

Comparison of the Color Values Prediction by a Matrix Method and a Well-Known Software for a Digital Color Management Process

Keivan Ansari*, Mahzyar Gorji Bandpay, Mahdi Safi, Farhad Ameri

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

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 08-11-2021

Accepted: 09-01-2022

Available online: 11-12-2022

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.3.1.7

Keywords:

Color Values

Color Management System

Digital Printer

Matrix Method

Color difference

ABSTRACT

A condition that must be satisfied for digital printers in a color management system is converting device-dependent color values into device-independent color values by a transfer model of high-quality performance. Usually, each transfer model is initially trained with some specified samples as a training set before being tested. In the present study, color charts with different quantities of color patches in an RGB space were selected and printed as training groups. The spectral reflectances of all samples in printed color charts were measured and converted to an XYZ color space under a standard observer/illuminant combination. Using a matrix method, the RGB to XYZ transformation matrices were obtained with the algebraic operation of different degrees of polynomials and the least-square errors for the training groups. Similar operations were also performed for the well-known ProfileMaker software, which is based on a look-up table method. Finally, the statistical values of color difference (DE2000) were calculated between the actual XYZ from the printed color charts, the predicted XYZ from the matrix method, and those predicted from the ProfileMaker software. The ProfileMaker software showed a significantly lower color difference near the perception threshold for the specified training samples.

*Corresponding author: kansari@icrc.ac.ir



۱- مقدمه



شکل ۱: فضای پروفایل اتصال (PSC) و رابطه آن با دستگاه‌های ورودی و خروجی.

Figure 1: Profile Connection Space (PSC) and its correlation to the input and output devices.

در بر می‌گیرد [۷]. در واقع فضای پروفایل اتصال همان فضای مستقل رنگی است که از یکی از فضا رنگ‌های CIE XYZ و یا CIE LAB استفاده می‌کند. مشخصه این فضا رنگ این است که به مختصات رنگی که دستگاه‌ها دارند، وابسته نبوده و به همین جهت می‌تواند تمام رنگ‌ها در سیستم‌های مختلف و فضاهای وابسته به دستگاه را به طور یکسان تفسیر کند. در شکل ۱ به طور طرح‌واره فضای پروفایل اتصال و رابطه آن با دستگاه‌های ورودی و خروجی نشان داده شده است.

۱-۱- روش‌های کلی توصیف رنگی

یکی از مراحل مهم جهت حصول نتیجه مطلوب در یک فرآیند توصیف رنگ انتقال و تبدیل مؤلفه‌های رنگی از یک دستگاه نمایش رنگ به فضای رنگ مورد نظر می‌باشد. برای این منظور، یک مدل ریاضی تعریف می‌شود که توسط آن عمل انتقال از یک فضا رنگ به فضا رنگ دیگر صورت گیرد. ورودی یا خروجی یک دستگاه نمایش رنگ معمولاً اعداد گسسته با حدود بالا و پایین مشخص هستند. این اعداد می‌تواند داده‌های خروجی یک دستگاه که از آن به عنوان ورودی تصویر (مانند پویشگر) استفاده می‌شود و یا داده‌های خروجی یک دستگاه که از آن به عنوان خروجی تصویر (مثلاً مقادیر رنگ به کار برده شده هنگام چاپ در چاپگر) استفاده می‌شود، باشند. برای دستگاه ورودی، مدل ساخته شده باید بتواند مؤلفه‌های وابسته به دستگاه را به فضایی مستقل از دستگاه برده و بطور عکس در مورد دستگاه‌های خروجی باید بتواند که مؤلفه‌های مستقل از دستگاه را به مقادیر وابسته به دستگاه تبدیل کند. در این جا منظور از مقادیر وابسته RGB و CMYK و مقادیر مستقل از دستگاه، XYZ است.

