

مطالعه همبستگی بین محرکه‌های حاصل از اسکنر و محرکه‌های سی‌ای‌ای

حسین ایزدان* و سید عبدالکریم حسینی راوندی**

دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۷۸/۵/۶ - دریافت نسخه نهایی: ۷۸/۱۲/۹)

چکیده - در این تحقیق ارتباط بین محرکه‌های حاصل از اسکنر^۱ (RGB) و محرکه‌های سه‌گانه^۲ سی‌ای‌ای^۳ (XYZ) توسط روش رگرسیون با چند جمله‌ایهای مختلف برای پارچه‌های پلی‌استر به دست آمده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که افزایش درجه و تعداد جملات چندجمله‌ای باعث افزایش دقت رنگی^۴ می‌شود. همچنین مشخص شد که فرایند انتقال RGB به XYZ بستگی به نوع کالا داشته و نیز نحوه انتخاب رنگها برای نمونه‌های کالیبراسیون اولیه مهمتر از تعداد نمونه‌های کالیبراسیون اولیه است. استفاده از نمونه‌های کالیبراسیون با خصوصیات رنگی نزدیکتر به نمونه‌های مجهول سبب بهبود نتایج می‌شود.

Correlation Between Scanner Response and CIE Tristimulus Values

H. Izadan and S. A. Hosseini Ravandi

Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology

ABSTRACT- *In this study, a relationship between scanner response (RGB) and CIE tristimulus values (XYZ) is established by regression technique with different polynomials for colored polyester fabrics. The results showed that the transformation process is material dependent and higher order polynomials will fit the experimental data better than lower polynomials. The results also showed that the way the colors are chosen for primary calibration samples is more important than the number of samples. Using calibration samples with color characteristics closer to unknown samples leads to better results.*

*- مربی ** - استادیار

فهرست علائم

محركه‌های رنگی سی‌آی‌ای	X, Y, Z	انعكاس طیفی	R	محركه‌های رنگی اسكنر	R, G, B
طول موج	λ	توزیع طیفی منبع نوری	S	حساسیت آشكارساز	D
		انتقال طیفی	T	انرژی طیفی منبع نوری	E

۱- مقدمه

به طور معمول، اندازه‌گیری دقیق رنگ نیاز به استفاده از کالریومتر یا اسپکتروفوتومتر دارد [۱-۳]. اخیراً استفاده از دستگاه‌های دیگری برای اندازه‌گیری رنگ مورد توجه قرار گرفته است که می‌توان از دوربین ویدیویی و اسکنر نام برد [۴-۱۰]. عنوان می‌شود که دوربین ویدیویی به دلیل عدم اتصال نمونه به دهانه اندازه‌گیری می‌تواند برای اندازه‌گیری رنگ نمونه‌هایی که به اشعه منبع نوری حساسیت دارند مثل تابلوهای نقاشی قدیمی، بدون هیچ گونه مشکلی استفاده شود. مقالات منتشر شده در این زمینه مشخص می‌سازند که در این روش اندازه‌گیری اختلاف رنگ بین مشخصات اندازه‌گیری شده با دوربین و توسط اسپکتروفوتومتر و نیز خطای تکرارپذیری تا حد قابل قبول کاهش یافته است [۶].

همچنین مقالات منتشر شده در مورد اندازه‌گیری رنگ توسط اسکنر نیز نمایانگر این امر است که دقت رنگی اسکنر با استفاده از روشهای مختلف کالیبراسیون در حد قابل قبول قرار گرفته است. هدف از این پژوهش استفاده از اسکنر برای اندازه‌گیری محركه‌های سه‌گانه پارچه رنگی و به دست آوردن روشهایی مناسب برای افزایش دقت رنگی اسکنر در این زمینه است.

۲- کارهای انجام شده قبلی

۱-۲- ساختمان اسکنر

شکل (۱) اختلاف بین سیستم بینایی انسان و دستگاه اسکنر را نمایش می‌دهد. حساسیت اسکنر از عوامل زیر پیروی می‌کند:

- حساسیت آشكارساز $[D(\lambda)]$

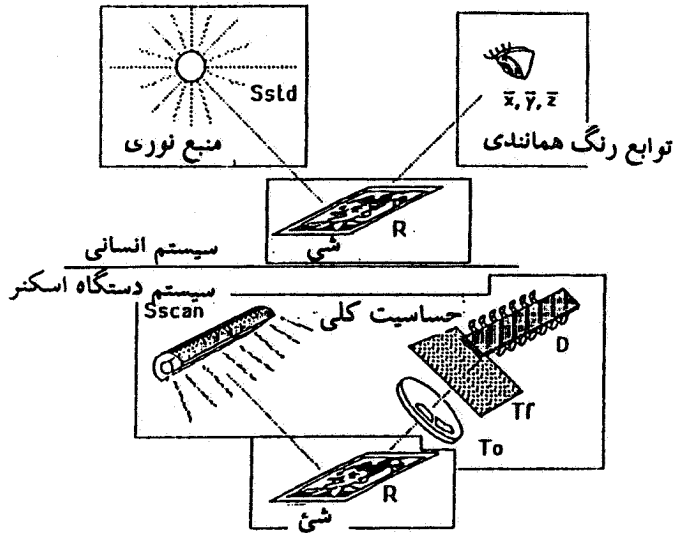
- توزیع طیفی منبع نوری اسکنر $[S_{scan}(\lambda)]$

- انتقال طیفی لنزهای نوری $[T_o(\lambda)]$

- انتقال طیفی فیلترها $[T_f(\lambda)]$

- انعكاس یا انتقال طیفی شیء $[R(\lambda)]$

از طرفی دیگر حساسیت سیستم بینایی به صورت زیر تعیین می‌شود:



شکل ۱- مقایسه سیستم بینایی انسان و دستگاه اسکنر [۷]

- توزیع طیفی منبع نوری $[S_{std}(\lambda)]$

- حساسیت‌های طیفی سیستم بینایی انسان که فرض می‌شود انتقال خطی توابع رنگ همانندی CIE $[\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)]$ است.

