

مقاله يذيرفته شده

عنوان مقاله: پیشبینی انعکاس پارچه نایلونی خیس با استفاده از مدل هندسی و تئوری کیوبلکا-مانک

نویسندگان: ساناز توفیقی، علی شمس ناتری

JCST-2501-1249	شماره مقاله:
14.4-11-72	تاريخ دريافت:
14.4-1-73	تاريخ اصلاح:
14•4-1-27	تاريخ پذيرش:

این فایل pdf مقاله ویرایش نشده است که برای چاپ پذیرفته شده است. ماکت مقاله توسط دفتر نشریه علوم و فناوری رنگ تهیه شده و قبل از چاپ برای ویرایش نهایی به نویسنده مسئول مقاله ارسال میشود.

Accepted Manuscript

Title: Prediction of the Reflectance of Wet Nylon Fabric Using the Geometric Model and Kubelka-Munk theory

Authors: Sanaz Tofighi, Ali Shams Nateri

To appear in: Journal of Color Science and Technology

Receives date:	11-01-2025
Revises date:	12-04-2025
Accepted date:	16-04-2025

Please cite this article as:

Tofighi S, Shams Nateri A. Prediction of the Reflectance of Wet Nylon Fabric Using the Geometric Model and Kubelka-Munk theory. J Color Sci Tech. (2025): JCST-2501-1249.

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form.







پیشبینی انعکاس پارچه نایلونی خیس با استفاده از مدل هندسی و تئوری کیوبلکا-

مانک

ساناز توفیقی، علی شمس ناتری^۱ گروه مهندسی نساجی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

چکیدہ

خیس شدن پارچه باعث تغییر رنگ آن میشود. بنابراین، برای کنترل رنگ پارچه در فرآیند رنگرزی، پیشبینی رنگ پارچه در حالت خیس بسیار مهم است. در این مقاله از مدل هندسی برای پیشبینی طیف انعکاسی پارچه نایلونی خیس بر اساس طیف انعکاسی حالت خشک آن استفاده شد. برای این منظور، نمونههای پارچه نایلونی با رنگزای اسیدی قرمز، آبی و زرد به صورت تکی و مخلوط رنگرزی شدند. آنالیز پارامترهای رنگی نمونهها نشان داد خیس شدن سبب تغییر رنگ، کاهش روشنایی و افزایش عمق رنگی پارچه میشود. از یک مدل هندسی و کیوبلکا-مانک، برای پیشبینی طیف انعکاسی پارچه نایلونی خیس استفاده شد. به منظور پیشبینی انعکاس پارچه در حالت خیس به روش مدل هندسی، از مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤)، ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاح شده، k/s واحد و k/s واحد اصلاح شده استفاده شد. خطای پیشبینی بر حسب اختلاف رنگ (ع)، ضریب جذب مولار رنگزا (٤) استفاده از مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤)، ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاحی) در چهار روش پیشبینی، استفاده از مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤)، ضریب جذب مولار رنگزا (٤) مواحد و k/s واحد اصلاح شده، به ترتیب استفاده از مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤)، ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاحی (٤)، فریش در تری (٤) واحد اصلاح شده، به ترتیب استفاده از مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤)، ضریب جذب مولار رنگزا (٤) مواحد و k/s واحد اصلاح شده، به ترتیب واژههای کلیدی: پیشبینی، انعکاس، خیس، مدل هندسی، کیوبلکا-مانک، رنگ.

Prediction of the Reflectance of Wet Nylon Fabric Using the Geometric Model and Kubelka-Munk theory

Sanaz Tofighi and Ali Shams Nateri Department of Textile Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

Abstract

Wetting the fabric changes its color; therefore, to control the color of the fabric in the dyeing process, it is crucial to predict the color of the fabric in its wet state. In this article, a geometric model was used to predict the reflectance spectra of wet nylon fabric based on the reflectance spectra of its dry state. For this purpose, nylon fabric samples were dyed individually and in mixtures with red, blue, and yellow acid dyes. Analysis of the color parameters of the samples shows that wetting causes color change, a decrease in lightness, and increases in color depth of the dyed fabric. To predict the fabric's reflectance in the wet state using the geometrical model, the molar absorption coefficient of the dye (ϵ), modified molar absorption coefficient (ϵ), unit k/s, and modified unit k/s values were utilized. The prediction error according to color difference (ΔE_{CMC}) in four prediction methods, using molar absorption coefficient (ϵ), unit k/s, and modified unit k/s, were 18.69, 15.51, 6.87, and 5.71, respectively. Based on the obtained results, the best prediction was achieved by the geometrical model using the modified unit k/s.

Keywords: Prediction, Reflection, Wetting, Geometric Model, Kubelka-Munk, Color.

^{&#}x27;a_shams@guilan.ac.ir



۱– مقدمه

پارچههای نایلونی به طور گسترده برای کاربردهای مختلف مانند لباسهای ورزشی و لباسهای زمستانی، تجهیزات فضای باز و محصولات صنعتی استفاده میشوند. خاصیت انعکاسی پارچههای نایلونی عامل مهمی در تعیین ظاهر و عملکرد آنهاست. رنگ محصولات نساجی به عوامل مختلفی از جمله فرآیند رنگرزی، نوع الیاف و شرایط محیطی که محصول در معرض آن قرار میگیرد، بستگی دارد. یکی از عوامل مهمی که بر خواص نوری منسوجات تأثیر می گذارد، جذب رطوبت و ترشوندگی است. این عوامل در نهایت بر عمق رنگ، خلوص رنگ و ظاهر کلی رنگ منسوجات تأثیر می گذارند. درک تأثیر خیس شدن بر ظاهر رنگ پارچه رنگرزی شده برای تولیدکنندگان، طراحان و محققان پارچه از اهمیت بالایی برخوردار است. هنگامی که پارچه خیس میشود، آب در منافذ بین الیاف و میکروالیاف پارچه قرار می گیرد و در هنگام برخورد نور، پارچه تیرهتر به نظر میرسد [۱]. الیاف مصنوعی نسبت به الیاف طبيعي رطوبت بازيافتي كمي دارند. نايلون اغلب به عنوان الياف آبگريز شناخته مي شود. اما در عمل، به طور قابل توجهي آب دوست است و می تواند مقداری آب را در ساختار خود جذب کند [۲]. هنگامی که نور به سطح منسوج برخورد می کند، انعکاس سطحی رخ میدهد که به ویژگیهای سطح آن بستگی دارد. بخشی از نور وارد منسوج شده و در درون منسوج پدیده جذب و انتشار صورت می گیرد. در نهایت، نور پراکنده از ماده به صورت بازتاب خارج می شود که بستگی به میزان پراکندگی و انتشار داخلی دارد [۳و۴]. انتشار داخلی به تعداد مولکولهای رنگ و سایر مواد موجود در منسوج بستگی دارد. هنگامی که منسوجات رنگی از حالت خشک به خیس تغییر حالت میدهند، رفتار انعکاسی آنها تغییر میکند و در نتیجه میزان انعکاس نور کاهش مییابد. کاهش انعکاس به دلیل کاهش میزان پراکندگی نور است، در حالی که جذب نور ثابت است. غالباً این تغییر از حالت خشک به حالت خیس نیز با تغییر رنگ همراه بوده و افت انعکاس به واسطه رطوبت به بستر و میزان انعکاس بستگی دارد [۵و۶]. لی و همکارانش بیان کردند هنگامی که یک منسوج مایعی را جذب میکند، عمق رنگ آن نسبت به حالت خشک افزایش یافته و به همین دلیل تفاوت در انعکاس ظاهر می شود. اختلاف در بازتاب بین هوا و مایع منجر به اختلاف در عمق رنگ بین حالت خشک و مرطوب می شود [۷]. اسمیت آنیز اشاره نمود که پدیده تغییر رنگ پارچه در اثر خیس شدن به علت اختلاف ضریب شکست آب جایگزین شده به جای هوا است. او بیان کرد که نور بیشتری در مرزی که در آن اختلاف ضریب شکست بزرگی وجود دارد پراکنده می شود. به همین دلیل، انتظار می رود که الیاف با ضریب شکست بالا، در هنگام خیس شدن، تغییر رنگ کمتری از خود نشان دهند [۸]. گرت و پیترز^۵مهمترین دلیل اینکه

^rLee

^rSmith ^fRefractive index ^cGarrett and Peters

مقالله پذیر قد شده

پارچه در هنگام خیس بودن تیرهتر از زمان خشک بودن به نظر میرسد را کاهش قابل توجه نسبت ضریب شکست ذرات (الیاف) با محیط (آب یا هوا) در نظر گرفتند [۹]. آلن و گلدفینگر²یک مدل ریاضی برای تعیین ضریب جذب مولار رنگزا^۱ا ضریب شکست الیاف و تأثیر هندسه پارچه و نخ و توزیع رنگ در داخل الیاف بر روی رنگ پیشنهاد کردند. مدل هندسی^۸آنها نشان داد که ضریب شکست پارچه خیس شده،کمتر از پارچه خشک است و به همین دلیل پارچه خیس تیرهتر از حالت خشک به نظر میرسد [۲۰–۱۰]. به منظور پیشگویی رنگ و رفتار نوری منسوجات مطالعات زیادی صورت گرفته و نظریههای متعددی به کارگرفته شدهاند [۳۹]. از معروفترین این مدلها که رابطه بین انعکاس و ظاهر رنگ پارچه در حالت خیس و خشک را نیز بررسی می کند، مدل کیوبلکا مانک و مدل هندسی میباشد [۱۵–۱۷].

