

بررسی رنگپذیری و ایزوترم جذب الیاف جوت پوشش داده شده با نانو نقره و متیل متاآکریلات با رنگزای متال کمپلکس

علی اکبر ذوالریاستین*، مهرداد حاجیلاری، میلاد صالحی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهری

zolriasatein@iausr.ac.ir

چکیده:

در این تحقیق ابتدا نانو ذرات نقره روی سطح الیاف جوت به روش سنتز همزمان پوشش داده شد. در این روش، هم سنتز و هم رسوب نانو ذرات نقره روی کالای جوت در یک حمام انجام شد. سپس کالا با رزین متیل متاآکریلات پوشش داده شدند. تصاویر میکروسکوپ روبشی (SEM) نشان داد که اندازه ذرات نانو نقره حدود ۲۹ تا ۲۳۰ نانومتر بودند. به کارگیری ذرات نانو نقره باعث اندکی تغییر رنگ در ظاهر الیاف شد، به طوری که شاخص سفیدی کاهش و شاخص زردی الیاف افزایش پیدا کرد. تصاویر میکروسکوپ روبشی (SEM) نشان داد که حضور نانو نقره و متیل متاآکریلات روی سطح الیاف باعث ایجاد ناهمواری در سطح الیاف می شود. مقادیر بازتابش نور نیز کاهش شاخص درخشندگی الیاف را نشان داد. مقادیر ضریب همبستگی نشان دادند که جذب رنگزای متال کمپلکس روی الیاف جوت از مدل فروندلیچ تبعیت می کند. نتایج حاصل از آزمایشات ایزوترم جذب نشان داد که هم ظرفیت جذب لیف و هم شدت جذب رنگزای متال کمپلکس در اثر انجام این نوع تکمیل افزایش یافته است. ضمناً الیافی که به این روش تکمیل شده اند ثبات نوری و شستشویی بهتری را در مقایسه با الیاف خام نشان می دهند.

کلمات کلیدی: الیاف جوت، شاخص سفیدی، ایزوترم جذب فروندلیچ، ایزوترم جذب لانگمویر، ثبات نوری

Investigating the dyeability and adsorption isotherm of jute fibers coated with nano silver and methyl methacrylate with metal complex dye

Ali Akbar Zolriasatein *, Mehrdad Hajilari, Milad Salehi

Department of Textile Engineering, College of Technical and Engineering, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH)

Shahre-rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

zolriasatein@iausr.ac.ir

Abstract:

In this research, silver nano particles were first coated on the surface of jute fibers through simultaneous synthesis method. In this approach, both the synthesis and deposition of silver nanoparticles on jute were carried out in one bath. Then these treated fibers were coated with methyl methacrylate. Scanning electron microscopy (SEM) micrographs showed that the size of nano silver particles was between 29 and 230 nanometers. The use of nano silver particles caused a slight color change in the appearance of the fibers so that the whiteness index decreased and the yellowness index of the fibers increased. The SEM micrographs showed that the presence of nano silver and methyl methacrylate on the surface of the fibers causes roughness on the surface of the fibers. The reflection values also showed a decrease in the brightness index of the fibers. The values of correlation coefficient showed that the adsorption of metal complex dye onto jute fibers obeys the Freundlich model. The results of the adsorption isotherm tests showed that both the adsorption capacity and the absorption intensity for the metal complex dyes increased due to this type of finishing. Moreover, these finished fibers showed better light and washing fastness compared to the raw fiber.

Keywords: Jute fibers, whiteness index, Freundlich adsorption isotherm, Langmuir adsorption isotherm, light fastness

۱- مقدمه

الیاف جوت به طور طبیعی حاوی مواد لیگنین و همی سلولز می باشند و یکی از مشکلات عمده ای که استفاده از محصولات جوت را محدود می کند این است که در اثر تابش نور ماوراء بنفش در آن تغییر رنگ حاصل می گردد. به عبارت دیگر به دلیل وجود لیگنین و ماهیت پلی فنولی آن، محصولات جوت در مواجهه با نور خورشید پایداری رنگ و مقاومت کششی ضعیفی را نشان می دهند. لذا برای استفاده بهینه از الیاف جوت، از بین بردن این عیب از درجه اهمیت بالایی برخوردار است [۱].

به این دلیل، انواع فرآیندهای تکمیلی شیمیایی و آنزیمی برای افزایش کارایی الیاف جوت به کار می رود. تکمیل به کمک قلیا و سولفوناسیون می توانند تا حدی همی سلولز و لیگنین را حذف کنند [۲-۵]. آنزیم های لاکاز، پکتیناز و زایلاناز نیز در حذف این ناخالصی ها موثر هستند [۶-۹].

علاوه بر این، اصلاح شیمیایی الیاف جوت از طریق روش پیوند زدن^۱ نیز مورد بررسی قرار گرفته است. پیوند زدن اسید اکریلیک روی الیاف جوت بهبود در استحکام کششی و افزایش ثبات رنگ را نتیجه می دهد [۱۰]. به طور مشابهی، پیوند زدن متیل آکریلات و مونومرهای وینیل متیل متاکریلات روی الیاف جوت تأثیر مطلوبی بر ثبات رنگ نشان داده است [۱۱]. بر اساس تحقیقات دیگر، تکمیل جوت با اسید متاکریلیک زاویه بازیابی از چروک و انعطاف پذیری را بهبود می بخشد

[۱۲]. علاوه بر این، پرکننده ها و نرم کننده های مختلفی به این منظور استفاده می گردد و کوپلیمریزاسیون نیز می تواند با کمک اشعه ماوراء بنفش (UV) انجام شود [۱۳]. استفاده از ذرات نانو فلز و نانو اکسیدهای فلزی بر روی الیاف جوت، میزان جذب رنگزا، ثبات رنگی و مقاومت باکتریایی را افزایش می دهد [۱۴-۱۵]. به همین ترتیب، تکمیل دندریمر نانو پلی (آمیدوآمین) روی الیاف جوت به طور قابل توجهی جذب رنگزا و پایداری نوری را بهبود می بخشد [۱۶]. روش های مختلفی برای سنتز نانو نقره به کار گرفته می شود، از جمله احیاء فوتوکاتالیستی [۱۷-۱۸]، احیاء شیمیایی [۱۹] احیاء فتو-شیمیایی [۲۰-۲۱]، روش های مبتنی بر میسل معکوس [۲۲] و حتی سنتز بیولوژیکی [۲۳-۲۷]. اخیراً، تکمیل و سنتز همزمان نانو نقره بر روی سطح الیاف، روشی موثر در اصلاح الیاف نساجی محسوب می گردد. از طرفی، تکمیل و سنتز همزمان نانو ذرات نقره بر روی سطح الیاف نیز قابل انجام می باشد [۲۸ و ۲۹]. تکمیل و سنتز همزمان نانو ذرات نقره روی پارچه پنبه ای، با استفاده از خود زنجیره های پلیمری سلولز پنبه (به عنوان عامل احیاء کننده طبیعی) اخیراً بسیار مورد توجه پژوهشگران می باشد [۳۰-۳۳]. انواع مختلفی از مواد احیاء کننده در سنتز نانو ذرات نقره در محلول آبی استفاده می شوند [۳۴]. از این رو، اندازه نانو ذرات نقره نیز به نوع و غلظت عامل احیاء کننده و نیترات نقره بستگی دارد. لیکن وقتی غلظت نیترات نقره از میزان بهینه بالاتر می

¹ Grafting

۱۰۰ حجم)، سدیم سیلیکات، نیترات نقره (AgNO_3)، سدیم بوروهیدرید (NaBH_4)، پتاسیم سولفات ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)، سولفات آهن، سولفوریک اسید و سولفات آمونیوم از مرکب آلمان تهیه شده است. متیل متاکریلات (MMA) از شرکت پرولبو^۳ فرانسه و دترجنت غیر یونی^۴ (از شرکت پلی اکتیو ایران) خریداری شده است.

