تأثیر آنزیم سلولاز بر ویژگی‌های کاغذ حاصل از خمیرکاغذ جوهرزدایی شده

زهرا عفراتی[1]، محمد طلائی پور[2]، علیرضا خاکی فیروز[3]، بهزاد بازیار[4]

چکیده

در این تحقیق، خمیر جوهرزدایی‌شده از کارخانه لطیف و به‌طور کاملا تصادفی تهیه شد. خمیر تهیه‌شده با آنزیم سلولاز تیمار شد. تأثیر تیمار آنزیمی بر درجه‌روانی خمیر جوهرزدایی‌شده و ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز به‌خصوص مقاومت‌به کشش، مقاومت‌به ترکیدن، مقاومت‌به پارگی و مقاومت‌به تاخوردگی بررسی گردید. متغیرهای تیمار آنزیمی عبارت بودند از: مقدار آنزیم (0/1%و0/3%، بر اساس وزن خشک خمیر) و زمان تیمار آنزیمی (60،30و120 دقیقه). در این تیمارها، دمای تیمار آنزیمی 30 درجه سانتی‌گراد تنظیم شد، pH=5 و درصد خشکی خمیرکاغذ، 3 درصد ثابت نگه‌داشته شد. نتایج حاصل‌از تحقیق نشان‌داد که تیمارهای آنزیمی سبب بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده از خمیر تیمارشده می‌شود. به‌علاوه، بیشترین مقاومت‌ها در نمونه خمیرهای تحت تاثیر تیمار آنزیمی با شرایط 3 /0 درصد آنزیم و مدت60 دقیقه مشاهده شد. کمترین مقدار درجه‌روانی (°RS) در نمونه خمیرهای تحت تاثیر تیمار آنزیمی با شرایط 0/3 درصد آنزیم و مدت 120 دقیقه بود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، سلولاز، الیاف بازیافتی، خواص مقاومتی کاغذ، درجه‌روانی

1- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران
Z-efrati@ Yahoo. Com

2- استادیار و عضو هیات علمی گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

3- مربی و عضو هیات علمی گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهرشهر، کرج

4- استادیار و عضو هیات علمی گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه و هدف

آنزیم‌ها کاتالیزور واکنش‌های بیوشیمیایی هستند به‌طوری‌که مقادیر جزیی آنزیم برای کاتالیزواکنش بیوشیمیایی در سطح وسیع کافی است، به‌نحوی‌که یک مولکول قادر است تا چندین میلیون مولکول را طی زمانی کوتاه به محصول مربوطه تبدیل کند. به‌عبارت دیگر اگر آنزیم‌ها وجود نداشت، واکنش‌ها بسیار آرام انجام می‌شد. آنزیم‌ها منحصربه‌فرد هستند، به‌این معنی- که هر یک از آنزیم‌ها، عملکرد خاص و منحصر به فردی را انجام می‌دهند [8]. تحقیقات برروی آنزیم‌های سلولاز از سال 1950انجام گرفته‌است. تمایل‌به استفاده از این آنزیم درطی سه دهه اخیر به‌شدت افزایش یافته‌است. در بسیاری از کاربردهای صنعتی اعم از صنایع‌غذایی، تولید غذای حیوانات، فرآیندهای تولید خمیروکاغذ و نساجی از سلولاز و همی‌سلولاز استفاده می‌شود. همچنین بسیاری از فرآیندهای بیوتکنولوژی در صنعت خمیر و کاغذ، مورد استفاده قرار می- گیرند. از سال 1970، استفاده از آنزیم به‌منظور خمیرسازی بیومکانیکی، بهبود ویژگی‌های الیاف، جوهرزدایی و بهبود آبگیری، مرسوم گردید [3]. درطی چند دهه اخیر مصرف کاغذ در سرتاسر دنیا افزایش یافته‌است. به‌دلیل اهمیت مصرف کاغذ در پی‌آمدهای محیطی و اقتصادی، بازیافت و مصرف الیاف ثانویه اهمیت زیادی پیدا کرد. یکی از اهداف بازیافت کاغذ، جوهرزدایی و زدایش سایر آلاینده‌ها (مانند ذرات چسبنده[1]) ضمن حفظ خواص نوری و مقاومتی الیاف می- باشد. از آنزیم‌ها می‌توان به‌منظور افزایش میزان آبگیری از خمیرکاغذ، تسهیل زدایش آلاینده‌ها و افزایش قدرت پیوند الیاف بازیافتی استفاده کرد [10]. مقاومت‌به آبگیری الیاف بازیافتی بر تشکیل ورقه‌کاغذ اثر نامطلوب داشته، سرعت تولید ماشین کاغذسازی را کاهش و انرژی لازم برای خشک‌کردن کاغذ را افزایش می‌دهد. استفاده از آنزیم‌ها، جداسازی الیاف از جوهر و سایر آلاینده‌ها، در مراحل شستشو و شناورسازی را تسهیل نموده و درنتیجه زدایش جوهر و سایر آلاینده‌ها را بهبود می‌بخشد[1]. آنزیم سلولاز براساس طریقه عملکردش به سه‌دسته تقسیم می‌شود: 1-اندوگلوکانازها[2]، 2-اگزوگلوکانازها[3]، 3-β-D-گلوکوسیداز. استفاده مناسب از آنزیم اندوگلوکاناز می‌تواند میزان آبگیری الیاف بازیافتی را در مقایسه با افزودن پلیمرها، بیشتر افزایش دهد. افزودن آنزیم بعد از پالایش، درجه- روانی[4] خمیر را افزایش می‌دهد و درنتیجه سرعت آبگیری و ماشین کاغذسازی افزایش می‌یابد. پالایش به‌کمک تیمار آنزیمی می‌تواند موجب شکل‌گیری بهتر کاغذ، افزایش خواص- مقاومتی و در مجموع استفاده بیشتر از الیاف بازیافتی شود. لازم‌به‌ذکر است که طبق تحقیقات انجام‌شده، استفاده از تیمار آنزیمی با مقدار کم آنزیم توصیه می‌گردد، چرا که اندوگلوکاناز به بخش بی‌شکل سلولز حمله نموده و باعث کاهش سریع مقاومت الیاف می‌شود [1]. به‌کاربردن

