



تجزیه و تحلیل طیفی و توسعه محدوده کاربرد فضای محرکه‌های رنگی پایه در رنگرزی منسوجات

مهدی صفی^{۱*}، طیبه سلیمانیان^۲

۱- استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴
۲- دانشجو کارشناسی، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۵۸۷۴-۴۴۱۳
تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۲۹ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۱/۳/۲۰

چکیده

در تحقیق حاضر، کاربرد مقادیر محرکه رنگی پایه (N^*) بدست آمده از روش تجزیه کوهن و کاپوف به عنوان جایگزینی برای مقادیر انعکاس طیفی (N) بررسی شد. مقیاس پذیری فضای محرکه رنگی پایه و تبدیل غیرخطی آن بر مبنای تئوری یک ثابتی کیوبلکا-مانک $(K/S)_\lambda^*$ به صورت کمی در غلظت‌های مختلف تجزیه و تحلیل طیفی گردید و میزان تطابق آن با فضای $(K/S)_\lambda$ حاصل از فضای انعکاس طیفی مورد بررسی قرار گرفت. طول موج‌های بهینه به منظور توسعه و تعمیم رابطه خطی تابع فوق با غلظت معرفی شدند. نتایج نشان داد که تبدیل غیر خطی فضای محرکه‌های رنگی پایه، یعنی فضای $(K/S)_\lambda^*$ مقیاس پذیرتر است. در طول موج‌های پیشنهادی محدوده رابطه خطی مقادیر $(K/S)_\lambda^*$ مشابه $(K/S)_\lambda$ با غلظت تا حد معینی بهبود می‌یابد و رابطه خطی به دست آمده در نواحی تعمیم یافته برای تابع مورد نظر می‌تواند به عنوان راه حلی برای بررسی رفتار سامانه‌های رنگرزی از جمله تخمین غلظت ماده رنگزا از داده‌های کالریمتری یا همان مقادیر محرکه‌های سه‌گانه پیشنهاد گردد.

واژه‌های کلیدی: محرکه رنگی پایه، تئوری کیوبلکا-مانک، انعکاس، تخمین غلظت، تحلیل طیفی.

Spectral Analysis and Extension of Applicability Limit of Fundamental Color Stimulus Space for Textile Dyeing

M. Safi^{1*}, T. Soleymanian²

¹ Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 16765-654, Tehran, Iran

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

Received: 12-02-2011

Accepted: 20-08-2011

Available online: 09-06-2012

Abstract

At the present study, the fundamental color stimulus space (N^*) obtained from the Cohen and Kappauf decomposition technique as an alternative to the measured spectral reflectance (N) was investigated. Based on the single-constant Kubelka-Munk theory, the $(K/S)_\lambda^*$ space from the non-linear transformation of N^* values was obtained and its consistency with $(K/S)_\lambda$ space taken from the measured reflectance was spectrally analyzed. The scalability for both spectral spaces was quantitatively evaluated in different concentrations through visible spectrum. The suitable wavelengths that $(K/S)_\lambda^*$ still exhibit linear behavior with concentration variation were introduced. The obtained results showed that the non-linear transformation of fundamental color stimulus space, i.e. $(K/S)_\lambda^*$ is more scalable. At the proposed wavelengths, the applicability limit of $(K/S)_\lambda^*$ similar to the $(K/S)_\lambda$ is improved till the higher dye concentration and the obtained linearity for $(K/S)_\lambda^*$ could be an proposed approach for the study of dyeing systems such as estimating the concentration from tristimulus values as colorimetry data. *J. Color Sci. Tech.* 6(2012), 41-50 © Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Fundamental color stimulus, Kubelka-Munk theory, Reflectance, Concentration estimation, Spectral analysis.

$$N = \begin{bmatrix} \rho_{400} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \rho_{700} \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (5)$$

$$N^* = \begin{bmatrix} \rho_{o,400} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \rho_{o,700} \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (6)$$

رابطه بین غلظت و مقادیر محرکه‌های سه‌گانه به طور واضح مشخص نیست (رابطه ۷) [۴،۵].

$$C = f(X, Y, Z) \quad (7)$$

بر این اساس در تحقیق حاضر تلاش شده است فضای محرکه رنگی پایه به عنوان جایگزینی برای فضای انعکاس طیفی به منظور استفاده از مقادیر محرکه‌های سه‌گانه در رنگ‌هماندی کالریمتری و تخمین غلظت پیشنهاد شود. حد کارایی فضای N^* با تبدیل غیر خطی آن بر پایه تئوری یک ثابتی^۳ کیوبلکا-مانک بررسی شده است.

۲-۱- تئوری یک ثابتی کیوبلکا-مانک

یکی از موفق‌ترین و ساده‌ترین نظریه‌ها در بررسی خصوصیات نوری مواد دارای جذب و انتشار، نظریه یک ثابتی کیوبلکا-مانک است. این مدل در بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی-کاربردی، از اهمیت بالایی برخوردار است و برای مطالعه خصوصیات نوری پوشش‌های محافظتی^۴ و تزیینی، پوشش‌های سطوح^۵، کاغذ، پلیمرهای دارای رنگدانه^۶، الیاف، عایق‌های حرارتی، سیستم‌های بیولوژیکی و فیزیک پزشکی و فیزیک اتمسفر استفاده می‌شود. در صنایع رنگ، ریاضیات و الگوریتم اکثر نرم‌افزارهای رنگ‌هماندی بر پایه این مدل رنگی بنا شده است [۷-۳]. با استفاده از این نظریه، خصوصیات یک لایه رنگی منتشرکننده نور مانند مقادیر انعکاس، انتقال، جذب و قدرت پشت‌پوشی بطور تقریبی قابل پیشگویی هستند [۸]. این مدل دو پرتویی بطور وسیعی برای بررسی خصوصیات نوری مواد غیرهمگن استفاده می‌شود و تلاش می‌کند تا با استفاده از ضرایب جذب (K) و انتشار (S)، انعکاس مواد نیمه شفاف مانند منسوجات را روی زمینه‌های مختلف رنگی تخمین بزند [۱۰-۸]. در این تئوری، قابلیت رنگی ماده دارای جذب و انتشار به

۱- مقدمه

۱-۱- تئوری تجزیه کوهن و کاپوف

تئوری تجزیه کوهن و کاپوف یک روش تجزیه طیفی بوده که بر مبنای آن منحنی‌های انعکاسی (ρ_λ) به دو مؤلفه رنگی پایه^۱ ($\rho_{o\lambda}$) و سیاه متامار^۲ ($\rho_{b\lambda}$) تجزیه می‌شود (رابطه ۱) [۱،۲].