- انعكاس یا انتقال طیفی شیء $[R(\lambda)]$

خروجی هر دو سیستم به صورت توابع زیر بیان می‌شود:

$$R_{eR} = \int S_{scanR}(\lambda) R(\lambda) T_{oR}(\lambda) T_{fR}(\lambda) D_R(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

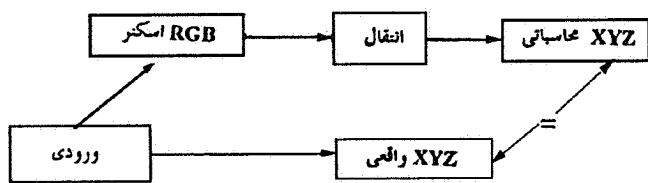
$$R_{eG} = \int S_{scanG}(\lambda) R(\lambda) T_{oG}(\lambda) T_{fG}(\lambda) D_G(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

$$R_{eB} = \int S_{scanB}(\lambda) R(\lambda) T_{oB}(\lambda) T_{fB}(\lambda) D_B(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

$$X = \int S_{std}(\lambda) R(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

$$Y = \int S_{std}(\lambda) R(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

$$Z = \int S_{std}(\lambda) R(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (6)$$



شکل ۲- نمودار کالیبراسیون کالریمتریک اسکتر

حاصله از اسکتر به مقادیر کالریمتریک استفاده از ماتریس $3 \times n$ است که n بین ۳ تا ۶۴ متغیر است. در واقع در این روش از رگرسیون ساده یا چندمتغیره استفاده می‌شود. شکل (۲) نموداری کلی از نحوه عمل را ارائه می‌دهد.

قسمت اصلی کالیبراسیون اسکتر، عمل انتقال است. اخیراً کارهای زیادی ارائه شده است که در آنها کالیبراسیون اسکتر با استفاده از تکنیکهای مختلفی مانند رگرسیون ساده، معادله‌های نئوجیری^{۱۲}، رگرسیون چندمتغیره و جدول مرجع با درونیابی و برونیابی صورت گرفته است.

در روش رگرسیون چندمتغیره نحوه عمل به صورت زیر است:

- ۱- محاسبه محرکه‌های رنگی اسکتر (RGB) نمونه‌های هدفی
- ۲- اندازه‌گیری XYZ تمامی نمونه‌های هدفی
- ۳- ارتباط دادن RGB به Y یا L^* توسط استفاده از نتایج نمونه‌های خاکستری هدفی برای به دست آوردن منحنیهای تراز خاکستری
- ۴- تبدیل RGB اسکتر به RGB تراز خاکستری برای همه نمونه‌های رنگی.
- ۵- محاسبه ماتریس انتقال با روش رگرسیون چندمتغیره که RGB تراز خاکستری نمونه‌های رنگی را به مقادیر سی‌ای‌ای همانند کند.
- ۶- انتقال محرکه‌های اسکتر به فضای رنگی^{۱۳} سی‌ای‌ای با استفاده از ماتریس انتقال.

۲-۳-۱- RGB تراز خاکستری

RGB تراز خاکستری توسط معادله زیر برای نمونه‌های

خاکستری در نمونه‌های هدفی تعریف می‌شود

$$R=G=B=Y \text{ (or } L^*) \quad (V)$$

با به دست آوردن RGB از اسکتر و اندازه‌گیری Y یا L^* نمونه‌های

که R_{eR} ، R_{eG} و R_{eB} محرکه‌های اسکتر و X، Y و Z مقادیر محرکه‌های سه‌گانه "سی‌ای‌ای" هستند. برای برآزش شرایط کالریمتریک، همانندی حساسیتهای اسکتر با شرایط کالریمتریک، روشی ایده‌آل برای طراحی اسکتر است. اگر حساسیت سیستم و منبع نوری همانند شوند مقادیر کالریمتریک به سادگی از مقادیر سیگنال توسط ضرب ماتریسی 3×3 برای هر نوع شیء به دست می‌آید به طوری که خطی بودن تضمین می‌شود [۷]. همان گونه که دیده می‌شود از اسکتر فقط برای اندازه‌گیری محرکه‌های رنگی می‌توان استفاده کرد و بنابراین کاربرد آن به مواردی همچون اندازه‌گیری اختلاف رنگ نمونه‌ها محدود می‌شود و توانایی کاربرد برای مواردی همچون رنگ همانندی^۵ را ندارد مگر اینکه با افزایش دقت رنگی اسکتر بتوان توسط روش انعکاس مصنوعی^۶ [۱۱-۱۳] از آن برای رنگ همانندی استفاده کرد.