اغلب مدل‌ها بر اساس اجرای یک عملیات نمونه‌گیری اولیه و آنگاه محاسبه مقادیر متناظر رنگ نمونه‌های مورد گروه آزمایش در

مدیریت رنگ چاپگرهای دیجیتال به منظور اطمینان از دقت و صحت رنگ در گردش کار^۱ چاپ استفاده می‌شود. در این گردش کار دو نوع دستگاه به عنوان دستگاه‌های ورودی و دستگاه‌های خروجی شناخته می‌شوند. دستگاه‌هایی همچون دوربین دیجیتال، پویشگر و نمایشگر به عنوان دستگاه‌های ورودی و دستگاه‌هایی مثل نمایشگر، چاپگر، پروژکتور به عنوان دستگاه‌های خروجی نامیده می‌شوند. مدیریت رنگ بر روی این دستگاه‌ها شامل سه مرحله اساسی است: در مرحله اول یک فضا رنگ^۲ مستقل از دستگاه^۳ انتخاب می‌شود. در مرحله دوم داده‌های رنگ دستگاه‌های ورودی و خروجی توصیف شده و در مرحله سوم رابطه‌ای بین فضا رنگ هر یک از دستگاه‌ها و آن فضا رنگ مستقل از دستگاه ایجاد می‌شود [۱، ۲]. به این ترتیب، رنگ نهایی چاپ شده را می‌توان طی فرآیند مدیریت رنگ در انطباق بیشتری با دستگاه ورودی، شبیه‌سازی نمود [۲]. در این جا کلید دستیابی به موفقیت در بازسازی رنگ بین دستگاهی، ایجاد یک مدل ظاهر رنگی قابل اعتماد است که قادر به پیشگویی ظاهر رنگ در انواع دستگاه‌های ثبت تصویر در شرایط مختلف مشاهده باشد [۳].

از سویی دیگر، مدیریت رنگ چاپگرها دشوار است، زیرا چاپگرها اصولاً رفتاری غیر خطی از خود نشان می‌دهند و رنگی که تولید می‌کنند به سخت‌افزار چاپگر، روش نیم‌سایه^۴، جوهر یا تونر، نوع کاغذ، رطوبت، و دما بستگی دارد [۴]. استاندارد مدیریت رنگ محبوب برای کنترل بازسازی رنگ، استفاده از پروفایل کنسرسیوم بین‌المللی رنگ^۵ یا به اختصار ICC است که بصورت مجموعه‌ای از داده، رنگ ورودی و یا خروجی یک دستگاه را توصیف می‌کند. هسته پروفایل ICC یک جدول مقایسه‌ای^۶ است که یک شبکه منظم رنگ مستقل از دستگاه را به فضا رنگ چاپگر نگاشت^۷ می‌کند و یک پروفایل رابطه بین سیگنال کنترل کننده وابسته به دستگاه و مختصات رنگی مستقل از دستگاه که آن سیگنال را تولید می‌کند، توصیف می‌نماید. به طور مشخص یک پروفایل مقادیر CIE XYZ و یا CIE Lab و یا مقادیر انعکاس طیفی که متناظر با مجموعه مفروض از اعداد RGB یا CMYK دستگاه هستند را تعریف می‌کند. در واقع پروفایل‌ها رابطه بین مقادیر وابسته به دستگاه و فضای پروفایل اتصال^۸ (PSC) که مستقل از دستگاه می‌باشد را تعریف می‌کنند [۵، ۶]. فضای پروفایل اتصال یک فضا رنگ به اندازه کافی بزرگ است که محدوده رنگ دستگاه‌های ورودی و خروجی را

- 1- Workflow
- 2- Color space
- 3- Device independent
- 4- Halftone
- 5- International Color Consortium
- 6- Look Up Table (LUT)
- 7- Map
- 8- Profile Connection Space(PSC)

رنگ که توسط نمونه‌های مجموعه آموزشی شکل می‌گیرد، کاهش نیابد [۱۴].

در آخر باید توجه داشت که مجموعه داده‌های انتخاب شده برای آموزش یک مدل، باید نماینده مناسبی از فضای رنگ، در دسترس، چاپگر مورد آزمایش باشد. لذا انتخاب نمونه‌ها با توجه به میزان توزیع فضایی که ارائه می‌دهند و نیز انتخاب تعداد هرچه کمتر نمونه‌های اندازه‌گیری شده از عواملی هستند که در موضوع ایجاد مجموعه نمونه‌های آموزش دهنده باید رعایت شوند. نمونه‌های آموزشی که تنها قسمت محدودی از محدوده رنگی یا دامنه رنگ را پوشش دهند، فقط در مورد نمونه‌هایی که در محدوده آموزش به کار رفته‌اند، منجر به نتیجه مطلوب می‌شوند [۱۵، ۱۶].