$$\rho_\lambda = \rho_{o\lambda} + \rho_{b\lambda} \quad (1)$$

در واقع با استفاده از سیاه‌های متامار و افزودن منحنی‌های سیاه متاماریک به یک منحنی انعکاسی مشخص می‌توان نمونه‌های متاماریک نظری تهیه نمود. به طور عکس می‌توان هر جفت نمونه متاماریک را تلفیقی از یک منحنی انعکاسی ثابت (پایه) به اضافه دو سیاه متاماریک در نظر گرفت که در محرکه‌های پایه برابر بوده اما در سیاه‌های متاماریک شان متفاوتند. در چنین شرایطی امکان تعریف یک اندیس عمومی برای بررسی پدیده متاماریزم و با هدف تعیین درجه عدم تشابه طیفی یک جفت نمونه فراهم می‌گردد [۳]. بر اساس روش تجزیه کوهن و کاپوف، داده‌های کالریمتری ساده، یعنی مقادیر محرکه‌های سه‌گانه X, Y, Z می‌توانند برای محاسبه محرکه‌های رنگی پایه (N^*) استفاده شوند (رابطه ۲).

$$N^* = A(A'A)^{-1}T \quad (2)$$

در رابطه ۲، ماتریس $A_{n \times 3}$ حاصل ضرب توابع رنگ‌هماندی و توزیع انرژی طیفی منبع نوری می‌باشد. همچنین ماتریس $T_{3 \times 1}$ مقادیر محرکه‌های سه‌گانه در سیستم CIE بوده که تحت منبع نوری و مشاهده کننده مشخصی محاسبه شده اند. ماتریس A و T در روابط ۳ و ۴ نشان داده شده اند [۳].

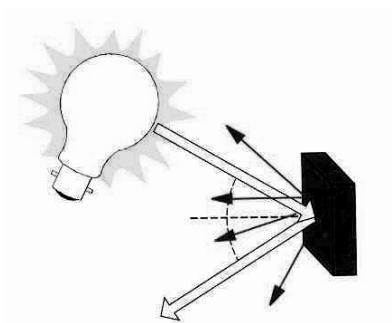
$$A = \begin{bmatrix} E_{400x} & E_{400y} & E_{400z} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ E_{700x} & E_{700y} & E_{700z} \end{bmatrix}_{n \times 3} \quad (3)$$

$$T = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{3 \times 1} \quad (4)$$

از رابطه ۲ واضح است که N^* یک ماتریس $n \times 1$ است که مشابه انعکاس طیفی (N) دارای n عضو می‌باشد (رابطه ۵ و ۶).

- 3- Single-constant
- 4- Coatings
- 5- Paints
- 6- Pigmented polymer

- 1- Fundamental
- 2- Metameric black



شکل ۱: برخورد نور با یک جسم پشت‌پوش [۳].

استفاده هم‌زمان از رابطه‌های ساده ۲ و ۱۱، امکان پیش‌بینی غلظت رنگزا با به کارگیری مقادیر محرکه‌های رنگی سه‌گانه را فراهم می‌آورد. کارایی و دقت رابطه ۱۱ به انتخاب مقادیر مثبت و مناسب از N^* بستگی دارد. در این خصوص در تحقیق حاضر، فضای طیفی N^* و فضای حاصل از انتقال غیرخطی آن یعنی $(K/S)_\lambda^*$ با هدف یافتن شرایط بهینه تحلیل و بررسی شده است. به عبارتی طول موج‌های مناسبی که در آن‌ها، فضای $(K/S)_\lambda^*$ با تغییر غلظت مقیاس‌پذیری قابل قبولی نشان می‌دهد، بحث شده‌اند. نتایج با فضای طیفی $(K/S)_\lambda$ مقایسه شده است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

در این تحقیق از چهار ماده رنگزای اسیدی تجاری مختلف، مطابق جدول ۱ استفاده شد. نمونه‌های پارچه از جنس نایلون شامل نخ فیلامنتی با نمبر ۲۰۰ دنیر مرکب از ۶۸ تک فیلامنت با سطح مقطع گرد (محصول شرکت الیاف، تهران) و بافته شده با ماشین گردباف، مورد استفاده قرار گرفتند.

۲-۲- روش کار

نمونه‌ها بعد از شستشو، در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از یک دستگاه رنگرزی قابل کنترل آزمایشگاهی و در نسبت حجم محلول به جرم کالا (L:G) برابر ۴۰:۱ مطابق منحنی شکل ۲ رنگرزی شدند. ناحیه غلظتی انتخاب شده متشکل از ۸ مقدار غلظت (برحسب owf یا نسبت به وزن کالا) شامل ۰،۰۵، ۰،۱، ۰،۳، ۰،۶، ۱، ۱،۵ و ۲ درصد بود.

جدول ۱: مواد رنگزای بکار رفته.

نام عمومی	Acid Green 25	Acid Blue 127	Acid Red 85	Acid Yellow 25
نام تجاری	Erionyl Green 3B	Nylosan Blue F-GBL	Erionyl Red G	Nylosan Yellow E-RPL
λ_{max} (nm)	۶۴۰	۶۲۰	۵۲۰	۴۰۰
سازنده	Ciba Specialilty Chemicals	Sandoz	Ciba Specialty Chemicals	Sandoz

شکل تابع $(K/S)_\lambda$ بررسی می‌شود. در صورتی که ضخامت نوری نمونه تا اندازه‌ای افزایش یابد که پرتو انتقال یافته حذف شود (شکل ۱)، رابطه کیوبلکا-مانک برای پیشگویی مقادیر انعکاس یک نمونه پشت‌پوش (N_∞) با استفاده از ضرایب جذب و انتشار مطابق رابطه ۸ به دست می‌آید.

$$N_{\infty, \lambda} = 1 + \left(\frac{K}{S} \right)_\lambda - \sqrt{\left(\frac{K}{S} \right)_\lambda^2 + 2 \cdot \left(\frac{K}{S} \right)_\lambda} \quad (8)$$

با جایجایی و چیدمان رابطه فوق برحسب $(K/S)_\lambda$ ، رابطه معروف و ساده کیوبلکا-مانک به دست می‌آید (رابطه ۹).

$$\left(\frac{K}{S} \right)_\lambda = \frac{(1 - N_{\infty, \lambda})^2}{2 \cdot N_{\infty, \lambda}} \quad (9)$$

