Archive of SID

جوهرزدایی آنزیمی کاغذ روزنامه باطله با سلولاز و لیپاز

نادر مایلی*+، محمد طلایی‌پور

تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، صندوق پستی ۷۷۵ ـ ۱۴۱۵۵

چکیده: در این پژوهش تأثیر جوهرزدایی آنزیمی (جوهرزدایی زیستی) بر روی ویژگی‌های نوری و مکانیکی کاغذ ساخته شده از خمیرکاغذ جوهرزدایی شده از کاغذ روزنامه باطله مورد بررسی گرفت. به این منظور پس از تهیه نمونه‌ها، عملیات خمیرسازی با دو تیمار آنزیمی سلولاز و ترکیب سلولاز / لیپاز، در درصد خشکی ٤٪، به مدت ۲/۵ دقیقه، در pH خنثی و در دو دمای ۲۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. پس از تهیه خمیر کاغذها، مرحله جوهرزدایی به روش شستشو بر روی الک با مش ۱۲۰ انجام گردید و کاغذهای دست ساز ساخته شد. در ادامه، اثر تیمارهای آنزیمی و دما بر ویژگی های نوری و مکانیکی کاغذهای دست ساز ساخته شده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتیجه‌های به دست آمده از اندازه‌گیری‌ها نشان داد که، جوهرزدایی آنزیمی به ویژه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، سبب بهبود ویژگی‌های نوری و مکانیکی کاغذهای دست‌ساز تهیه شده نسبت به نمونه شاهد شده است. برای نمونه شاهد مقاومت به تاخوردگی کاغذ ۳، جذب انرژی کششی $۳٤/٦۲۵\ J/m^۲$، افزایش طول ۱/۷٤ ٪، درجه روشنی ٪٤۲/٤٦، تعداد لک ۵۱ و سطح لک $۱/۰۰۸\ mm^۲$ اندازه‌گیری شد. درحالی که بیشترین مقدارها برای نمونه‌های تیمار شده به ترتیب ٤، $۵٤/۵۱\ J/m^۲$، ٪ ۲/۰۳، ٪ ٤۳/۹۱، ۱۵ و $۰/۲٤۵\ mm^۲$ به‌دست آمد. این پژوهش نشان داد که با توجه به محدودیت منابع چوبی در کشور از یک سو و پایین بودن سطح فناوری بازیافت در کشور از سوی دیگر، می‌توان از تیمار آنزیمی به‌عنوان یک فرایند جایگزین فرایندهای شیمیایی مخرب محیط زیست در صنایع بازیافت کاغذ استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: جوهرزدایی آنزیمی، کاغذ روزنامه باطله، سلولاز، لیپاز، ویژگی‌های نوری، مقاومت‌های مکانیکی.

KEY WORDS: *Enzymatic deinking, Old newspaper, Cellulase, Lipase, Optical properties, Mechanical strengths.*

مقدمه

در کشورهای پیشرفته، صنعت بازیافت و استفاده از فراورده‌های بازیافتی به عنوان شاخص توسعه یافتگی مطرح است. بازیافت پسماند به غیر از این که به حفظ منابع طبیعی و حفظ محیط زیست کمک می‌کند، از خروج ارز از مملکت برای وارد کردن فراورده‌های یک‌بار مصرف نیز جلوگیری می‌کند. از نظر زیست محیطی، بازیافت کاغذ موجب کاهش وابستگی و نیاز به کاغذهای بکر و در نتیجه کاهش قطع درختان و بالارفتن فرصت تجدید حیات عرصه‌های جنگلی عریان شده می‌شود [۱]. یکی از نتیجه‌های مصرف دوباره کاغذهای باطله، کاستن از فشار وارده بر طبیعت است. آمارها نشان می‌دهد

*عهده دار مکاتبات

+E-mail: nader.mayeli@postgrad.manchester.ac.uk

www.SID.ir

Archive of SID

که براي توليد هر تن كاغذ در كشور، ۱۵ اصله درخت تنومند قطع می‌شود (تخریب سالانه ۱۲۰ هزار هکتار جنگل). این در حالی است که با وجود روند رو به کاهش مساحت جنگل‌های شمال کشور همچنان مصرف کاغذ در ایران رو به افزایش است و این کاغذها بعد از هر بار مصرف بدون اینکه دوباره به چرخه تولید برگردند دور ریخته شده و از بین می‌روند. در بین انواع ضایعات و پسماندها، بازیافت مواد سلولزی و کاغذی به دلایل زیر جایگاه ویژه‌ای دارد:

۱ـ می‌توان فراورده‌هایی با ویژگی‌های مشابه محصول اولیه از کاغذ تولید کرد.

۲ـ انرژی مصرفی در بازیافت به مراتب کمتر از تولید الیاف سلولزی بکر است.

۳ـ بازیافت کاغذ باطله به حفظ جنگل‌های طبیعی کمک کرده و امکان استقرار واحدهای کاغذسازی در مناطق عاری از جنگل را فراهم می‌کند.

جوهرزدایی

پرهزینه ترین و مشکل‌ترین بخش بازیافت کاغذهای باطله حذف انواع مواد شیمیایی و جوهرها می‌باشد. جوهرزدایی، همان‌گونه که از نام آن پیداست، فرایند زدودن و خارج کردن جوهر از کاغذ باطله است [۱].کاغذ باطله و الیاف بازیافتی، باید محصولی با کیفیت مطلوب به دست آید و این فراورده از سفیدی، میزان براقی و خواص مقاومتی خوبی برخوردار باشد.