[1] Sticky contaminant

[2] Endoglucanases
[3] Exoglucanases
[4] Freeness

Archive of SID
www.SID.ir

سلولاز و همی‌سلولاز به‌جای مواد شیمیایی، قابلیت آبگیری را بهبود بخشیده و درعین‌حال یک روش دوست‌دار محیط زیست می‌باشد. یکی از نتایج اظهارشده آن‌است‌که سلولاز باعث خروج ذرات‌نرمه از خمیرکاغذ می‌شود. همچنین مشخص شده‌است که سطح الیاف در اثر هیدرولیز آنزیمی لایه‌های سطحی، فیبریله می‌گردد [7]. جکسون[1] (1993) و ورما[2] و همکارانش (2009) بیان کردند که آنزیم سلولاز با هیدرولیز ذرات نرمه منجربه کاهش حجم ذرات‌نرمه و میکروفیبریل شده و قابلیت آبگیری از خمیر کاغذ افزایش می‌یابد. همچنین بیان شده‌است که سطح الیاف در اثر هیدرولیز آنزیمی لایه‌های سطحی، فیبریله می‌شوند. علاوه‌براین فعالیت زیاد آنزیم سلولاز، منجربه هیدرولیز بیش ازاندازه‌ای در الیاف سلولزی و منجربه کاهش ویژگی‌های مقاومتی فرآورده می‌گردد. همچنین دی‌انز[3] و همکارانش (2004) به این نتیجه رسیدند که آنزیم سلولاز، آبگیری از الیاف سلولزی بازیافتی را 18 تا 20درصد افزایش داده و سرعت آبگیری از این الیاف را افزایش می‌دهد. جوکینن[4] و همکارانش(1991) بیان کردند که آنزیم سلولاز موجب افزایش فیبریلاسیون الیاف سلولزی می‌گردد همچنین جفریز[5] و همکارانش (2001) و گاما[6] و همکارانش (2006) نیز به این‌نتیجه رسیدند که آنزیم سلولاز موجب افزایش فیبریلاسیون الیاف سلولزی و اتصالات بین الیاف شده و موجب افزایش ویژگی‌های مقاومتی کاغذ می‌گردد. اگرچه مکانیسم هیدرولیز آنزیمی الیاف سلولزی به‌طور وسیعی مطالعه شده ولی هنوز به‌طور واضح شناخته نشده‌است [7].

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر آنزیم سلولاز بر خواص‌مکانیکی کاغذ ساخته‌شده از خمیر جوهرزدایی‌شده و درجه‌روانی این خمیر بوده‌است. علاوه‌براین، تعیین بهینه‌ترین نوع تیمارآنزیمی، از اهداف دیگر تحقیق بود.

1ـ مواد و روش‌ها

۱ـ۱ـ خمیر بازیافتی جوهرزدایی شده

نمونه‌برداری از خط بازیافت کارخانه لطیف پس‌از مراحل جوهرزدایی انجام گرفت. الیاف اولیه خمیرشامل 50 درصد الیاف کاغذهای اداری مثل کاغذهای بایگانی و کتاب و 50 درصد پوشال مثل ضایعات صحافی (بدون جوهر)، بود.

