

معرفی روشی جدید برای بهبود خواص رنگی کالای پنبه‌ای با کاربرد دیپ یوتکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین به عنوان یک ماده‌ی متورم کننده‌ی درون کریستالی

الهام فرازنده مهر^۱، اکبر خددامی^{۱*}، محمد دیناری^۲

^۱اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان دانشکده مهندسی نساجی، کد پستی ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

^۲اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان دانشکده شیمی، کد پستی ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

khoddami@iut.ac.ir

چکیده

جهت بهبود خواص الیاف پنبه به خصوص در زمینه جذب رنگ، کاربرد مواد شیمیایی زیست سازگارتر مانند دیپ یوتکتیک‌ها به عنوان محیطی برای اصلاح مورد استفاده قرار گرفته است. دیپ یوتکتیک اوره هیدروکلراید / اتیلن دی آمین با داشتن خواص منحصر بفردی نظیر قابلیت ایجاد تورم بدون ایجاد انحلال و در نتیجه عدم تأثیر منفی بر استحکام، داشتن ویسکوزیته‌ی پائین و شرایط آسان کاربرد مورد توجه قرار گرفته است. با تهیه دیپ یوتکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین با نسبت مولی ۳/۱ و کاربرد آن در دمای محیط و مدت زمان مشخص بر روی پارچه‌ی پنبه‌ای، روشی جدید برای اصلاح خواص کالای پنبه‌ای معرفی گردید. تغییرات ایجاد شده در سطح مقطع الیاف اصلاح شده با روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. تغییر در خواص فیزیکی و مکانیکی نظیر میزان تورم، استحکام، درصد ازدیاد طول و تغییرات در سطح مقطع نمونه نیز محاسبه شد. خواص رنگی نمونه‌های اصلاح شده رنگرزی شده (رنگزای مستقیم کنگورد) شامل مقادیر K/S ، سرعت رنگرزی و مدت زمان نیمه رنگرزی با نمونه‌های عمل شده در محلول‌های مجزای شامل هیدروکسید سدیم، اتیلن دی آمین به عنوان نمونه‌ی مرجع و نمونه‌ی عمل نشده به عنوان نمونه شاهد، مقایسه شد. در نهایت تغییرات در خواص شیمیایی نظیر تغییرات در کریستالینیتی با استفاده از روش پراش اشعه ایکس (XRD) ارزیابی شد. نتایج به دست آمده اثربخش بودن اصلاح کالای پنبه‌ای بدون ایجاد تغییرات منفی در خواص مطلوب لیف را تأیید می‌کند.

کلمات کلیدی: محلول دیپ یوتکتیک، اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین، هیدروکسید سدیم، اتیلن دی آمین، پارچه‌ی پنبه‌ای

A New Method to Improve Dyeing Properties of Cotton Substrate by The Introduction of Urea Hydrochloride/Ethylene Diamine Deep Eutectic Solvent as an Intra Crystalline Swelling Agent

Elham Farazandehmehr, Akbar Khoddami^{1*}, Mohammad Dinari²

¹Esfahan, Esfahan University of Technology, Textile Engineering Department, Postal Code 84156-83111

²Esfahan, Esfahan University of Technology, chemistry Department, Postal Code 84156-83111

* khoddami@iut.ac.ir

Abstract

In this study, using more biocompatible solutions, deep eutectic solvents, are recommended to improve the properties of cotton fibers chiefly dye uptake. Urea hydrochloride/ethylene diamine eutectic solvent was used due to its unique properties in case of ability to cause swelling without any structural destruction and negative effect on the strength of cotton substrate, low viscosity and ease of use. This eutectic solvent was synthesized with a molar ratio of 1/3 respectively for Urea hydrochloride and ethylene diamine and applied on a cotton fabric at room temperature in a shaker for 2 hours. The changes of fibers cross-section in treated samples were evaluated by scanning electron microscopy (SEM) images. The variation of physical and mechanical properties of modified cotton fabrics in a term of strength, percentage of elongation, degree of swelling ($\text{cm}^3/100\text{g}$) and gloss value were measured. Dyeing properties of dyed modified samples (with congored) including K/S values, dyeing speed and half dyeing time were calculated. All of the results compared with samples treated in sodium hydroxide solution and ethylene diamine as a reference and untreated sample as a control. Finally, changes in chemical properties such as crystallinity were evaluated using X-ray diffraction (XRD) method. The obtained results confirm the effectiveness of this new approach in modifying of cotton fabrics without any negative changes in the desired properties of the fiber.

Keywords: Deep eutectic solvent, Urea hydrochloride /ethylene diamine, Sodium hydroxide, Ethylene diamine, Cotton fabric

۱. مقدمه

با توجه به اثرات نامطلوب تکمیل‌های شیمیایی موجود از لحاظ زیست‌سازگاری و غلظت بالای مواد مصرفی [۱-۲] و یا وجود محدودیت‌های کاربردی [۳]، سری جدیدی از حلال‌ها جهت استفاده به عنوان محیط اصلاح بر روی کالای پنبه‌ای معرفی شدند. مایعات یونی و حلال‌های دیپ‌یوتکتیک دو دسته متفاوت از حلال‌ها هستند. یوتکتیک‌ها سیستم‌هایی تشکیل شده از مخلوط اسیدها و بازهای لوئیس یا برنشته هستند که می‌توانند شامل گونه‌های کاتیونی و آنیونی متفاوت باشند. در مقابل مایعات یونی، سیستم‌های مرکبی از یک نوع کاتیون و آنیون مجزا هستند. مشخص گردیده است که اگرچه خواص فیزیکی یوتکتیک‌ها شبیه به مایعات یونی است، خواص شیمیایی آن‌ها مناسب کاربردهای متفاوتی خواهد بود.

واژه حلال‌های دیپ‌یوتکتیک اولین بار توسط اب‌ت‌در سال ۲۰۰۳ استفاده شد. او کاهش دمای ذوب مخلوط کولین کلراید/اوره را پس از حرارت دادن مخلوط تا ۱۰۰°C^o گزارش کرد. به دنبال آن کولین کلراید/گلسیرول و کولین کلراید/اتیلن گلایکول و دیگر ترکیبات دهنده پیوند هیدروژنی مورد بررسی قرار گرفتند [۴-۵]. دیپ‌یوتکتیک‌ها شامل یون‌های بزرگ و غیرمتقارنی هستند که انرژی شبکه پائینی دارند و در نتیجه نقطه ذوب آن‌ها پائین است. این حلال‌ها معمولاً با ترکیب نمک‌های آمونیوم چهارتایی با یک نمک فلزی و یا دهنده پیوند هیدروژنی تشکیل می‌شوند.

عدم استقرار بار ایجاد شده بین گیرنده پیوند هیدروژنی مثلاً یون هالید و دهنده پیوند هیدروژنی، معمولاً مسئول کاهش

نقطه ذوب مخلوط نسبت به تک‌تک اجزاء سازنده‌ی آن است [۴، ۶].

بر خلاف مایعات یونی، دیپ‌یوتکتیک‌ها روش تهیه بسیار آسانی دارند. ساده‌ترین، معمول‌ترین و کارآمدترین روش، حرارت دادن است. هیچ حلالی جهت انجام واکنش مورد نیاز نیست و در نتیجه احتیاج به خالص‌سازی پس از دستیابی به محصول موردنظر وجود ندارد. بر طبق مطالعات انجام شده نوع نمک و نوع ترکیب دهنده پیوند هیدروژنی و نسبت مولارد و ترکیب در مخلوط، اثرات معنی‌داری بر روی خواص خواص فیزیکی دیپ‌یوتکتیک‌ها دارند. مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی این حلال‌ها، پایداری حرارتی، نقطه ذوب، گرانیوی، دانسیته، فشار بخار، سمی بودن و میزان تاثیر بر روی محیط زیست است. دیپ‌یوتکتیک‌ها گرانیوی بیشتر و هدایت الکتریکی کمتر نسبت به مایعات یونی و دیگر حلال‌های مولکولی دارند که این امر به علت اندازه بزرگ یون‌ها و حجم آزاد نسبی در سیستم یونی آنها می‌باشد. سلولز بیشتر به صورت شیمیایی مورد اصلاح قرار می‌گیرد که به علت تعدد پیوند هیدروژنی درون مولکولی و بین مولکولی با وجود گروه‌های هیدروکسیل در ساختار آن است. وجود پیوندهای هیدروژنی با کثرت بالا ایجاد اصلاحات در ساختار پیچیده‌ی سلولزی را با مشکل مواجه می‌کند. اصلاح سلولز با جایگزینی گروه‌های هیدروکسیل آزاد در فاز هموزن یا هتروژن صورت می‌گیرد که توسط حلال‌ها امکان پذیر است [۷].