مدل هندسی یا مدل آن و گلدفینگر، ظاهر مواد را با در نظر گرفتن ملاحظات هندسی و نوری مدل می کند. با توجه به حجم عملیات ریا ضی سنگین و نیاز به تکرار مراحل، با عر ضه کامپیوترهای قدرتمند ا ستفاده از این مدل پس از مدتها نسبت به مدل کیوبلکا مانک با استقبال محققان مواجه گردید. بر اساس این مدل، وقوع سه پدیده انعکاس سطحی، جذب و انتقال از میان نخهای ت شکیل دهنده یک پارچه، با توجه به ضرایب شکست محیط و لیف در زوایای مختلف، مبنای نور منعکس شده از آن را ت شکیل میدهند. همچنین با این مدل میتوان با داشتن ضریب جذب مولار رنگزا، ضریب شکست الیاف و تأثیر هندسه پارچه و نخ و توزیع رنگ در داخل الیاف، پیشبینی انجام دهند. نتایج نیز نشان داد که این روش در غلطتهای بالای ماده رنگزا، انعکاس کم و در اجسام شفاف نسبت به روش کیوبلکا مانک جواب دقیق تر و خطای کمتری از خود نشان میدهد [۱۰–۱۳و۳۳–۱۸].

در مدل هندسی، منسوج بهعنوان مجموعهای از لایههای متشکل از الیاف استوانهای منفرد، با قطر مساوی و ساختاری ایزوتروپیک از نظر رنگ و ویژگیهای نوری در نظر گرفته میشود. همچنین فرض بر این است که الیاف بهصورت استوانههای موازی در کنار یکدیگر آرایش یافتهاند و تشکیل یک مجموعه میدهند. در ادامه، هر مجموعه بر مبنای مدل صفحات میلهای استوکس بهعنوان یک صفحه در نظر گرفته میشود. پیشبینی انعکاس مجموعه فوق را میتوان با استفاده از قوانین نوری، قطر الیاف، ضریب شکست آن، ضریب جذب مولار رنگزا و ضریب شکست محیط انجام داد. نور به صورت یک پرتو موازی شده به صورت عمود بر روی اولین صفحه ماده برخورد کرده و به طور پراکنده در لایههای بعدی انتشار مییابد. فرض بر این است که الیاف بسیار نزدیک به یکدیگر قرار گرفته اند، به طوری که تمام نور با آنها تعامل دارد، اما آنها با یکدیگر تماس نوری ندارند تا در مکانیسم انعکاس و شکست تداخل ایجاد کنند.

⁵Allen and Goldfinger

^vMolar absorptivity Coefficient

^{&#}x27;Geometric Model



برهمکنش نور در سطح مقطع عرضی لیف در شکل ۱ نشان داده شده است. در شکل ۱، او پرتو تابیده شده، θ زاویه نور تابیده شده بر همکنش نور در سطح، b فاصله نقطه برخورد از عمود به صفر درجه، s نوری که در جهت رو به بالا و t نوری که در جهت رو به پالا و t می کند و ما فاصله نقطه برخورد از عمود به صفر درجه، s نوری که در جهت رو به بالا و t نوری که در جهت رو به پالا و t ایر می کند و ای فاصله نقطه برخورد از عمود به صفر درجه، s نوری که در جهت رو به بالا و t نوری که در جهت رو به بالا و t t_0 می کند و L_p می فاصله نقطه برخورد از عمود به صفر درجه، s نوری که در جهت رو به بالا و t L_p او L_p مسیر نوری که در درون لیف قبل از شکست طی می شود. همچنین n ضریب شکست لیف، n_2 ضریب شکست محیط، $m = \frac{n_1}{n_2}$



Figure 1. Cross-section of cylindrical fiber and the paths of reflected, refracted and transmitted light [10].

هنگامی که نور بر سطح خارجی الیاف برخورد می کند. بخشی از آن طبق قوانین فرسنل^۴از روی سطح منعکس شده و بقیه در داخل لیف پراکنده می شود. در این مدل، محیط شفاف فرض شده و مواد درون لیف هیچ پراکندگی ندارند، لذا نوری پراکنده نمی شود. بنابراین نور در داخل لیف تا زمانی که دوباره انعکاس یابد و یا شکست بخورد به صورت خطی به حرکت خود ادامه می دهد. پرتو نور طی عبور از درون لیف می تواند با پدیده جذب بر اساس قانون بیر-لامبرت (وبرو شود. نور شکست خورده به حرکت خود ور در ورون

[°]Fresnel law [°]Beer-Lambert law



لیف یعنی در محیطی که در معرض جذبهای بعدی است ادامه می دهد و تحت عنوان نور منتقل شده ارزیابی می شود. طول عبور نور در درون لیف قبل از هر گونه انعکاس و یا شکست را می توان با توجه به اصول هندسی حاکم بر استوانه از معادله ۱ [۸] که در آن r شعاع لیف و یا شعاع سیلندرهای استوانهای است [۲۱]. بر اساس قوانین نوری $\theta = \sin \alpha = \sin \alpha$ که θ زاویه تابش و α زاویه آن r شعاع لیف و یا شعاع سیلندرهای استوانهای است [۲۱]. بر اساس قوانین نوری $\theta = \sin \alpha = \sin \alpha$ که θ زاویه تابش و α زاویه بابش و α زاویه تابش و η زاویه تابش و η زاویه این r شعاع لیف و یا شعاع سیلندرهای استوانهای است [۲۱]. بر اساس قوانین نوری $\theta = \sin \alpha = \sin \alpha$ که θ زاویه تابش و π زاویه تابش و η زاویه تابش و η زاویه تابش و η زاویه تابش و η زاویه تابش و این r شعاع لیف و یا شعاع سیلندرهای استوانه ای است آن ای بر اساس قوانین نوری $\theta = \sin \alpha$ می باشد. اگر در معادله ۱ شعاع بازتاب، $\frac{n_2}{n_1} = m$ نیز همانطور که در بالا تعریف شده است نسبت ضرایب شکست لیف به محیط می باشد. اگر در معادله ۱ شعاع دایره ای را که سطح مقطع الیاف استوانه ای را نشان می دهد برابر با ۱ قرار دهیم آنگاه $\theta = d$ و $\sin \alpha = \sin \alpha$. از اینرو طول

$$L_{p} = 2r \cos \alpha = 2r \sqrt{1 - \frac{d^{2}}{m^{2}}}$$

$$L_{p} = 2 \cos \alpha = 2\sqrt{1 - \frac{d^{2}}{m^{2}}}$$
(1)
(1)
(1)

مقدار نور منعکس شده در سطح لیف به صورت دو نور پلاریزه شده موازی ¤¢و عمودی ⊥¢ تفکیک شده و برای محاسبه آنها از معادلات ۳و ۴ استفاده می شود [۱۲]:

$$\rho_{\rm II} = \left[\frac{n_1 \cos \theta_2 - n_1 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_2 + n_2 \cos \theta_1}\right]^2 \tag{(7)}$$

$$\rho_{\perp} = \left[\frac{n_1 \cos \theta_2 - n_1 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_2 + n_2 \cos \theta_2} \right]^2 \tag{f}$$

نور پلاریزه شده تصادفی، انعکاس سطحی متوسط دو جزء میباشد که در معادله ۵ نشان داده شده است:

$$\rho = \frac{\rho_{\rm II} + \rho_{\perp}}{2} \tag{(a)}$$

براساس قانون بیر-لامبرت نور منتقل شده T پس از طی کردن فاصله lpدر درون لیف را میتوان به صورت معادله ۶ نشان داد:

$$T = \frac{transmitted - light}{incident - light} = 10^{-\varepsilon clp}$$
(?)

زاویه انعکاس β در شکل ۱ نشان داده شده است. برای ۱βو به دنبال آن β۱ز معادله ۷ و ۸ استفاده می شود [۲۶-۲۴]:

$$\beta_{1} = 180 - 2 \left[\arctan\left(\frac{d}{\sqrt{r^{2} - d^{2}}}\right) - \arctan\left(\frac{\sqrt{r^{2} - \frac{l_{p}^{2}}{4}}}{\frac{l_{p}}{2}}\right) \right]$$
(Y)

$$\beta_n = \beta_{n-1} + \left[180 - 2 \arctan\left(\frac{\sqrt{r^2 - \frac{l_p^2}{4}}}{\frac{l_p}{2}}\right) \right]$$
(A)

می توان با یک فرایند تکرار، نور انعکاس و انتقال یافته شده توسط جسم را بدست آورد. محاسبات با نوری که به طور عمودی به لیف در ۰=b برخورد می کند آغاز می شود. کلیه انتقالهای داخلی و شکستهای صورت گرفته بر روی پرتو نوری، تا زمانی که به دلیل جذبهای مکرر مقدار آنها ناچیز شود و در واقع نور از بین برود در نظر گرفته می شود. بخشی از پرتو اولیه که به سمت بالا منعکس شده به عنوان نور منعکس شده s شناخته می شود، همچنین بخش دیگری از پرتو که در جهت پایین حرکت می کند نور منتقل شده t می باشد. نور جذب شده (A) طبق معادله ۹ محاسبه می شود [۱۸]:

$$A = \frac{(1-p)}{1-Tp} \tag{9}$$

۱۰ ضریب k، نسبت نور منتشر شده در جهت پایین به نور منتشر شده به سمت بالا، k عبارت از $k = \left(\frac{t}{s}\right)$ است. مقدار k از معادله ما

$$k = \frac{t}{s} = \frac{P_{d=r\cos 45...r} + (1-P)^2 \sum_{n=1}^{\infty} Tp^{n-1} \cos \beta_n (-)}{P_{d=0...r\cos 45} + (1-P)^2 \sum_{n=1}^{\infty} T^n p^{n-1} \cos \beta_n (+)}$$
(1.)