۳-۱- روش ماتریس

سه دهه پیش، در صنعت چاپ، گذاری از تصاویر تک‌رنگ و تک کانال به تصاویر سه رنگ و سه کانال RGB صورت گرفت و در پی آن محققین بدنبال یافتن راه حل‌های بهینه برای حل مشکل انتقال رنگ میان دستگاه‌ها و بین سیستم‌های مختلف با ایجاد مفهوم فضای رنگ مستقل از دستگاه پرداختند. در سال ۱۹۹۴، ICC برای ارائه استاندارد مدیریت رنگ تشکیل شد، و یکی از نتایج آن توافق در تعریفی از رنگ مبتنی بر فضای رنگ مستقل از دستگاه، با عنوان فضای پروفایل اتصال (PCS) بود. در حال حاضر پس از گذشت بیش از دو دهه تکامل در سیستم‌های مدیریت رنگ، استاندارد ICC همچنان به حمایت از PCS و بیان آن تحت فضای سه بعدی ارقام رنگ (CIE XYZ یا CIELAB) می‌پردازد [۱۷].

اگر فرض شود که رابطه بین مقادیر وابسته به دستگاه RGB و مقادیر مستقل از دستگاه یعنی CIEXYZ رابطه‌ای خطی است آنگاه می‌توان معادله کلی معادله کلی رگرسیون خطی را که معادله‌ای درجه اول است، طبق رابطه ۱ در نظر گرفت:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

که در آن A یک ماتریس ۳×۳ است که عناصر آن با توجه به مقادیر ماتریس‌های ورودی و خروجی در گروه آزمایشی با روش حداقل مربعات بدست می‌آید. بنابراین در عمل مقدار آرایه‌های ماتریس A برای گروه‌های مختلف RGB و XYZ متفاوت خواهند بود.

از سویی دیگر، معمولاً برای ایجاد نتایج بهتر، از معادلات با درجه بالاتر استفاده می‌شود. جدولی از درجات بالاتر چندجمله‌ای توسط گرین و همکاران در کتاب مهندسی رنگ^۲ [۱۲] معرفی شده است (جدول ۱).

هر دو فضای وابسته و مستقل از دستگاه طراحی می‌شوند [۸]. البته تاکنون هنوز هیچ مدلی که بتواند به صورت مطلق برای تمامی دستگاه‌ها و تبدیل‌ها به کار گرفته شود، ارائه نشده است. اما طیف وسیعی از روش‌ها و مدل‌های مختلف وجود دارند که می‌توان به طور کلی آنها را به سه دسته تقسیم نمود:

- مدل‌های فیزیکی که بر پایه برخی مشخصه‌های فیزیکی، مانند انعکاس و جذب طیفی تعریف می‌شوند.
- مدل‌های عددی که در آن معمولاً ماتریسی از ضرائب که عموماً از طریق روش‌های رگرسیون محاسبه شده‌اند، تعریف می‌شود. ضرایب مذکور با توجه به نمونه‌گیری اولیه به دست می‌آیند. این روش معمولاً کاری به خصوصیت‌های فیزیکی دستگاه مورد آزمایش ندارد [۹-۱۱]. روش برپایه مدل فیزیکی شامل فراهم آوردن داده‌های مناسب از نمونه‌های اولیه یا آزمایشی، برای برقرار نمودن ارتباط آماری بین مولفه‌های وابسته به دستگاه و فضای رنگ مورد نظر است. روش‌های زیادی برای برقرار نمودن یا به عبارتی توصیف این ارتباط ارائه شده است که از آن جمله می‌توان رگرسیون خطی، رگرسیون چند متغیره، شبکه‌های عصبی و توابع قطبی را نام برد [۱۰-۱۲].
- مدل‌های ترکیبی که در عمل برای تبدیل فضاهای رنگ وابسته و مستقل، ترکیبی از دو یا چند مدل فیزیکی و عددی را مورد استفاده قرار می‌دهند؛ به عنوان مثال یک مدل عددی ساده مانند رگرسیون، می‌تواند برای مدل‌سازی یک مدل فیزیکی هم مورد استفاده قرار گیرد. از سویی دیگر نتایج حاصل شده از یک مدل فیزیکی می‌تواند برای تعیین داده‌های لازم جهت ساخت یک جدول مقایسه‌ای برای تبدیل فضاهای مختلف رنگ مورد استفاده قرار گرفته و از این طریق در انجام محاسبات صرفه جویی نمود. [۱۰-۱۳].