۲-۲- انتقال RGB به XYZ

برای این انتقال چهار روش عمومی وجود دارد. اولین روش طراحی اسکتر به صورت یک کالریمتر است. روش دوم انتقال مقادیر سیگنال اسکتر به داده‌های کالریمتریک با استفاده از ترکیبی از توابع ابعادی^۷ برای تراز خاکستری^۸ و دوباره تولید رنگ^۹ و یک ماتریس $3 \times n$ تصحیح رنگ است که n بین ۳ تا ۶۴ متغیر است. در مورد این روش بعداً توضیحات بیشتری ارائه خواهد شد. سومین روش ایجاد یک جدول مرجع^{۱۰} است که در آن با درونیابی خطی چندبعدی، مقادیر کالریمتریک تخمین زده می‌شوند. این سه روش همگی متامایزیم^{۱۱} را نادیده گرفته‌اند و در نتیجه برای یک منبع نوری و مشاهده کننده ساخته شده‌اند. اسکترهایی که این مسئله را کاهش دهند هنوز به صورت تجاری عرضه نشده‌اند. چهارمین روش بر این اساس می‌باشد که چون اسکتر دارای حساسیت‌های طیفی نزدیک به سه پیک جذبی رنگهای نمونه در فیلم رنگی و کاغذ است، مقادیر عددی اسکتر به غلظت رنگ ربط داده شده و از آن فاکتور انعکاس یا انتقال طیفی محاسبه می‌شود و بنابراین در زیر همه منابع نوری می‌توان مقادیر کالریمتریک را محاسبه کرد [۸].

۲-۳- کالیبراسیون اسکتر به روش کالریمتریک

چنانچه در قسمت قبلی گفته شد یکی از روشهای تبدیل مقادیر

هدفی، ارتباط بالا ایجاد می شود [۹].

۲-۳- دستگاههای مورد استفاده

الف - دستگاه رنگرزی دمای بالای پلی مت^{۱۴} با مشخصات:

مدل: AHIBA1000 سازنده: Datacolor

ب - دستگاه اسپکتروفتومتر Texflash ساخت کمپانی Datacolor با مشخصات:

اندازه دیافراگم: 18 mm

نوع لامپ: زنون^{۱۵}

هندسه اندازه گیری o/d

ج - دستگاه اسکنر مدل Epson GT-8000

۴- روشهای آزمایشگاهی

۴-۱- نحوه رنگرزی پارچه پلی استر

تعداد ۶۹ نمونه پلی استر مطابق نسخه زیر با رنگینه های دیسپرس رنگرزی شدند، نحوه انتخاب نسخه ها به گونه ای بود که نمونه های رنگی حاصل تا حد ممکن تمامی طیف رنگی را بپوشاند. روشنایی کمینه و بیشینه نمونه ها به ترتیب ۱۶/۸۸ و ۸۶/۱۴ است.

اسیداستیک 1% : 20 ml/l

دیسپرس کننده 10% : 15 ml/l

حجم حمام: 75 cc

وزن نمونه: 2.5 gr

رنگینه: x%

نمونه های پلی استر که قبلاً آبکشی سرد شده بودند مطابق نمودار شکل (۳) رنگرزی شدند. بعد از اتمام رنگرزی نمونه ها توسط محلول زیر شستشو داده شدند:

شوینده غیر یونی: 3 gr/lit

دما: جوش

زمان: 35 min

L:R : 1:40

در نهایت نمونه ها آبکشی سرد شده و در دمای محیط خشک شدند.

۴-۲- نحوه اندازه گیری انعکاس و محاسبه X، Y و Z نمونه

پارچه پلی استر برای پشت پوش شدن چندلا شده و سپس انعکاس آن در چهار نقطه تحت منبع نوری D₆₅ اندازه گیری و

۲-۳-۲- رگرسیون چندمتغیره

ماتریس انتقال از RGB تراز خاکستری به XYZ سی آی ای (یا $L^* a^* b^*$) با رگرسیون چندمتغیره به دست می آید. در نظریه محدودیتی برای درجه و تعداد جملات چندجمله ای وجود ندارد. در عمل این امر با دقت مورد نیاز، خطای آزمایشگاهی، بهای محاسباتی و سرعت پردازش محدود می شود.

بعد از انتخاب درجه چندجمله ای، مرحله بعدی تعیین ضریب a_{ij} آن است. این امر توسط رگرسیون چندمتغیره صورت می گیرد. برای چند جمله ای زیر:

$$u_1 = a_1 v_{i1} + a_2 v_{i2} + \dots + a_p v_{ip} \quad (8)$$

ضریبها به صورت زیر محاسبه می شوند.

$$\vec{a} = \left(\mathbf{V}\mathbf{V}' \right)^{-1} \left(\mathbf{V}\vec{U} \right) \quad (9)$$

با n سری از ورودیها، V ماتریسی به ابعاد (P×n) است به طوری که P تعداد جملات چندجمله ای است.

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1n} \\ V_{i21} & V_{i22} & \dots & V_{2n} \\ V_{P1} & V_{P2} & \dots & V_{Pn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

بعد از محاسبه ماتریس، RGB تراز خاکستری نمونه های رنگی به XYZ سی آی ای تبدیل می شود [۹].

۳- تجربیات

۳-۱- مواد مصرفی

الف - در این تحقیق از رنگینه های زیر استفاده شد:

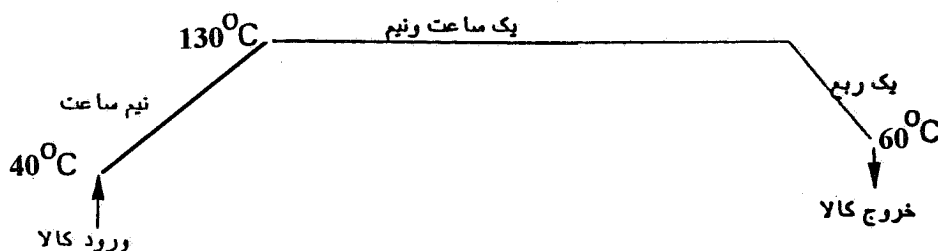
- a. Youhao Disperse Yellow ER C.I Disperse Yellow23
- b. Serilen Red 2BL C.I Disperse Red60
- c. Sumikaron Blue EFBL C.I Disperse Blue56

ب - اسیداستیک مرک

ج - دیسپرس کننده تسامول WS

د - شوینده غیر یونی

ه - پارچه پلی استری با طرح تافته با تراکم تاری 40 و تراکم پودی 20 و 132 g/m²



شکل ۳- منحنی رنگ‌گری پارچه پلی استری

و XYZ استفاده شد.

