



## تأثیر کاربرد آنزیم‌های لاکاز و سلولاز روی رنگ جین

علی صادقیان مریان<sup>۱</sup>، مجید منتظر<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، باشگاه پژوهشگران جوان، تهران، ایران، کدپستی: ۱۴۱۸۷۶۱۱۳۵

۲- استادیار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۵۸۷۴/۴۴۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۳/۲۷ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۸/۳/۲۸

### چکیده

شستشوی کالاهای جین یکی از عملیات تکمیلی است که به جهت ایجاد ظاهر ویژه و به روز آمد شدن پوشاک کاربرد وسیعی دارد. در مقاله حاضر تأثیر آنزیم لاکاز و سلولاز روی تغییر رنگ کالای جین در روش‌های مختلف شستشویی شامل استفاده از آنزیم لاکاز به تنهایی، آنزیم لاکاز به همراه سلولاز اسیدی و سلولاز خنثی مورد توجه قرار گرفته است. تغییر رنگ نمونه‌ها پس از انجام آزمون‌های مختلف به وسیله رنگ‌سنجی انعکاسی روی کالا، پشت کالا و آستر جیب مورد مقایسه قرار گرفته‌اند و همچنین پساب حاصل از سنگ‌شویی نمونه‌ها با اسپکتروفوتومتری جذبی بررسی شده‌اند. استحکام کششی و تغییرات وزن نمونه‌ها در عملیات مختلف اندازه‌گیری و گزارش شده‌اند. نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهند که همراهی آنزیم لاکاز با سلولاز باعث افزایش روشنایی رنگ نمونه‌ها و کاهش لکه‌گذاری در پشت نمونه‌ها و آستر شده است. همچنین افزایش میزان لاکاز سبب افزایش روشنایی و تغییر رنگ چشمگیر نسبت به نمونه‌های عمل شده با سلولاز شده است. نتایج اسپکتروفوتومتری جذبی نشان می‌دهند که لاکاز موجب تجزیه رنگ آبی در پساب سنگ‌شویی شده است. واژه‌های کلیدی: جین، لاکاز، سلولاز، شستشو، رنگ، لکه‌گذاری در پشت.

## The Effect of Cellulase and Laccase Enzymes on Denim Color

A. Sadeghian Maryan<sup>1</sup>, M. Montazer<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Young Research Club, Islamic Azad University of South Tehran Branch, Postal Code: 1418761135, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Textile Engineering Department, Amirkabir University of Technology, P.O.Box: 15874-4413, Tehran, Iran

### Abstract

Denim washing is one of the finishing processes with the great application due to creating special appearance and updating clothes. In current study, the effects of laccase is considered in different methods of washing including laccase alone, laccase along with acid cellulase and along with neutral cellulase. The color changes of different samples are compared by colorimetric indices for garment surface and back and also white pocket and also the effluents in the remaining baths of stonewashing were also monitored by spectrophotometer after each processing. The tensile and the weight changes of samples in different treatment are measured within the standard methods. The results show that co-application of laccase with cellulase increasing the lightness and decreasing the staining on both back of garment and white pocket. With increasing of laccase in mixture of enzymes back-staining was decreases. The result of spectrophotometer was recognized that laccase decomposes the removed indigo during stone washing. *J. Color Sci. Tech.* 3(2009), 53-64. © Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Denim fabric, Laccase, Cellulase, Washing, Color, Back-staining.

## ۱- مقدمه

برای تهیه یک آنزیم ایده آل جهت استفاده در سنگ شویی می بایستی آنزیمی انتخاب کرد که سایت‌هایی روی سطح پروتئین آن داشته که قابل پیوند با ایندیگو بوده و توانایی جذب پایین بر سلولز داشته باشد [۷].

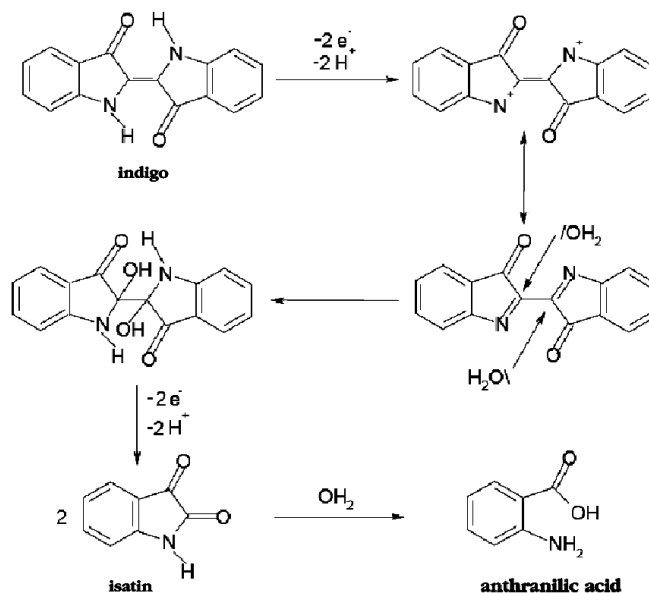
لکه‌گذاری رنگزای ایندیگو در پشت به pH و نوع آنزیم بستگی دارد، طبق نتایج بدست آمده، سلولزهای اسیدی در pH اسیدی لکه‌گذاری می‌کنند که این امر با افزایش سطح فعال‌های مناسب، کاهش می‌یابد. سلولز خنثی به شدت در pH=7 نسبت به pH=5 لکه‌گذاری می‌کند و در pH=7 اثر سنگ‌شویی به طور واضحی قابل تشخیص می‌باشد. به طور عمومی، سلولزهای خنثی نسبت به سلولزهای اسیدی به دلیل کم بودن لکه‌گذاری، قابل توجه هستند [۷-۱۰].

در روش معمول، کالای جین جهت سفیدگری جزئی یا برطرف کردن لکه‌گذاری با هیپوکلریت سدیم رقیق عمل شده و سپس کلر باقیمانده خنثی و آب‌کشی می‌شود. تمامی مراحل مذکور با آلودگی محیط زیست همراه هستند. همان‌طور که سلولز به تنهایی یا به همراه پوکه معدنی، اثر سایش روی کالا جهت تولید ظاهری کهنه (سنگ‌شویی) ایجاد می‌کند، لاکاز هم می‌تواند جهت بی‌رنگ کردن کالای رنگرزی شده با ایندیگو به منظور ایجاد شیدی روشن‌تر و همچنین کاهش لکه‌گذاری پس از عملیات سنگ‌شویی استفاده شود [۵، ۱۱-۱۳].

پارچه جین معمولاً از جنس پنبه با بافت سرزده و نخ تار رنگی ایندیگو آبی و نخ پود سفید تهیه می‌شود [۱]. یکی از عملیات تکمیلی که بر روی کالای جین انجام می‌شود سنگ‌شویی است. عمل سایش توسط پوکه معدنی<sup>۱</sup> در ماشین‌های شستشو در حضور یا بدون حضور یک اکسیدکننده، معمولاً پرمنگنات پتاسیم انجام می‌شود. این عملیات منجر به رنگ‌دایی با کاهش استحکام پارچه تا حد مجاز می‌شود. اثرات سنگ‌شویی می‌تواند در اثر استفاده از آنزیم سلولز به تنهایی یا به همراه پوکه معدنی نیز ایجاد شود. لایه‌های سطحی پارچه جین تحت اثر آنزیم قرار می‌گیرد و در واقع قسمت‌های قابل دسترس سلولز توسط آنزیم افزایش می‌یابد و برداشت رنگزا صورت می‌گیرد [۲].