نتایج تجربی نشان می‌دهد که، ارتباط $(K/S)_\lambda$ با مقدار ماده رنگزا در یک محدوده مشخصی از غلظت خطی است. به بیان دیگر، مطابق تئوری کیوبلکا-مانک (رابطه ۱۰) تابع غیر خطی از انعکاس یک زمینه پشت‌پوش با مقدار ماده رنگزا متناسب است (چنانچه انعکاس سطح در نظر گرفته نشود) [۱۱].

$$C = \frac{\left(\frac{K}{S} \right)_\lambda}{\alpha_\lambda} = \frac{(1 - N_\lambda)^2}{2 \cdot N_\lambda} \quad (10)$$

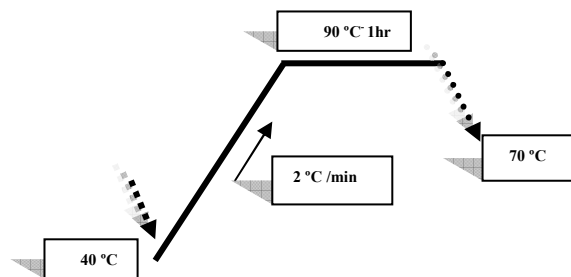
در رابطه ۹، C مقدار ماده رنگزا و α نیز شیب منحنی $(K/S)_\lambda$ برحسب C یا همان $(K/S)_\lambda$ واحد می‌باشند.

با توجه به ماهیت طیفی محرکه رنگی پایه، تبدیل غیر خطی آن بر پایه تئوری یک ثابتی کیوبلکا-مانک می‌تواند به صورت رابطه ۱۱ نشان داده شود.

$$C = \frac{\left(\frac{K}{S} \right)_\lambda^*}{\alpha_\lambda^*} = \frac{(1 - N_\lambda^*)^2}{2 \cdot N_\lambda^*} \quad (11)$$

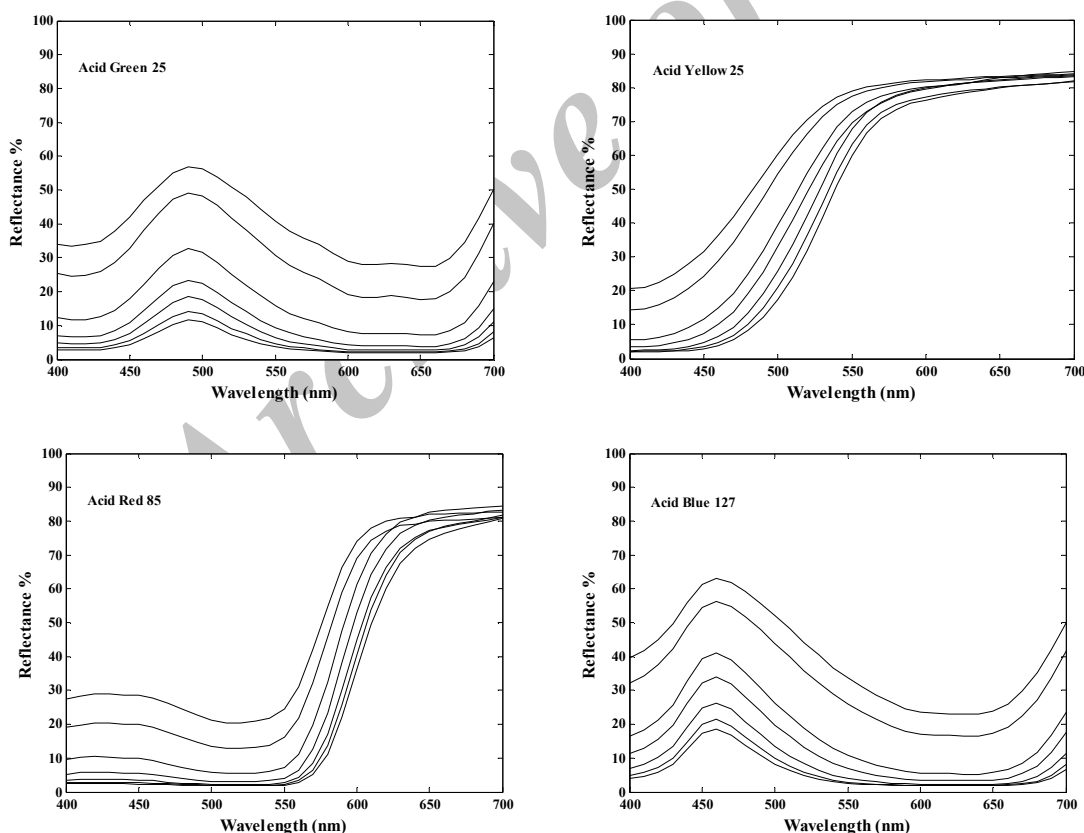
۳- نتایج و بحث

در یک سامانه رنگی، تخمین مقدار یک ماده رنگزا با استفاده از یک مدل رنگی مناسب ممکن می‌گردد. در واقع مدل رنگی مورد استفاده، ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را در فرآیند رنگرزی فراهم می‌آورد و لازم است ویژگی‌های طیفی آن سامانه رنگی مانند انعکاس و یا توابعی از آنها را ترجیحاً با یک رابطه خطی با غلظت رنگزای به کار گرفته شده مرتبط سازد. مدل فوق بایستی از ویژگی مقیاس‌پذیری و جمع‌پذیری قابل قبولی برخوردار باشد [۱۲]. بر این اساس یک روش عمومی دو مرحله‌ای برای تعریف مدل رنگی ارائه شده است [۱۳]. در مطالعه فرآیند رنگرزی، به کارگیری ویژگی‌های طیفی آن مانند انعکاس به دلیل قابلیت مقیاس‌پذیری بسیار ضعیف و رفتار غیرخطی ویژگی‌های طیفی مذکور در برابر غلظت چندان مورد توجه نمی‌باشند. برای توضیح بیشتر، در شکل‌های ۳ و ۴ منحنی‌های انعکاسی و محرکه رنگی پایه برای هر ۴ رنگزای اسیدی استفاده شده، رسم شده است. همچنین شکل‌های ۵ و ۶ رفتار این دو کمیت طیفی را در برابر تغییرات غلظت نشان می‌دهند.