۴-۵- به دست آوردن نمونه‌های کالیبراسیون اولیه مناسب

با استفاده از چندجمله‌ایهای شماره ۴ و ۵ و ۶ از جدول (۱)، محاسباتی با استفاده از تعداد نمونه‌های کالیبراسیون اولیه متفاوت و نیز تعداد مجهولات متفاوت صورت گرفت. به این صورت که ابتدا همه ۶۹ نمونه به عنوان نمونه کالیبراسیون اولیه معرفی شده و ماتریس انتقال RGB به XYZ به دست آمد. سپس به ترتیب ۱۰ و ۱۹ نمونه از خود همان نمونه‌های کالیبراسیون اولیه به عنوان مجهول معرفی شدند، روش (الف) و (ب) در جدول (۲). در آزمایش بعدی از ۵۰ نمونه به عنوان نمونه‌های کالیبراسیون اولیه استفاده شد و از همان ۱۹ نمونه که در حال حاضر خارج از نمونه‌های کالیبراسیون اولیه بودند به عنوان مجهول استفاده شد، روش (ج) در جدول (۲).

۴-۶- مقایسه بین نتایج حاصل از رگرسیون با استفاده از چندجمله‌ایهای مختلف

با استفاده از چندجمله‌ایهای جدول (۱) و روش رگرسیون، ماتریسهای انتقال RGB به XYZ به دست آمد. در این قسمت از ۵۰ نمونه کالیبراسیون استفاده شد. سپس با استفاده از ماتریسهای انتقال برای ۱۹ نمونه مجهول، XYZ از RGB محاسبه و با XYZ واقعی آنها مقایسه شد.

۴-۷- محاسبه XYZ از RGB برای نمونه‌های مجهول با خصوصیات متفاوت از نمونه‌های کالیبراسیون اولیه برای بررسی امکان تسری ماتریس انتقال به دست آمده از

متوسط آنها به عنوان انعکاس نمونه معرفی می‌شود. سپس با استفاده از معادله‌های (۱۱) تا (۱۳) مقادیر X، Y و Z محاسبه می‌شوند [۱-۳].

$$X = \sum_{400}^{700} R \cdot E_{D_{65}} \cdot \bar{x} \quad (11)$$

$$Y = \sum_{400}^{700} R \cdot E_{D_{65}} \cdot \bar{y} \quad (12)$$

$$Z = \sum_{400}^{700} R \cdot E_{D_{65}} \cdot \bar{z} \quad (13)$$

به طوری که $E_{D_{65}}$ تابع توزیع انرژی طیفی نسبی استاندارد نوری D_{65} ، \bar{x} ، \bar{y} ، \bar{z} توابع رنگ همانندی و R انعکاس نمونه است.

۴-۳- اندازه‌گیری RGB

با استفاده از اسکنر و تحت شرایط زیر نمونه‌هایی که قبلاً انعکاس آنها اندازه‌گیری شده بود، اسکن شدند: ۲۵۶ سطح خاکستری، DPI=400 (تعداد نقاط گرافیکی در اینچ)، درخشندگی = ۴ و وضوح = ۳، اندازه سطح اسکن شده = $16 \times 16 \text{ mm}^2$ (۲۵۶ × ۲۵۶ نقطه گرافیکی).

آزمایش برای هر نمونه ۸ بار تکرار شد. سپس RGB تصویر مورد نظر با استفاده از برنامه رایانه‌ای نوشته شده به زبان برنامه نویسی C و روشهای آماری به دست آمد. قابل ذکر است که نمونه‌ها به صورت پشت‌پوش به دستگاه اسکنر معرفی شدند.

۴-۴- چندجمله‌ایهای کاربردی برای رگرسیون

همان‌گونه که در بخش (۲-۳) توضیح داده شد برای انجام عمل رگرسیون از تابع چندجمله‌ای استفاده می‌شود. لذا در این تحقیق از چندجمله‌ایهای جدول (۱) برای عمل رگرسیون و ارتباط بین RGB