۱ـ۲ـ آنزیم

آنزیم مورد استفاده در این تحقیق آنزیم سلولاز (**Endo1،4-βCellulase**) به‌دست آمده‌از قارچ تریکو درما ویرید[7] بود. این آنزیم به‌صورت پودرسفید مایل‌به زرد توسط شرکت مرک[8] آلمان تولید و ارایه شده‌است. طبق دستورالعمل شرکت سازنده، در جدول1 شرایط‌بهینه مصرف آنزیم سلولاز آورده شده‌است.

[1] Jackson
[2] Verma
[3] Dienes
[4] Jokinen
[5] Jeffries
[6] Gama

[7] -Trichoderma viride
[8] -Merck

Archive of SID
www.SID.ir

جدول1- شرایط بهینه عملکرد آنزیم[14]

فعالیت آنزیم	mg/U1
فعالیت آنزیمpH دامنه	3/5-5
بهینه (حداکثر فعالیت)pH	4/8_5
دمای بهینه فعالیت آنزیم	30_50°C
بهینه‌ترین دمای فعالیت آنزیم (حداکثر فعالیت)	37°C
زمان بهینه فعالیت آنزیم	30-120min

۱-۳- سنجش آنزیم

برای سنجش آنزیم سلولاز، 10 میلی‌لیتر از محلول رقیق آنزیم در آب مقطر با 100میلی‌لیتر از محلول 3 درصد گلوکز به‌همراه محلول CMC و محلول 0/2 مولار بافر سیترات در pH برابر 6/5 در داخل 5 لوله آزمایشی قرار داده‌شد و محلول ذکرشده منهای آنزیم و محلول CMC، در 5 لوله آزمایشی دیگر به‌عنوان لوله‌های استاندارد قرارگرفت. سپس محلول‌ها هم‌زده شده و به‌مدت 30 دقیقه در دمای 50 درجه سانتی‌گراد آمیخته شدند و بعد به‌مدت 10 دقیقه در دمای 100 درجه سانتی‌گراد قرار داده‌شدند. در مرحله بعد 1/5 میلی‌لیتر محلول DNS به همه لوله‌ها اضافه شده و هم‌زده شد و به‌مدت 15دقیقه در دمای-100درجه سانتی‌گراد قرارگرفت. سپس لوله‌ها به‌مدت 5 دقیقه در آب سرد گذاشته‌شده و بعد به هریک از لوله‌ها 8 میلی‌لیتر آب اضافه و هم‌زده شد و بعد از گذشت20 دقیقه، با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر، جذب لوله‌های استاندارد و لوله‌های آزمون خوانده شد. سپس با استفاده از معادله 1 فعالیت آنزیمی به‌دست آورده شد.

معادله(1):

$$\text{Cellulase activity (IU)}=[\,1/k\times (A_X - A_O)\times F\,]\div(S\times 30\times m)$$

$[1/k\times (A_X - A_O)]$: غلظت گلوکز (میکرومول بر میلی‌لیتر) تولیدشده در هر لوله سنجش که با استفاده از معادله‌رگرسیون به‌دست آمده‌است.

F: حجم نهایی هر یک از لوله‌ها که برابر 10/5 است.

S: حجم محلول آنزیمی استفاده شده که برابر 0/1 میلی‌لیتر می‌باشد.

m: وزن(گرم) پروتئین حقیقی(مخلوط پروتئینی که آنزیم سلولاز نیز جزو آن است) حاصل از 0/1 میلی-لیتر مایع کشت.

30: زمان واکنش بر حسب دقیقه.

با استفاده از این معادله و نمودار (3_1)، فعالیت آنزیم به‌دست آمده و مقدار آن .1**U**\mgr بود.

۱-٤- بافر استات

برای تهیه محلول بافر استات، محلول 1 مولار از اسید استیک و استات سدیم تهیه شد سپس به-ترتیب به‌نسبت 6**ml**به 4**ml**، این دو محلول با هم ترکیب شدند تا pH،4/8 تا 5 در محلول امولاربافر استات، حاصل و تنظیم شود.

۱_۵_ تیمارهای آنزیمی

عملیات تیمارآنزیمی خمیر، برای تمامی نمونه کاغذها در درصد خشکی 3 درصد، pH=5 و در دمای30 درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. در ادامه آنزیم سلولاز به‌مقادیر 0/1 درصد و 0/3 درصد براساس وزن‌خشک خمیر (به‌ترتیب معادل 22**U** و 66U) به خمیر کاغذ اضافه شد. برای ثابت نگه‌داشتن pH از بافر استات 1مولار با pH=5 استفاده شد. برای اعمال دمای 30 درجه سانتی-گراد از حمام بن‌ماری استفاده شد. به‌منظور تأثیر تیمارهای‌آنزیمی، خمیرکاغذها به‌مدت 30، 60 و120 دقیقه در حمام بن‌ماری نگه‌داشته شدند. تیمارهای آنزیمی برطبق جدول2 طراحی شدند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 2ـ طرح انجام تیمارها

