مروری بر کاربرد بیوتکنولوژی در نساجی: نقش آنزیمها

A Review on the Application of Biotechnology in Textile: The Role of Enzymes

ناهید همتی‌نژاد، سهیلا سلحشور کردستانی
دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی
دریافت: ۷۷/۱/۱۵، پذیرش: ۷۷/۱۱/۱۴

چکیده

بالغ بر دو دهه است که مسائل آلودگی زیست محیطی انسان را وادار به استفاده از مواد جایگزین با آثار جانبی کمتر کرده است. با پیشرفت علم بیوتکنولوژی، استفاده از آنزیمها به جای مواد شیمیایی رایج در نساجی و ایجاد خواص موردنظر و ویژه در کالا از اهمیت خاصی برخوردار شده است. با استفاده از آنزیمها نه تنها مشکل زیست محیطی حل می‌شود، بلکه کیفیت و پایداری عملیات نیز بهتر خواهد بود. در این مقاله، بررسی عمومی در مورد چگونگی استفاده از آنزیمها و امکان بکارگیری آنها در فرایندهای تکمیل نساجی انجام می‌گیرد. این مطالعات بیشتر روی الیاف پشم، پنبه و ابریشم متمرکز است و در پایان، چشم‌انداز کاربردهای آینده نیز بحث می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سلولاز، پکتیناز، لیپاز، آمیلاز، زیست‌پرداخت
Key Words: cellulase, pectinase, lepase, amilase, biopolishing

مقدمه

بیوتکنولوژی (زیست فن‌آوری) تلفیق روندهای بیولوژیک (زیست‌شناختی) و تکنولوژی (فن‌آوری) است که برخی از این تکنولوژیها قدیمی و برخی جدیدند. بیوتکنولوژی را به عنوان تکنولوژی استفاده از پدیده‌های زیستی برای نسخه‌برداری و تولید صنعتی انواع مختلف مواد مفید درنظر گرفته‌اند. بنیاد ملی علوم (National Science Foundation, NSF) آمریکا بیوتکنولوژی را استفاده کنترل شده از مواد زیستی مانند میکروارگانیسمها یا اجزای سلولی برای استفاده مفید تعریف کرده است. بول و همکارانش (۱۹۸۲) بیوتکنولوژی را کاربرد اصول و قوانین علوم تجربی و مهندسی برای پردازش مواد به وسیله عوامل و عناصر زیستی در جهت ارائه کالاها و خدمات تعریف کرده‌اند. این تعریف اصول و قوانین علوم تجربی و مهندسی طیف وسیعی از رشته‌ها را دربرمی‌گیرد که در عین حال تکیه اساسی بر میکروب‌شناسی، ژنتیک و زیست شیمی دارد. واژه عوامل و عناصر نیز شامل طیف گسترده‌ای از کاتالیزورهای زیستی نظیر آنزیمها، میکروارگانیسمها، سلولهای جانوری و گیاهی است. واژه مواد نیز عمومی است و دلالت بر مواد آلی و معدنی دارد. کالاها نیز در تعریف فوق بر همه فراورده‌های صنعتی شامل مواد غذایی، داروها، نساجی و مواد زیست شیمیایی دلالت می‌کند و منظور از خدمات نیز عمدتا خالص‌سازی آب و پسابهای صنعتی و خانگی و تولید انرژی است [۱].

بنابراین، بیوتکنولوژی موضوعی با قلمروهای متعدد است که شامل شبکه‌ای درهم پیچیده از فعالیتهاست. این شبکه هم نشانگر رابطه متقابل اجزا و رشته‌های مختلف است و هم منعکس کننده زمینه‌های کاربردی آنها در صنعت. بطور کلی بیوتکنولوژی شامل دو محور اصلی است:

۱- استفاده از کاتالیزورهای بیولوژیک (زیست کاتالیزورهای)

۲ - استفاده از تکنولوژی متناسب با آن که به بهترین نحو از کاتالیزور مزبور استفاده شود.

آنزیمها در گیاهان، حیوانات و میکروارگانیسمها نقش بسیار مهمی در سلول ایفا می‌کنند. آنزیمها چندین سال است که در صنایع غذایی شناخته شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. کاربرد آنزیمها در صنایع نساجی در حدود سال ۱۸۵۷ شروع شد. زمانی که مالت استخراج شده برای زدودن آهارهای نشاسته‌ای از کالای نساجی قبل از رنگرزی بکار گرفته شد. در سال ۱۹۱۹ آنزیم راپیداز (rapidase) بازار فروش خوبی پیدا کرد. این آنزیم برای محلول ساختن آهارهای نشاسته و زدودن آن از کالا مصرف می‌شد که آسیبی به کالا وارد نمی‌کرد. بنابراین، بسرعت جایگزین روش رایج آهارگیری با اسید شد. پس از آن، تحقیقات بعدی روی بهینه‌سازی کاربرد این آنزیم در صنعت متمرکز شد. در سالهای اخیر با پیشرفت علم بیوتکنولوژی روند جدیدی در کاربرد آنزیمها در نساجی ایجاد شده که با بکارگیری روش مناسب نتایج قابل توجهی به همراه داشته است [۲].

آنزیمها با عنوان بیوکاتالیزور (زیست کاتالیزور) نامگذاری شده‌اند. آنها مولکولهایی با ساختار عمدتا پروتئینی‌اند که بر اساس نوع و چگونگی ترتیب قرار گرفتن آمینو اسیدهای موجود در زنجیر پپتید و بود یا نبود یون فلزی از هم متمایز می‌شوند. آنزیمها براحتی قابل تجزیه بوده و در نتیجه آثار زیانبار برای محیط زیست ندارند. همچنین واکنشهای خاصی را روی یک سوبسترای ویژه انجام می‌دهند و این عمل شیمیایی بدون ایجاد هرگونه واکنش نامطلوب جانبی صورت می‌گیرد و در نهایت هم براحتی غیرفعال می‌شود و واکنش خاتمه می‌یابد.

آنزیمها در آب به شکل پیچک (coil)اند، بطوری که بیشتر پروتئینهای آبدوست در ساختار داخلی قرار می‌گیرند که امکان تشکیل پیوند هیدروژنی با آب یا مولکول دیگر را می‌دهند.

