



بازسازی و توسعه یک فضای طیفی مقیاس پذیر به منظور بررسی رفتار سامانه های رنگریزی تک جزئی در منسوجات با کمک توصیف رنگی پویشگر

مهدی صفی

استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴
تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۶ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۲/۹/۲۰

چکیده

در تئوری کیوبلکا-مانک، ارتباط (K/S) در برابر غلظت نسبتاً خطی است. برای دستیابی به آن نیازمند اطلاعات انعکاسی است که یا از وسایل گران قیمتی همچون اسپکتروفوتومتر حاصل می شود و یا به کمک توصیف طیفی ادوات مدرن اندازه گیری مانند دوربین و پویشگر به دست می آید. توصیف طیفی نیازمند محاسبه حساسیت وسیله اندازه گیری می باشد که این خود سخت و زمان بر است. ایده کار حاضر توصیف رنگی پویشگر و استفاده از تئوری تجزیه کوهن و کاپوف (ماتریس R) برای محاسبه فضای محرکه پایه است. نتایج نشان داد که فضای محرکه پایه تخمین زده شده (N^*) مقیاس پذیر نبوده و با یک انتقال غیر خطی بر مبنای ایده تئوری یک ثابتی کیوبلکا-مانک به یک فضای محرکه مقیاس پذیر مناسبتر $(K/S)^*$ تبدیل می شود. با انتخاب نواحی تعمیم یافته از طول موجها، فضای مناسبی برای برقراری ارتباط مناسب به جهت مطالعه رفتار مواد رنگزا بر روی منسوجات در شرایط مشاهده و روشنی مشخص با یک روش ساده و تجهیزاتی ارزان فراهم شد. واژه های کلیدی: توصیف کالریمتری، پویشگر، منسوج، کیوبلکا-مانک، تئوری تجزیه طیفی.

Reconstruction and Extension of a Scalable Spectral Space for Study of Single Component Dyeing Systems on Textiles Using Colorimetric Characterization of Scanner

M. Saffi

Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 16765-654, Tehran, Iran

Received: 12-05-2013

Accepted: 28-07-2013

Available online: 11-12-2013

Abstract

In Kubelka-Munk theory, there is a fairly linear relationship between (K/S) vs. concentration. To access this space, it is necessary to have reflectance data which obtain of expensive devices such as spectrophotometer or it is acceptable from spectral characterization of modern equipments like camera and scanner. The spectral characterization needs the spectral sensitivity of the device that is difficult and time consuming job to measure. The present work uses colorimetric characterization of a scanner and Cohen and Kappauf theory (Matrix R) to calculate fundamental stimulus space. The results showed the estimated fundamental stimulus space (N^*) is not scalable and it can transfer to a more desirable scalable space, i.e. $(K/S)^*$ using non-linear transfer based Kubelka-Munk theory. With select extended regions of wavelengths, a desirable space was provided to have a suitable communication to study the behavior of dyes on textiles by using simple and inexpensive equipments at the specific lighting and viewing conditions. *J. Color Sci. Tech.* 7(2013), 249-256©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Colorimetric characterization, Scanner, Textile, Kubelka-Munk, Spectral decomposition theory.

۱- مقدمه

مدل رنگی

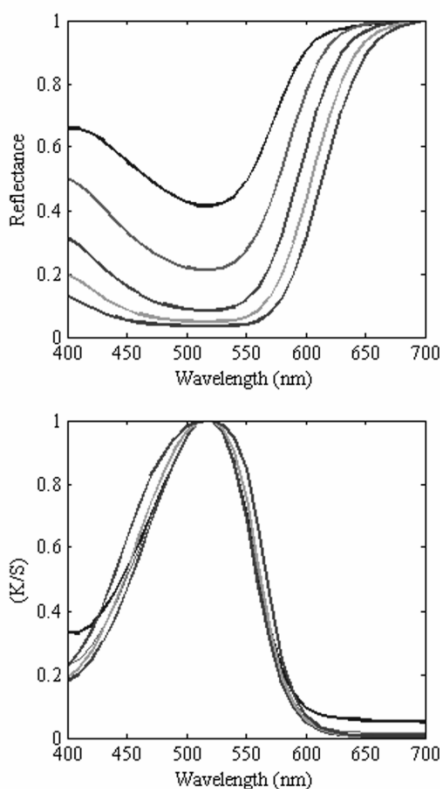
برای مطالعه رفتار و ویژگی‌های رنگی مواد، ضروری است بین یک کمیت طیفی به دست آمده از ماده رنگی مانند رفتار انعکاسی و یک کمیت اسکالر مانند مقدار ماده رنگزا یک رابطه ترجیحاً خطی مدل گردد [۵-۱]. در اکثر موارد فضای طیفی فوق مقیاس پذیر^۱ نبوده و ضروری است تابعی از آن طی یک انتقال غیرخطی به یک فضای مقیاس پذیر تبدیل گردد [۶]. در یک مدل رنگی مقیاس پذیر انتظار می‌رود تا با تغییر غلظت و یا مقدار ماده رنگزای به کار گرفته شده سطح زیر منحنی‌های طیفی حاصله تغییر نماید در حالی که هیچ‌گونه تغییری در شکل آنها پدیدار نشود. در صورتی که ارتباط فوق خطی باشد، مدل رنگی مورد بحث از یک سیستم یا رفتار خطی پیروی خواهد کرد [۵]. برای مثال در یک فضای طیفی مقیاس پذیر در صورتی که مقدار ماده رنگی به یک مقدار مشخص افزایش یابد، انتظار می‌رود که مقدار محاسبه شده برای کمیت طیفی مورد نظر (مثلاً مقدار تابع انعکاس یا همان مقدار کیوبلکا-مانک در طول موج بیشینه جذب - $(K/S)_{max}$) نیز به همان نسبت افزایش یابد.