نام تیمار	دما(°C)	مقدار مصرف آنزیم		زمان(دقیقه)
		IU	(٪)	
A	30	22U	0/1	30
B	30	22U	0/1	60
C	30	22U	0/1	120
D	30	66U	0/3	30
E	30	66U	0/3	60
F	30	66U	0/3	120

برای انجام تیمارهای آنزیمی از بشرهای 1000 میلی‌لیتری به‌همراه درپوش آلومینیومی به‌عنوان محفظه تیمار استفاده شد. ابتدا نمونه خمیر به‌میزان محاسبه‌شده (محاسبات براساس درصدخشکی خمیرکاغذ و گرماژ موردنظر برای هر کاغذ ($60\mathbf{gr/m^2}$)) برای هر تیمار توزین و در داخل بشر مذکور قرار داده‌شد. ازآنجایی‌که درصدخشکی اولیه خمیرکاغذ 3/47 درصد بود و باید درصدخشکی به 3 درصد می‌رسید، برطبق محاسبات، به‌میزان 40 میلی‌لیتر آب مقطر نیز به‌نمونه‌های خمیر اضافه شد و به‌میزان 40 میلی‌لیتر بافر استات به آن اضافه شد تا pH،4/8 تا 5 تنظیم شود.

آنزیم سلولاز مورد نیاز برای هر تیمار (براساس درصدخشکی خمیرکاغذ و جدول2، 0/022 و 0/066گرم) به‌دقت توزین شده و در 20 میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید و به نمونه‌های خمیر اضافه شد. پس از اطمینان از تثبیت دمای حمام آب گرم، بشر به‌درون حمام آب‌گرم منتقل شد. در طول زمان تیمار آنزیمی خمیرکاغذ داخل بشر متناوباً با همزن شیشه‌ای همزنی شد (هر 10 دقیقه یکبار). پس‌از اتمام زمان تیمار آنزیمی، بلافاصله بشر به‌روی هیتر برقی با دمای 120درجه سانتی‌گراد قرار داده‌شد و به‌مدت 5 دقیقه در دمای 80 تا 90 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا فعالیت آنزیم مختل شود.

۱ـ۶ـ ارزیابی ویژگی‌های خمیر و کاغذهای دست‌ساز

اندازه‌گیری درجه‌روانی خمیرکاغذها براساس استاندارد **CSCAN**-19-65 در واحد(**SR**°)[1] انجام گرفت. کاغذهای دست‌ساز از خمیرهای تیمارشده و شاهد بااستفاده از دستگاه هندشیت-میکر **KCLHK**[2] ساخت کشور سوئد و براساس آئین‌نامه استاندارد شماره SCANC-26-67 با گرماژ $60\mathbf{gr/m^2}$ ساخته شد. سپس ویژگی‌های مکانیکی این کاغذها تعیین گردید: مقاومت به-ترکیدن (**ISO**-2758)، مقاومت‌به کشش (**ISO**-12192)، مقاومت‌به‌پارگی، (T414 om-04) و مقاومت‌به‌تاخوردگی (**ISO**–5626)، اندازه‌گیری شد.

[1]-Schopper-Riegler
[2]-Handsheet Maker

Archive of SID

www.SID.ir

۱ـ۷ـ تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

پس از انجام آزمون‌های مربوطه و استخراج نتایج، محاسبات آماری صورت گرفت. نتایج این تحقیق توسط تجزیه واریانس یک‌طرفه در قالب طرح کاملاتصادفی بررسی گردید و سپس با استفاده از آزمون دانکن مقایسه بین میانگین‌ها صورت گرفت.

2ـ نتایج

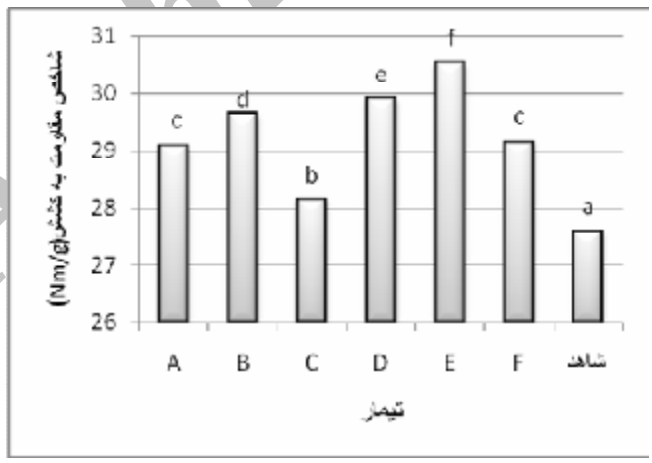
۲ـ۱ـ تأثیر تیمار آنزیمی بر ویژگی‌های خمیر جوهرزدایی شده و کاغذهای دست‌ساز

نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین ویژگی‌های درجه‌روانی و مقاومت‌به تاخوردگی در سطح 5% و بین میانگین ویژگی‌های مقاومت به کشش، مقاومت به پارگی و مقاومت به ترکیدن در سطح 1%، تفاوت معنی-داری وجود دارد.