آنزیمها در سلول زنده انجام وظیفه می‌کنند و آب محیطی مناسب برای آنها بشمار می‌رود. از این رو، در شرایط متوسط فشار، گرما و pH عمل می‌کنند. در ساختار آنزیم مکانهایی وجود دارد که در آمینواسیدهای خاص به ترتیبی قرار می‌گیرند که مناسب سوبستراست. به عبارتی، عوامل شیمیایی خاص به گونه‌ای قرار می‌گیرند که برای تشکیل کمپلکس آنزیم-سوبسترا مناسب باشند. چنین مکانی را موضع فعال آنزیم گویند.

آنزیمها عملیات متفاوتی نظیر هیدرولیز، اکسایش، تجزیه و غیره را کاتالیز می‌کنند [۳]. کاتالیزورهای آنزیمی سرعت بسیار زیادی نسبت به کاتالیزورهای شیمیایی دارند. همچنین، برای انجام این عملیات مصرف انرژی کمتری لازم است. آنزیمها بطور اختصاصی عمل می‌کنند و مشکلات و مسائل زیست محیطی را با استفاده از این مواد به جای مواد شیمیایی رایج می‌توان حل کرد.

آنزیمها بر طبق عملکردشان تقسیم‌بندی می‌شوند و عمده‌ترین آنها به قرار زیرند:

- آمیلازها که نشاسته را تجزیه و قندهای ساده تولید می‌کنند.
- پروتئینازها که مولکولهای پروتئین را تجزیه و در نهایت آمینواسید تولید می‌کنند.
- لیپازها که چربیها را هیدرولیز کرده و اسیدهای آلی و الکل تولید می‌کنند.
- سلولازها که مواد سلولوزی را هیدرولیز کرده و سرانجام گلوکوز می‌دهند.
- پکتینازها که هیدرولیز پکتین را انجام می‌دهند.
- پروکسیدازها که تجزیه پروکسید را بعهده دارند.

در سالهای اخیر در نساجی استفاده از آنزیمها افزایش یافته است که تحقیقات انجام گرفته در این زمینه را می‌توان بصورت زیر خلاصه کرد:

- آهارگیری با استفاده از آنزیمهای آمیلاز [۷-۴].
- صمغ‌گیری ابریشم با استفاده از پروتئینازها [۸،۹].
- استفاده از پروتئینازها در صنایع چرم و دباغی [۱۰،۱۱].
- زیست‌پرداخت کالای پنبه‌ای با استفاده از سلولازها [۱۷-۱۲].
- ضد آب رفتگی کالای پشمی با استفاده از پروتئینازها [۲۰-۱۸].
- استفاده از پروکسیدها پس از عملیات سفیدگری کالای پنبه‌ای جهت بهبود رنگرزی و همچنین جلوگیری از آلودگی پساب و محیط زیست [۲،۸].
- سنگ‌شویی کالای پنبه‌ای با استفاده از آنزیمها [۲،۸].
- استفاده از آنزیمها برای جلوگیری از رشته رشته شدن (فیبریله شدن) الیاف لیوسل [۲،۸،۲۱].
- استفاده از پکتینازها برای آماده‌سازی و شستشوی کالای نساجی [۸،۱۳].
- استفاده از لیپازها برای از بین بردن واکس و چربی و آماده‌سازی کالا [۳].

این مقاله مروری بر استفاده از آنزیمها در کاربردهای امروزی نساجی و دورنمای استفاده از این مواد است.

بحث

الیاف سلولوزی و واکنشهای آنزیمی

سلولوز از واحدهای کوچک گلوکوز تشکیل شده و در واقع یک پلی D-β(۱-۴) گلوکوز است. سلولازها آنزیم‌های هیدرولیز کننده

پلی (۴-۱)-D-β گلوکوز است. سلولازها آنزیم‌های هیدرولیز کننده سلولوزند. سلولوز با یک آنزیم تنها هیدرولیز نمی‌شود، اما به کمک مجموعه فعالیتهای آنزیمی که با نظمی خاص عمل می‌کنند هیدرولیز می‌شود. تجزیه سلولوز در طبیعت به آهستگی انجام می‌پذیرد، زیرا معدودی از میکروارگانیسمها سلولاز را تولید می‌کنند که قادر به تجزیه کامل سلولوز و تولید گلوکوز است.

ساختار بلوری سلولوز حمله آنزیمی را مشکل می‌کند و قسمت بی‌شکل خیلی سریع تجزیه می‌شود. در ضمن، همراه بودن سلولوز با همی‌سلولوز، لیگنین و گاهی پکتین باعث می‌شود که حمله آنزیمی سلولاز به سلولوز کندتر شود [۳،۶،۲۲،۲۳].

آنزیمهای سلولاز تهیه شده از منابع مختلف دارای خواص مولکولی متفاوت از جمله وزن مولکولی، ترکیب آمینواسیدها و ترتیب قرار گرفتن آنها، نقطه ایزوالکتریک و محتوای کربوهیدرات‌اند. نسبت اجزای سلولازها به منبع و محیط کشت بستگی دارد [۲۴،۲۵].

بر اساس مطالعات انجام گرفته [۶] انواع مختلفی از آنزیمها در سیستمهای سلولازی وجود دارد که بر حسب نوع عملکرد تقسیم‌بندی می‌شوند و مهمترین آنها عبارتند از:

۱ - آندوسلولازها (Endo β-1،4 Glucanase) (EGS) که در هر محل شکستن تولید باقیمانده‌ای با گروه انتهایی و باقیمانده دیگری بدون گروه انتهایی می‌کنند.

۲ - سلوبیوهیدرولازها (Exo β-1،4 Glucanase) (CBH) که واحدهای سلوبیوز را از انتهای زنجیر بصورت مرحله‌ای تولید می‌کند.

۳ - بتاگلوکوزیدازها یا سلوبیازها که هیدرولیز سلوبیوز به گلوکوز را بعهده دارد. ممکن است یک گونه قارچی مجموعه این فعالیتهای آنزیمی را بدست دهد.