این واقعیت که دیپ‌یوتکتیک‌ها ارزان بوده و روش تهیه آسان و کم هزینه‌ای دارند باعث کاربرد آن‌ها در زمینه‌های مختلف حتی با رویکرد آزمون و خطا شده است. در زمینه اصلاح سطح

Abbott^۱

مقادیر مورد نظر از اسید کلریدریک و اوره با نسبت مولی ۱:۱، مطابق روش ذکر شده توسط تریودی^۴ [۸] و همکارانش در مقداری آب یونیزه مخلوط شده و سپس دما به ۶۰°C رسانده شد. مخلوط ذکر شده به مدت سه ساعت در دمای ۶۰°C نگه داشته شد تا واکنش کامل شود. بعد از اتمام زمان با استفاده از روتاری اوپرایتور^۵ مقدار آب اضافی خارج شده و نهایتاً مواد اولیه واکنش نداده برای دستیابی به یک ماده جامد سفید رنگ، توسط شستشو با اتانول و استون جدا سازی شد. پس از اجرای مراحل ذکر شده، محصول مورد نظر تحت شرایط خلاء در فشار ۴۰۰ مگا پاسکال خشک و برای مراحل بعدی در دیسیکاتور نگهداری شد.

۲-۲-۲- تهیه یوتکتیک اوره هیدروکلراید اتیلن دی آمین - مرحله‌ی دوم تهیه اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین در ادامه مطابق روش تریودی^۴ [۸] حلال یوتکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین با مخلوط کردن اوره هیدروکلراید و اتیلن دی آمین با نسبت مولی ۱/۳ با بهره نزدیک ۱۰۰ درصد، حاصل شد. برای دستیابی به حلال ذکر شده مقدار ۳۲/۱۱ گرم اوره هیدروکلراید با ۶۰ گرم اتیلن دی آمین، مخلوط و در دمای محیط به مدت ۳۰ دقیقه برای رسیدن به محلول هموزن اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین مطابق شکل ۱ توسط هیتر همزن دار عمل شدند.

سلولز با حلال‌های دیپ یوتکتیک، با وجود کارآمد بودن این مایعات در شیمی سلولز و پیشینه تحقیقاتی ذکر شده هنوز بسیاری از مطالعات مربوط به خواص فیزیکی، خواص شیمیایی، خواص ترموفیزیکی و فازی آن‌ها که در کاربردشان بسیار مهم و تاثیر گذار است، ناشناخته مانده است. بررسی‌های بیشتر جنبه‌های مختلف خواص این دسته از حلال‌ها در برهم کنش با سلولز می‌تواند استفاده آن‌ها را در مقیاس وسیع تر صنعتی توجیه نماید.

۲. تجربیات

۲-۱- مواد

پارچه پنبه‌ای پخت و سفیدگری شده با تراکم تاری ۲۷ و تراکم پودی ۲۴ و وزن واحد سطح 157g/m^2 با بافت تافته به عنوان نمونه‌ی شاهد (عمل نشده) مورد استفاده قرار گرفت. اوره و هیدروکسید سدیم از کمپانی مرک^۱ و اسید استیک و اتیلن دی آمین از سیگما آلدريج^۲ تهیه شدند. رنگ مستقیم کنگورد (Direct Red 28) از کمپانی سینوشم تیانجین^۳ مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- تهیه یوتکتیک اوره هیدروکلراید اتیلن دی آمین - مرحله‌ی اول تهیه اوره هیدروکلراید

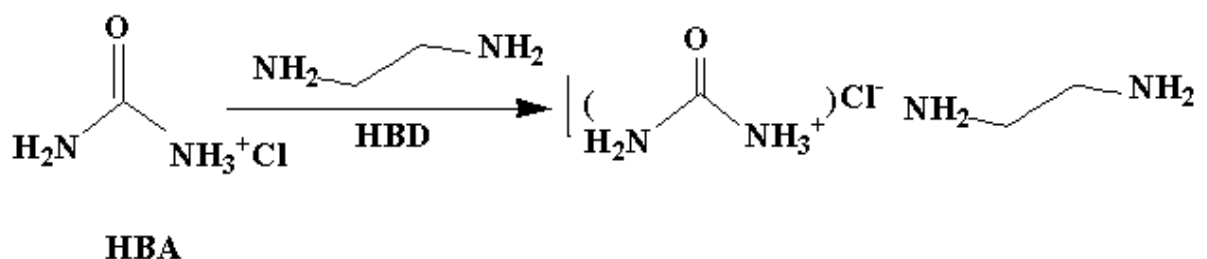
^۴Trivedi

^۵Rotary Evaporator

^۱Merck

^۲Sigma- Aldrich

^۳Sinochem Tianjin



شکل ۱- ساختمان شیمیایی حلال دیپ یونکتیک اتیلن دی آمین اوره هیدرو کلراید

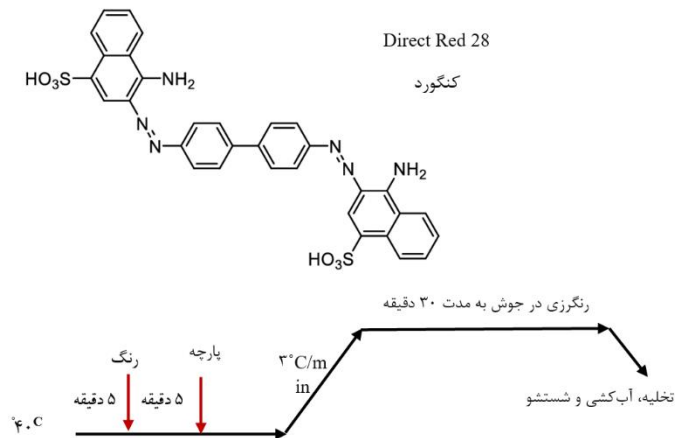
دقیقه در دمای محیط عمل شد. این نمونه نیز بعد از آبکشی‌های مکرر با آب سرد و گرم، خنثی سازی و آبکشی در نهایت در دمای محیط خشک گردید.

۲-۳- ارزیابی و اندازه‌گیری خواص

۱- ۲-۳- ارزیابی دستگامی مقدار جذب رنگ رنگری کالای پنبه‌ای با رنگزای مستقیم کنگورد در حمام حاوی ۱٪ وزنی از رنگزا مطابق منحنی نشان داده شده در شکل ۲ بدون اضافه کردن ماده کمکی به منظور حذف برهم کنش‌های الکترواستاتیکی انجام شد. ساختمان رنگزای مزبور که یک رنگ دی آزو با دو گروه سولفونه است در شکل مشخص گردیده است. این رنگ بدلیل هندسه‌ی مسطح و طویل خود می‌تواند در راستای محور به موازات میکروفیبریل‌های سلولز جذب شود. وجود گروه‌های سولفونیک، حلالیت مولکول رنگ در آب را افزایش می‌دهد و گروه‌های آزو و آمین برهم کنش‌های هیدروژنی با گروه هیدروکسیل در سلولز را فراهم می‌کند.