جدول3ـ تجزیه واریانس درجه روانی خمیرو ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای دست‌ساز

مشخصه / متغیر	درجه روانی خمیر		مقاومت به کشش		مقاومت به پارگی		مقاومت به ترکیدن		مقاومت به تاخوردگی	
	F	سطح معنی‌داری (sign)	F	سطح معنی‌داری (sign)	F	سطح معنی‌داری (sign)	F	سطح معنی‌داری (sign)	F	سطح معنی‌داری (sign)
تیمار	750/7	0/001	363/316	0/0001	478/774	0/0001	973/17	0/0001	867/6	0/001

بر طبق داده‌های به‌دست آمده از آزمایشات نتایج زیر بدست آمد:

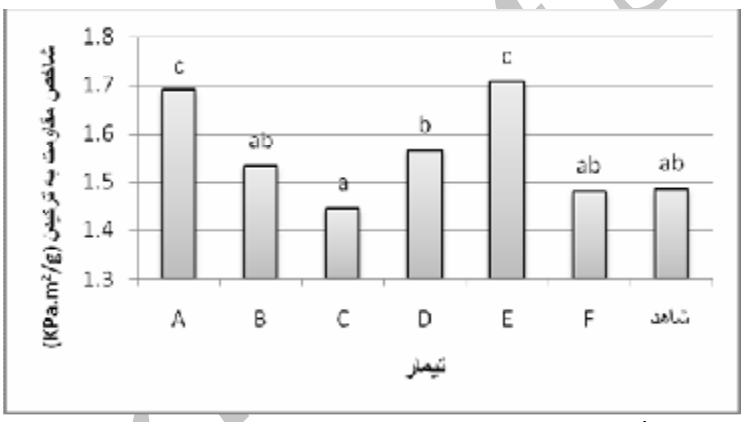


شکل 1ـ تأثیرتیمارهای آنزیمی بر مقاومت کششی کاغذهای دست‌ساز

به‌منظور بررسی مقاومت‌به‌کشش از شاخص مقاومت‌به کشش استفاده شد. همان‌طورکه در شکل 1 مشاهده می‌شود، به‌طورکلی تیمارهای آنزیمی، مقاومت‌به کشش کاغذهای دست‌ساز را افزایش داده-است. تیمار آنزیمی باعث انعطاف‌پذیری الیاف سلولزی می‌گردد؛ همچنین افزایش پرزدارشدن و

Archive of SID
www.SID.ir

فیبریلاسیون الیاف موجب افزایش و بهبود اتصالات می‌شود. تیمار آنزیمی با حذف بیشتر ذرات‌آبگریز، سبب افزایش سطح موجود برای ایجاد پیوندهای جدید بین الیاف بازیافتی می‌شود [5]. همچنین به‌کارگیری مقدار بیشتر آنزیم (0/3 درصد براساس وزن خشک الیاف) در تیمارهای **D** تا **F** با افزایش بیشتر فیبریلاسیون و بهبود اتصالات بین‌الیاف، مقاومت‌به کشش بالاتری نسبت به تیمارها با مقدار کمترآنزیم (0/1 درصد بر اساس وزن‌خشک الیاف) را ایجاد می‌کند. درواقع با افزایش آنزیم، برخوردهای تصادفی با الیاف سلولزی افزایش یافته و اتصالات بیشتر و بهتری را ایجاد کرده‌اند. به‌علاوه، تیمارهای **B** و**E** که به‌مدت 60دقیقه تحت تأثیر تیمار آنزیمی قرارگرفته‌اند، نسبت به سایر تیمارها که به‌مدت زمان‌های 30 و 120 دقیقه تحت تأثیر تیمارآنزیمی قرار گرفته‌اند، مقاومت‌به کشش بیشتری نشان دادند. بنابراین در مدت زمان 60دقیقه زمان کافی برای فیبریلاسیون الیاف وجود داشته است. بالاترین میزان مقاومت‌به کشش در مورد کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از تیمار **E** است و به‌نظر می‌رسد که در شرایط این تیمار احتمال تشکیل پیوندهای مطلوب بیشتر بوده‌است.

