

## استفاده از آنزیم ویسکوزیم به عنوان یک فن آوری جایگزین برای پالایش و بهبود خصوصیات خمیر کاغذ سودای باگاس

### چکیده

در این تحقیق تأثیر استفاده از آنزیم ویسکوزیم به منظور اصلاح کردن خصوصیات خمیر کاغذ سودای باگاس مورد بررسی قرار گرفت. آنزیم ویسکوزیم (مخلوط آنزیم‌های تجزیه‌کننده کربوهیدرات‌ها) حاصل از قارچ *Aspergillus sp* در مقادیر مختلف ۰/۵، ۱ و ۲ IU و مدت‌زمان مختلف ۰/۵، ۱ و ۲ ساعت بر خمیر کاغذ سودای باگاس تأثیر داده شد. برای تهیه کاغذ دست‌ساز از آیین‌نامه تاپی استفاده شد. جهت مقایسه کاغذهای ساخته‌شده از آزمون تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. نتایج حاصله نشان داد که درجه روانی و درجه پلیمریزاسیون خمیر کاغذ با افزایش غلظت آنزیم و زمان واکنش، کاهش یافت. در واقع پیش‌تیمار آنزیمی خمیر سودای باگاس همانند پالایش مکانیکی عمل کرده و با فیبریل‌اسیون خارجی بیشتر الیاف، باعث بهبود خصوصیات مکانیکی کاغذ سودای باگاس شد. با اعمال تیمار آنزیمی، شاخص مقاومت به کشش و ترکیدن بهبود یافت. به طوری که غلظت آنزیم ۰/۵ IU و زمان واکنش یک ساعت بیشترین شاخص مقاومت به کشش، ترکیدن و پارگی را دارا بود. با افزایش غلظت آنزیم (۲ IU) به دلیل افت ویسکوزیته و درجه پلیمریزاسیون اگرچه مقاومت‌ها کاهش یافتند ولی همچنان در مقایسه با نمونه شاهد دارای مقاومت بیشتری بودند.

**واژگان کلیدی:** ویسکوزیم، خمیر سودای باگاس، درجه پلیمریزاسیون، فیبریل‌اسیون الیاف، پیش‌تیمار آنزیمی.

وحید وزیری\*

احمد رضا سرائیان<sup>۲</sup>

الیاس افرا<sup>۳</sup>

فرشید فرجی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته دکتری صنایع خمیر کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه گنبد کاووس

<sup>۲</sup> دانشیار، <sup>۲</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مسئول مکاتبات:

vahidvaziri@gmail.com

تاریخ دریافت: ۲۰۱۲/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۲۰۱۳/۰۳/۱۳

### مقدمه

امروزه اهداف کلی صنعت خمیر کاغذ در جهت افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها، تکامل فرآیندهای دوستدار محیط زیست و بهبود کیفیت محصولات است. بیوتکنولوژی فرصت‌های جدیدی را برای بهبود فرآیندهای متداول تولید در صنایع خمیر کاغذ ایجاد کرده است که دارای

مزایای زیست‌محیطی و اجرایی است. زیست‌فناوری اشاره به بهره‌برداری فنی از فرآیندهای زیستی دارد. به عبارت دیگر زیست‌فناوری به کار بردن نظام‌های زیستی در فناوری است و هدف آن استفاده مطلوب‌تر از نظام‌های زیستی در فرآیندهای صنعتی است. اغلب فرآیندهای زیستی از میکروارگانیسم‌هایی از قبیل قارچ‌ها، باکتری‌ها و

این زمینه استفاده شده، از خانواده سلولاز و همی سلولاز هستند. سلولاز زنجیره سلولز را در دیواره لیاف می شکند. البته متناسب با نوع سلولاز مورد استفاده، این شکست می تواند در انتهای زنجیره و یا در میانه آن صورت پذیرد. این پدیده منجر به تفکیک لایه‌ای، فروریختگی و لیفچه‌ای شدن دیواره‌های سلولی می شود که در واقع این پدیده همانند فرآیندی است که در طی عمل پالایش مکانیکی لیاف رخ می دهد [۷]. به‌رحال آنزیم‌ها می توانند هدف عمل پالایش را با ملایمت بیشتر و در عین حفظ میانگین طولی لیاف تأمین کنند و باعث افزایش ریزترک‌ها در دیواره لیاف شوند [۸، ۹].

گروهی از محققان تحقیقاتی را برای پالایش خمیر رنگبری شده لیاف بلند با استفاده از آنزیم سلولاز انجام دادند و نتایج حاصله نشان داد که سلولاز باعث بهبود شکل‌گیری، درجه روشنی و شاخص کشش می شود ولی ماتی، تخلخل و شاخص پارگی کاهش می‌یابد. با اضافه کردن ۰/۴ درصد سلولاز، بهینه بهبود در کیفیت کاغذ و صرفه‌جویی در انرژی مشاهده شد [۱۰].

محققان دیگر بیان کردند که آنزیم‌های همی سلولاز و سلولاز به ترتیب بر روی همی سلولز و سلولز عمل می‌کنند و زنجیره‌های سلولز موجود در سطح لیاف دارای گروه‌های هیدروکسیلی هستند که در پیوند بین لیاف-لیاف شرکت دارند و گروه‌های هیدروکسیل سلولز در سطح لیاف و در بین دیواره لیاف به‌طور قوی با آب برهم‌کنش انجام داده و در پدیده واکنشیدگی سهم می‌باشند. همی سلولازها نیز به‌طور قوی با آب برهم‌کنش انجام داده و در واکنشیدگی لیاف شرکت داشته و باعث بهبود پیوند بین لیاف-لیاف در کاغذ می‌شوند [۱۱].

در تحقیق دیگر به بررسی تأثیر تیمار آنزیمی سلولاز به‌منظور بهبود پالایش خمیر کرافت اکالیپتوس رنگبری شده پرداخته شد. نتایج حاصله نشان داد که عمل تیمار آنزیمی قبل از پالایش، میزان آگیری از خمیر و درجه آب پوشی لیاف را افزایش می‌دهد و آنزیم سلولاز سطح دیواره سلول را تخریب می‌کند و این تخریب منجر به سطح بیشتری شده و باعث ایجاد پیوند با مولکول‌های آب می‌شود ولی ویژگی‌های مقاومتی خمیر به‌وسیله آنزیم‌ها آسیب چندانی ندیدند و حتی مقاومت‌ها افزایش یافتند. اگرچه مقداری تخریب لیاف در مورد آنزیم سلولاز

