساختار آنزیم لاکاز در (شکل ۲) آمده است [۱۳].



شکل ۲- سایت‌های فعال لاکاز قارچی

سلولاز^۸ یک سامانه آنزیمی چند قسمتی است که به دلیل داشتن پتانسیل‌های فراوان برای استفاده صنعتی به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است. در فرایند بازیافت و مرکب‌زدایی، آنزیم سلولاز موجب کاهش واکنش متقابل ذرات مرکب با الیاف می‌گردد. نقش عمده سلولاز در مرکب‌زدایی جداسازی ذرات مرکب از الیاف و بیرون کشیدن آن از توده الیاف طی فرایند مکانیکی از هم پاشیدگی است. در اصل سلولاز از طریق هیدرولیز و تجزیه بخشی از مولکول سلولز در سطح فیبر، افزایش لیفچه‌ای شدن، پوست‌کنی لایه سطحی که مرکب به آن چسبیده و یا زدودن فیبریل‌ها از سطح فیبر موجب آزادسازی ذرات مرکب می‌شوند تا اینکه سرعت آگیری خمیر افزایش یابد و موجب بهبود فیبرله شدن الیاف

سیستم کاتالیزوری^۷ لاکاز شامل سه مرحله اصلی می‌باشد:
۱ - مس نوع ۱ (T1) با دریافت الکترون از سوبسترای کاهش‌دهنده، کاهش می‌یابد.
۲ - الکترون‌ها از مس نوع ۱ حدود $13^\circ A$ تا گروه سه هسته‌ای T2/T3 انتقال می‌یابند.
۳ - اکسیژن مولکولی در گروه سه هسته‌ای T2/T3 فعال می‌شود و به آب کاهش می‌یابد.

اغلب سوبستراها نمی‌توانند مستقیماً توسط لاکاز اکسید شوند و این مسئله به دو عامل مربوط می‌شود؛ یا آن‌ها برای

- 1- Phenols
- 2- Diphenols
- 3- Aminophenols
- 4- Polyphenols
- 5- Polyamines
- 6- Lignin
- 7- Catalyst

8- Cellulase

شود و متعاقب آن موجب ارتقای کیفیت نوری و مقاومتی الیاف می‌گردد [۴].

محققان تحقیقاتی پیرامون مرکب‌زدایی کاغذهای باطله اداری (MOW)^۱ و روزنامه باطله کهنه (ONP)^۲ انجام دادند و از آنزیم‌های سلولاز و زیلاناز استفاده کردند. واکنش در ۵/۵ = pH و دمای ۵۵، به مدت ۴۵°C دقیقه انجام شد. نتایج نشان داد که مرکب‌زدایی با روش آنزیمی بهتر انجام می‌شود و خواص نوری و مقاومتی کاغذ حاصله افزایش می‌یابد. روش آنزیمی آلودگی‌های زیست‌محیطی کمتری را نسبت به روش شیمیایی نتیجه داد.

محققان در پژوهش خود نشان دادند که تیمار^۳ OCC (مقوای بسته‌بندی کهنه)، با لاکاز و لاکاز - واسطه، موجب افزایش ۲۱ درصدی گروه‌های کربوکسیلیک اسید می‌شود، که متعاقب آن خواص مقاومتی بهبود می‌یابد.

محققان اثر هم‌افزایی آنزیم‌های لاکاز و هیدرولاز^۴ را روی خواص مقاومتی و سطحی مقوای بسته‌بندی بازیافتی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که این خواص به ترتیب ۱۸ و ۲۷ درصد نسبت به نمونه‌های قبل از تیمار آنزیمی بهبود داشت.

محققان طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند که مرکب‌زدایی کاغذهای چاپ لیزری با روش‌های متداول، سخت است. آن‌ها برای انجام آزمایش خود از آنزیم سلولاز استفاده کردند و حذف مرکب بیشتری را نسبت به روش شیمیایی مشاهده کردند.