در الیاف معمول در نساجی که دارای خصوصیات انعکاس سطحی و انتشارات درونی قابل توجهی هستند، غلظت ماده رنگزا با تقریب مناسبی طبق نظریه کیوبلکا-مانک قابل پیشگویی است. در این نظریه، یک تابع غیرخطی از رفتار انعکاسی لایف رنگزای شده با مقدار ماده رنگزای به کار رفته یا موجود در فاز لایف طبق رابطه ۱ در ارتباط می‌باشد.

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda} = \frac{(1 - R_{\infty, \lambda})^2}{2 \cdot R_{\infty, \lambda}} = \alpha_{\lambda} \cdot c \quad (1)$$

که در این رابطه نیز α_{λ} کمیتی ثابت و ضریب جذب ماده رنگزا برای یک پرتو تک رنگ در یک بستر مشخص است. به بیان دیگر α_{λ} همان (K/S) واحد رنگزا می‌باشد. C غلظت ماده رنگزا، K و S به ترتیب ضرایب جذب و انتشار بستر پشت‌پوش رنگی، R_{∞} انعکاس نور تک رنگ از جسم پشت‌پوش و (K/S) نیز تابع انعکاس یا جذب طیفی را نشان می‌دهد [۷، ۴]. مدل رنگی کیوبلکا-مانک به عنوان یک فضای طیفی نسبتاً مقیاس پذیر یکی از موفق‌ترین و ساده‌ترین نظریه‌ها در بررسی خصوصیات نوری مواد دارای جذب و انتشار است. شکل ۱ رفتار انعکاس طیفی و تابع انعکاس بهنجار شده^۲ یک نمونه پارچه پلی‌استر رنگزای شده با مواد رنگزای دیسپرس در ۵ سطح غلظتی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود برخلاف رفتار انعکاسی، پراکندگی منحنی‌های (K/S) در شکل بهنجار شده کمتر بوده لذا فضای

مقیاس پذیرتری را تشکیل داده‌اند. به عبارتی از آنجایی که در یک تابع مقیاس پذیر، کلیه منحنی‌های طیفی بهنجار شده به یکدیگر نزدیک شده و در حالت ایده‌آل به یک منحنی واحد تبدیل می‌شوند، بنابراین با توجه به شکل ۱ می‌توان نتیجه گرفت که تابع انعکاس (K/S) یک کمیت مقیاس پذیرتر در مقایسه با مقدار انعکاس می‌باشد [۸].



شکل ۱: رفتار بهنجار شده منحنی‌های انعکاس و تابع انعکاس طیفی برای پارچه پلی‌استر رنگزای شده با مواد رنگزای دیسپرس در غلظت‌های ۰،۰۴، ۰،۱۳، ۰،۴۵، ۰،۱، ۰،۲، ۰،۲۲ درصد نسبت به وزن کالا (owf) [۸].

استفاده از تجهیزات نمایش و باز تولید رنگ

معمولاً برای حصول یک کمیت طیفی، تجهیزات پیشرفته، دقیق و گران‌قیمتی مانند اسپکتروفوتومترهای انعکاسی استفاده می‌شوند. این تجهیزات قادرند رفتار انعکاسی مواد را در محدوده‌های تقریباً ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر با فواصل طول موج مختلف (۵، ۱۰ و ۲۰ نانومتر) اندازه‌گیری نمایند [۱۰، ۹]. امروزه استفاده از وسایل مدرن اندازه‌گیری و دوباره تولید رنگ مانند پویشگرها، دوربین‌های دیجیتالی و چاپگرها بسیار متداول گردیده‌اند. در واقع عرضه انواع متنوع و ارزانی از این‌گونه وسایل موجب گردیده است که کاربران غیرحرفه‌ای درصد اندازه‌گیری و دوباره تولید رنگ باشند. از آنجا که سرعت گسترش این‌گونه وسایل به شتاب توسعه کامپیوترها متصل گردیده است لذا توسعه سخت‌افزاری، نرم‌افزاری و حتی کثرت استقبال از آنان قابل مقایسه با لوازم کلاسیک دوباره تولید و اندازه‌گیری رنگ نمی‌باشد [۱۱].

در میان ادوات ذکر شده، پویشگرها به دلیل ارزانی و سادگی مورد

- 1- Scalable
- 2- Normalized

ماتریس T در رابطه ۲، مقادیر محرکه‌های سه‌گانه در سیستم CIE بوده که تحت منبع نوری و مشاهده کننده مشخصی محاسبه می‌شود. در رابطه ۳، A حاصل ضرب توابع رنگ همانندی و توزیع انرژی طیفی منبع نوری می‌باشد. جزئیات بیشتر در خصوص تئوری تجزیه طیفی در مراجع ذکر شده قابل دسترسی است.