۲-۲-۳- عمل کردن پارچه‌ی پنبه‌ای با یونکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین

تکه‌های مشابه‌ی از پارچه‌های پنبه‌ای پخت و سفیدگری شده برای عمل شدن در محلول‌های اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین، محلول هیدروکسید سدیم و محلول اتیلن دی آمین خالص آماده شدند. نمونه‌های اول و دوم به ترتیب در محلول یونکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین و محلول اتیلن دی آمین خالص به مدت دوساعت در دمای محیط در دستگاه شیکر عمل گردید. علت استفاده از این محلول بررسی مشابهت رفتاری اتیلن دی آمین و یونکتیک پیشنهادی و اثر متورم‌کنندگی محرز اتیلن دی آمین بر روی سلولز است [۹-۱۱]. نمونه‌ها پس از مدت زمان ذکر شده از محلول خارج و چندین بار با آب ۷۰°C و سپس آب سرد شستشو شدند و در نهایت در دمای محیط خشک شدند. به‌منظور مقایسه‌ی بهتر نتایج، در حمام جداگانه نمونه‌ای دیگر در محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۱۶۰ g/L به مدت ۵



شکل ۲- منحنی رنگریزی و ساختمان شیمیایی رنگزای کنگورد استفاده شده برای رنگریزی پارچه‌ی پنبه‌ای

محور زرد- آبی، مختصات رنگی نمونه در محور سبز- قرمز و روشنایی نمونه است. مقادیر K/S و ΔE_{ab}^* نمونه‌ها با استفاده از نرم افزار Matlab محاسبه و گزارش شد.

۲-۳-۲- بررسی نفوذ رنگ

نمونه‌های مورد نظر با استفاده از رنگزای کنگورد با غلظت ۱٪ و در حمامی با L:R برابر با ۱:۲۰ در شرایط دمایی ثابت ۸۰°C و بدون کاربرد مواد کمکی رنگریزی شدند و درصد جذب رنگ آنها با اندازه‌گیری مقدار جذب رنگ در طول موج ماکزیمم جذب و در زمان‌های مختلف: ۱، ۵، ۸، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰ دقیقه با استفاده از

اسپکتروفتومتر جذبی مدل Shimadzu 1240 Uvmini Spectrophotometer و طبق رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\text{رابطه (۳)} \quad \% \text{ جذب} = \frac{C_i - C_t}{C_i} \times 100$$

در این رابطه C_i و C_t به ترتیب غلظت ابتدایی و غلظت در زمان t حمام رنگریزی نمونه‌ها بودند.

۲-۳-۳- بررسی سرعت جذب رنگ

پس از خروج از حمام رنگریزی نمونه‌ها در حمامی حاوی ۱ g/L صابون پرلاوین SRD، شستشو، آبکشی و در دمای اتاق خشک شدند. مقدار انعکاس و مقادیر داده‌های کالریمتریک نمونه‌ها تحت استاندارد روشنایی D_{65} و مشاهده کننده ۱۰ درجه در بازه طول موجی ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر با گام ۱۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی اسپکترفلیش X600 اندازه‌گیری و ثبت شدند. مقدار K/S هر نمونه با استفاده از رابطه ۱ و کاربرد معادله کیوبلکامانک محاسبه شد؛ که در این رابطه K ضریب جذب، S ضریب انتشار، R نشان‌دهنده مقدار انعکاس و λ_{max} طول موج ماکزیمم جذب است.

$$\text{رابطه (۱)} \quad K/S = (1 - R_{\lambda_{max}})^2 / 2R_{\lambda_{max}}$$

مقدار اختلاف رنگ CIELAB بین نمونه‌های عمل شده و نمونه شاهد طبق رابطه ۲ محاسبه شد.

$$\text{رابطه (۲)} \quad \Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

بر طبق رابطه، ΔE_{ab}^* بیان کننده اختلاف مطلق بین نمونه عمل شده و شاهد، b^* ، a^* ، L^* ، به ترتیب مختصات رنگی نمونه در

^۱ Spectra Flash X600

سرعت رنگرزی که بصورت وزن رنگ جذب شده بر روی سطح الیاف در واحد زمان در حداکثر دمای جذب تعریف می‌شود، طبق رابطه ۴ محاسبه شد.

$$K_t = \frac{1}{C_i - C_t} - \frac{1}{C_i} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه C_i و C_t به ترتیب درصد ابتدایی رنگ در حمام و درصد رنگ جذب شده روی پارچه است [۱۲].

۲-۳-۴- بررسی زمان نیمه رنگرزی ($t_{1/2}$)

مدت زمان لازم برای جذب رنگ به مقدار نصف مقدار جذب شده در حالت تعادل، به عنوان زمان نیمه رنگرزی در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه با اندازه‌گیری مقدار جذب در حالت تعادل در دمای 80°C مدت زمان نیمه رنگرزی محاسبه شد [۱۲-۱۳]. در آزمایش انجام شده با رسم منحنی کالیبراسیون، غلظت بهینه حمام‌های رنگی برای قرار گرفتن مقدار جذب محلول‌های رنگی در محدوده‌ی بین $0/8 - 0/2$ و برقراری قانون بیر لامبرت، انتخاب شد.

۲-۳-۵- اندازه‌گیری مقدار تورم سلولز با استفاده از ۲- پروپانول

در روش تعیین مقدار تورم ارائه شده توسط اندرو^۱ و اوبرگ^۲ [۱۴]، جایگزین شدن ماده متورم کننده (آب) با ۲- پروپانول که توانایی ایجاد تورم را ندارد و در نتیجه باعث خروج آب بیشتر توسط سانترافیوژ می‌گردد، مبنای اندازه‌گیری تورم است. برای اندازه‌گیری تورم به روش اوبرگ، ابتدا ۱ گرم از هر نمونه توزین گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت در آب خیس شدند. در مرحله‌ی بعد به فلاسک مجهز به یک ظرف

متخلخل که بتواند مایعات و گازها را از خود عبور دهد، منتقل شدند.

مکش آب توسط ایجاد خلاء در فلاسک انجام شد و بیشتر آب اضافی از نمونه‌ها جدا گردید. نمونه‌ها سپس چهار مرتبه با ۲- پروپانول شسته شده تا از جدا شدن آب، اطمینان حاصل شود؛ در مرحله بعد نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در بشر حاوی ۲- پروپانول خیس‌انده شدند و محلول اضافی با مکش ایجاد شده توسط خلاء خارج شد. در این مرحله نمونه‌ها به سانترافیوژ منتقل شده و با سرعت 2500rpm به مدت ۳۰ دقیقه سانترافیوژ شد.

نمونه‌ها پس از خروج از سانترافیوژ بافاصله توسط یک ترازوی آنالیتیکال وزن شده و سپس جهت خشک شدن به آن منتقل گردیده و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای $100-110$ درجه خشک شدند و پس از سرد شدن مجدداً توزین شدند.

درجه تورم بر اساس میلی‌لیتر آب برای ۱۰۰ گرم نمونه طبق رابطه ۵ محاسبه شد.

$$(5) \quad 100 \text{ گرم نمونه در میلی‌لیتر آب} = \frac{W_1 - W_2}{W_2 \times 0.786} \times 100 \text{ cm}^3$$

W_2 و $1W$ به ترتیب وزن نمونه پس از خشک شدن در خشک کن و وزن نمونه پس از خروج از سانترافیوژ است.

۲-۳-۶- استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) سطح مقطع طولی و عرضی الیاف تشکیل دهنده‌ی نخ‌های تار در نمونه‌های اصلاح شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Temic XL30 تایوانی مورد ارزیابی قرار گرفت.

^۱Andrew

^۲Oberg

^۳Scanning Transmission Electron Microscopy

از بزرگنمایی ۲۰۰ و ۵۰۰، برای بررسی سطح مقطع نمونه‌ها استفاده شد. نمونه‌ها قبل از تصویربرداری با خشک کن پاششی خشک و با یک لایه از طلا پوشش داده شدند.

۷-۳-۲- استفاده از پراش اشعه‌ی ایکس^۱ برای بررسی تغییرات در بلورینگی

قله‌های پراش اشعه‌ی ایکس که با تداخل سازنده یک پرتو تک رنگ اشعه‌ی ایکس که توسط زوایای خاصی از هر دسته از صفحات شبکه‌ای پراکنده می‌شود، تولید می‌گردد، یک اثر انگشت منحصر به فرد از نظم اتمی دوره‌ای در یک ماده معین است. هنگامی که اشعه ایکس شرایط قانون براگ^۲ را طبق رابطه ۸ برآورده کند، تقابل اشعه برخوردی با نمونه باعث ایجاد تداخل می‌گردد. اندازه بلور با توجه به رابطه ۹ یعنی رابطه شرر^۳ محاسبه می‌شود.