با توجه به اینکه در سنگ‌شویی کالای جین، لباس دوخته شده عمل می‌شود، لذا لکه‌گذاری رنگزای ایندیگو در پشت کالا و آستر جیب طی فرآیند شستشو از مشکلات اساسی می‌باشد. یکی از عوامل اصلی لکه‌گذاری زیاد ایندیگو بر پارچه‌های جین، توانایی زیاد پروتئین آنزیم سلولز در پیوند با سلولز پنبه می‌باشد و مکانیسم بازنشینی ایندیگو، بر پایه پیوند رنگزا با مولکول‌های آنزیم جذب شده بر سطح الیاف سلولز است [۳-۵]. ساختار مولکول ایندیگو و خواص آن سبب می‌شود که شاید مکانیسم کنش متقابل رنگزا با دیگر مولکول‌ها نیز وجود داشته باشد. از یک طرف، مولکول‌های ایندیگو حاوی حلقه‌های آروماتیک می‌باشند که می‌توانند در کنش‌های متقابل هیدروفوبیک شرکت کنند، از طرف دیگر، احتمال پیوند گروه‌های هتروسیکل -NH و O= از طریق پیوندهای هیدروژنی با دیگر مولکول‌ها وجود دارد [۶].

1- Pumice stone



شکل ۱: مکانیسم تجزیه رنگزای ایندیگو توسط آنزیم لاکاز [۱۵، ۱۶].

نانیونیک جهت جلوگیری از شکستگی پارچه به عنوان ضد شکستگی (anti creasing) در فرآیند سنگشویی و آهارگیری از شرکت رودلف آلمان، آنزیم سلولاز خنثی با نام تجاری Roglyr Ultra 97655 از شرکت Rotta آلمان که در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  -  $40^{\circ}\text{C}$  حل و در دمای  $55^{\circ}\text{C}$  در محیط خنثی بیشترین فعالیت را دارد. آنزیم سلولاز اسیدی با نام تجاری Rucolase JEX از شرکت رودلف آلمان که در دمای  $45^{\circ}\text{C}$  -  $40^{\circ}\text{C}$  محلول و بیشترین فعالیت را در  $\text{pH}=5.5$  و دمای  $50^{\circ}\text{C}$  -  $55^{\circ}\text{C}$  دارد. آنزیم آمیلاز با نام تجاری Amylase 189 (آهاربر) از شرکت Rotta آلمان که محدوده فعالیت در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  -  $60^{\circ}\text{C}$  و پایداری  $\text{pH}=6-8$  دارد. آنزیم لاکاز با نام تجاری Denilite IT از شرکت نوازیم دانمارک با حداکثر فعالیت در  $60^{\circ}\text{C}$  و  $\text{pH}=4.5$  نیز استفاده شده است. دستگاه شستشو با ظرفیت ۵ kg، سبدها  $\text{r.p.m}=25$  که کلیه عملیات در این دستگاه انجام شده است. دستگاه با کنترل دمایی مورد نظر و کنترل حجم آب تجهیز شده است.

مقادیر انعکاس طیفی نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر Datacolor اندازه‌گیری شد و مقادیر رنگی تحت زاویه  $10^{\circ}$  درجه و روشنایی D65 محاسبه گردید. هر نمونه از ۳ قسمت روی نمونه (F)، پشت نمونه (B) و آستر جیب (P) تشکیل شده است. به جهت از بین بردن خطای احتمالی از هر نمونه و از هر ۳ قسمت آن ۵ بار در نواحی مختلف اطلاعات رنگی تهیه شده و مقادیر متوسط (روشنایی)\*L، (قرمزی - سبزی)\*a، (زردی - آبی)\*b، (خلوص رنگ)\*C، (زاویه متریک فام)h و  $\Delta E$  (اختلاف رنگ نسبت به نمونه آهارگیری شده) گزارش شده است. برای آستر جیب علاوه بر مقادیر مؤلفه‌های رنگی، مقدار سفیدی (w) نیز گزارش شده است.

جهت اندازه‌گیری طیف جذبی پساب سنگشویی از دستگاه اسپکتروفوتومتر Camspec مدل M-350 ساخت کشور انگلیس استفاده شده است. نمونه‌ها با آب رقیق شده و با نمونه شاهد (آب) سنجیده شده است.



شکل ۲: نمایی از چگونگی تهیه نمونه مورد استفاده.

لاکاز (۲، ۳، ۱۰، ۱ EC) با میل ذاتی الکترون‌دهندگی برداشت هیدروژن از گروه هیدروکسیل ارتو و پارا جاننشینی شده مونو و پلی فنولیک را تسریع می‌کنند و همچنین با جداسازی یک الکترون از آمین‌های آروماتیک قادر به واپاشی پلیمر، پلیمریزاسیون مجدد، جداسازی متیلنی یا تشکیل کینون می‌باشند. لاکازها به منظور سفیدگری پارچه‌های رنگرزی شده با رنگزای ایندیگو به عنوان نوعی رنگبر گزارش شده‌اند [۱۴، ۱۵].

محصول تجزیه ایندیگو توسط لاکاز، اساتین (ایندول ۲ و ۳ - دیون) می‌باشد که اگر بیشتر از آن تخریب شود به اسید آنترانالیک (۲- آمینوبنزوئیک اسید) تشکیل می‌شود. اکسیداسیون ماده اولیه توسط لاکاز مستلزم کاهش اکسیژن مولکولی می‌باشد، سینتیک تجزیه ایندیگو توسط نوعی لاکاز نشان می‌دهد با تغییر سریع ایندیگو به اساتین<sup>۱</sup> و در صورت تداوم عملیات آنزیمی، اسید آنترانالیک به عنوان محصول نهایی تولید می‌شود [۱۷-۱۵].

از آنجایی که لباس دوخته شده در سنگشویی جین مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین سفیدی آستر جیب و پشت کالا از اهمیت خاصی برخوردار است، بنابراین، بایستی از لکه‌گذاری ایندیگو در فرآیند سنگشویی روی آستر جیب و پشت کالا جلوگیری شود. در این تحقیق تلاش شده است که لکه‌گذاری روی آستر و پشت کالای جین را با افزایش آنزیم لاکاز در سنگشویی جین کاهش داده و همچنین با افزایش جزئی مقدار لاکاز در شستشوی جین روشنایی سطح رویی کالای جین را نیز افزایش و در نهایت کالای مورد نظر از لحاظ شید رنگی درخشان‌تر به نظر برسد.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد شیمیایی و وسایل

پارچه جین صد در صد پنبه‌ای با بافت سرزده  $S2/1$  و تراکم پودی ۲۰ و تاری ۲۶ بر سانتی‌متر با نمره نخ تار و پود رینگ  $20\text{Ne}$  و تاب  $z$  و وزن متر مربع  $265\text{ g/m}^2$  استفاده شده است. به منظور تهیه نمونه آزمایشگاهی به ابعاد  $50 \times 30$  سانتی‌متر مربع انتخاب که یک طرف آن به شکل دمپا و طرف دیگر جیب روی آن دوخته شده بود ضمناً یک تکه آستر سفید پنبه‌ای بافت تافته، تراکم تاری ۳۰ و تراکم پودی ۲۴ در سانتی‌متر با نخ این‌اند و نمره نخ تار و پود  $30\text{Ne}$  با وزن متر مربع  $106\text{ g/m}^2$  به شکل آستر جیب در پشت کالا دوخته شده است (شکل ۲).

مواد تعاونی شامل اسید استیک ۷۰٪ صنعتی، دیسپرس کننده (VERLAN N60) ترکیبی از پلی اکریلات و الکیل فسفات جهت جلوگیری از لکه‌گذاری در پشت کالا از شرکت رودلف آلمان با ساختار آنیونیک، ضد شکستگی (Rucolin JES) ترکیبی از پلی‌اکریل آمید،

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- رنگ سنجی

#### ۳-۱-۱- مقایسه اثر آنزیم سلولاز و لاکاز بر تغییر رنگ و سفیدی

نتایج مقادیر مؤلفه‌های رنگ و تغییر رنگ نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز در مقایسه با آنزیم لاکاز (روی پارچه) در جدول ۱ آمده است. مقادیر  $L^*$  جدول ۱ نشان می‌دهد که نمونه‌های عمل شده با آنزیم لاکاز دارای  $L^*$  (روشنایی) بیشتری نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز هستند و این اختلاف با آنزیم سلولاز اسیدی بیش از آنزیم سلولاز خنثی است و همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار غلظت آنزیم، روشنایی نمونه‌ها افزایش یافته است.