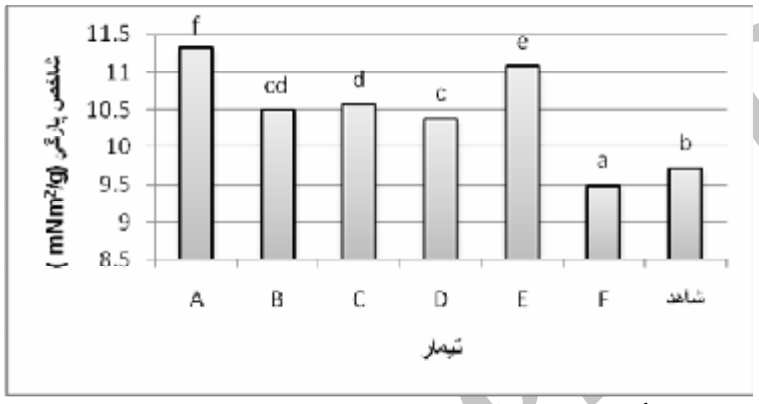


شکل 2ـ تأثیر تیمارهای آنزیمی بر مقاومت‌به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز

برای مطالعه روند تغییرات مقاومت‌به‌ترکیدن از شاخص مقاومت‌به‌ترکیدگی استفاده شد. باتوجه‌به شکل 2 مشاهده می‌شود که تیمار آنزیمی **C** (دمای **30°c**، مقدار آنزیم 0/1درصد،120 دقیقه) سبب کاهش مقاومت‌به‌ترکیدن کاغذهای دست‌ساز نسبت‌به نمونه خمیرشاهد شده‌است. اما سایر تیمارهای آنزیمی مقاومت‌به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز را نسبت‌به نمونه خمیر شاهد بهبود بخشیده و افزایش دادند. آنزیم سلولاز موجب پرزدارکردن الیاف سلولزی شده و باعث بهبود پیوندهای بین‌فیبری می‌گردد، بنابراین در اثر افزایش و بهبود اتصالات، مقاومت‌به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز حاصل‌از نمونه خمیر تیمارشده افزایش می‌یابد[3]. همان‌طورکه در شکل2 مشاهده می‌شود بالاترین مقدار مقاومت‌به‌ترکیدگی مربوط‌به تیمار **E** (دمای **30°c**، مقدار آنزیم 0/3درصد، مدت 60دقیقه) می‌باشد که در این شرایط الیاف تحت تأثیر مقدار ماکزیمم آنزیم قرار گرفته و با افزایش

www.SID.ir

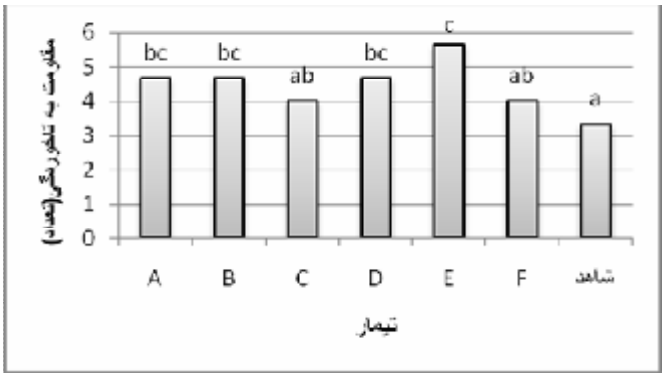
تراکم آنزیم، امکان برخوردهای تصادفی آنزیم به الیاف سلولزی افزایش یافته و میکروفیبریل‌های بیشتری تشکیل می‌شوند؛ بنابرین اتصالات بیشتری شکل می‌گیرد. همچنین مدت زمان 60دقیقه در افزایش این مقاومت موثر بوده و نسبت به دو زمان دیگر تیمار، زمان مناسب‌تری بوده‌است. از دلایل کاهش مقاومت‌به‌ترکیدن کاغذهای دست‌ساز حاصل از نمونه خمیر تیمارشده با تیمار **C** می‌توان به کم بودن احتمال تشکیل پیوندهای مطلوب در این شرایط تیماری اشاره کرد و به‌نظر می‌رسد در زمان 120 دقیقه، هیدرولیز بیشتر و تا حدودی تخریب در الیاف سلولزی ایجاد شده‌است.