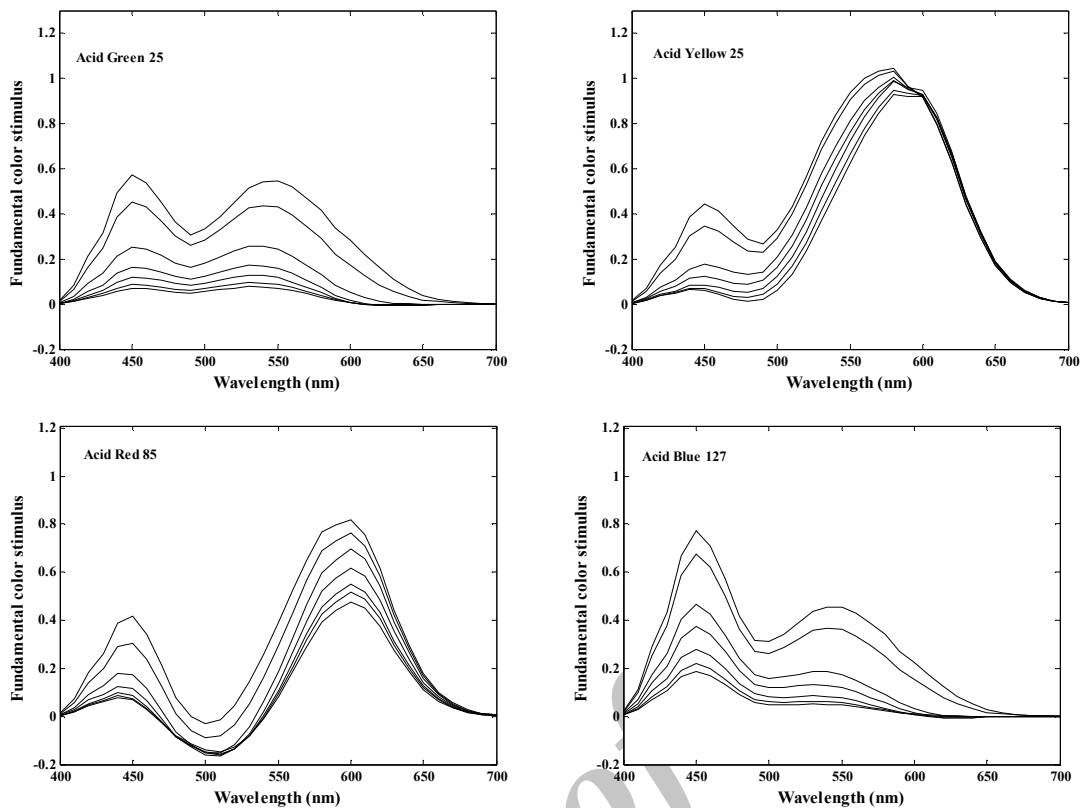


شکل ۲: منحنی استفاده شده در رنگرزی.

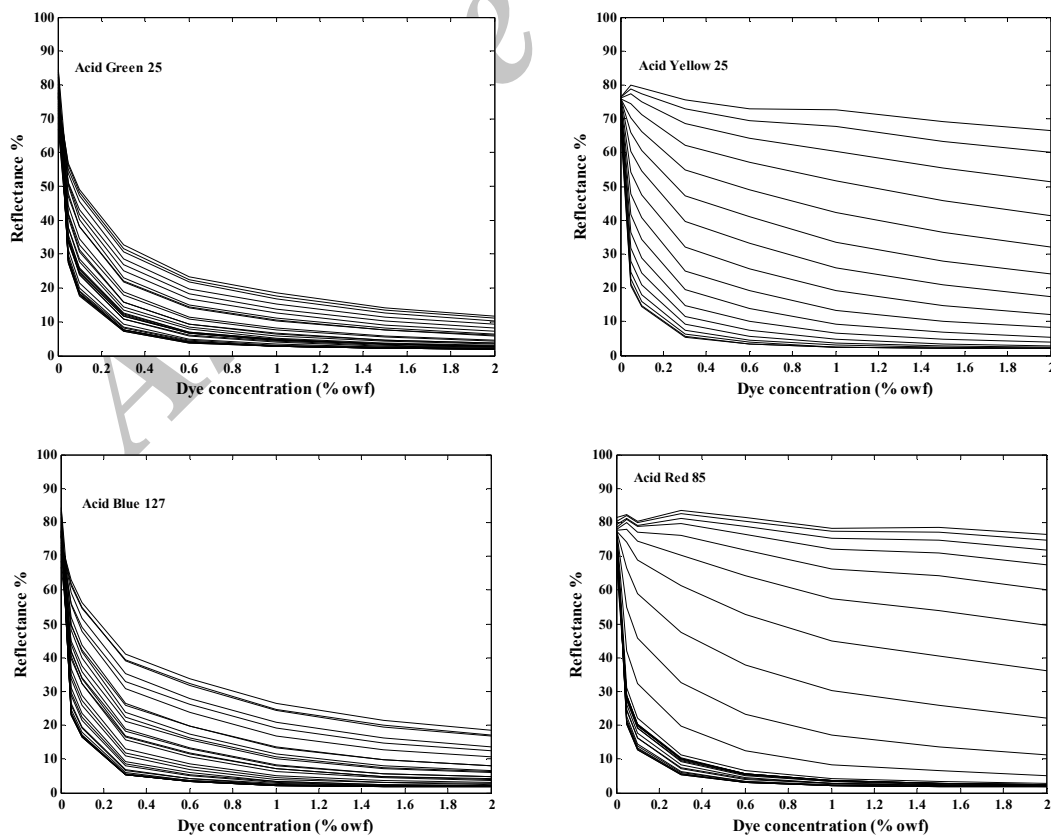
برای اندازه‌گیری مقادیر انعکاس طیفی نمونه‌های رنگرزی شده از دستگاه اسپکتروفوتومتر انعکاسی مدل Color-Eye 7000A محصول GretagMacbeth استفاده شد. کار با اسپکتروفوتومتر انعکاسی در محدوده کاری ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر با فواصل ۱۰ نانومتری انجام گرفت. در کلیه موارد، محرکه رنگی پایه با احتساب منبع نوری D65 و مشاهده کننده ۱۰° محاسبه شدند.



