

اثر تابش میکروویو بر هیدرولیز آنزیمی پارچه‌های پنبه‌ای

سیدحسین امیرشاهی
استادیار

اکبر خدای
مربی

مهرخ نورالدین
کارشناس

دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

در بخش اول این تحقیق اثر تابش پرتوهای میکروویو، به عنوان یک عملیات مقدماتی بر هیدرولیز آنزیمی پارچه‌های پنبه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. اگرچه در نمونه‌هایی که قبل از هیدرولیز تحت تابش پرتوهای میکروویو قرار گرفتند، کاهش استحکام بیشتر بود و این نتیجه نشان می‌دهد که شدت هیدرولیز افزایش یافته است، ولی مقدار کاهش وزن نسبت به نمونه‌های کنترل اختلاف محسوسی نشان نمی‌داد. در قسمت دوم این تحقیق نمونه‌هایی تحت تابش پرتوهای میکروویو به وسیله آنزیم‌های سلولاز و بافر اسیدی هیدرولیز شدند. به منظور مقایسه و بررسی اثرات هیدرولیز بر خواص پارچه، نمونه‌هایی نیز در شرایطی مشابه در دستگاه‌های آهیبا پلی مات، آهیبا تکسومات و حمام آب گرم هیدرولیز شدند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که تابش پرتوهای میکروویو، تنها اثر گرمایش بر محیط هیدرولیز دارند و گرمایش به روش ارتعاش مولکولی دو قطبی نمی‌تواند آنزیم‌های سلولاز را دناتوره کند.

Effect of Microwave Irradiation on Enzymatic Hydrolysis of Cotton Fabrics

A. Khoddami
Lecturer

S. H. Amirshahi
Assistant Professor

M. Nooraddin
Instructor

Isfahan University of Technology

Abstract

Firstly, the effect of microwave irradiation as a pre-treatment process on enzymatic hydrolyzing of cotton fabrics is investigated. Although the exposed samples exhibited some decreasing in their tensile strength, the weight loss of these samples did not show significant differences in comparison with the corresponded control samples.

In the second part of the work, the samples were hydrolyzed by cellulase or by applying of acidic buffer under microwave irradiation. In order to evaluate the results of this type of hydrolyzing on the physical properties of substrate, some samples were similarly hydrolyzed by normal heating in Ahiba Polymat, Ahiba Texomat and hot water bathes. Results show that the microwave irradiation only plays a heating effect in hydrolyzing process and this type of resonating heating method is not able to denatured the cellulase enzyme.

Key words

Biopolishing, Microwave Irradiation, Enzymatic hydrolysis, Cellulase, Cotton Fabric.

واژه‌های کلیدی

زیست پرداخت، تابش پرتوهای میکروویو، هیدرولیز آنزیمی، سلولاز، پارچه پنبه‌ای.

۱- مقدمه

زیست پرداخت (biopolishing) عملیاتی است که برای تکمیل (finishing) منسوجات سلولزی به کار می‌رود. در این عملیات کالاهای سلولزی به وسیله آنزیم‌های سلولاز به صورت کنترل شده هیدرولیز می‌شوند. با هیدرولیز کنترل شده آنزیمی پارچه‌های پنبه‌ای می‌توان زیردست (handle)، آویزش (drape) و ظاهر پارچه را بهبود بخشید. بر اثر این فرآیند، از آنجا که پرزهای سطح پارچه کنده می‌شوند، لذا نه تنها پارچه ضد پرزدهی (antipilling) می‌شود بلکه جلای (luster) آن نیز بیشتر می‌گردد. این عمل باعث می‌شود تا در صورت انجام عمل بیوپولیشینگ بعد از عملیات رنگرزی، زمینه ظاهر براق تر و جلوه رنگی بهتری داشته باشد. این نوع تکمیل محدود به پارچه‌های پنبه‌ای نمی‌باشد و می‌تواند برای پارچه‌های بافته شده از کتان، رامی، ویسکوز ریون و دیگر الیاف سلولزی و مخلوط آنها با الیاف مصنوعی و پروتئینی نیز به کار رود [۱-۴].

تابش پرتوهای میکروویو از جمله روشهایی است که برای گرمادهی در فرآیندهای نساجی به کار می‌رود. به طور کلی گرمادهی در عملیات مختلف در صنعت نساجی به چهار روش صورت می‌گیرد که عبارت از گرمادهی از طریق هدایت (conduction)، جابجایی (convection)، تشعشع یا تابش (radiation) و فرکانس بالا (high frequency) می‌باشند [۵].