مقدار A و k با استفاده از فرایند تکرار، برای یکسری از مقادیر b در محدوده صفر تا قطر لیف r به نحوی که تمامی جهات تابش در محاسبات در نظر گرفته شود، به دست میآیند. سپس نتایج حاصله جمع و میانگیری میشود. در یک پارچه، میتوان با اعمال اصلاحاتی این مدل را به سادگی به دسته الیاف موازی شده نیز تعمیم داد، الیاف به صورت موازی برای ایجاد بردارهای زوج به یکدیگر ملحق میشوند. بخشی از پرتو اولیه که از لایه اول به سمت پایین T_1 و از سطح لایه به سمت بالا σ_1 منتشر میشود، با استفاده از یک فرایند ازدیاد تدریجی و معادلات ۱۱ و ۱۲ به دست میآید [۸و۸]:



$$\tau_1 = \frac{k^2 (1-A)^2}{(1+k)^2 - (1-A)^2}$$
(11)

$$\sigma_1 = \frac{1 - A}{1 + A} \left(1 - \tau_1 \right) \tag{17}$$

بر اساس صفحات میلهای ارائه شده توسط استوک است، بردارهای زوج شده به عنوان صفحاتی با مجموع انعکاسی σ_1 و مجموع انتقالی τ_1 در نظر گرفته میشوند. بر اساس مدل ذکر شده مجموع نور منتشر شده از لایه nام که در جهت رو به بالا و پایین حرکت میکنند به ترتیب از معادله ۱۳ و ۱۴ به دست میآیند:

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} \left(1 + \tau_n \right) \tag{17}$$

$$\tau_n = \frac{\tau_{n-1}^2}{1 - \sigma_{n-1}^2} \tag{17}$$

در صورتی که الیاف به نحوی آرایش یابند و به اندازهای در نظر گرفته شوند که مقدار انتقال یعنی σ_n آنها برابر صفر شود، نور بالایی برابر مقدار انعکاس در نظر گرفته میشود [۸و۱۳و۲]. طبق قانون بیر-لامبرت، در طی انتشار خطی، مقداری از انرژی به دلیل جذب از بین میرود. نور انعکاس یافته داخلی به حرکت در داخل الیاف، در جهتی متفاوت ادامه میدهد. نور شکست خورده اگر به سمت پایین منتشر شود به عنوان نور عبوری در نظر گرفته میشود یا اگر به سمت بالا منتشر شود انعکاس در نظر گرفته میشود. این مدل میتواند ویژگیهای هندسی و نوری الیاف، محیط اطراف، ضریب جذب مولی ماده رنگزا را گرفته و آنها را برای پیشبینی انعکاس مواد نساجی ترکیب کند [۱۰]. توجه این مدل به اختلاف در ضرایب شکست محیط باعث گردیده است تا این مدل بتواند تغییر در رفتار انعکاسی منسوجات در حالت مرطوب و خیس را که موجب تغییر در رفتار انعکاسی آنان میگردد به نحو مطلوب توجیه نماید [۲۵].

در این مقاله، ابتدا تاثیر خیس شدن بر ظاهر رنگی پارچه نایلونی رنگرزی شده با رنگزای اسیدی مورد بررسی قرار گرفت. سپس از مدل هندسی برای پیشبینی انعکاس پارچه نایلونی خیس استفاده گردید. در مدل هندسی از مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا، k/s واحد پارچه رنگرزیشده و حالت بهینه شده آنها با استفاده از ضریب بهینهسازی جهت پیشبینی انعکاس خیس پارچه رنگی از حالت خشک استفاده شد.



۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

در این تحقیق از نمونههای پارچه تاری پودی نایلون ۶ به وزن ۲۳۵ گرم بر متر مربع با نمره نخ ۸۰۰ دنیر استفاده شد. سه رنگزای اسیدی مطابق جدول ۱ محصول شرکت فارب شیمی^{۱۰}کشور آلمان، برای رنگرزی پارچه نایلونی استفاده گردید. نمونههای پارچه نایلونی به صورت تکی و ترکیبی (ترکیب دو و سه رنگزا) در چندین عمق رنگ با غلظتهای ۵٫۰، ۱، ۱٫۵ و ۲ درصد بر اساس وزن پارچه (.O.W.F) رنگرزی شدند.

	Table	1: Characteristics of Acid Dyes.			
Trade Name	Sellan Red 2B	Sellan Red 2B Sellan Blue 2R			
Generic Name	C.I. Acid Red 361	C.I. Acid Blue 225	C.I. Acid Yellow 110		
Molecular Weight (g/mol)	540.59	685.32	534.4		
λ_{max} (nm)	500	580	395		
Chemical structure [27].	$HO \xrightarrow{N}_{H_2N} O_2S$	$H_{3}C$ H	$Na^{C} + N + N + CI$		

جدول ۱: مشخصات مواد رنگزای اسیدی.
Table 1. Characteristics of Asid Dys

۲-۲- روش کار

نمونههای پارچه مورد استفاده با ۲ گرم در لیتر مواد شوینده صابونی و ۱ گرم در لیتر کربنات سدیم در دمای ⁰ ۶۰۰ به مدت ۳۰ دقیقه شستشو و در دستگاه رنگرزی آزمایشگاهی (ماشین رنگرزی آزمایشگاهی با دمای بالا) با نسبت حجم محلول به جرم کالا ۲۰:۱ (L:G)، در دمای جوش، حاوی ۱٪ یکنواخت کننده، ۵,۰۰۱٪ اسید استیک و ۲-۴٪ سولفات آمونیوم رنگرزی شدند. گراف رنگرزی نایلون با رنگزای اسیدی شکل ۲ نشان داده شده است. نمونهها در غلظتهای ۵,۰۰ ۱، ۵,۱ و ۲ درصد نسبت به وزن کالا رنگرزی و در دمای ⁰ ۲۰۰ به مدت ۳ دقیقه خشک و سپس ۳۰ دقیقه با بخار فیکس شده [۳۷] و در نهایت با صابون ۲ گرم بر لیتر در دمای ⁰ ۸۰ به مدت ۱۰ دقیقه شستشو شدند. به منظور بررسی اثر خیس شدن بر انعکاس و رنگ پارچه، نمونههای پارچه رنگی در آب غوطهور گردید و آب اضافی به صورت یکنواخت و به نحوی خارج شد که فشار یا کشش زیادی به پارچه وارد نکند و منجر به تغییر

'Farbchemie Braun KG



شکل یا آسیب به ساختار آن نشود. سپس طیف انعکاسی در محدوده طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر در فواصل ۱۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر X.Rite SP60 اندازه گیری شد. همچنین پارامترهای رنگی نمونهها در فضا رنگ CIELAB تحت روشنایی استاندارد و مشاهده کننده استاندارد ۱۰ درجه محاسبه گردید. همچنین جهت بررسی اختلاف رنگ بین دو نمونه، از معادله اختلاف رنگ ΔΕ (معادله ۱۵) استفاده شد [۳۱].

$$\Delta E_{CMC}^{*} = \sqrt{\left(\frac{L_{2}^{*} - L_{1}^{*}}{lS_{L}}\right)^{2} + \left(\frac{C_{2}^{*} - C_{1}^{*}}{cS_{C}}\right)^{2} + \left(\frac{\Delta H_{ab}^{*}}{S_{H}}\right)^{2}}$$
(1Δ)



۲-۳- پیشبینی انعکاس به روش مدل هندسی

به منظور پیش بینی انعکاس حالت خیس پارچه بر اساس انعکاس حالت خشک به روش مدل هندسی ضروری است که پارامترهای شعاع لیف، ضریب شکست الیاف، شکست محیط و ضریب جذب مولار رنگزا (٤) را به عنوان ورودی مشخص شود. محاسبات و برنامه نویسی در نرم افزار متلب ورژن ۲۰۲۳ a انجام شد. روش های متعددی برای جایگزینی مقدار ضریب جذب مولار (٤) در مدل هندسی توسط محققان بیان شده است [۲۱و۳۳و۱۸–۲۰وو۹۹و ۳۰]. در مدل هندسی، فاکتور انعکاس طیفی پارچه رنگ شده به طور مستقیم با هندسه و خواص نوری آن و همچنین حاصلضرب غلظت رنگزا (C) و ضریب جذب مولار رنگزا (k) در الیاف ارتباط دارد (معادله ۹۲):



R = f(Ck.m.D)