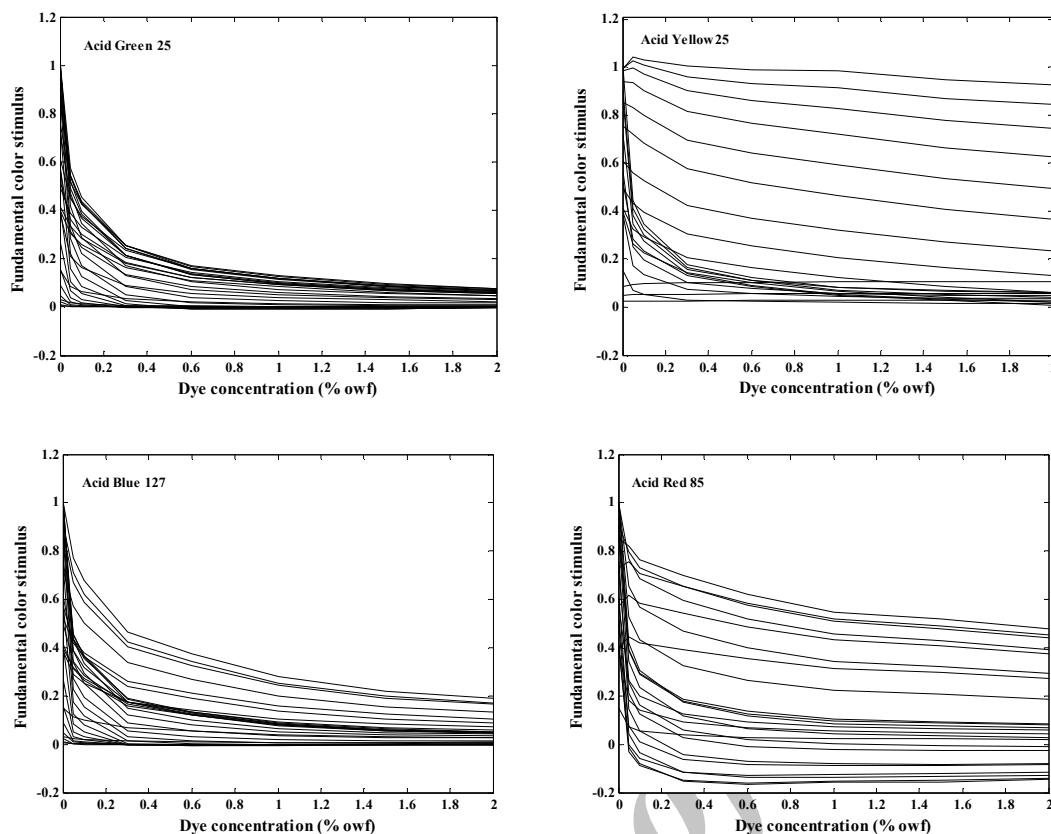
شکل ۳: منحنی‌های طیفی انعکاس اندازه‌گیری شده در غلظت‌های مختلف مواد رنگزا.



شکل ۴: منحنی‌های طیفی محرکه‌های رنگی پایه محاسبه شده در غلظت‌های مختلف مواد رنگزا.



شکل ۵: تغییرات منحنی‌های انعکاسی اندازه‌گیری شده در برابر غلظت.



شکل ۶: تغییرات منحنی‌های محرک‌های رنگی پایه محاسبه شده در برابر غلظت.

غلظت با نام نواحی تعمیم یافته^۱ متناسب با فام رنگ‌های مورد استفاده در جدول ۲ گزارش شده است [۱۲].

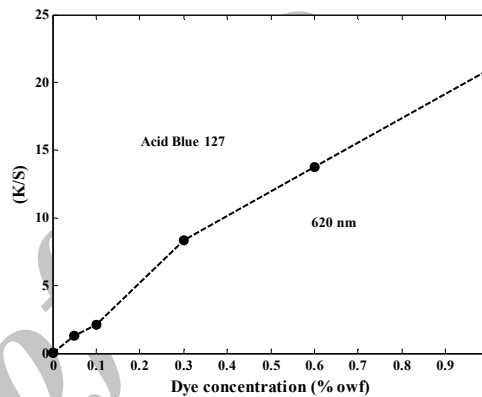
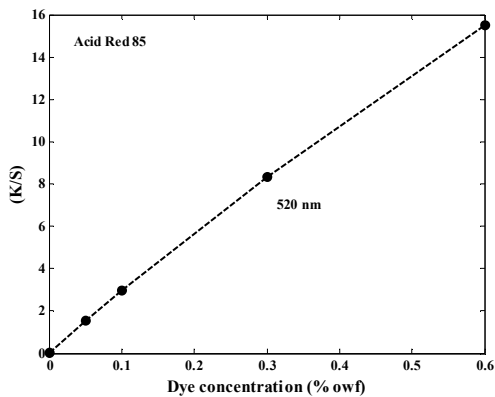
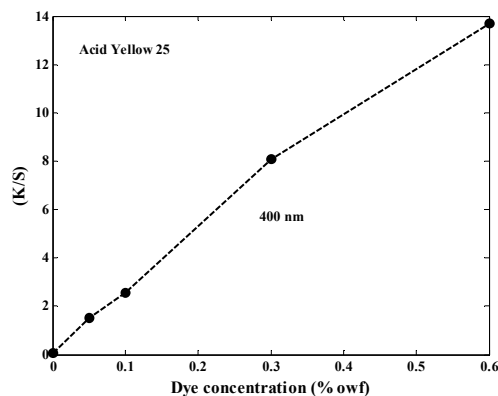
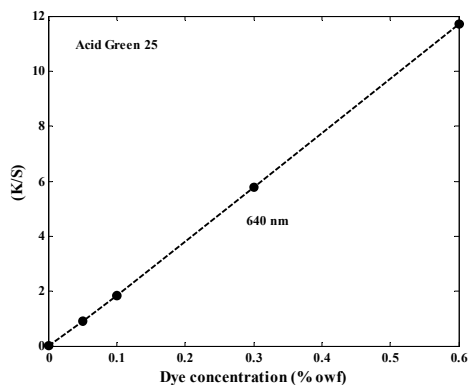
جدول ۲: طول موج‌های پیشنهادی به عنوان نواحی تعمیم یافته برای فام‌های مختلف [۱۲].