۲-۲- تجهیزات

مراحل آماده سازی از قبیل پخت قلیایی^۵، سفید گری و همچنین مراحل تکمیلی از قبیل سنتز همزمان نانو ذرات و پوشش متیل متاکریلات در یک ماشین وینچ آزمایشگاهی^۶ ساخت تایوان با سرعت چرخش ۴۰ RPM انجام شد. به منظور تعیین تغییرات رنگی از دستگاه اسپکتروفوتومتر انعکاسی ساخت شرکت ایکس رایت^۷ کشور آمریکا استفاده شد. برای محاسبات ایزوترم جذب رنگزا و طول موج ماکزیمم^۸ با کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر جذبی^۹ ساخت شرکت واریان^{۱۰} کشور کانادا بهره گرفته شد. برای بررسی تغییرات مورفولوژی سطح الیاف از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی^{۱۱} ساخت شرکت KYKY کشور چین مدل EM3200 در بزرگنمایی ۵۰۰ تا ۲۰۰۰۰ برابر استفاده شد. اندازه گیری ثبات نوری، توسط یک دستگاه سنجش ثبات نوری ساخت

رود منجر به افزایش اندازه ذرات نانو نقره می گردد. علاوه بر این، عامل احیاء کننده ضعیف نیز می تواند باعث سنتز ذرات نانو نقره با اندازه بزرگتر شود [۳۵].

از طرفی، چون پایداری نوری محصولات جوت رنگری شده (به دلیل وجود لیگنین در این الیاف) چندان مطلوب نیست، از میان مواد رنگزا، رنگزاهای متال کمپلکس به دلیل پایداری نوری عالی به میزان بیشتری برای رنگری جوت استفاده می شوند. در مطالعات قبلی تاثیر گرافتینگ متیل متاکریلات بر کالای جوت [۱۱، ۳۶-۳۷] و تاثیر سنتز همزمان نانو ذرات نقره [۳۸-۳۹] بر این الیاف مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعه حاضر، اثر بکارگیری پوشش متیل متاکریلات حاوی ذرات نانو نقره در تغییرات ایزوترم جذب مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- آزمایشات:

۲-۱- مواد

برای آزمایشها از نخ جوت تجاری موجود در بازار با نمره نخ dtex ۴۷۴۲ استفاده شده است. از رنگزا C.I. Acid Red 88 (متعلق به کلاس رنگزای متال کمپلکس نوع ۱:۲) از شرکت نوردکس^۱ انگلستان مورد استفاده قرار گرفت. سدیم هیدروکسید، سدیم کربنات، هیدروژن پراکسید (۳۵ درصد،

^۸ λ_{\max}

^۹Cary 100 Bio

^{۱۰} Varian

^{۱۱} scanning electron microscope (SEM)

^{۱۲} Xenon

^۱ Nordex International D.Z.E Dye., UK

^۲ Merck Chemical Industry Co. Ltd (Germany)

^۳ VWR Prolabo (France)

^۴ Nonylphenol Ethoxylate

^۵ Scouring

^۶ Co-power Technology Ltd. Taiwan

^۷ X-Rite Color Eye 7000 (GretagMacbeth)

شرکت سیما نساج یزد (که دارای لامپ زنون^۱ است) صورت پذیرفت. Varian

۲-۳- پخت قلیایی و سفیدگری

نخ جوت با استفاده از محلول حاوی ۵ گرم بر لیتر کربنات سدیم و ۱ درصد مواد شوینده غیر یونی (نسبت به وزن کالا (owf)) به نسبت L:R برابر ۱:۵۰ به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۵۰°C پخت قلیایی گردید. سپس نخ ها با پراکسید هیدروژن ۳ درصد و ۲ گرم بر لیتر سیلیکات سدیم و ۲ گرم بر لیتر کربنات سدیم به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۷۰°C در L:R برابر ۱:۳۰ سفید شدند. سپس نمونه ها با استفاده از اسید استیک رقیق خنثی شدند. نخ ها با آب جوش و سپس با آب سرد شسته شده و در شرایط محیطی خشک شدند [۴۰-۴۱].

۲-۴- سنتز همزمان نانو ذرات نقره بر روی الیاف جوت

سنتز و رسوب نانو ذرات نقره بر روی نخ جوت در یک حمام انجام شد. حمام با ۰/۵ گرم بر لیتر نمک نترات نقره و ۵ گرم بر لیتر بوروهیدرید سدیم (NaBH₄) به عنوان عامل احیاءکننده در دمای ۷۰°C درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت در نسبت L:R برابر ۱:۲۰ انجام شد [۳۵].

۲-۵- پوشش متیل متاآکریلات

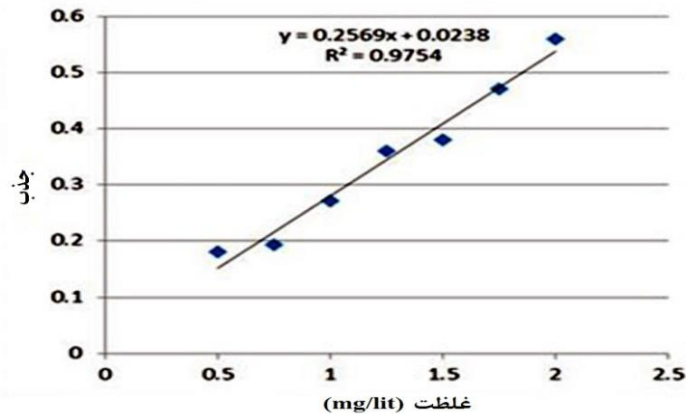
ابتدا متیل متاآکریلات در آب مقطر حل شد و سپس عملیات در حمامی با ۳۰ درصد مونومر، ۲ درصد سولفات پتاسیم به عنوان آغازگر، ۱,۵ درصد سولفات آهن به عنوان کاتالیزور در دمای ۹۰°C به مدت یک ساعت در L:R برابر ۱:۳۰ انجام شد [۱۱]. پس از آن نخ ها با آب مقطر داغ و استون شسته شدند تا پلیمرهای اضافی از سطح لیف جدا شوند.

۲-۶- رنگرزی

نمونه‌های جوت خام و نمونه‌ای تکمیل شده در یک حمام رنگرزی شدند. رنگرزی با ۱٪ رنگزا و ۴٪ سولفات آمونیوم و L:R برابر ۱:۵۰ در دمای ۳۰°C آغاز شد و سپس به تدریج ظرف مدت ۴۵ دقیقه دمای رنگرزی به نقطه جوش رسیده و رنگرزی در دمای جوش به مدت یک ساعت ادامه یافت. نمونه ها پس از رنگرزی آبکشی و در دمای اتاق خشک گردیدند.

۲-۷- محاسبات ایزوترم جذب رنگزا

در بررسی ایزوترم های جذب ابتدا منحنی معیار سنجی (استاندارد) رنگزای متال کمپلکس ۱:۲ در طول موج ماکزیمم (λ_{max}) ۴۹۷ نانومتر محاسبه و رسم گردید (شکل ۱).