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$L = k\lambda / H \cos\theta \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این روابط n عدد صحیح، λ طول موج اشعه ایکس، d فاصله سطوح داخلی ایجاد کننده پراش، L اندازه‌ی بلور، H عرض پیک در نصف ارتفاع ماکزیمم و θ زاویه پراش است.

در این مطالعه، پراش با استفاده از دستگاه XRD شرکت بیم گستر تابان با 2θ بین ۱۰ تا ۴۰، اندازه‌ی گام ۰/۰۲ و مدت زمان ۱ ثانیه برای هر گام انجام شد. برای پشت پوش کردن نمونه‌ها، نمونه‌ها چند لا شدند.

۲-۳-۸- اندازه گیری ماکزیمم نیروی پارگی

یکی از مهمترین خواص مکانیکی پارچه استحکام آن است. استحکام کششی بالاترین میزان نیروی کششی اعمال شده بر نمونه است که در جریان آزمایش تا زمان پارگی به نمونه اعمال شده است و میزان مورد قبول آن برای نخ و یا پارچه مستقیماً به کاربرد نهایی آن کالا بستگی دارد. در پژوهش حاضر به این علت که معمولاً نخ تار به استحکام بیشتری نسبت به نخ پود نیاز دارد، برای مقایسه استحکام کششی بین نمونه‌های عمل شده، ماکزیمم نیروی جهت پارگی نمونه‌ها که به صورت پارچه و در ابعاد 15×2.5 تهیه شده بودند، در جهت تار با استفاده از دستگاه زوئیک مدل Zwick universal testing machine 144660 و استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۴۷ [۱۵] بر اساس نرخ ثابت ازدیاد طول و با سرعت تقریبی ۲۰ mm/min اندازه‌گیری و ثبت شد (اندازه‌گیری برای هر نمونه سه بار تکرار گردید).

۳-۲-۹- اندازه گیری جلا

مفهوم جلا بر طبق انستیتیوی نساجی نمایش شدت مختلف نور بازتابش شده در دو جهت آینه‌ای و پراکنده از قسمت‌های مختلف یک سطح برای یک دسته پرتوی نور بازتاب شده است [۱۶]. جهت مقایسه مقدار جلا در نمونه‌های اصلاح شده با نمونه‌های مرجع و شاهد از دستگاه گلاسیومتر مدل MINIGLOSS 101N طبق استاندارد ASTM D523 [۱۷] استفاده شد. در حالت کلی این دستگاه درصد نور بازتاب شده در جهت آینه‌ای را اندازه می‌گیرد. زاویه تابش نور برای پارچه معمولاً ۶۰ درجه در نظر گرفته می‌شود. برای هر نمونه چهار اندازه‌گیری از قسمت‌های مختلف نمونه انجام شد؛ به نحوی که نمونه‌ها بر روی یک سطح ثابت قرار گرفته و سپس

^۴XRD(X Ray Diffraction)

^۱Bragg

^۲Scherrer

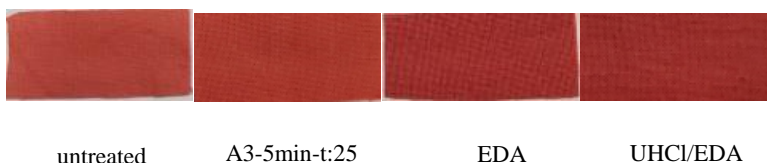
نمونه عمل شده در محلول اوره هیدرو کلراید/ اتیلن دی آمین نسبت به نمونه‌ی عمل نشده (نمونه شاهد) و نمونه عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم تغییر محسوسی داشته است. افزایش در میزان جذب رنگ نمونه‌ی پارچه‌ی پنبه‌ای عمل شده در یوتکتیک مزبور نسبت به اتیلن دی آمین خالص که یک متورم کننده‌ی درون کریستالی برای سلولز است، نشان دهنده‌ی اثر بخش بودن این یوتکتیک در بهبود خواص جذب رنگ پارچه‌ی پنبه‌ای است.

اندازه‌گیری براقیت در زاویه ۶۰ درجه، با استفاده از گلاسومتر انجام گردید. این داده‌ها اگرچه نشان دهنده‌ی مقدار مطلق جلا نیست ولی جهت مقایسه مقدار جلا در نمونه‌های عمل شده معیار مناسبی است.

۳. نتایج و بحث

۱- ۳- مقایسه بصری و دستگاهی نمونه‌ها

با مقایسه بصری و دستگاهی نمونه‌ی عمل شده در محلول دیپ یوتکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین همانطور که از داده‌های بصری شکل ۳ هم کاملاً محرز است، مقدار K/S



شکل ۳- مقایسه بصری نمونه‌های عمل شده با رنگزای کنگورد. نمونه‌ها به ترتیب از راست به چپ نمونه‌ی عمل نشده، نمونه‌ی عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۱۶۰ g/L به مدت ۵ دقیقه در دمای محیطو نمونه‌ی عمل شده در اتیلن دی آمین و نمونه‌ی عمل شده در یوتکتیک اوره هیدرو کلراید/ اتیلن دی آمین خالص به مدت ۲ ساعت در دمای محیط است.

جدول ۱- مقایسه مقدار K/S نمونه های عمل شده و شاهد

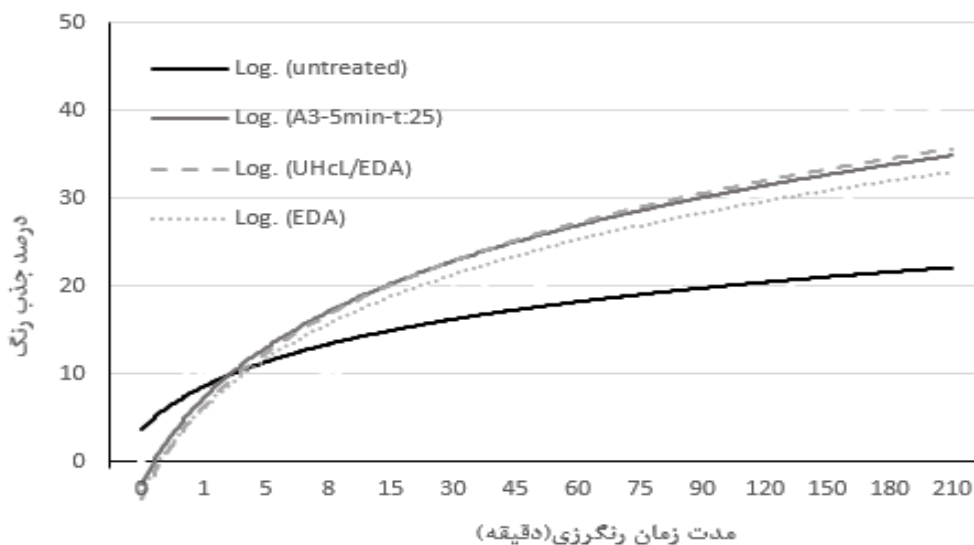
کد نمونه	K/S 580nm Direct red 28	ΔE_{ab}^*	L*	a*
UHCl/EDA	۱۶/۳۷	۹/۵۹	۴۱/۰۲	۵۵/۱۶
EDA	۱۵/۷۵	۸/۸۶	۴۲/۴۹	۵۵/۶۷
A3-5min-t:25	۱۲/۸۸	۷/۵۳	۴۲/۳۶	۵۵/۰۳
untreated	۹/۹۳	۷/۶۸	۴۳/۱۸	۵۵/۱۶

UHCl/EDA: نمونه‌ی عمل شده در یوتکتیک اوره هیدرو کلراید/ اتیلن دی آمین به مدت ۲ ساعت در دمای محیط در شیکر؛
EDA: نمونه‌ی عمل شده اتیلن دی آمین به مدت ۲ ساعت در دمای محیط در شیکر؛
A3-5min-t:25: نمونه‌ی عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم در غلظت ۱۶۰ گرم بر لیتر به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط؛
Untreated: نمونه‌ی عمل نشده.