R فاکتور انعکاس، Ck حاص ضرب غلظت رنگ و ضریب جذب مولار رنگزا در الیاف، m نسبت ضریب شکست الیاف به ضریب شکست محیط اطراف و D قطر الیاف بر حسب میکرومتر میباشد [۳۰]. ضریب جذب مولار رنگزا (٤) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Visible و UV شسرکت جنوی^۲یا گام اندازه گیری ۵ نانومتر و در محدوده طیفی از فراینفش (۳۰۰ نانومتر) تا مادون قرمز نزدیک (۹۰۰ نانومتر) برای ۳ رنگزای قرمز، زرد و آبی در ۵ غلظت مختلف اندازه گیری شد. ۵/ ها واحد، به عنوان شیب خط در نمودار (K/S) بر حسب غلظت رنگزا، را میتوان برای تعریف خواص نوری نمونههای رنگی استفاده کرد. در تئوری تک ثابت کیوبلکا مانک ۵/۸ واحد برای ایجاد رابطه بین تابع انعکاس (K/S) و غلظت رنگزا استفاده میشود [۳۰و ۳۱و۳۳]. همچنین به منظور کاهش مانک ۵/۸ واحد برای ایجاد رابطه بین تابع انعکاس (K/S) و غلظت رنگزا استفاده میشود [۳۰و ۳۱]. همچنین به منظور کاهش مانک ۵/۸ واحد برای ایجاد رابطه بین تابع انعکاس (K/S) و غلظت رنگزا استفاده میشود [۳۰و ۳۱و۳]. همچنین به منظور کاهش مورت انجام گرفت که ابتدا مقادیر پیش بینی شده مدل با دادههای واقعی مقایسه شدند. سپس، یک ضریب اصلاحی در ضرایب جذب مولار رنگزا (٤) و 8/۶ واحد ضرب گردید. اصلاح ضریب فوق به روش سعی و خطا انجام شد تا زمانیکه مقدار بهینهای که محرین اختلاف را بین نتایج پیش بینی شده مدل با دادههای واقعی مقایسه شدند. سپس، یک ضریب اصلاحی در ضرایب محرین اختلاف را بین نتایج پیش بینی شده و دادهای واقعی است، مشخص گردد. در نهایت، مقدار بهینه این ضریب در مدل اعمال شد تا دقت پیش بینی افزایش یابد. به عبارتی مقادیر ضریب جذب مولار (٤) و ۶/۸ واحد بهینه این ضریب اصلاحی در صرایب شد تا دقت پیش بینی افزایش یابد. به عبارتی مقادیر ضریب جذب مولار (٤) و ۱۹ واحد بهینه سازی ضریب در مدل اعمال شد تا دقت پیش بینی افزایش یابد. به عبارتی مقادیر ضریب جذب مولار (٤) و ۱۹ واحد بهینه این ضریب مریب در مدل اعمال شد تا دقت پیش بینی افزایش یابد. به عبارتی مقادیر ضریب جذب مولار (٤) و ۱۹ واحد بهینه سازی و اصلاح گردیدند. در حالت شد بازین خاریب مین خال فرون (۱٫۵) و ضریب شکست محیط آب (۲۰٫۱) در نظر گرفته شد (۳۳]. با توجه به پارامترهای در انتها به منظور ارزیابی روش فوق در پیش بینی طیف انعکاسی مادانه خیس پارچه نایلونی زست به مقادیر واقعی پیش بینی مریع خطا در ماد باد باد باد (۲۰ ای ای ای ای ای ای

$$RMS_{\rm Error} = \sqrt{\sum (R_{\rm Actual} - R_{\rm Predict})^2 / 16}$$
(17)

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی مقادیر پارامترهای رنگی پارچه در حالتهای خشک و خیس

مقادیر پارامترهای رنگی ۲۸ نمونه پارچه در حالت خیس (نقاط قرمز) و حالت خشک (نقاط آبی) در نمودار دو بعدی *a*-b و *L*-C و *L*-C در فضا رنگ CIELAB در شکل ۳ نشان داده شده است. تغییر مختصات نمونهها در حالت خیس (نقاط قرمز) نسبت به حالت خشک



(نقاط آبی) در شکلها به وضوح مشخص میباشد. همانطور که اشاره شد تغییرات ضریب شکست محیط و الیاف در حالت خیس، منجر به تغییرات رنگی و در نتیجه تغییر مختصات نمونهها در نمودار دو بعدی ^{*}a*-b در فضارنگ CIELAB میشود. همچنین بررسی مختصات نمونه_ها در نمودار پراکندگی *C-*L برای حالت خیس (نقاط قرمز) و حالت خشک (نقاط آبی) نشان میدهد که خیس شدن تأثیر قابل توجهی بر میزان روشنایی و خلوص رنگ پارچه نایلونی دارد. پراکندگی بیشتر نواحی خیس نسبت به خشک، نشان دهنده تاثیر بالای آب بر پارامترهای روشنایی و خلوص رنگ پارچه است. خیس شدن باعث کاهش میزان روشنایی و افزایش عمق رنگی پارچه میشود.



شکل ۳: نمودار پراکندگی $b^*-b^* = a^*-b^*$ نمونهها در حالت خیس و خشک. Figure 3. the a^*b^* and L^*C^* scatter plot of the samples in wet and dry state.

۳-۲- روش مدل هندسی با استفاده از ضریب جذب مولار رنگزا (٤)

در اولین مرحله پیشبینی، طیف انعکاسی پارچه نایلون در حالت خیس به کمک مدل هندسی از مقادیر ضریب جذب مولار مواد رنگزا (٤) استفاده گردید. برای اندازه گیری مقادیر ضریب جذب مولار مواد رنگزا (٤)، ابتدا طیف جذبی محلولهایی در ۵ غلظت از ۳ رنگزای قرمز، زرد و آبی با اسپکتروفتومتر UV-Visible اندازه گیری شد. سپس بر اساس روابط بیر-لامبرت، مقادیر ضریب جذب مولار مواد رنگزا (٤) محاسبه گردید. با توجه به اینکه در مدل هندسی (معادله ۶) از حاصلضرب غلظت رنگزا در ضریب جذب مولار مواد رنگزا (٤) استفاده می شود. برای مخلوط رنگزا از رابطه بیر-لامبرت برای مخلوط دو رنگزا (معادله 2ءد) و مخلوط مخلوط مواد رنگزا (عادله ٤٤٤-۲٤٤) استفاده می شود. برای مخلوط رنگزا از رابطه بیر-لامبرت برای مخلوط دو رنگزا (معادله ٤٤٤-۲٤٤) و مخلوط مخلوط سه رنگزا (معادله دعده می شود. برای مخلوط رنگزا از رابطه بیر-لامبرت برای مخلوط دو رنگزا (معادله دعدی) و مخلوط مخلوط مه رنگزا (معادله دید۲۵+2٤۵۲) استفاده گردید. طیف انعکاس واقعی و پیش بینی شده توسط مدل هندسی با استفاده از ضریب جذب مولار رنگزا (۵) در حالت خیس پارچه نایلونی در غلظت ۲ درصد رنگزا و در شیدهای قرمز، آبی، قرمز-زرد و آبی-زرد به تر تیب در شکل ۴ نشان داده شده است. مقادیر پارامترهای رنگی ^۱ ه^{*} L اختلاف رنگ ΔEcмc و اختلاف طیف انعکاسی RMS بین نمونههای واقعی و پیش بینی شده در حالت خیس و در غلظتهای ۵٬۰۰ (۱۰ ۵٫ و ۲ درصد به تر تیب در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه

مقالله يدير قته شده

به جدول، میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف طیف انعکاسی (RMS) به ترتیب ۹۰٬۵۲۶، ۲۰٬۱۳۱، ۹۰٬۵۲۶ و ۸٬۱۸ میباشد. همچنین میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف رنگ (ΔΕ_{CMC}) به ترتیب ۱۸٬۶۹، ۸٬۰۴، ۹٬۲۸ و ۸٬۰۱ میباشد. همچنین نتایج مندرج در این جدول نشان میدهد که خطای RMS و اختلاف رنگ پیشبینی شده توسط روش مدل هندسی با استفاده از ضریب جذب مولار برای نمونههای با عمق رنگی روشن مانند نمونههای زرد و قرمز-زرد نسبت به نمونههای با عمق رنگی تیره مانند نمونههای آبی و آبی-قرمز بیشتر است. به دست آمدن چنین نتیجهای با نتایج کارهای تحقیقات قبلی ناشی از محدودیت به کارگیری نظریه مدل هندسی در محاسبه مقادیر انعکاسی بالا میباشد [۱۰و۳۱و۲۹]. همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، مقادیر انعکاس پیشبینی شده در مدل هندسی با استفاده از ضریب جذب مولار کمتر از مقادیر واقعی بوده است. علاوه بر این اختلاف قابل توجهی میان مقادیر واقعی و پیشبینی شده انعکاس در تمام نمونهها مشاهده گردید. مقادیر حاصل از اختلاف رنگ ح_امی و خطای RMs در جدول ۲ نیز عدم پیشبینی مناسب با این روش را تایید میکند.



شکل ۴: طیف انعکاسی واقعی و پیش بینی شده حالت خیس پارچه نایلونی رنگرزی شده با ۲ درصد رنگزا توسط مدل هندسی با استفاده از ضریب جذب مولار (٤) ((قرمز (٨)، آبی (8)، قرمز-زرد (C) و آبی-زرد (D).)

Figure 4: Actual and predicted reflectance spectra of dyed nylon fabric with 2% dye in the wet state by the geometric model using the molar absorption coefficient (ε) (Red (A), Blue (B), Red-Yellow (C), and Blue-Yellow (D)).



جدول۲: پارامترهای رنگ *L* هو *b واقعی و پیش بینی شده پارچه نایلونی رنگ شده در حالت خیس توسط مدل هندسی با استفاده از ضریب جذب مولار (٤) و خطای RMS و اختلاف رنگ ΔEcmc پیش بینی.