جوهرزدایی از کاغذ به‌طور عمده به چهار عامل بستگی دارد:

۱ـ نوع جوهر

۲ـ شرایط و تکنیک چاپ

۳ـ عمر چاپ

۴ـ سطح کاغذ

جوهرزدایی آنزیمی

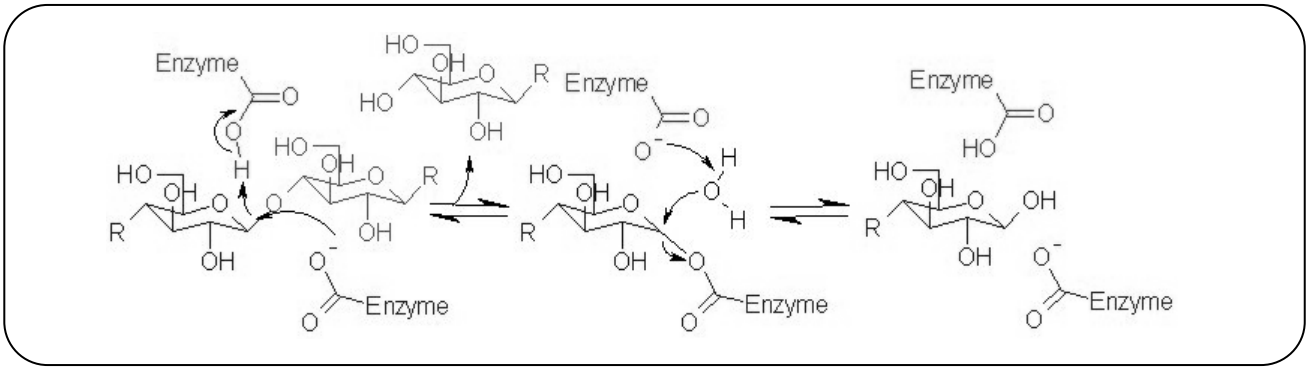
شیوه‌های رایج جوهرزدایی بسیار پرهزینه بوده و نیاز به مقدارهای زیادی مواد شیمیایی دارد که باعث افزایش آلودگی محیط زیست می‌شود و به علت مشکلاتی که پساب کارخانه تولید می‌کند و هم به لحاظ اقتصادی دارای مشکلات فراوانی است [۳، ۲]. از این رو کارخانه‌های بازیافت کاغذهای باطله به روش‌های دوست دار محیط زیست و کم هزینه تر روی آورده‌اند. به تازگی پژوهشگران برای حل این مشکل موفق به ارایه شیوه‌ای جدید برای پاکسازی کاغذهای مورد بازیافت به کمک عامل‌های زیستی شده‌اند. این شیوه که در آن از آنزیم‌های طبیعی استفاده می‌شود، به دلیل کارایی بالا و آلودگی کم مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۶ ـ ۴]. آنزیم‌ها، مواد شیمیایی پیچیده‌ای می‌باشند که در زمان‌های اخیر افزودن آنها به سامانه جوهرزدایی، موضوع مقاله‌های علمی بسیاری بوده و علاقه بسیاری از شرکت های بزرگ جوهرزدایی را بر انگیخته است. نتیجه استفاده از آنزیم ها در جوهرزدایی برابر با استفاده از مواد شیمیایی بوده و حتی می‌تواند باعث بهبود روند پاکسازی بدون وارد آمدن آسیب‌های فیزیکی به کاغذ شود. به گفته پژوهشگران این ماده می‌تواند جایگزین مناسبی برای مواد شیمیایی رایج مورداستفاده در این صنعت باشد [۹ ـ ۷].

مکانیسم تأثیر آنزیم بر الیاف فیبری

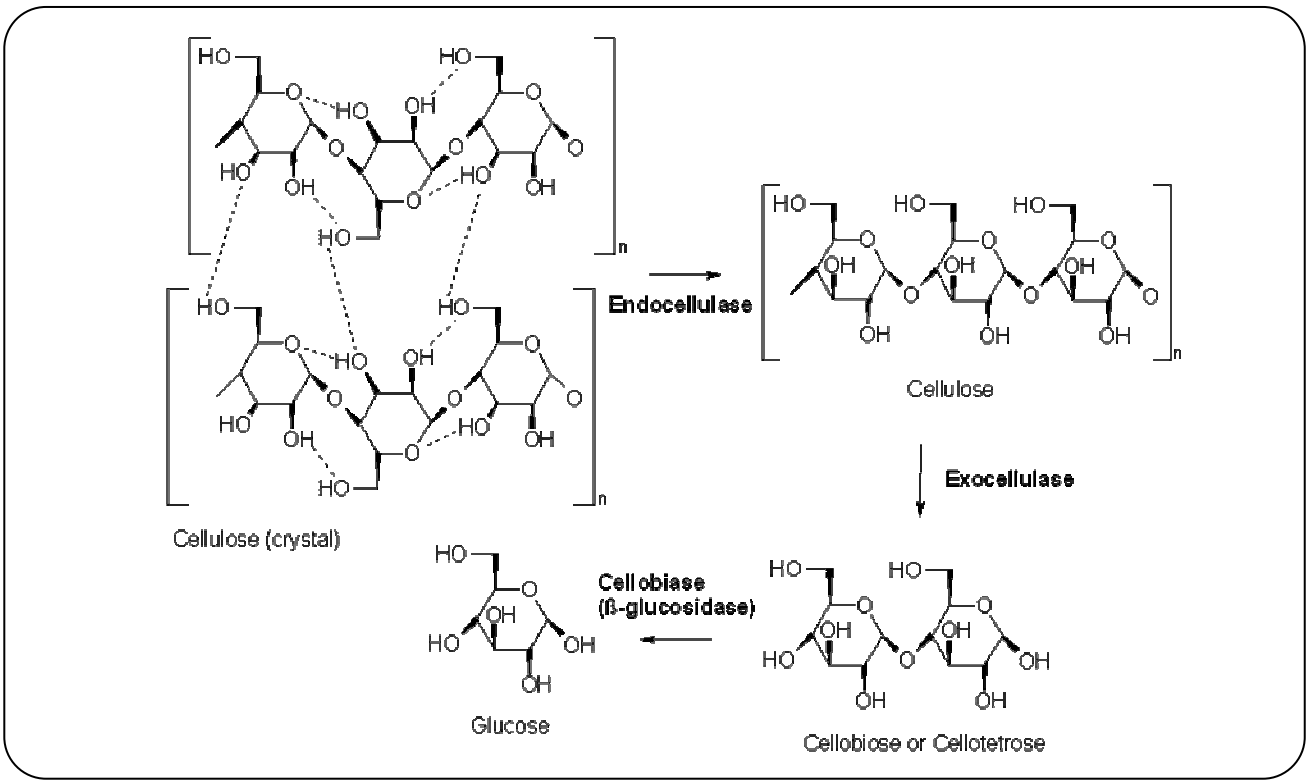
اتفاق کلی که در شکل ۱ نشان داده شده، شکسته شدن زنجیره پلیمری سلولز به واحدهای گلوکز می‌باشد. برای این شکسته شدن آنزیم سلولاز نقش اصلی را دارد، در عمل، شکسته شدن گونه‌ای هیدرولیز است یعنی شکسته شدن پیوند کربن ـ اکسیزن ـ کربن، طوری که یک مولکول آب در محل شکست قرار گرفته است. اول یک آنزیم فعال (به صورت یون) از روی اکسیژن به کربن پیوند اتری سلولز حمله کرده و برای کامل شدن شکست، یک آنزیم دیگر که غیرفعال بوده هیدروژن خودش را به اکسیژن پیوند اتری می‌دهد تا شکست کامل بشود. مشخصه‌ای که در ازای غیر فعال شدن آنزیم اول، یک آنزیم دیگر فعال شده است یعنی همان نقشی که به‌عنوان کاتالیست انتظار می‌رود. مقدار کاتالیست طی واکنش تغییر نمی‌کند. در مرحله بعد پیوند آنزیم و گلوکز به کمک یک آنزیم فعال و آب می‌شکند، آنزیم فعال به آب حمله کرده و یون هیدروکسید درست می‌کند، که این یون به کربن گلوکز حمله کرده و آنزیم را خارج کرده و دوباره فراورده یک آنزیم فعال و یک غیر فعال می‌باشد. شکل ۲ ساختار کریستالی سلولز را نشان می‌دهد که پر از پیوندهای هیدروژنی بین اکسیژن هاست. اگر این پیوندهای بین مولکولی که با خط چین نشان داده شده با کمک آنزیم آندوسلولاز از بین بروند، همان سلولز معمولی است که یک پلیمر می‌باشد، اگر این زنجیره پلیمری با آنزیم اگزو سلولاز بشکند و به صورت دیمر درآید به آن سلوبیوز و اگر مثل شکل با آنزیم بتاگلوکوزید به مونومر تبدیل شود به آن گلوکز گفته می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ـ جزییات مکانسیم تاثیر آنزیم بر سلولز.