با توجه به این نکته که در ساخت برخی از انواع مقوای بسته‌بندی مانند WLC از خمیر مرکب‌زدایی شده بازیافتی استفاده می‌شود، در تحقیق انجام شده به ارزیابی شماری از خواص ظاهری و مقاومتی خمیر مرکب‌زدایی شده حاصل از تیمار آنزیمی با سلولاز و مقایسه آن با روش متداول شیمیایی پرداخته شد.

۳- مواد و روش‌ها^۵

محدوده این تحقیق در ارتباط با تأثیر استفاده از آنزیم سلولاز بر خواص نوری و مقاومتی کاغذهای چاپ اداری (چاپ لیزری) مرکب‌زدایی شده و مقایسه آن با روش شیمیایی می‌باشد. عوامل ثابت و متغیر به‌کار گرفته شده در این تحقیق، مشخص و محدوده‌های آن تعیین گردیده است.

۳-۱- عوامل ثابت

- الف- نوع کاغذ پایه: در تمامی آزمایش‌ها از کاغذ شیمیایی با نام تجاری کپی‌لوکس^۶ استفاده شد.
- ب- وزن خشک خمیر مورد استفاده در هر آزمایش، ۱۰۰ گرم انتخاب شد.
- ج- مقدار کلرید کلسیم اضافه شده در سلول شناورسازی در کلیه آزمایش‌ها ۳۳/۰٪ بود.
- د- زمان عملیات شناورسازی برای همه آزمایش‌ها، ۲۰ دقیقه بود.

۳-۲- عوامل متغیر

- الف- آزمایشات به دو روش شیمیایی و آنزیمی انجام شد.
- ب- تیمار با سلولاز با دو مقدار ۳۰ u (واحد فعالیت آنزیم است و یک واحد فعالیت آنزیم سلولاز مقدار آنزیمی است که یک میکرومول قند را در هر دقیقه، تحت شرایط استاندارد واکنش از ماده زمینه آزاد کند) و ۵۰ u، در دو زمان ۱۰ و ۱۵ دقیقه انجام شد. کد تیمارها در (جدول ۲) آمده است.

- 1- Mixed office waste paper
- 2- Old news paper
- 3- Old corrugated container
- 4- Hydrolase

۵- داده‌های ارائه شده در این مقاله از پایان‌نامه نویسنده اول این مقاله استخراج شده است.

۳-۵- مرکب‌زدایی آنزیمی

در مرکب‌زدایی آنزیمی برای تیمار، سلولاز با مقادیر u ۰/۳ و u ۰/۵ به ازای هر گرم وزن خشک خمیر به کار برده شد. تیمارهای آنزیمی در pH بهینه حدود ۶ انجام گرفت. pH بهینه به واسطه آزمایشات مقدماتی تعیین شد. دمای تیمار $50^{\circ}C$ بوده است. پس از تیمار pH خمیر به حدود ۷ (خشتی) رسید.

۳-۶- شناورسازی و تهیه کاغذ دست‌ساز

پس از تیمار خمیر کاغذ با مواد شیمیایی و آنزیم، حذف ذرات مرکب از طریق شناورسازی با عبور هوای ۶-۷ لیتر بر کیلوگرم انجام شد و از خمیر مرکب‌زدایی شده تعدادی کاغذ دست‌ساز با گراماژ 60 g/m^2 تهیه شد تا ارزیابی و مقایسه ویژگی‌های ظاهری و مقاومتی روی آن‌ها انجام شود.

۳-۷- ارزیابی درجه روشنی

درجه روشنی، بیان‌کننده قابلیت بازتابش و انعکاس نور با طول موج معین (۴۵۷ نانومتر) از سطح نمونه کاغذ می‌باشد. اساساً درجه روشنی میزانی از فقدان زردی خمیر است که این زردی، محصول حضور لیگنین و دیگر ناخالصی‌ها و به دلیل رنگبری ناقص خمیر می‌باشد. میزان روشنی کاغذهای ساخته شده پس از مرکب‌زدایی شیمیایی و آنزیمی، طبق استاندارد $T452 \text{ om}-02$ مورد سنجش قرار گرفت. میانگین داده‌های حاصل از سنجش درجه روشنی کاغذهای دست‌ساز در (نمودار ۱) آمده است.