نمونه‌های عمل شده با آنزیم لاکاز سبتر از نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز است. به بیان دیگر نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز تهرنگ قرمزتری نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم لاکاز دارند. عملیات آنزیمی لاکاز باعث تغییر ته رنگ در کالاهای جین می‌شود و از ته رنگ قرمز به ته رنگ سبز منتقل می‌شود. مقادیر  $b^*$  نشان می‌دهد که آبی بودن کالاهای جین عمل شده با آنزیم لاکاز کاهش می‌یابد. این کاهش نشانگر کاهش لکه‌گذاری بر روی کالای جین در نمونه‌های عمل شده با آنزیم لاکاز نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز است. با افزایش مقدار آنزیم لاکاز، آبی شدن نیز کاهش می‌یابد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که لاکاز باعث تغییر رنگ در آبی شدن به سمت زردی و کاهش لکه‌گذاری بر روی کالا می‌شود. از روی مقادیر  $\Delta E$  نمونه‌ها مشخص است که تغییر رنگ نسبت به نمونه مرجع (آهارگیری) شده در نمونه‌هایی که با آنزیم لاکاز عمل شده، بیشتر است و در رتبه بعدی نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز خنثی هستند. در نمونه‌های عمل شده با لاکاز بیشترین تغییر رنگ مربوط به بیشترین درصد لاکاز است. بنابراین به طور کلی به نظر می‌رسد که لاکاز روی سطح پارچه جین، ایندیگو را تجزیه کرده و رنگ آبی را به زردی تبدیل می‌کند و این زردی در روی پارچه با آبی زیرین پارچه، سبب می‌شود تا اندکی پارچه جین با ته رنگ سبز به نظر آید.

مقادیر رنگی پشت پارچه جین در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر  $b^*$  در جدول ۲ نشان می‌دهند که با افزایش آنزیم لاکاز، میزان لکه‌گذاری پشت کاهش یافته و نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز از لکه‌گذاری پشت کمتری برخوردارند. نمونه‌های عمل شده با آنزیم لاکاز از لکه‌گذاری پشت کمتری نسبت به نمونه آهارگیری شده برخوردار است.

استحکام نمونه‌ها با دستگاه استحکام سنج CRE ساخت شرکت شرلی مدل Micro 250 اندازه‌گیری شده است. نمونه‌ها به ابعاد  $27 \times 5$  cm بریده و در جهت تار سه بار اندازه‌گیری شده و میانگین گزارش شده است.

وزن نمونه‌های آهارگیری شده قبل و بعد از شستشو اندازه‌گیری شده و درصد کاهش وزن طبق معادله ۱ محاسبه شده است. در این رابطه  $G$  درصد کاهش وزن،  $W_1$  وزن اولیه قبل از عملیات و  $W_2$  وزن ثانویه بعد از عملیات سنگ‌شویی است.

$$G = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

#### ۲-۲- روش کار

الف) آهارگیری: نمونه‌ها توسط  $1 \text{ mL/L}$  آنزیم آمیلاز در زمان  $15 \text{ min}$ ،  $\text{pH}=7$  و در دمای  $70^\circ \text{C}$  آهارگیری شده است. در کلیه آزمایشات وزن کالا  $450$  گرم و  $1:50$  مقدار دیسپرس کننده  $\text{g/L}$  و ضدشکستگی  $3$  در نظر گرفته شده است.

ب) شستشو با آنزیم سلولاز خنثی: تعداد ۴ نمونه آهارگیری شده در  $\text{pH}=7$ ، دمای  $55^\circ \text{C}$  فقط با مقادیر مختلف آنزیم سلولاز خنثی شامل  $3\text{Nc}$  (۳٪ وزن کالا)،  $6\text{Nc}$  (۶٪ وزن کالا)،  $9\text{Nc}$  (۹٪ وزن کالا)،  $12\text{Nc}$  (۱۲٪ وزن کالا) به مدت یک ساعت عمل شده‌اند.

ج) شستشو با آنزیم سلولاز اسیدی: تعداد ۵ نمونه آهارگیری شده در دمای  $55^\circ \text{C}$  و  $\text{pH}=5.5$  به مدت یک ساعت فقط با مقادیر مختلف آنزیم اسیدی  $1.5\text{Ac}$  (۱.۵٪ وزن کالا)،  $3\text{Ac}$  (۳٪ وزن کالا)،  $6\text{Ac}$  (۶٪ وزن کالا)،  $9\text{Ac}$  (۹٪ وزن کالا)،  $12\text{Ac}$  (۱۲٪ وزن کالا) عمل شده‌اند. تنظیم  $\text{pH}$  توسط اسید استیک  $70\%$  انجام شده است.

د) شستشو با ترکیب آنزیم سلولاز اسیدی و لاکاز: تعداد ۵ نمونه آهارگیری تحت دمای  $60^\circ \text{C}$  و  $\text{pH}=5$  به مدت یک ساعت با مقادیر مختلف آنزیم سلولاز اسیدی و لاکاز به ترتیب  $3\text{Ac}6\text{L}$  (۳٪ و ۶٪ وزن کالا)،  $6\text{Ac}6\text{L}$  (۶٪ و ۶٪ وزن کالا)،  $6\text{Ac}9\text{L}$  (۶٪ و ۹٪ وزن کالا)،  $6\text{Ac}3\text{L}$  (۶٪ و ۳٪ وزن کالا) عمل شده‌اند.

ه) شستشو با ترکیب آنزیم سلولاز خنثی و لاکاز: تعداد دو نمونه آهارگیری تحت دمای  $60^\circ \text{C}$  و  $\text{pH}=7$  به مدت یک ساعت با مقادیر مختلف آنزیم سلولاز خنثی و لاکاز  $9\text{Nc}3\text{L}$  به ترتیب (۹٪ و ۳٪ وزن کالا)،  $9\text{Nc}1\text{L}$  (۹٪ و ۱٪ وزن کالا) عمل شده‌اند.

و) شستشو با آنزیم لاکاز: تعداد ۴ نمونه آهارگیری شده در  $\text{pH}=4.5$ ، دمای  $65^\circ \text{C}$  فقط با مقادیر مختلف آنزیم لاکاز شامل  $3\text{L}$  (۳٪ وزن کالا)،  $6\text{L}$  (۶٪ وزن کالا)،  $9\text{L}$  (۹٪ وزن کالا)،  $12\text{L}$  (۱۲٪ وزن کالا) به مدت یک ساعت عمل شده‌اند. تنظیم  $\text{pH}$  مورد نظر توسط اسید استیک  $70\%$  صورت گرفته است.

جدول ۱: بررسی مؤلفه‌های رنگی روی سطح کالای جین در اثر آنزیم سلولاز و آنزیم لاکاز.

ΔE	h	C*	L*	b*	a*	نمونه‌ها
۳,۷۵	۲۶۷,۳۹	۱۰,۳۰	۲۳,۵۰	-۴,۹۳	۰,۴۲	Untreated F
۰,۰۰	۲۷۵,۲۲	۸,۴۲	۲۲,۵۱	-۸,۳۸	۰,۷۷	Desized F
۴,۵۳	۲۶۸,۴۲	۹,۹۷	۲۶,۶۳	-۹,۹۷	-۰,۵۴	3NC F
۶,۶۶	۲۶۶,۰۳	۱۰,۲۷	۲۸,۷۴	-۱۰,۲۴	-۰,۵۹	6NC F
۶,۶۴	۲۶۶,۴۷	۱۰,۲۹	۲۸,۷۷	-۱۰,۲۷	-۰,۶۵	9NC F
۷,۹۵	۲۶۵,۰۷	۱۰,۱۵	۳۰,۱۰	-۱۰,۳۱	-۰,۶۷	12NC F
۳,۹۸	۲۶۷,۷۴	۱۰,۷۵	۲۶,۸۸	-۱۰,۸۲	-۰,۲۷	3AC F
۴,۵۰	۲۶۸,۴۸	۱۰,۲۴	۲۷,۳۹	-۱۰,۹۳	-۰,۲۸	6AC F
۵,۷۶	۲۶۸,۴۷	۱۰,۴۳	۲۷,۸۴	-۱۱,۰۲	-۰,۳۱	9AC F
۶,۰۴	۲۶۵,۹۳	۱۰,۰۴	۲۸,۲۰	-۱۱,۹۷	-۰,۴۳	12AC F
۶,۵۲	۲۶۶,۹۵	۹,۹۹	۲۸,۸۴	-۹,۳۶	-۰,۴۹	3L F
۶,۸۶	۲۶۶,۹۷	۹,۳۸	۲۹,۲۱	-۸,۷۹	-۰,۶۴	6L F
۷,۲۹	۲۶۵,۸۲	۸,۸۱	۲۹,۶۳	-۸,۷۰	-۰,۸۱	9L F
۷,۶۳	۲۶۴,۶۷	۸,۷۳	۲۹,۹۹	-۸,۲۶	-۰,۷۵	12L F