شکل ۲ـ ساختار کریستالی سلولز و نحوه تاثیر آنزیم سلولاز.

سوابق پژوهش

– *H.pala* و همکـاران در سـال ۲۰۰۶ مـیلادی جـوهرزدایی از مخلوط کاغذ های باطله اداری را تحت تیمـار هـای آنزیمـی و تیمارهای شیمیایی مورد مطالعه قرار دادند تا میـزان اثـر آنـزیم را بر ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذهای سـاخته شـده مـورد بررسـی قرار دهند. نتیجه نشان داد که افزودن آنزیم سلولاز بـه خمیرسـاز، سبب افزایش مقاومت به پارگی، مقاومت به کشش و میـزان مقاومـت به ترکیدن کاغذهای ساخته شده از خمیر جوهرزدایی شـده مـی‌شـود. همچنین نتیجه‌های به دست آمده از آنالیز تصویری نمونه هـا نـشان داد که تعداد لک و سطح لک کاغذ های ساخته شده از خمیر جوهرزدایی شده آنزیمی نسبت به نمونه شاهد و نمونه کاغـذهای سـاخته شـده از خمیـر جوهرزدایی شده بدون استفاده از آنزیم، به مراتب کمتر بود [۲].

– *T.W.Jeffries* و همکاران در سال ۱۹۹۸ میلادی در پژوهشی با عنوان حذف تونرها از کاغذ های باطله اداری به‌وسیله آنزیم سلولاز، به بررسی ویژگی های اپتیکی و مکانیکی کاغذهای ساخته شده پرداختند. نتیجه‌ها نشان داد که تیمار آنزیمی

www.SID.ir

Archive of SID

سبب افزایش مقاومت به کشش، مقاومت به پارگی درونی و مقاومت به ترکیدن کاغذهای ساخته شده از خمیر جوهرزدایی شده می‌شود. همچنین در نمونه‌هایی که تیمار آنزیمی شدند، روشنی و درجه روانی افزایش یافت، اما طول الیاف تغییر محسوسی نداشت [۳].

- *M.A.Pelach* و همکاران در سال ۲۰۰۳ میلادی، جوهرزدایی آنزیمی کاغذهای باطله روزنامه را با آنزیم سلولاز مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که آنزیم سلولاز جداسازی و حذف ذرات جوهر از سطح الیاف را بهبود بخشیده و شاخص Eric در نمونه های تیمار شده با آنزیم نسبت به نمونه شاهد کمتر شده است [۴].

- *A.L.Morkbak* و همکاران در سال ۱۹۹۹ میلادی عنوان کردند که آنزیم لیپاز نقش قابل توجهی در حذف ذرات جوهر دارد. همچنین نتیجه‌ها نشان داد که بهترین pH برای فعالیت آنزیم لیپاز ۷/۵ و بهترین دما ۶۰ درجه سانتی گراد می‌باشد [۵].

- *M.Sykes* و همکاران در سال ۱۹۹۷ میلادی نشان دادند که حذف ذرات جوهر و مواد چسبناک با استفاده از آنزیم سلولاز و لیپاز یا در ترکیب با هم در pH خنثی افزایش می‌یابد. آن‌ها عنوان کردند که برای مخلوط کاغذ باطله اداری استفاده از تیمار آنزیمی و شرایط pH خنثی نسبت به شرایط سنتی در pH برابر ۱۰، حذف ذرات جوهر آسان تر است. همچنین نتیجه‌ها نشان داد که آنزیم‌ها جایگزین مناسبی برای برخی از مواد شیمیایی مرسوم مورد استفاده در فرایندهای خمیرسازی، رنگبری و جوهرزدایی هستند [۶].