آندوسلولازها پیوندهای داخلی سلولوز را بطور تصادفی هیدرولیز می‌کنند و دو زنجیر کوتاهتر با سرهای آزاد می‌دهند که زمینه را برای عمل آنزیمهای سلوبیوهیدرولازها فراهم می‌کند [۲۶،۲۷]. این آنزیمها ابتدا نواحی بی‌شکل را هیدرولیز می‌کنند و سپس به قسمت نواحی بلوری با فعالیت کم هیدرولیتی پیش می‌روند. سیستمهای سلولازی کامل که باعث تخریب سلولوز می‌شوند آندوسلولازهایی دارند که قویا روی سطح سلولوز جذب می‌شوند و می‌توانند سلولوز بلوری را نیز تخریب کنند [۲۸].

سلوبیوهیدرولازها اگزوگلوکانازهایی‌اند که واحدهای سلوبیوز را از انتهای سلولوز هیدرولیز کرده [۲۹،۳۰] و یک واحد سلوبیوز را از یکی از دو سر زنجیر سلولوزی جدا می‌کنند. مطالعات انجام شده به وسیله میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد که دو نوع CBH (I,II) وجود دارد که یکی از آنها روی انتهای زنجیر عمل کرده، در حالی که دیگری به سطح بلوری حمله می‌کند. این آنزیمها روی سلودکسترینها و سلولوز بلوری اثر می‌کنند، اما بر سلوبیوز یا کربوکسی متیل سلولو (CMC) بی‌اثرند [۳۱-۳۳]. بتاگلوکوزیدازها زنجیرهای الیگوساکاریدی کوتاه که از سلولوز مشتق شده‌اند و همین‌طور سلوبیوز را هیدرولیز می‌کنند، که در این صورت مونومرهای گلوکوز تولید می‌شود و نمی‌توانند سلودکسترینهای با زنجیر بلند را هیدرولیز کنند [۳۴]. در حین عملیات آنزیمی مقدار سلوبیوز افزایش می‌یابد و باعث می‌شود که سلوبیوزها در فرایند عمل آنزیمی به عنوان بازدارنده عمل کنند. اما، از طرفی بتاگلوکوزیدازها در این فرایند از کند شدن فعالیت آنزیمی جلوگیری می‌کنند [۳۴،۳۵]. سلولازها معمولا بر اساس pHی، که در آن بیشترین فعالیت را دارند دسته‌بندی می‌شوند. آنزیمهای پایدار در محیط خنثی در pH=۶-۷/۵ بهترین فعالیت را دارند و دمای بهینه فعالیت آنها ۵۰ °C است.

آنزیمهای اسیدی در pH=۴/۵-۵/۵ و دمای ۵۰ °C بهترین فعالیت را نشان می‌دهند. این دو نوع سلولاز در نساجی مفیدند و سلولازهای مقاوم در محیط قلیایی در شوینده‌ها قابل استفاده‌اند.

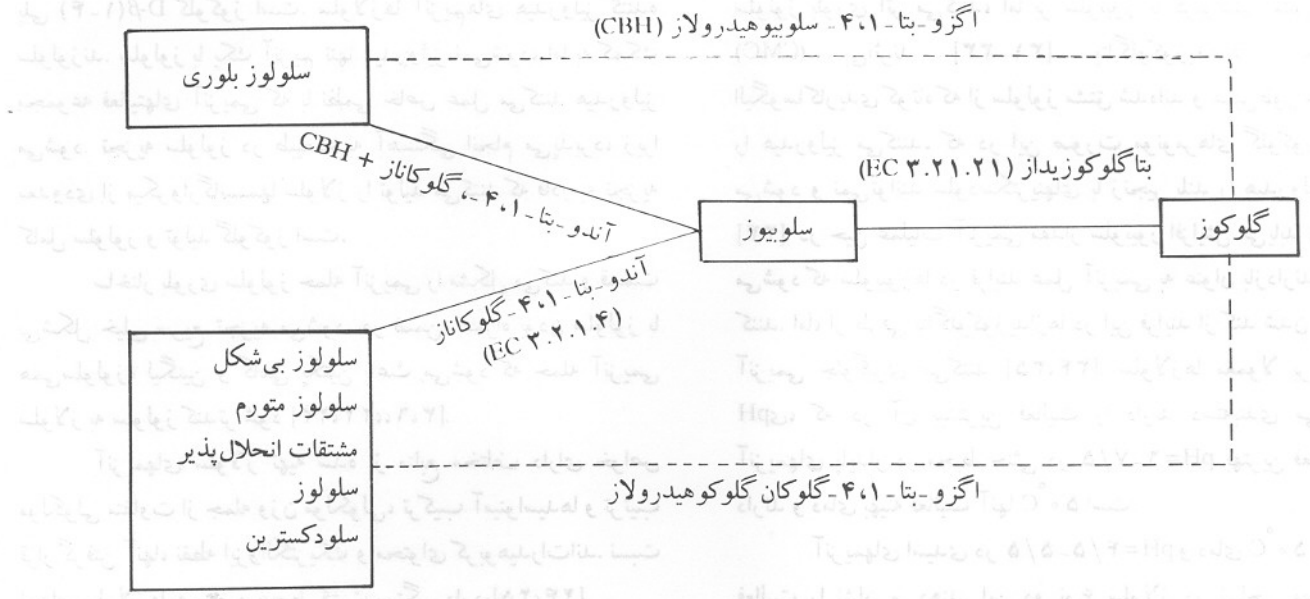
اکثر آنزیمهای سلولازی از یک پروتئین مرکزی تشکیل شده‌اند که موضع کاتالیزوری است. در این قسمت بخش انعطاف‌پذیر غنی از آمینواسیدهای سرین، پرولین، تره‌ئونین وجود دارد که قسمت پیوندی نامیده می‌شود و به موضع اتصال به سوبسترا متصل شده است [۳۶،۳۷].

موضع اتصال CBD دارای یک گروه COOH- یا NH_2- است و قسمت اساسی آنزیم برای حمله به سلولوز بلوری است.