صافی و همکارانش نشان دادند مقادیر محرکه‌های رنگی پایه به‌دست آمده از روش تجزیه کوهن و کاپوف می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای مقادیر انعکاس طیفی با هدف مطالعه رفتار سامانه‌های رنگرزی، به کار رود. نتایج تحقیق فوق نشان داد که حد کارایی فضای N^* با تبدیل غیرخطی آن بر پایه تئوری یک ثابتی کیوبلکا-مانک قابل بررسی است. برپایه تئوری تک ثابتی کیوبلکا-مانک، تبدیل غیر خطی N^* به منظور تعیین فضای مقیاس پذیر $(K/S)^*$ مطابق رابطه ۴ بیان می‌گردد [۲۰].

$$\left(\frac{K}{S}\right)^*_\lambda = \frac{(1 - N^*_\lambda)^2}{2 \cdot N^*_\lambda} \quad (4)$$

با کمک روابط ۲ و ۴ می‌توان نشان داد فضای مقیاس‌پذیر $(K/S)^*$ تنها با به کارگیری مقادیر محرکه سه‌گانه (T)، که با توصیف رنگی یک پوششگر در دسترس خواهد بود، قابل حصول است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

در تحقیق فوق مجموعه‌ای ۱۱۷ تایی از پارچه پلی‌استری رنگرزی شده با مواد رنگزای دیسپرس در فام‌ها و غلظت‌های مختلف تهیه شد [۲۱]. به‌منظور اندازه‌گیری داده‌های انعکاس طیفی نمونه‌های رنگرزی‌شده، دستگاه اسپکتروفوتومتر Eye-One محصول Gretagmabeth با قطر روزنه ۴ میلی‌متر و هندسه اندازه‌گیری ۴۵،۰ به‌کار گرفته شد. کار با اسپکتروفوتومتر در محدوده کاری ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر با فواصل ۱۰ نانومتری انجام گرفت. کمیت‌های رنگی در فضای رنگی CIE XYZ و CIELAB تحت منبع نوری استاندارد D65 و مشاهده کننده ۱۹۶۴ (۱۰°) محاسبه شدند. موقعیت نمونه‌های فوق در فضای a^*b^* در شکل ۲ نشان داده شده است.

همچنین برای پوشش نمودن نمونه‌ها یک پوششگر Epson V700 مورد استفاده قرار گرفت. پارچه‌های رنگرزی‌شده به صورت چهار لایه پوشش و داده‌های رنگی حاصل به صورت RGB، در عمق بیتی ۸ و دقت مکانی ۲ dpi/inch ۳۰۰ اندازه‌گیری شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها بدون استفاده از تابع تطبیق رنگی صورت گرفت.

استقبال بیشتری قرار گرفته‌اند. از جمله نتایج به دست آمده در خصوص به کارگیری پوششگرها برای اندازه‌گیری رنگ منسوجات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ارزیابی تغییرات رنگی منسوجات با به کارگیری توصیف رنگی پوششگر [۱۲]

- ارزیابی توانایی اسکنر برای اندازه‌گیری رنگ منسوجات با درجه‌های مختلف بافت [۱۳]

- اندازه‌گیری طیف انعکاسی منسوجات با به کارگیری پوششگر [۱۴]

- بررسی رفتار ثبات رنگی منسوجات با کمک پوششگر [۱۵]

- تعیین اندیس یکنواختی- نایکنواختی پارچه رنگی با به کارگیری داده‌های پوششگر [۱۶]

در خصوص امکان استفاده از پوششگرها در تخمین مقدار ماده رنگزا، امیرشاهی و همکارانش تلاش کرده‌اند غلظت ماده رنگزا را در یک بستر پلیمری به روش تحلیل اجزاء اصلی^۱ تخمین بزنند [۱۷]. همچنین شمس و همکارانش با کمک روش شبکه عصبی سعی نمودند غلظت محلول‌های دوجزئی را توسط اطلاعات بدست آمده از یک پوششگر رنگی، تخمین بزنند [۱۸].

در این تحقیق تلاش شده است با کمک تئوری تجزیه کوهن و کاپوف (تئوری تجزیه طیفی) و اطلاعات به دست آمده از توصیف کالریمتری یک پوششگر، فضای مقیاس‌پذیر مناسبی به‌منظور بررسی رفتار سامانه‌های رنگرزی تک جزئی در منسوجات تعریف گردد.

اصول نظری تئوری تجزیه کوهن-کاپوف

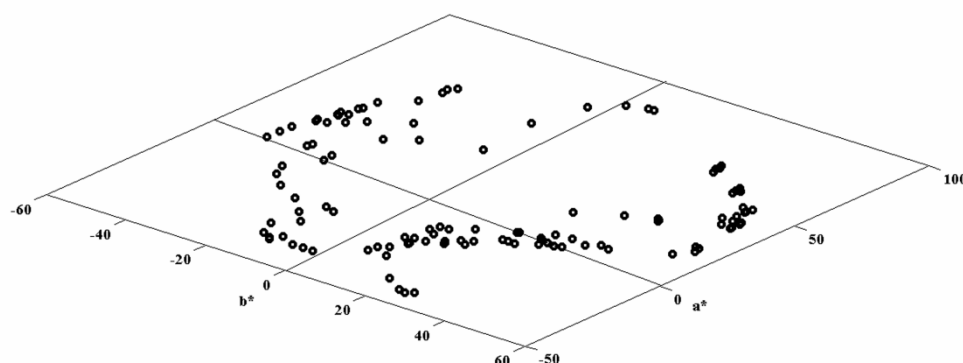
تئوری تجزیه کوهن و کاپوف یک روش تجزیه طیفی بوده که بر مبنای آن منحنی انعکاسی به دو مولفه رنگی پایه و سیاه متامر تجزیه می‌شود. در واقع با استفاده از سیاه‌های متامر و افزودن منحنی‌های سیاه متامریک به یک منحنی انعکاسی مشخص، می‌توان نمونه‌های متامریک نظری تهیه نمود. به طور عکس می‌توان هر جفت نمونه متامریک را تلفیقی از یک منحنی انعکاسی پایه به همراه دو سیاه متامریک در نظر گرفت که در محرکه‌های پایه برابر بوده اما در سیاه متامرشان متفاوتند [۱۹]. براساس روش تجزیه طیفی، داده‌های کالریمتری ساده، یعنی مقادیر محرکه‌های سه‌گانه X, Y, Z، می‌توانند برای محاسبه محرکه‌های رنگی پایه (N^*) استفاده شوند (روابط ۲ و ۳).