بخش تجربی

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از مخلوط کاغذ روزنامه همشهری و ایران (که هر دو روزنامه به روش افست چاپ می‌شوند) استفاده شد. نمونه‌ها به ابعاد تقریبی ۲×۲ cm تهیه شدند. بعد از قرارگیری در شرایط آزمایشگاه و رسیدن به رطوبت تعادل، میزان رطوبت نمونه ها تعیین شد و عملیات خمیرسازی در درصد خشکی ۴٪ و در خمیرساز آزمایشگاهی با ظرفیت ۱ kg، به مدت ۲/۵ دقیقه با دور آهسته با تیغه‌های گرد (که به الیاف صدمه کمتری وارد شود) و تحت تأثیر دو تیمار آنزیمی سلولاز تنها و ترکیب سلولاز / لیپاز انجام شد. (آنزیم های مورد استفاده در این پژوهش ساخت شرکت Novo Nordisk می‌باشد).

جدول ۱ـ جدول مواد و شرایط خمیرسازی.

شرایط خمیرسازی	مقدار مصرف
آنزیم سلولاز	٪ ۰/۱
آنزیم لیپاز	٪ ۰/۱
درصد خشکی کاغذ روزنامه	۴
درجه حرارت (سانتی گراد)	۲۰
	۵۰
زمان (دقیقه)	۵/۲
وزن خشک نمونه (گرم)	۴۲

مقدار مصرف سلولاز و لیپاز، هرکدام ٪ ۰/۱ و بر اساس وزن خشک خمیرکاغذ با ترازوی دقیق (۰/۰۰۰۱) محاسبه شد. بعد از انجام عملیات خمیرسازی به منظور تأثیر تیمار آنزیمی، خمیرکاغذها به مدت ۳۰ دقیقه در دو دمای ۲۰ و ۵۰ درجه سانتیگراد نگاه‌داشته شدند. برای اعمال دمای ۵۰ درجه سانتیگراد از حمام آب گرم استفاده شد. جوهرزدایی نمونه ها به روش شستشو با آب شهری بر روی الک با مش ۱۲۰ و به مدت ۲ دقیقه انجام شد.

برای ساخت کاغذهای دست ساز با وزن پایه تقریبی ۷۰ گرم بر متر مربع از استاندارد (TAPPI) T 205 om-88 و دستگاه LabTech Semi Automatic Sheet Machine استفاده شد. سطح توری دستگاه cm^2 ۲۵۶ بوده و در نتیجه کاغذهایی با ابعاد cm ۱۶×۱۶ تهیه شد. پس از تهیه کاغذهای دست ساز و تعیین وزن پایه کاغذهای دست ساز ساخته شده، خواص نوری و مکانیکی کاغذهای دست ساز مورد اندازه گیری قرار گرفتند. برای اندازه گیری روشنی کاغذهای دست ساز ساخته شده از دستگاه(DataColor) spectro flash, sp 450 استفاده شد. درجه روشنی کاغذهای دست ساز در طول موج ۴۵۷ نانو متر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری شاخص لک بر روی کاغذهای دست‌ساز ساخته شده به منظور تخمین عددی تعداد لک و همچنین تعیین سطح لکه ها انجام گرفت. با استفاده از این روش، تعیین اندازه ظاهری ناحیه لک در ورقه کاغذ فراهم شد. در این آزمایش برای هر لکه به صورت جداگانه، بدون در نظر گرفتن اندازه و شکل یا رنگ آن‌ها، تعداد و مساحت آن‌ها اندازه‌گیری شد. ابتدا از یک طرف کاغذهای دست‌ساز (cm^2 ۲۵۶) اسکن گرفته شد و

www.SID.ir

Archive of SID

سپس سطحی معادل $1\ cm^2$ بر روی آن مشخص شده و تصویر کاغذها در دستگاه آنالیز تصویری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مساحت و تعداد لکه ها در واحد سطح مشخص شده، محاسبه گردید. نرم افزار Lecia Qween colour program برای آنالیز تصویری استفاده شد. برای اندازه‌گیری عامل جذب انرژی کششی (TEA) و افزایش طول کاغذهای دست ساز از دستگاه TMI ساخت هلند استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری مقاومت به تاخوردگی کاغذهای دست ساز ساخته شده از دستگاه M.I.T (TINIUS OLSEN) ساخت آمریکا استفاده شد.

روش تجزیه و تحلیل آماری

در این آزمایش از تجزیه واریانس یک‌طرفه داده ها و مقایسه میانگین ها در سطح ۵٪= α و آزمون دانکن استفاده شد.

نتیجه ها و بحث

الف) ویژگی های نوری

درجه روشنی[1] کاغذهای دست ساز

با توجه به شکل ۳ دیده می‌شود که تیمار آنزیمی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، به ویژه در تیمار آنزیمی با سلولاز تنها، سبب بهبود درجه روشنی کاغذهای دست ساز به دست آمده از خمیرکاغذهای تیمار شده نسبت به نمونه کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از خمیر شاهد شده است که آزمایش‌های *Pèlach, M* و همکاران در سال ۲۰۰۶ میلادی آن را تأیید می‌کند.

ذرات جوهر به‌وسیله اثر پوست کنی آنزیم از سطح الیاف جدا می‌شوند [۷، ۴] و در نتیجه روشنی کاغذهای دست‌ساز افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد در دمای بالا و در تیمار با آنزیم سلولاز، حذف ذره‌های جوهر به خوبی صورت گرفته است. همان‌طوری که در شکل دیده می‌شود، روشنی کاغذهای دست‌ساز در هر دو تیمار آنزیمی در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد نسبت به نمونه شاهد کاهش نشان می‌دهد.