جدول ۱، نمودار درصد جذب رنگ بر حسب زمان با رسم منحنی کالیبراسیون و اندازه‌گیری مقدار جذب محلول‌های رنگی با استفاده از اسپکتروفوتومتر شیمادزو انجام شد. برای رسم این نمودار، تغییرات غلظت محلول و در نتیجه میزان جذب

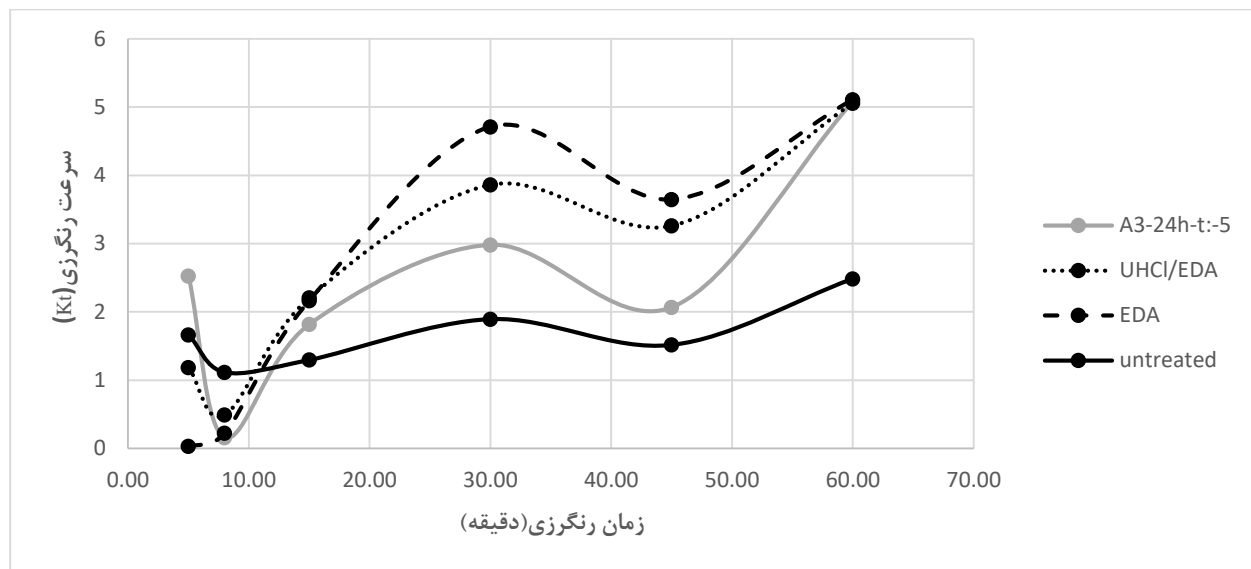
۲- ۳- بررسی درصد جذب رنگ، سرعت و زمان نیمه رنگزای برای بررسی و تحلیل بهتر نتایج بدست آمده در نمونه‌ی عمل شده در محلول یوتکتیک اوره هیدرو کلراید/ اتیلن دی آمین با توجه به افزایش مقدار K/S به مقدار ۱۶/۳۷ با توجه داده های

رنگ مطابق رابطه‌ی ۳ در زمان‌های مختلف ۱، ۵، ۸، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج بدست آمده در شکل ۴ به صورت درصد جذب رنگ بر حسب زمان مشخص شده است. تغییرات تدریجی در میزان جذب رنگ با افزایش زمان در همه نمونه‌های اصلاح شده مشاهده می‌شود. نمونه‌ی عمل شده در



شکل ۴- درصد جذب رنگ در زمان‌های مختلف رنگ‌رزی در نمونه‌های اصلاح شده و مقایسه‌ی آن با نمونه‌ی شاهد (عمل نشده). نمونه‌ها به ترتیب از بالا به پایین نمونه‌ی عمل نشده، نمونه‌ی عمل شده در اتیلن دی آمین، نمونه‌ی عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۱۶۰g/L به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط نمونه‌ی عمل شده در یوتکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین خالص به مدت ۲ ساعت در دمای محیط است.

ایزوترم مدت زمان جذب رنگ در دمای ۸۰°C در نمونه‌های بالاتر رنگ‌رزی در نمونه‌های عمل شده در اتیلن دی آمین خالص مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفت. در فواصل زمانی مختلف، مقادیر سرعت (K_t) طبق رابطه‌ی ۴ محاسبه شد. نتایج این بررسی که در شکل ۵ مشخص شده است، نشان دهنده سرعت



شکل ۵- نمودار سرعت رنگرزی نمونه‌های اصلاح شده و نمونه‌ی شاهد در دمای 80°C . نمونه‌ها به ترتیب از بالا به پائین، نمونه‌ی عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم با غلظت 160g/L به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط، نمونه‌ی عمل شده در یوتکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین خالص به مدت ۲ ساعت در دمای محیط، نمونه‌ی عمل شده در اتیلن دی آمین خالص به مدت ۲ ساعت در دمای محیط و نمونه‌ی عمل نشده است.

برای بدست آوردن زمان نیمه رنگرزی ($t_{1/2}$)، نمونه‌ها به مدت ۴۲۰ دقیقه در دمای ثابت 80°C رنگرزی شدند و مقدار جذب نمونه‌ها در بازه‌های زمانی بالاتر یعنی ۲۴۰، ۲۸۰، ۳۱۰، ۳۳۰، ۳۶۰ و ۴۲۰ دقیقه ثبت شد. مدت زمان نیمه رنگرزی که بیان کننده مدت زمان رسیدن به نصف مقدار جذب رنگ در حالت تعادل است، برای نمونه‌ی عمل شده در یوتکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین، اتیلن دی آمین خالص، محلول هیدروکسید سدیم و نمونه‌ی عمل نشده به ترتیب ۱۳، ۳۰، ۱۷ و ۶۵ دقیقه اندازه‌گیری شد. کاهش زمان نیمه رنگرزی و در نتیجه افزایش راندمان در نمونه‌ی عمل شده در یوتکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین از نتایج اصلاح مؤثر صورت گرفته است.

۳-۳- بررسی شاخص بلورینگی با استفاده از داده‌های پراش اشعه ایکس برای بررسی مقدار بلوری بودن الیاف پنبه در نمونه‌های اصلاح شده، الگوی XRD نمونه‌های اصلاح شده و عمل نشده در بازه‌ی ۲ بین ۱۰ تا ۴۰ درجه با فاصله‌ی 0.2° اندازه‌گیری شد که در شکل ۶ بعد از هموار شدن، مشخص گردیده است. مقدار بلورینگی نمونه‌ها با استفاده از نرم افزار اکسپرت^۱ و اوريجين^۲ [۱۸] تحلیل و مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری مقدار شاخص بلورینگی از دو روش برازش منحنی‌های گوسی بر روی داده‌های استخراج شده^۳ و روش ارائه شده توسط سگال^۴ استفاده شد. در روش سگال، از نسبت شدت بلندترین پیک (I_{002}) به شدت ارتفاع کمینه بین پیک-

