

به کارگیری روش تجزیه اجزای اصلی در بازسازی منحنی انتقال طیفی محلولها با استفاده از اطلاعات رنگی پوشگر

سید حسین امیرشاهی؛ فرح ترکمنی آذرⁱⁱ

چکیده

در این مقاله منحنی انتقال طیفی محلولهای رنگی با استفاده از اطلاعات رنگی محلول های مختلفی از مواد رنگی که با استفاده از پوشگر اندازه گیری شده اند، بازسازی شده است. بدین منظور محلول های مختلفی از مواد رنگزای متفاوت تهیه و مقادیر محرکه های رنگی آنان اندازه گیری شد. سپس با استفاده از روش تجزیه اجزای اصلی مقادیر و بردارهای ویژه یک مجموعه از منحنی های انتقالی محاسبه شد. آنگاه مقادیر انتقال طیفی محلول هایی که اطلاعات رنگی R و G و B آنان اندازه گیری شده بود با استفاده از مدل خطی تخمین زده شد. نتایج این تحقیق نشان می دهند که بازسازی اطلاعات انتقال طیفی محلول های مذکور به نحو بسیار مناسبی میسر است و دقت نتایج، بستگی محسوسی به نحوه تهیه نمونه ها برای تعیین مقادیر و بردارهای ویژه دارد.

کلمات کلیدی

تجزیه اجزای اصلی، انتقال طیفی، پوشگر، مولفه های رنگی

Reconstruction of Spectral Behavior of Solutions from Scanner's Data Using the Principal Components

Seyed Hossein Amirshahi; Farah Torkamani-Azar

Abstract

In this paper, the spectral transmittances of different solutions of different dyes in water are reconstructed by their colorimetric data measured by scanner. Different solutions were prepared and their RGB data were measured by scanner. Then, by using principle component analysis technique, the eigenvectors and eigenvalues of different sets of solutions were calculated, using RGB data and a linear modeling. Finally, the transmission behavior of each solution is predicted by using the basis function and the RGB values of desired solution. Although the results depend on the sampling technique, but very successful reconstructions are observed, totally.

Keywords

Principal Component Analysis, Transmittance Spectra, Scanner, Color Coordinates

ⁱ دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، hamirsha@aut.ac.ir

ⁱⁱ استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، f-torkamani@cc.sbu.ac.ir

سادگی میسر است و این کار به طور معمول در یک حالت گسسته و جمع گرفتن در فواصل ۲۰ نانومتری انجام می شود. در واقع در معادلات ۱ تا ۳ مقادیر E_λ و \bar{X}_λ و \bar{Y}_λ و \bar{Z}_λ همگی معلومند و برای بدست آوردن مقدار انتقال طیفی یعنی T_λ لازم است از دستگاه طیف سنجی که اسپکتروفتومتر^۲ نامیده می شود استفاده کرد[۴].

دستگاه هایی نیز وجود دارند که مستقیماً و بدون نیاز به اندازه گیری خصوصیات طیفی جسم، رنگ آنرا اندازه گیری می کنند. این دستگاه ها که رنگ سنج^۵ شناخته می شوند بر خلاف اسپکتروفتومترها نیاز به تفکیک طیف مرئی به نوارهای باریکی از طول موج ندارند و تنها با استفاده از سه یا چهار فیلتر رنگی تلاش می کنند تا حساسیت طیفی مشاهده کننده استاندارد را با ترکیبی از فیلترهای مذکور و گیرنده دستگاه شبیه سازی نمایند[۶]. در واقع با استفاده از این دستگاه ها رنگ جسم، یعنی مقادیر محرکه های سه گانه X و Y و Z یک نمونه، با استفاده از کالریتر مستقیماً اندازه گیری می شود. بدیهی است، همانگونه که معادلات ۱ تا ۳ نشان می دهند، در صورت اطلاع از مقادیر محرکه های رنگی یک نمونه و اطلاع از منبع نوری و مشاهده کننده، امکان بدست آوردن مقادیر انتقال طیفی جسم میسر نیست. به منظور روشن شدن این موضوع لازم است روابط ۱ تا ۳ در شکل ماتریسی مورد توجه قرار گیرند. اگر ماتریس A که به عنوان توان طیفی^۷ نیز شناخته می شود به صورت رابطه ۴ نشان داده شود،

$$A = \begin{bmatrix} \bar{X}_{400} E_{400} & \bar{Y}_{400} E_{400} & \bar{Z}_{400} E_{400} \\ \bar{X}_{420} E_{420} & \bar{Y}_{420} E_{420} & \bar{Z}_{420} E_{420} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{X}_{700} E_{700} & \bar{Y}_{700} E_{700} & \bar{Z}_{700} E_{700} \end{bmatrix}_{16 \times 3} \quad (4)$$

و بردار T همانگونه که رابطه ۵ نشان می دهد مقدار انتقال طیفی جسم را نشان دهد،

$$T = \begin{bmatrix} T_{400} \\ T_{420} \\ \dots \\ \dots \\ T_{700} \end{bmatrix}_{16 \times 1} \quad (5)$$

آنگاه مقادیر محرکه های سه گانه رنگی جسم را می توان از رابطه ۶ بدست آورد:

ویژگی طیفی اجسام از اطلاعات منحصر به فرد هر جسم محسوب می شود به نحوی که به خصوصیات طیفی^۱ اشیاء در طیف مرئی، اعم از اطلاعات انتقال، جذب و یا انعکاس طیفی به عنوان اثر انگشت هر جسم نگریسته شده است[۱-۳]. اندازه گیری و تجزیه و تحلیل رفتار انتقال و یا جذب طیفی در محلول ها به عنوان یک روش موثر در اندازه گیری کمی و شناسایی اجسام شناخته شده است و دسترسی به این اطلاعات موجب تحلیل مناسب سیستم، مانند شناسایی تشکیل یک محصول در یک واکنش شیمیایی و تعیین تغییرات غلظت در فرآیندهای شیمیایی می شود. به طور مثال تحلیل پارامترهای ترمودینامیکی و شیمی-فیزیکی جذب ماده رنگزا توسط الیاف مانند تعیین مقدار تمایل^۲، سطح تعادل، سرعت رنگرزی، سرعت نفوذ و اطلاعاتی از این قبیل تنها در صورت دسترسی به اطلاعات طیفی محلول و استفاده از قانون بوگر-لامبرت برای تعیین تغییرات غلظت میسر است. اندازه گیری این اطلاعات تنها با استفاده از دستگاههایی که قادر به تفکیک طیف الکترومغناطیس بطور اعم و محدوده مرئی به طور اخص به طول موجهایی با نوارهای باریک و مشخص هستند امکان پذیر است[۴]. اگرچه این روشها عنوان کلی رنگ سنجی^۳ را دارند ولی واقعیت آن است که در هیچیک از روشهای ذکرشده رنگ به عنوان محصول خصوصیات انتقالی یا انعکاسی جسم در زیر یک منبع روشنایی و مشاهده کننده استاندارد اندازه گیری نمی شود. در واقع رنگ را به موجب تعریفی که موسسه جهانی روشنایی نموده است به صورت معادلات شماره ۱ تا ۳ می توان بیان نمود[۵].

$$X = k \int_{\lambda=400}^{\lambda=700} T_\lambda \cdot E_\lambda \cdot \bar{X}_\lambda \cdot d\lambda \quad (1)$$

$$Y = k \int_{\lambda=400}^{\lambda=700} T_\lambda \cdot E_\lambda \cdot \bar{Y}_\lambda \cdot d\lambda \quad (2)$$

$$Z = k \int_{\lambda=400}^{\lambda=700} T_\lambda \cdot E_\lambda \cdot \bar{Z}_\lambda \cdot d\lambda \quad (3)$$

که در روابط مذکور X و Y و Z مقادیر محرکه های سه گانه جسم یعنی رنگ و T_λ و E_λ به ترتیب مقادیر انتقال طیفی جسم و توزیع انرژی نسبی طیفی منبع نوری مورد استفاده هستند. \bar{X}_λ و \bar{Y}_λ و \bar{Z}_λ نیز مقادیر حساسیت نسبی طیفی مشاهده کننده استاندارد و k ضریبی برای نرمال کردن هستند. همانگونه که روابط ۱ تا ۳ نشان می دهند امکان محاسبه رنگ اجسام در زیر یک منبع نوری مشخص و مشاهده کننده معلوم، در صورت دسترسی به مشخصات انتقال طیفی جسم به

در واقع به این ترتیب امکان محاسبه مقادیر محرکه های رنگی X و Y و Z از روی مقادیر R و G و B با پذیرش خطای قابل قبولی میسر می شود.

با توجه به مقدمه ذکر شده در خصوص اهمیت ویژگی انتقال طیفی محلول های رنگی و با عنایت به رواج پوششگرها، در تحقیق فعلی تلاش شده است تا با استفاده از ویژگی کلی منحنی های انتقالی محلولها و خصوصیات مشترکی که آنها دارند و بکارگیری روش مدل سازی خطی برای بهینه سازی، روشی برای بازسازی منحنی انتقال طیفی از روی مشخصات رنگی محلول ها ارائه گردد.

۲- پیش زمینه

همان گونه که در شکل شماره ۱ نشان داده شده است در یک پوششگر جسم توسط منبع نوری دستگاه روشن می شود. سپس پرتو نوری منعکس شده از جسم با استفاده از سیستمی شامل عدسی و آیینه و فیلتر به گیرنده نوری دستگاه هدایت می شود تا پس از جمع کردن کل محدوده طیف مرئی به عنوان نتایج کانال های قرمز، سبز و آبی اعلان گردد [۹]. در حسگرهای^{۱۱} متداولی که در پوششگرها بکار می روند حساسیت حسگر در حالت ایده آل خطی بوده و خروجی دستگاه را می توان بصورت زیر نشان داد [۹-۸].

$$t_i = \int f_{i,\lambda} \cdot d_\lambda \cdot r_\lambda \cdot I_{s,\lambda} \cdot d\lambda$$

$$= \int m_{i,\lambda} \cdot r_\lambda \cdot d\lambda \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

که در آن t_i عکس العمل پوششگر برای i امین کانال است. $\{f_{i,\lambda}\}_{i=1}^3$ انتقال طیفی فیلترهای رنگی و یا سایر اجزای نوری پوششگر است و d_λ حساسیت طیفی گیرنده نوری بکار رفته در دستگاه می باشد. ضریب $I_{s,\lambda}$ توزیع تشعشعات طیفی منبع نوری بوده و r_λ انعکاس طیفی نقطه پوشش شده در تصویر است. در چنین حالتی $m_{i,\lambda} = I_{s,\lambda} \cdot d_\lambda \cdot f_{i,\lambda}$ نیز بطور کلی حساسیت طیفی کانال i ام پوششگر شامل اثر منبع، حساسیت گیرنده و انتقال طیفی قسمت های نوری دستگاه خواهد بود. معادله (۷) را در شکل گسسته بصورت (۸) نیز می توان نشان داد.