مخمرها استفاده می‌کنند. زیست‌فناوری امروزه بر استفاده از محصولات زیستی یا آنزیم‌ها تمرکز یافته است [۱]. آنزیم‌ها طبقه مهمی از پروتئین‌های کروی با منشأ زیستی هستند و به‌عنوان تسریع‌کننده واکنش‌های بیوشیمیایی عمل می‌کنند. برای کاتالیز واکنش بیوشیمیایی مقادیر جزئی از یک آنزیم کافی است، به‌نحوی که یک مولکول قادر است تا چندین میلیون مولکول را طی زمانی کوتاه به محصول تبدیل کند. افزایش بازده محصولات، کاهش مواد زائد، استفاده بهتر از مواد اولیه، کاهش مصرف انرژی، کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی، افزایش صرفه اقتصادی و کاهش تعداد مراحل فرآیندی مورد نیاز از مزایای استفاده آنزیم‌ها در صنایع است [۲]. کاربردهای آنزیمی به‌طور گسترده‌ای تقریباً از سال ۱۹۸۰ برای صنعت خمیرکاغذ مورد تحقیق و پژوهش قرار گرفت [۳]. اجرای یک تیمار آنزیمی نیازی به هیچ‌گونه تغییری در فرآیند ندارد و به‌دلیل تهیه آنزیم‌های تجاری با صرفه، استفاده از آن در مقیاس صنعتی به‌سرعت رشد یافته است. اختصاصی و دقیق عمل کردن آنزیم‌ها، آن‌ها را به ابزارهای منحصر به فردی به‌منظور اصلاح و بهسازی ترکیبات ویژه در خمیر و فرآیندهای آبی در صنعت خمیر و کاغذ مبدل کرده و طبیعت کاتالیزوری آنزیم‌ها، آن‌ها را حتی در مقادیر مصرف اندک، سودمند ساخته است. به‌طور کلی کاربردهای آنزیمی به‌دلیل بی‌خطر بودن برای محیط زیست مورد توجه می‌باشند. با اهمیت‌ترین کاربردهای تجاری آنزیم‌ها در بخش‌های رنگبری خمیرکاغذ، مرکب‌زدایی، بهبود قابلیت گذر ماشین کاغذ به‌وسیله هیدرولیز مواد استخراجی یا بهبود آگیری و اصلاح فیبر برای محصولات خاص است [۴، ۵]. تخریب آنزیمی مواد لیگنوسولزی توسط مجموعه‌ای از آنزیم‌های متفاوت صورت می‌پذیرد. امروزه، آنزیم سلولاز مناسب و اقتصادی بر اساس نیازهای فرآیندی را می‌توان طراحی و ساخت. سلولازها به‌وسیله طیف گسترده‌ای از باکتری‌ها، قارچ‌ها، میکروبیوم‌های هوازی و بی‌هوازی تولید می‌شوند. سلولازها ممکن است از طریق هیدرولیز و تجزیه بخشی از مولکول سلولز در سطح فیبر، افزایش لیفچه‌ای شدن و زدودن فیبریل‌ها از سطح فیبر موجب آزادسازی ذرات مرکب می‌شود [۶]. بهسازی لیاف، کاربرد جدید آنزیم‌ها است که در حال حاضر به شکل گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. آنزیم‌هایی که در

الیاف آن کاملاً از یکدیگر جدا گردیدند.

### تیمار آنزیمی

خمیر سودای باگاس مورد استفاده در این تحقیق با استفاده از آنزیم ویسکوزیم در شرایط ثابت درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد، درصد خشکی ۵ درصد و با استفاده از اسید سولفوریک به  $\text{pH}=4/5$  رسانده شد و سپس در غلظت‌های مختلف ۰/۵، ۱ و ۲ IU و در زمان‌های مختلف واکنش ۰/۵، ۱ و ۲ ساعت در یک همزن مکانیکی پیوسته تیمار شدند. برای غیرفعال نمودن آنزیم، مقدار کمی پروکسید هیدروژن (حدود ۰/۰۵ درصد بر اساس وزن خشک خمیر) به آن اضافه گردید. بعد از تیمار آنزیمی خمیرها با آب مقطر شسته شدند تا برای جلوگیری از واکنش آنزیمی بیشتر، خمیر به  $\text{pH}$  خنثی برسد.

### اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومت کاغذهای دست-

#### ساز

در این تحقیق درجه پلیمریزاسیون خمیر کاغذ قبل و بعد از تیمارهای آنزیمی با استفاده از محلول کوپری اتیلن دی آمین<sup>۳</sup> و درجه روانی خمیرهای کاغذ بر اساس آیین‌نامه T۲۲۷ om-۰۴ و مقدار ماندگاری آب بر اساس آیین‌نامه T۲۵۶-um تاپی تعیین شد. برای تهیه کاغذ دست‌ساز از آیین‌نامه T۲۰۵ sp-۹۵ تاپی<sup>۴</sup> استفاده شد. از هر تیمار خمیر کاغذ سودای باگاس تعداد ۱۵ عدد کاغذ با وزن پایه  $1 \pm 60$  گرم بر متر مربع ساخته شد. کاغذهای ساخته‌شده به مدت ۲۴ ساعت در شرایط کلیما (دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد) قرار داده شد تا برای انجام آزمون‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری آماده شوند. مقاومت به کشش بر اساس آیین‌نامه ۹۲-cm-۴۰۴، مقاومت به ترکیدن بر اساس آیین‌نامه ۹۷-cm-۴۰۳، مقاومت به پارگی بر اساس آیین‌نامه ۸۸-cm-۴۱۴، ماتی بر اساس آیین‌نامه ۹۶-cm-۴۲۵ تاپی اندازه‌گیری شدند.

برای بررسی تغییرات مورفولوژیکی الیاف از میکروسکوپ الکترونی رومی گسیل میدان<sup>۵</sup> و از معادلات امتیازدهی نیز برای تعیین بهترین تیمار آنزیمی برای

مشاهده گردید. تیمار آنزیمی باعث بهبود آگیری خمیر تا حدود ۸۰ درصد در سطح مشابهی از انرژی پالایش شد [۱۲].

اهداف اصلی این تحقیق، تأثیر استفاده از فن‌آوری آنزیم به‌عنوان جایگزین پالایش مکانیکی در بهبود ویژگی‌های کاغذ حاصله و ارزیابی درجه روانی و درجه پلیمریزاسیون خمیر کاغذ پس از اعمال این تیمار و همچنین تعیین شرایط بهینه تیمار آنزیمی خمیر کاغذ سودای باگاس از نظر زمان و سطح آنزیم مصرفی با استفاده از معادلات امتیازدهی است.

### مواد و روش‌ها

#### مواد

#### الیاف مصرفی (خمیر کاغذ پایه)

در این تحقیق خمیر کاغذ سودای باگاس رنگبری شده از کارخانه هفت‌تپه پارس تهیه شد. درجه روانی خمیر در حدود ۴۸۰ ml بود.

#### آنزیم

در این تحقیق از یک آنزیم تجاری که ویسکوزیم<sup>۱</sup> (EC Number: V2010) نامیده می‌شود استفاده شد. این آنزیم مخلوطی از آنزیم‌های تخریب‌کننده کربوهیدرات‌ها (آرابیناز، سلولازها، بتا-گلوکوناز، همی سلولازها و زایلاناز) با فعالیت آنزیمی بیشتر برای بتا-گلوکوناز است. این مخلوط از قارچ *Aspergillus sp* تولید شده است. این آنزیم محصول شرکت سیگما آلدریج و دارای فعالیت ۱۱۲U/G است.

#### روش‌ها

#### آماده‌سازی خمیر کاغذ سودای باگاس

خمیرهای تهیه‌شده، کاملاً هوا خشک شده و به آزمایشگاه صنایع خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان جهت مطالعات بعدی انتقال داده شدند. جهت آماده‌سازی خمیر سودای باگاس هوا خشک برای آزمایش‌های طرح‌ریزی‌شده، این خمیر به مدت یک‌شب در آب شهری خیسانده شده و سپس توسط دستگاه فروریزنده<sup>۲</sup>، ساختار خمیر درهم‌ریخته شده و

<sup>۳</sup> Cupri Ethylene Diamine

<sup>۴</sup> Tappi

<sup>۵</sup> Field Emission Scanning Electron Microscope

<sup>۱</sup> Viscozyme

<sup>۲</sup> Desintegrator

تولید کاغذ چاپ و تحریر استفاده شد.