شکل ۱ - منحنی معیار سنجی (استاندارد) رنگزای متال کمپلکس ۱:۲ (C.I. Red 88)

برای محاسبات مربوط به ایزوترم جذب رنگزا، حمام هایی را با غلظت های مختلف (۴، ۶، ۸ و ۱۰ mg/lit) از محلول رنگزای متال کمپلکس ۱:۲ تهیه کرده و در هر حمام ۰,۲ گرم نمونه پارچه جوت در L:R برابر ۱:۵۰۰ [۴۲-۴۴] به مدت ۴ ساعت در دمای °C ۳۰ [۴۵] در داخل کیسول های دستگاه نمونه رنگ کنی با سرعت چرخش ۴۰ RPM قرار داده تا به تعادل برسند. سپس با استفاده از اسپکتروفتومتر جذبی با کمک قانون بیر لامبرت و منحنی معیار سنجی، مقدار رنگزای باقیمانده در محلول محاسبه شد. مقدار رنگزای جذب شده روی کالا از رابطه ۱ بدست می آید :

برای محاسبات مربوط به ایزوترم جذب رنگزا، حمام هایی را با غلظت های مختلف (۴، ۶، ۸ و ۱۰ mg/lit) از محلول رنگزای متال کمپلکس ۱:۲ تهیه کرده و در هر حمام ۰,۲ گرم نمونه پارچه جوت در L:R برابر ۱:۵۰۰ [۴۲-۴۴] به مدت ۴ ساعت در دمای °C ۳۰ [۴۵] در داخل کیسول های دستگاه نمونه رنگ کنی با سرعت چرخش ۴۰ RPM قرار داده تا به تعادل برسند. سپس با استفاده از اسپکتروفتومتر جذبی با کمک قانون بیر لامبرت و منحنی معیار سنجی، مقدار رنگزای باقیمانده در محلول محاسبه شد. مقدار رنگزای جذب شده روی کالا از رابطه ۱ بدست می آید :

$$q_e = (C_1 - C_e) / C \quad (1)$$

در این رابطه q_e مقدار رنگزای متال کمپلکس ۱:۲ بر روی جاذب در شرایط تعادل بر حسب mg/g، C_1 غلظت اولیه رنگزای متال کمپلکس ۱:۲ بر حسب mg/lit، C_e غلظت نهایی رنگزای متال کمپلکس در حمام در شرایط تعادل بر حسب

۲-۸- قدرت رنگی (K/S)

با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انعکاسی^۱، قدرت رنگی^۲ (K/S) برای نمونه های رنگرزی شده با استفاده از انعکاس نور (R) توسط معادله کیوبلکا مانک^۳ محاسبه شد [۱۶]:

$$K/S = (1-R)^2 / 2R \quad (2)$$

انعکاس نور (R) در طول موج مینیمم، تحت شرایط D65 اندازه گیری شد. شاخص سفیدی (WI)، شاخص زردی (YI) و شاخص روشنایی (BI) به ترتیب با مقیاس هانتر، ASTM E313-73 و ISO-2470-77 محاسبه شد. تغییرات رنگی با محاسبه ΔE^* تخمین زده شد که طبق معادله زیر محاسبه می شود.

$$\Delta E^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]} \quad (3)$$

³ Kubelka-Monk equation

¹ X-Rite Color Eye 7000

² Color strength

۲-۱۰- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورفولوژی سطح نمونه های الیاف جوت خام و تکمیل شده با استفاده از یک میکروسوپ الکترونیکی روبشی^۲ در ولتاژ ۲۶ کیلوولت مورد بررسی قرار گرفت. نمونه های الیاف قبل از تصویر برداری با لایه بسیار نازکی از طلا پوشش داده شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی خصوصیات ظاهری الیاف

جدول ۱ بیانگر شاخص درخشندگی^۳، زردی^۴ و سفیدی^۵ نخ جوت قبل و بعد از تکمیل می باشد. در این جدول مشاهده می شود که زردی در نمونه پوشش داده شده (با رزین متیل متاآکریلات و نانو نقره) افزایش داشته است و همچنین میزان شفافیت نمونه پوشش داده شده، کمتر از نمونه خام است. دلیل این امر را می توان به تغییر رنگ ناشی از وجود نانو ذرات نقره در سطح الیاف نسبت داد. ضمناً پوشش متیل متاآکریلات روی سطح لیف باعث ایجاد نا همواری در سطح لیف شده که باعث کاهش براقیت لیف می گردد.

در اینجا ΔL^* ، Δa^* و Δb^* تفاوت رنگی قبل و بعد از قرار دادن نمونه در معرض لامپ قوس زنون هستند. مقادیر a ، L و b مختصات رنگ هستند. مقدار روشنایی، L^* سیاه را در $L^* = 0$ و سفید را در $L^* = 100$ نشان می دهد. محور a^* نشان دهنده مولفه سبز-قرمز است که سبز در جهت منفی و قرمز در جهت مثبت محور است. محور b^* مولفه آبی-زرد را نشان می دهد که آبی در جهت منفی و زرد در جهت مثبت محور است. مقیاس بندی و محدودیت های محورهای a^* و b^* در محدوده ± 100 اجرا می شود.

۲-۹- ثبات نوری

ثبات نوری نمونه ها توسط دستگاه ثبات سنج نوری (ساخت شرکت سیما نساج ایران) انجام پذیرفت. نمونه های رنگرزی شده به مدت ۴ ساعت در معرض لامپ قوس زنون^۱ قرار گرفتند تا پایداری نوری آنها بررسی شود.

جدول ۱ - شاخص درخشندگی، زردی و سفیدی نمونه خام و نمونه پوشش داده شده (با نانو نقره و رزین متیل متاآکریلات)

نمونه های نخ های جوت	شاخص درخشندگی	شاخص زردی	شاخص سفیدی
نمونه خام	62.047	35.814	-33.150
نمونه پوشش داده شده (با نانو نقره و رزین متیل متاآکریلات)	47.854	58.301	-109.089

³ Brightness index

⁴ Yellowness index

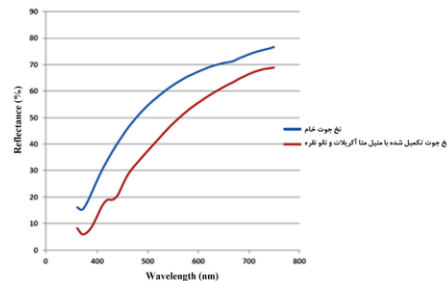
⁵ Whiteness index

¹ Xenon arc light fastness tester

² SEM (KYKY, EM 3200, China)

باعث ایجاد نایکنواختی بیشتر در سطح لیف شده است. این تخلخل و نایکنواختی در سطح باعث شده که خصوصیات بازتابش کاهش یابد.