برای شناخت مکانیسم حمله آنزیمی به سلولوز و صنعتی کردن آن بررسی تاثیر خصوصیات ساختار مواد سلولوزی بر سرعت هیدرولیز آنزیمی لازم است. خصوصیاتی که اثرشان بر هیدرولیز مطالعه می‌شود عبارتند از:

- درجه تورم در آب،
- بلورینگی،
- آرایش مولکولی،
- مقدار مواد همراه سلولوز مانند لیگنین و همی‌سلولوز،
- ساختار لوله مویین الیاف و سطوح قابل دسترس،
- درجه پلیمرشدن،
- پیوندهای گلوکوزیدی در دسترس.

بحث درباره مکانیسم تجزیه سلولاز روی پنبه همچنان با ارائه نظریه‌های متفاوت ادامه دارد، اما روشن است که مرحله اول آن، جذب سلولاز روی سطح سلولوز است که با حمله آندوسلولازها صورت می‌گیرد و کمپلکسی تشکیل می‌شود. جذب تحت تاثیر خواص شیمیایی و فیزیکی سوبسترا، ترکیب اجزای سلولاز و عوامل واکنش مانند دما و pH است. گفته می‌شود که جذب بهتر باعث فعالیت کاتالیزوری بیشتر می‌شود



طرح ۱ - مدل تجزیه آنزیمی سلولوز [۲۰].

بعد از شکستن یک واحد گلوکوز، مولکول آنزیم به موضع دیگر حمله می‌کند یا از همان جا به تجزیه ادامه می‌دهد. اینکه آنزیم به موضع دیگری می‌رود یا نه، وابسته به ماهیت سلولاز یا حتی ساختار لیف است. مولکول سلولاز دارای سه ناحیه است:

- بخشی که بسرعت به مولکول سلولوز می‌چسبد.
- مرکز یا هسته‌ای که فعالیت کاتالیزوری دارد.
- اتصال دهنده (linker) که پلی بین آنزیم و سلولوز است.

بر اساس پژوهشهای انجام شده گروهی از محققان طرح ۱ را برای تجزیه آنزیمی سلولوز پیشنهاد کرده‌اند [۲۱].

مهمترین مطالعات انجام گرفته در زمینه استفاده از آنزیم سلولاز در نساجی شامل آهارگیری [۳۸]، شستشو و سفیدگری [۳۹]، سنگ‌شویی [۴۰] و زیست‌پرداخت کالای پنبه‌ای است. تاثیر عملیات مرسریزه شدن در هیدرولیز آنزیمی و اسیدی نیز بررسی شده است [۳۰].

آهارگیری

از کارهای متداولی که به کمک آنزیمها صورت می‌گیرد آهارگیری آنزیمی است. این عمل با استفاده از آنزیمهای آمیلولتیک انجام می‌شود که آهار نشاسته را بدون آسیب‌رسانی به سلولوز تجزیه می‌کند. در روش قدیمی آهارگیری از مواد اکسیدکننده یا اسید استفاده می‌شد که در استحکام کالای پنبه‌ای اثری منفی داشته است.

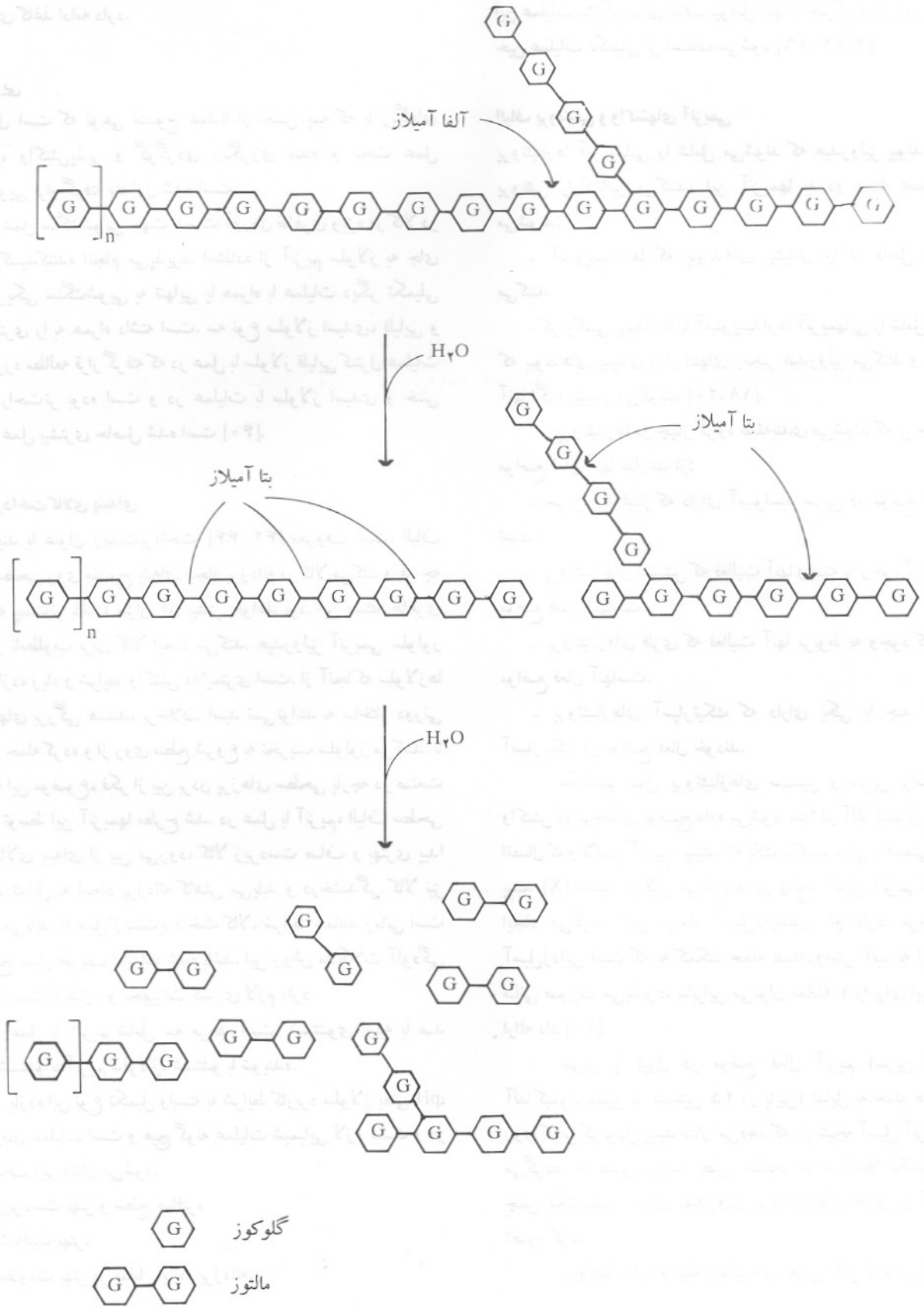
نشاسته‌ها شامل دو پلی‌ساکارید آمیلوز و آمیلوپکتین‌اند. آمیلازهای آلفا و بتا سبب شکستن درشت مولکول نشاسته در محل اتصال ۴-۱ کربن می‌شوند. آلفا آمیلاز نشاسته را به مولکول کوچکتر با وزن مولکولی کمتر دکسترین تجزیه می‌کند.