### روش تجزیه و تحلیل آماری

کلیه محاسبات آماری بر اساس طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. برای مقایسه میانگین‌ها ابتدا جدول تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS تشکیل و سپس مقایسه میانگین‌ها با توجه به سطح معنی‌دار بودن، به روش گروه‌بندی دانکن انجام گردید.

### نتایج و بحث

#### درجه روانی

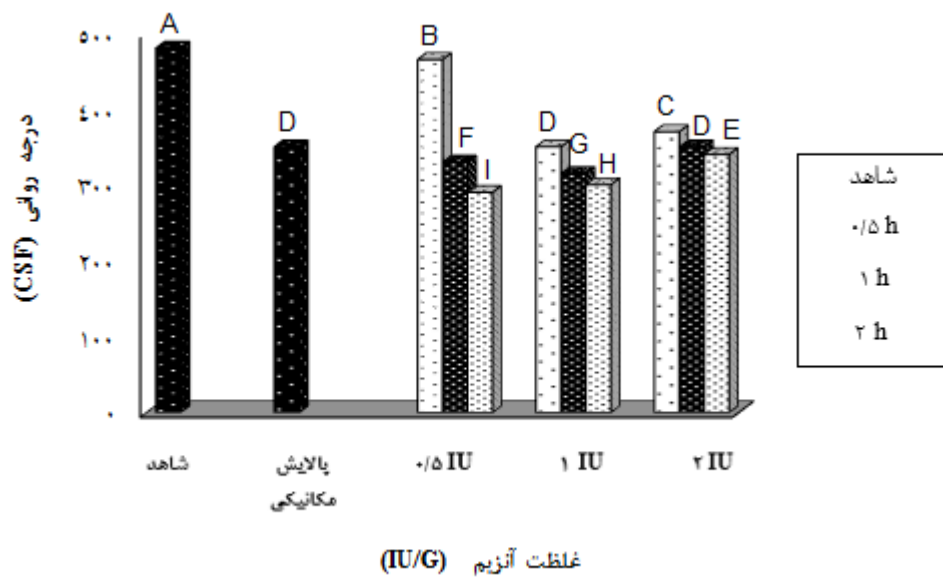
نتایج به دست آمده از تأثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر درجه روانی خمیر کاغذ نشان داد که در مقایسه با نمونه شاهد (درجه روانی اولیه CSF ۴۸۰)، افزودن آنزیم و عمل پالایش مکانیکی تأثیر معنی‌داری را در سطح اطمینان آماری ۹۹٪ در درجه روانی خمیر کاغذ داشته است (جدول

۱). همان‌طوری که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با عمل پالایش مکانیکی و افزایش مقدار مصرف آنزیم، مقادیر درجه روانی خمیر و کاغذ کاهش یافته است؛ زیرا آنزیم ویسکوزیم می‌تواند نرمه‌ها را هیدرولیز کند و فیبریل‌ها را از سطح نرمه‌های بزرگ‌تر جدا کند و باعث فیبریل‌شدن سطحی الیاف، دسترس‌پذیری گروه‌های آب‌دوست و میزان جذب آب در الیاف شوند که همراه با افزایش تولید نرمه و کاهش درجه روانی خمیر کاغذ است ولی با افزایش غلظت آنزیم به ۲IU، درجه روانی خمیر کاغذ اندکی افزایش یافته است که دلیل عمده آن حمله آنزیمی با مکانیسم لایه-برداری است که فیبریل‌ها و لیفچه‌ها را جدا نموده، در نتیجه فیبریل‌های باقی‌مانده آب‌گریزتر بوده و راحت‌تر زهکش می‌شوند. افزایش درجه روانی ممکن است به شکسته شدن سلولزهای سطح نرمه‌ها نیز مربوط باشد که با نتایج محققان دیگر مطابقت دارد [۹].

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های فیزیکی خمیر کاغذ سودای باگاس

ویژگی	منبع تغییرات	جمع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	معنی‌داری
درجه روانی	تیمار	۱۳۰۴۲۰	۱۰	۱۴۴۸۹/۶۶۷	۱۷۴۷/۴۲	۰/۰۰۰*
	خطای آزمایش	۱۶۸	۲۲	۸/۳۱۵		
	کل	۱۳۰۵۸۸	۳۲			
مقدار ماندگاری آب (WRV)	تیمار	۲۳۰۹۹۹/۵۹۵	۱۰	۲۵۶۶۶/۶۸۰	۲/۹۴۳	۰/۰۰۰*
	خطای آزمایش	۰/۰۱۸	۲۲	۰/۰۰۱		
	کل	۲۳۰۹۹۹/۶۱۳	۳۲			
درجه پلیمریزاسیون	تیمار	۲۷۹۶۱۰/۲۹۷	۱۰	۳۱۰۶۷/۸۴۰	۲۰۸۵۰۸/۸۷	۰/۰۰۰*
	خطای آزمایش	۲/۹۸۳	۲۲	۰/۱۵۲		
	کل	۲۷۹۶۱۳/۲۸	۳۲			

\* معنی‌داری در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد

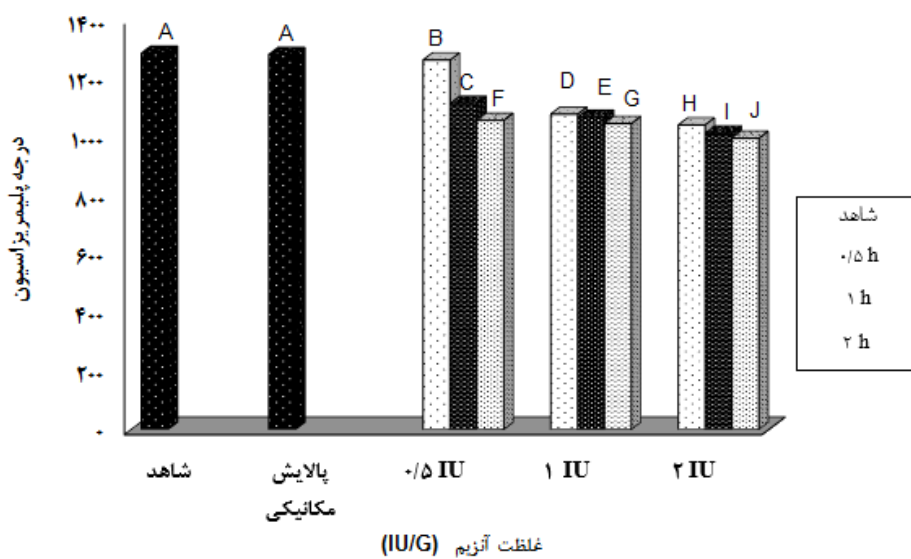


شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف بر درجه روانی خمیرکاغذ

تغییری مشاهده نشد ولی با افزایش غلظت و زمان واکنش آنزیم، درجه پلیمریزاسیون خمیرکاغذ کاهش یافت که دلیل اصلی آن به سلولاز موجود در ترکیب آنزیم ویسکوزیم، مربوط می‌شود که به‌طور تصادفی به مناطق آمورف ماده سلولزی حمله کرده و در نتیجه پیوند داخلی زنجیره سلولزی را هیدرولیز می‌کند [۵].