شکل ۲ تاثیر تکمیل متیل متاکریلات بر روی خصوصیات بازتابش نور را نشان می دهد. این بررسی در طول موج بین ۳۵۰ تا ۷۵۰ نانومتر انجام گرفته است. با توجه به شکل ۲ مشخص است که این پوشش نانو نقره و متیل متاکریلات

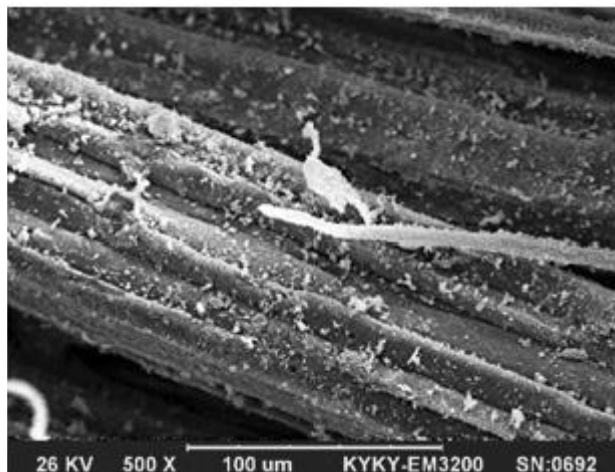


شکل ۲ - تاثیر تکمیل متیل متاکریلات و نانو نقره روی خصوصیات بازتابش

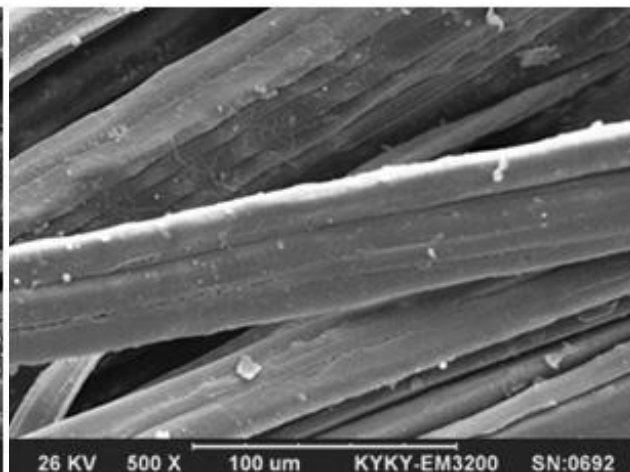
بین ۲۹۰ و ۲۲۹٫۱ نانومتر متغیر است. دلیل تغییرات در اندازه نانو ذرات به این علت می باشد که سنتز همزمان نانو ذرات نقره بر روی الیاف را نمی توان برای مدت طولانی ادامه داد، زیرا هیچ عامل تثبیت کننده در محلول وجود نداشته و این امر می تواند منجر به تجمع نانو ذرات سنتز شده گردد [۳۸].

۳-۲- تصاویر میکروسکوپ SEM

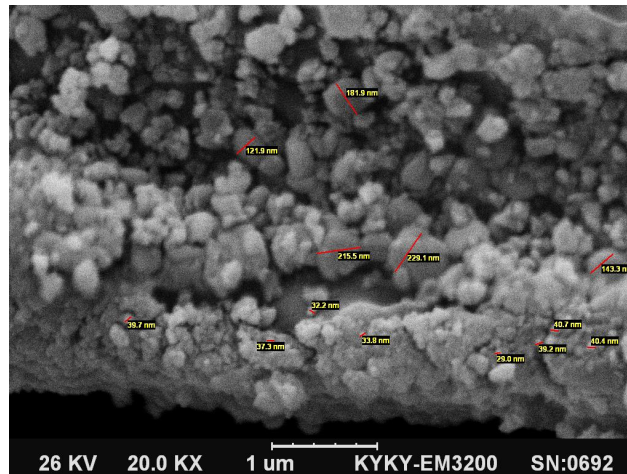
تغییر در مورفولوژی سطح الیاف قبل و بعد از تکمیل را می توان در شکل ۳ مشاهده کرد. برخی از تجمعات پلی متیل متاکریلات روی سطح الیاف در شکل ۳ (ب) مشهود است. شکل ۳ (ج) تصویر SEM الیاف جوت را نشان می دهد که با متیل متاکریلات و نانو ذرات نقره پوشش داده شده اند. همانطور که در این شکل مشاهده می شود اندازه نانو ذرات



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۳ - تصویر SEM نمونه جوت الف) جوت خام در بزرگنمایی ۵۰۰ (ب) نمونه جوت پوشش داده شده با متیل متاکریلات و نانو نقره شده در بزرگنمایی ۵۰۰ (ج) نمونه جوت پوشش داده شده با متیل متاکریلات و نانو نقره شده در بزرگنمایی ۲۰۰۰۰

(برحسب mg/g) پس از رسیدن به تعادل ترمودینامیکی می باشد و C_e مقدار رنگزای باقیمانده در حمام (برحسب mg/lit) بوده که مقدار آن از طریق قانون بیر لامبرت و منحنی معیار سنجی محاسبه می گردد [۴۸-۴۹].

مطابق شکل ۴ چون ضریب همبستگی برای ایزوترم جذب فروندلیچ به عدد یک نزدیک است پس جذب رنگزای متال کمپلکس ۱:۲ از مدل ایزوترم فروندلیچ تبعیت می کند. براساس تئوری فروندلیچ K_F و $1/n$ به ترتیب ظرفیت جذب و شدت جذب می باشند. چنانچه نمودار $\log(q_e)$ را برحسب $\log(C_e)$ رسم کنیم نتیجه خط صافی خواهد بود که ضریب زاویه آن $1/n$ و عرض از مبدا آن K_F خواهد بود. بر این اساس جدول ۲ نشان می دهد پس از انجام پوشش توسط نانو نقره و متیل متاکریلات، هم ظرفیت جذب و هم شدت جذب رنگزا هر دو افزایش یافته اند.

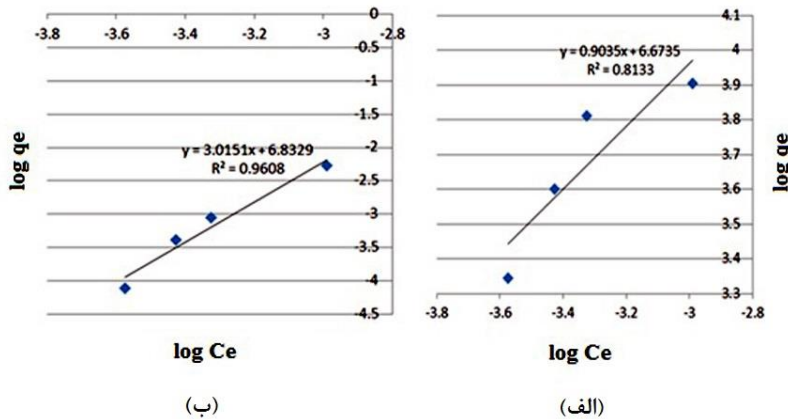
۳-۳- بررسی نوع مدل ایزوترم جذب رنگزای متال کمپلکس:

نوع ایزوترم جذب رنگزای متال کمپلکس ۱:۲ در دمای $^{\circ}C$ ۳۰ برای نمونه خام و تکمیل شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده در شکل ۴ و ۵ خلاصه شده است. از روی این شکلها با توجه به ضریب همبستگی (R^2) نوع ایزوترم را می توان تشخیص داد. ضریب همبستگی می بایست به عدد یک نزدیک باشد تا امکان تطبیق داده های آزمایش با مدل ایزوترم جذب وجود داشته باشد.