بتا آمیلاز پیوند (α ۴-۱) گلوکوزیدی را در نواحی خارجی می‌شکند و مالتوز می‌دهد. تجزیه کامل نشاسته به کمک آمیلاز منجر به تشکیل گلوکوز می‌شود که قابل حل در آب است (شکل ۱).

شستشو و سفیدگری

شستشوی پنبه و دیگر الیاف سلولوزی عمدتا در محیط قلیایی همراه با سطح فعال انجام می‌گیرد. مطالعه روی کاربرد آنزیمها در شستشوی پنبه بتازگی شروع شده است [۲].

کالای پنبه‌ای خام دارای پکتین، واکس و چربیهایی است که باید قبل از عملیات رنگرزی و تکمیل زدوده شود. پکتیازها، پکتین را تجزیه می‌کنند که پلی‌ساکارید دیواره سلول گیاهی است. لیپازها تجزیه چربیها را به عهده دارند و در واقع، هیدرولیز پیوندهای استری در چربیها را انجام می‌دهند و قابلیت اصلاح لیپوپروتئینها روی کوتیکول و غشای سلولی پشم را دارند. عملیات شستشو و سفیدگری با آنزیم و پلی‌گالاکتورونیک اسید، جهت داشتن سیستمی همگن در یک ساعت و pH=۴-۵ انجام شده و با سفیدگری معمولی و رایج همراه با پروکسید هیدروژن مقایسه و نتایج مطلوبتری حاصل شده است [۳۹،۴۱]. تحقیقات در این زمینه ادامه دارد و بررسی روی قسمتی از کمپلکس آنزیمی معطوف شده است که مسئولیت برطرف کردن آلودگیها از کالای سلولوزی را دارد. همچنین در صنایع کاغذسازی تحقیقات روی استفاده از آنزیمها به جای مواد کلردار در



شکل ۱ - چگونگی تجزیه نشاسته توسط آمیلاز [۱۶].

سفیدگری کاغذ ادامه دارد.

سنگ‌شویی

چند سال است که نوعی منسوج عمدتا از جنس پنبه که با رنگهای ایندیگو، واکنش‌پذیر و گوگردی رنگرزی شده و تحت عمل سنگ‌شویی قرار گرفته متداول شده است.

عمل سنگ‌شویی جهت بدست آوردن ظاهری ویژه در کالا در محیط اکسیدکننده انجام می‌پذیرد. استفاده از آنزیم سلولاز به جای عمل فیزیکی سنگ‌شویی به تنهایی یا همراه با عملیات دیگر تکمیلی نتایج بهتری را به همراه داشته است. سه نوع سلولاز اسیدی، قلیایی و خنثی مورد مطالعه قرار گرفته که در عمل با سلولاز قلیایی کنترل عملیات بهتر و راحت‌تر بوده است و در عملیات با سلولاز اسیدی و خنثی سرعت عمل بیشتری حاصل شده است [۴۰].

زیست‌پرداخت کالای پنبه‌ای

این فرایند با عنوان زیست‌پرداخت [۴۴-۴۲] معروف است. الیاف کوتاه سطحی روی منسوج پنبه‌ای ایجاد پرزدانه در کالا می‌کند و هر چه نوع پنبه پست‌تر باشد، میزان آن بیشتر خواهد بود. این مسئله ظاهری خشن و نامطلوب برای کالا ایجاد می‌کند. هیدرولیز آنزیمی سلولوز دارای بازده زیاد و شرایط واکنش ملایمتری است. از آنجا که سلولازها مولکولهای بزرگی هستند، برخلاف اسید نمی‌توانند به ساختار دورنی سلولوز حمله کرده و از روی سطح شروع به تخریب سلولوز می‌کنند. با توجه به این موضوع، فکر از بین بردن پرزهای سطحی پارچه در صنعت نساجی توسط این آنزیمها مطرح شد. در عمل با آنزیم، الیاف سطحی روی کالای پنبه‌ای از بین می‌رود، کالا زیردست صاف و بهتری پیدا می‌کند، تمایل به ایجاد پرزدانه کاهش می‌یابد و درخشندگی کالا نیز افزایش می‌یابد. با عمل زیست‌پرداخت کالا، شرایط همانند زمانی است که از نخ بسیار ظریف استفاده شده باشد. این روش مشکلات آلودگی محیط زیست را ندارد و تجهیزات کمتری لازم دارد.

عمل با آنزیم شامل سه مرحله است: شستشوی اولیه با ضد آهار، شستشو با آنزیم سلولاز، شستشو با شوینده.

بازده این نوع تکمیل وابسته به شرایط کاربرد سلولاز یعنی pH، دما و زمان عملیات است و هیچ گونه عملیات شیمیایی لازم نیست و در آن اهداف زیر دنبال می‌شود:

- زیردست بهتر و سطح صافتر،
- شفافیت بهتر،
- مقاومت بهتر در مقابل ایجاد پرزدانه.

این عملیات بتازگی برای الیاف لیوسل جهت جلوگیری از لیفی شدن در حین عملیات تکمیلی تر استفاده می‌شود [۱۶-۱۲، ۲].