$$N^* = QT \quad (2)$$

$$Q = A(A'A)^{-1} \quad (3)$$

2- Resolution

1- Principal Component Analysis (PCA)



شکل ۲: موقعیت نمونه‌های انتخاب شده در این تحقیق در فضای a^*-b^* .

$$\text{Log}(r_i) = \log(K_G) + \gamma_G \text{Log}(G_i - e_{dG}) \quad (7)$$

در روابط ۷-۵ مقادیر e_{dR}, e_{dG}, e_{dB} سیگنال مربوط به جریان تاریک را برای سه کانال قرمز، سبز و آبی نشان می‌دهد. r انعکاس نمونه‌های خاکستری می‌باشد. R, G, B خروجی‌های پویشر را نشان می‌دهد. مقادیر γ و K ضرایب خطی‌سازی می‌باشند که با استفاده از روش حداقل مربعات برای حس‌گرهای G, R و B قابل محاسبه است. در تحقیق فوق مقدار γ, K و e برای هر سه کانال قرمز، سبز و آبی محاسبه گردید. ضرایب محاسبه‌شده بر روی مقادیر RGB بدست آمده از نمونه‌های پارچه رنگی پویشر شده طبق روابط ۱۰-۸ اعمال شد.

$$R_L = K_R (R - e_{dR})^{\gamma_R} \quad (8)$$

$$G_L = K_G (G - e_{dG})^{\gamma_G} \quad (9)$$

$$B_L = K_B (B - e_{dB})^{\gamma_B} \quad (10)$$

در روابط بالا، R_L, G_L و B_L به ترتیب مقادیر R, G, B و خطی‌شده را نشان می‌دهند.

روش‌های مختلفی از جمله مدل رگراسیون، جداول look-up و روش شبکه عصبی برای توصیف رنگی پویشر پیشنهاد شده است [۱۱]. در این تحقیق روش پیشنهادی رگراسیون غیرخطی ۲۳ جمله‌ای مورد استفاده قرار گرفت. انتخاب تعداد ضرایب بهینه بر مبنای دستیابی به کمترین خطای توصیف صورت گرفت. همچنین در تعریف ماتریس تبدیل در توصیف، از ارتباط خروجی‌های پویشر به مقادیر $L^* a^* b^*$ که ریشه سوم مقادیر محرکه‌های رنگی سه‌گانه XYZ هستند، استفاده شد. ادعا بر این است که تبدیل فوق نتایج

۲-۲- روش کار

کالیبراسیون و توصیف پویشر^۱

قبل از انجام هر فرآیند توصیفی، لازم است وسیله مورد نظر کالیبره گردد. کالیبراسیون هر وسیله به تنظیم آن وسیله برای ایجاد یک حالت معلوم و کسب اطمینان از فراهم آوردن نتایج منسجم اشاره می‌نماید. عموماً متداول‌ترین روش در تنظیم پویشرها، استفاده از یک سری نمونه خاکستری است. در این تحقیق، کالیبراسیون دستگاه پویشر مذکور با به‌کارگیری نقشه رنگی استاندارد، یعنی KODAK Q-60 Color Input Targets که عمدتاً برای کالیبراسیون نمایشگر، چاپگر و پویشر مورد استفاده قرار می‌گیرد، صورت پذیرفت. روش کالیبراسیون به صورت زیر انجام گرفت [۱۱]:

- یک سری نمونه خاکستری با سطوح روشنایی متفاوت از نقشه رنگی انتخاب شد. پاسخ پویشر و اسپکتروفوتومتر انعکاسی برای نمونه‌های بیان‌شده به ترتیب به صورت RGB و مقادیر انعکاس r ثبت شد.
- سیگنال مربوط به جریان تاریک برای هر سه کانال پویشر، (e_{dR}, e_{dG}, e_{dB}) با بازگذاشتن درب پویشر در یک اتاق تاریک بدون حضور هیچ جسمی بر سطح پویشر و انجام عمل پویشر به‌دست آمد.
- رابطه بین مقادیر انعکاس طیفی نمونه‌های خاکستری انتخاب شده با پاسخ پویشر طی روابط ۷-۵ مدل گردید.

$$\text{Log}(r_i) = \log(K_R) + \gamma_R \text{Log}(R_i - e_{dR}) \quad (5)$$

$$\text{Log}(r_i) = \log(K_B) + \gamma_B \text{Log}(B_i - e_{dB}) \quad (6)$$

1- Scanner characterization

پویشگر و به کمک نمونه‌های نقشه رنگی Q60 تعیین گردید. فرمول اختلاف رنگ (۲:۱) CMC برای محاسبه خطای توصیف رنگی پویشگر به کار گرفته شد. مقدار میانگین، کمینه، بیشینه و انحراف معیار خطای آموزش و آزمایش در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۲: مقدار میانگین، کمینه، بیشینه و انحراف معیار خطای آموزش و آزمایش به دست آمده از روش رگراسیون غیر خطی ۲۳ جمله‌ای در توصیف رنگی پویشگر.