Table 2: Actual and predicted L*, a*, and b* color parameters of dyed nylon fabric in the wet state by the geometric color difference Δ ECMC, and RMS error of prediction. model using the molar absorption coefficient (ϵ),

Dyed	Dye Concentration	Actual data			Calculate Molar Ab	RMS	ΔΕсмс		
Samples	(%)	L^*	a^*	\mathbf{b}^*	L^*	a*	b^*		
	0.5	57.64	49.91	16.12	55.16	19.32	9.78	0.18	12.26
Ded	1	42.54	53.15	24.26	45.16	19.50	10.46	0.22	13.35
Keu	1.5	38.28	50.93	27.03	39.30	18.91	10.44	0.22	13.21
	2	33.31	43.90	20.97	35.25	18.23	10.23	0.19	11.11
	0.5	83.47	-9.44	56.67	32.82	-0.53	2.01	0.52	27.34
Vollow	1	81.17	-5.90	79.02	23.70	-0.46	1.74	0.53	32.55
renow	1.5	78.30	3.58	89.40	18.99	-0.41	1.57	0.52	34.81
	2	73.64	6.93	88.02	15.93	-0.38	1.45	0.47	34.66
	0.5	48.91	3.85	-42.00	37.59	-0.37	-8.52	0.25	15.25
Bhio	1	34.94	8.33	-40.09	27.94	-0.26	-7.72	0.20	15.10
Diuc	1.5	26.91	7.89	-32.12	22.85	-0.21	-7.09	0.17	13.07
	2	24.78	11.43	-34.43	19.52	-0.18	-6.61	0.17	14.56
	0.5	45.22	15.14	-17.27	32.87	4.49	-4.08	0.23	11.36
Blue-	1	31.12	15.08	-13.81	23.75	3.95	-3.59	0.18	10.11
Red	1.5	24.48	11.53	-10.02	19.03	3.58	-3.25	0.15	8.18
	2	22.67	9.68	-8.39	15.97	3.32	-3.01	0.14	8.02
	0.5	66.48	28.92	29.90	22.32	1.41	2.16	0.43	24.26
Red-	1	56.54	48.83	38.92	14.78	1.17	1.79	0.44	28.03
Yellow	1.5	49.02	50.39	37.87	11.00	1.04	1.59	0.38	27.97
	2	44.73	54.11	37.57	8.58	0.96	1.45	0.38	28.47
	0.5	69.77	-18.57	16.50	20.04	-0.60	-0.27	0.40	23.68
Blue-	1	39.64	-22.56	6.86	12.89	-0.49	-0.23	0.21	19.12
Yellow	1.5	32.02	-19.22	4.33	9.32	-0.44	-0.20	0.18	17.99
	2	28.57	-14.10	2.41	7.08	-0.37	-0.17	0.17	17.03
Dod	0.5	52.71	9.38	8.68	18.98	0.75	0.19	0.30	17.73
Vellow-	1	30.84	11.96	2.98	12.02	0.62	0.15	0.21	14.53
Blue	1.5	22.59	8.71	1.36	8.55	0.55	0.14	0.16	12.84
Diac	2	20.96	20.03	6.97	6.45	0.44	0.11	0.18	16.84

۳-۳- روش مدل هندسی با استفاده از ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاح شده

در ادامه به منظور کاهش خطای پیش بینی مدل هندسی، ضریب اصلاحی برای مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اعمال گردید. به عبارتی مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤) بهینه سازی و اصلاح گردید. همان گونه که از نتایج قابل مشاهده است پس از بهینه سازی و اصلاح مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤)، دقت پیش بینی مدل هندسی افزایش یافته است. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شد، برای پارچه نایلونی رنگی در غلظت ۲ درصد با شیدهای قرمز، آبی، قرمز-زرد و آبی-زرد، میزان اختلاف بین طیف انعکاس واقعی و پیش بینی شده توسط مدل هندسی به ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاح شده نسبت حالت بهینه سازی نشده کمتر می اشد مقادیر پارامترهای رنگی *۲ه اند که در حالت خیس و اختلاف طیف انعکاسی (RMS) و اختلاف رنگ (ΔΕcmc) بین مقادیر واقعی و پیشگویی



شده در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به جدول، میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف طیف انعکاسی (RMS) به ترتیب ۲۳۴، ۲۰، ۲۰۱۰، ۵۰۰، و ۲۲،۸۱ میباشد. همچنین میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف رنگ (ΔΕсмс) به ترتیب ۱۵,۵۱۱، ۲۹,۵۱۱ و ۳۲,۸۷ و ۵٫۶۵۴ میباشد. با توجه به نتایج حاصل، اختلاف طیف انعکاسی (RMS) و اختلاف رنگ (ΔΕсмс) بین مقادیر واقعی و پیشبینی شده در مدل هندسی با ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاح شده نسبت به حالت ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاح نشده کمی بهبود یافته و روند کاهشی مشاهده میشود. لذا روش مدل هندسی با ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاح شده نسبت به روش مدل هندسی با ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاح شده نسبت به حالت ضریب رنگزا (٤) اصلاح شده نسبت به روش مدل هندسی با ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاح شده نسبت به حالت ضریب حالت خیس بهتر و مناسبتر میباشد.



شکل ۵: طیف انعکاسی واقعی و پیشبینی شده حالت خیس پارچه نایلونی رنگرزی شده با ۲ درصد رنگزا توسط مدل هندسی با استفاده از ضریب جذب مولار (٤) اصلاح شده ((قرمز (A)، آبی (B)، قرمز-زرد (C) و آبی-زرد (D).

Figure 5: Actual and predicted reflectance spectra of dyed nylon fabric with 2% dye in the wet state by the geometric model using the modified molar absorption coefficient (ε) (Red (A), Blue (B), Red-Yellow (C), and Blue-Yellow (D)).



جدول ۳: پارامترهای رنگ *L، *aو *b واقعی و پیش بینی شده پارچه نایلونی رنگ شده در حالت خیس توسط مدل هندسی با استفاده از ضریب جذب مولار (٤) اصلاح شده و خطای RMS و اختلاف رنگ ΔEcмc پیش بینی.

Table 3: Actual and predicted L*, a*, and b* color parameters of dyed nylon fabric in the wet state by the geometric model using the modified molar absorption coefficient (ϵ), color difference Δ ECMC, and RMS error of prediction.

Dyed Samples	Dye Concentration	Actual data		Calculate modifie	d Geometr d Molar A Coefficient	RMS	ΔЕсмс		
-	(%)	L^*	a^*	b^*	Γ_*	a*	b*		
	0.5	57.64	49.91	16.12	57.71	19.02	9.46	0.16	12.32
Ded	1	42.54	53.15	24.26	47.81	19.60	10.37	0.20	13.51
Keu	1.5	38.28	50.93	27.03	41.92	19.23	10.49	0.19	13.22
	2	33.31	43.90	20.97	37.80	18.68	10.38	0.15	11.17
	0.5	83.47	-9.44	56.67	42.96	-0.58	2.18	0.46	24.98
Vollow	1	81.17	-5.90	79.02	32.82	-0.53	2.01	0.49	30.44
renow	1.5	78.30	3.58	89.40	27.33	-0.49	1.86	0.50	32.88
	2	73.64	6.93	88.02	23.70	-0.46	1.74	0.45	32.80
	0.5	48.91	3.85	-42.00	47.96	-0.48	-8.72	0.19	14.26
Dhuo	1	34.94	8.33	-40.09	37.58	-0.37	-8.52	0.14	14.38
Diue	1.5	26.91	7.89	-32.12	31.81	-0.30	-8.11	0.10	12.85
	2	24.78	11.43	-34.43	27.94	-0.26	-7.72	0.09	13.91
	0.5	45.22	15.14	-17.27	43.01	4.78	-4.34	0.18	9.49
Blue-	1	31.12	15.08	-13.81	32.87	4.49	-4.08	0.16	8.69
Red	1.5	24.48	11.53	-10.02	27.38	4.19	-3.81	0.14	6.94
	2	22.67	9.68	-8.39	23.75	3.95	-3.59	0.13	5.65
	0.5	66.48	28.92	29.90	47.36	1.79	2.77	0.33	18.10
Red-	1	56.54	48.83	38.92	36.98	1.72	2.65	0.39	22.84
Yellow	1.5	49.02	50.39	37.87	31.23	1.63	2.50	0.35	22.96
	2	44.73	54.11	37.57	27.37	1.54	2.36	0.35	23.66
	0.5	69.77	-18.57	16.50	48.76	-0.80	-0.37	0.27	15.86
Blue-	1	39.64	-22.56	6.86	38.31	-0.78	-0.36	0.17	12.96
Yellow	1.5	32.02	-19.22	4.33	32.49	-0.74	-0.34	0.15	11.73
	2	28.57	-14.10	2.41	28.57	-0.70	-0.32	0.14	9.80
D .1	0.5	52.71	9.38	8.68	42.96	1.02	0.25	0.22	10.23
Kea- Vollow	1	30.84	11.96	2.98	32.81	0.95	0.24	0.17	8.71
Rlue	1.5	22.59	8.71	1.36	27.33	0.89	0.22	0.14	7.79
Diue	2	20.96	20.03	6 97	23 70	0.83	0.21	0 17	12 20