جدول ۱- چند جمله‌ای‌های کاربردی برای رگرسیون

$X = a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B$ $Y = a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B$ $Z = a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B$	چند جمله‌ای‌های ۱
$X = a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + a_{14}RG + a_{15}RB + a_{16}GB$ $Y = a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B + a_{24}RG + a_{25}RB + a_{26}GB$ $Z = a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B + a_{34}RG + a_{35}RB + a_{36}GB$	چند جمله‌ای‌های ۲
$X = a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + a_{14}RG + a_{15}RB + a_{16}GB + a_{17}RGB$ $Y = a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B + a_{24}RG + a_{25}RB + a_{26}GB + a_{27}RGB$ $Z = a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B + a_{34}RG + a_{35}RB + a_{36}GB + a_{37}RGB$	چند جمله‌ای‌های ۳
$X = a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + a_{14}RG + a_{15}RB + a_{16}GB + a_{17}R^2 + a_{18}G^2 + a_{19}B^2$ $Y = a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B + a_{24}RG + a_{25}RB + a_{26}GB + a_{27}R^2 + a_{28}G^2 + a_{29}B^2$ $Z = a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B + a_{34}RG + a_{35}RB + a_{36}GB + a_{37}R^2 + a_{38}G^2 + a_{39}B^2$	چند جمله‌ای‌های ۴
$X = a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + a_{14}RG + a_{15}RB + a_{16}GB + a_{17}R^2 + a_{18}G^2 + a_{19}B^2 + a_{110}RGB$ $Y = a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B + a_{24}RG + a_{25}RB + a_{26}GB + a_{27}R^2 + a_{28}G^2 + a_{29}B^2 + a_{210}RGB$ $Z = a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B + a_{34}RG + a_{35}RB + a_{36}GB + a_{37}R^2 + a_{38}G^2 + a_{39}B^2 + a_{310}RGB$	چند جمله‌ای‌های ۵
$X = a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + a_{14}RG + a_{15}RB + a_{16}GB + a_{17}R^2 + a_{18}G^2 + a_{19}B^2 + a_{110}RGB + a_{111}R^3 + a_{112}G^3 + a_{113}B^3$ $Y = a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B + a_{24}RG + a_{25}RB + a_{26}GB + a_{27}R^2 + a_{28}G^2 + a_{29}B^2 + a_{210}RGB + a_{211}R^3 + a_{212}G^3 + a_{213}B^3$ $Z = a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B + a_{34}RG + a_{35}RB + a_{36}GB + a_{37}R^2 + a_{38}G^2 + a_{39}B^2 + a_{310}RGB + a_{311}R^3 + a_{312}G^3 + a_{313}B^3$	چند جمله‌ای‌های ۶

جدول ۲- مقایسه بین اختلاف رنگ متوسط با تعداد نمونه‌های کالیبراسیون متفاوت

(ج)	(ب)	(الف)	
تعداد نمونه کالیبراسیون: ۵۰ تعداد مجهول: ۱۹	تعداد نمونه کالیبراسیون: ۶۹ تعداد مجهول: ۱۹	تعداد نمونه کالیبراسیون: ۶۹ تعداد مجهول: ۱۰	
۱/۵۴۶۳	۱/۶۶۷۳	۳/۹۹۰۵	چند جمله‌ای ۴
۱/۵۵۲۲	۱/۴۰۸۰	۳/۹۴۸۵	چند جمله‌ای ۵
۱/۲۹۶۰	۱/۳۹۰۶	۳/۷۵۷۲	چند جمله‌ای ۶

جدول ۳- مقایسه بین رگرسیون با چند جمله‌ایهای مختلف

اختلاف رنگ						
شماره نمونه	چند جمله‌ای ۱	چند جمله‌ای ۲	چند جمله‌ای ۳	چند جمله‌ای ۴	چند جمله‌ای ۵	چند جمله‌ای ۶
۱	۷/۷۶۸۴	۳/۰۵۶۲	۳/۱۴۰۶	۰/۷۱۲۲	۰/۵۵۴۵	۱/۲۶۲۶
۲	۱/۹۷۱۳	۶/۵۰۷۴	۵/۶۸۳۲	۱/۰۹۳۰	۱/۱۵۹۸	۰/۹۳۵۵
۳	۵/۱۷۸۵	۹/۴۰۰۲	۸/۶۴۳۰	۰/۷۱۰۱	۱/۰۷۳۱	۰/۸۹۵۹
۴	۷/۶۲۵۷	۸/۷۰۰۲	۸/۱۴۲۱	۲/۰۳۸۸	۲/۴۴۴۰	۱/۹۰۴۵
۵	۳۵/۵۵۷۸	۹/۸۹۴۵	۹/۳۳۷۶	۳/۴۶۷۵	۲/۸۸۵۵	۲/۵۷۹۲
۶	۲۰/۰۴۹۷	۱۱/۲۸۱۴	۱۰/۲۵۲۵	۳/۲۹۷۸	۲/۹۱۵۳	۲/۸۳۳۳
۷	۴/۶۶۵۱	۲/۶۰۱۶	۲/۶۲۳۰	۰/۵۱۰۴	۰/۶۲۸۶	۰/۷۴۶۱
۸	۵/۳۸۶۸	۲/۲۶۶۸	۱/۹۰۹۴	۰/۷۰۹۱	۰/۹۰۹۷	۰/۳۷۶۴
۹	۵/۰۳۵۳	۲/۸۶۹۴	۲/۷۹۵۰	۰/۲۸۰۱	۰/۲۳۲۸	۰/۷۱۵۷
۱۰	۲/۵۴۹۴	۳/۸۳۳۷	۳/۸۴۹۳	۲/۵۶۲۴	۳/۰۱۰۲	۲/۶۱۵۱
۱۱	۱/۶۸۹۷	۶/۲۹۴۶	۶/۳۰۹۳	۱/۰۹۸۷	۱/۳۱۸۰	۱/۱۰۶۴
۱۲	۸/۹۸۴۳	۵/۲۱۰۰	۵/۴۵۷۶	۰/۹۴۳۵	۰/۷۲۵۶	۰/۸۷۲۹
۱۳	۳/۹۴۱۶	۱/۳۳۲۹	۱/۶۰۵۲	۰/۵۷۷۲	۰/۵۰۴۴	۰/۷۶۴۳
۱۴	۴/۱۶۲۴	۲/۶۶۸۱	۲/۳۷۲۹	۱/۴۱۱۷	۱/۴۰۰۴	۱/۱۲۹۴
۱۵	۳/۹۱۹۸	۱/۴۵۷۱	۱/۳۶۵۴	۲/۳۹۰۴	۲/۳۹۳۱	۲/۰۵۶۱
۱۶	۸/۵۰۱۶	۴/۸۱۰۶	۴/۵۷۱۶	۱/۶۹۴۱	۱/۵۸۱۰	۰/۹۰۹۹
۱۷	۱۱/۷۷۸۱	۶/۵۹۱۸	۶/۳۴۲۹	۱/۵۴۳۸	۱/۴۶۷۸	۰/۸۸۰۵
۱۸	۱۷/۹۰۹۳	۸/۳۵۰۸	۸/۲۰۲۵	۱/۱۷۲۶	۱/۱۶۹۰	۱/۰۴۶۲
۱۹	۲۴/۰۵۴۷	۱۱/۵۰۴۱	۱۱/۴۳۶۲	۳/۱۶۶۴	۳/۱۱۸۳	۰/۹۹۵۱