شکل 3ـ تأثیر تیمارهای آنزیمی بر مقاومت‌به پارگی کاغذهای دست‌ساز

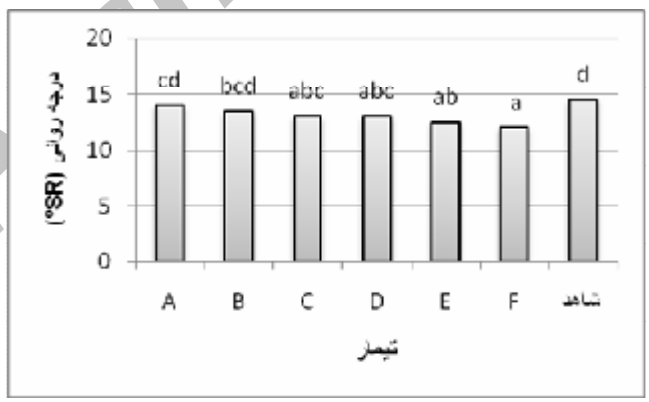
برای بررسی مقاومت‌به پارگی از شاخص مقاومت‌به پاره‌شدن استفاده شد. همان‌طورکه در شکل 3 مشاهده می‌شود مقاومت‌به پارگی کاغذهای دست‌ساز حاصل از نمونه خمیرهای تیمارشده نسبت به کاغذهای دست ساز حاصل‌از نمونه خمیر شاهد افزایش نشان می‌دهد. از دلایل افزایش مقاومت‌به پارگی می‌توان به این نکته اشاره کرد که، تیمار آنزیمی انعطاف‌پذیری الیاف را افزایش داده و باعث ایجاد پیوندهای جدید بین فیبری شده و در نتیجه سبب بهبود مقاومت‌به پارگی الیاف سلولزی می‌شود [2]. همان‌طورکه در نمودار مشاهده می‌شود در تیمار آنزیمی **A**، بیشترین مقدار مقاومت‌به پارگی مشاهده شد. ازآنجایی‌که مقاومت به‌پارگی تابعی از اتصالات سطحی است در این تیمار انعطاف‌پذیری بیشتری در الیاف سلولزی ایجاد شده و اتصالات سطحی بهتری را ایجاد کرده‌است. همچنین تیمار **F** کمترین میزان مقاومت‌به پارگی را ایجاد کرده که حتی از مقاومت‌به پارگی کاغذهای شاهد هم کمتر می‌باشد به‌نظر می‌رسد با میزان بیشینه آنزیم و در بالاترین مدت زمان تیمار، نسبت الیاف کوتاه بالا رفته و باعث کاهش مقاومت‌به پارگی کاغذها نسبت‌به کاغذهای شاهد شده‌است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل 4ـ تأثیر تیمارهای آنزیمی بر مقاومت‌به تاخوردگی کاغذهای دست‌ساز

همان‌طورکه در شکل 4 مشاهده می‌شود، کاغذهای دست‌ساز حاصل از خمیرهای تیمارشده با تیمارهای **C**، **F** مقاومت‌به تاخوردگی مشابهی با کاغذهای دست‌ساز ساخته-شده از خمیر شاهد دارند. در کاغذهای حاصل‌از خمیرهای تیمارشده با تیمارهای آنزیمی افزایش در مقاومت‌به تاخوردگی نسبت‌به کاغذهای حاصل از خمیر شاهد مشاهده می‌گردد. آنزیم سلولاز با افزایش فیبریلاسیون فیبرها به بهبود پیوندهای بین فیبری کمک می‌کند[6]. بالاترین مقدار مقاومت‌به تاخوردگی مربوط‌به کاغذهای دست‌ساز حاصل از خمیرهای تیمارشده با تیمار **E** می‌باشد. دراین آزمون مشاهده گردید که مقدار ماکزیمم آنزیم منجربه فیبریلاسیون بیشتر الیاف سلولزی شده و مدت زمان60دقیقه زمان کافی و مناسب برای فیبریلاسیون الیاف بوده‌است. در این آزمون نیز، در تیمارهای **C** و**F** که در مدت زمان120دقیقه تحت تیمار قرار گرفته‌اند، مقاومت‌به تاخوردگی کمتری مشاهده می‌گردد.



شکل 5- تأثیر تیمار آنزیمی بر درجه روانی خمیر کاغذ

باتوجه‌به شکل 5 مشاهده می‌شود که در کل تیمار آنزیمی موجب افزایش قابلیت آبگیری و کاهش درجه‌روانی درمقیاس **°SR**، شده‌است و خمیرهای تیمارشده درجه‌روانی کمتری نسبت‌به خمیر شاهد داشتند. با کاهش و حذف بیشتر ذرات فاین و میکروفیبریل‌ها، درجه-روانی

Archive of SID
www.SID.ir

(°SR) کاهش می‌یابد [3،7و12]. در تیمارهای آنزیمی انجام شده، بیشترین درجه‌روانی مربوط به تیمار A، بود. در مورد این تیمار به‌نظر می‌رسد که با این شرایط تیمار آنزیمی، ذرات فاین و میکروفیبریل کمتری حذف شده، بنابراین درجه-روانی بیشتری نسبت‌به سایر تیمارهای آنزیمی دارد. مقدار آنزیم 0/3 درصد درجه‌روانی (°SR) کمتری را در خمیرهای تیمارشده ایجاد نموده-است.