F: روی نمونه، NC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز خنثی)، AC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز اسیدی)، L (نمونه‌های عمل شده با لاکاز) و عددهای کنار کدها درصد مقدار آنزیم نسبت به وزن کالا می‌باشد.

جدول ۲: بررسی مؤلفه‌های رنگی پشت کالای جین در اثر آنزیم سلولاز و آنزیم لاکاز.

ΔE	h	C*	L*	b*	a*	نمونه‌ها
۳,۰۸	۲۵۵,۹۹	۳,۳۵	۳۹,۴۸	-۳,۲۵	-۰,۸۱	Untreated B
۰,۰۰	۲۶۵,۵۸	۴,۸۸	۴۱,۰۷	-۴,۸۶	-۰,۳۸	Desized B
۱,۸۸	۲۶۱,۳۵	۶,۵۵	۴۲,۸۳	-۶,۴۷	-۰,۹۸	3NC B
۲,۳۲	۲۶۱,۲۲	۶,۹۳	۴۳,۰۸	-۶,۸۵	-۱,۰۶	6NC B
۲,۶۲	۲۶۰,۸۱	۷,۳۸	۴۳,۷۱	-۷,۲۸	-۱,۱۸	9NC B
۲,۷۶	۲۶۰,۷۳	۷,۴۱	۴۴,۰۵	-۷,۳۱	-۱,۱۹	12NC B
۱,۸۲	۲۶۳,۲۲	۶,۶۲	۴۲,۹۷	-۶,۶۰	-۰,۷۵	3AC B
۲,۱۹	۲۶۳,۳۱	۶,۴۴	۴۳,۳۳	-۶,۹۷	-۰,۹۶	6AC B
۲,۵۷	۲۶۲,۱۶	۷,۰۳	۴۳,۹۲	-۷,۱۹	-۱,۰۹	9AC B
۲,۵۱	۲۶۱,۳۹	۷,۲۷	۴۴,۱۱	-۷,۶۱	-۰,۸۹	12AC B
۱,۵۸	۲۶۲,۳۱	۶,۶۷	۴۳,۶۲	-۵,۱۷	-۰,۳۲	3L B
۲,۲۴	۲۶۶,۴۷	۵,۱۸	۴۴,۳۰	-۴,۵۸	-۰,۲۹	6L B
۲,۷۴	۲۶۶,۴۲	۴,۵۹	۴۴,۷۹	-۴,۵۱	-۰,۲۴	9L B
۳,۳۱	۲۶۵,۷۱	۴,۵۲	۴۵,۲۶	-۳,۹۷	-۰,۲۲	12L B

B: پشت نمونه، NC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز خنثی)، AC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز اسیدی)، L (نمونه‌های عمل شده با لاکاز) و عددهای کنار کدها درصد مقدار آنزیم نسبت به وزن کالا می‌باشد.

### ۳-۱-۲- بررسی اثر مخلوط آنزیم‌های سلولاز و لاکاز بر تغییر رنگ و سفیدی

نتایج مقادیر مؤلفه‌های رنگ و تغییر رنگ نمونه‌های عمل شده با مخلوط آنزیم‌های سلولاز و لاکاز در جدول ۴ آمده است. جدول ۴ نشان می‌دهد که نمونه‌های عمل شده با مخلوط آنزیم‌های سلولاز و لاکاز، دارای مقادیر  $L^*$  بیشتری نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز به تنهایی هستند. از طرفی روشنایی نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم لاکاز به تنهایی کمتر است. این پدیده نشان می‌دهد که نمونه‌های عمل شده با لاکاز از بیشترین مقدار  $L^*$  برخوردار است و سپس نمونه‌های عمل شده با مخلوط آنزیم‌های سلولاز و لاکاز از روشنایی کمتری برخوردارند. در نمونه‌هایی که با مخلوط آنزیم‌ها عمل شده‌اند، با افزایش آنزیم لاکاز، روشنایی کالا افزایش یافته است. علت این افزایش را می‌توان در کاهش لکه‌گذاری روی کالا دانست ولی با افزایش مقدار آنزیم سلولاز، میزان روشنایی نمونه کاهش یافته است. نمونه‌هایی که علاوه بر آنزیم سلولاز با آنزیم لاکاز عمل شده‌اند، سبزر از نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز به تنهایی و آنزیم لاکاز به تنهایی می‌باشد و با افزایش مقدار آنزیم لاکاز در مخلوط میزان سبزی افزایش یافته است. افزایش مقدار آنزیم سلولاز با کاهش سبزی همراه بوده است. به علاوه مقادیر  $b^*$  نشان می‌دهد که نمونه‌های عمل شده با مخلوط آنزیم لاکاز و سلولاز از مقادیر کمتری نسبت به نمونه‌های عمل شده با

در جدول ۳ مقایسه سفیدی آستر جیب در نظر گرفته شده است. از روی مقادیر  $w$  آستر جیب مشخص می‌شود که با افزایش مقدار لاکاز، سفیدی بیشتر شده است. همچنین از روی مقادیر  $b^*$  دیده می‌شود که میزان آبی آستر جیب کاهش و زردتر شده به طوری که ایندیگو منتقل شده روی آستر، کاملاً از بین رفته است و تغییر رنگ به سمت سفید (از روی مقدار  $w$ ) و زردی (از روی مقدار  $b^*$ ) می‌باشد. از طرفی در مقایسه با آنزیم سلولاز معلوم می‌شود که آنزیم لاکاز در کاهش لکه‌گذاری روی آستر جیب موثر بوده و حتی کاملاً آن را از بین می‌برد. در نمونه با مقدار زیاد آنزیم لاکاز، آستر جیب کاملاً زرد شده و دیگر هیچ‌گونه آبی وجود ندارد. از روی مقادیر سفیدی مشخص می‌شود، که هر چه مقدار لاکاز افزایش یابد، مقدار سفیدی آستر جیب نیز بهبود می‌یابد و همچنین این مقدار سفیدی از نمونه آهارگیری شده و نمونه‌های تحت عملیات آنزیمی سلولاز نیز بیشتر است. مقدار  $L^*$  آستر جیب با افزایش مقدار آنزیم لاکاز کاهش می‌یابد. این پدیده می‌تواند به علت افزایش زردی آستر در طی عملیات با لاکاز باشد. اما این مقدار نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز بیشتر است که نشانگر روشنایی آستر جیب نمونه‌های عمل شده با آنزیم لاکاز می‌باشد. به طور کلی، به نظر می‌رسد که ایندیگو لکه‌گذاری شده در پشت پارچه‌های جین در طی عملیات آهارگیری و... توسط لاکاز تجزیه شده و به رنگ زردی تبدیل شده است.

جدول ۳: بررسی مؤلفه‌های رنگی آستر جیب کالای جین در اثر آنزیم سلولاز و آنزیم لاکاز.