تعداد، ۴ نمونه به عنوان مجهول و ۲۰ نمونه به عنوان نمونه‌های کالیبراسیون استفاده شد و رگرسیون با چند جمله‌ایهای شماره ۴ تا ۶ از جدول (۱) صورت گرفت. همچنین با همین ۴ نمونه مجهول و با استفاده از ۵۰ نمونه کالیبراسیون که از نظر خصوصیات رنگی دارای نمونه‌هایی بسیار دور نسبت به نمونه‌های مجهول بودند و با همان چند جمله‌ایها مجدداً عمل رگرسیون صورت گرفت.

نمونه‌های کالیبراسیون اولیه به نمونه‌هایی با خصوصیات متفاوت، روش زیر به کار گرفته شد: ابتدا ۱۰ نمونه پارچه پلی استری رنگی با خصوصیات متفاوت از نمونه‌های کالیبراسیون اولیه به عنوان مجهول معرفی شدند. و آن گاه نتایج حاصل از روش رگرسیون با چند جمله‌ایهای جدول شماره (۱) با استفاده از ۵۰ نمونه کالیبراسیون اولیه به دست آمد.

۵- نتیجه گیری

۵-۱- به دست آوردن نمونه‌های کالیبراسیون اولیه مناسب
جدول (۲) اختلاف رنگ CIELAB بین XYZ واقعی و XYZ محاسباتی را برای نمونه‌های کالیبراسیون اولیه و نمونه‌های مجهول

۴-۸- استفاده از نمونه‌های کالیبراسیون اولیه با خصوصیات رنگی نزدیکتر به نمونه‌های مجهول
ابتدا ۲۴ نمونه از بین ۵۰ نمونه کالیبراسیون اولیه به گونه‌ای انتخاب شدند که دارای b^* و a^* نزدیکتر به هم باشند. سپس از این

جدول ۴- مقایسه بین نتایج حاصل از رگرسیون برای نمونه‌هایی با خصوصیات متفاوت نسبت به نمونه‌های کالیبراسیون

اختلاف رنگ						شماره نمونه
چندجمله‌ای ۶	چندجمله‌ای ۵	چندجمله‌ای ۴	چندجمله‌ای ۳	چندجمله‌ای ۲	چندجمله‌ای ۱	
۱/۶۱۱۷	۲/۶۵۹۳	۲/۵۷۹۸	۲/۶۹۶۸	۲/۷۹۸۰	۳/۲۵۳۱	۱
۹/۶۱۵۴	۹/۶۵۹۷	۹/۴۳۲۰	۱/۹۳۶۸	۱/۶۴۱۸	۳/۰۹۴۸	۲
۶/۱۲۰۷	۵/۹۱۹۸	۵/۷۲۶۰	۶/۱۱۰۹	۵/۸۶۳۸	۹/۵۱۳۰	۳
۲/۲۹۷۶	۲/۷۵۱۴	۴/۷۷۶۲	۴/۵۰۵۹	۱/۸۱۳۴	۱۱/۹۶۲۱	۴
۳/۶۶۸۶	۳/۹۴۲۰	۴/۰۰۹۵	۴/۴۶۳۷	۴/۶۳۹۶	۷/۶۸۴۱	۵
۵/۴۹۰۲	۵/۸۹۷۶	۳/۹۵۱۸	۴/۲۹۹۰	۵/۰۹۲۴	۱۸/۵۸۴۳	۶
۱/۶۱۳۴	۱/۴۲۲۹	۱/۴۶۷۵	۲/۸۱۷۷	۳/۵۴۸۵	۹/۲۱۸۳	۷
۲/۴۴۱۲	۱/۷۲۴۲	۱/۰۲۲۲	۵/۵۲۲۰	۴/۶۲۹۲	۷/۱۲۵۷	۸
۳/۲۸۰۵	۳/۸۸۵۳	۴/۹۳۱۰	۲/۷۵۲۴	۴/۶۷۷۶	۷/۵۴۹۰	۹
۱/۴۳۲۴	۱/۶۲۳۱	۲/۰۰۹۲	۲/۹۸۴۰	۴/۶۷۹۹	۱۰/۵۷۱۵	۱۰

یک از ۱۰ نمونه مجهول با استفاده از چندجمله‌ای‌های جدول (۱) و برای رگرسیون با تعداد ۵۰ نمونه کالیبراسیون اولیه را نمایش می‌دهد.

۴-۵- استفاده از نمونه‌های کالیبراسیون اولیه با خصوصیات رنگی نزدیکتر به نمونه‌های مجهول

جدول (۶) اختلاف رنگ متوسط برای ۴ نمونه مجهول با استفاده از ۲۰ و ۵۰ نمونه کالیبراسیون را نمایش می‌دهد.