$$t = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M^T \cdot r \quad (8)$$

که در آن t عکس العمل R و G و B پوششگر و r بردار $N \times 1$ انعکاس (یا انتقال) طیفی جسم و M یک ماتریس $N \times 3$ است

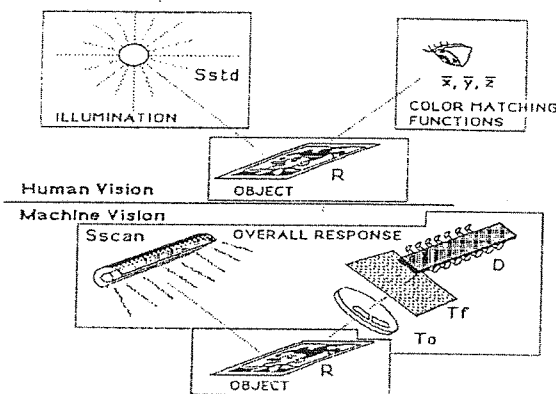
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{3 \times 1} = A_{3 \times 16}^T \times T_{16 \times 1} \quad (6)$$

که در رابطه اخیر ماتریس A^T ترانزاده^{۱۲} ماتریس A است. همان گونه که از معادله ۶ مشخص است در صورت اطلاع از

مقادیر محرکه های سه گانه جسم یعنی $\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$ و A امکان

محاسبه مقدار انتقال طیفی جسم یعنی T وجود نخواهد داشت زیرا در این حالت ماتریس A غیرمربع است و معکوس پذیر نیست. به دلیل درجه ناپذیری زیاد سیستم (۳ معادله و ۱۶ مجهول) تخمین T با استفاده از شبه معکوس ماتریس^{۱۳} نیز منجر به جوابهای قابل قبولی نمی شود [۷].

علاوه بر کالریتر دستگاههایی نیز وجود دارند که مقادیر محرکه های رنگی یک جسم را به صورت مقادیر R و G و B اندازه گیری می نمایند و تحت عنوان کلی دانسیتومتر^{۱۴} شناخته می شوند [۷]. پوششگرها^{۱۱} که استفاده از آنان در سالهای اخیر بسیار متداول شده است از جمله متداولترین نوع دانسیتومترها برای بیان رنگ اجسام هستند. اگرچه در پوششگرها تلاشی در جهت تقلید حساسیت طیفی مشاهده کننده استاندارد صورت نگرفته است ولی به دلیل شباهت بسیار زیاد نحوه اندازه گیری رنگ اجسام با این دستگاه ها به مکانیزم درک و محاسبه محرکه های رنگی توسط انسان که در شکل ۱ نشان داده شده است امکان توصیف رنگی یک پوششگر توسط روشهایی مانند رگرسیون، جداول مقایسه ای^{۱۵} و شبکه های عصبی میسر است [۸].



شکل (۱): مقایسه بین نحوه دریافت رنگ توسط یک مشاهده کننده انسانی و دستگاه پوششگر

$$\hat{T} = E_i \cdot a_i \quad (9)$$

به نحویکه $E_i = [e_1, e_2, \dots, e_i]$ بردار ویژه بوده و ضرائب توسط $a_i = [a_1, a_2, \dots, a_i]$ بیان می گردند.

منحنی های انتقالی یا انعکاسی بسیاری از سطوح و محلول های مواد رنگزای معمولی در محدوده طیف مرئی تغییرات بسیار آرامی در مقابل طول موج دارند [15]. این همواری را می توان مطابق (9) توسط یک مدل خطی که در آن مقدار انتقال (یا انعکاس) هر جسم به صورت جمع مقادیر وزن داده شده توابع پایه^۲ (بردارهای ویژه) $e_{k,\lambda}$ هستند نشان داد:

$$T(\lambda) = \sum_k a_k e_{k,\lambda} \quad (10)$$

که در آن ضرائب وزنی و $k = 1, 2, \dots, N$ هستند. اگر توابع پایه به نحو مناسب و در حد ممکن کم انتخاب شوند از آنان می توان برای تخمین بسیار مناسب منحنی های انتقالی استفاده کرد. لذا ترم T_λ در معادله 7 را می توان با تقریب ذکر شده جابجا و معادله مذکور را به صورت زیر نشان داد:

$$t = \sum_{\lambda=400}^{700} m_{i,\lambda} \left[\sum_k a_k e_{k,\lambda} \right] \quad (11)$$

از آنجا که $m_{i,\lambda}$ و $e_{k,\lambda}$ تمامی مشخص هستند معادله (11) را می توان بر اساس خواص ماتریس ها همانگونه که در زیر نشان داده شده است، بصورت P معادله و N مجهول بازنویسی کرد.

$$t = La \quad (12)$$

به نحوی که a بردار ستونی ضرائب و t در حال حاضر یک بردار ستونی $P \times 1$ از مقادیر خروجی پوششگر و L نیز یک ماتریس $P \times N$ باشد که در واقع حاصل ضرب منبع نوری و حساسیت گیرنده (شامل خصوصیات طیفی قطعات نوری بکاررفته در آن) و توابع پایه است. برای بدست آوردن a لازم است معادله (12) حل گردد:

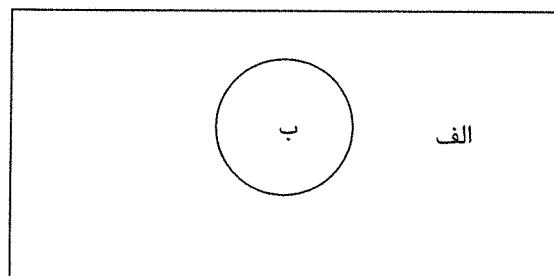
$$a = L^+ \times t \quad (13)$$

که در آن L^+ شبه معکوس یا ماتریس معکوس Moore-Penrose است. در صورت محاسبه مقدار a اجزاء این بردار ضرائب وزنی a_k را مستقیماً فراهم می آورند و آنگاه محاسبه انتقال (انعکاس) طیفی با استفاده از رابطه 10 میسر خواهد بود. در نظرگرفتن این فرض که $m_{i,\lambda}$ و $e_{k,\lambda}$ همگی مشخص باشند، منطقی است زیرا $m_{i,\lambda}$ را می توان در یک شرایط مشخص اندازه گرفت و یا تخمین زد. تابع پایه $e_{k,\lambda}$ را نیز

که در واقع ستون i ام آن یعنی m_i حساسیت طیفی کانال i ام و بالا نویس T نشان دهنده ترانهاده است. همانگونه که مشاهده می شود شباهت (7) به معادلات (1) تا (3) و معادله (8) به معادله (6) انکار ناپذیر است و لذا مشابه توضیحی که در بخش مقدمه ارائه شد بدست آوردن مقادیر انتقال (یا انعکاس) طیفی جسم در 16 طول موج طیف مرئی از روی محرکه رنگی جسم در پوششگر یعنی R و G و B از روش های معمول غیرممکن است.

روش های مختلفی برای پیشگویی مقادیر انعکاس (انتقال) طیفی اجسام ارائه شده است [1-3] [10-13]. در مقالاتی که در سال های اخیر منتشر گشته است استفاده از مدل های خطی^۳ مانند تجزیه عناصر اصلی^۴ که اختصاراً (PCA) نامیده می شود با استفاده از مقادیر ویژه^۴، بردار ویژه^۷ و مقدار منفرد^۸ مورد تاکید قرار گرفته است. بطورکلی در چنین روش هایی یک مجموعه شامل n منحنی انتقال طیفی در نظرگرفته می شود که هر یک از آنان 16×1 عضو دارد. این مجموعه از کنار هم قرار دادن بردارهای مقادیر انتقالی هر محلول در یک سری از محلول ها در فواصل 20 نانومتری در حدفاصل بین 400 تا 700 نانومتر ایجاد شده است. با استفاده از روش تجزیه اجزاء اصلی $16 \times (16 \times 1)$ بردار ویژه $\{e_1, e_2, \dots, e_{16}\}$ و برای هر نمونه نظیر $\{a_1, a_2, \dots, a_{16}\}$ مقدار ویژه می توان محاسبه نمود. در صورتیکه مقادیر ویژه بصورت نزولی مرتب شوند مشاهده خواهد شد که مقادیر مذکور برای چند ردیف اولیه به ترتیب بیشترین است و سپس از مقدار آنان کاسته می شود. بردارهای ویژه در واقع بردارهای پایه فضایی هستند که در کاربرد فعلی برای تشکیل منحنی انتقال طیفی آنان را می توان در یک شکل فضایی 16 بعدی تصور نمود. لذا هر بردار 16×1 را می توان بصورت ترکیب خطی از 16 بردار ویژه e_i تا e_{16} نوشت. در چنین حالتی اگر چند بردار اهمیت بیشتری داشته باشند می توان با پذیرش خطا، صرفاً چند بردار مهم را در نظر گرفت و از بقیه آنان صرف نظر کرد. با توجه به تغییرات بسیار آرام^۹ منحنی های انتقالی (انعکاسی) در نمونه های رنگی معمول، اثبات شده است که با استفاده از بزرگترین سه بردار ویژه نظیر سه مقدار ویژه که در صورت مرتب نمودن در سه ردیف اول قرار می گیرند، می توان صفات مشترک بسیاری از منحنی های انتقالی (انعکاسی) را پوشش داد [14]. در اینصورت انتقال طیفی تخمین زده شده یعنی \hat{T} را می توان بصورت رابطه زیر نوشت:

R و G و B برای هر محلول کاملاً یکسان باشد. جدول شماره ۲ اطلاعات رنگی مذکور را برای محلول های مختلف نشان می دهد. در این جدول مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه برای هر یک از مولفه های رنگی هر محلول نشان داده شده اند. از آنجا که اختلاف قابل توجهی در بررسی آماری مولفه ها مشاهده نشد لذا از میانگین مقادیر R و G و B هر محلول به عنوان مقادیر محرکه های رنگی آن محلول استفاده شد.



الف: صفحه پوشگر که توسط مقوای سفید پوشیده شده است
ب: ظرف محتوی محلول رنگزا که توسط مقوای سفید پوشیده شده است
شکل (۲): نحوه تهیه مقادیر محرکه های رنگی محلولهای مواد رنگزا با استفاده از پوشگر

به منظور بازسازی منحنی انتقال طیفی از روش تجزیه اجزای اصلی استفاده شد. مقادیر انتقال طیفی محلولها که در ۱۶ طول موج با فواصل ۲۰ نانومتری در فاصله ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر اندازه گیری شده بودند در ماتریس T به اندازه ۱۵×۱۶ قرار گرفته و با ضرب نمودن ماتریس T در ترانهاده اش، ماتریس مربعی ساخته شد که مقادیر ویژه و بردار ویژه آن محاسبه شد. با منظم ساختن مقادیر ویژه بصورت نزولی و مشاهده اختلاف بین سه مقدار بزرگتر و مقادیر بعدی، سه بردار نظیر آنان از بردارهای ویژه که توابع پایه نامیده می شوند، انتخاب شدند.