الیاف پروتئینی و واکنشهای آنزیمی

پروتئینازها آنزیمهایی را شامل می‌شوند که هیدرولیز پیوند پپتید در پروتئین را کاتالیز می‌کنند، این آنزیمها به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند:

- آندوپپتیدازها که پیوندهای پپتیدی را از داخل هیدرولیز می‌کنند.
- کربوکسی پپتیدازها یا آمینوپپتیدازها آنزیمهایی را شامل می‌شوند که پیوندهای پپتیدی را از انتهای زنجیر هیدرولیز می‌کنند و بنابراین به آنها اگزوپپتیداز می‌گویند [۲۰، ۱۹].

پروتئینازها در چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند که بر حسب نوع مواضع فعال آنها عبارتند از:

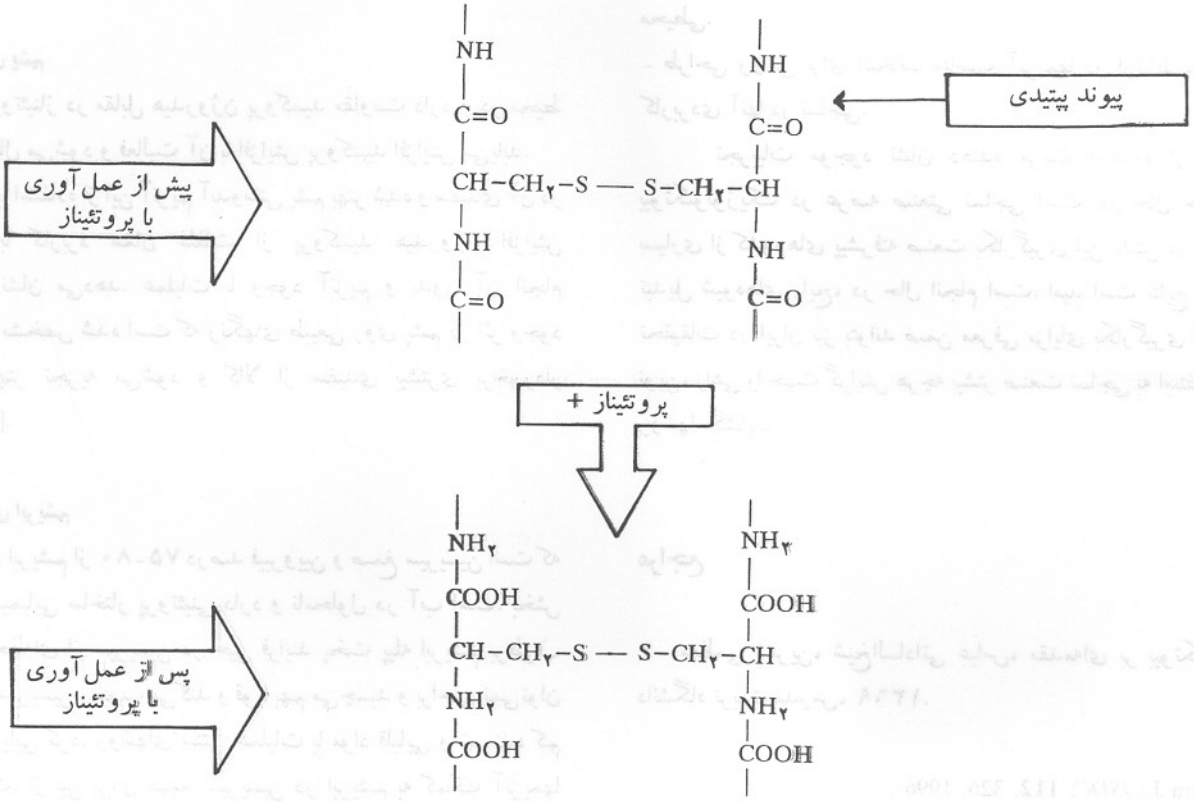
- سرین پروتئیناز که دارای آمینواسید سرین در موضع فعال خود است.
- پروتئینازهای سیستین که فعالیت آنها وابسته به وجود گروه SH در موضع فعال آنهاست.
- پروتئینازهای فلزی که فعالیت آنها مربوط به وجود کاتیونها در مواضع فعال آنهاست.
- پروتئینازهای آسپارتیک که دارای یکی یا چند آمینواسید آسپارتیک در مواضع فعال خودند.

مکانیسم عمل پروتئینازهای سیستین و سرین براساس یک واکنش دو مرحله‌ای توضیح داده می‌شود. مثلا در آلفاکیموتریپسین یک اتصال کووالانسی آنزیم-پپتید، که یک ترکیب میانی با قسمتی از زنجیر پپتید (X) است، تشکیل می‌شود و در واقع، آسیل آنزیم Ac-Phe-E ایجاد می‌گردد. این مرحله آسیل‌دارشدن نام دارد. مرحله بعدی آسیل‌زدایی است که به کمک حمله هسته‌دوستی آب به این ترکیب میانی صورت می‌پذیرد، بنابراین می‌توان معادله ۱ را برای این مکانیسم ارائه داد [۱۰].

سرین یا تیول در موضع فعال آنزیم (سرین ۱۹۵ در آلفاکیموتریپسین یا سیستین ۲۵ در پاپین) تمایل به حمله هسته‌دوستی روی کربن کربونیل پپتید نشان می‌دهد که در نتیجه آسیل آنزیم تشکیل می‌گردد. به همین ترتیب بطور مشابه، اما نه کاملا یکسان می‌توان چنین مکانیسمی رابرای هیدرولیز پروتئینازهای فلزی و آسپارتیکی تصور کرد.

پروتئینازها به وسیله زنجیرهای جانبی قابل تشخیص‌اند و مانند

$$\mathrm{Ac-Phe-X + E \rightleftharpoons Ac-Phe-XE \underset{K_{-2}}{\overset{K_2}{\rightleftharpoons}} Ac-Phe-E \underset{H_2O}{\overset{K_3}{\rightleftharpoons}} Ac-Phe-OH + E} \qquad (1)$$



شکل ۲ - چگونگی تجزیه پشم توسط پروتئینازها [۱۱].