^۱Xpert High Score Plus

^۲Origin

^۳Pick Deconvolution

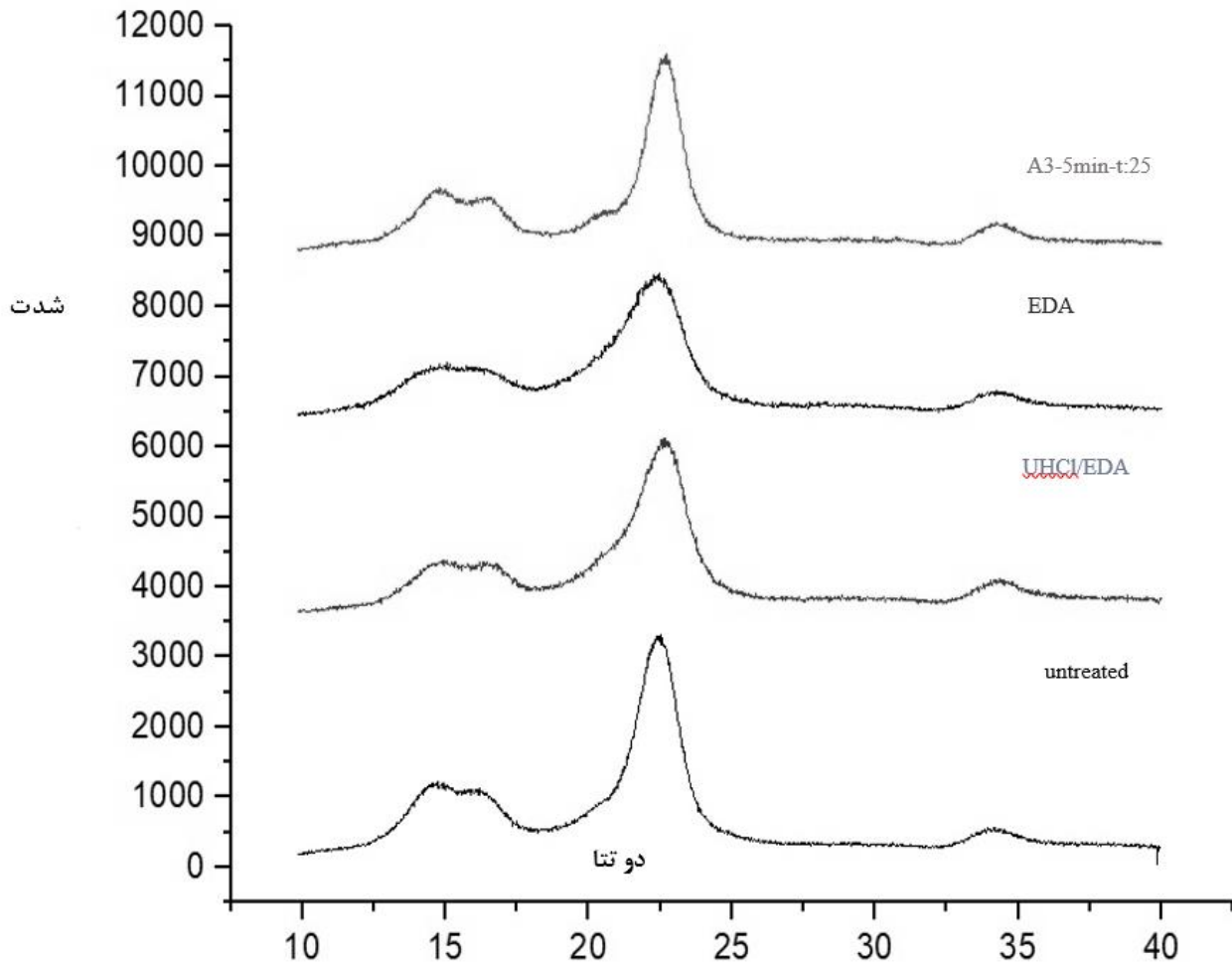
^۴Segal

$$CI = \frac{I_{002} - I_{AM}(\lambda)}{I_{002}}$$

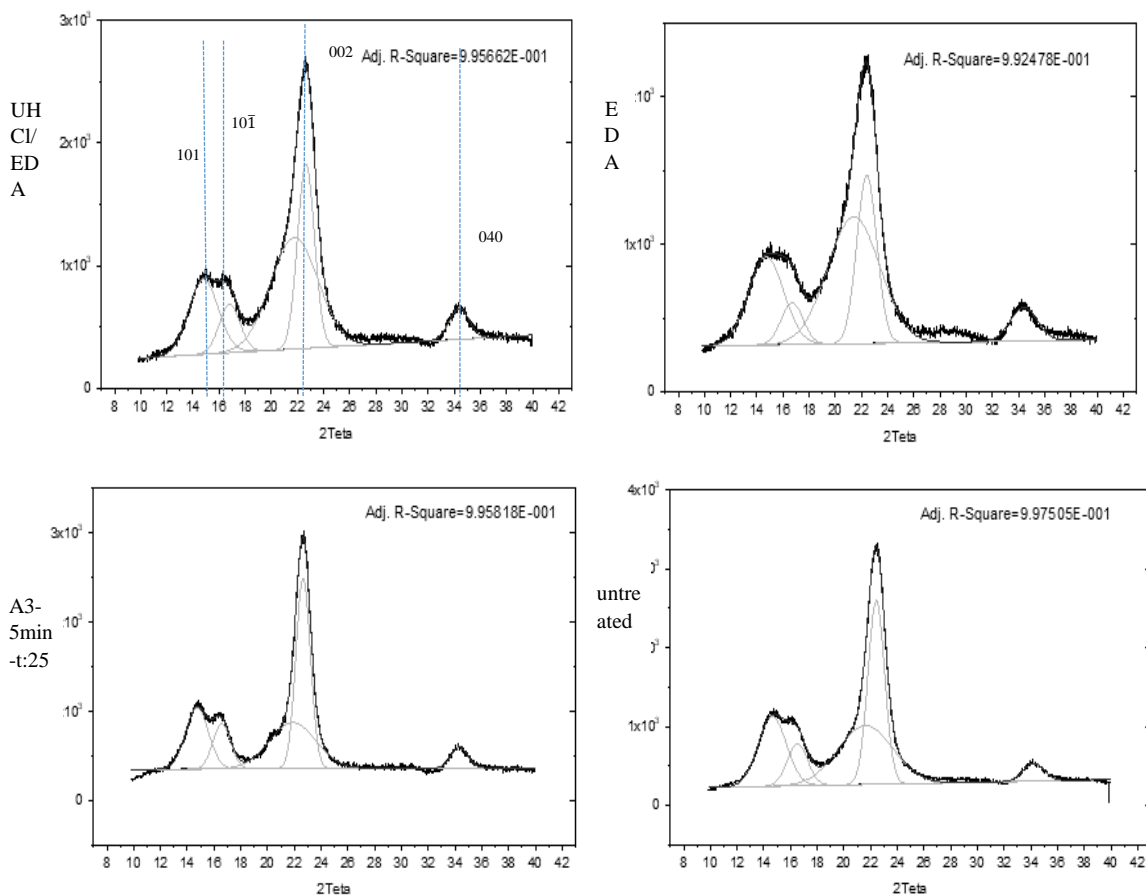
رابطه (۸)

های 002 و 101 مطابق رابطه‌ی ۸ مقدار شاخص بلورینگی

محاسبه شد.



شکل ۶- داده‌های XRD نمونه‌های اصلاح شده و مقایسه با نمونه عمل نشده نمونه‌ها به ترتیب از بالا به پایین، نمونه‌ی عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۱۶۰g/L به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط، نمونه‌ی عمل شده در اتیلن دی آمین خالص به مدت ۲ ساعت در دمای محیط، نمونه‌ی عمل شده در یوتکتیک اوره هیدرو کلراید/ اتیلن دی آمین خالص به مدت ۲ ساعت در دمای محیط و نمونه‌ی عمل نشده است.



شکل ۷- پیک های فاز بلوری برازش شده بر روی الگوهای پراش اشعه ایکس نمونه‌های اصلاح شده جهت محاسبه‌ی شاخص بلورینگی. نمونه A: نمونه‌ی عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۱۶۰ g/L به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط، نمونه EDA: نمونه‌ی عمل شده در اتیلن دی آمین خالص به مدت ۲ ساعت در دمای محیط، نمونه UHCl/EDA: نمونه‌ی عمل شده در یونکتیک اوره هیدرو کلراید/ اتیلن دی آمین خالص به مدت ۲ ساعت در دمای محیط و untreated: نمونه‌ی عمل نشده است.

در روش دوم که با استفاده از برازش منحنی توسط توابع گوسی محاسبه می‌گردد، همانطور که در شکل ۷ مشخص شده است، پیک‌های بلوری مربوط به صفحات 101، 101̄، 021، 002 و 040 جداسازی و مشخص گردید. مقدار شاخص بلورینگی با استفاده از نسبت مساحت قله‌های بلوری، 101، 021، 002 به مساحت کل سطح زیر نمودار، تعیین شد [۱۸]. مقادیر شاخص بلورینگی کلی و جزئی برای نمونه‌های عمل شده و نمونه‌ی شاهد نیز در جدول ۲ خلاصه شده است. مقدار

شاخص کریستالینیتی در نمونه‌ی عمل شده در یونکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین از نمونه‌های عمل شده‌ی دیگر و نمونه‌ی شاهد کمتر است که تأیید کننده‌ی علت افزایش در مقدار جذب رنگ، افزایش سرعت و کاهش زمان نیمه رنگریزی است.