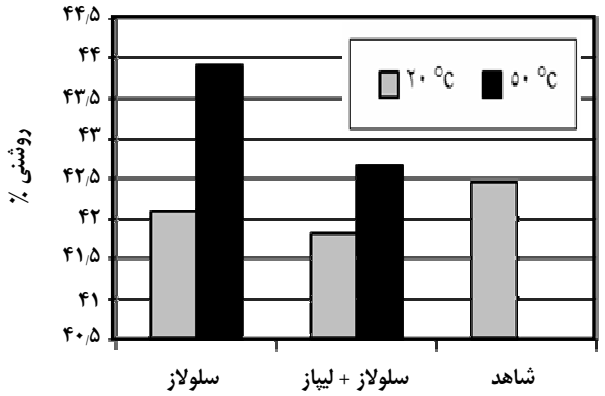
شاخص لک

تعداد لکه ها در کاغذهای دست ساز

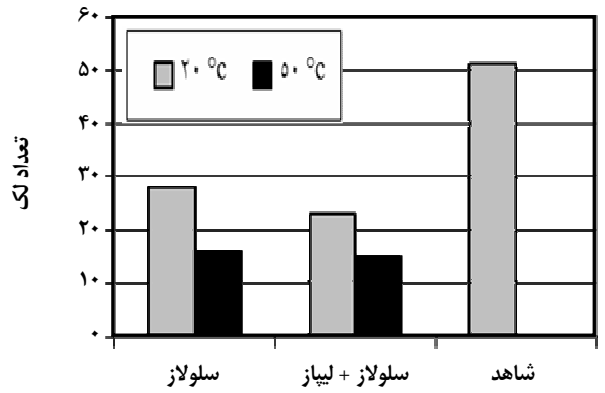
با توجه به شکل ۴ دیده می‌شود که تیمار آنزیمی سبب کاهش قابل توجه تعداد لکه ها در نمونه کاغذهای دست ساز تولید شده از خمیرهای به دست آمده از تیمار نسبت به نمونه خمیر شاهد شده است.

جدول ۲ـ استانداردهای اندازه گیری خواص نوری و مکانیکی کاغذهای دست ساز.

درجه روشنی	TAPPI, T ۴۵۲ om-۹۸
شاخص لک	TAPPI, T ۵۶۳ om-۹۷
مقاومت به تاه خوردگی	TAPPI, T ۵۱ om-۹۶
جذب انرژی کششی	TAPPI, T ۴۹۴ om-۹۶
افزایش طول	TAPPI, T ۴۹۴ om-۹۲



شکل ۳ـ تاثیر تیمار آنزیمی و دما بر درجه روشنی کاغذهای دست‌ساز.



شکل ۴ـ تاثیر تیمار آنزیمی و دما بر تعداد لکه‌های کاغذهای دست‌ساز.

سطح لکه ها در کاغذهای دست ساز

همان طوری که در شکل ۵ دیده می‌شود، تیمار آنزیمی سبب کاهش قابل توجه سطح لکه‌ها در کاغذهای دست ساز به دست آمده از خمیرهای آنزیمی نسبت به نمونه کاغذهای دست‌ساز به دست آمده از خمیر شاهد شده است که با نتیجه‌های *M. Sykes* و همکاران در سال ۱۹۹۷ میلادی همخوانی دارد. این کاهش سطح لکه‌ها شاید به این دلیل باشد که آنزیم

(۱) Brightness

www.SID.ir

Archive of SID

به سطح الیاف حمله کرده و با سست کردن اتصال‌های بین ذرات جوهر و الیاف [۶]، باعث حذف شدن بیشتر ذرات جوهر می‌شود.

همچنین همان طوری که در شکل دیده می‌شود تغییرهای دمایی، تأثیر محسوسی بر روی روند تغییرهای تعداد لکه‌های موجود در کاغذهای دست‌ساز دارد. به‌طوری که با افزایش دما از ۲۰ به ۵۰ درجه سانتی گراد، کاهش قابل ملاحظه ای در میزان سطح لکه‌های باقی مانده در کاغذهای دست ساز دیده می‌شود.

ب) ویژگی های مکانیکی

مقاومت به تا خوردگی

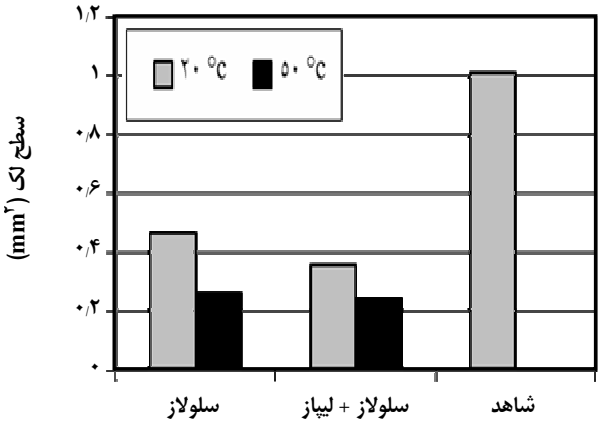
با توجه به شکل ۶ دیده می‌شود که تیمار آنزیمی سبب بهبود مقاومت به تا خوردگی کاغذهای دست ساز به دست آمده از خمیرهای تیمار شده نسبت به کاغذهای دست ساز به دست آمده از نمونه خمیر شاهد شده است.

بالاترین مقدار مقاومت به تا خوردگی در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد و در نمونه خمیرهای تیمار شده با آنزیم سلولاز دیده می‌شود. از علت‌های افزایش این مقاومت می‌توان به این نکته اشاره کرد که آنزیم بر فیبریلاسیون الیاف خمیر کاغذ اثر گذاشته و باعث بهبود پیوندهای بین فیبری شده است [۱۱]. همچنین با توجه به شکل ۶ ملاحظه می‌شود که روند تغییرهای دمایی بر مقاومت به تا خوردگی خمیرهای تیمار شده یکسان نیست. بدین‌صورت که در تیمار با آنزیم سلولاز افزایش دما سبب بهبود این مقاومت شده است. ولی در تیمار آنزیمی سلولاز/ لیپاز، با افزایش دما از مقاومت به تا خوردگی کاغذهای دست ساز کاسته می‌شود.