برای بررسی نقش نمونه های انتخابی در نتایج حاصل سه بانک اطلاعاتی^{۲۳} دیگر نیز با استفاده از اطلاعات هر رنگزا به تنهایی تهیه شد. به بیان دیگر از چهار بانک اطلاعاتی به منظور تهیه توابع پایه استفاده شد که یک بانک شامل تمامی محلولهای رنگی و سه بانک دیگر شامل محلولهای هر رنگزا به تنهایی بودند. در شکل شماره ۳ توابع مذکور برای هر یک از چهار بانک اطلاعاتی تشکیل شده نشان داده شده است.

همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می شود در این تحقیق تنها از سه بردار ویژه استفاده شده است و در واقع در چنین حالتی در رابطه ۱۲ تنها سه مقدار ویژه در نظر گرفته شده است که منجر به مربع شدن ماتریس A شده به نحویکه اندازه آن ۳×۳ خواهد شد. بدیهی است در چنین حالتی نیازی به استفاده

می توان با استفاده از یک مجموعه^{۲۱} مناسب از منحنی های انتقالی به دست آورد.

۳- اصول تجربی

در این تحقیق از سه رنگزای کاتیونیک زرد، قرمز و آبی با مشخصات ذکر شده در جدول شماره ۱ استفاده شد.
جدول ۱: مشخصات رنگزاهای بکارگرفته شده و غلظت های مورد

استفاده

| غلظت های مورد استفاده g.l ⁻¹ | C.I. Basic | نام تجاری رنگزا |
|---|------------|-------------------------------|
| ۰/۰۲ و ۰/۰۴ و ۰/۰۵ و ۰/۰۶ | Yellow 28 | Maxilon Golden Yellow RL 200% |
| ۰/۰۲ و ۰/۰۴ و ۰/۰۶ و ۰/۰۸ | Red 46 | Maxilon Red GRL 180% |
| ۰/۰۲ و ۰/۰۴ و ۰/۰۶ و ۰/۰۸ | Blue 41 | Maxilon Blue GRL 300% |

رنگزاهای مذکور در غلظت های مختلفی تهیه و مقدار انتقال طیفی آنان در حدفاصل ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر انتقالی-انعکاسی Cary 300 اندازه گیری شد. به منظور فراهم آوردن اطلاعات رنگی محلول های مذکور ۱۰۰ میلی لیتر از هر محلول در یک پتری دیش^{۲۲} ریخته شد و ظرف مذکور بر روی صفحه پوشگر از نوع Epson 8000GT قرار داده شد. برای جلوگیری از خروج نور از محلول های شفاف که تهیه شده بودند سطح ظرف نگهدارنده محلول با استفاده از یک مقوای سفید پوشیده شد. هم چنین بقیه سطح پوشگر به منظور عدم ورود نور ناخواسته، توسط مقوای مذکور پوشانده شد و مقادیر R و G و B تمامی محلول های در شرایط مذکور بدست آمد. به دلیل انحراف عکس العمل های پوشگر در مقابل شدت نور تابیده شده از حالت خطی، به منظور خطی نمودن خروجی های پوشگر تصحیح گاما با استفاده از یک سری ۵ تایی از نمونه های خاکستری انجام گرفت [۷]. شکل شماره ۲ نحوه استفاده از دستگاه پوشگر و اندازه گیری مقادیر محرکه های رنگی توسط این وسیله را نشان می دهد.

۴- روش کار

پس از اندازه گیری محرکه های سه گانه R و G و B هر محلول ابتدا مرکز تصاویر تهیه شده تعیین و از هر محلول تصویری به اندازه ۱۰۰×۱۰۰ نسبت به مرکز هر تصویر تهیه شد. علت کوچکتر کردن تصویر حذف اطلاعات حاصل از کناره ظرف بود که می توانست به دلیل وجود نور ناخواسته و یا تاثیر لبه های ظرف نگهدارنده چندان صحیح نباشد. به دلیل یکنواختی مناسب محلول ها که ناشی از حلالیت بسیار بالای رنگزاهای بکار رفته بود، انتظار می رفت که مقادیر محرکه های

نمونه بدست آمده است، به سادگی میسر است. سپس با استفاده از ضرایب بدست آمده می توان مقدار انتقال طیفی هر محلول را طبق رابطه (۱۰) به دست آورد.

از شبه معکوس ماتریس برای معکوس نمودن L که منجر به پیدایش خطا می‌گردد، نخواهد بود و مقدار a را می توان به سادگی از طریق رابطه زیر محاسبه کرد:

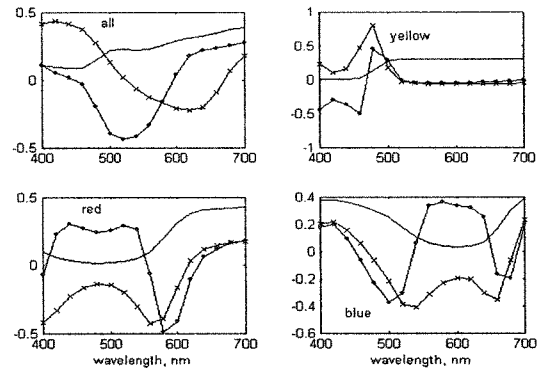
$$a = L^{-1} \times t \quad (14)$$

لذا پس از بدست آوردن توابع پایه، محاسبه مقدار a از رابطه (۱۴) با توجه به اطلاعات R و G و B که از پوششگر برای هر