3ـ بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر آنزیم سلولاز بر خواص مکانیکی کاغذ ساخته شده از خمیر جوهرزدایی‌شده و درجه‌روانی این خمیر بود. نتایج نشان داد که به‌طور کلی مقاومت‌های مکانیکی کاغذهای دست‌ساز تیمارشده نسبت‌به کاغذهای دست‌ساز بدون تیمار به‌طور موثری بهبود یافته‌است. جفریز و همکارانش (2001) و گاما و همکارانش (2006) نیز بیان کردند که تیمار آنزیمی با آنزیم سلولاز، شبکه اتصال الیاف را افزایش داده و در نتیجه مقاومت‌های مکانیکی کاغذ بهبود می‌یابد. حداکثر مقاومت‌ها با به-کارگیری مقدار بیشتر آنزیم مشاهده شده‌است و به‌نظر می‌رسد که در درصد بالاتر آنزیم، میزان برخوردهای تصادفی آنزیم با الیاف و فیبریلاسیون الیاف، افزایش یافته و پیوندها و در نتیجه مقاومت بیشتری در کاغذهای دست‌ساز ایجاد شده‌است. همچنین مدت زمان 60دقیقه زمان مناسب برای فیبریلاسیون الیاف و در نتیجه تشکیل پیوندها و افزایش مقاومت‌ها بوده‌است. بنابراین شرایط بهینه تیمارآنزیمی، استفاده از مقدار بیشتر سلولاز و در مدت زمان 60دقیقه بود. کمترین مقدار درجه‌روانی خمیر کاغذها (°SR) در نمونه خمیرهای تیمارشده با شرایط تیماری مقدار آنزیم 0/3 درصد و به‌مدت 120 دقیقه مشاهده شد. جکسون و همکارانش (1993) و ورما و همکارانش (2009) به این نتیجه رسیدند که آنزیم سلولاز موجب کاهش ذرات نرمه و افزایش آبگیری از خمیرکاغذ می‌گردد. در این تحقیق نیز در اثر تیمار آنزیمی با آنزیم سلولاز، درجه‌روانی خمیرکاغذها (°RS) کاهش و آبگیری از خمیرهای تیمار شده (نسبت به خمیر شاهد) افزایش یافت.

4ـ سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از کارخانه محصولات کاغذی لطیف به‌خاطر در اختیار گذاشتن خمیر کاغذ بازیافتی جوهرزدایی شده، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند. همچنین از کارخانه چوب و کاغذ مازندران، سازمان استاندارد و دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران، به‌خاطر بهره‌گیری از تجهیزات آزمایشگاهی، تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

1–حمصی، امیرهومن. 1384. کاربرد فن‌آوری زیست آنزیمی در صنایع خمیر و کاغذ. ویژه‌نامه مجله علمی پژوهشی. سال یازدهم. شماره (1).

2- Chandra, R. P.; Ragauskas, A. J.(2001). Tappi Pulping Conference, Tappi Press, Atlanta.

3- Dienes, D.; Egyhazi, A.; Sardi , Z.; Reczey,K. (2004). Treatment of recycled fiber with trichodermacellulases, industrial crops and products.Journal.,20, p:11-21.

4- Dumitriu, S.; (1998). Polycaccharides Structural Diversity and Fuctionalversality. Printed in the united states of America.

5-Gama,M.; Pala,H.; Mota, M. (2006) Factors influencing MOW deinking: laboratory scale studies. Enzymemicrobtecnol. 38: 81-87.

6-Hatrman , R. R. 1979. Mechanical treatment of pulp fiber for property development, Dotraldisstrrtation, Lawaranceuniversity, Appleton, Wisconsin. page.8.

7- Jacson, L. S., 1993. Enzymatic modifications of secondary fiber.Tappi J. 76(3), 147-154.

8-Jain.H., Ma.(2002).Enzyme applications in the pulp and paper industry.Enzymatic Deinking Tecnology,5305oakbrookparkway,Norcross, GA 30093-2250.

9-Jokinan, O.;Kttunen, J.;Lepo, J.;Neimi, T.; and Leine, J. E. (1991). "Method of producing fluff pulp with improved defibration properties," US Pat. 5,068,009.

10- Jeffries,T.W.; Kirk,T. K. (2001).

Roles for microbial enzymes in pulp and paper processing, Institute for microbial and biochemical thechnology ,U.S.Department of agriculture, One giffordpinchotdrive ,Madison , WI53705.

Archive of SID

www.SID.ir

11-Park, S. B.; Lee. J. M.; Eom. T. J. (2003). The control of sticky contaminant with enzymes in the recycling of wastepaper. Ind. Eng. Chem., Vol. 10, No. 1, 72-77.

12- Verma, p., Bhardwaj, N.K., Chakraborti, S.K. (2010). "Enzymatic Upgradation of Secondary Fibers," Thapar Centre for industrial research and development, Paper Mill Campus, P.O. IPPTAJ. Vol.22, No. 4.

13- Wong, K. K. Y.; James, C. S. and Campion, S. H. (2000). "Xylanase pre- and post- treatments of bleached pulps decrease absorption coefficient," J. Pulp Pap. Sci., 26, 377-383.

14- www.merck-chemicals.com

Archive of SID

www.SID.ir