گرمایش با فرکانس بالا با هیچیک از مکانیزم‌های انتقال حرارت قابل مقایسه نمی‌باشد، زیرا تولید گرما در درون توده منسوج صورت می‌پذیرد. دو روش اصلی گرمایش با فرکانس بالا، روش گرمایش دی الکتریک (dielectric heating) و گرمایش میکروویو، می‌باشد [۵]. گرمایش میکروویو با ارتعاش مولکولی دو قطبی بوجود می‌آید و در این روش، گرما در درون منسوج ایجاد می‌شود. به همین دلیل گرمای درونی منسوج بیش از گرمای سطح آن است و در نتیجه مشکلات روش‌های دیگر گرمادهی در این روش به حداقل می‌رسد [۶]. یکی از مزایای مهم استفاده از میکروویو امکان کسب گرمایش سریع و یکنواخت می‌باشد. در صورتی که بتوان برای رنگرزی، تکمیل و یا عملیات مقدماتی

رنگرزی از گرمادهی به وسیله میکروویو استفاده کرد، به دلیل امکان گرم شدن منسوج به طور یکنواخت زمینه بسیار مطلوبی حاصل خواهد شد [۶].

بر اساس آزمایش‌هایی که محققین انجام داده‌اند، دیده شده است که بر اثر تابش میکروویو ساختار مرفولوژیکی الیاف پنبه تغییر می‌کند [۶]. تابش میکروویو باعث کرکی شدن (fluffy) الیاف پنبه می‌شود و لذا سطح الیافی که مورد تابش قرار می‌گیرند، ناهموارتر می‌گردد. بر اثر تابش میکروویو، فضای بین الیاف افزایش و کریستالینیتی آنها کاهش می‌یابد [۶].

تغییر ساختار مرفولوژیک الیاف بر اثر تابش میکروویو، باعث بهبود انتشار (diffusion)، نفوذ و تثبیت مولکول‌های رنگ (dye) در رنگرزی می‌شود و واکنش را تسریع و اصلاح می‌کند. بدیهی است که این نقش به جذب آب و مواد کمکی دیگر نیز کمک می‌کند [۶].

از آنجا که تغییرات مرفولوژیک و تغییرات سطح الیاف می‌توانند هیدرولیز آنزیمی الیاف پنبه‌ای را تحت تأثیر قرار دهند، لذا در این تحقیق، اثرات تابش میکروویو بر هیدرولیز سلولولیتیک پارچه‌های پنبه‌ای و همچنین استفاده از تابش میکروویو برای گرمایش محیط هیدرولیز مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- تجربی

مواد

سوبستریایی که برای این آزمایش‌ها به کار رفته بود، پارچه ۱۰۰٪ پنبه‌ای با خصوصیات مشخص شده در جدول شماره ۱ می‌باشد.

تمام مواد شیمیایی به کار رفته از نوع آنالیتیک و ساخت شرکت مرک (MERCK) بودند. آنزیم‌های سلولاز به کار برده شده با نام تجاری PRIMAFAST 100 محصول شرکت GENENCOR INTERNATIONAL Inc. بودند.

دستگاه‌ها

هیدرولیز نمونه‌ها به وسیله دستگاه‌های رنگرزی آزمایشگاهی قابل کنترل توسط کامپیوتر به نام‌های آهیباپلی مت (AHIBA POLYMAT) و آهیباتکسومت (AHIBA TEXOMAT) انجام شد. برای گرمایش به وسیله میکروویو از دستگاه سانپو (SANYO) با بسامد ۲۴۵۰ هرتز و توان ۶۰۰ وات استفاده گردید. استحکام (نیروی پارگی) نمونه‌ها نیز به وسیله دستگاه سنجش

جدول (۱) خصوصیات پارچه ای که در این آزمایش ها به عنوان سوپسترا به کار رفته است.

وزن		نوع بافت	تراکم (بر سانتی متر)		نمره نخ (انگلیسی)	
گرم بر متر	گرم بر متر مربع		تار	پود	تار	پود
۲۳۶	۱۵۱	تافته (plain)	۲۲	۲۲	۲۰/۱	۲۰/۱

وزن ۰/۷ گرم اضافه گردید.