جدول ۲- کد تیمارها

کد تیمار	شرایط تیمار
CT ₁	تیمار شیمیایی در زمان ۱۰ دقیقه
EC ₁ T ₁	تیمار آنزیمی با سلولاز (u ۳۰ و ۱۰ دقیقه)
EC ₁ T ₂	تیمار آنزیمی با سلولاز (u ۳۰ و ۱۵ دقیقه)
EC ₂ T	تیمار آنزیمی با سلولاز (u ۵۰ و ۱۰ دقیقه)
EC ₂ T ₂	تیمار آنزیمی با سلولاز (u ۵۰ و ۱۵ دقیقه)

۳-۳- خمیرسازی مجدد^۱

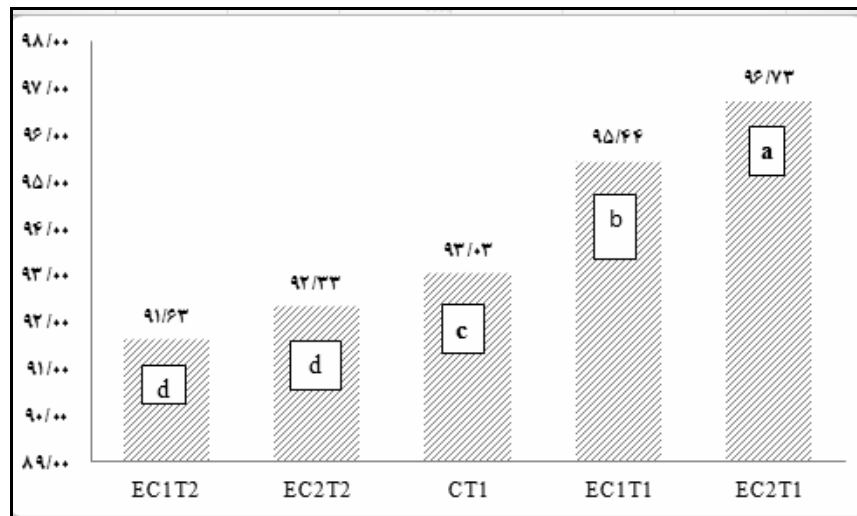
در تمامی آزمایشات مرکب‌زدایی، ابتدا نمونه‌های کاغذی به تکه‌های کوچک خرد شد و سپس به مدت ۶۰ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به منظور نرم‌شدن الیاف کاغذ قرار گرفت. پس از آن نمونه‌ها توسط دستگاه پراکنده‌ساز در درصد خشکی ۵٪ و با به‌کاربردن ۰/۲٪ پلی‌سوربات ۸۰ (ماده فعال‌ساز سطحی)، به مدت ۱۰ دقیقه دفیبره^۲ گشت. خمیر حاوی ذرات مرکب و الیاف بر روی غربال با مش ۲۰۰، برای دستیابی به خمیری با درصد خشکی ۸٪، آبیگری شد. pH خمیر حاصل، ۸/۵-۸ بود.

۳-۴- مرکب‌زدایی شیمیایی

برای تیمار شیمیایی مقادیر ۱٪ هیدروکسید سدیم، ۱٪ پراکسید هیدروژن، ۲٪ سیلیکات سدیم و ۳/۰٪ DTPA براساس وزن خشک خمیر استفاده شد. تیمار خمیر کاغذ در کیسه‌های پلی‌اتیلنی در بسته، در دمای ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و مدت زمان ۱۰، انجام گرفت. زمان بهینه تیمار شیمیایی بر اساس آزمایشات مقدماتی تعیین شد. pH خمیر بعد از تیمار به مقدار عددی حدود ۱۱ رسید.

1- Repulping

2- Dfybrh



نمودار ۱- درجه روشنی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با مواد شیمیایی و سلولاز (واحد اعداد به دست آمده برحسب U می‌باشد)

آبدوستی و فیبریله شدن بهتر الیاف در حضور آنزیم سلولاز نسبت داد. در واقع می‌توان با بهینه‌سازی تیمار آنزیمی، در برخی از سطوح تیمار به مقاومت‌های بیشتری نسبت به تیمار شیمیایی دست یافت. اختلافات نشان داده شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است.