۲-۱- اثر مجموعه آموزشی

نمونه‌های اولیه یا مجموعه آموزشی^۱ بر روی مدل جدول مقایسه‌ای یا مدل رگرسیون بر میزان و توزیع خطای محاسبه شده تأثیر می‌گذارند. اگر داده‌های اولیه برای آموزش مدل رگرسیون، به نحوی انتخاب شوند که شامل تعداد زیادی نمونه در محدوده وسیعی از فضای مؤلفه‌های چاپگر باشند، این امر می‌تواند موجب کاهش خطای تخمین شود. ولی از طرف دیگر لازم است که مدل رگرسیون به نحوی انتخاب شود که بتواند با مجموعه آموزشی کوچک‌تر نیز بخوبی آموزش ببیند. زیرا هر چه تعداد نمونه‌های مجموعه آموزشی کمتر باشند طبعاً نیاز به اندازه‌گیری نیز کمتر است. البته باید توجه داشت که با کاهش تعداد نمونه‌های آموزشی، اطمینان از یکنواختی فضای



شکل ۲: دستگاه اسپکتروفوتومتر eyeone-io در حال اندازه‌گیری انعکاس طیفی یک چارت رنگی.

Figure 2: The spectrophotometer eyeone-io is taking the spectral reflectance values of a color chart.

جدول ۲: جوهرهای مصرفی در Epson P50

Table 2: Epson P50, used ink cartridges

شماره جوهر طبق شماره‌گذاری VOX	نوع جوهر
821	مشکی
824	زرد
825	فیروزه‌ای روشن
822	فیروزه‌ای
826	ارغوانی روشن
823	ارغوانی

تمامی برنامه‌های نوشته شده با استفاده از نرم‌افزار محاسباتی متلب ایجاد شدند. همچنین از نرم‌افزارهای ذیل، که همگی محصولات شرکت گرتگ مکبث هستند برای تولید نمونه‌های رنگی استفاده شد:

ProfileMaker Version 5.0.5b
ColorPicker Version 5.0.5b
MeasureTool Version 5.0.5b
ProfileEditor Version 5.0.5b

لازم به ذکر است که تمامی نرم‌افزارهای تصویر قابلیت فرستادن مقادیر RGB پیکسل‌های تصویر را به چاپگر دارند ولی نرم‌افزارهایی مانند فوتوشاپ^۷ و کرل^۸ این قابلیت را نیز دارند که به کاربر اجازه دهند روی مقادیر RGB یک سری کنترل‌هایی انجام بدهد. در این تحقیق برای چاپ چارت‌های رنگ از نرم‌افزار فوتوشاپ CS۵ استفاده شد [۲۱].

۲-۲- ساخت چارت رنگ

ابتدا لازم بود که مختصات یک سری نمونه‌های رنگ با مقادیر مشخص RGB که بتوانند یک توزیع یکنواخت را در فضا رنگ فراهم کنند،

7- Adobe Photoshop

8- Corel

جدول ۱: چندجمله‌ای استفاده شده توسط گرین و همکارانش [۱۷].

Table 1: Polynomials regression used by Green et al.

شماره روش	نام روش	ماتریس استفاده شده
1	RGB1	[R G B]
2	RGB2	[R G B R G R B G B R ² B ² G ²]
3	RGB3	[R G B R G R B G B R ² G R ² B G ² B G ² R ² B ² G R ³ G ³ B ³ RGB]

گرین و مک دانالد از سویی دیگر با استفاده از $\log(X_n/X)$ و ... (که در آن X_n مشخصه منبع نوری است) به جای مقادیر رنگ XYZ، اعلام کردند که نتایج منجر به نتایج بهتری می‌شود [۱۲].