جدول (۲): مشخصات رنگی محلول های مورد استفاده

| بیشترین مقدار | | | کمترین مقدار | | | میانگین | | | مشخصات محلول |
|---------------|-----|-----|--------------|-----|-----|---------|-------|-------|-----------------------|
| B | G | R | B | G | R | B | G | R | |
| ۱۲۱ | ۱۹۷ | ۱۹۳ | ۱۰۹ | ۱۸۵ | ۱۸۱ | ۱۱۶/۸ | ۱۹۲/۸ | ۱۸۸/۸ | زرد افزایش غلظت ↓ |
| ۱۱۷ | ۱۹۸ | ۱۹۵ | ۱۰۵ | ۱۸۹ | ۱۸۶ | ۱۱۰/۷ | ۱۹۳/۹ | ۱۹۰/۳ | |
| ۱۱۸ | ۱۹۸ | ۲۰۴ | ۱۰۲ | ۱۸۷ | ۱۸۳ | ۱۰۷/۲ | ۱۹۲/۲ | ۱۸۸/۲ | |
| ۱۱۱ | ۲۰۱ | ۱۹۶ | ۹۴ | ۱۸۴ | ۱۷۹ | ۱۰۲/۶ | ۱۹۲/۳ | ۱۸۸/۱ | |
| ۱۰۲ | ۱۹۵ | ۱۹۳ | ۹۷ | ۱۸۷ | ۱۸۴ | ۱۰۰/۱ | ۱۹۱/۰ | ۱۸۸/۸ | |
| ۵۰ | ۵۴ | ۱۴۲ | ۳۷ | ۴۱ | ۱۲۹ | ۴۴ | ۴۷/۸ | ۱۳۶/۴ | قرمز افزایش غلظت ↓ |
| ۴۸ | ۳۸ | ۱۴۱ | ۲۷ | ۱۳ | ۱۱۵ | ۳۶/۱ | ۲۸/۳ | ۱۲۹/۷ | |
| ۵۰ | ۳۸ | ۱۴۷ | ۲۱ | ۷ | ۱۰۵ | ۲۳/۲ | ۱۷/۰ | ۱۲۵/۰ | |
| ۳۸ | ۲۹ | ۱۳۰ | ۱۸ | ۰ | ۱۰۴ | ۲۷/۸ | ۹/۷ | ۱۲۰/۷ | |
| ۲۹ | ۱۹ | ۱۲۶ | ۸ | ۰ | ۱۰۴ | ۱۸/۵ | ۲/۶ | ۱۱۶/۹ | |
| ۱۳۰ | ۷۷ | ۶۵ | ۱۲۶ | ۷۳ | ۶۲ | ۱۲۸/۵ | ۷۶/۳ | ۶۴/۴ | آبی افزایش غلظت ↓ |
| ۱۱۲ | ۴۷ | ۴۶ | ۱۰۷ | ۴۲ | ۴۱ | ۱۰۸/۵ | ۴۳/۵ | ۴۲/۵ | |
| ۹۵ | ۱۸ | ۲۶ | ۸۸ | ۸ | ۱۵ | ۹۱/۴ | ۱۲/۴ | ۱۹/۵ | |
| ۷۹ | ۵ | ۶ | ۷۱ | ۰ | ۰ | ۷۶/۳ | ۲/۱ | ۳/۳ | |
| ۷۴ | ۶ | ۵ | ۶۵ | ۰ | ۰ | ۶۷/۶ | ۱/۱ | ۱/۵ | |

به همراه مقادیر واقعی در شکل‌های (۴) تا (۶) نشان داده شده‌اند. همان گونه که در این شکل ها مشخص است، استفاده از بانکهای اطلاعاتی اختصاصی برای هر رنگزا منجر به کسب مقادیر نزدیکتر به مقادیر واقعی گشته است و این نتیجه به دلیل اشتراک بیشتر صفات در چنین حالتی بدست آمده است.



all: تمامی رنگها با یکدیگر، yellow: تنها رنگزای زرد

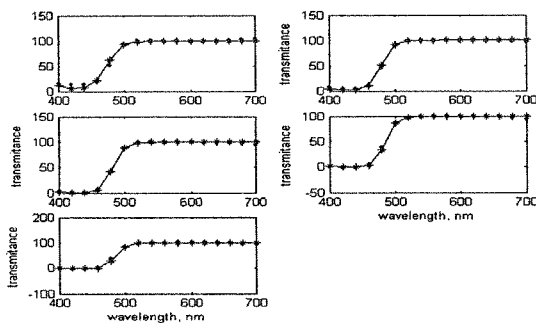
red: تنها رنگزای قرمز، blue: تنها رنگزای آبی

pc1: _____ pc2: +++ pc3: ●●●

شکل (۳): سه بردار ویژه برای بانک اطلاعاتی حاصله از محلولهای اندازه گیری شده

۵- نتایج و بحث

شکل های انتقال طیفی بازسازی شده با استفاده از دو الگوریتم استفاده از کلیه رنگها در تعیین مقادیر و بردارهای ویژه و استفاده از بانکهای اطلاعاتی محلول هر رنگزا به تنهایی



انتقال اندازه گیری شده
× بازسازی شده با بانک اطلاعاتی کلی
● بازسازی شده با بانک اطلاعاتی هر رنگزا
شکل (۴): بازسازی منحنی های انتقال طیفی برای محلول هایی از رنگزای زرد در ۵ غلظت مختلف

با استفاده از شبه معکوس ماتریس یعنی رابطه (۱۴) میسر است.