#### درجه پلیمریزاسیون

نتایج به‌دست‌آمده از تأثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر درجه پلیمریزاسیون نشان داد که در مقایسه با نمونه شاهد، افزودن آنزیم تأثیر معنی‌داری را در سطح اطمینان آماری ۹۹٪ بر درجه پلیمریزاسیون داشته است (جدول ۱). همان‌طوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با عمل پالایش مکانیکی در درجه پلیمریزاسیون خمیرکاغذ

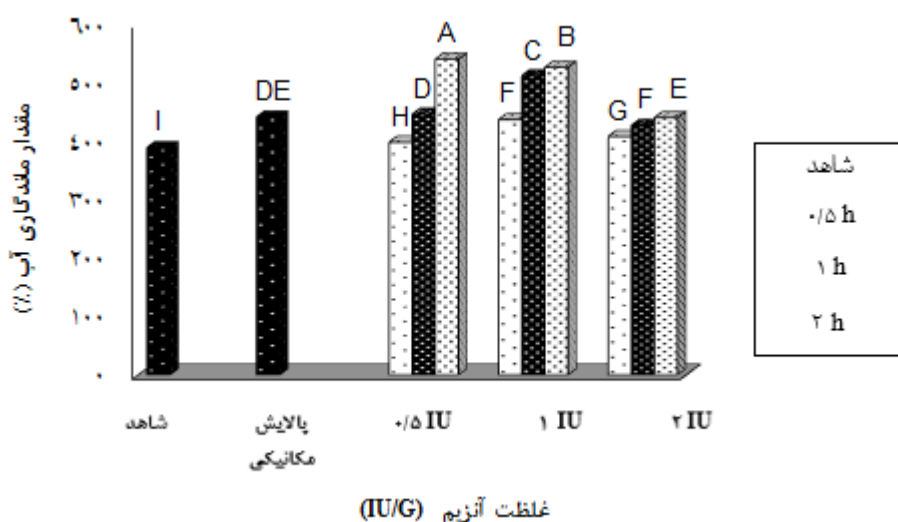


شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف بر درجه پلیمریزاسیون خمیرکاغذ

آب مربوط به غلظت آنزیم  $0.5IU$  و زمان واکنش ۲ ساعت بود؛ که دلیل اصلی آن را می‌توان فیبریله شدن داخلی و خارجی الیاف و ایجاد نرمه توسط آنزیم ویسکوزیم دانست که همانند عمل پالایش باعث گسترش لیفچه‌های بیرونی شده و در نتیجه سبب نگهداری بیشتر آب شده است [۱۲]. با افزایش غلظت آنزیم به  $2IU$  به دلیل اثر آنزیم بر هیدرولیز لایه بیرونی الیاف و زدودن نرمه، مقدار ماندگاری آب اندکی کاهش یافته است ولی همچنان در مقایسه با نمونه شاهد دارای مقدار ماندگاری آب بیشتری بود.

### مقدار ماندگاری آب

نتایج به‌دست‌آمده از تأثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر مقدار ماندگاری آب نشان داد که در مقایسه با نمونه شاهد، افزودن آنزیم و عمل پالایش مکانیکی تأثیر معنی‌داری را در سطح اطمینان آماری ۹۹٪ بر مقدار ماندگاری آب داشته است (جدول ۱). همان‌طوری که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با عمل پالایش مکانیکی و با افزایش غلظت آنزیم تا  $1IU$ ، مقدار ماندگاری آب در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافته است و بیشترین مقدار ماندگاری



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف بر مقدار ماندگاری آب

کشش و ترکیدن بیشتری را در مقایسه با خمیر شاهد داشته است که این نشان‌دهنده آن است که در بخش تیمار آنزیمی، فیبریلاسیون الیاف رخ داده است. مصرف آنزیم تا غلظت  $1IU$  تأثیر مثبتی بر روی شاخص مقاومت به کشش و ترکیدن داشته است اما در غلظت  $2IU$  این مقادیر به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند ولی همچنان در مقایسه با نمونه شاهد دارای مقاومت به کشش و ترکیدن بیشتری بودند. دلیل اصلی این کاهش، می‌تواند هیدرولیز فیبریل‌های جدا شده از الیاف، افت ویسکوزیته و درجه پلیمریزاسیون و همچنین شکست زنجیره سلولزی باشد [۷].