استحکام ZWICK / MATERRIAL PRUFUNG 1446 اندازه گیری شد.

جدول (۳) شرایط هیدرولیز نمونه ها.

غلظت آنزیم (g/l)	۴
سطح فعال غیر یونی (g/l)	۰/۵
pH (با فر اسید استیک و هیدروکسید سدیم)	۵/۵
درجه حرارت (°C)	۵۵
زمان واکنش (min)	۶۰
نسبت حجم محلول به وزن کالای (L:R)	۱:۱۵

عملیات هیدرولیز آنزیمی و اسیدی تحت تابش میکروویو

به منظور بررسی اثرات تابش میکروویو بر مکانیسم و شدت عمل آنزیم های سلولاز، نمونه هایی مطابق شرایط جدول شماره ۳ به وسیله آنزیم ها و بافر اسیدی هیدرولیز شدند. در این مرحله گرمایش محیط واکنش به وسیله تابش پرتوهای میکروویو تأمین شد. از آنجا که امکان استفاده از ضربات مکانیکی توسط ساچمه ها در این روش میسر نبود، به این دلیل که کل سیستم (حمام های هیدرولیز) به وسیله سینی محفظه تابش، دارای حرکتی دورانی بودند، احتمال وجود سایش مکانیکی ناچیزی وجود داشت.

برای مقایسه گرمایش به وسیله تابش میکروویو با روش های معمول گرمادهی، نمونه هایی نیز در همان شرایط به وسیله دستگاه آهیپالپی مت و آهیپانتکسومت و حمام آب با استفاده از آنزیم ها و اسید، هیدرولیز شدند.

روش ها

نحوه تابش در میکروویو

برای بررسی اثرات تابش میکروویو بر خصوصیات پارچه و همچنین تأثیر آن به عنوان یک عمل مقدماتی (Pre-treatment) بر هیدرولیز آنزیمی، نمونه هایی از پارچه با شرایط مندرج در جدول شماره ۲ تحت تابش قرار گرفتند.

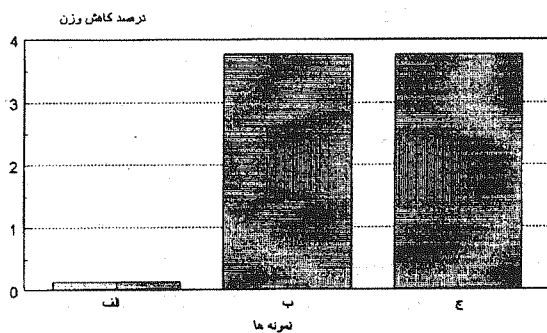
جدول (۲) نحوه تابش میکروویو قبل از هیدرولیز آنزیمی.

توان میکروویو (watt)	۶۰۰
زمان واکنش (min)	۱۰
نسبت حجم محلول به وزن کالای (L:R)	۱:۱۵

اثرات تابش میکروویو بر هیدرولیز آنزیمی پارچه های پنبه ای

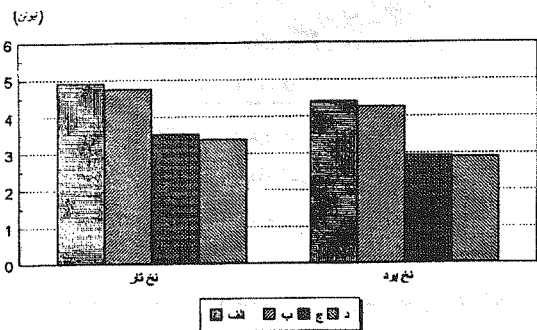
برای بررسی اثرات تابش میکروویو بر هیدرولیز آنزیمی، نمونه هایی از پارچه که قبلاً تحت تابش قرار گرفته بودند، همراه با نمونه های کنترل (نمونه هایی که تحت تابش قرار نگرفته بودند) در شرایطی که در جدول شماره ۳ نشان داده شده است، در دستگاه آهیپالپی مت هیدرولیز شدند. برای خنثی سازی و غیرفعال ساختن آنزیم ها، ۱ گرم بر لیتر کربنات سدیم به محلول ها اضافه گردید. سپس پارچه ها آبکشی و در دمای محیط خشک گردیدند. در تمام مراحل آزمایش به منظور افزایش سایش مکانیکی به هر حمام ۵۰ ساچمه فولادی هر یک به

جانبی (surface area) آن دارد [۸]، بنابراین پرزهای سطح پارچه بیشتر تضعیف می شوند. اعمال سایش مکانیکی و وجود نقطه ضعیف در محل اتصال پرزها با پارچه، سبب کنده شدن پرزها می شوند. از آنجایی که تابش میکروویو اثر چندانی بر چگونگی کنده شدن پرزها ندارد، بنابراین اثر آن بر کاهش وزن نیز مشهود نمی باشد.