تعداد نمونه	ΔE CMC (2:1)		
	میانگین	کمینه	بیشینه
آموزش (۷۰)	۱,۲۱	۰,۱۳	۴,۹
آزمایش (۴۷)	۱,۸۵	۰,۳۶	۷,۱

نتایج به دست آمده در جدول ۲ برای مقدار میانگین خطا (۱,۲۱) برای آموزش و (۱,۸۵) برای آزمایش نشان می‌دهد، روش توصیف بکار گرفته شده از خطای قابل قبولی برخوردار است. این مقادیر قابل مقایسه با مقادیر به دست آمده در دیگر کارها می‌باشد [۲۶، ۲۵، ۲۳]. در مراجع ذکر شده محدوده میانگین خطای آموزش و آزمایش به ترتیب ۱,۴۷ و ۱,۶۰ گزارش شده است. با توجه به استفاده از نمونه‌های منسوج با سطح ناپیوسته و عدم استفاده از نمونه‌های منسوج استاندارد به جای نقشه رنگی در توصیف، وجود این مقدار خطا قابل پیش‌بینی بود. برای دستیابی به هدف از این تحقیق، نمونه‌هایی به طور اختیاری با مشخصات ذکر شده در جدول ۳ انتخاب شدند.

- 1- Train
- 2- Test

بهتری را در توصیف نسبت به تبدیل RGB به XYZ نشان می‌دهد [۲۲]. در ادامه مقادیر رنگی $L^*a^*b^*$ نمونه‌های منسوج رنگی طی یک تبدیل چندجمله‌ای از روی خروجی‌های پویشگر تخمین زده شد. نحوه تبدیل مقادیر RGB پارچه‌های پویش شده به مقادیر $L^*a^*b^*$ مطابق روابط ۱۱ و ۱۲ می‌باشد.

$$T = M \cdot S \quad (11)$$

$$S = [r \ g \ b \ rg \ rb \ gb \ r^2 \ g^2 \ b^2 \ rgb \ r^2g \ g^2b \ b^2r \ r^2b \ g^2r \ b^2g \ r^3 \ g^3 \ b^3 \ r^2gb \ rg^2b \ rgb^2] \quad (12)$$

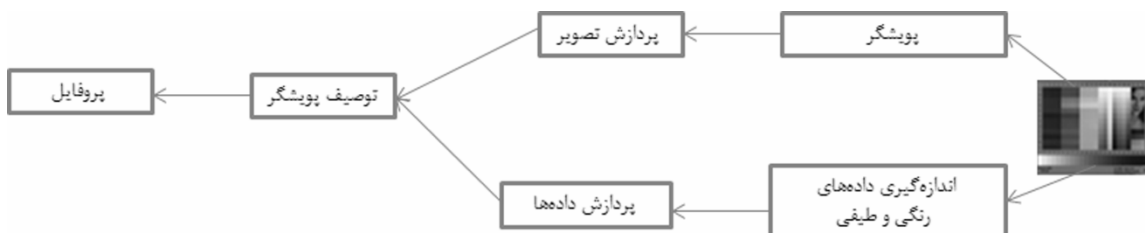
در رابطه ۱۱، S و T یک ماتریس $3 \times n$ و $23 \times n$ بترتیب شامل عکس‌العمل‌های پویشگر (مقادیر RGB) و مقادیر $L^*a^*b^*$ می‌باشند. n نیز تعداد نمونه می‌باشد. ماتریس M، یک ماتریس 3×23 و ماتریس تبدیل را نشان می‌دهد.

با پیدانمودن ماتریس تبدیل M برای یک تعداد نمونه مشخص (آموزش)، به سادگی می‌توان مقادیر $L^*a^*b^*$ سایر نمونه‌ها (آزمایش) را از روی مقادیر RGB آنها تخمین زد. در شکل ۳ نحوه توصیف پویشگر نشان داده شده است.

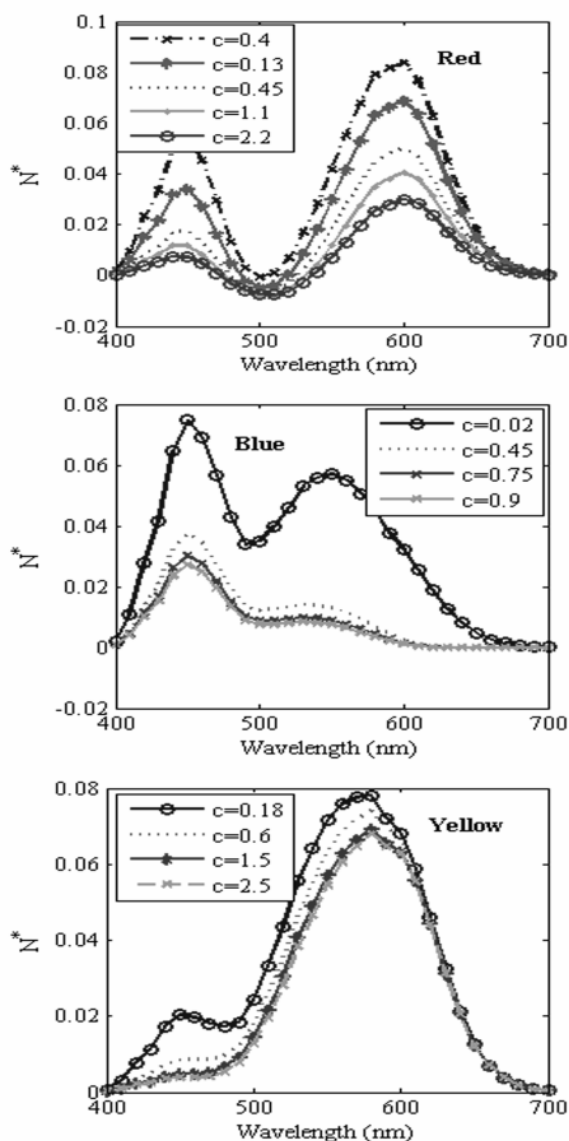
در این کار انتخاب نمونه‌های آموزشی و آزمایشی براساس روش پیشنهادی توسط هاردبرگ صورت پذیرفت. این روش بر مبنای کمینه کردن عدد شرط (نسبت بزرگ‌ترین به کوچک‌ترین مقدار منفرد) ماتریس حاوی مقادیر انعکاسی از نمونه‌های انتخابی می‌باشد [۲۴]. با به کارگیری روش بیان شده، به ترتیب ۷۰ و ۴۷ نمونه به منظور آموزش و آزمایش در توصیف رنگی پویشگر انتخاب گردیدند.