۴-۳- روش مدل هندسی با استفاده از k/s واحد

در تئوری تک ثابت کیوبلکا مانک، k/s واحد برای ایجاد رابطه بین تابع انعکاس (K/S) و غلظت رنگزا استفاده می شود. لذا استفاده از مقادیر s/s) و منطح رنگزا استفاده ای مقادیر s/s واحد، به عنوان جایگزین ضریب جذب مولار رنگزا (ع) در مدل هندسی می تواند به بهبود نتایج پیش بینی انعکاس پارچه در حالت خیس کمک کند. به منظور پیش بینی طیف انعکاسی پارچه نایلون در حالت خیس به کمک مدل هندسی از مقادیر k/s واحد در حالت خیس کمک کند. به منظور پیش بینی طیف انعکاسی پارچه نایلون در حالت خیس به کمک مدل هندسی از مقادیر k/s واحد در حالت خیس کمک کند. به منظور پیش بینی طیف انعکاسی پارچه نایلون در حالت خیس به کمک مدل هندسی از مقادیر k/s واحد در حالت خیس کمک کند. به منظور پیش بینی طیف انعکاسی پارچه نایلون در حالت خیس به کمک مدل هندسی از مقادیر s/s) و مخلوط سه تایی واحد در حالت خیس کمک برای نمونه های تک رنگ ((k/s))، مخلوط دوتایی (k/s)2 + C₂×(k/s)) و مخلوط سه تایی واحد در حالت خیس به روش مدل هندسی با استفاده از solution (k/s) مقادیر k/s)، مخلوط دوتایی (k/s)2 + C₂×(k/s)2 + C₃×(k/s)) و مخلوط سه تایی مقاد در حالت خیس به روش مدل هندسی با استفاده از solution (k/s) (k/s) + C₂×(k/s)2 + C₃×(k/s)) استفاده از solution (k/s) (k/s) + C₁×(k/s)2 + C₁×(k/s)2 + C₁×(k/s)2) مقادی (k/s) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s)) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s)) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s)) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s) (k/s)) (k/s) (k/s)) (k/s) (



شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج مقادیر پارامترهای رنگی *L*a*b و اختلاف طیف انعکاسی (RMS) و اختلاف رنگ (ΔEcmc) نمونههای واقعی و پیشبینی شده حالت خیس در غلظتهای ۵,۰۰، ۱، ۱۹,۸ و ۲ درصد در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به جدول زیر، میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف طیف انعکاسی (RMS) به ترتیب ۲۰٫۰۰، ۲۰٫۰۰، ۲۰٫۰۰۰ و ۲۰٫۰۰ میباشد. همچنین میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف طیف انعکاسی (RMS) به ترتیب ۲۰٫۱۱، ۲٫۰۰، ۲٫۰۰، ۲٫۰۰ و ۲٫۰۰ میباشد. میباشد. همچنین میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف طیف انعکاسی (RMS) به ترتیب ۲٫۰۰، ۲٫۰۰، ۲٫۰۰، ۲٫۰۰۰ و ۲٫۰۰ میباشد. میباشد. همچنین میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف رنگ (AEcmc) به ترتیب ۶٫۰۷، ۲٫۰۰، ۲٫۰۰۰، ۲٫۰۰۰ و ۲٫۰۰ میباشد. میباشد. همچنین میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف رنگ (AEcmc) به ترتیب ۱۵٫۰۰، ۲٫۰۰، ۲٫۰۰۰، ۲٫۰۰۰ و ۲٫۴۵ میباشد. میباشد. همچنین میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف رنگ (AEcmc) به ترتیب ۱۵٫۰۷، ۲٫۰۰۰، ۲٫۰۰۰ و ۲٫۴۵ میباشد. میباشد. همچنین میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف رنگ (AEcmc) به ترتیب ۱۵٫۷۷، ۲٫۳۰۰، ۱۵٫۷۷ و ۲٫۴۵ میباشد. میباشد. همچنین نتایج جدول نشان میدهد که خطای RMS و اختلاف رنگ پیشبینی شده توسط روش مدل هندسی با استفاده از جایگزینی مقادیر ای اید و ایرای نمونههایی که دارای عمق رنگی روشن مانند نمونههای زرد و قرمز- زرد نسبت به نمونههایی با عمق رنگی تیره مانند نمونههای آبی و آبی-قرمز بیشتر است.



شکل ۶: طیف انعکاسی واقعی و پیشبینی شده حالت خیس پارچه نایلونی رنگرزی شده با ۲ درصد رنگزا توسط مدل هندسی با استفاده از k/s واحد ((قرمز (A)، آبی (B)، قرمز-زرد (C) و آبی-زرد (C).)

Figure 6: Actual and predicted reflectance spectra of dyed nylon fabric with 2% dye in the wet state by the geometric model using unit k/s (Red (A), Blue (B), Red-Yellow (C), and Blue-Yellow (D)).



جدول ۴: پارامترهای رنگ *L، *aو *b واقعی و پیش بینی شده پارچه نایلونی رنگ شده در حالت خیس توسط مدل هندسی با استفاده از k/s واحد و خطای RMS و اختلاف رنگ ΔEcmc پیش بینی.

	Dyed	Dye	Actual data		Calculate	d Geometrie	DMC	A F		
	Samples	(%)	T *	a*	h*	T *	unit K/S	h*	KWI5	ALCMC
		0.5	57.64	49.91	16.12	60.30	40.68	8.97	0.04	5.12
		1	42.54	53.15	24.26	52.02	44.23	12.56	0.07	8.30
	Red	Dye Concentration (%) L^* a*b*0.557.6449.9116.3142.5453.1524.31.538.2850.9327.0233.3143.9020.90.583.47-9.4456.6181.17-5.9079.01.578.303.5889.4273.646.9388.00.548.913.85-42.134.948.33-40.1.526.917.89-32.224.7811.43-34.0.545.2215.14-17.131.1215.08-13.1.524.4811.53-10.222.679.68-8.30.566.4828.9229.9156.5448.8338.91.549.0250.3937.8244.7354.1137.9228.57-14.102.40.552.719.388.61.532.02-19.224.3228.57-14.102.40.552.719.388.6130.8411.962.91.522.598.711.3220.9620.036.8	27.03	47.13	45.07	14.51	0.07	8.67		
		2	33.31	43.90	20.97	43.66	45.09	15.69	0.08	7.12
		0.5	83.47	-9.44	56.67	94.73	-5.30	67.96	0.24	6.46
	X 7 11	1	81.17	-5.90	79.02	66.30	-10.39	35.45	0.25	15.78
	Yellow	1.5	78.30	3.58	89.40	92.74	-1.32	90.19	0.25	5.96
		2	73.64	6.93	88.02	92.18	0.18	95.63	0.30	8.36
		0.5	48.91	3.85	-42.00	56.74	-3.41	-24.00	0.08	9.96
	Blue	1	34.94	8.33	-40.09	46.74	-2.37	-25.81	0.09	11.81
		1.5	26.91	7.89	-32.12	40.84	-1.63	-25.95	0.11	12.37
		2	24.78	11.43	-34.43	36.75	-1.10	-25.63	0.11	12.99
		0.5	45.22	15.14	-17.27	44.02	14.46	-11.91	0.08	3.80
	Blue-	1	31.12	15.08	-13.81	33.92	13.98	-11.37	0.08	2.45
	Red	1.5	24.48	11.53	-10.02	28.41	13.26	-10.69	0.08	3.11
		2	22.67	9.68	-8.39	24.74	12.61	-10.11	0.08	3.01
		0.5	66.48	28.92	29.90	59.71	36.60	29.19	0.04	6.68
	Red-	1	56.54	48.83	38.92	51.52	40.87	32.50	0.10	4.21
	Yellow	1.5	49.02	50.39	37.87	46.68	42.20	33.60	0.09	3.58
		2	44.73	54.11	37.57	43.26	42.55	33.94	0.11	4.88
		0.5	69.77	-18.57	16.50	54.63	-16.81	8.36	0.16	7.92
	Blue-	1	Carcinated Geometry unit k/sL*a*b*L*a*57.6449.9116.1260.3040.6842.5453.1524.2652.0244.2338.2850.9327.0347.1345.0733.3143.9020.9743.6645.0983.47-9.4456.6794.73-5.3081.17-5.9079.0266.30-10.3978.303.5889.4092.74-1.3273.646.9388.0292.180.1848.913.85-42.0056.74-3.4134.948.33-40.0946.74-2.3726.917.89-32.1240.84-1.6324.7811.43-34.4336.75-1.1045.2215.14-17.2744.0214.4631.1215.08-13.8133.9213.9824.4811.53-10.0228.4113.2622.679.68-8.3924.7412.6166.4828.9229.9059.7136.6056.5448.8338.9251.5240.8749.0250.3937.8746.6842.2044.7354.1137.5743.2642.5569.77-18.5716.5054.63-16.8139.64-22.566.8644.35-17.0732.02-19.224.3338.38-16.5628.57-14.102.4134.28-15.955	-17.07	8.33	0.08	4.37			
	Yellow	1.5	32.02	-19.22	4.33	38.38	-16.56	8.02	Idel by RMS AEc b* 0.04 5.1 2.56 0.07 8.3 4.51 0.07 8.6 5.69 0.08 7.1 7.96 0.24 6.4 5.45 0.25 15.7 0.19 0.25 5.9 5.63 0.30 8.3 4.00 0.08 9.9 5.81 0.09 11.8 5.95 0.11 12.3 5.95 0.11 12.3 5.63 0.11 12.4 1.91 0.08 3.8 1.37 0.08 3.1 0.11 0.08 3.0 9.19 0.04 6.6 2.50 0.10 4.2 3.60 0.09 3.5 3.94 0.11 4.8 8.36 0.16 7.9 3.33 0.08 4.3 3.02 0.09 5.2 7.	5.28
		2	28.57	-14.10	2.41	34.28	-15.95	7.70	0.09	6.09
	Red.	0.5	52.71	9.38	8.68	43.31	8.34	4.39	0.10	6.74
	Yellow-	1	30.84	11.96	2.98	33.23	8.14	4.21	0.09	4.07
Blue	Blue	1.5	22.59	8.71	1.36	27.77	7.76	3.98	0.08	5.26
		2	20 06	20.03	6 97	2/ 1/	7 / 1	2 77	0 10	Q 21

Table 4: Actual and predicted L*, a*, and b* color parameters of dyed nylon fabric in the wet state by the geometric model using unit k/s, color difference ΔECMC, and RMS error of prediction.