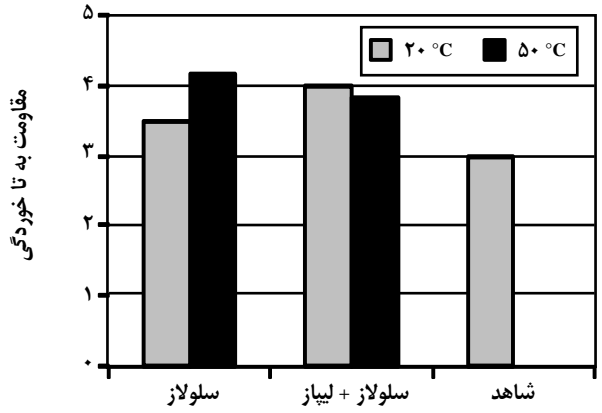
جذب انرژی کششی

با توجه به شکل ۷ دیده می‌شود که تیمار آنزیمی سبب افزایش جذب انرژی کششی کاغذهای دست ساز به دست آمده از نمونه خمیرهای تیمار شده نسبت به کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از نمونه خمیر شاهد شده است.

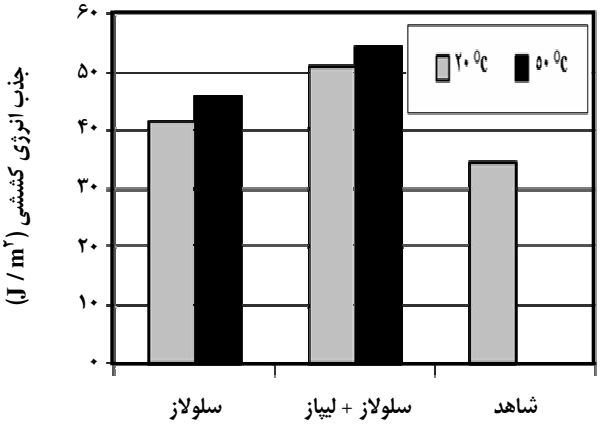
به نظر می‌رسد تیمار آنزیمی سبب بهبود پیوندهای بین فیبری در خمیرهای تیمار شده می‌شود [۱۲، ۵] و همین امر سبب افزایش جذب انرژی کششی در نمونه کاغذهای دست‌ساز به دست آمده از خمیرهای آنزیمی شده است. همان‌طوری که در شکل دیده می‌شود تغییرهای دمایی تأثیر یکسانی بر روی روند تغییرهای جذب انرژی کششی کاغذهای دست‌ساز دارد. به طوری که با افزایش دما، جذب انرژی کششی کاغذهای دست‌ساز در هر دو تیمار آنزیمی افزایش نشان می‌دهد.



شکل ۵ ـ تأثیر تیمار آنزیمی و دما بر سطح لکه‌های کاغذهای دست‌ساز.



شکل ۶ ـ تأثیر تیمار آنزیمی و دما بر مقاومت به تاه خوردگی کاغذهای دست ساز.



شکل ۷ ـ تأثیر تیمار آنزیمی و دما بر جذب انرژی کششی کاغذهای دست ساز.

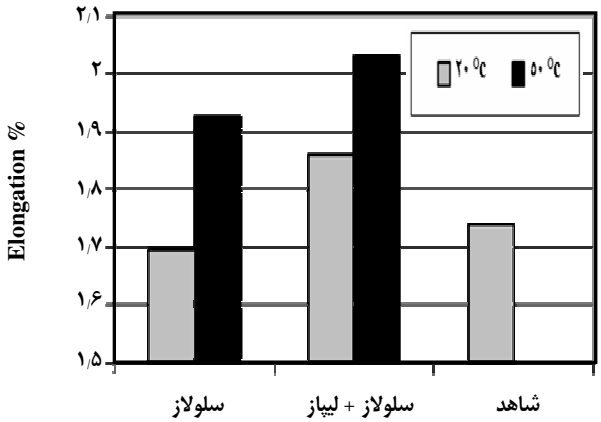
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳ـ جدول تجزیه واریانس ویژگی‌های نوری کاغذهای دست‌ساز.

منبع تغییرها		مجموع مربع‌ها	درجه آزادی	میانگین مربع‌ها	F	سطح معنی داری
درجه روشنی	بین گروهی	۱/۲۲۸	۲	۰/۶۱۴	۱/۰۶۲	۰/۳۷۱
.	درون گروهی	۸/۶۷۷	۱۵	۰/۵۷۸		
.	کل	۹/۹۰۵	۱۷			
تعداد لکه ها	بین گروهی	۲۷۰۰/۴۴۴	۲	۱۳۵۰/۲۲۲	۱۰/۲۳۹	۰/۰۰۲
.	درون گروهی	۱۹۷۸/۰۰۰	۱۵	۱۳۱/۸۶۷		
.	کل	۴۶۷۸/۴۴۴	۱۷			
سطح لکه ها	بین گروهی	۱/۴۵۶	۲	۰/۷۲۸	۱۲/۴۸۷	۰/۰۰۱
.	درون گروهی	۰/۸۷۴	۱۵	۰/۰۵۸		
.	کل	۲/۳۳۰	۱۷			

* *بین گروهی: تیمار انجام شده* ، * *درون گروهی: خطا (واریانس درون نمونه ای)*



شکل ۸ ـ تأثیر تیمار آنزیمی و دما بر افزایش طول کاغذهای دست‌ساز

افزایش طول کاغذ

با توجه به شکل ۸ دیده می‌شود تیمار آنزیمی به غیر از تیمار با سلولاز در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد، سبب بهبود افزایش طول در نمونه کاغذهای دست ساز به دست آمده از خمیرهای آنزیمی نسبت به نمونه کاغذهای دست ساز به دست آمده از خمیر شاهد شده است. که با آزمایش‌های *Pala, H* و همکاران در سال ۲۰۰۶ میلادی همخوانی دارد. علت آن را باید در تأثیر آنزیم بر جوهرزدایی خمیر کاغذها دانست. به نظر می‌رسد تیمار آنزیمی به بهبود پیوندهای بین فیبری در خمیرهای تیمار شده کمک کرده [۱] و همین امر سبب بهبود افزایش طول در نمونه کاغذهای دست‌ساز به دست آمده از خمیرهای آنزیمی شده است. همچنین اثر افزایش دما در تغییرهای افزایش طول کاغذهای دست ساز بسیار مشهود است، به طوری که با افزایش دما این عامل، افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد.