۳- نتایج و بحث

همان‌گونه که اشاره شد مقادیر محرکه‌های سه گانه نمونه‌های منسوج رنگی در فضای CIELAB یعنی L^* ، a^* ، b^* پس از توصیف رنگی



شکل ۳: بلوک دیاگرام توصیف رنگی پویشگر [۲۳].



شکل ۴: منحنی‌های طیفی محرکه‌های پایه در غلظت‌های مختلف ماده رنگزا.

جدول ۴: نواحی تعمیم یافته برای فام‌های مختلف قرمز، آبی و زرد به منظور بررسی توسعه فضای N^* [۲۰].

فام	نواحی طیفی با بیشینه مقدار جذب (nm)	نواحی طیفی تعمیم یافته (nm)
قرمز	۵۲۰-۵۰۰	۴۵۰-۴۰۰
آبی	۶۵۰-۶۰۰	۵۵۰-۵۰۰
زرد	۴۰۰	۴۵۰

جدول ۳: مشخصات نمونه‌های انتخابی تک‌جزئی به منظور محاسبه و بررسی توسعه فضای N^* .

فام	غلظت ماده رنگزای بکار رفته (owf)				
قرمز	۰,۰۴	۰,۱۳	۰,۴۵	۱,۱	۲,۲
آبی	۰,۰۲	۰,۴۵	۰,۷۵	۰,۹
زرد	۰,۱۸	۰,۶	۱,۵	۲,۵

مقادیر $L^* a^* b^*$ نمونه‌های جدول ۳ با کمک ماتریس انتقال به دست آمده از رابطه ۱۱ تخمین زده شد. سپس برای اعمال تئوری تجزیه طیفی و تعریف یک فضای طیفی ضروری بود تا مقادیر XYZ نمونه‌ها محاسبه گردد. این به کمک روابط ۱۵-۱۳ از روی مقادیر $L^* a^* b^*$ صورت گرفت.

$$X = X_n \left(\frac{L^* + 16}{116} + \frac{a^*}{500} \right)^3 \quad (13)$$

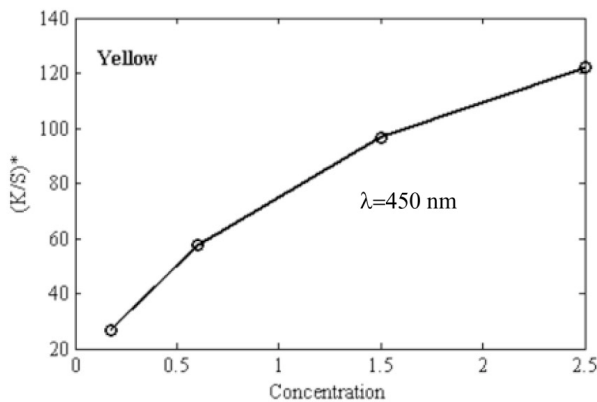
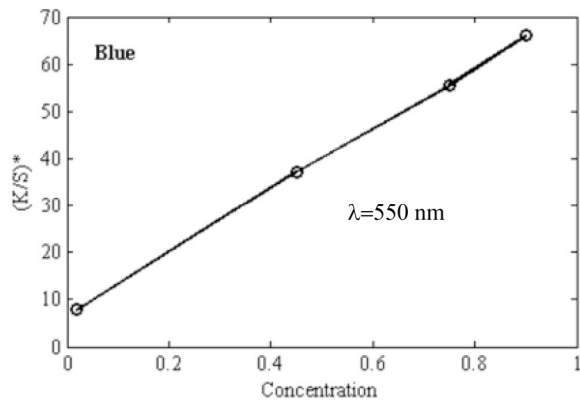
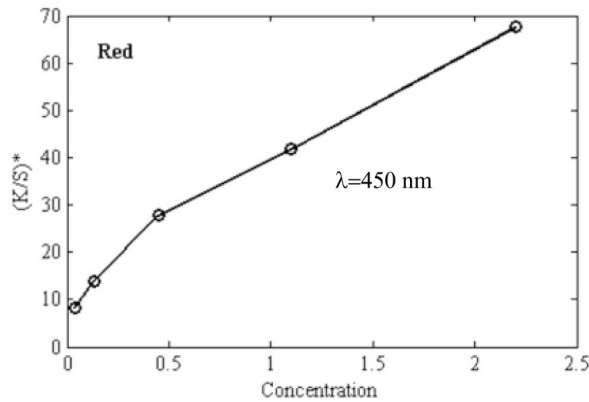
$$Y = Y_n \left(\frac{L^* + 16}{116} \right)^3 \quad (14)$$