با مقایسه مقادیر محاسبه شده برای شاخص های کریستالینیتی جزئی، می‌توان ساختارهای چند شکلی مختلف موجود در پنبه (سلولز I و سلولز II) را مقایسه کرد. با توجه به داده‌های شکل ۶ و پهن شدن قله بلوری 021 در نمونه‌های عمل شده در

اتیلن دی آمین و اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین، شباهت رفتار حلال یوتکتیک و اتیلن دی آمین در بحث تعامل با زنجیره‌های سلولزی و تورم قسمت‌های بلوری با حفظ ساختار سلولزی^I، مطرح می‌گردد. دیپ یوتکتیک اوره هیدرو کلراید/اتیلن دی آمین نیز مانند اتیلن دی آمین سلولز را متورم کرده و انتشار حلال را به مناطق کاملاً بلوری تسهیل می‌کند؛

دقیقاً اتفاقی که در اثر عمل کردن تکه پارچه‌ی پنبه‌ای عمل شده در محلول اتیلن دی آمین و شستشو با آب اتفاق می‌افتد. وجود قله بلوری 021 در نمونه‌های عمل نشده و افزایش آن در نمونه‌ی عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم بصورت کاملاً مشخص، ایجاد ساختار سلولز II را در اثر عمل کردن در محلول قلیایی، تأیید می‌کند.

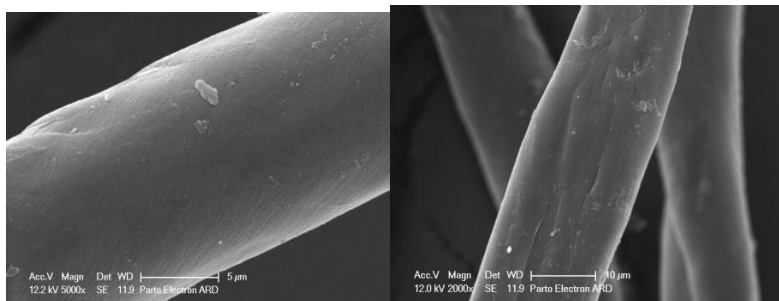
جدول ۲- مقدار شاخص بلورینگی کلی و جزئی نمونه‌های اصلاح شده

کد نمونه	Crystallinity Index		Partial Crystallinity Index		
	Peak height method	Peak Deconvolution method	101	101̄	002
untreated sample	۸۵/۰۵	۶۰	۱۸/۵۲	۸/۰۲	۳۰/۲۶
UHCl/EDA	۷۹/۱۸	۵۱/۱۹	۱۶/۳۵	۷/۳۸	۲۲/۹۳
EDA	۷۳/۲۱	۵۲/۷۵	۱۰/۸۱	۱۵/۱۳	۲۱/۲۵
A3-5min-t:25	۸۵/۷۵	۵۸	۱۵/۳۰	۸/۷۶	۳۰/۱۷

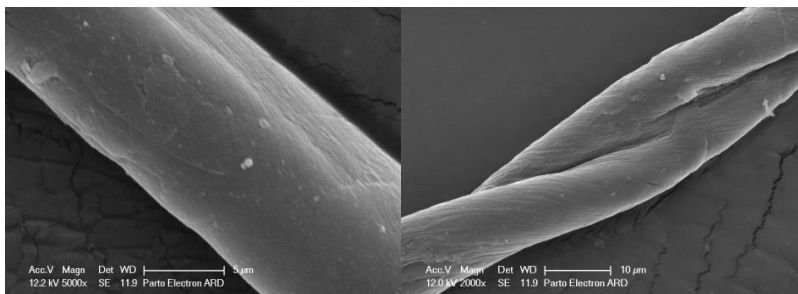
UHCl/EDA: نمونه‌ی عمل شده در یوتکتیک اوره هیدرو کلراید/ اتیلن دی آمین به مدت ۲ ساعت در دمای محیط در شیکر؛
 EDA: نمونه‌ی عمل شده اتیلن دی آمین به مدت ۲ ساعت در دمای محیط در شیکر؛
 A3-5min-t:25: نمونه‌ی عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم در غلظت ۱۶۰ گرم بر لیتر به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط؛
 Untreated: نمونه‌ی عمل نشده.

نمونه‌ها می‌تواند به تورم نایکنواخت قسمت‌های دورنی لیف باشد. برای مشخص شدن این تخریب در صورت وجود و ایجاد لایه‌های احتمالی ایجاد شده از بزرگنمایی $5000\times$ سطح نمونه نیز تصویربرداری شده است. با توجه به نتایج مشاهده شده از تصاویر ذکر شده، لایه ای شدن و یا ایجاد حفره در اثر عملیات شیمیایی بکار رفته در فرآیند اصلاح، در هیچ از نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود. ایجاد تورم یکنواخت، برطرف شدن نیم تاب و نزدیک شدن شکل به حالت استوانه‌ای حاکی از تأثیر اصلاح ساختاری و بهبود خواص سطحی است.

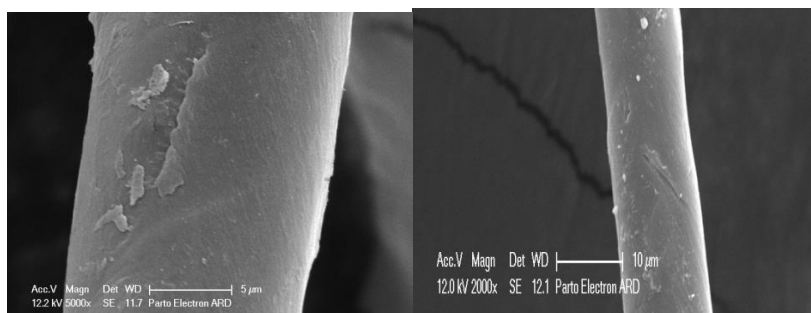
۳-۳- بررسی سطوح نمونه‌های اصلاح شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
 برای بررسی مورفولوژی سطحی نمونه‌های اصلاح شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی و با دو بزرگنمایی $2000\times$ و $5000\times$ تصاویری تهیه شد که در شکل ۸ مشاهده می‌شود. با توجه به تصاویر که اطلاعات سطح الیاف نخ تار استخراج شده از نمونه‌های اصلاح شده را نشان می‌دهد، تغییرات سطحی به عنوان تخریب در نمونه‌های اصلاح شده دیده نمی‌شود. افزایش و رشد لایه‌ای شدن در سطح خارجی



EDA



A3-5min-t:25



UHCI/EDA

شکل ۸- تصاویر SEM الیاف حاصل از نمونه‌های اصلاح شده با دو بزرگنمایی ۲۰۰۰X و ۵۰۰۰X. نمونه A3-5min-t:25: نمونه‌ی عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۱۶۰g/L به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط، نمونه EDA: نمونه‌ی عمل شده در اتیلن دی آمین خالص به مدت ۲ ساعت در دمای محیط و نمونه UHCI/EDA: نمونه‌ی عمل شده در یوتکتیک اوره هیدرو کلراید / اتیلن دی آمین خالص به مدت ۲ ساعت در دمای محیط است.

۴-۳- بررسی خواص مکانیکی و فیزیکی
خواص استحکامی و ازدیاد طول مورد بررسی مجدد قرار گرفت تا از نتایج بهبود بدون تأثیر منفی بر خواص مطلوب اطمینان حاصل گردد. با توجه به نتایج، تغییرات معنی داری در سطح معنی داری ۹۵ درصد در مقدار استحکام و جلای نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود. درجه تورم لیف نسبت به نمونه‌ی عمل شده به دو روش دیگر افزایش داشته است.