۶- بحث روی نتایج

۶-۱- به دست آوردن نمونه‌های کالیبراسیون اولیه مناسب

با توجه به جدول (۲) مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد نمونه‌های کالیبراسیون اولیه نه تنها نتایج بهبود نیافته بلکه اختلاف رنگهای متوسط نیز افزایش یافته است. از طرف دیگر برای قسمت (الف) و (ب) نیز با افزایش تعداد نمونه‌های مجهول و ثابت ماندن تعداد نمونه‌های کالیبراسیون اولیه اختلاف رنگهای متوسط کاهش یافته است. این نشان می‌دهد که در اینجا نیز مشابه نمونه‌های کالیبراسیون اولیه برای رنگ همانندی تنها تعداد نمونه‌های کالیبراسیون اولیه تعیین کننده نیستند بلکه نحوه انتخاب رنگ نمونه‌های کالیبراسیون اولیه

متفاوت که در بخش ۴-۵ شرح داده شده نشان می‌دهد. همان گونه که دیده می‌شود اختلاف رنگها برای ۱۰ نمونه مجهول که از داخل خود نمونه‌های کالیبراسیون اولیه انتخاب شده‌اند، روش (الف)، در همه موارد بیش از اختلاف رنگهای متوسط ۱۹ نمونه مجهول با استفاده از ۵۰ نمونه کالیبراسیون اولیه است که این ۱۹ نمونه اخیر خارج از نمونه‌های کالیبراسیون اولیه‌اند، روش (ج). همچنین به جز چندجمله‌ای شماره ۵، همین حالت برای روش (ب) در مقایسه با روش (ج) برقرار است. از طرف دیگر با افزایش تعداد نمونه‌های مجهول از ۱۰ به ۱۹، برای دو قسمت (الف) و (ب) جدول، دیده می‌شود که در تمامی موارد اختلاف رنگهای متوسط کاهش یافته است.

۲-۵- مقایسه بین رگرسیون با استفاده از چندجمله‌ایهای مختلف جدول (۳) اختلاف رنگ CIELAB بین XYZ واقعی و XYZ محاسباتی هر یک از ۱۹ نمونه مجهول را با استفاده از چندجمله‌ای‌های جدول (۱) و برای رگرسیون با تعداد ۵۰ نمونه کالیبراسیون اولیه نمایش می‌دهد.

۳-۵- محاسبه XYZ از RGB برای نمونه‌های مجهول با خصوصیات متفاوت نسبت به نمونه‌های کالیبراسیون اولیه جدول (۴) اختلاف رنگ CIELAB بین XYZ محاسباتی هر

جدول ۵- مقایسه نتایج حاصل از رگرسیون با استفاده

از چندجمله‌ایهای مختلف

چندجمله‌ای	اختلاف رنگ متوسط	اختلاف رنگ بیشینه
۱	۹/۵۱۲۱	۳۵/۵۵۷۸
۲	۵/۷۱۷۵	۱۱/۵۰۴۱
۳	۵/۴۷۵۷	۱۱/۴۳۶۲
۴	۱/۵۴۶۳	۳/۴۶۷۵
۵	۱/۵۵۲۲	۳/۱۱۸۳
۶	۱/۲۹۶۰	۲/۸۳۳۳

مهمتر است [۱۴].

این امر از طرف دیگر با نتایج حاصل از محاسبه XYZ از RGB اسکتر برای نمونه‌های فتوگرافی نیز مطابقت دارد [۹].

۲-۶- مقایسه رگرسیون با استفاده از چندجمله‌ایهای مختلف

متوسط اختلاف رنگ و بیشینه اختلاف رنگ برای جدول (۳) در جدول (۵) نشان داده شده است. همان گونه که دیده می‌شود تقریباً در تمامی آنها، این مقادیر با افزایش درجه و تعداد جملات چندجمله‌ای کاهش یافته است و برای چندجمله‌ای آخر نتایج به حد نسبتاً قابل قبول رسیده است و به نظر می‌رسد استفاده از این چندجمله‌ای برای محاسبه ماتریس انتقال مناسب باشد. تغییر فاحش اختلاف رنگ بیشینه و اختلاف رنگ متوسط از چندجمله‌ای شماره ۳ به چندجمله‌ای شماره ۴ به دلیل افزایش درجه آن از ۱ به ۲ است.

۳-۶- محاسبه XYZ از RGB برای نمونه‌های مجهول با خصوصیات متفاوت از نمونه‌های کالیبراسیون اولیه

متوسط اختلاف رنگ به ترتیب برای چندجمله‌ایهای شماره ۱ تا ۶ برابر با ۸/۸۵۵۶، ۳/۹۳۸۴، ۳/۸۰۸۹، ۳/۹۹۰۵، ۳/۹۴۸۵ و ۳/۷۵۷۲ است که در تمامی موارد بیش از حد قابل قبول است. این موضوع نشان می‌دهد که با تغییر رنگ یا لیف برای کالاهای مجهول، نیاز به تهیه نمونه‌های کالیبراسیون جدید است. این مطلب با نتایج به دست آمده توسط کانگ^{۱۶} برای نمونه‌های فتوگرافی یکسان است [۹].