$$Z = Z_n \left(\frac{L^* + 16}{116} - \frac{b^*}{200} \right)^3 \quad (15)$$

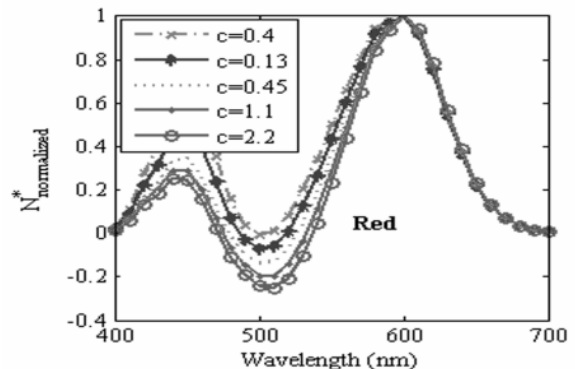
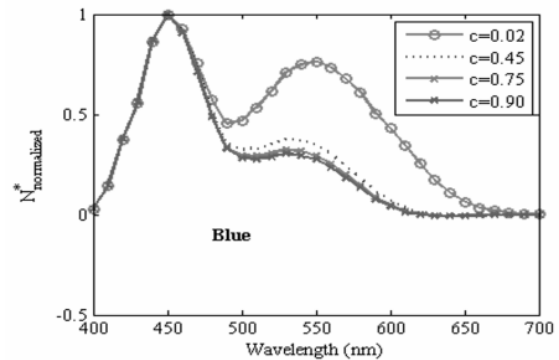
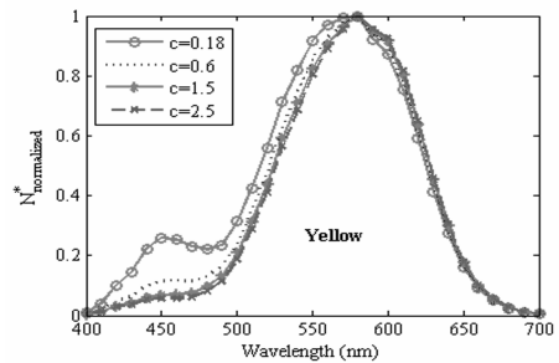
بر پایه تئوری تجزیه طیفی (رابطه ۳)، مقادیر رنگی XYZ، به فضای N^* تبدیل گردیدند. منحنی‌های طیفی محرکه‌های پایه برای نمونه‌های جدول ۳ در شکل ۴ رسم شده است. همچنین منحنی‌های طیفی محرکه‌های پایه بهنجار شده در غلظت‌های مختلف ماده رنگزا در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۵ نشان می‌دهد که فضای N^* مقیاس‌پذیر نمی‌باشد. به عبارتی مشاهده می‌گردد که شکل‌های بهنجار شده از پراکندگی بالایی برخوردارند. همچنین فضای N^* با مقادیر منفی و غیر کاربردی همراه است. از این رو تبدیل غیرخطی محرکه رنگی پایه بر مبنای تئوری یک ثابتی کیوبلکا-مانک (رابطه ۴) به عنوان تابعی با مقیاس‌پذیری بیشتر، قابل بررسی است. در کار قبلی با تجزیه و تحلیل طیفی رفتار تابع انعکاس در مقادیر مختلف غلظت و طول‌موج‌های متفاوت تلاش شد تا طول‌موج‌های بهینه به منظور توسعه و تعمیم این کمیت و یافتن یک روش منطقی برای تعریف محدوده تا حد ممکن دقیق و کاربردی این تابع در منسوجات، معرفی شود [۲۰]. نتیجه بررسی کار فوق در جدول ۴ نشان داده شده است.

انتقال یافته $(K/S)^*$ ، فضای مقیاس پذیر می باشد. به عبارت دیگر، با تبدیل غیرخطی محرکه رنگی پایه N^* بر مبنای تئوری یک ثابتی کیوبلکا-مانک، به فضای $(K/S)^*$ می توان به فضایی با رفتار خطی در برابر غلظت دست یافت. لذا با توجه به نتایج بدست آمده می توان ادعا نمود استفاده از اطلاعات رنگی یک پوششگر به دست آمده برای منسوجات می تواند در حصول داده های طیفی قابل استفاده در مطالعه رفتار رنگی مواد رنگزا مفید باشد. از جمله مزایای نتیجه حاصل می توان به استفاده از پوششگرها در تخمین غلظت ماده رنگزا اشاره نمود.



شکل ۶: منحنی $(K/S)^*$ برحسب غلظت در طول موج انتخابی از نواحی طیفی تعمیم یافته.



شکل ۵: منحنی های طیفی محرکه های پایه بهنجار شده در غلظت های مختلف ماده رنگزا.

در جدول ۴ نواحی تعمیم یافته نواحی هستند که در آن تابع انعکاس (K/S) از رفتار خطی تری در برابر غلظت در مقایسه با طول موج بیشینه جذب برخوردار است [۲۰]. با توجه به نتایج جدول ۴، رفتار تابع انعکاس به دست آمده از روی مقادیر محرکه پایه در طول موج های بهینه بدست آمد. نتایج در شکل ۶ در برابر غلظت ماده رنگزا رسم شده است. مقادیر مربع ضریب همبستگی در تحلیل آماری نتایج شکل ۶ در جدول ۵ گزارش شده است.

از جدول ۵ نتیجه می شود رابطه به دست آمده بین مقدار تابع انعکاس حاصل از انتقال غیرخطی محرکه پایه و غلظت ماده رنگزا از یک رفتار خطی مطلوبی برخوردار است. چنین رفتاری در نواحی دیگری از طیف نیز مشاهده شد. بنابراین به نظر می رسد فضای جدید

مشاهده شده از فضای پیشنهادی در برابر غلظت نشان می‌دهد، استفاده از تبدیل غیرخطی محرکه‌های رنگی پایه N^* مبتنی بر تئوری یک ثابتی کیوبلکا-مانک که به‌سادگی با یک رگراسیون غیرخطی قابل حصول از خروجی‌های یک پویشرگر می‌باشد، می‌تواند جایگزین مناسبی برای داده‌های طیفی حاصله از وسایل گران‌قیمتی همچون اسپیکتروفوتومتر به‌منظور تخمین غلظت ماده رنگزا در منسوجات در شرایط مشاهده و روشنایی مشخص واقع شود.