شکل (۱) اثر تابش میکروویو بر کاهش وزن حاصل از هیدرولیز آنزیمی
الف- نمونه هایی که تحت تابش میکروویو قرار گرفتند.

ب- نمونه هایی که بدون تابش قرار گرفتند، هیدرولیز شده اند.
ج- نمونه هایی که قبل از هیدرولیز شدن، تحت تابش میکروویو قرار گرفتند.



شکل (۲) اثر تابش میکروویو بر کاهش نیروی پارگی نخ های تار و بود
الف- نمونه کنترل، ب- نمونه هایی که تحت تابش میکروویو قرار گرفتند.
ج- نمونه هایی که بدون تابش قرار گرفتند، هیدرولیز شده اند.
د- نمونه هایی که قبل از هیدرولیز شدن، تحت تابش میکروویو قرار گرفتند.

اثر تابش میکروویو بر استحکام (نیروی پارگی) نمونه ها در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می گردد، نمونه هایی که قبل از هیدرولیز تحت تابش قرار گرفته اند کاهش استحکام بیشتری دارند. بنابراین تغییرات مرفولوژیکی که بر اثر تابش میکروویو در الیاف پنبه ای بوجود می آید، باعث

در نمونه هایی که در حمام آب آزمایش شدند، کالا و محلول هر دو ثابت و در محفظه تابش میکروویو، نمونه و محلول دارای حرکتی دورانی بودند. در آهیباتکسومت محلول ثابت و پارچه حرکت می کرد و در آهیباپلی مت علاوه بر کالا، محلول نیز دارای حرکت بود و در هر حمام نیز ۵۰ ساچمه فولادی وجود داشت. در واقع هدف از ایجاد شرایط متفاوت این بود که اگر اختلاف در شدت هیدرولیز بر خواص نمونه ها، ناشی از تفاوت در سایش مکانیکی اعمال شده باشد، با آزمایش تحت چنین شرایطی امکان بررسی اثر سایش نیز فراهم گردد.

اثرات هیدرولیز بر خصوصیات پارچه

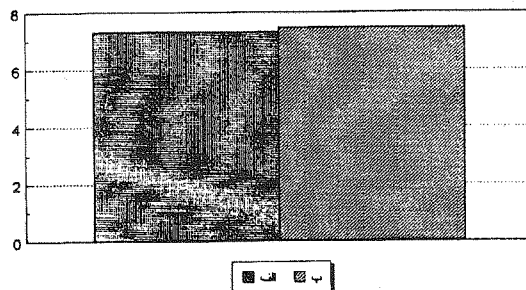
اثرات هیدرولیز بر خواص پارچه، با اندازه گیری مقدار کاهش وزن، مقدار جذب رطوبت و کاهش نیروی پارگی بررسی شد. کاهش وزن به وسیله توزین هر نمونه، قبل و بعد از واکنش پس از اینکه به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک گردید، محاسبه شد. برای اندازه گیری رطوبت بازیافتی، نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط استاندارد نگهداری شدند. اندازه گیری نیروی پارگی نخ های تار و پود مطابق استاندارد ASTM D-2256 انجام شد، اما به دلیل اینکه نمونه های نخ از پارچه جدا می شد، فاصله فکها به ۵۰ mm تقلیل داده شده بود.