دیگر آنزیمها کاملا اختصاصی عمل می‌کنند [۱۸،۲۰].

پروتئینازها را صنایع تخمیری در سطح تجارتی تولید می‌کنند و این آنزیمها مصارف گوناگون دارند. سوبتیلایزین (پروتئیناز سرین قلیایی) در شوینده‌ها مصرف می‌شود که باید مقاوم به محیط قلیایی باشد. پروتئینازها تجزیه الاستولیتی و کراتینولیتی را انجام می‌دهند، بنابراین در صنعت چرم از آنها استفاده می‌شود.

الیاف پشم که از آمینواسیدهای مختلف تشکیل شده است، به کمک پروتئینازها بطور اختصاصی تجزیه می‌شود (شکل ۲). در نتیجه هیدرولیز پشم به کمک پروتئینازها، طول زنجیر کوتاهتر شده و هیدرولیز کامل منجر به تولید آمینواسیدهای آزاد می‌شود. شکل واکنش مربوط را نشان می‌دهد [۱۰،۱۲،۱۸،۱۹].

از مهمترین کارهای انجام گرفته دز زمینه استفاده از پروتئینازها در نساجی می‌توان به ضد آب رفتگی و سفیدگری پشم [۲،۹،۱۰]، کربونیزه شدن پشم [۴۵]، صمغ‌گیری ابریشم [۹] و نیز آماده‌سازی چرم اشاره کرد [۱۰،۱۱]. یادآور می‌شود که کربونیزه شدن فرایند شیمیایی برای زدودن مواد سلولوزی از کالای مخلوط سلولوزی-پروتئینی است که از طریق هیدرولیز شمیایی مواد سلولوزی صورت می‌پذیرد.

ضدآب رفتگی پشم

آب رفتگی کالای پشمی طی عملیات مکانیکی‌تر اتفاق می‌افتد. در روش معمولی ضدآب رفتگی، از کلردار کردن کالای پشمی با مواد کلرزا استفاده می‌شود. استفاده از آنزیمهای پروتئیناز در فرایندهای تکمیلی شستشو به سال ۱۹۶۰ برمی‌گردد، یعنی زمانی که دایک روشهایی [۸] را بر پایه استفاده از پپسین و ترپسین عملی کرد. وی با استفاده از این آنزیمها توانست سطح پوست حیوانات را از الیاف پاک کند. در کارهای بعدی انجام شده به این نتیجه رسیدند که هرچه پیوندهای دی‌سولفید سیستین در لیف بیشتر وجود داشته باشد، سرعت حمله به کراتین پشم کاهش می‌یابد [۲]. با استفاده از این مشاهدات، عملیات ضد آب‌رفتگی را بر پایه اکسید کردن و گسستن پیوندهای عرضی دی‌سولفیدی بنا نهادند و با استفاده از یک پروتئیناز، کوتیکول لیف را بطور کامل از بین برده و لیف را ضد نمدی کردند.

نتایج حاصل از کارهای انجام شده نشان می‌دهد که حمله آنزیم روی پشم در pH و دمای معین به مقدار زیادی تحت تاثیر غلظت آنزیم

و مدت زمان عملیات است [۱۱-۸].

سفیدگری پشم

سرین پروتئیناز در مقابل هیدروژن پروکسید مقاومت دارد و در محیط قلیایی فعال می‌شود و فعالیت آن با افزایش پروکسید افزایش می‌یابد.

با استفاده از این آنزیم آبدوستی پشم بهتر شده و سفیدی آن در مقایسه با کاربرد همان غلظت از پروکسید هیدروژن افزایش بیشتری نشان می‌دهد. عملیات با وجود آنزیم و بدون آن انجام گرفته و مشخص شده است که رنگهای طبیعی روی پشم در اثر وجود آنزیم بهتر تجزیه می‌شود و کالا از سفیدی بیشتری برخوردار است [۲].

صمغ‌گیری ابریشم

رشته‌های ابریشم از ۸۰-۷۵ درصد فیبروین و صمغ سیریسین است که از نظر شیمیایی ساختار پروتئینی دارد و نامحلول در آب است. بخش قابل ملاحظه‌ای از سیریسین در حین فرایند پخت پیله ابریشم برطرف می‌شود. سیریسین رسوب می‌کند و قویا بهم می‌چسبد و براحتی نمی‌توان آن را بازیابی کرد. روشهای سنتی عملیات با مواد قلیایی و شوینده کم تاثیر است. از بین بردن صمغ سیریسین در ابریشم به کمک آنزیمها امکان‌پذیر است و بدین‌ترتیب هیچ گونه رسوبی روی کالا باقی نمی‌ماند. این عملیات منجر به زیست‌پرداخت لیف ابریشم می‌شود که در واقع، به مفهوم از بین بردن صمغ سیریسین بطور کامل است و در نتیجه شفافیت ابریشم افزایش می‌یابد. شفافیت از طریق طیف‌نمایی ارزیابی شده است [۴۷، ۴۶، ۹، ۲].

نتیجه‌گیری

امروزه، پیشرفت بیوتکنولوژی در نساجی رو به فزونی است. عملیات ویژه و اختصاصی آنزیمها روی سوبسترا با ساختار و شکل‌شناسی ناهمگن و عمل آنها روی الیاف با ترکیبات شیمیایی پیچیده هنوز در مراحل اولیه خود است. مطالعات بعدی محققان در این زمینه روی موارد زیر معطوف شده است:

- بدست آوردن اطلاعات بیشتر درباره چگونگی و طرز عمل آنزیمها روی کالای نساجی و اینکه چگونه الیافی با خصوصیات بهتر طی این واکنشها حاصل می‌شود.
- بدست آوردن شرایط بهتر یا استفاده از تاخیر دهنده‌ها جهت عملکرد بهتر آنزیم و جلوگیری از آسیب کالا.
- همکاری لازم بین بیوتکنولوژی و نساجی در ارزیابی نتایج بدست آمده از طریق آماری و همچنین بررسیهای اقتصادی و آلودگی زیست محیطی.
- طراحی روشی برای انتخاب مناسب آنزیمها در ارتباط با محدوده کاربردی آنها در نساجی.