مطابق با تئوری فروندلیچ جذب روی سطوح هتروژن صورت می پذیرد. معادله زیر فرم خطی شده ایزوترم فروندلیچ را نشان می دهد [۴۷].

$$\log(q_e) = \log(K_F) + 1/n (\log(C_e)) \quad (4)$$

در این معادله q_e مقدار رنگزای جذب شده بر روی جاذب



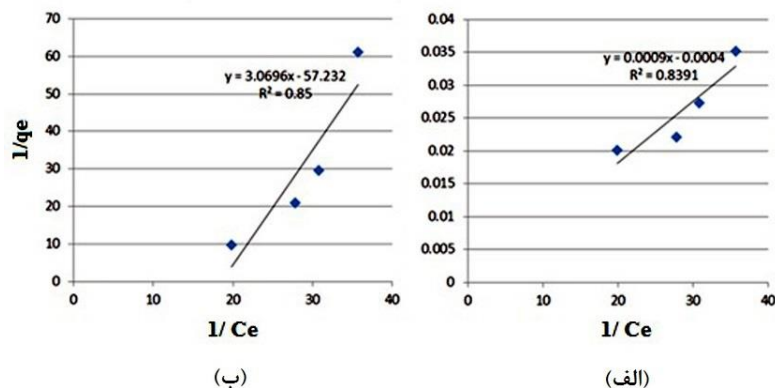
شکل ۴ - نمودار (الف) مربوط به رابطه خطی شده ایزوترم فروندلیچ برای نمونه جوت خام و نمودار (ب) مربوط به رابطه خطی شده ایزوترم فروندلیچ برای نمونه جوت پوشش شده با نانو نقره و رزین متیل متاآکریلات

ایزوترم جذب رنگ متال کمپلکس برای نمونه تکمیل شده از مدل لانگمویر تبعیت نمی کند. علاوه بر این، مقادیر منفی ثابت لانگمویر، q_m ، برای نخ جوت نشان دهنده ناکارآمد بودن مدل لانگمویر برای توضیح فرآیند است [۵۱]. پس فرضیه لانگمویر مبنی بر سطح جاذب هموزن برای این نوع جذب (جذب رنگزای متال کمپلکس ۱:۲ بر الیاف جوت) صدق نمی کند.

مدل لانگمویر [۵۰] بر مبنای این فرضیه می باشد که جذب از طریق گروههای عاملی در سطح لیف صورت می گردد. همچنین بر اساس این مدل، جاذب صرفاً ظرفیت ثابت و مشخصی برای جذب داشته (q_m) و بیش از این ظرفیت جذبی صورت نخواهد گرفت. فرم خطی شده مدل لانگمویر به شرح رابطه ۵ می باشد:

$$1/q_e = (1/K_L q_m C_e) + (1/q_m) \quad (5)$$

در رابطه فوق K_L ضریب لانگمویر و q_m ماکزیمم ظرفیت جذب است. ضریب همبستگی (R^2) در شکل ۵ نشان می دهد که



شکل ۵ - نمودار سمت راست مربوط به رابطه خطی شده ایزوترم لانگمویر برای نمونه جوت خام و نمودار سمت چپ مربوط به رابطه خطی شده ایزوترم لانگمویر برای نمونه جوت پوشش شده با نانو نقره و رزین متیل متاآکریلات

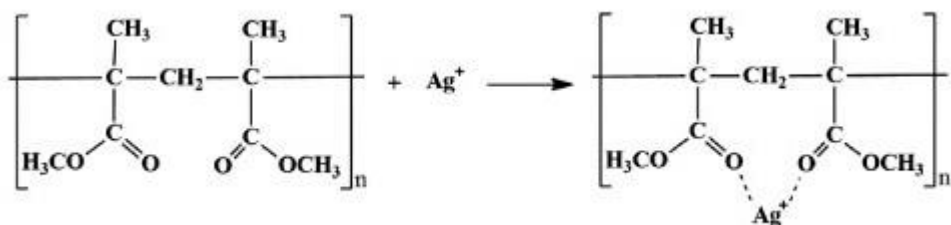
جدول ۲ - پارامترهای ایزوترم جذب برای نمونه خام و نمونه تکمیل شده با نانو نقره و رزین متیل متاآکریلات

مدل ها	پارامترهای ایزوترم و رگرسیون	جوت خام	جوت تکمیل شده با نانو نقره و متیل متاآکریلات
فروندلیج	$K_f(L/g)$	6.673	6.832
	$1/n$	0.903	3.015
لانگمویر	$K_L(L/mg)$	-0.444	-19.167
	$q_m(mg/g)$	-2500	-0.017

۳-۴- ثابت رنگی

به منظور بررسی ثابت نوری، نخ‌های جوت تکمیل شده (با رزین متیل متاآکریلات و ذرات نانو نقره) و رنگریزی شده با رنگزای متال کمپلکس، در معرض نور زنون قرار داده شدند. شکل ۶ نشان می‌دهد که الیافی که با این روش اصلاح و تکمیل یافته اند جذب رنگ بالاتری را در مقایسه با نخ تکمیل نشده نشان می‌دهند. زیرا وجود متیل متاآکریلات در ساختارهای مولکولی جوت باعث جذب فیزیکی ماده رنگزا از طریق پیوند هیدروژنی و نیروهای واندروالس و می‌شود [۳۶].

بعلاوه، امکان بوجود آمدن پیوند یونی و داتیو بین رنگزای متال کمپلکس و لیف اصلاح شده نیز وجود دارد [۳۷]. طبق شکل زیر متیل متاآکریلات با نقره ایجاد کمپلکس می‌نماید (شکل ۶). لذا سطح لیف دارای بار مثبت شده و می‌تواند رنگ متال کمپلکس را از طریق جاذبه الکترواستاتیک (یونی) جذب نماید [۵۲]. از سوی دیگر عوامل کربونیلی، که با نقره واکنش ایجاد نموده اند نیز می‌توانند زوج الکترون کربونیل را در اوربیتال های خالی فلز کروم در رنگزای متال کمپلکس به اشتراک گذاشته و ایجاد پیوند داتیو نمایند [۵۳].



شکل ۶ - کمپلکس ایجاد شده بین متیل متاآکریلات و نانو نقره [۵۲]

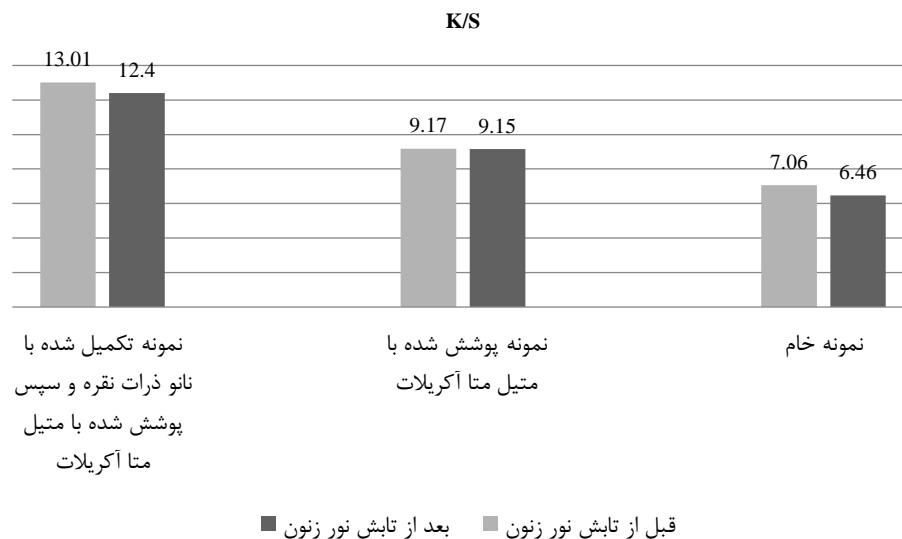
از سوی دیگر پوشش دادن این الیاف با نانو نقره نیز باعث افزایش به مراتب بیشتر در جذب رنگ متال کمپلکس گردید. نانو ذرات نقره در نخ‌های جوت می‌توانند به عنوان دندان عمل کنند [۳۹]. از این رو حضور نانو ذرات نقره در سطح الیاف باعث افزایش میل ترکیبی با رنگ متال کمپلکس می‌شود.