۵-۳- روش مدل هندسی با استفاده از k/s واحد اصلاح شده

در ادامه به منظور کاهش خطای پیشبینی مدل هندسی، ضریب اصلاحی برای مقادیر k/s واحد اعمال و مقادیر آن بهینهسازی و اصلاح گردید. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شد، برای پارچه نایلونی رنگی در غلظت ۲ درصد با شیدهای قرمز، آبی، قرمز-زرد و آبی-زرد میزان اختلاف بین طیف انعکاس واقعی و پیشبینی شده توسط مدل هندسی به روش k/s واحد اصلاح شده نسبت حالت k/s واحد بهینهسازی نشده کمتر بوده و پس از بهینهسازی و اصلاح مقادیر k/s واحد، دقت پیشبینی مدل هندسی افزایش یافته است. مقادیر پارامترهای رنگی *L*a*b در حالت خیس و اختلاف طیف انعکاسی (RMS) و اختلاف رنگ (محاکل مقادیر واقعی و پیشبینی شاده است.



انعکاسی (RMS) به ترتیب ۹۰٫۱۱۱، ۹۰٫۰۰۳، ۲۹۱، و ۹۰٫۰۲۵ میباشد. همچنین میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقدار اختلاف رنگ (ΔEcmc) به ترتیب ۵٫۷۱، ۵٫۷۵، ۱۱٫۲۴ و ۱۱٫۲۳ میباشد. با توجه به نتایج حاصله، اختلاف طیف انعکاسی (RMS) و اختلاف رنگ (ΔEcmc) بین مقادیر واقعی و پیشبینی شده در مدل هندسی با k/s واحد اصلاح شده نسبت به حالت k/s واحد اصلاح نشده کمتر است. لذا روش مدل هندسی با استفاده از مقادیر k/s واحد اصلاح شده نسبت روش مدل هندسی با k/s واحد اصلاح نشده جهت پیشبینی انعکاس پارچه در حالت خیس بهتر و مناسبتر عمل کرده است.



شکل ۲: طیف انعکاسی واقعی و پیش بینی شده حالت خیس پارچه نایلونی رنگرزی شده با ۲ درصد رنگزا توسط مدل هندسی با استفاده از k/s واحد اصلاح شده ((قرمز (A)، آبی (B)، قرمز-زرد (C)) و آبی-زرد (D).)

Figure 7: Actual and predicted reflectance spectra of dyed nylon fabric with 2% dye in the wet state by the geometric model using modified unit k/s (Red (A), Blue (B), Red-Yellow (C), and Blue-Yellow (D)).



جدول ۵: پارامترهای رنگ *L، *ae *b واقعی و پیش بینی شده پارچه نایلونی رنگ شده در حالت خیس توسط مدل هندسی با استفاده از واحد اصلاح شده و خطای RMS و اختلاف رنگ ΔEcмc پیش بینی.

Dred	Dye	Actual data		Calculate	ed Geometri	RMS	ΔЕсмс		
Samples	Concentration			m	odified unit				
Samples	(%)	L^*	a^*	\mathbf{b}^*	L^*	a^*	b*		
	0.5	57.64	49.91	16.12	52.02	44.23	12.56	0.07	3.62
Dod	1	42.54	53.15	24.26	43.66	45.09	15.69	0.07	5.05
Keu	1.5	38.28	50.93	27.03	38.81	44.33	16.94	0.08	5.73
	2	33.31	43.90	20.97	35.41	43.28	17.47	0.08	2.54
	0.5	83.47	-9.44	56.67	95.83	-6.24	54.11	0.25	4.88
Vollow	1	81.17	-5.90	79.02	94.73	-5.30	67.96	0.26	6.10
renow	1.5	78.30	3.58	89.40	94.02	-4.18	76.30	0.27	8.21
	2	73.64	6.93	88.02	90.82	4.29	107.57	0.29	9.09
	0.5	48.91	3.85	-42.00	46.74	-2.37	-25.81	0.12	8.20
Disc	1	34.94	8.33	-40.09	36.75	-1.10	-25.63	0.11	9.01
Blue	1.5	26.91	7.89	-32.12	31.18	-0.46	-24.64	0.10	7.89
	2	24.78	11.43	-34.43	27.43	-0.08	-23.63	0.11	9.51
	0.5	45.22	15.14	-17.27	41.31	14.44	-11.86	0.09	4.24
Blue-	1	31.12	15.08	-13.81	31.39	13.69	-11.09	0.07	1.99
Red	1.5	24.48	11.53	-10.02	26.06	12.86	-10.33	0.07	1.53
	2	22.67	9.68	-8.39	22.53	12.16	-9.71	0.06	2.14
	0.5	66.48	28.92	29.90	61.83	35.14	28.08	0.03	6.02
Red-	1	56.54	48.83	38.92	53.69	39.97	31.79	0.06	4.20
Yellow	1.5	49.02	50.39	37.87	48.86	41.72	33.19	0.05	3.61
	2	44.73	54.11	37.57	45.43	42.38	33.77	0.10	4.89
	0.5	69.77	-18.57	16.50	44.35	-17.07	8.33	0.20	11.25
Blue-	1	39.64	-22.56	6.86	34.28	-15.95	7.70	0.11	4.93
Yellow	1.5	32.02	-19.22	4.33	28.76	-14.86	7.14	0.10	4.34
	2	28.57	-14.10	2.41	25.09	-13.96	6.70	0.10	4.58
D 1	0.5	52.71	9.38	8.68	46.04	8.28	4.38	0.07	6.04
Red-	1	30.84	11.96	2.98	35.81	8.25	4.29	0.06	4.84
Y ellow-	1.5	22.59	8.71	1.36	30.18	7.95	4.09	0.06	6.76
Diue	2	20.96	20.03	6 97	26.41	7 64	3 90	0.08	8 81

Table 5: Actual and predicted L*, a*, and b* color parameters of dyed nylon fabric in the wet state by the geometric model using modified unit k/s, color difference $\Delta ECMC$, and RMS error of prediction.

در شکل ۸ و ۹ مقادیر خطای پیشبینی طیف انعکاسی پارچه نایلون رنگی در حالت خیس توسط مدل هندسی برای حالتهای استفاده از ضریب جذب مولار رنگزا (٤)، ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاح شده، k/s واحد و k/s واحد اصلاح شده به ترتیب بر اساس اختلاف طیف انعکاسی (RMS) و اختلاف رنگ (ΔΕсмс) بین مقادیر واقعی و پیشگویی شده نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل بهترین نتیجه توسط مدل هندسی برای حالت استفاده از k/s واحد اصلاح شده می باشد. همانطور که نتایج نیز نشان داد، شکل رایج مدل هندسی که از ضریب جذب مولار رنگزا استفاده می کند منجر به مقادیر خطای بزرگی در پیشبینی طیف انعکاسی می شود. بنابراین، زمانیکه در روش مدل هندسی از k/s واحد به جای ضریب مولار استفاده شود، نتایج بهتری حاصل می شود.





شكل ۸: خطاى پيش بينى طيف انعكاسى در روش هاى مختلف مدل هندسى بر حسب اختلاف طيف انعكاسى (RMS). Figure 8: The error in predicting reflection spectra using different geometric model methods based on the difference in reflection spectra (RMS).



شکل ۹: خطای پیش بینی طیف انعکاسی در روش های مختلف مدل هندسی بر حسب اختلاف رنگ (ΔE_{CMC}). Figure 9: The error in predicting reflection spectra using different geometric model methods based on color difference (ΔE_{CMC}).

۴- نتیجهگیری

در این پژوهش، تاثیر خیس شدن بر انعکاس و رنگ پارچه نایلون رنگرزی شده با رنگزای اسیدی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که در حالت خیس نسبت به حالت خشک مقدار روشنایی (*L) کمتر و عمق رنگ (*C) بیشتر میباشد. همچنین در ادامه از مدل هندسی برای پیشبینی فاکتور انعکاس پارچه در حالت خیس استفاده شد. برای این منظور از مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤)، k/s واحد و مقادیر اصلاح شده هر دو پارامتر ضریب جذب مولار رنگزا (٤)، k/s واحد در مدل هندسی استفاده شد. جهت ارزیابی



دقت پیشبینی طیف انعکاسی توسط مدل هندسی، مقدار اختلاف طیف انعکاسی RMS و مقدار اختلاف رنگ (ΔΕ_{СMC}) محاسبه گردید. مقدار اختلاف رنگ (ΔΕ_{CMC}) مدل هندسی با استفاده از مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤)، مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاحی، k/s واحد و k/s واحد اصلاح شده به ترتیب ۱۸٫۶۹، ۱۵٫۵۱، ۸٫۹۹ و ۵٫۷۱ میباشد. مقدار خطای پیشبینی طیف انعکاسی(RMS) مدل هندسی با استفاده از مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤)، مقادیر ضریب جذب مولار رنگزا (٤) اصلاحی، k/s واحد و k/s واحد اصلاح شده به ترتیب ۹٫۱۱۲، ۹٫۱۱۲۰ و ۱۱۱۰ میباشد. با توجه به نتایج حاصله بهترین روش پیشبینی طیف انعکاسی و رنگ پارچه نایلونی در حالت خیس روش مدل هندسی با استفاده از مقادیر K/s و k/s واحد اصلاح شده میباشد.