$$a = L^+ \times t \quad (14)$$

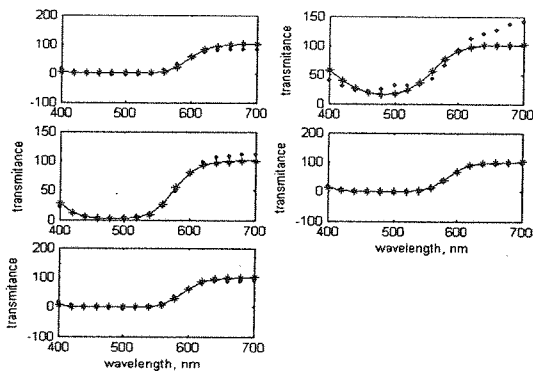
در هر حال استفاده از شبه معکوس ماتریس مشکل ناپایداری سیستم را در پی دارد و هم اکنون نتایج استفاده از این روش در یک بانک اطلاعاتی بزرگتر توسط مولفین در باسازی منحنی های انتقالی محلول ها در دست بررسی است. به منظور مقایسه دقیقتر نتایج بازسازی منحنی های انتقالی با دو روش ذکر شده با مقادیر واقعی اندازه گیری شده از معادله (۱۵) استفاده شد.

$$\%ER = \frac{\sum_{\lambda=400}^{700} |T_{a,\lambda} - T_{p,\lambda}|}{16 T_{a,\lambda}} \times 100 \quad (15)$$

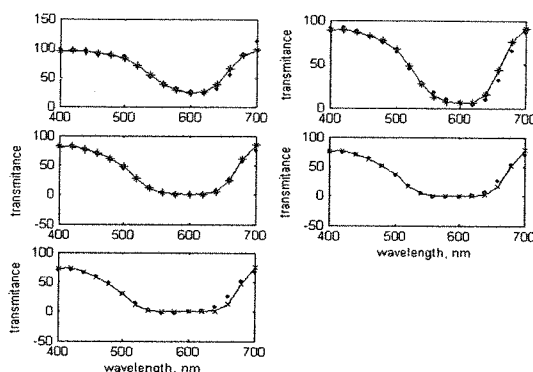
که در آن ER نشاندهنده متوسط درصد خطا برای هر نمونه در محدوده طیف مرئی و $T_{a,\lambda}$ و $T_{p,\lambda}$ به ترتیب مبین مقدار انتقال طیفی واقعی و تخمین زده هستند. نتایج ناشی از بکارگیری رابطه مذکور در جدول شماره ۳ نشان داده شده اند. جدول (۳): درصد خطا برای محلول رنگها با استفاده از بانکهای اطلاعاتی متفاوت.

| مشخصات محلول | استفاده از بانک اطلاعاتی کلی | استفاده از بانک اطلاعاتی اختصاصی |
|---------------|------------------------------|----------------------------------|
| زرد | ۳/۴۲ | ۰/۰۲ |
| افزایش غلظت ↓ | ۱/۶۸ | ۰/۰۸ |
| | ۱/۳۱ | ۰/۰۹ |
| | ۱/۹۱ | ۰/۰۹ |
| | ۲/۶۲ | ۰/۰۵ |
| قرمز | ۷/۹۸ | ۰/۴۱ |
| افزایش غلظت ↓ | ۱۴/۳۹ | ۰/۰۷ |
| | ۴/۲۸ | ۰/۴۴ |
| | ۱/۹۷ | ۰/۴۸ |
| | ۵/۳۰ | ۰/۳۱ |
| آبی | ۴/۰۲ | ۰/۰۶ |
| افزایش غلظت ↓ | ۳/۵۷ | ۰/۲۵ |
| | ۱/۷۶ | ۰/۳۵ |
| | ۲/۵۶ | ۰/۱ |
| | ۳/۳۶ | ۰/۱۹ |

مجدداً نتایج این جدول نیز نشاندهنده کمتر بودن مقدار خطا در بازسازی تابع انتقال طیفی در صورت استفاده از مجموعه اطلاعات نزدیک به هم است، اگرچه استفاده از بانک اطلاعاتی کلی نیز منجر به پیدایش مقادیر خطای بزرگ نگردیده است. در واقع در بازسازی منحنی های انتقال طیفی در صورت استفاده



شکل (۵): بازسازی منحنی های انتقال طیفی برای محلول هایی از رنگزای قرمز در ۵ غلظت مختلف



شکل (۶): بازسازی منحنی های انتقال طیفی برای محلول هایی از رنگزای آبی در ۵ غلظت مختلف

همانگونه که شکل های (۴) تا (۶) نشان می دهند، سنتز منحنی انتقال طیفی با استفاده از بانک اطلاعاتی هر رنگزا بطور انفرادی منجر به کسب نتایج بسیار مناسبتری در مقایسه با هنگامیکه از بانک اطلاعاتی کلی استفاده شود می گردد. بدیهی است استفاده از سه تابع پایه در هر دو حالت منجر به پوشش بسیار کاملتر محلول رنگها در حالتی که رنگها شباهت بسیار زیادی به یکدیگر دارند شده است و کسب نتیجه بهتر در هنگام استفاده از بانک اطلاعاتی کلی محلول رنگها، نیازمند استفاده از تعداد بیشتری از توابع پایه است. بدیهی است در این حالت مقدار N یعنی تعداد توابع پایه بزرگتر از تعداد خروجی های پوشگر یعنی ۳ شده و در اینصورت L در معادله ۱۴ مربع نخواهد بود. این امر بدین مفهوم است که محاسبه مقدار a تنها

استفاده از مقادیر رنگی حاصل از پویشگر امکان بازسازی منحنی انتقالی بدون نیاز به استفاده از شبه معکوس ماتریس ها که می تواند منجر به بروز خطا گردد، میسر است. دقت در بازسازی منحنی های انتقالی به نحو محسوسی به نحوه نمونه برداری وابسته است و در صورت استفاده از نمونه های مناسب دقت در سنتز مقادیر انتقال طیفی بسیار بالا ست.