جدول ۶- مقایسه متوسط اختلاف رنگ نمونه‌های مجهول برای نمونه‌های کالیبراسیون با خصوصیات رنگی نزدیک و دور نسبت به نمونه‌های مجهول

متوسط اختلاف رنگ		چندجمله‌ای
تعداد ۲۰ نمونه کالیبراسیون	تعداد ۵۰ نمونه کالیبراسیون	
۱/۰۹۹۹	۱۳/۳۳۶۹	چندجمله‌ای ۴
۰/۷۷۵۷	۱۰/۳۲۴۶	چندجمله‌ای ۵
۰/۴۱۱۶	۷/۷۸۴۹	چندجمله‌ای ۶

۴-۶- استفاده از نمونه‌های کالیبراسیون اولیه با خصوصیات رنگی نزدیکتر به نمونه‌های مجهول

جدول (۶) نشان می‌دهد که استفاده از ۲۰ نمونه کالیبراسیون سبب کاهش متوسط اختلاف رنگ شده است. همان گونه که در بخش ۴-۸ عنوان شد این ۲۰ نمونه نسبت به ۵۰ نمونه کالیبراسیون دارای خصوصیات رنگی نزدیکتری به ۴ نمونه مجهول‌اند لذا استفاده از نمونه‌های رنگی با خصوصیات نزدیکتر به نمونه‌های مجهول سبب بهبود نتایج می‌شود. از طرف دیگر این جدول، نتیجه‌گیری بخش ۶-۱ که نحوه انتخاب رنگ نمونه‌های کالیبراسیون مهمتر از تعداد نمونه‌های کالیبراسیون است را تایید می‌کند.

۷- نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به آزمایشهای انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که انجام رگرسیون با استفاده از چندجمله‌ای روشی نسبتاً مناسب برای تبدیل RGB حاصل از اسکتر برای نمونه‌های منسوج به XYZ است که با افزایش درجه و تعداد جملات چندجمله‌ایها این نتایج بهبود می‌یابد. از طرف دیگر تهیه نمونه‌های کالیبراسیون اولیه برای محاسبه ماتریس انتقال RGB به XYZ نقش عمده‌ای در بهبود نتایج دارد و فرایند انتقال RGB اسکتر به XYZ بیشتر از تعداد نمونه‌های کالیبراسیون به نحوه انتخاب رنگ نمونه‌ها بستگی دارد و استفاده از نمونه‌های کالیبراسیون با خصوصیات رنگی نزدیکتر به نمونه‌های مجهول سبب بهبود نتایج می‌شود. همچنین با توجه به تعداد نمونه‌های کالیبراسیون اولیه به کار گرفته شده در این تحقیق

تسری این نمونه‌ها برای نمونه‌های مجهول با خصوصیات متفاوت نسبت به نمونه‌های کالیبراسیون اولیه مقدور نیست.

اجرای این طرح پژوهشی و نیز از خانمها فاطمه کریمی، مرجان ولیان و هنگامه طاووسی به خاطر همکاری در انجام آزمایشها قدردانی می‌شود.

قدردانی

از مسئولان دانشگاه صنعتی اصفهان به دلیل حمایت مالی در

واژه نامه

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| 1. scanner | 7. dimensional function | 13. color space |
| 2. tristimulus values | 8. gray-balanced | 14. Polymat |
| 3. C.I.E. | 9. tone reproduction | 15. Xenon |
| 4. color accuracy | 10. look-up table | 16. Kang |
| 5. color matching | 11. metamerisem | |
| 6. synthetic reflectance | 12. neugebauer equations | |

مراجع

- Allen, E., *Optical Radiation Measurements*, (F. Gram and C. J. Bartleson, Eds), Vol. 2, Academic Press, New York, 1980.
- Wyszecki, G., and Stiles, W. S., *Color Science, Concepts and Methods, Quantitative Data and Formula*, John Wiley, New York, 1982.
- Judd, D. B., and Wyszecki, G., *Color in Business, Science, and Industry*, John Wiley, New York, 1975.
- Vallari, M., Chrysoulakis, Y., and Chassery, J. M., "A Colour Study Approach through Colour Measurement on Slides of Art Paintings," *Colour Research and Application Journal*, Vol. 22, No. 5, pp. 327-333, 1997.
- Vallari, M., Chrysoulakis, Y., and Chassery, J. M., "In Situ Colour Measurement on Works of Fine Art Using a Non-destructive Methodology," *Journal of Society of Dyers and Colourists*, Vol. 113, pp. 237-243, 1997.
- Connolly, C., Leung, T. W. W., and Nobbs, J. H., "The Use of Video Cameras for Remote Colour Measurement," *Journal Society of Dyers and Colourists*, Vol. 112, pp. 40-43, 1996.
- Hung, P. C., "Colorimetric Calibration for Scanners and Media," *Proceedings of SPIE*, Vol. 1448, pp. 164-174, 1991.
- Berns, R. S., and Shyu, M. J., "Colorimetric Characterization of a Desktop Drum Scanner Using a Spectral Model," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 4(4), pp. 360-372, 1995.
- Kang, H. R., "Color Scanner Calibration," *Journal of Imaging Science and Technology*, Vol. 36, No. 2, pp. 162-170, 1992.
- Rodriguez, M. A., and Stochham, T. G., "Producing Colorimetric Data from Densitometric Scans," *Proceeding of SPIE*, Vol. 19113, pp. 413-418, 1993.
- Hawkyard, C. J., "Synthetic Reflectance Curves by Subtractive Colour Mixing," *Journal society of Dyers and Colorists*, Vol. 109, pp. 246-251, 1993.
- Hawkyard, C. J., "Synthetic Reflectance Curves by Additive Mixing," *Journal Society of Dyers and Colourists*, Vol. 109, pp. 323-329, 1993.
- Berns, F. R., "Synthetic Reflectance curves," *Journal of Society of Dyers and Colourists*, Vol. 110, pp. 386-389, 1994.
۱۴. ایزدان، ح.، "رنگ همانندی در رنگرزی توده پلیمری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۵.