بررسی نتایج آماری

ویژگی های نوری

همان‌طوری که در جدول ۳ نشان داده شده است، به غیر از درجه روشنی، تغییرهای تعداد لکه‌ها و سطح لکه‌های کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از خمیر شاهد و خمیرهای آنزیمی معنی‌دار است.

همچنین، همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، به غیر از مقاومت به تاخوردگی، تغییرهای جذب انرژی کششی و افزایش طول کاغذهای دست ساز ساخته شده از خمیر شاهد و خمیرهای آنزیمی معنی‌دار است.

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های نوری

براساس پژوهش انجام شده، روشنی کاغذهای دست‌ساز با تیمارهای آنزیمی و در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد نسبت به نمونه شاهد افزایش نشان می‌دهد. ذرات جوهر به‌وسیله اثر پوست‌کنی آنزیم از سطح الیاف جدا می‌شوند [۶-۳] و در نتیجه روشنی کاغذهای دست‌ساز افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد در دمای بالا و در تیمار با آنزیم سلولاز، حذف ذرات جوهر به خوبی صورت گرفته است. همچنین روشنی کاغذهای دست ساز در هر دو تیمار آنزیمی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه شاهد کاهش نشان‌می‌دهد. از علت‌های این امر می‌توان به افزایش لکه های ریز جوهر در خمیرکاغذ اشاره کرد که سبب تیرگی بیشتر کاغذهای دست ساز شده است. در این پژوهش تعداد و سطح لکه های کاغذهای ساخته شده در مقایسه با نمونه شاهد کاهش قابل ملاحظه‌ای

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴ـ تجزیه واریانس ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای دست‌ساز.

منبع تغییرها		مجموع مربع‌ها	درجه آزادی	میانگین مربع‌ها	F	سطح معنی داری
مقاومت به تاخوردگی	بین گروهی	۱٫۴۴۴۴	۲	۰٫۷۲۲	۱٫۵۸۵	۰٫۲۳۷
	درون گروهی	۶٫۸۳۳	۱۵	۰٫۴۵۶		
	کل	۸٫۲۷۸	۱۷			
جذب انرژی کششی	بین گروهی	۸۰۹٫۶۹۶	۲	۴۰۴٫۸۴۸	۲۰٫۹۳۱	۰٫۰۰۰
	درون گروهی	۲۹۰٫۱۳۳	۱۵	۱۹٫۳۴۲		
	کل	۱۰۹۹٫۸۲۹	۱۷			
افزایش طول	بین گروهی	۰٫۰۸۷	۲	۰٫۰۴۳	۷٫۲۸۷	۰٫۰۰۶
	درون گروهی	۰٫۰۸۹	۱۵	۰٫۰۰۶		
	کل	۰٫۱۷۶	۱۷			

* بین گروهی: تیمار انجام شده ، * درون گروهی: خطا (واریانس درون نمونه ای)

نشان می‌دهد. از علت‌های کاهش تعداد لک در کاغذهای دست‌ساز می‌توان به این نکته اشاره کرد که آنزیم ها باعث جدا شدن ذره‌های جوهر از سطح الیاف شده و همچنین موجب می‌شوند که ذره‌های جوهرهای چاپ به اندازه‌های کوچکتری شکسته شوند که در نتیجه در جوهرزدایی، آسان‌تر حذف می‌شوند [۱۳]. کاهش سطح لکه‌ها شاید به این دلیل باشد که تیمار آنزیمی با سست کردن اتصال‌های بین ذرات جوهر و الیاف، باعث حذف شدن بیشتر ذرات جوهر می‌شود. *Jeffries* از آزمایشگاه فراورده‌های جنگلی (FPL) آمریکا در سال ۱۹۹۸ میلادی طی پژوهشی اشاره می‌کند که تیمار خمیر کاغذ با آنزیم‌هایی مانند سلولازها، همی سلولازها منجر به تولید خمیر روشن‌تر و با کیفیت بالاتر خواهد شد. او پیشنهاد می‌کند که برای جوهرزدایی کاغذهای روزنامه، آنزیم سلولاز بهتر است و لیپازهای قلیایی حذف ذرات جوهرهای چاپ افست لیپیدی را آسان‌تر می‌کنند. همچنین وی متذکر شد که اگر آنزیم‌های زایلاناز و سلولاز برای کاغذهای چاپ زیراکس استفاده شوند، تونرها آزاد شده و مرحله‌های شستشو و جوهرزدایی آسان‌تر می‌شوند. همچنین تغییرهای دمایی، بر روی روند تغییرهای تعداد لکه‌ها و سطح لکه‌های موجود در کاغذهای دست‌ساز تأثیر می‌گذارند. به‌طوری که با افزایش دما، کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان تعداد و سطح لکه‌های کاغذهای دست‌ساز دیده می‌شود [۱۰]. از علت‌های این کاهش در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم و در نتیجه حذف بیشتر ذرات جوهر در مرحله شستشوی خمیر اشاره کرد.