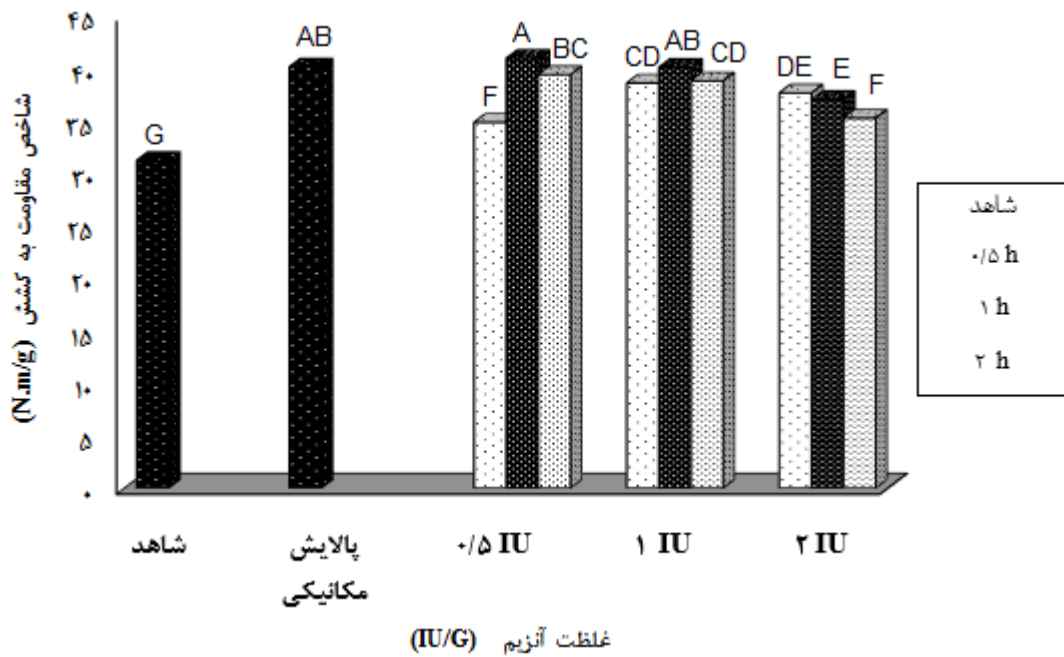
### ویژگی‌های مقاومتی کاغذ

#### شاخص مقاومت به کشش و ترکیدن

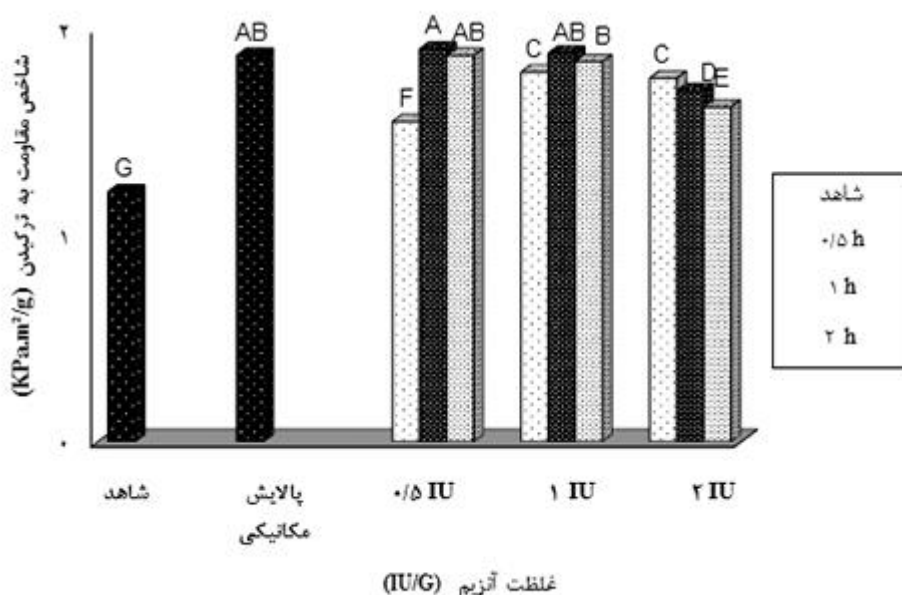
نتایج به‌دست‌آمده از تأثیر تیمارهای مختلف آنزیمی بر شاخص مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن نشان داد که در مقایسه با نمونه شاهد، عمل پالایش مکانیکی و افزودن آنزیم تأثیر معنی‌داری را در سطح اطمینان آماری ۹۹٪ بر شاخص مقاومت به کشش داشته است (جدول ۲). همان‌طوری که در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود تیمار  $0.5IU$  و زمان واکنش ۱ ساعت در مقایسه با سایر تیمارهای انجام‌شده، مقدار شاخص مقاومت به کشش و ترکیدن بیشتری را دارا بود. شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که خمیرهای تیمار شده با آنزیم، شاخص مقاومت به

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذ سودای باگاس

ویژگی	منبع تغییرات	جمع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	معنی داری
شاخص مقاومت به کشش	تیمار	۲۲۲/۸۹۱	۱۰	۲۴/۷۶۱	۱۳۵/۰۲۹	۰/۰۰۰*
	خطای آزمایش	۶/۰۷۶	۲۲	۰/۳۰۵		
	کل	۲۲۸/۹۶۷	۳۲			
شاخص مقاومت به ترکیدن	تیمار	۱/۶۵۸	۱۰	۰/۱۸۷	۵۱۰/۷۸۱	۰/۰۰۰*
	خطای آزمایش	۰/۰۰۹	۲۲	۰/۰۰۱		
	کل	۱/۶۶۷	۳۲			
شاخص مقاومت به پارگی	تیمار	۰/۸۳۷	۱۰	۰/۰۹۴	۵۴/۰۲۱	۰/۰۰۰*
	خطای آزمایش	۰/۰۰۵	۲۲	۰/۰۰۱		
	کل	۰/۸۴۲	۳۲			



شکل ۴- تأثیر تیمارهای مختلف بر شاخص مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز



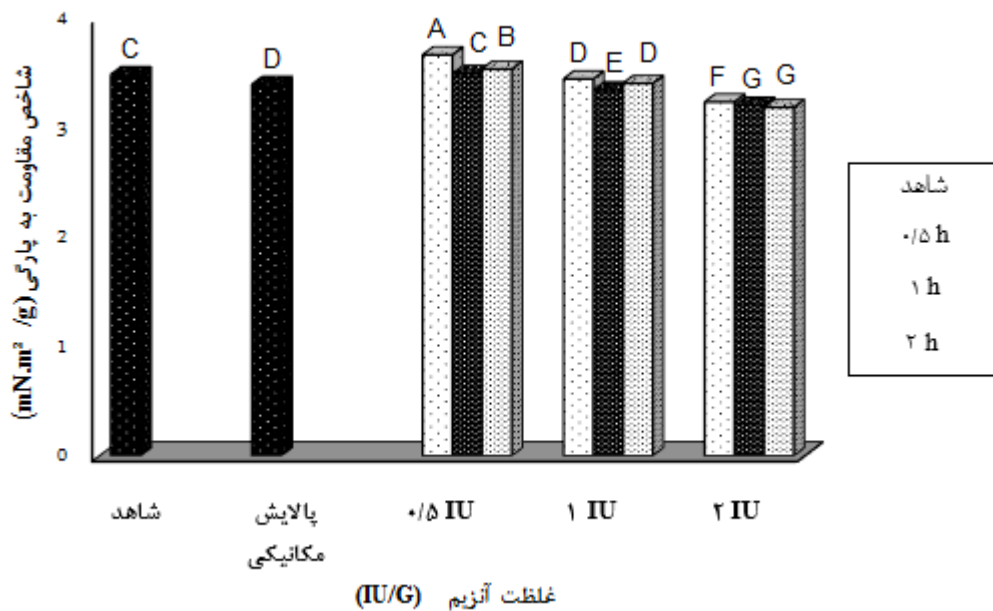
شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز

#### شاخص مقاومت به پارگی

شواهد به دست آمده از ارزیابی تأثیر آنزیم بر شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای ساخته شده نشان داد که در مقایسه با خمیر شاهد، عمل پالایش مکانیکی و افزودن آنزیم تأثیر معنی داری را در سطح اطمینان آماری ۹۹٪ در شاخص مقاومت به پارگی کاغذ ایجاد کرده است (جدول ۲). شکل ۶ نشان می‌دهد که خمیرهای تیمار شده با آنزیم تا غلظت ۰/۵ IU شاخص مقاومت به پارگی بیشتری را در مقایسه با خمیر شاهد و خمیر پالایش شده مکانیکی داشته است. علت این امر این است که آنزیم ویسکوزیم ترجیحاً به نرمه‌ها که سطح ویژه بیشتری دارند، حمله می‌کند در نتیجه این وضعیت الیاف بلند را از شرایط

هیدرولیز شدید محافظت می‌کند [۴]. لذا خمیرهای تیمار شده به دلیل داشتن درصد الیاف بلند بیشتر و الیاف قوی-تر، شاخص مقاومت به پارگی بیشتری را نشان دادند. خمیر تیمار شده با غلظت آنزیم ۰/۵ IU و زمان واکنش ۰/۵ ساعت بیشترین شاخص مقاومت به پارگی را به خود اختصاص داده است (شکل ۶). در حالی که در طی عمل پالایش مکانیکی، مقاومت به پارگی کاهش یافت که دلیل عمده آن کوتاه شدن طول الیاف است. همچنین با افزایش غلظت آنزیم (بیشتر از ۰/۵ IU) به علت تخریب ساختار سلولز در جدار الیاف و ضعیف شدن تک‌تک الیاف و کاهش درجه پلیمریزاسیون خمیر کاغذ و در نتیجه کوتاه شدن طول الیاف، شاخص مقاومت به پارگی کاهش یافت.





شکل ۶- تأثیر تیمارهای مختلف بر شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز

خمیر کاغذ انجام می‌شود دو پدیده اتفاق می‌افتد که اثرات مختلفی بر روی ماتی دارند. آنزیم باعث می‌شود تا سطح کلی الیاف یعنی جایی که تفرق و پراکنش نور در آن ممکن است رخ دهد افزایش یابد. به این دلیل انتظار می‌رود ماتی افزایش یابد. از سویی دیگر آنزیم با افزایش سطح پیوند لیفی موجب افزایش سطح تماس نوری شده و موجب کاهش ماتی می‌شود. در اکثر خمیرها کاهش تفرق به دلیل افزایش اتصال مهم‌تر از افزایش تفرق به دلیل افزایش سطح ویژه الیاف است؛ بنابراین آنزیم ویسکوزیم همانند پالایش مکانیکی باعث کاهش درجه ماتی شده است.