ثبات نوری نمونه های رنگریزی شده در شکل ۷ ارائه شده است. پس از قرار گرفتن نخ ها در معرض لامپ زنون به مدت ۴ ساعت ثابت نوری نخ های جوت رنگریزی شده مورد بررسی و اندازه گیری قرار گرفت. نخ جوت تکمیل شده ثابت نوری خوبی را در مقایسه با نخ جوت تکمیل نشده نشان داد.

گرافتینگ متیل متاآکریلات روی الیاف جوت به میزان زیادی ثبات نوری را افزایش می دهد [۱۲-۱۰، ۵۴ و ۵۵]. برخی بلوکه شدن رادیکال فنوکسی در لیگنین [۱۰] و برخی کاهش نفوذ نور ماوراء بنفش، رطوبت و اکسیژن به عوامل فنولیک در لیگنین را علت بهبود ثبات نوری ذکر نموده اند [۵۴].

بکارگیری نانو نقره در متیل متاآکریلات گرچه میزان جذب رنگ را افزایش داده است اما باعث کاهش ثبات نوری در مقایسه با متیل متاآکریلات شده است. شاید علت این امر این باشد که حضور ذرات نانو نقره روی الیاف جوت مانعی [۵۷] برای پوشش کامل متیل متاآکریلات روی لیف و ایجاد پیوند با گروه های فعال روی لیف شده و در نتیجه میزان گرافتینگ و میزان پوشش دهی متیل متاآکریلات کاهش می یابد.

این مسئله را می توان به افزایش جذب رنگ متال کمپلکس (که رنگهای مقاوم در برابر نور هستند) نسبت داد. علاوه بر این، هنگامی که نور ماوراء بنفش جذب می شود، گروه های هیدروکسیل فنولی در لیگنین، رادیکال های آزاد فنوکسی تولید می کنند. این رادیکال های آزاد فنوکسی باعث تخریب رنگ می شوند. در این تکمیل، گروه های واکنش پذیر لیگنین بلوکه می شوند. از این رو الیاف تکمیل شده پایداری نوری بهتری را نشان می دهد [۱۰]. همچنین از شکل ۶ می توان دریافت که پوشش نانو ذرات نقره نیز پایداری نسبت به نور را تا حدی افزایش می دهد. نانو ذرات نقره می توانند همانند سپر از الیاف محافظت کرده و باعث انعکاس یافتن اشعه ماوراء بنفش به بیرون الیاف گردد [۴۶]. ثابت شده است که



شکل ۷- بررسی کمیت K/S قبل و بعد از قرارگیری نمونه ها در معرض نور زنون

هیدرو فوبیکی لیف در اثر تکمیل انجام شده [۱۱] مرتبط می باشد. در مجموع، نه تنها استفاده از رنگ متال کمپلکس در بهبود ثباتهای رنگی موثر واقع شده است، بلکه نوع تکمیل

در اثر تکمیل صورت گرفته شده علاوه بر ثبات نوری، ثبات شستشویی نیز افزایش یافت (جدول ۳). علت این امر افزایش قابلیت ایجاد پیوند بین رنگ و لیف [۵۴] و افزایش خاصیت

بکارگرفته شده نیز کمک قابل توجهی به افزایش خصوصیات ثباتی نموده است. مقایسه تکمیل به کارگرفته شده با سایر روشهای قبلی نشان می دهد که این روش نسبت به سایر روشهای قبلی موثرتر واقع شده است (جدول ۴).

جدول ۳- ثبات های رنگی اندازه گیری شده در تکمیل متیل متاآکریلات و نانو نقره

ثبات شستشویی		ثبات نوری		نوع تکمیل
Gray scale	ΔE^*	Blue scale	ΔE^*	
2	22.4	6	6.9	نمونه خام
3	4.6	6-7	3.9	نمونه تکمیل شده با نانو نقره و متیل متاآکریلات

جدول ۴- مقایسه نتایج بدست آمده از تکمیل متیل متاآکریلات و نانو نقره با دیگر روشهای تکمیلی جوت

مدل ایزوترم فروندلیچ		ثبات نوری		رنگ	تغییرات میزان جذب رنگزا در نمونه خام و نمونه تکمیل شده برحسب درصد	نوع تکمیل	منبع
Kf (L/g)	1/n	قبل تکمیل	بعد تکمیل				
6.8	3.01	6-7	6	Acid Red 88	+91.95%	متیل متاآکریلات و نانو نقره	پژوهش حاضر
-	-	6-7	5	Acid Blue 250	+47.05%	کوپلیمر آکرلیک	[1]
-	-	6.7	5	Acid Red 399	+117.39%		
-	-	4	3-4	Reactive Orange 14	-9.58%	متیل آکریلات	[11]
-	-	4	3-4	Reactive Orange 14	-6.87%	متیل متاآکریلات	
-	-	3	1	Basic Brown 331	+101.70%	متا آکرلیک اسید	[12]
-	-	3	2-3	Direct Green 6	+3.59%	نانو روی	[14]
-	-	4-5	4	Reactive Red 120	-4.35%	آکرل آمید	[54]
-	-	4-5	4	Reactive Red 120	-2.40%	آکرلیک اسید	
-	-	3	2-3	Reactive Brown 10	-12.44%	اتیل آکریلات	[55]
-	-	3	2-3	Direct Blue 1	-3.37%		
24.7	1.45	-	-	Acid Red 51	+57%	متیل متاآکریلات - اتیلن گلاکول دی متاآکریلات	[56]

۴- نتیجه گیری:

در نخهای جوت می توانند به عنوان دندانه عمل کنند و باعث افزایش میل ترکیبی با رنگ متال کمپلکس شوند. از سوی دیگر، الیاف اصلاح شده ثبات نوری بهتری را نسبت الیاف جوت اصلاح نشده نشان دادند. در این تکمیل گروه های واکنش پذیر لیگنین، که عمدتاً گروههای فنولی می باشند، بلوکه می شوند. از این رو، الیاف پوشش شده با متیل متاآکریلات و نانو نقره پایداری نور بهتری را نسبت به

الیاف جوت اصلاح شده توسط متیل متاآکریلات و نانو نقره جذب رنگ بالاتری را نسبت به الیاف اصلاح نشده نشان دادند. زیرا وجود متیل متاآکریلات در ساختارهای مولکولی جوت، باعث جذب فیزیکی از طریق پیوند هیدروژنی و نیروهای واندروالس و ماده رنگی می شود. علاوه بر این، نانو ذرات نقره

K_F و $1/n$ به ترتیب ظرفیت جذب و شدت جذب می باشند. نتایج آزمایشات ایزوترم جذب رنگزای متال کمپلکس نشان داد پس از انجام پوشش با نانو نقره و رزین متیل متاآکریلات، هم ظرفیت جذب و هم شدت جذب هر دو افزایش یافتند.