۳-۹- شاخص مقاومت در برابر ترکیدن

مقاومت در برابر ترکیدن تحت عنوان مقاومت یک ورق کاغذ در برابر تغییر شکل به‌وسیله یک دیافراگم لاستیکی به قطر ۳۱/۵ میلی‌متر و تا زمان ترکیدن کاغذ انجام می‌شود. مقاومت در برابر ترکیدن برای کاغذهای بسته‌بندی یک شاخص مهم می‌باشد. اندازه‌گیری مقاومت در برابر ترکیدن طبق استاندارد شماره ۳-۲ om-۰۲ T۴۰۳ آیین‌نامه تاپی انجام گرفت. شاخص مقاومت در برابر ترکیدن از رابطه زیر محاسبه گردید. نتایج حاصل در (نمودار ۳) آمده است.

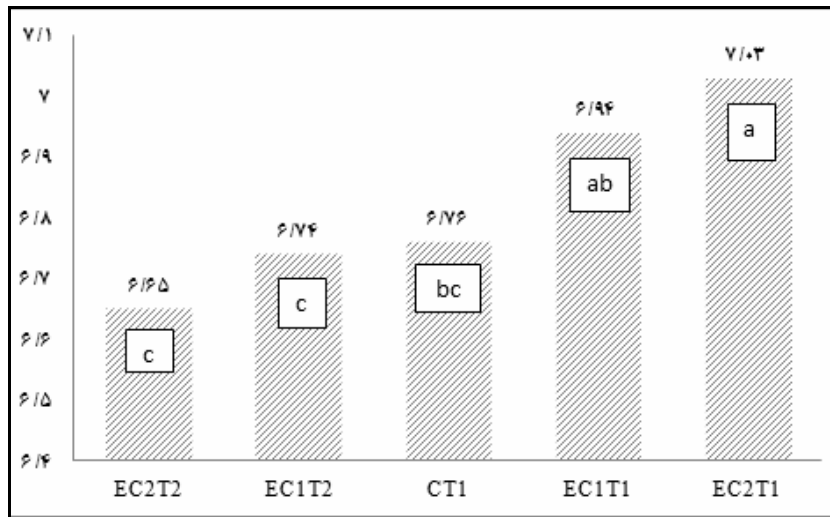
نمودارهای فوق نشان می‌دهد که بیشترین مقدار درجه روشنی به تیمار EC2T1 مربوط می‌شود. در واقع (نمودار ۱) بیان‌کننده توانایی بیشتر آنزیم سلولاز در حذف ذرات مرکب در مقایسه با روش شیمیایی است. اختلافات نشان داده شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد کاملاً معنی‌دار است.

۳-۸- ارزیابی مقاومت به پارگی

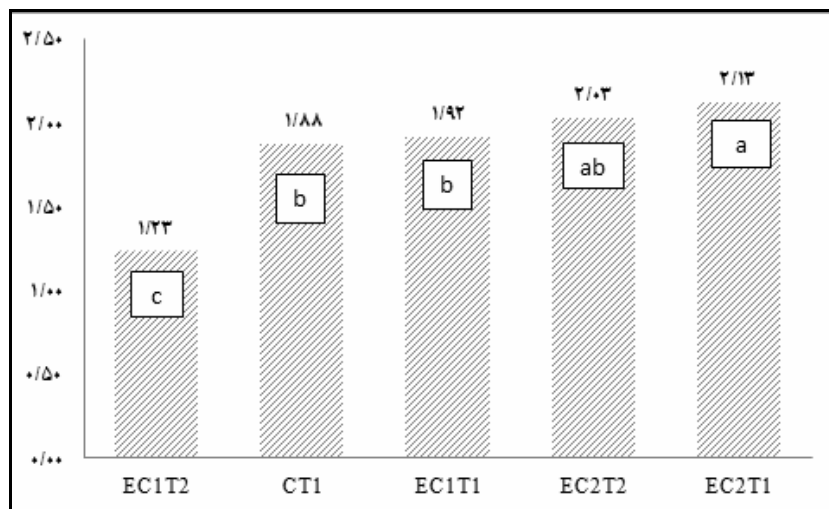
مقدار نیروی لازم برای پاره کردن یک قطعه کاغذ در شرایط مشخص را مقاومت در برابر پاره شدن می‌گویند. اندازه‌گیری مقاومت در برابر پاره شدن بر طبق استاندارد شماره ۴-۰۴ om-۰۴ T۴۰۴ آیین‌نامه تاپی^۱ انجام گرفت. شاخص مقاومت در برابر پاره شدن از رابطه زیر محاسبه گردید و نتایج حاصل در (نمودار ۲) ارائه شد.