۷- تقدیر و تشکر

از دانشگاه صنعتی اصفهان به دلیل حمایت مالی در اجرای طرح پژوهشی تشکر و قدردانی می شود. نویسندگان مقاله از آقای مهندس ایزدان که در اجرای این طرح همکاری موثری داشتند و به دلیل ادامه تحصیل در خارج از کشور امکان تداوم همکاری ایشان میسر نشد، تشکر می کنند.

از بانک اطلاعاتی حاوی صفات مشترک بیشتر، بازسازی آنان بطور کاملتری میسر است در حالی که در صورت بکارگیری بانک اطلاعاتی کلی، علیرغم مناسب بودن منحنی های بازسازی شده، نتایج به دقت روش دیگر نیست.

۶- نتیجه گیری کلی

بازسازی منحنی انتقال طیفی از طریق اطلاعات رنگی R و G و B توسط یک پویشگر، با استفاده از مدل خطی تجزیه اجزاء اصلی با دقت مطلوبی میسر است. بدین منظور لازم است تا ابتدا مقادیر و بردارهای ویژه برای مجموعه مناسبی از منحنی های انتقالی تعیین شود. نتایج این تحقیق نشان می دهند که به دلیل برخورداری از صفات مشترک فراوان و آرام بودن نحوه تغییرات انتقال طیفی در محدوده مرئی، تنها بکارگیری سه بردار ویژه که بیشترین مقدار ویژه نظیر را دارند برای بازسازی منحنی های انتقال طیفی کافی است. در این حالت با

مراجع

- 312, 2001.
- Morovic, J., and Morovic, P., "Determining Color Gamuts of Digital Cameras and Scanners", *Color Res.&Appl. J.*, vol. 28, pp. 59-68, 2003. [۱۱]
- Dupont, D., "Study of the Reconstruction of Reflectance Curves Based on Tristimulus Values: Comparison of Methods of Optimization", *Col. Res.&Appl. J.*, vol. 27, pp. 88-99, 2002. [۱۲]
- Imai, F.H., Berns, R.S., and Tzeng, D.Y., "A Comparative Analysis of Spectral Reflectance Estimated in Various Spaces Using a Trichromatic Camera System", *J. Imaging Science*, vol. 44, pp. 280-287, 2000. [۱۳]
- Maloney, L.T., "Evaluation of Linears Models of Surface Spectral Reflectance with Small Numbers of Parameters", *J. Opt. Soc. Am., A* 1986, vol. 3, pp. 1973-1683. [۱۴]
- Garcia-Bltran, A., Nieves, J.L., Hernandez-Andres, J., nad Romero, J., "Linear Bases for Spectral Reflectance Functions of Acrylic Paints", *Col. Res.&Appl. J.*, vol. 23, pp. 39-45, 1998. [۱۵]
- Hawkyard, C.J., "Synthetic Reflectance Curves by Subtractive Color Mixing", *JSDC*, vol. 109, pp. 246-251, 1993. [۱]
- Hawkyard, C.J., "Synthetic Reflectance Curves by Additive Color Mixing", *JSDC*, vol. 109, pp. 323-329, 1993. [۲]
- Berns, R.S., "Synthetic Reflectance Curves", vol. 110, pp. 386-389, 1994. [۳]
- Blanco, M, Coello, J, Gene, J., Iturriaga, H., and Maspoch, S., "Simultaneous Multiwavelength Spectrophotometric Determination of 1:2 Metal-Complex Dyes for Leather", *JSDC*, vol. 111, pp. 199-202, 1995. [۴]
- Grum, F., and Bartleson, C.J.; *Optical Radiation Measurements*; 33, Academic Press, 1980. [۵]
- McDonald, R.; *Colour Physics for Industry*; Dyers' Company Publications Trust, 1987. [۶]
- Berns, R.S.; Billmeyer and Saltzman's *Principles of Color Technology*; 3rd ed., Wiley, 2000. [۷]
- MacDonald, L.W., and Luo, M.R.; *Colour Image Science*; John Wiely&Sons, 2002. [۸]
- Engeldrum, P.G., "Color Scanner Colorimetric Design Requirements", *SPIE*, 1909, 75-82. [۹]
- Connah, D., Westland, S., and Thomson, M.G.A., "Recovering Spectral Information Using Digital Camera System", *Color. Technol.*, vol. 117, vol. 309- [۱۰]

زیر نویس ها

| | | | | |
|---------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|---------------|
| ۱ Spectral Behavior | ۶ Tristimulus values | ۱۱ Scanner | analysis | ۲۱ Set |
| ۲ Affinity | ۷ Spectral power | ۱۲ Look-up table | ۱۶ Eigenvalues | ۲۲ Petri dish |
| ۳ Colorimetry | ۸ Transpose | ۱۳ Sensor | ۱۷ Eigenvector | ۲۳ Data set |
| ۴ Spectrophotometer | ۹ Matrix pseudo inverse | ۱۴ Linear models | ۱۸ Singular value | |
| ۵ Colorimeter | ۱۰ Densitometer | ۱۵ Principal component | ۱۹ Smooth | |
| | | | ۲۰ Basis functions | |