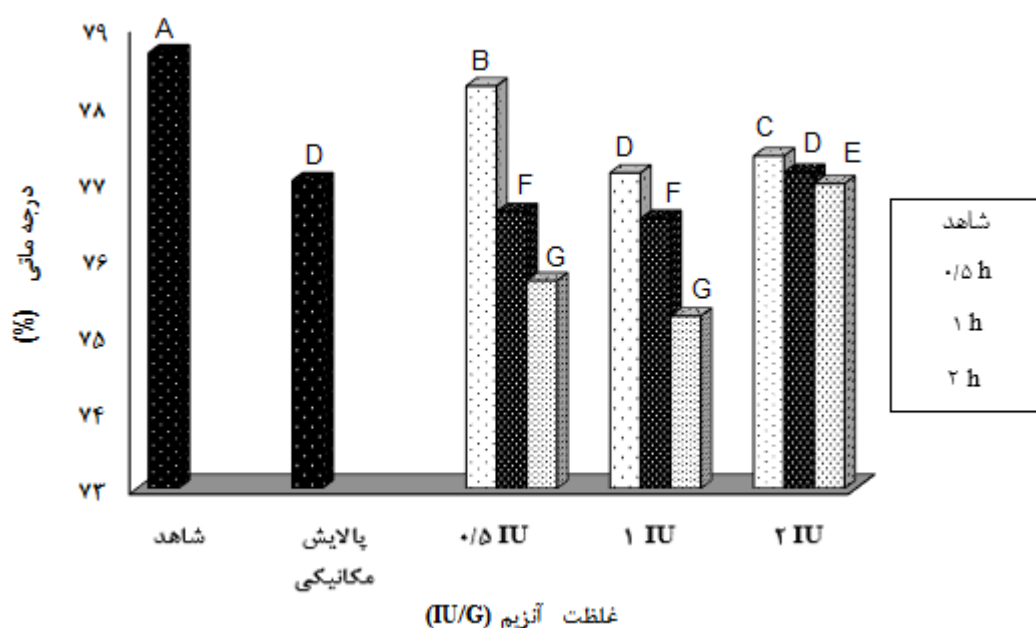
### ویژگی‌های نوری کاغذ

با توجه به این که آنزیم تأثیر چندانی بر درجه روشنی کاغذها نداشت و درجه روشنی کاغذها در محدوده درجه روشنی نمونه شاهد (حدود ۸۰) قرار داشت به همین علت تنها تأثیر تیمار آنزیمی بر درجه ماتی کاغذ بررسی شد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود اثر تیمارهای مختلف در سطح آماری ۹۹ درصد بر درجه ماتی کاغذ کاملاً معنی‌دار است (جدول ۳). شکل ۷ نشان می‌دهد که خمیرهای تیمار شده با آنزیم و خمیر پالایش‌شده مکانیکی، درجه ماتی کمتری را در مقایسه با خمیر شاهد داشته است که نشان‌دهنده آن است که زمانی که تیمار آنزیمی بر روی

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر درجه ماتی کاغذ سودای باگاس

ویژگی	منبع تغییرات	جمع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	معنی‌داری
درجه ماتی	تیمار	۲۸/۶۷۵	۱۰	۳/۱۸۸		
	خطای آزمایش	۰/۰۳۵	۲۲	۰/۰۰۲	۱۷۹۹/۹۳	۰/۰۰۰*
	کل	۲۸/۷۱	۳۲			

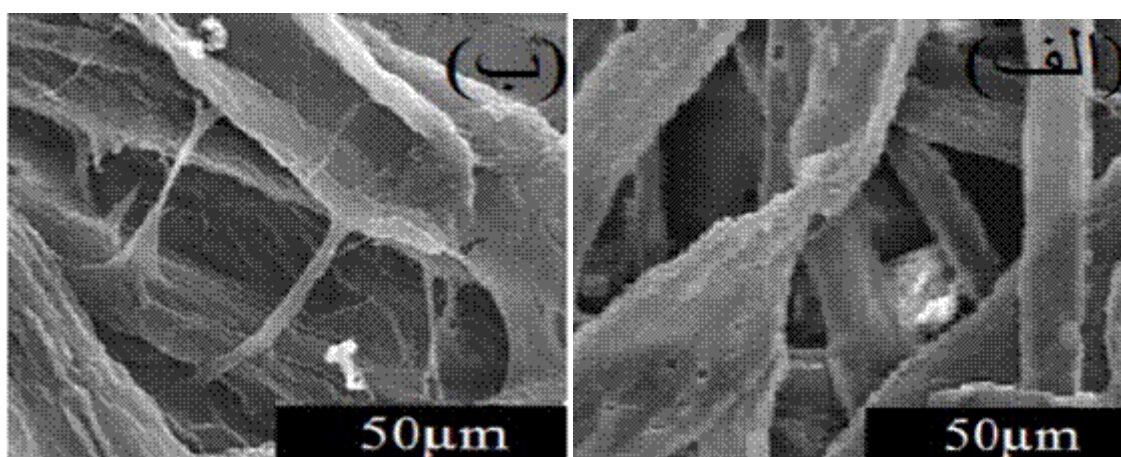
\*معنی‌داری در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد



شکل ۷- تأثیر تیمارهای مختلف بر درجه ماتی کاغذهای دست‌ساز

الیاف توسط آنزیم ویسکوزیم در غلظت ۰/۵ IU و زمان واکنش یک ساعت عمدتاً در سطح بیرونی الیاف و به مقدار بیشتری اتفاق افتاده و باعث فیبریل شدن خارجی بیشتر الیاف شده است (شکل ۸ ب) که با نتایج حاصل از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای تیمار شده با آنزیم مطابقت دارد.

آنالیز تصویری با میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان با استفاده از میکروسکوپ الکترونی FE-SEM، تغییرات مورفولوژیکی الیاف خمیرهای شاهد و خمیرهای تیمار شده با آنزیم بررسی شد. مشاهدات حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که عمل فیبریلاسیون



شکل ۸- تصاویر FE-SEM خمیر سودای باگاس بدون تیمار آنزیمی (الف) و خمیرهای تیمار شده با غلظت آنزیم ۰/۵ IU و زمان واکنش یک ساعت (ب)

## معادلات امتیازدهی

در این تحقیق برای تعیین بهترین تیمار آنزیمی جهت تولید کاغذ چاپ و تحریر از معادلات امتیازدهی مطابق با ۳ الگوی تعریف شده استفاده شده است. در الگوهای تعریف شده در معادلات امتیازدهی، مقادیر درصد اهمیت خواص مقاومتی نظیر شاخص مقاومت به کشش ( $X_1$ )، شاخص مقاومت به ترکیدن ( $X_2$ ) و شاخص مقاومت به پارگی ( $X_3$ ) و ویژگی نوری نظیر درجه ماتی ( $X_4$ ) در جدول ۴ ارائه شده است. هدف از تغییرات درصد اهمیت

خواص این است که مشخص شود آیا با تغییر درصد اهمیت هر یک از خواص مورد بررسی، نتیجه حاصل از معادلات امتیازدهی جهت انتخاب بهترین تیمار آزمایشی تغییر می‌کند و یا اینکه یکسان باقی می‌ماند. از تقسیم کردن مقادیر درصد اهمیت بر میانگین کل هر یک از خواص نوری و مکانیکی کاغذهای دست‌ساز، معادلات امتیازدهی برای داده‌های حاصل از آزمایش‌ها به شرح زیر به دست آمده است.