نمونه‌ها	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$h$	$\Delta E$	$W$
Untreated P	۸۹,۸۸	-۰,۵۵	۷,۳۴	۷,۳۷	۹۴,۳۰	۲۰,۵۹	۷۶,۱۰
Desized P	۷۳,۰۲	-۲,۵۰	-۴,۳۱	۴,۹۹	۲۳۹,۸۹	۰,۰۰	۴۵,۲۰
3NC P	۷۴,۰۴	-۲,۶۳	-۳,۹۷	۴,۷۶	۲۳۶,۵۲	۱,۰۸	۴۶,۸۰
6NC P	۷۳,۳۰	-۲,۹۰	-۵,۰۰	۵,۷۸	۲۳۹,۸۷	۰,۸۳	۴۵,۶۰
9NC P	۷۲,۲۰	-۲,۹۲	-۵,۰۵	۵,۶۹	۲۴۲,۶۳	۱,۱۰	۴۴,۰۰
12NC P	۷۲,۱۳	-۲,۸۲	-۵,۸۹	۵,۶۴	۲۴۰,۰۵	۰,۸۸	۴۳,۳۰
3AC P	۷۳,۰۳	-۲,۴۹	-۴,۹۸	۵,۷۷	۲۳۹,۹۲	۱,۰۶	۴۵,۴۰
6AC P	۷۲,۴۷	-۲,۶۰	-۵,۲۷	۴,۶۹	۲۳۷,۹۹	۰,۴۶	۴۵,۱۰
9AC P	۷۲,۶۱	-۲,۷۹	-۵,۳۳	۵,۰۸	۲۳۹,۲۱	۰,۹۸	۴۴,۹۰
12AC P	۷۲,۶۰	-۲,۵۰	-۵,۵۳	۵,۹۳	۲۴۱,۹۱	۰,۶۷	۴۳,۲۰
3L P	۷۸,۶۹	-۰,۵۰	-۰,۷۲	۴,۸۳	۲۳۸,۸۳	۶,۲۲	۵۲,۷۰
6L P	۷۷,۷۶	-۰,۶۸	-۰,۵۸	۰,۸۸	۲۳۵,۲۸	۸,۴۹	۵۴,۵۰
9L P	۷۷,۱۸	-۱,۰۱	۰,۲۹	۱,۶۲	۱۰۳,۴۵	۶,۳۸	۵۴,۸۰
12L P	۷۷,۱۰	-۱,۲۱	۱,۶۲	۱,۰۵	۱۶۴,۲۸	۸,۵۹	۵۵,۶۰

P: آستر جیب، NC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز خنثی)، AC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز اسیدی)،  
(نمونه‌های عمل شده با لاکاز) و عددهای کنار کدها درصد مقدار آنزیم نسبت به وزن کالا می‌باشد.

نشان می‌دهد که با افزایش مقدار آنزیم لاکاز در مخلوط میزان لکه‌گذاری در پشت کالا کاهش یافته است. به علاوه با افزایش مقدار آنزیم سلولاز، میزان لکه‌گذاری نیز افزایش یافته است. نمونه‌های عمل شده با مخلوط آنزیم لاکاز و سلولاز خنثی از مقدار  $b^*$  کمتری نسبت به نمونه عمل شده با مخلوط آنزیم سلولاز اسیدی و لاکاز برخوردارند. لکه‌گذاری در پشت نمونه‌های عمل شده با مخلوط آنزیم لاکاز و سلولاز، کمتر از نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز و بیشتر از نمونه‌های عمل شده با آنزیم لاکاز می‌باشد. اما این اختلاف کمتر از اختلاف بین نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز به تنهایی می‌باشد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که آنزیم لاکاز برای از بین بردن لکه‌گذاری در پشت نمونه موثر بوده و حتی افزایش آنزیم سلولاز تأثیر چندانی بر افزایش لکه‌گذاری نداشته است. با افزایش مقدار آنزیم لاکاز در مخلوط آنزیم‌ها، پشت نمونه روشنتر می‌شود که علت آن را می‌توان برداشت رنگ آبی بازگشت شده در طی عملیات با آنزیم لاکاز دانست. روشنایی نمونه‌های عمل شده با مخلوط آنزیم‌ها کمتر از نمونه‌های عمل شده با آنزیم لاکاز به تنهایی و بیشتر از نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز می‌باشد.

آنزیم سلولاز به تنهایی و مقادیر بیشتری نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم لاکاز به تنهایی برخوردارند. این نشان‌دهنده کاهش لکه‌گذاری بر روی کالا در اثر عملیات با آنزیم لاکاز می‌باشد در واقع آنزیم لاکاز باعث کاهش آبی بودن جین و از بین بردن آبی پساب می‌باشد. با مقایسه مقادیر  $\Delta E$  به نظر می‌رسد که با افزایش و یا کاهش مقدار آنزیم سلولاز و یا لاکاز در مخلوط، رنگ نمونه تغییرات متفاوتی دارد و اختلافات رنگ نمونه‌ها چشمگیر می‌باشد. بیشترین تغییر رنگ مربوط به نمونه عمل شده با ۹٪ لاکاز است. همچنین در مخلوط آنزیم‌ها مشخص می‌شود که ترکیب آنزیم سلولاز اسیدی و لاکاز به لحاظ نزدیکی شرایط بهینه به کارگیری، تغییر رنگ بیشتری را نسبت به نمونه‌های عمل شده با مخلوط لاکاز و سلولاز خنثی نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که آنزیم لاکاز در مخلوط آنزیم‌ها عملکرد مجزا در پساب حاوی ایندیگو و روی سطح پارچه جین (ایندیگو روی سطح) دارد و سبب تجزیه ایندیگو در پساب و روی کالا می‌شود. بنابراین لکه‌گذاری در پشت کمتر و همچنین روشنایی کالا در سطح پارچه افزایش می‌یابد. با توجه به مقادیر رنگی پشت نمونه‌ها در جدول ۵، مقادیر  $b^*$  مربوط به پشت نمونه‌های عمل شده با مخلوط آنزیم لاکاز و سلولاز

جدول ۴: بررسی مؤلفه‌های رنگی روی سطح کالای جین در اثر مخلوط آنزیم سلولاز و لاکاز.

نمونه‌ها	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$C^*$	$h$	$\Delta E$
Untreated F	۰,۴۲	-۴,۹۳	۲۳,۵۰	۱۰,۳۰	۲۶۷,۳۹	۳,۷۵
Desized F	۰,۷۷	-۸,۳۸	۲۲,۵۱	۸,۴۲	۲۷۵,۲۲	۰,۰۰
9NC F	-۰,۶۵	-۱۰,۲۷	۲۸,۷۷	۱۰,۲۹	۲۶۶,۴۷	۶,۶۴
3AC F	-۰,۲۷	-۱۰,۸۲	۲۶,۸۸	۱۰,۷۵	۲۶۷,۷۴	۳,۹۸
6AC F	-۰,۲۸	-۱۰,۹۳	۲۷,۳۹	۱۰,۲۴	۲۶۸,۴۸	۴,۵۰
9AC F	-۰,۳۱	-۱۱,۰۲	۲۷,۸۴	۱۰,۴۳	۲۶۸,۴۷	۵,۷۶
3L F	-۰,۴۹	-۹,۳۶	۲۸,۸۴	۹,۹۹	۲۶۶,۹۵	۶,۵۲
6L F	-۰,۶۴	-۸,۷۹	۲۹,۲۱	۹,۳۸	۲۶۶,۹۷	۶,۸۶
9L F	-۰,۸۱	-۸,۷۰	۲۹,۶۳	۸,۸۱	۲۶۵,۸۲	۷,۲۹
3AC6L F	-۰,۵۲	-۸,۸۲	۲۸,۱۵	۸,۸۳	۲۶۶,۶۵	۵,۷۹
6AC6L F	-۰,۶۳	-۹,۵۰	۲۸,۰۰	۹,۵۲	۲۶۶,۱۹	۵,۷۷
6AC9L F	-۰,۶۴	-۸,۹۹	۲۹,۲۹	۹,۰۲	۲۶۵,۹۴	۶,۹۵
6AC3L F	-۰,۶	-۹,۷۵	۲۷,۹۵	۹,۷۷	۲۶۶,۴۹	۶,۳۱
9AC3L F	-۰,۵۲	-۹,۷۶	۲۷,۹۰	۹,۶۷	۲۶۶,۹۰	۶,۵۲
9NC3L F	-۰,۶۸	-۹,۹۰	۲۸,۸۱	۹,۹۲	۲۶۶,۲۱	۶,۸۹
9NC1L F	-۰,۶۷	-۱۰,۲۲	۲۸,۷۹	۱۰,۵۲	۲۶۸,۴۱	۴,۲۶

F: روی نمونه، NC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز خنثی)، AC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز اسیدی)،

L (نمونه‌های عمل شده با لاکاز)، ACL (نمونه عمل شده با سلولاز اسیدی و لاکاز)،

NCL (نمونه عمل شده با سلولاز خنثی و لاکاز) و عددهای کنار کدها درصد مقدار آنزیم نسبت به وزن کالا می‌باشد.