فام	نواحی طیفی با بیشینه مقدار جذب λ_{max} (nm)	نواحی طیفی تعمیم یافته $\lambda_{extended}$ (nm)
قرمز	۵۲۰-۵۰۰	۴۵۰-۴۰۰
زرد	۴۰۰	۴۵۰
آبی	۶۵۰-۶۰۰	۵۵۰-۵۰۰
سبز	۶۵۰-۶۰۰	۴۵۰-۴۰۰

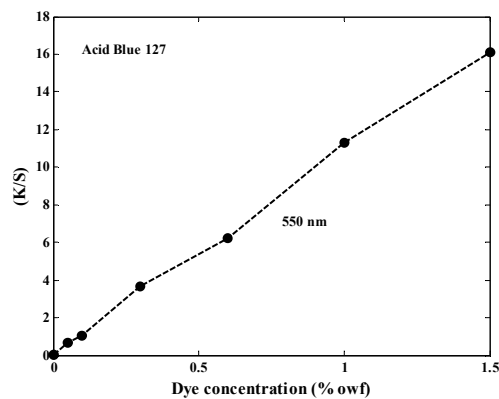
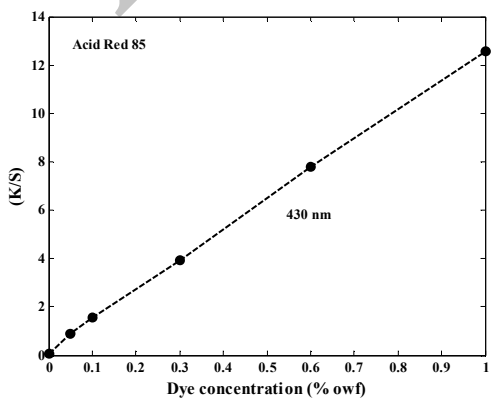
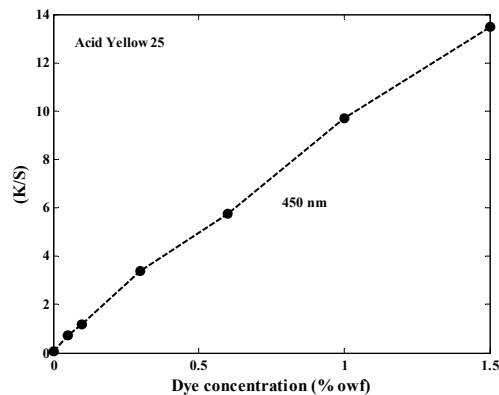
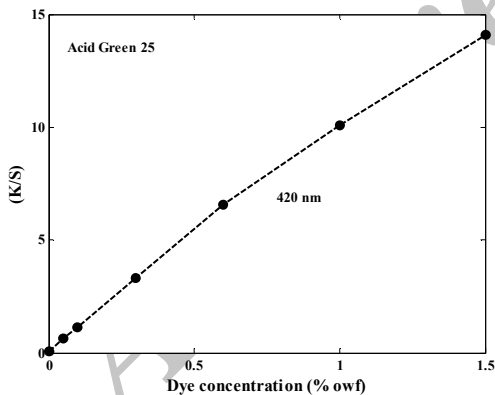
با توجه به موارد ذکر شده، تغییرات $(K/S)_\lambda$ و $(K/S)_\lambda^*$ در برابر غلظت در نواحی پیشنهاد شده مطابق جدول ۲ در شکل‌های ۱۰-۷ ترسیم و مقایسه شده است. میزان همبستگی نتایج به دست آمده در شکل‌های فوق در جدول‌های ۳ و ۴ تحلیل آماری شده‌اند. همچنین در شکل‌های ۱۰-۷، از طول موج‌های نواحی تعمیم یافته فقط یک نقطه اختیاری انتخاب شده است.

از روابط غیرخطی به دست آمده در شکل‌های ۵ و ۶ نتیجه می‌شود که الف - فضای محرک رنگی پایه (N^*) مشابه فضای طیفی انعکاس (N) از مقیاس‌پذیری ضعیفی در برابر غلظت برخوردار است و ب - در فضای محرک رنگی پایه بخصوص در محدوده λ_{max} - که به صورت وسیعی برای پیش‌بینی غلظت به کار گرفته می‌شود - مشاهده می‌گردد که N^* با مقادیر منفی و غیر کاربردی همراه است. در حالت اول، مشابه رابطه ۹، تبدیل غیرخطی محرک رنگی پایه بر مبنای تئوری یک ثابتی کیوبلکا-مانک (رابطه ۱۱) به عنوان تابعی با مقیاس‌پذیری بیشتر قابل بررسی است. در حالت دوم ضروری است با بررسی طیفی و انتخاب محدوده مناسبی از طول موج‌ها، به مقادیر مناسب و غیر منفی از N^* دسترسی پیدا کرد. در کار قبلی با تجزیه و تحلیل طیفی رفتار تابع انعکاس $(K/S)_\lambda$ در مقادیر مختلف غلظت و طول موج‌های متفاوت تلاش شد تا طول موج‌های بهینه به منظور توسعه و تعمیم این کمیت و یافتن یک روش منطقی برای تعریف محدوده تا حد ممکن دقیق کاربردی این تابع در منسوجات، معرفی شود. بر این اساس به طور تجربی برای هر رنگ‌زا طول موج‌هایی شناسایی شد که در آنها عملکرد و قابلیت $(K/S)_\lambda$ برای پیشگویی و تخمین غلظت جهت مطالعه رفتار رنگ‌رزی در غلظت‌های بالاتر نسبت به طول موج بیشینه جذب افزایش می‌یافت. محدوده طیفی با قابلیت تعمیم ارتباط خطی تابع فوق با

1- Extended



شکل ۷: منحنی (K/S) بر حسب غلظت در طول موج بیشینه جذب.



شکل ۸: منحنی (K/S) بر حسب غلظت در طول موج نواحی تعمیم یافته.

جدول ۳: مقادیر مربع ضریب همبستگی (R^2) در تحلیل آماری شکل های ۷ و ۸.