نتایج و بحث

تابش میکروویو، سبب تغییراتی در ساختار مرفولوژیک الیاف پنبه می شود [۶]. ساختار مرفولوژیک نقش تعیین کننده ای بر شدت هیدرولیز آنزیمی الیاف دارد. تأثیر تابش میکروویو بر شدت هیدرولیز سلولولیتیک پارچه های پنبه ای در شکل های شماره ۱ و ۲ نشان داده شده اند. شکل شماره ۱ مشخص می سازد که اگر نمونه قبل از هیدرولیز تحت تابش میکروویو قرار گیرد، اختلاف محسوسی در مقدار کاهش وزن حاصله، نسبت به نمونه کنترل وجود نخواهد داشت. علت این پدیده را شاید بتوان اینگونه توضیح داد که علت اصلی کاهش وزن حاصل از هیدرولیز آنزیمی بخصوص زمانی که عملیات با سایش مکانیکی همراه باشد، ناشی از کنده شدن پرزها می باشد. پرزها در نقطه اتصال خود با پارچه دارای شکستی چندگانه (multiple splitting) می باشند [۷]. از آنجا که شدت هیدرولیز سلولولیتیک یک سوبسترا بستگی به سطح

افزایش شدت هیدرولیز آنزیمی آنها می شود. علت این پدیده شاید افزایش قابلیت دسترسی (accessability) به زنجیره های سلولزی بر اثر تابش میکروویو باشد. نتایج حاصل از اندازه گیری جذب رطوبت پارچه ها نیز مؤید این مطلب می باشد. همان طوری که شکل شماره ۳ نشان می دهد، جذب رطوبت نمونه هایی که تحت تابش قرار گرفته اند، نسبت به نمونه های کنترل به مقدار کمی افزایش یافته است. از این مشاهدات شاید بتوان چنین نتیجه گیری کرد که تابش میکروویو، قبل از هیدرولیز، هر چند می تواند باعث افزایش شدت هیدرولیز شود، اما به دلیل عدم تأثیر بر زدودن پرزها اثر چندانی بر کیفیت عملیات زیست پرداخت ندارد. علاوه بر این همانگونه که شکل شماره ۲ نشان می دهد اثر تابش میکروویو بر استحکام نمونه های پارچه در مقایسه با مواردی که پارچه به وسیله آنزیم یا اسید هیدرولیز شده است، ناچیز می باشد.

رطوبت، درصد



شکل (۳) اثر تابش میکروویو بر جذب رطوبت

الف - نمونه کنترل

ب - نمونه هایی که تحت تابش میکروویو قرار گرفتند.

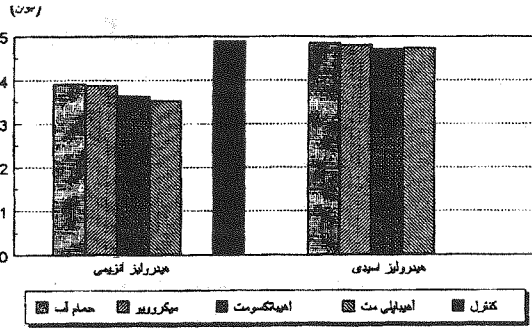
در قسمت دوم این تحقیق، هیدرولیز نمونه ها تحت تابش پرتوهای میکروویو انجام شد. برای بررسی دقیق نتایج به دست آمده از این مرحله، نمونه هایی توسط حمام آب گرم، دستگاه آهیباپلی مت و دستگاه آهیباتکسومت در شرایطی مطابق جدول شماره ۲ هیدرولیز شدند. پرتوهای میکروویو با ایجاد ارتعاش مولکولی دو قطبی سبب گرم شدن جسم تحت تابش می شوند و بنابراین این احتمال دارد که این نحوه گرمایش بر شدت فعالیت و تشکیل جایگاه فعال (active site) آنزیم تأثیر گذار باشد. برای بررسی این مورد نمونه ها علاوه بر آنزیم ها به وسیله محیط بافری که برای هیدرولیز آنزیمی تهیه شده بود نیز هیدرولیز شدند. علت استفاده از روش اخیر این بود که بررسی گردد که آیا تابش

پرتوها می تواند سبب دناتوره (denature) شدن آنزیم ها شود و در ضمن بررسی گردد که تغییر خواص پارچه بر اثر عمل آنزیم و یا محیط اسیدی می باشد.