ویژگی‌های مقاومتی

با توجه به نتیجه‌های به‌دست آمده، مقاومت به تا خوردگی کاغذهای دست‌ساز به دست آمده از خمیرهای تیمار شده نسبت به نمونه شاهد افزایش نشان می‌دهد و اختلاف آن‌ها در سطح ۵٪ معنی‌دار است. از علل افزایش این مقاومت می‌توان به این نکته اشاره کرد که تیمار آنزیمی بر فیبریلاسیون الیاف خمیر کاغذ اثر گذاشته و باعث بهبود پیوندهای بین فیبری شده است. *Heise* و *همکاران* در سال ۱۹۹۷ میلادی، طی پژوهشی بیان کردند که اثر تیمار آنزیمی بر روی ویژگی‌های مکانیکی معنی‌دار است و میزان مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن و درجه روانی خمیرکاغذ نمونه‌های تیمار شده با آنزیم نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است و از مقاومت به کشش کاغذها کاسته شده است. براساس نتیجه‌های به‌دست آمده در این پژوهش، جذب انرژی کششی کاغذهای دست‌ساز به دست آمده از خمیرهای تیمار شده نسبت به نمونه شاهد افزایش نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد تیمار آنزیمی سبب بهبود پیوندهای بین فیبری در خمیرکاغذها شده و همین امر سبب فزونی جذب انرژی کششی در نمونه کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از خمیرهای آنزیمی شده است. همچنین افزون بر تأثیر آنزیم سلولاز بر فیبریلاسیون الیاف خمیر کاغذ و بهبود اتصال‌های بین فیبری، که منجر به افزایش جذب انرژی کششی کاغذها شده است، آنزیم لیپاز نیز در افزایش میزان جذب انرژی کششی کاغذهای دست‌ساز نقش مؤثری داشته است. به عبارت دیگر آنزیم لیپاز می‌تواند به‌عنوان عاملی در حذف عوامل آبگریز

www.SID.ir

Archive of SID

(جوهر با پایه روغن و خاکستر) در خمیر کاغذ عمل نموده باشد و در نتیجه انتظار می‌رود با حذف عامل‌های آبگریز، امکان اتصال بخش‌های گوناگون دیواره فیبری با یکدیگر بیشتر شده باشد. *Bajpai* در سال ۱۹۹۹ میلادی طی پژوهشی عنوان کرد که آنزیم لیپاز نقش مهمی در حذف بیشتر ذرات غیر فیبری دارد. همچنین، افزایش طول کاغذهای ساخته شده از خمیرهای تیمار شده نسبت به نمونه شاهد بهبود می‌یابد [۱۴]. تیمار آنزیمی به بهبود پیوندهای بین فیبری در خمیرهای تیمار شده کمک می‌کند (*Pèlach* و همکاران ۲۰۰۶ میلادی) [۴] و همین امر سبب بهبود افزایش طول در نمونه کاغذهای دست ساز به دست آمده از خمیرهای آنزیمی شده است. همچنین اثر افزایش دما در تغییرهای میزان افزایش طول کاغذهای دست ساز بسیار دیده است، به طوری که با افزایش دما این پارامتر افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. از علت‌های این امر می‌توان به این نکته اشاره کرد که با افزایش دما، واکنش و فعالیت آنزیم‌ها افزایش یافته و به همین دلیل اثر تیمار آنزیمی بر روی اتصال‌های بین الیاف بیشتر شده است.

به طور کلی این پژوهش کاری نو در صنایع کاغذسازی کشور محسوب می‌شود و بیان کنندهٔ تأثیر مثبت تیمار آنزیمی بر روی ویژگی‌های نوری و مقاومتهای مکانیکی کاغذهای دست‌ساز تهیه شده از خمیر جوهرزدایی شده کاغذ روزنامه باطله می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۵/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۶/۸

مراجع

[۱] مایلی، نادر؛ طلایی پور، محمد؛ جوهرزدایی آنزیمی مخلوط کاغذ باطله اداری در محیط خنثی، نخستین همایش ملی فن آوری های نوین در صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، (۱۳۸۹).

[2] Pala H., Mota M., Gama F.M., Factors Influencing MOW Deinking: Laboratory Scale Studies, *Enzyme Microb Technol J*, **38**, p. 81 (2006).

[3] Jeffries T., Sykes M., Rutledge-Cropsey K., Klungness J., Abubakr S., Enhanced Removal of Toners from Office Waste Papers by Microbial Cellulases, "Proceedings of the 6th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry", Advanced in Applied and Fundamental Research (1998).

[4] Pèlach M., Pastor F., Puig J., Vilaseca F., Mutjè, P., Enzymic Deinking of Old Newspapers with Cellulose, *Process Biochem J,* **38**, p. 1063 (2006).

[5] Mørkbak A., Degn P., Zimmermann W., Deinking of Soy Bean Oil Based Ink Printed Paper with Lipases and a Neutral Surfactant, *Biotechnol J*., **67**, p. 229 (1999).

[6] Sykes M., Klungness J., Tan F., Abubakr S., Enzymatic Removal of Stickie Contaminants, "TAPPI Pulping Conference Proceedings", p. 687 (1997).

[7] Rutledge-Cropsey K., Klungness J., Abubakr S., Performance of Enzymatically Deinked Recovered Paper on Paper Machine Runnability, *Tappi J*, **81**(2), p. 148 (1998).

[8] Sykes M., Tan F., "Enzymatic Removal of Stickie Contaminants", TAPPI Pulping Conference Proceedings, p. 687 (1997).

[9] Sykes M., Klungness J., Abubakr S., Tan F., Upgrading Recovered Ppaper with Enzyme Pretreatment and Pressurized Peroxide Bleaching, *Prog Paper Recycl* , p. 39 (1996).

[10] Jeffries TW., Sykes M., Rutledge-Cropsey K., Klungness J., Abubakr S., Enhanced Removal of Toners from Office Waste Papers by Microbial Cellulases, "In: Sixth International Conference on Biotech, Pulp and Paper Industry", p. 141 (1995).

www.SID.ir

Archive of SID

[11] Pala H., Mota M., Gama F., Enzymatic Versus Chemical Deinking of Non-Impact Ink Printed Paper, *Biotechnol J*, **108**(1), p. 79 (2004).

[12] Kim T., Ow S., Eom T., Enzymatic Deinking Method of Wastepaper, "In: TAPPI Pulping Conference Proceedings", p. 1023 (1991).

[۱۳] مایلی، نادر؛ تاثیر HLB و دما بر جوهرزدایی آنزیمی کاغذ روزنامه، مجله و باطله اداری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، (۱۳۸۸).

[14] Bajpai P., Application of Enzymes in the Pulp and Paper industry, *Biotechnol. Prog*, **15**, p. 147 (1999).

www.SID.ir