تشکر و قدردانی

اینجانب بر خود لازم می‌دانم از زحمات سرکار خانم مهندس طیبه سلیمانیان در خصوص همکاری در کار تحقیقاتی فوق تشکر نمایم.

جدول ۵: مقادیر مربع ضریب همبستگی محاسبه شده برای نتایج شکل ۶.

مقادیر مربع ضریب همبستگی (R^2)			
فام	قرمز	آبی	زرد
$(K/S)^*$ برحسب غلظت	۰,۹۹۰۳	۰,۹۹۹۷	۰,۹۷۲۰
در طول موج بهینه			

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با بکارگیری روش تجزیه طیفی و توصیف رنگی یک پویشرگر، فضای مقیاس‌پذیر جدیدی برپایه داده‌های رنگی RGB، برای مطالعه رفتار مواد رنگزا بر روی کالای نساجی معرفی شد. رفتار خطی

۵- مراجع

1. A. Brockes, Computer color matching, A review of its limitations. *AATCC*. 6(1974), 21-26.
2. A. Tsoutseos, J. H. Nobbs, Alternative approach to color appearance of textile materials with application to the wet/dry reflectance prediction. *AATCC*. 32(2000), 38-43.
3. A. Tsoutseos, J. H. Nobbs, Colour appearance of textile materials: An alternative approach, *Proceeding of the international conference & exhibition, Harrogate, Vol 3, Colour Physics*, (2001), 234-246.
4. J. H. Nobbs, Kubelka-Munk theory and the prediction of reflectance. *Rev. Prog. Color.*, 15(1985), 66-75.
5. M. Safi, S. H. Amirshahi, M. Amani Tehran, Analysis and extension of the concentration limitation in Kubelka-Munk model. *Int. J. Sci. Technol. Amirkabir*. 19(2008), 29-40.
6. R. S. Berns, A generic approach to color modeling. *J. Color Res. Appl.*, 22(1997), 318-325.
7. J. R. Aspland, Chapter 15: Color, Color Measurement and Control. *AATCC*, 25(1993), 34-41.
8. M. Safi, A study on the adsorption isotherm of acid and disperse dyes on nylon using reflectance data, PhD thesis, Amirkabir University of Technology, Iran, 2008.
9. R. A. Charvat, Coloring of plastics: Fundamentals, 2nd Ed, John Wiley & Sons. Inc., Hoboken, New Jersey, 2004, 28-33.
10. R. McDonald, Colour physics for industry. 2nd Ed. *J.S.D.C.*, Bradford, 1997, 57-81.
11. S. H. Amirshahi, F. Agahian, Computational colour physics, (in Farsi), Arkane Danesh pub. Esfahan, 2008, 451-468.
12. A. Shams Nateri, Evaluating textile fabric color variation by scanner. *RJTA*. 11(2007), 31-39.
13. H. Fashandi, S. H. Amirshahi, M. Amani Tehran, S. Gorji Kandi, Evaluation of scanner capability for measuring the color of fabrics with different textures in different setups. *J. Fibers Polym.*, 11(2010), 767-774.
14. A. Shams Nateri, Measuring reflectance spectra of textile fabrics by scanner. *J. Text. Sci. Eng.* 102(2011), 1-13.
15. S. Gorji Kandi, Evaluation of light fastness using digital image analysis, *Proc. ICCO*, (2009), 16-18.
16. T. Soleymanian, S. H. Amirshahi, M. Ghanbar Afjeh, Determination of levelness-unlevelness index using scanner data. *J. Text. Eng.* 19(2012), 41-46.
17. M. Ghanbar Afjeh, S. H. Amirshahi, Estimation of dye concentration in the cross section of polyamide rod using scanner data. *J. Fibers Polym.*, 9(2008), 328-333.
18. M. Mafi, A. Shams Nateri, Dye concentration estimation in bicomponent solution by neural network based scanner. *J. Color Sci. Technol.* 6(2012), 247-251.
19. J. B. Cohen, W. E. Kappauf, Color mixture and fundamental metamers: Theory, algebra, geometry, application. *Am. J. Psychol.* 98(1985), 171-259.
20. M. Safi, T. Soleymanian, Spectral analysis and extension of applicability limit of fundamental color stimulus space for textile dyeing. *J. Color Sci. Technol.* 6(2011), 41-50.
21. F. Ameri, S. Moradian, M. Amani Tehran, K. Faez, The use of fundamental color stimulus to improve the performance of artificial neural networks color match prediction systems. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* 24(2005), 53-61.
22. A. Khandual, G. Baciu, J. Hu, D. Zheng, Color characterization for scanners: Dpi and color co-ordinate issues. *IJARCSSE*, 2(2012), 354-365.
23. A. S. Lee, R. Bala, G. Sharma, Scanner characterization for color measurement and diagnostics. *J. Electronic Imaging*. 16(2007), 043009:1-13.
24. J. Y. Hardeberg, Desktop scanning to sRGB. *Prog. SPIE*, 3963(2000), 47-57.
25. H. L. Shen, T. S. Mou, J. H. Xin, Colorimetric characterization of scanner by measures of perceptual color error. *J. Electronic imaging*. 15(2006), 041204: 1-5.
26. K. Leon, D. Mery, F. Pedreschi, J. Leon, Color measurement in $L^*a^*b^*$ units from RGB digital images. *J. Food Res. Int.* 39(2006), 1084:1091.