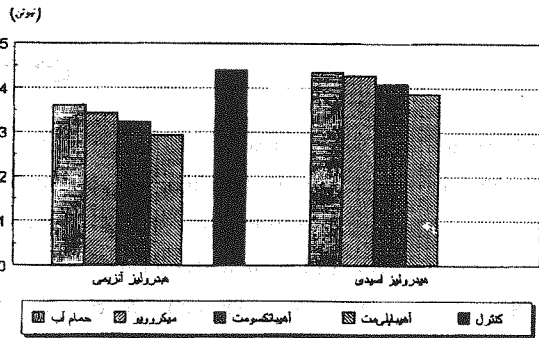
نتایج این آزمایش ها در جدول شماره ۴ و شکل های شماره ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده اند. مشاهده مقادیر کاهش وزن و نیروی پارگی نخ های تار و پود نمونه هایی که در دستگاه میکروویو آزمایش شدند، مشخص می سازند که آنزیم ها تحت تابش پرتوهای میکروویو دناتوره نمی شوند و می توانند سوبستراهای سلولزی را هیدرولیز کنند. با مقایسه این مقادیر با نتایج آزمایش نمونه هایی که به طرق معمول گرمادهی هیدرولیز شده اند، شاید بتوان چنین نتیجه گرفت که هیدرولیز تحت تابش میکروویو مزیتی نسبت به روشهای دیگر ندارد، زیرا کاهش وزن نمونه های عمل شده در میکروویو با نمونه های هیدرولیز شده در حمام آب گرم تقریباً یکسان است و کاهش استحکام بیشتر آنها نیز می تواند ناشی از حرکت دورانی سیستم هیدرولیز باشد. همانطوری که بیان گردید این اثر نمی تواند کیفیت عملیات زیست پرداخت را افزایش دهد، بنابر این به نظر می رسد که تنها تأثیر تابش میکروویو بر زیست پرداخت اثر گرمایی آن باشد. در علوم و صنایع غذایی نیز بر این نکته تأکید شده است که تنها تأثیر تابش میکروویو بر میکرو ارگانسیم ها، اثر گرمایی آن می باشد [۹].

از جمله نتایج دیگری که از این آزمایش ها حاصل می شود، توجه به این نکته است که با افزایش حرکت و سایش مکانیکی، شدت اثر هیدرولیز آنزیمی بر خصوصیات نمونه ها بیشتر می شود. از آنجا که با اعمال سایش مکانیکی علاوه بر کاهش وزن، کاهش نیروی پارگی نخ های تار و پود نیز افزایش یافته است، بنابر این مشخص می گردد که سایش مکانیکی نه تنها سبب افزایش شدت هیدرولیز آنزیمی می شود، بلکه در کنده شدن پرزها و زیست پرداخت شدن پارچه نیز مؤثر است. این یافته ها با کارهایی که اخیراً در این زمینه انجام شده است، موافقت دارد [۱۰ و ۱۱].

همانگونه که انتظار می رفت کاهش وزن و کاهش استحکام نمونه ها بر اثر هیدرولیز اسیدی در مقایسه با هیدرولیز آنزیمی در تمامی موارد کمتر بود. نمونه هایی که در محیط اسیدی با استفاده از تابش میکروویو و یا روش های دیگر هیدرولیز شدند، بر خلاف پارچه هایی که به وسیله آنزیم های سلولاز تحت واکنش قرار گرفتند، اختلاف در کاهش وزن آنها مشاهده نمی شود، اما در این

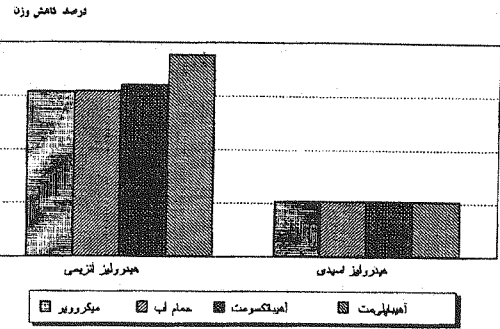


شکل (۵) کاهش نیروی پارگی نخ های تار نمونه هایی که به وسیله آنزیم ها و اسید هیدرولیز شده اند.



شکل (۶) کاهش نیروی پارگی نخ های بود نمونه هایی که به وسیله آنزیم ها و اسید هیدرولیز شده اند.

نمونه ها نیز با افزایش حرکت و سایش مکانیکی در حین هیدرولیز، کاهش نیروی پارگی نخ های تار و پود بیشتر می شود. بنابراین این در مورد نمونه هایی که به وسیله اسیدها هیدرولیز می شوند، اندازه گیری کاهش وزن معیار مناسبی برای تعیین شدت هیدرولیز اسیدی نمی باشد.