نمودار (۲) نشان می‌دهد که در بین تیمارهای مختلف بیشترین مقدار شاخص مقاومت به پارگی، متعلق به تیمار EC2T1 است. افزایش مقاومت به پارگی را می‌توان به افزایش

$$\text{مقاومت به پارگی (mN)} = \frac{\text{مقاومت به پارگی (mN)}}{\text{وزن پایه (g/m}^2\text{)}} = \text{شاخص مقاومت به پارگی (mN.m}^2\text{/g)}$$



نمودار ۲- شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با مواد شیمیایی و سلولاز (واحد اعداد به دست آمده برحسب U می‌باشد)



نمودار ۳- شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با مواد شیمیایی و سلولاز (واحد اعداد به دست آمده برحسب U می‌باشد)

$$\text{شاخص مقاومت در برابر ترکیدن (kPa.m}^2\text{/g)} = \frac{\text{فشار وارد بر کاغذ (kPa)}}{\text{ضخامت (g/m}^2\text{)}}$$

می‌شود که عامل مهمی در بهبود مقاومت ترکیدن است. اختلافات نشان داده شده در (نمودار ۳) در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است.

نمودار فوق مؤید بهتر بودن شاخص مقاومت به ترکیدن الیاف بازیافتی حاصل از تیمار آنزیم سلولاز در مقایسه با روش متداول شیمیایی می‌باشد، زیرا آنزیم سلولاز با حذف بیشتر ذرات مرکب موجب اتصال بیشتر الیاف با یکدیگر

۴- نتیجه گیری

اهمیت صنعت بازیافت کاغذ در دنیای امروز کاملاً روشن و بدیهی است. صنعت بازیافت و صنایع دیگر از جمله صنایع بسته‌بندی که مصرف‌کننده عمده کاغذهای بازیافتی به عنوان ماده اولیه می‌باشد، تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا با توجه به رابطه متقابل این دو امر مهم (بازیافت کاغذ و تولید کاغذ بسته‌بندی) و با توجه به کاهش ویژگی‌های محصول در اثر فرایند بازیافت و از طرفی اهمیت خواص ظاهری و مقاومتی محصولات بسته‌بندی برای جلب رضایت مصرف‌کنندگان باید در پی بهبود الیاف بازیافتی مورد کاربرد کاغذ و مقوای بسته‌بندی بود. استفاده از آنزیم‌ها یکی از راه‌های نوین و کارآمد در جهت رسیدن به این امر مهم است که به‌طور گسترده‌ای مورد توجه محققین جهانی قرار گرفته است. داده‌های حاصل از مرکب‌زدایی آنزیمی کاغذهای باطله با سلولاز نشان داد این آنزیم از طریق فیبریلاسیون^۱ الیاف و بهبود پیوند بین فیبری می‌تواند مقاومت‌ها را افزایش دهد و از طرفی تأثیر مثبت آن روی درجه روشنی کاغذ از طریق هیدرولیز سطحی اتصال ذرات مرکب و الیاف کاملاً مشهود است. مطالب ارائه شده گویای آن است که فناوری زیستی، قابلیت‌های خوبی را در جهت بهبود صنایع کاغذ و صنایع مرتبط به آن (مانند صنایع بسته‌بندی) برخوردار می‌باشد، بنابراین لزوم توجه و تحقیق بیشتر در زمینه استفاده از آنزیم‌ها در صنعت کاغذسازی احساس می‌شود.