با توجه به اثر مثبت یوتکتیک اوره هیدروکلراید / اتیلن دی آمینبر خواص رنگی نمونه‌ی اصلاح شده، خواص نهایی نمونه- های عمل شده در محلول ذکر شده با نمونه‌های مرجع و شاهد مقایسه شد. اندازه‌گیری مقدار تورم و جلا به روش‌های ذکر شده، اندازه‌گیری و محاسبه شد. تغییرات ایجاد شده در مقدار

جدول ۳- خواص فیزیکی، مکانیکی و رنگی نمونه‌های اصلاح شده

کد نمونه	نیروی پارگی (N)	ازدیاد طول (mm)	درجه‌ی تورم Cm3/100g	مقدار جلا (GU)
UHCl/EDA	۱۹۷/۶±۲۲	۱۶/۱۴±۲/۸	۱۸/۱۷	۲/۴۰±۰/۰۸۲
EDA	۱۸۲/۶±۱۷/۱	۱۴/۵۵±۳/۱	۱۶/۸۸	۲/۴۵±۰/۰۵۸
A3-5min-t:25	۱۸۹/۴±۱۸/۵	۱۰/۱۳±۱/۵	۱۶/۵۴	۲/۳۰±۰/۰۸۲
untreated	۲۰۸/۹±۱۰/۴	۷/۳۷±۰/۱	-	-

UHCl/EDA: نمونه‌ی عمل شده در یوتکتیک اوره هیدرو کلراید/ اتیلن دی آمین به مدت ۲ ساعت در دمای محیط در شیکر؛
 EDA: نمونه‌ی عمل شده اتیلن دی آمین به مدت ۲ ساعت در دمای محیط در شیکر؛
 A3-5min-t:25: نمونه‌ی عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم در غلظت ۱۶۰ گرم بر لیتر به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط؛
 Untreated: نمونه‌ی عمل نشده.

۴. نتیجه‌گیری

ارجحیت یوتکتیک مزبور نسبت به اتیلن دی آمین، خواص زیست سازگاری مناسب‌تر، استحکام بالاتر نمونه‌های عمل، کاهش نقطه ذوب از ۶°C برای اتیلن دی آمین به ۱۲°C برای یوتکتیک مورد نظر و در نتیجه کارا بودن آن در محدوده‌ی تغییرات محیطی، آسان بودن روش تولید و نهایتاً ارزان تر بودن و راحت تر بودن کاربرد در مقایسه با اتیلن دی آمین است. یوتکتیک پیشنهادی ذکر شده به وضوح ویسکوزیته‌ی پائین-تری از اکثر یوتکتیک‌های دیگر دارد که کاربرد آن را بصورت خالص و بدون نیاز به محیط واکنش مجزا فراهم می‌کند. با مقایسه داده‌های حاصل از مطالعات انجام شده خواص نمونه‌ی اصلاح شده با یوتکتیک مورد نظر به خصوص خواص رنگی (مقایسه داده‌های بدست آمده از مقادیر K/S) از نمونه‌ی عمل شده در محلول هیدروکسید سدیم مطلوب‌تر است. با توجه به نتایج رضایت بخش اولیه یوتکتیک پیشنهادی از لحاظ کارایی، با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی، زیست محیطی، مصرف آب و انرژی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

با بررسی‌های انجام شده بر روی محیط‌های مختلف و اثر مثبت مشاهده شده در روش جدید، استفاده از یوتکتیک اوره هیدروکلراید/ اتیلن دی آمین برای بهبود خواص رنگی کالای سلولزی با قابلیت افزایش مقادیر K/S، افزایش سرعت و کاهش زمان نیمه رنگریزی، جهت اصلاح کالای پنبه‌ای معرفی می‌گردد. این روش با در نظر گرفتن راحتی کاربرد از لحاظ بازه‌ی زمانی و دمایی (زمان ۲ ساعت در دمای محیط) و همزمان توانایی ایجاد تغییرات در بلورینگی و ایجاد تورم لیف و در نتیجه فراهم شدن افزایش دسترسی به سطوح داخلی بلورها، که بهبود خواص رنگی را به دنبال دارد و عدم ایجاد تغییرات منفی در خواص مطلوب کالا مانند استحکام و جلا می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. با توجه به مشابهت ساختاری ایجاد شده در اثر عمل کردن نمونه در این یوتکتیک با محلول خالص اتیلن دی آمین با بررسی داده‌های پراش اشعه ایکس، عملکرد مشابهی برای این دو حلال می‌توان متصور شد. از علل

۵. منابع

- [1] Samei, N., "Effect of Interactive Parameters of Temperature and Alkali Concentration on Cotton Fabric Mercerization", *Journal of apparel and textile science and technology*, Vol. 3(1), pp. 23-28, 2014.
- [2] Valipour, P., Moghassem, A.R., "Evaluating the Interactive Effect of Temperature and Alkali Concentration on Dye Absorption of Mercerized Cotton Plain Knitted Fabric", *Journal of apparel and textile science and technology*, vol. 4(1), pp. 27-34, 2014.
- [3] Valipour, P., Hashemi, M., et al., "Evaluation of Reactive Dye Adsorption by Chitosan-Treated Cotton Fabrics", Vol. 3(2), pp. 3-8, 2013
- [4] Smith, E.L., Abbott, A.P and Ryder, K.S., "Deep eutectic solvents (DESs) and their applications", *Chemical reviews*, Vol. 114(21), pp. 11060-11082, 2014.
- [5] Florindo, C. and Oliveira, FS., et al., "Insights into the synthesis and properties of deep eutectic solvents based on cholinium chloride and carboxylic acids", *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, Vol. 2(10), pp. 2416-2425, 2014.
- [6] Zhang, Q. and Benoit, M., et al., "Deep eutectic solvents: syntheses, properties and applications", *Chemical Society Reviews*, Vol. 41(21), pp. 7108-7146, 2012.
- [7] Gibril, M.E. and Yue, Z., et al., "Current status of applications of ionic liquids for cellulose dissolution and modifications", *International Journal of Engineering Science Technology*, Vol. 4(7), 2012.
- [8] Trivedi, T.J. and Lee, JH., et al., "Deep eutectic solvents as attractive media for CO₂ capture", *Green Chemistry*, Vol. 18(9), pp. 2834-2842, 2016.
- [9] Uto, T., Minamizaki, M. and Yui, T., "Molecular Dynamics Simulation of Cellulose I-Ethylenediamine Complex Crystal Models", *The Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 24(1), pp. 134-143, 2019.
- [10] Frey, M.W. and Li, L., et al., "Dissolution of cellulose in ethylene diamine/salt solvent systems", *Cellulose*, Vol. 13(2), pp. 147-155, 2006.
- [11] Qin, L. and Li, W-C., et al., "Ethylenediamine pretreatment changes cellulose allomorph and lignin structure of lignocellulose at ambient pressure", *Biotechnology for biofuels*, Vol. 8(1), pp. 1-15, 2015.
- [12] Ibrahim, S.F., Michael, M.N. and Tera, F.M., "Characterization of Dye-ability and Diffusion Kinetics of Chemically Modified Cotton Fabrics towards Disperse and Direct Dyes", *International Journal of Advanced Research in Chemical Science (IJARCS)*, Vol. 3(5), PP. 7-16, 2016.
- [13] Imada, K., Harada, N., et al., "The effect of dyeing rate on levelness in dyeing with disperse and reactive dyes", *Journal of the Society of Dyers and Colourists (JSDC)*, Vol. 110, 1994.
- [14] Andrews, C.M. and Oberg, A.G., "Cellulose swelling measured by propanol-2 retention", *Textile Research Journal*, pp. 330-332, 1963.

[۱۵] سازمان ملی استاندارد ایران، ISIRI- 1141-1، خصوصیات کششی پارچه -قسمت ۱- تعیین حداکثر نیرو و ازدیاد طول در حداکثر نیروی اعمال شده به روش نوار باریک. 1393.

[16]Haghighatkish,M.,Lusterof textiles,Textileengineeringdepartment,Amirkabir university of technology, Tehran, Iran.

[17]ASTM D523 (1994), “ Standard Test Method for Specular Gloss”, Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, PA, USA.

[18]Park, S., Baker, J.O., et al., "Cellulose Crystallinity index: Measurement Techniques and Their Impact on Interpreting Cellulase Performance", *Biotechnology for Biofuels*, vol. 10, p.p, 3-10, 2010.