شکل (۴) کاهش وزن نمونه هایی که به وسیله آنزیم ها و اسید هیدرولیز شده اند.

جدول (۴) نتایج آزمایش های مرحله دوم.

(در این آزمایش ها نمونه ها مطابق شرایط جدول شماره ۳ به وسیله آنزیم ها و بافر اسیدی هیدرولیز شدند.)

نیروی پارگی نخ پود (N)	نیروی پارگی نخ تار (N)	درصد کاهش وزن	محیط هیدرولیز	وسیله هیدرولیز
۳/۸۶۷	۴/۷۲۳	۱/۰۳	اسیدی	آهیپالمت
۲/۹۳	۳/۵۲۵	۳/۷۶	آنزیمی	
۴/۰۸	۴/۷۶	۱/۰۳	اسیدی	آهیپاتکسومت
۳/۲۲	۳/۶۳	۳/۲۰	آنزیمی	
۴/۲۶۷	۴/۸۰	۱/۰۳	اسیدی	میکروویو
۳/۴۲۵	۳/۸۷۵	۳/۰۷۵	آنزیمی	
۴/۳۵	۴/۸۵	۱/۰۳	اسیدی	بن ماری
۳/۶	۳/۹۰	۳/۰۸۶	آنزیمی	
۴/۴۰	۴/۹۰	-----	نمونه کنترل	-----

۳- نتیجه گیری

تابش میکروویو به عنوان یک عملیات مقدماتی (pre treatment)، سبب افزایش شدت هیدرولیز آنزیمی پارچه های پنبه ای می شود، اما به نظر می رسد که تأثیر آنچنان مطلوبی بر زیست پرداخت شدن آنها نداشته باشد.

تابش پرتوهای میکروویو و گرمایش به روش ارتعاش مولکولی دو قطبی نمی تواند سبب دناتوره شدن آنزیم های سلولاز شود و ظاهراً تنها اثر تابش میکروویو، گرمایش محیط هیدرولیز می باشد.

شدت هیدرولیز آنزیمی و اسیدی متناسب با سایش مکانیکی اعمال شده می باشد. با افزایش سایش در هیدرولیز آنزیمی علاوه بر کاهش وزن، کاهش استحکام نیز بیشتر می شود، اما در هیدرولیز اسیدی فقط کاهش استحکام زیادتیر شده و کاهش وزن حاصل از هیدرولیز اسیدی به نسبت ثابت می ماند و از این رو به نظر می رسد که مقدار کاهش وزن نمی تواند برای اندازه گیری شدت هیدرولیز اسیدی مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

- [1] Wadham, M., J. SDC, Vol. 110, 367 - 368, (Dec. 1994).
- [2] Chong, C.L. and Yip, P.C. Amer. Dyestuff. Rep., 54-59, (March 1994).
- [3] Pederson, G.L., Screws, G.A. and Cedron, D.M., Melliand Textilber, Vol. 74 (12), 1277-1280 + E419-420, (1993).
- [4] Kumar, A., Purtell, C. and Lepola, M., Text. Chem. Color., Vol. 26 (10), 25-28, (Oct. 1994).
- [5] Perkins, W.S., Broughton, R. M., Walsh, N.K. and Rodrigues, S., J. SDC, Vol (108), 70-73, (Feb. 1992).
- [6] Yingfang, C., Hai, C. and Zhiwei, L., J. China Text University (Eng. Ed), Vol. 10 (1), 25-32, (1993).
- [7] Hearle, J. W.S., Lomas, B., Cooke, W.D. and Duerden, I. J, Fibre Failure and Wear of Materials: An Atlas of Fracture, Fatigue and Durability, Ellis Horwood Ltd., Chichester, (1989).
- [8] Buschle - Diller, G., Zeronian, S. H., Pan, N. and Yoon, M. Y., Text. Res. J., Vol. 64 (5), 270 - 279, (May 1994).
- [9] Roberts, T. A. and Skinner, F. A., Food Microbiology: Advances and Prospects, Academic Press, London, (1983).
- [10] Cavaco - Paulo, A, Almeida, L. and Bishop, D., Text. Res J., Vol. 66 (5), 287-294. (May 1996).
- [11] Kumar, A., Yoon, M. Y. and Purtell, C., Text. Chem. Color., Vol. 29 (4), 37 - 42, (April 1997).