تجربیات موجود نشان دهنده مزیت استفاده از روشهای بیوتکنولوژیک در عرصه صنعتی نساجی است. در حال حاضر، در بسیاری از کشورهای پیشرفته صنعت بکارگیری این دانش در نساجی و تبدیل شیوه‌های رایج، در حال انجام است. امید است نتایج این گونه تحقیقات در ایران نیز بتواند ضمن معرفی مزایای بکارگیری این دانش نوین، راهی را جهت گرایش هرچه بیشتر صنعت نساجی به استفاده از این روشها بگشاید.

مراجع

۱- معظمی نسرین، شیخ‌الساداتی عباس، مقدمه‌ای بر بیوتکنولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۶۹.

2. Cegarra J.; *JSDC*; **112**, 326, 1996.
3. Sharma M.; *Colour Age*; **1**, 13, 1993.
4. Almedia L. and Cavaco A.; *Melliand*; **5**, 184, 1993.
5. Hemmpel W. H.; *Dyeing/Printing/Finishing*; **3**, 5, 1991.
6. Cavaco A.; Cortez J. and Almedia L.; *JSDC*; **113**, 218, 1997.
7. Petters R. H.; *Textile Chemistry;* Elsevier, New York, 1967.
8. Stohr R. and Petry G.; *Melliand;* **11**, 253, 1995.
9. Gulrajani M. L. and Sen S.; *Indian J. Fiber Text. Res.*; **23**, 52, 1998.
10. Wikdman G.; *Microbial Degradation of Natural Products*; VCH, New York, 1992.
11. Wiseman A.; *Handbook of Enzyme Biotechnology*; John Wiley & Sons, New York, 1995.
12. Chikkodi S. V., Khan S. and Mehta R. D.; *Text. Res. J.*; **65**, 10, 564, 1995.
13. Csiszar E., Szakacs G. and Rusznak I.; *Text. Res. J.*; **68**, 3, 163, 1998.
14. Stohr R.; *Melliand*; **4**, 261, 1995.
15. Koo H., Ueda M. and Wakida T.; *Text. Res. J.*; **64**, 2, 70, 1994.

16. Suh H. and Duckett K.; *Text. Res. J.*; **66**, 4, 230, 1996.

۱۷ - مرشد محمد، خدامی اکبر، علوم و تکنولوژی پلیمرها، سال دهم، شماره چهارم، صفحه ۲۵۱، زمستان ۱۳۷۶.

18. Nolte H. and Hocker H.; *J. Text. Inst.*, **84**, 4, 1996.

19. Levene R., Cohn Y. and Barkai D.; *JSDC*; **112**, 6, 1996.

20. Carr C. M.; *Chemistry of the Textile Industry*; American Chemical Society, New York, 1995.

21. Chyr Lin S.; *J. Chem. Tech. Biotechnol*; **66**, 109, 1996.

22. Klahorst S., Kumar A. and Mallins M.; *Text. Chem. Color.*; **26**, 2, 13, 1994.

23. Diller G. and Zeronian H.; *Text. Chem. Color.*; **26**, 4, 1994.

24. Cavaco A. and Almeida L.; *Text. Res. J.*; **66**, 5, 287, 1996.

25. Auer P. D. and Pailtyorpe M. T.; *Text. Res. J.*; **65**, 7, 379, 1995.

26. Hslu R. G.; *Microbial Decomposition of Cellulose*; Reinhold Pub., New York, 1951.

27. Bredereck K., Schulz F. and Otterback A.; *Melliand*; **4**, 217, 1997.

28. ramos L. P., Nazhad M. M. and Saddler J. N.; *Enzyme Microb. Technol*; **15**, 821, 1993.

29. Knappert D., Grethlein H. and Conrerse A.; *Biotechnology and Bioengineering*; XXII, 1449, 1980.

30. Puri V. P.; *Biotech. Bioeng.*; XXVI, 1219, 1984.

31. Turbak A., Synder F., Sandberg K.; *J. Appl. Polym. Sci.*; **37**, 815, 1983.

32. Duik Y.; *Biodegradable Plastic and Polymer*; The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), Japan, 1994.

33. Cavaco A., Rios M. J.; *Am. Dyestuff Rep.*; **20**, 7, 1997.

34. Choe E. K., Park S. Y., Çha H. C. and Jeon B. D.; *Text. Res. J.*; **67**, 3, 155, 1997.

35. Paralikar K. M. and Bhatawdekar S. P.; *J. Appl. Polym. Sci.*; **32**, 6001, 1986.

36. Paralikar K. M. and Bhatawdekar S. P.; *J. Appl. Polym. Sci.*; **26**, 2573, 1984.

37. Helle S.S. and Cooper D. G.; *Biotech. Bioeng.*; **42**, 611, 1993.

38. Gaden E. L.; *Enzymatic Conversion of Cellulosic Materials*; Interscience, New York, 1996.

39. Bach E. and Scholmeyer E.; *Textile Praxis*; **3**, 220, 1993.

40. Lahorst S.; *Text. Chem. Color.*; **26**, 2, 1994.

41. Jovancic P., Jocic D. and Dumic J.; *J. Text. Ins.*; **87**, 227, 1996.

۴۲- گودرزی غلامرضا، حقیقت‌کیش محمد، طباطبایی یزدی سیدمجتبی، سلحشور کردستانی سهیلا، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال نهم، شماره ۳۱، صفحه ۵، بهار ۱۳۷۵.

۴۳- گودرزی غلامرضا، حقیقت‌کیش محمد، طباطبایی یزدی سیدمجتبی، سلحشور کردستانی سهیلا، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال نهم، شماره ۳، صفحه ۱۶۹، پاییز ۱۳۷۵.

44. Diller G.B. and Zeronian H.; *Text. Chem. Color.*; **26**, 17, 1994.

45. Gulrajani M. L. and Gupta S. V.; *Indian J. Fiber Text. Res.*; **20**, 270, 1996.

46. Gulrajani M. L. and Gupta S. V.; *Indian J. Fiber Text. Res.*; **20**, 122, 1995.