۵- منابع:

- [1] Cai, Y., David, S.K., Pailthorpe, M.T., Dyeing of jute and jute/cotton blend fabrics with 2:1 pre-metallised dyes. *Dyes and Pigments*. 45, 161-168, 2000.
- [2] Saha, P., Manna, S., Chowdhury, S. R., Sen, R., Roy, D., Adhikari, B., Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkali-steam treatment. *Bioresour. Technol.* 101, 3182-3187, 2010.
- [3] Shahidullah, Md., Rabiul Islam, Md., Alamgir Sayeed, M. M., Kamal Uddin, Md., Abdullah, A. B. M., Improvement of Light Fastness Properties of Dyed Jute Fabrics Through Pretreatment. *J. Applied Sci.* 7, 3791-3795, 2007.
- [4] Islam, M. N., Ali, M., Kamal Uddin, M., Ahmed, K., Sarwaruddin-Chowdhury, A.M., Studies on the Physico-mechanical Properties of the Modified Jute Fibre by Sulphonation Method. *Pak. J. Biol. Sci.* 9, 1424-1429, 2006.
- [5] Zolriasatein, A. A., Yazdanshenas, M. E., Khajavi, R., Rashidi, A., Effects of alkali and ultraviolet treatment on colour strength and mechanical properties of jute yarn. *Color. Technol.* 128, 395-402, 2012.
- [6] Samanta, A. K., Singhee, D., Basu, G., Biswas S. K., Thermal behaviour and structural features of chemically and bio-chemically modified jute substrate. *Indian J. Fibre Text. Res.*, 32, 355-365, 2007.

الیاف خام نشان می دهند. همچنین ذرات نانو نقره الیاف جوت را در مقابل نور محافظت کرده و پایداری این الیاف را نسبت به نور را افزایش می دهد. ضرایب همبستگی نشان داد جذب رنگزای متال کمپلکس بر روی الیاف جوت از مدل ایزوترم فروندلیچ تبعیت می کند. براساس تئوری فروندلیچ

- [7] Zolriasatein, A. A., Hajilari, M., Effect of endo-1,4- β -xylanase enzyme on appearance and physical properties of jute yarn. *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci.* 6, 862-868, 2015.
- [8] Zolriasatein, A. A., Yazdanshenas, M. E., Changes in composition, appearance, physical, and dyeing properties of jute yarn after bio-pretreatment with laccase, xylanase, cellulase, and pectinase enzymes, *J. Text. I.*, 105(6), 609-619, 2014.
- [9] Zolriasatein, A. A., Yazdanshenas, M. E., Khajavi, R., Rashidi, A. Effects of commercial laccase enzyme on appearance and light fastness of lingocellulosic jute yarn. *Asian J. Chem.*, 23, 4677-4680, 2011.
- [10] Arifuzzaman Khan, G. M., Dyeing of Grafted Jute Fibre with Reactive Dyes and Its Improved Properties. *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, , 12(3), 8-13, 2007.
- [11] Mondal, I. H., Grafting of Methyl Acrylate and Methyl Methacrylate onto Jute fiber: Physico-Chemical Characteristics of the Grafted Jute. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 8, 42-50, 2013.
- [12] Das, D., Munshi, R. Finishing of jute using methacrylic acid in presence of tetrasodium pyrophosphate and potassium persulphate as catalysts under thermal treatment. *Indian J. Fibre Text. Res.* 34, 82-90, 2009.
- [13] Uddin, M. K., Khan, M. A., Ali, K. M. I., Modification of jute yarn by graft-copolymerization

- with ultraviolet radiation. *Radiat. Phys. Chem.* 48, 511-517, 1996.
- [14] Chattopadhyay, D. P., Patel, B. H., Studies on the Effect of Nano Zinc Treatment on Jute Fabric. *J. Textile Sci. Eng.* 5(2), 1-5, 2015.
- [15] El-Thalouth, J. I. A., Mashaly, H. M. Imparting Multi-functional Performance on Cellulosic Fabrics via Nanotechnology, *International Journal of Innovation and Applied Studies.* 18(1), 140-153, 2016.
- [16] Zolriasatein, A. A., Yazdanshenas, M. E., Khajavi, R., Rashidi, A., Najafi, F., The use of poly(amidoamine) dendrimer in modification of jute for improving dyeing properties of reactive dyes. *J. Appl. Polym. Sci.* 127, 4203-4210, 2013.
- [17] Dong, Y., Bai, Z., Zhang, L., Liu, R., Zhu, T., Finishing of cotton fabrics with aqueous nano-titanium dioxide dispersion and the decomposition of gaseous ammonia by ultra violet irradiation, *J. Appl. Polym. Sci.*, 99, 286-291, 2006.
- [18] Nersisyan, H.H., Lee, J.H., Son, H.T., Won, C.W., Maeng, V, A new and effective chemical reduction method for preparation of nano sized silver powder and colloid dispersion, *Mater. Res. Bull.*, 38, 949-956, 2003.
- [19] Ayyad, O., Rohas, D.M., Sole, J.O., Romero, P.G., From silver nano particles to nano structures through matrix chemistry, *J. Nanopart. Res.*, 19, 9620-9623, 2009.
- [20] Courrol, L.C., Silva, F.R.D.O., Gomes, L., A simple method to synthesize silver nano particles by photo-reduction, *Colloids Surf. A*, 305, 54-57, 2007.
- [21] Xie, Y., Ye, R., Liu, H., Synthesis of silver nano particles in reverse micelles stabilized by natural bio surfactant, *Colloids Surf. A*, 279, 175-178, 2006.
- [22] Sathishkumar, M., Sneha, K., Won, S.W., Cho, C.W., Kim, S., Yun, Y.S., Cinnamon zeylanicum bark extract and powder mediated green synthesis of nanocrystalline silver particles and its bactericidal activity, *Colloids Surf. B*, 73, 332-338, 2009.
- [23] Kalishwaralal, K., Deepak, V., Pandian, S.R.K., Kottaisamy, M., Barath-ManiKanth, S., Kartikeyan, B., Gurunathan, S., Biosynthesis of silver and gold nanoparticles using *Brevibacterium casei*, *Colloids Surf. B*, 77, 257-262, 2010.
- [24] Zeiri, L., Bronk, B.V., Shabtai, Y., Czégé, J., Efrima, S., Silver metal induced surface enhanced Raman of bacteria, *Colloids Surf. A*, 208, 357-362, 2002.
- [25] Shahverdi, A.R., Minaeian, S., Shahverdi, H.R., Jamalifar, H., Nohi, A.A., Rapid synthesis of silver nano particles using culture supernatants of Enterobacteria: a novel biological approach, *Process Biochem.* 42, 919-923, 2007.
- [26] Duran, N., Marcato, P.D., De Souza, G.I.H., Alves, O.L., Esposito, E., Antibacterial effect of silver nano particles produced by fungal process on textile fabrics and their effluent treatment. *J. Biomed. Nanotechnol.*, 3, 203-208, 2007.
- [27] Kaur, p., Saxena, M., Vadehra, D.V., Plasmid mediated resistance to silver ions in *Escherichia coli*. *Indian J. Med. Res.* 82, 122-126, 1985.
- [28] Barani, H., Montazer, M., Samadi, N., Toliyat, T., In situ synthesis of nano silver/lecithin on wool: Enhancing nanoparticles diffusion, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 92, 9-15, 2012.
- [29] Allahyarzadeh, V., Montazer, M., Hemmati Nejad, N., Samadi, N., In situ synthesis of nano silver on polyester using NaOH/Nano TiO₂. *J Appl Polym Sci*, 129, 892-900, 2013.
- [30] Sharma, V.K., Yngard, R.A., Lin, Y., Silver Nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activity. *Adv Colloid Interface*, 145, 83-96, 2009.