جدول ۵: بررسی مؤلفه‌های رنگی پشت کالای جین در اثر مخلوط آنزیم سلولاز و لاکاز.

نمونه‌ها	a*	b*	L*	C*	h	ΔE
Untreated B	۰,۸۱	-۳,۲۵	۳۹,۴۸	۳,۳۵	۲۵۵,۹۹	۳,۰۸
Desized B	-۰,۳۸	-۴,۸۶	۴۱,۰۷	۴,۸۸	۲۶۵,۵۸	۰,۰۰
9NC B	-۱,۱۸	-۷,۲۸	۴۳,۷۱	۷,۳۸	۲۶۰,۸۱	۲,۶۲
3AC B	-۰,۷۵	-۶,۶۰	۴۲,۹۷	۶,۶۲	۲۶۳,۲۲	۱,۸۲
6AC B	-۰,۹۶	-۶,۹۷	۴۳,۳۳	۶,۴۴	۲۶۳,۳۱	۲,۱۹
9AC B	-۱,۰۹	-۷,۱۹	۴۳,۹۲	۷,۰۳	۲۶۲,۱۶	۲,۵۷
3L B	-۰,۳۲	-۵,۱۷	۴۳,۶۲	۶,۶۷	۲۶۲,۳۱	۱,۵۸
6L B	-۰,۲۹	-۴,۵۸	۴۴,۳۰	۵,۱۸	۲۶۶,۴۷	۲,۲۴
9L B	-۰,۲۴	-۴,۵۱	۴۴,۷۹	۴,۵۹	۲۶۶,۴۲	۲,۷۴
3AC6L B	-۰,۲۸	-۴,۸۶	۴۴,۹۴	۴,۸۷	۲۶۶,۶۶	۲,۸۷
6AC6L B	-۰,۳۸	-۵,۱۴	۴۴,۰۵	۵,۱۶	۲۶۵,۸۰	۲,۰۰
6AC9L B	-۰,۲۹	-۴,۵۷	۴۴,۶۴	۴,۵۸	۲۶۶,۳۲	۲,۸۸
6AC3L B	-۰,۲۷	-۵,۳۹	۴۳,۳۸	۵,۴۰	۲۶۷,۱۰	۱,۴۱
9AC3L B	-۰,۲۴	-۵,۴۵	۴۳,۲۹	۴,۰۵	۲۶۷,۲۴	۲,۲۳
9NC3L B	-۰,۳۰	-۵,۴۸	۴۳,۵۷	۵,۲۵	۲۶۶,۷۳	۱,۷۴
9NC1L B	-۰,۴۳	-۵,۸۷	۴۳,۱۹	۵,۸۹	۲۶۵,۸۰	۱,۵۰

B: پشت نمونه، NC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز خنثی)، AC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز اسیدی)،

L (نمونه‌های عمل شده با لاکاز)، ACL (نمونه عمل شده با سلولاز اسیدی و لاکاز)،

NCL (نمونه عمل شده با سلولاز خنثی و لاکاز) و عددهای کنار کدها درصد مقدار آنزیم نسبت به وزن کالا می‌باشد.

آنزیم سلولاز می‌باشد. با افزایش مقدار آنزیم لاکاز و یا سلولاز در مخلوط آنزیم‌ها آستر جیب نمونه‌ها سبتر می‌شود. اما میزان تغییر در افزایش آنزیم سلولاز، بیشتر از میزان تغییر در افزایش مقدار آنزیم لاکاز در مخلوط می‌باشد. به هر حال، افزایش هر کدام از آنزیم‌های سلولاز و لاکاز باعث سبتر شدن آستر جیب می‌شود. آستر جیب نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های عمل شده با لاکاز به تنهایی سبتر و نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز قمرتر می‌باشد.

سلولاز به سبب هیدرولیز سلولز مقداری ایندیگو آزاد می‌کند که مقداری از آن در حمام سنگ‌شویی و مقداری دیگر به مناطق سفید کالا (آستر جیب و پشت کالا) منتقل و لکه‌گذاری می‌کند. به سبب وجود لاکاز به همراه سلولاز، ایندیگو موجود در حمام از بین رفته و دیگر امکان لکه‌گذاری بر آستر جیب وجود ندارد. به علاوه لاکاز می‌تواند ایندیگو موجود روی آستر جیب را که هنگام آهارگیری منتقل شده را نیز تجزیه کند.

جدول ۶ مقادیر رنگی، تغییر رنگ و سفیدی آستر جیب نمونه‌های عمل شده را بیان می‌کند، با افزایش مقدار لاکاز در مخلوط، سفیدی آستر جیب (w) و همچنین روشنایی آن افزایش می‌یابد و این نشان‌دهنده کاهش لکه‌گذاری بر روی آستر می‌باشد. مقدار سفیدی نمونه‌های عمل شده با مخلوط آنزیم نسبت به نمونه‌هایی که فقط با آنزیم لاکاز عمل شده‌اند کمتر ولی نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز بیشتر هستند. در نمونه‌های عمل شده با مخلوط آنزیم‌ها، افزایش آنزیم لاکاز باعث روشنایی آستر جیب و افزایش آنزیم سلولاز باعث کاهش روشنایی شده است.

نمونه‌ها نشان می‌دهد که با افزایش آنزیم لاکاز در مخلوط میزان آبی بودن نمونه‌ها کاهش یافته و تا حدودی به زردی منتقل شده است. این در حالی است که با افزایش آنزیم سلولاز در مخلوط، آستر جیب نمونه‌ها آبی‌تر می‌شود. اما مقادیر b\* آستر جیب نمونه‌ها، بیانگر افزایش آبی شدن آستر جیب نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم لاکاز به تنهایی و کاهش آبی شدن نسبت به نمونه‌های عمل شده با



جدول ۶: بررسی مؤلفه‌های رنگی آستر جیب کالای جین در اثر مخلوط آنزیم سلولاز و لاکاز.