کاربرد آنزیم سلولاز در بازیافت کاغذهای باطله و نقش آن در کاغذهای بسته‌بندی

۵- منابع

۱. اسکات، ویلیام ای، «مبانی ویژگی‌های کاغذ (ترجمه الیاس افرا)»، تهران، آیتز. (تاریخ انتشار به زبان اصلی ۱۹۹۵)، ص ۲۸۳. ۱۳۸۵.
۲. پاپولاپورو، هانو، «انواع کاغذ و مقوا (ترجمه امیرهومن حمصی، یحیی همزه، محمد اختراع)»،

تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. (تاریخ انتشار به زبان اصلی ۲۰۰۰)، صص: ۱۲۵-۹۹. ۱۳۸۶.

۳. جهان‌لتیباری، احمد، خسروانی، امیر، و رحمانی‌نیا، مهدی، «فناوری بازیافت کاغذ»، انتشارات آروپ، صص: ۲۲۳-۲۱۵. ۱۳۸۶.

۴. حمصی، ا. ه.، «کاربرد فن‌آوری زیست آنزیمی در صنایع خمیر و کاغذ»، ویژه‌نامه مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، شماره ۱، ۱۱۹-۱۰۵، ص ۱۰۵. ۱۳۸۴.

۵. قاسمیان، علی، خلیلی، علی، «مبانی و روش‌های بازیافت کاغذ»، انتشارات آیتز، ص ۱. ۱۳۹۰.

6. Chen, Y.M., Wan, J.Q., Ma, Y.W., "Effect of noncellulosic constituents on physical properties and pore structure of recycled fibre". *Appita J*, Vol. 62, NO. 4, 290- 295, 302, pp: 290-295. 2009.

7. Chen, Y.M., Wan, J.Q., Ma, Y.W., "Effect of noncellulosic constituents on physical properties and pore structure of recycled fibre". *Appita J*, Vol. 62, NO. 4, 290- 295, 302, pp: 290-295. 2009.

8. Fillat, U., Prieto, A., Camarero, S., T. Martínez, Á., Jesús Martínez, M., "Biodeinking of flexographic inks by fungal laccases using synthetic and natural mediators". *Biochemical engineering Journal*, NO. 67, 97 - 103, pp: 97-98. 2012.

9. Jeeffries, T. W., Klungness, J. H., Sykes, M. S., and Rutledge- Cropsey, K. R. "Comparison of enzyme-enhanced with conventional deinking of xerographic and laser- printed paper". *Tappi Journal*, Vol. 4, No. 77, 173-179, pp: 173-179. 1994.

10. Kunamneni, A., J. Plou, F., Ballesteros, A., and Alcalde, M., *Laccases and their applications*, departamento de biocatálisis, instituto de catálisis y petroleoquímica, CSIC, cantoblanco, 28049 madrid, spain, pp: 6-7. 2008.

11. Lee, C. K., Ibrahim, D., Omar Ibrahim, C., and Wan Rosli, D., "Enzymatic and chemical drinking of mixed office wastepaper and OLD newspaper: paper quality and effluent characteristics". Bio resources, Vol. 6, No. 4, 3859- 3875, pp:3859-3875. 2011.
12. Shan, X., Pei, J.C., Shi, S.L., Sun, B., Wang, F., "Synergistic effect of laccase and hydrolase on OCC pulp's strength and fiber's surface properties". Paper paper mak. Vol. 28, NO. 2, 53-57, pp: 53-57. 2009.
13. Witayakran, S., "Laccase in organic synthesis and its applications". Unpublished master's thesis, school of chemistry and biochemistry, pp: 57-60. 2008.

آدرس نویسنده

استان گیلان - شهرستان شفت - احمدسرگوراب
- خیابان شهید جدیدی - کوچه طبیعت - منزل
شخصی.

کد پستی: ۴۴۶۵۱ - ۴۳۵۴۱