جدول ۴- درصد اهمیت ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذ سودای باگاس در محاسبه معادلات امتیازدهی

ویژگی/الگو	الگوی ۱	الگوی ۲	الگوی ۳
شاخص مقاومت به کشش ( $X_1$ )	۳۰	۳۵	۲۵
شاخص مقاومت به ترکیدن ( $X_2$ )	۱۰	۵	۱۵
شاخص مقاومت به پارگی ( $X_3$ )	۳۰	۲۵	۳۵
درجه ماتی ( $X_4$ )	۳۰	۳۵	۲۵

$$0.008X_1 + 0.058X_2 + 0.088X_3 + 0.039X_4 = 1 \quad (1)$$

$$0.0094X_1 + 0.029X_2 + 0.073X_3 + 0.046X_4 = 1 \quad (2)$$

$$0.0067X_1 + 0.088X_2 + 0.103X_3 + 0.033X_4 = 1 \quad (3)$$

ایجاد نشد و بهترین تیمار آزمایشی در هر ۳ الگو، تیمار آنزیمی با غلظت IU ۰/۵ و زمان واکنش یک ساعت بود (جدول ۵).

محاسبات انجام شده نشان داد که مطابق با ۳ الگوی تعریف شده، نتیجه تقریباً یکسانی به لحاظ رتبه‌بندی تیمارها به دست آمد. به عبارت دیگر با تغییر درصد اهمیت هر یک از خواص، تغییری در نتیجه معادلات امتیازدهی

جدول ۵- امتیازات و رتبه‌بندی کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف کاغذ سودای باگاس

رتبه	امتیاز	ماتی	شاخص مقاومت به پارگی	شاخص مقاومت به ترکیدن	شاخص مقاومت کششی	خواص	الگو
						تیمار	
۱۱	۰/۹۳۲	۰/۳۰۷	۰/۳۰۶	۰/۰۷۰	۰/۲۴۹	شاهد	
۳	۱/۰۲۷	۰/۳۰۰	۰/۲۹۸	۰/۱۰۸	۰/۳۲۱	پالایش مکانیکی	
۷	۰/۹۹۵	۰/۳۰۵	۰/۳۲۲	۰/۰۸۹	۰/۲۷۹	۰/۵IU و ۰/۵ ساعت	
۱	۱/۰۴۲	۰/۲۹۹	۰/۳۰۷	۰/۱۱۰	۰/۳۲۷	۰/۵IU و ۱ ساعت	
۲	۱/۰۲۹	۰/۲۹۵	۰/۳۱۱	۰/۱۰۸	۰/۳۱۵	۰/۵IU و ۲ ساعت	
۵	۱/۰۱۷	۰/۳۰۱	۰/۳۰۳	۰/۱۰۴	۰/۳۰۹	۱IU و ۰/۵ ساعت	۱
۴	۱/۰۲۲	۰/۲۹۸	۰/۲۹۴	۰/۱۰۹	۰/۳۲۱	۱IU و ۱ ساعت	
۶	۱/۰۱	۰/۲۹۳	۰/۲۹۹	۰/۱۰۷	۰/۳۱۰	۱IU و ۲ ساعت	
۸	۰/۹۸۹	۰/۳۰۲	۰/۲۸۴	۰/۱۰۲	۰/۳۰۱	۲IU و ۰/۵ ساعت	

۹	۰/۹۷۸	۰/۳۰۱	۰/۲۸۲	۰/۰۹۹	۰/۲۹۶	۲IU و ۱ ساعت
۱۰	۰/۹۶۴	۰/۳۰۰	۰/۲۷۹	۰/۰۹۴	۰/۲۸۲	۲IU و ۲ ساعت
۱۱	۰/۹۴۴	۰/۳۶۲	۰/۲۵۴	۰/۰۳۵	۰/۲۹۳	شاهد
۳	۱/۰۲۹	۰/۳۵۳	۰/۲۴۷	۰/۰۵۳	۰/۳۷۶	پالایش مکانیکی
۷	۰/۹۹۸	۰/۳۵۹	۰/۲۶۷	۰/۰۴۵	۰/۳۲۷	۰/۵IU و ۰/۵ ساعت
۱	۱/۰۴۶	۰/۳۵۲	۰/۲۵۴	۰/۰۵۵	۰/۳۸۵	۰/۵IU و ۱ ساعت
۲	۱/۰۳	۰/۳۴۸	۰/۲۵۸	۰/۰۵۴	۰/۳۷۰	۰/۵IU و ۲ ساعت
۵	۱/۰۲۲	۰/۳۵۶	۰/۲۵۱	۰/۰۵۲	۰/۳۶۳	۱IU و ۰/۵ ساعت
۴	۱/۰۲۸	۰/۳۵۲	۰/۲۴۴	۰/۰۵۵	۰/۳۷۷	۱IU و ۱ ساعت
۶	۱/۰۱۱	۰/۳۴۶	۰/۲۴۸	۰/۰۵۳	۰/۳۶۴	۱IU و ۲ ساعت
۸	۰/۹۹۶	۰/۳۵۵	۰/۲۳۶	۰/۰۵۱	۰/۳۵۴	۲IU و ۰/۵ ساعت
۹	۰/۹۸۶	۰/۳۵۵	۰/۲۳۴	۰/۰۴۹	۰/۳۴۸	۲IU و ۱ ساعت
۱۰	۰/۹۶۴	۰/۳۵۴	۰/۲۳۲	۰/۰۴۷	۰/۳۳۱	۲IU و ۲ ساعت
۱۱	۰/۹۳۲	۰/۲۵۹	۰/۳۵۸	۰/۱۰۶	۰/۲۰۹	شاهد
۳	۱/۰۳۶	۰/۲۵۴	۰/۳۴۹	۰/۱۶۴	۰/۲۶۹	پالایش مکانیکی
۷	۱/۰۰۴	۰/۲۵۸	۰/۳۷۷	۰/۱۳۶	۰/۲۳۳	۰/۵IU و ۰/۵ ساعت
۱	۱/۰۵۲	۰/۲۵۳	۰/۳۵۸	۰/۱۶۷	۰/۲۷۴	۰/۵IU و ۱ ساعت
۲	۱/۰۴۲	۰/۲۴۹	۰/۳۶۴	۰/۱۶۵	۰/۲۶۴	۰/۵IU و ۲ ساعت
۵	۱/۰۲۵	۰/۲۵۵	۰/۳۵۴	۰/۱۵۸	۰/۲۵۸	۱IU و ۰/۵ ساعت
۴	۱/۰۳	۰/۲۵۳	۰/۳۴۴	۰/۱۶۵	۰/۲۶۸	۱IU و ۱ ساعت
۶	۱/۰۱۹	۰/۲۴۸	۰/۳۵۰	۰/۱۶۲	۰/۲۵۹	۱IU و ۲ ساعت
۸	۰/۹۹۵	۰/۲۵۵	۰/۳۳۳	۰/۱۵۵	۰/۲۵۲	۲IU و ۰/۵ ساعت
۹	۰/۹۸۰	۰/۲۵۴	۰/۳۲۹	۰/۱۴۹	۰/۲۴۸	۲IU و ۱ ساعت
۱۰	۰/۹۶۱	۰/۲۵۴	۰/۳۲۸	۰/۱۴۳	۰/۲۳۶	۲IU و ۲ ساعت