- [31] El-Shishtawy, R.M., Asiri, A.M., Abdelwahed, N.A.M., Al-Otaibi, M.M., In situ production of silver nano particle on cotton fabric and its antimicrobial evaluation. *Cellulose*, 18, 75-82, 2011.
- [32] Marambio-Jones, C., Hoek, E.M.V., A review of the antibacterial effects of silver Nanomaterials and potential implications for human health and the environment. *J. Nanopart. Res*, 12, 1531-1551, 2010.
- [33] Montazer, M., Alimohammadi, F., Shamei, A., Rahimi, M.K., In situ synthesis of nano silver on cotton using Tollens'reagent. *Carbohydr Polym*, 87, 1706-1712, 2012.
- [34] Babaahmadi, V., Montazer M., A new route to synthesis silver nanoparticles on polyamide fabric using stannous chloride. *J. Text. Inst.* 106, 970-977, 2015.
- [35] Hosseinkhani, M., Montazer, M., Eskandarnejad, S., Rahimi, M.K., Simultaneous in situ synthesis of nano silver and wool fiber fineness enhancement using sulphur based reducing agents, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 415, 431- 438, 2012.
- [36] Prachayawarakorn, J., Kryratsamee, W., Dyeing properties of Bombyx mori silks grafted with methyl methacrylate and methacrylamide. *J. Appl. Polym. Sci.* 100, 1169–1175, 2006.
- [37] Masoumi, A., Ghaemy, M., Adsorption of heavy metal ions and azo dyes by crosslinked nanochelating resins based on poly(methylmethacrylate-co-maleic anhydride). *eXPRESS Polymer Letters*, 8(3), 187-196, 2014.
- [38] Babaahmadi, V., Montazer, M., Ghanbarafjeh, M., Samadi, N., Simultaneous in situ synthesis of nanosilver and dyeing of polyamide 6 fabric. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 43, 488-494, 2018.
- [39] Zolriasatein, AA., Improving Dyeing Properties of Jute Yarn to Metal Complex Dyes via Grafting with Methyl Methacrylate and Using Nano Silver. *Nanoscience & Nanotechnology-Asia*, 10 (5), 664-672, 2020.
- [40] Das, D., Munshi, R., Finishing of jute using methacrylic acid in presence of tetrasodium pyrophosphate and potassium persulphate as catalysts under thermal treatment. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 32(3), 366-372, 2007.
- [41] Hassan, MM., Saifullah, K., Ultrasound-assisted pre-treatment and dyeing of jute fabrics with reactive and basic dyes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40(Pt A), 488-496, 2018.
- [42] Gupta, D., Kumari, S. and Gulrajani, M., Dyeing studies with hydroxyanthraquinones extracted from Indian madder. Part 1: Dyeing of nylon with purpurin. *Coloration Technology*, 117, 328-332, 2001.
- [43] Mao, Y.H., Guan, Y., Zheng, Q.K., Feng, X.N., Wang, XX., Adsorption thermodynamic and kinetic of disperse dye on cotton fiber modified with tolylene diisocyanate derivative. *Cellulose*, 18, 271-279, 2011.
- [44] Arora, A., Gupta, D., Rastogi, D., Gulrajani, M.L., Kinetics and thermodynamics of dye extracted from *Arnebia nobilis* Rech.f. on wool. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 37(2), 178-182, 2012.
- [45] Rattanaphani, S., Chairat, M., Bremner, J.B., Rattanaphani, V. An Adsorption and Thermodynamic Study of Lac Dyeing on Cotton Pretreated with Chitosan. *Dyes and Pigments*, 72, 88-96, 2007.
- [46] Jafari, N., Karimi, L., Mirjalili, M., Derakhshan, S. J., Effect of silver particle size on color and antibacterial properties of silk and cotton fabrics. *Fiber Polym.* 17, 888-895, 2016.
- [47] حسین زائر ثابت؛ پیمان ولی پور؛ حبیب اله طیبی.
"جذب رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۸ بر روی نانو ساختار
مغناطیسی سیلیکاتی: مطالعات جذب و مدل سازی". علوم و

فناوری نساجی و پوشاک، دوره ۱۱، شماره ۳، صفحه ۱۷-۱، ۱۴۰۱.

[۴۸] مهدی صادقی؛ حبیب اله طیبی؛ مجید مرادیان؛ علی میرابی. "سنتز نانو کامپوزیت SBA-15/ZIF-8 جهت حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از فاضلاب نساجی". *علوم و فناوری نساجی و پوشاک*، دوره ۱۰، شماره ۱، صفحه ۳۲-۲۵، ۱۴۰۰.

[۴۹] علی اکبر ذوالریاستین؛ نیلوفر نصرتی. "جداسازی رنگ از پساب های نساجی با به کارگیری حلال آلی و سطح فعال ها". *علوم و فناوری نساجی و پوشاک*، دوره ۱۱، شماره ۳، صفحه ۴۰-۱۸، ۱۴۰۱.

[۵۰] مرجان ولی زاده؛ پیمان ولی پور؛ رامین خواجوی؛ حمید اکبرپور. "بررسی مقایسه‌ای ایزوترم جذب رنگزای راکتیو یک عاملی و دو عاملی روی پارچه سلولزی با استفاده از مواد تعاونی اوره، دیسپرس کننده و نفوذ دهنده". *علوم و فناوری نساجی و پوشاک*، دوره ۱۰، شماره ۳، صفحه ۱۹-۱، ۱۴۰۰.

[۵۱] علی اکبر ذوالریاستین؛ مرجان غزال نیا. "تاثیر اشعه ماوراء بنفش بر خصوصیات ترمودینامیکی، سینتیکی و ایزوترم جذب رنگینه مستقیم روی الیاف سلولز استات". *علوم و فناوری نساجی و پوشاک*، دوره ۱۱، شماره ۱، صفحه ۲۷-۱۱، ۱۴۰۱.

[52] Carbone, G.G., Serra, A., Buccolieri, A., Manno, D.E. A silver nanoparticle-poly(methyl methacrylate) based colorimetric sensor for the detection of hydrogen peroxide. *Heliyon*, 5(11), e02887, 2019.

[53] Maria, Z., Ioannis, E., Nikolaos, N., Eforia, T. Synthesis, characterization and application of anionic metal complex azo dyes as potential substitutes for Cr-complex dyes. *Textile Research Journal*, 84(19), 2036-2044, 2014.

[54] Mondal, M.I.H., Mofakharul Islam M., Md. Khademul Islam, M., Firoz Ahmed M.F., Dyeing Behaviour and Colour Fastness Characteristics of Bleached, AM- and AA-modified Jute Fibres Dyed with Reactive Dyes. *American Journal of Polymer Science*, 6(2): 39-45, 2016.

[55] Mondal, M.I.H., Khan, M.M.R., Islam, M.M. et al. Characterization of grafted jute fiber using acrylate monomers pretreated with alkali. *Fashion and Textiles* 3, 9, 2016.

[56] Altındag, IG., Dincer A., Becerik, S., Eser, A., Aydemir, T., Poly(methyl methacrylate-ethylene glycol dimethacrylate) copolymer for adsorptive removal of erythrosine dye from aqueous solution, *Desalination and Water Treatment*, 54(6), 1717-1726, 2015.

[57] Ara, ZA., Wang, L., Padhye, R., Wang, X. A Comparative Study of Nanofibers from Regenerated Cotton and Jute, *Journal of Natural Fibers*, 20(1), 1-11, 2023.