Square of correlation coefficient (R^2)				
Acid Green 25	Acid Yellow 25	Acid Red 85	Acid Blue 127	
۰.۹۹۹۰	۰.۹۹۲۰	۰.۹۹۸۰	۰.۹۹۰۰	λ_{\max} برحسب غلظت در (K/S) (شکل ۷)
۰.۹۹۵۰	۰.۹۹۶۰	۰.۹۹۹۰	۰.۹۹۸۰	$\lambda_{\text{extended}}$ برحسب غلظت در (K/S) (شکل ۸)

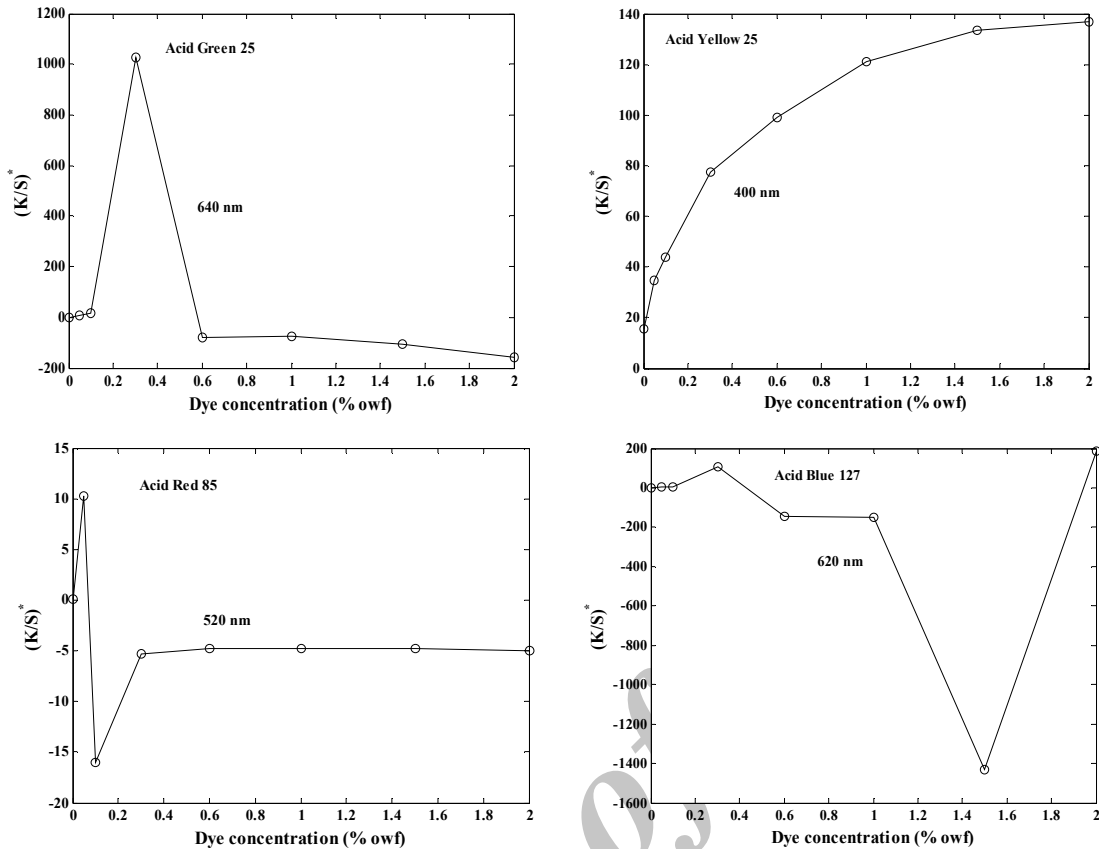
جدول ۴: مقادیر مربع ضریب همبستگی (R^2) در تحلیل آماری شکل های ۹ و ۱۰.

Square of correlation coefficient (R^2)				
Acid Green 25	Acid Yellow 25	Acid Red 85	Acid Blue 127	
۰.۱۳۳۰۰	۰.۸۳۶۶	۰.۰۳۰۰	۰.۱۳۵۱	λ_{\max}^* برحسب غلظت در (K/S) (شکل ۸)
۰.۹۹۲۸	۰.۹۹۲۸	۰.۹۶۰۹	۰.۹۹۷۸	$\lambda_{\text{extended}}^*$ برحسب غلظت در (K/S) (شکل ۹)

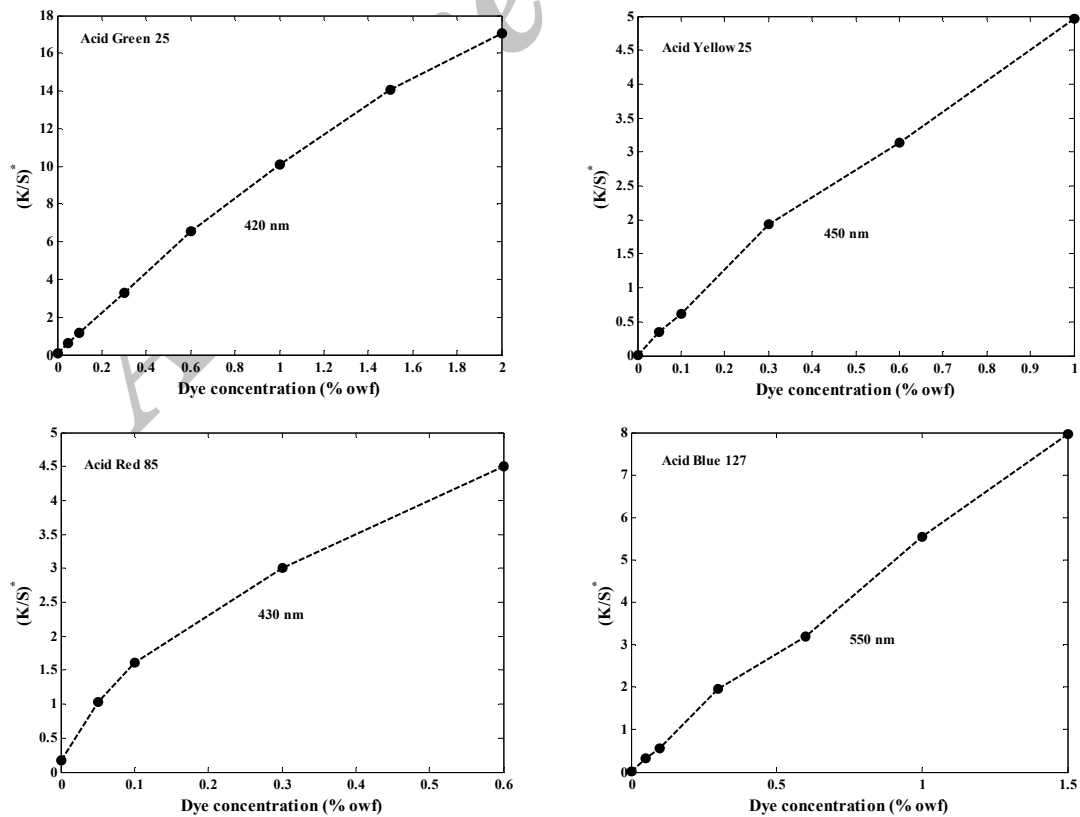
محركه رنگی پایه می باشد. در عوض با انتخاب طول موج بهینه، تغییرات به سمت روندی مشخص با تبعیت از یک رفتار خطی مطلوب پیش می رود (شکل ۱۰). همچنین نتایج تحلیل آماری بیان شده در جدول ۴ نشان می دهند که در نواحی پیشنهادی و تعمیم یافته، محدوده رفتار خطی و کاربردی $(K/S)_\lambda^*$ همانند $(K/S)_\lambda$ با ارتباط خطی مطلوبی و با ضریب همبستگی تقریباً ۰.۹۹ درصد به غلظت های بالاتری توسعه یافته است.