نمونه‌ها	a*	b*	L*	C*	H	ΔE	w
Untreated P	-۰.۵۵	۷.۳۴	۸۹.۸۸	۷.۳۷	۹۴.۳۰	۲۰.۵۹	۷۶.۱۰
Desized P	-۲.۵۰	-۴.۳۱	۷۳.۰۲	۴.۹۹	۲۳۹.۸۹	۰.۰۰	۴۵.۲۰
9NC P	-۲.۹۲	-۵.۰۵	۷۲.۲۰	۵.۶۹	۲۴۲.۶۳	۱.۱۰	۴۴.۰۰
3AC P	-۲.۴۹	-۴.۹۸	۷۳.۰۳	۴.۶۹	۲۳۷.۹۹	۱.۰۶	۴۵.۴۰
6AC P	-۲.۶۰	-۵.۲۷	۷۲.۴۷	۵.۰۸	۲۳۹.۲۱	۰.۴۶	۴۵.۱۰
9AC P	-۲.۷۹	-۵.۳۳	۷۲.۶۱	۵.۹۳	۲۴۱.۹۱	۰.۹۸	۴۴.۹۰
3L P	-۰.۵۰	-۰.۷۲	۷۸.۶۹	۰.۸۸	۲۳۵.۲۸	۶.۲۲	۵۲.۷۰
6L P	-۰.۶۸	-۰.۵۸	۷۷.۷۶	۱.۶۲	۱۰۳.۴۶	۸.۴۹	۵۴.۵۰
9L P	-۱.۰۱	۰.۲۹	۷۷.۱۸	۱.۰۵	۱۶۴.۲۸	۶.۳۸	۵۴.۸۰
3AC6L P	-۰.۷۷	-۰.۷۴	۷۹.۳۳	۱.۰۶	۱۱۰.۴۸	۸.۵۱	۵۵.۵۰
6AC6L P	-۱.۳۴	-۱.۴۵	۷۶.۴۰	۱.۹۷	۲۲۷.۳۰	۵۸.۴	۵۰.۵۰
6AC9L P	-۱.۵۳	-۰.۰۴	۷۷.۴۲	۰.۵۳	۱۸۳.۹۳	۶.۴۴	۵۲.۲۰
6AC3L P	-۰.۴۷	-۰.۸۲	۷۹.۶۸	۰.۷۸	۱۲۷.۴۳	۸.۵۳	۵۰.۱۰
9AC3L P	-۰.۵۶	-۱.۱۸	۷۷.۶۳	۰.۵۹	۱۹۷.۷۹	۶.۴۹	۴۹.۶۰
9NC3L P	-۰.۹۲	-۰.۸۹	۷۷.۵۷	۱.۰۹	۲۱۲.۵۷	۶.۰۹	۵۲.۵۰
9NC1L P	-۱.۶۵	-۲.۸۱	۷۵.۲۴	۳.۲۶	۲۳۹.۶۴	۲.۸۱	۴۸.۷۰

P: آستر جیب نمونه، NC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز خنثی)، AC (نمونه‌های عمل شده با سلولاز اسیدی)،

L (نمونه‌های عمل شده با لاکاز)، ACL (نمونه عمل شده با سلولاز اسیدی و لاکاز)،

NCL (نمونه عمل شده با سلولاز خنثی و لاکاز) و عددهای کنار کدها درصد مقدار آنزیم نسبت به وزن کالا می‌باشد.

استحکام و ازدیاد طول گزارش شده است. مقادیر استحکام و ازدیاد طول تا حد پارگی نمونه‌های مذکور در جدول ۷ ارائه شده است. همان‌طور که از مقادیر جدول ۷ مشخص است نمونه آهارگیری شده دارای بیشترین استحکام و کمترین ازدیاد طول تا حد پارگی می‌باشد. کمترین استحکام مربوط به نمونه عمل شده با آنزیم سلولاز خنثی می‌باشد. آنزیم لاکاز مانند آنزیم سلولاز باعث کاهش استحکام شده اما مقدار کاهش استحکام کمتر از آنزیم سلولاز خنثی می‌باشد. مقدار کاهش استحکام نمونه عمل شده با آنزیم لاکاز نسبت به استحکام نمونه آهارگیری شده قابل توجه می‌باشد. زمانی که نمونه با مخلوط آنزیم سلولاز خنثی و لاکاز عمل می‌شود، استحکام آن نسبت به نمونه عمل شده با آنزیم لاکاز مقداری افزایش یافته است این نشان‌دهنده کاهش اثر آنزیم لاکاز می‌باشد اما نسبت به نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز افزایش بیشتری داشته است، که اثر آنزیم سلولاز خنثی با وجود آنزیم لاکاز کاهش یافته است. به نظر می‌رسد که نمونه عمل شده با آنزیم لاکاز یا در اثر وجود شرایط اسیدی ( $\text{pH} = 4.5$ ) و دمای  $65^\circ\text{C}$  و یا اثر اکسندگی آنزیم لاکاز بر ایفای سلولزی دچار کاهش استحکام شده است.

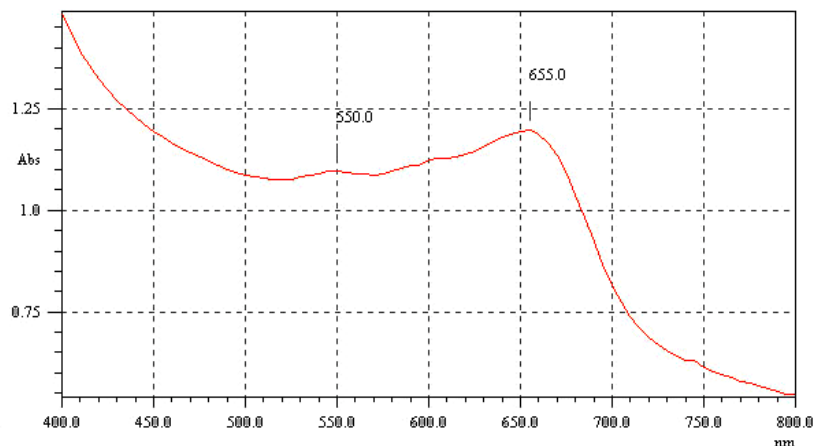
### ۲-۳- اسپکتروفتومتری جذبی

از مقایسه نمودارهای طیف جذبی نمونه‌های پساب (شکل‌های ۳ و ۴) مشاهده می‌شود که نمونه 9NC (شکل ۳) که پساب حاصل از سنگ‌شوئی با آنزیم سلولاز خنثی به تنهایی بوده، در طول موج ۵۵۰ nm و ۶۵۵ nm جذب دارد. در پساب حاوی آنزیم سلولاز خنثی به خوبی رنگ آبی دیده می‌شود زیرا پارچه جین توسط رنگزای ایندیگو رنگریزی شده است.

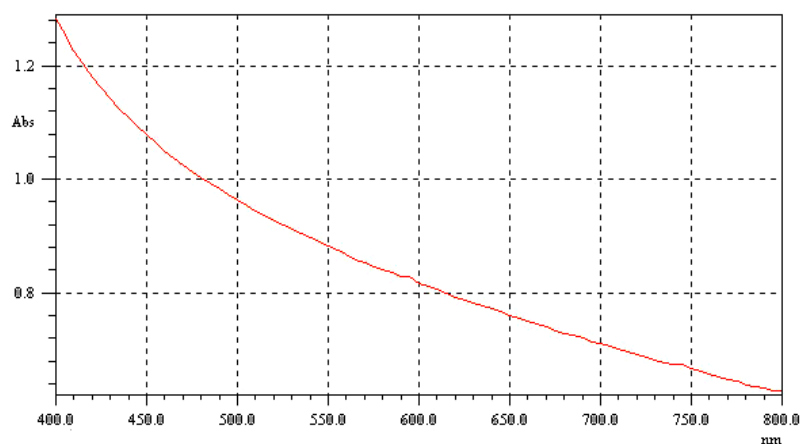
در نمودار طیف جذبی پساب حاصل از سنگ‌شوئی با مخلوط آنزیم‌های سلولاز خنثی و لاکاز (شکل ۴) مشاهده می‌شود که هیچ‌گونه جذبی در ناحیه ۸۰۰-۴۰۰ nm وجود ندارد. از نظر بصری نیز رنگ آبی در حمام مشاهده نمی‌شود و رنگ حمام سفید مایل به زرد است. در نتیجه به نظر می‌رسد که محلول دیگر حاوی رنگزای ایندیگو نیست و ایندیگوی برداشت شده از سطح کالای جین توسط لاکاز تجزیه و بی‌رنگ شده است.

### ۳-۳- استحکام

از هر نمونه ۳ بار آزمایش استحکام صورت گرفته است که میانگین



شکل ۳: طیف جذبی پساب سنگ‌شویی حاوی آنزیم سلولاز خنثی به تنهایی (9NC).



شکل ۴: طیف جذبی پساب سنگ‌شویی حاوی آنزیم سلولاز خنثی و لاکاز (9NC3L).

جدول ۷: مقادیر استحکام و ازدیاد طول تا حد پارگی در جهت تار.