> تشکر و قدردانی نویسندگان مقاله از حمایت دانشگاه گیلان تشکر و قدردانی میکنند.

> > تعارض منافع هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

۵- مراجع

 Nazir A, Hussain T, Ahmad F, Faheem S. Effect of Knitting Parameters on Moisture Management and Air Permeability of Interlock Fabrics. AUTEX Res J. 2014;14(1):39-46. https://doi.org/10.2478/v10304-012-0045-1

19

- 2. McIntyre JE. Synthetic fibers: nylon, polyester, acrylic, polyolefin. Cambridge: Woodhead Publishing; 2005. https://doi.org/10.1016/B978-1-85573-588-0.50008-9.
- 3. Munsell AEO, Sloan LL, Godlove IH. Neutral value scales I Munsell neutral value1 scale. J Opt Soc Am. 1993;23(11):394. https://doi.org/10.1364/josa.23.000394.
- 4. Senthilkumar M, Selvakumar N, Shamey R. The effect of humidity, fabric surface geometry and dye type on the color of cotton fabrics dyed with a select range of anionic dyes. Dyes Pigments. 2011;90(3):225-32. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2010.12.015.
- 5. Sokkar TZN, El Sherif M, Bayoumi OA, Fouda IM. Color prediction of absorbingscattering fibers dyed with a colorant mixture. J Appl Polym Sci. 1997; 63:1165-72. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19970228)63:9<1165::AID-APP8>3.0.CO;2-F.
- 6. Senthilkumar M, Selvakumar N. Parameters involved in assessment of dry state color of fabrics from their wet state color. Indian J Fibre Text Res. 2007; 32:126-34.
- Lee JH, Kim SH, Lee KJ, Lim DY, Jeon HY. Determining the Absorption Properties of Split-Type Microfiber Fabrics by Measuring the Change in Color Depth. Text Res J. 2004;74(3):271-8. https://doi.org/10.1177/004051750407400315.



- 8. Smith C. The colour of textiles when wet: the relationship between wet and dry reflectance values for common textile materials. J Soc Dyers Colourists. 1979:220-5. https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1979.tb03477.x.
- 9. Garret DA, Peters RH. Effect of penetration on reflectance of dyed textile fibres. J Textile Inst Trans. 1995; 47:314-6. https://doi.org/10.1080/19447027.1956.10750388.
- 10. Tsoutseos A.A., Nobbs J.H. An alternative approach to the color appearance of textile materials with an application to the wet/dry reflectance prediction. Proceeding of the international conference and exhibition, 1998 April 1-3, Harrogate, Tennessee; 1998;22(25):334-46.
- Goldfinger G, Goldfinger HS, Hersh SP, Leonard TM. Effect of the continuous medium on the color of discontinuous substrates. I. Empirical relationship between the light reflectance of dry textile samples and samples immersed in water. J Polym Sci Part C: Polym Symp. 1970; 31:25-32. https://doi.org/10.1002/polc.5070310105.
- Goldfinger 12. Hope Allen EH, The Color of Absorbing G. Scattering Substrates. I. The Color of Fabrics. J Appl Polym. 1972; 16:2973-82. https://doi.org/10.1002/app.1972.070161121.
- Amiri S, Amirshahi HA. Comparison between Kubelka-Munk and Geometric Models for Prediction of Reflectance Factor of Transparent Fibers. Ravesh-haye Adadi dar Mohandesi. 2007;26(2):31-45. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22287698.1386.26.2.8.7 [In Persian].
- 14. Gorji M, Ansari K, Ameri F, Moradian S. A Concise Review on Color Match Prediction Models. J Sci Technol Color. 2014;8(3):249-60. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17358779.1393.8.3.9.9 [In Persian].
- 15. Bernard P, Vanderhaeghen K, Kiekens P. Color Measurement of Pile Fabrics. Text Res J. 1999;69(8):552-8. https://doi.org/10.1177/004051759906900802.
- 16. Safi M, Ameri F, Ansari K. Determination of suitable wavelengths in dye concentration estimation by spectral analysis of K/S's scalability. Phys. Scr. 2021; 96:1-10. https://doi.org/10.1088/1402-4896/ac2b4a.
- Shams-Nateri A, Amirshahi SH, Latifi M. Prediction of Yarn Cross-Sectional Color from Longitudinal Color by Neural Network. Res J Text Apparel. 2006;10(2):25-35. https://doi.org/10.1108/RJTA-10-02-2006-B004.
- 18. Goldfinger G, Wiggs H. The Effect of Internal Scattering on the Color of Fabrics. J Appl Polym Sci. 1978; 22:3459-68. https://doi.org/10.1002/app.1978.070221210.
- Allen EH, Faulkner DL, Goldfinger G, McGregor R. Effect of Continuous Medium on the Color of Discontinuous Substrate, IV. The Effect of the Refractive Index of the Continuous Medium. J Appl Polym Sci. 1973;17(3):873-84. https://doi.org/10.1002/app.1973.070170317
- 20. Goldfinger G, Stafford L. The Color of Absorbing Scattering Substrates. II. The Prediction of the Color of a Fiber Bundle. J Appl Polym Sci. 1973;11(11):701-4. https://doi.org/ 10.1002/pol.1973.130111107.
- 21. Pirie N, Shams-Nateri A, Mokhtari J. A Novel Approach in Simulation of Spectral Reflectance of Nanopigment Coated Fabrics. J Sci Technol Color. 2018;12(3):229-40. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17358779.1397.12.3.7.5 [In Persian].
- 22. Shams-Nateri A, Amirshahi SH. Prediction of Reflective Values of Acrylic Fibers along the Length and Cross Section Using Geometrical Model. Amirkabir J Sci Technol. 2002;29(1):287-304 [In Persian].



- 23. Shams-Nateri A, Amirshahi SH, Latifi M. Use of Geometrical Model to Explain the Dual Reflective Behavior of Acrylic Yarns in Longitudinal and Cross Sections. Ravesh-haye Adadi dar Mohandesi. 2002;21(2):167-80 [In Persian].
- 24. Kubelka P. New contributions to the optics of intensity light-scattering materials. Part I. J Opt Soc Am. 1948;38(5):448-57. https://doi.org/10.1364/josa.38.000448
- 25. Kubelka P. New contributions to the optics of intensity light-scattering materials. Part II: Nonhomogeneous layers. J Opt Soc Am. 1954; 44(4):330-5. https://doi.org/10.1364/JOSA.44.000330.
- 26. Chickering KD. Optimization of the MacAdam-Modified 1965 Friele Color-Difference Formula. J Opt Soc Am. 1967;57(4):537-41. https://doi.org/10.1364/JOSA.57.000537
- 27. World dye variety. Available from: http://www.worlddyevariety.com.
- Chaouch S, Moussa A, Marzoug IB, Ladhari N. Application of genetic algorithm to color recipe formulation using reactive and direct dyestuffs mixtures. Color Res Appl. 2020; 45:896-910. https://doi.org/10.1002/col.22533.
- 29. Hasenloo A, Shams-Nateri A, Izadan H. The Effect of Scanner Resolution and Bit Depth on Measuring Color Changes of Fabric In Small Color Space. J Sci Technol Color. 2022;16(2):123-34. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17358779.1401.16.2.3.7 [In Persian].
- 30. Safi M, Amirshahi SH. Estimation of dye concentration by using Kubelka–Munk and Allen–Goldfinger reflective models: comparing the performance. Sci Rep. 2019; 13:1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-023-29264-x.
- 31. American Society for Testing and Materials.ASTM D2244-07. Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates. ASTM; 2007.
- 32. Walowit E, McCarthy CJ, Berns RS. An Algorithm for the Optimization of Kubelka Munk Absorption and Scattering Coefficients. Color Res Appl 1987;12(6):340-43. https://doi.org/10.1002/col.5080120609.
- 33. Mark JE. Polymer data handbook. Oxford University Press; 1998.
- 34. Roy Choudhury AK. Principles of Color and Appearance Measurement. Volume 2: Visual Measurement of Color, Color Comparison and Management. Woodhead Publishing; 2015.
- 35. Brainard DH. 5 Color Appearance and Color Difference Specification. In: The Science of Color. Elsevier B.V.; 2003; 191-216. https://doi.org/10.1016/B978-044451251-2/50006-4.
- 36. Mokrzycki W, Tatol M. Color difference Delta E: A survey. Mach Graph Vis. 2011;20(4):383-411.
- 37. Tsuruta M, Koshimo A. Steam and heat setting of nylon 6 fiber. II. Effects of heat setting of nylon 6 fiber on dyeability and fine structure. J Appl Polym Sci.1965;9(1): 11-23. https://doi.org/10.1002/app.1965.070090103.