بنابراین مقادیر محرکه های رنگی پایه همانند مقادیر انعکاس، می توانند به عنوان یک ویژگی طیفی مهم از مواد رنگرزی شده در مطالعه رفتار رنگرزی مورد توجه باشند. به عبارت دیگر، رابطه خطی مطلوب به دست آمده در منحنی های $(K/S)_\lambda^*$ در نواحی تعمیم یافته از جدول ۲ می تواند به عنوان روشی برای پیشگویی و تخمین غلظت از داده های کالریمتری یعنی مقادیر محرکه های سه گانه پیشنهاد گردد.

از شکل ۷ و ۸ مشاهده می شود که با انتخاب طول موج مناسب غیر از طول موج بیشینه جذب، رفتار خطی تابع انعکاس به مقادیر بالاتر غلظت تعمیم می یابد. برای مثال برای ماده رنگزای قرمز ۸۵، با تغییر طول موج از ۵۲۰ نانومتر (طول موج بیشینه جذب) به ۴۳۰ نانومتر (طول موج انتخابی) محدوده خطی از ۰.۶ درصد به ۱ درصد گسترش یافته است. این رفتار تعمیم یافته برای $(K/S)_\lambda$ ، امکان تخمین را در غلظت های بالاتر با دقت بیشتری فراهم می نماید. همچنین تحلیل آماری انجام شده در جدول ۳ نشان می دهد که در نتیجه انتقال رابطه تابع انعکاس با غلظت از ناحیه λ_{\max} به نواحی $\lambda_{\text{extended}}$ رفتار خطی موجود با همبستگی بالای ۹۹.۵ درصد به مقادیر بیشتری از غلظت قابل توسعه است. در شکل ۹ مشاهده می شود که انتقال و تبدیل غیرخطی فضای محرکه های رنگی پایه (N^*) در حالت $(K/S)_\lambda^*$ در طول موج بیشینه جذب (λ_{\max}) از رفتار مشخصی برخوردار نیست. علت وجود مقادیر منفی در این ناحیه از فضای



شکل ۹: منحنی $(K/S)^*$ بر حسب غلظت در طول موج بیشینه جذب.



شکل ۱۰: منحنی $(K/S)^*$ بر حسب غلظت در طول موج نواحی تعمیم یافته.

تبدیل غیرخطی فضای محرکه رنگی پایه بر مبنای تئوری یک ثابتی کیوبلکا-مانک و تجزیه و تحلیل طیفی آن، طول موج‌های بهینه به منظور توسعه و تعمیم تابع فوق برای تعریف محدوده تا حد ممکن دقیق کاربردی در منسوجات، معرفی شد. رابطه خطی به دست آمده در نواحی تعمیم یافته برای تابع مورد نظر می‌تواند به عنوان راه حلی برای بررسی رفتار سامانه‌های رنگریزی از جمله تخمین غلظت ماده رنگزا از داده‌های کالریمتری یا همان مقادیر محرکه‌های سه‌گانه پیشنهاد گردد.

۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، کاربرد مقادیر محرکه رنگی پایه به دست آمده از روش تجزیه کوهن و کاپوف به عنوان جایگزینی برای مقادیر انعکاس طیفی با هدف مطالعه رفتار سامانه‌های رنگریزی بررسی شد. نتایج نشان داد فضای محرکه رنگی پایه مشابه فضای انعکاس طیفی از رفتار خطی نامناسبی در برابر غلظت برخوردار است و در بعضی نواحی از طیف محدوده مرئی بخصوص محدوده طول موج بیشینه جذب - که به صورت وسیعی در کارهای آزمایشگاهی برای پیش بینی غلظت به کارگرفته می‌شود- با مقادیر منفی و غیرکاربردی همراه است. با

۵- مراجع

1. J. B. Cohen, W. E. Kappauf, Color mixture and fundamental metamers: Theory, algebra, geometry, application. *Am. J. Psychol.* 98 (1985), 171-259.
2. F. Ameri, S. Moradian, M. Amani Tehran, K. Faez, The use of fundamental color stimulus to improve the performance of artificial neural network color match prediction systems. *J. Chem. Chem. Eng.* 24(2005), 53-61.
3. S. H. Amirshahi, F. Agahian, Computational Colour Physics, (in Farsi), *Arkane Danesh pub.*, Esfahan, Iran, 2008.
4. R. S. Berns, Billmeyer and Saltzman's principles of color technology, *John Wiley & Sons*, 3rd Ed., New York, 2000.
5. S. H. Amirshahi, F. Torkamani A., Application of principal component analysis for reconstruction of spectral transmission curves of solutions by scanners. *Amirkabir J. Sci. Technol.* 16(2005), 1-8.
6. W. E. Vargas, G. A. Niklasson, Applicability conditions of the Kubelka-Munk theory. *Appl. Opt.* 36(1997), 5580-5586.
7. J. C. Ragain, W. M. Johnston, Accuracy of Kubelka-Munk reflectance theory applied to human dentin and enamel, *J. Dent. Res. Health & Medical Complete*, 80(2001), 449-452.
8. A. A. Tsoutseos, J. H. Nobbs, Colour appearance of textile materials: an alternative approach, *Colour Science Books, Vol III, Colour Physics*, Leeds, 234-246, 2001.
9. E. Atherton, The relation of the reflectance of dyed fabrics to dye concentration and the instrumental approach to colour matching. *J.S.D.C.* 1955, 389-398.
10. J. H. Nobbs, Kubelka-Munk theory and the prediction of reflectance. *Rev. Prog. Color.* 15(1985), 66-75.
11. A. Berger-Schunn, Practical color measurement, a primer for the beginner, a reminder for the expert. *John Wiley & Sons*, New York, 1994.
12. 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.
13. R. S. Berns, A generic approach to color modeling. *Color. Res. Appl.* 22(1997), 318-325.