نمونه‌ها	استحکام تا حد پارگی (N)	ازدیاد طول تا حد پارگی (mm)
آهارگیری شده	۱۳۶۴,۰	۵۹,۹۸
عمل شده با آنزیم سلولاز خنثی (6Nc)	۱۰۴۵,۹	۶۲,۳۷
عمل شده با آنزیم لاکاز (3L)	۱۲۳۵,۹	۷۱,۸۴
عمل شده با لاکاز و سلولاز خنثی (9Nc2L)	۱۲۶۶,۵	۷۰,۵۲

### ۴-۳- کاهش وزن

کالای سلولزی همراه ولی آنزیم لاکاز تأثیری روی سلولز نداشته است. در نمونه‌های عمل شده با مخلوط لاکاز و سلولاز با افزایش لاکاز کاهش وزن کمتر شده و با افزایش سلولاز برداشت الیاف آزاد و پرزهای سطحی بیشتر شده است. میزان کاهش وزن نمونه‌های عمل شده با مخلوط آنزیم‌های سلولاز و لاکاز نسبت به نمونه‌های عمل شده با سلولاز کمتر و نسبت به نمونه‌های عمل شده با لاکاز بیشتر می‌باشد.

مقادیر درصد کاهش وزن نمونه‌ها محاسبه شده و در جدول ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که از نتایج جدول ۸ مشخص می‌شود، کاهش وزن نمونه‌های عمل شده با لاکاز کمترین و کاهش وزن نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز بیشترین بوده است. بنابراین، آنزیم سلولاز به دلیل عمل روی سلولز با برداشت الیاف سطحی از

جدول ۸: مقادیر درصد کاهش وزن نمونه‌ها پس از عملیات سنگشویی.

نمونه	کاهش وزن %	نمونه	کاهش وزن %
3NC	۰,۴۶	6L	۰,۱۹
6NC	۰,۵۶	9L	۰,۲۱
9NC	۰,۸۳	12L	۰,۲۹
12NC	۱,۱۲	3AC6L	۰,۴۲
1.5AC	۰,۳۵	6AC6L	۰,۵۵
3AC	۰,۴۷	6AC9L	۰,۵۹
6AC	۰,۶۰	6AC3L	۰,۵۶
9AC	۰,۷۸	9AC3L	۰,۷۰
12AC	۱,۰۶	9NC3L	۰,۷۸
3L	۰,۱۵	9NC1L	۰,۸۱

#### ۴- نتیجه‌گیری

لکه‌گذاری در پشت و آستری سفید کالای جین در طی عملیات سنگشویی معمول نامطلوب است و یکی از عیوب اساسی در شستشوی کالای جین توسط سلولازها به شمار می‌رود. با توجه به اثر رنگبری آنزیم لاکاز، این آنزیم روی کالای جین مورد توجه قرار گرفته است. افزایش مقدار سلولاز خنثی یا اسیدی در سنگشویی با افزایش میزان روشنایی کالا همراه می‌باشد و سبب افزایش میزان لکه‌گذاری در پشت کالا و همچنین آستر جیب شده است. در این حال، نمونه‌های عمل شده با لاکاز از میزان روشنایی بیشتری برخوردار هستند و با افزایش مقدار لاکاز، میزان روشنایی نمونه‌ها نیز افزایش یافته است. در حالی که با افزایش میزان لاکاز، میزان لکه‌گذاری در پشت کاهش یافته است. با افزایش میزان لاکاز در همراهی با سلولاز افزایش میزان روشنایی بیشتر شده و لکه‌گذاری روی آستر و پشت کالا نیز کمتر شده است. به علاوه، با مصرف مقدار بیش از ۰.۹٪ لاکاز، سفیدی آستر از

نمونه آهارگیری شده نیز بیشتر شده است. ترتیب روشنایی (L\*)

نمونه‌های عمل شده به ترتیب زیر است:

سلولاز > مخلوط سلولاز و لاکاز > لاکاز

کاهش لکه‌گذاری پشت کالا و آستر در نمونه‌های عمل شده به ترتیب زیر می‌باشد.

سلولاز > مخلوط سلولاز و لاکاز > لاکاز

استحکام نمونه‌های عمل شده با آنزیم سلولاز خنثی، نسبت به نمونه آهارگیری شده و نمونه عمل شده با آنزیم لاکاز کاهش یافته است. نمونه عمل شده با لاکاز نیز نسبت به نمونه آهارگیری شده با کاهش استحکام همراه است ولی میزان آن نسبت به نمونه‌های عمل شده با سلولازها کمتر بوده است. همچنین سلولاز با هیدرولیز سلولز سبب کاهش وزن کالا می‌شود ولی لاکاز با تخریب رنگزا تغییری در وزن کالا ایجاد نمی‌کند. به علاوه استفاده از لاکاز در حمام سنگشویی سبب بی‌رنگی پساب حمام شده است.

#### ۵- مراجع

- Denim Fabrics: Specification and test methods; Iran Standard and Industrial Researches: Karaj, 2000; 2194.
- Jeans-The Blue Phenomenon, <http://www.CHT-group.com/now.nsf>.
- S. B. Karmakar, Chemical technology in the pre-treatment processes of textiles. ELSEVIER. (1995), 418-436.
- A. Gusakov, A. Sinitsyn, A. Berlin, Surface hydrophobic amino acid residues in cellulase molecules as a structural factor responsible for their high denim-washing performance. *Enzyme Microbial Technol.* 27(2000), 664-671.
- R. Campos, A. Cavaco, Indigo Degradation with Laccase from *Polyporus Sp.* and *Sclerotium rolfsii*. *Textile Res. J.* 71(2001), 420-424.
- A. Gusakov, A. Sinitsyn, A. Berlin, Study of protein adsorption on indigo particles confirms the existence of enzyme-indigo interaction sites in cellulose molecules. *J.*

- Biotechnol.* 87(2001), 83-90.
7. R. Lantto, M. Sc., A. Miettinen-Oinonen, Back Staining in denim wash different cellulase, *American Dyestuff Reporter* 85(1996), 64-65 and 72.
  8. N. K. Pazarlioglu, A. Foncu, Laccase production by trametes versicolor and application to denim washing. *Process Biochem.* 40(2005), 1673-1678.
  9. M. Montazer, A. Sadeghian Maryan. Comparison of different methods of denim stone washing by pumice stone, acid cellulase and neutral cellulase. *Iranian J. Polym. Sci. Technol.* 4(2007), 369-380.
  10. A. Cavaco-Paulo, J. Morgado, L. Almeida, D. Kilburn, Indigo backstaining during cellulase washing. *Text. Res. J.* 68(1998), 398-401.
  11. R. Bourbonnais, M. G. Paice, I. D. Reid, P. Lanthier, M. Yaguchi, Lignin oxidation by laccase isozymes from *Trametes versicolor* and role of the mediator 2,2-azinobis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonate) in kraft lignin depolymerization. *Appl. Environ. Microbiol.* 61(1995), 1876-1880.
  12. M. Sariisik, Use of cellulase and their effect on denim fabric properties, Dokuz Eylul University, Turkey, AATCC REV(2004).
  13. M. Montazer, A. Sadeghian Maryan, Application of laccase with cellulase on denim for clean effluent and repeatable biowashing, *J. Appl. Polym. Sci.* 110(2008), 3121-3129.
  14. R. Campos, A. Kandelbauer, K. H. Robra, A. Cavaco, Indigo degradation with purified laccase from *Trametes hirsute*. *J. Biotechnol.* 89(2001), 131-139.
  15. M. L. Goncalves, W. Steiner, Purification and characterization of laccase from a newly isolated wood-decaying fungus. *ACS Symp. Ser.* 655(1996), 258-266.
  16. A. I. Yaropolov, O. V. Skorobogatko, S. S. Vartanov, S. D. Varfolomeyev, Laccase properties, catalytic mechanism, and applicability. *Appl. Biochem. Biotech.* 49(1994), 257-280.
  17. P. Reyes, M. A. Pickard, R. Vazquez-Duhalt, hydroxybenzotriazole increases the range of textile dyes decolorized by immobilized laccase. *Biotechnol. Lett.* 21(1999), 875-880.