## نتیجه‌گیری

نتایج حاصله از این تحقیق نشان داد که بیوتکنولوژی تأثیر مثبتی در صنایع خمیر کاغذ دارد و پیش‌تیمار آنزیمی ویسکوزیم دیواره سلولی سطح الیاف را تخریب می‌کند و در نتیجه دیواره اولیه و لایه خارجی دیواره ثانویه حذف شده و با فیبریله کردن لایه میانی دیواره ثانویه منجر به افزایش سطوح در دسترس بیشتر می‌شود. علت کاهش درجه روانی خمیر کاغذ را می‌توان به تأثیر اصلی آنزیم یعنی فیبریله شدن داخلی و خارجی الیاف و شکل‌گیری نرمه‌ها نسبت داد و با افزایش آب‌دوستی الیاف نیز، مقدار ماندگاری آب افزایش یافت. در واقع این آنزیم با کاهش دادن درجه روانی خمیر کاغذ مخصوصاً در غیاب فرآیند پالایش، تأثیر مفیدی در کاهش مصرف انرژی در صنعت کاغذ دارد؛ اما با ادامه روند پیش‌تیمار آنزیمی (غلظت ۲IU)، آنزیم به مناطق نامنظم (آمورف) حمله می‌کند و

سطح الیاف از طریق هیدرولیز آنزیمی لایه‌های مکرر الیاف و یا فیبریل‌ها به صورت نواری می‌شود و این امر منجر به افزایش درجه روانی خمیر کاغذ و کاهش مقاومت ذاتی الیاف و در نتیجه افت ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ شد؛ بنابراین تعیین تیمار آنزیمی بهینه نقش کلیدی در بهبود کیفیت خمیر و کاغذ دارد. استفاده از آنزیم تا غلظت ۱IU در خمیر کاغذ پالایش نشده در بهبود خواص مقاومتی خمیر کاغذ از جمله؛ شاخص مقاومت به کشش و ترکیدن بسیار مؤثر است، چنان‌که تمامی خصوصیات کاغذ تیمار شده با آنزیم در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور فراوانی بهبود یافته است. با توجه به ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذ، زمان واکنش ۱ ساعت و غلظت آنزیم ۰/۵IU به‌عنوان بهترین تیمار پیشنهادی انتخاب شد. در ضمن خمیر پالایش‌شده مکانیکی در مقایسه با تیمار آنزیمی بهینه مطابق با جدول ۵ در رتبه پایین‌تری قرار گرفت؛ زیرا در

شدت کمتر همراه با حفظ میانگین طولی الیاف تأمین کرد  
و بدین ترتیب امکان تولید کاغذهای با کیفیت بهتر را  
فراهم نمود.

طی عمل پالایش، مقاومت به پارگی کاغذ به دلیل کوتاه  
شدن طول الیاف کاهش می‌یابد. لذا با کمک پیش‌تیمار  
آنزیمی بهینه می‌توان عملیات پالایش خمیرکاغذ را با

## مراجع

- [1] Bissoon, S., Singh, S. and Singh, S., 2002. Evaluation of the bleach enhancing effect on xylanases on bagasse pulp. *Biotechnology in the pulp and paper industry. Process Biochemistry*, 37(6): 567-572.
- [2] Aehle, W., 2007. *Enzymes in industry, production and applications*. 517 p.
- [3] Bajpai, P. and Bajpai, P.K., 1999. *Biotechnology for environmental protection in the pulp and paper industry*. 330 p.
- [4] Bajpai, P., Mishra, S.P., Mishra, O. P., Kumar, S. and Bajpai, P.K., 2006. Use of enzymes for reduction in refining energy – laboratory studies. *Tappi Journal*, 5(11): 25-32.
- [5] Dienes, D., Egyházi, A. and Réczey, K., 2004. Treatment of recycled fibre with *Trichoderma cellulases*. *Industrial Crops and Products*, 20(1): 11–21.
- [6] Viikari, L., 2002. Trends in pulp and paper biotechnology. In: *Progress in Biotechnology. Biotechnology in the pulp and paper industry. Tappi Journal*, 21(3): 1-6.
- [7] Sing, R. and Bhardwaj, N.K., 2010. Enzymatic refining of pulps: an overview. *Ippta Journal*, 22(2): 109-116.
- [8] Kirk, K., Jeffries, T. and Thomas, W., 1996. Roles for microbial enzymes in pulp and paper Processing. *Ippta Journal*, 23(10): 23-35.
- [9] Verma, P., Bhardwaj, N.K. and Chakraborti, S.K., 2010. Enzymatic upgradation of secondary fibers. *Iranian Ippata Journal*, 22(4): 133-136.
- [10] Sari, F.D., Elyani, N., Rozikin, H. and Kusumawati, L., 2007. Biorefining as an alternative technology for pulp refining. *Cellulose new*, 42(1): 1-7.
- [11] Tripathi, S., Sharma, N., Mishra, O.P., Bajpai, P. and Bajpai, P.K., 2008. Enzymatic refining of chemical pulp. *Ippta Journal*, 20(2): 129-132.
- [12] Gil, N., Gil, C., Amaral, M.E., Costa, A.P. and Duarte, A.P., 2009. Use of enzymes to improve the refining of a bleached *Eucalyptus globulus* kraft pulp. *Biochemical Engineering Journal*, 46: 89– 95.

## Use of viscozyme enzyme as an alternative technology for pulp refining and improvement bagasse soda pulp properties

### Abstract

In this research, the effect of enzyme treatment on modifying bagasse soda pulp properties was investigated. Viscozyme enzyme (mixture of carbohydrates degrading enzymes), extracted from fungus *Aspergillus aculeatus*, was added to pulp at different dosages of 0.5, 1, and 2 IU (based on per gram of oven-dried pulp) at reaction times of 0.5, 1, and 2 hours. Tappi standard was used for handsheets preparation. Analysis of variance and Duncan test were used for comparing handsheets properties and the resulted means, respectively. The results showed that pulp freeness and polymerization degree decreased as the enzyme dosages and reaction times increased. In fact, enzymatic pretreatment by partial fiber fibrillation played the role of a refiner and improved the mechanical properties of the paper. Tensile and burst indices were improved by enzymatic treatment. Enzyme concentration of 0.5 IU and 1hr reaction time had the most effect on tensile and burst indices. Although higher enzyme concentrations (2IU) decreased the strength properties of pulps due to declined viscosity, these enzyme treated pulps had higher strength properties compared to the control sample.

**Keywords:** Viscozyme, Bagasse soda pulp, Polymerization degree, Fiber fibrillation, Enzymatic pretreatment.

V. Vaziri<sup>1\*</sup>  
A.R. Saraeyan<sup>2</sup>  
E. Afra<sup>3</sup>  
F. Faraji<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduated Ph.d, Pulp and Paper Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>1,4</sup>Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Gonbad Kavous University

<sup>2</sup> Associate Professor, <sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Corresponding author:  
[vahidvaziri@gmail.com](mailto:vahidvaziri@gmail.com)

Received: 2015.01.09  
Accepted: 2015.06.06