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد و تجهیزات

طیف‌سنج‌ها مهم‌ترین دستگاه‌های اندازه‌گیری رنگ در مدیریت رنگ هستند که از طریق اندازه‌گیری انعکاس طیفی و تبدیل آن به ارقام رنگ عمل می‌کنند. در این تحقیق برای اندازه‌گیری انعکاس طیفی نمونه‌های رنگی^۱ از دستگاه eyeone-io (i1iO) ساخت شرکت گرتگ مکبث^۲ استفاده شد که می‌تواند اندازه‌گیری سریعی را روی چارت‌های رنگی با توانایی خواندن بیش از ۵۰۰ لکه در هر دقیقه انجام دهد. هندسه دستگاه ۰،۴۵ درجه است و تحت منبع نوری D50 و مشاهده کننده استاندارد ۲ درجه اندازه‌گیری‌ها را انجام می‌دهد که با استانداردهای ساخت پروفایل، مطابقت دارد (شکل ۲).

چاپ جوهرافشان یک فناوری چاپ غیرتماسی^۳ است که در آن قطرات جوهر از یک دریچه بسیار کوچک مستقیماً روی کاغذ پاشیده شده و ایجاد تصویر می‌کند [۱۸]. برای چاپ چارت‌های رنگی به منظور مقایسه مدل‌های مختلف از چاپگر اپسون^۴ P50 مخزن‌دار که دارای ۶ مخزن جوهر بود استفاده شد. تانک (مخزن) کارتریج چاپگر با ۶ جوهر که ساخت شرکت وکس^۵ بودند، پر شدند. شماره فنی جوهرهای به کار برده شده برای هر کدام از مخازن رنگ چاپگر در جدول ۲ آمده است [۱۹].

همچنین کاغذی که برای چاپ چارت‌های رنگ انتخاب شد، کاغذ فوق براق^۶ ۲۶۰ گرمی ساخت شرکت LUKY بود. در این تحقیق از آنجایی که در نرم‌افزار چاپگر امکان انتخاب نوع کیفیت چاپ وجود داشت لذا برای چاپ چارت‌های رنگ بر روی کاغذ حالت Best Photo انتخاب شد.

1- Color patches

2- Gretag macbeth

3- Nonimpact

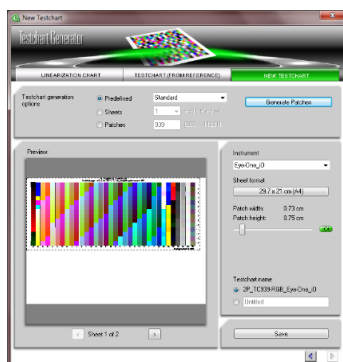
4- Epson

5- vox

6- Super Glossy

داشته باشد. همچنین برای ایجاد یک فضای یکنواخت از نمونه‌های رنگ، لازم است که نمونه اولیه‌های RGB و ترکیبات آنها شامل نمونه‌هایی باشند که بیانگر مخلوط همه رنگ‌ها هستند و نیز باید در قطر مکعب فرضی سه‌بعدی جایی که از نظر رنگ نمونه‌های خنثی واقعد، نیز دارای نمونه‌هایی باشند.

به عنوان مثال در یک ساختار ۸ بیتی رنگ که خواسته شود نمونه‌هایی در ۴ نقطه یا ۴ گرید ۰، ۸۵، ۱۷۰، ۲۵۵ وجود داشته باشند، نتیجه آن چارت رنگ (شکل ۴) با ۶۴ لکه رنگی است که ارقام رنگ آن در جدول ۳ آورده شده است ($4^3=64$).



شکل ۳: محیط گرافیکی نرم افزار Measure Tool.

Figure 3: Graphical user interface of Measure Tool software.

به دست آورد. برای این کار از نرم‌افزار MeasureTool 5.0.5 که یکی از نرم‌افزارهای ProfileMaker است، استفاده شد (شکل ۳) که به وسیله آن می‌توان به صورت دقیق مقادیر RGB مورد نظر را در یک فایل نوشتاری نگاشت و آنگاه آن را جایگزین فایل پیش فرض در نرم‌افزار پروفایل‌ساز تجاری نمود.

فضای رنگی چاپگر RGB، دارای سه بعد است که در آن هر یک از محورها نشان دهنده یکی از سه رنگ اولیه در اختلاط افزایشی می‌باشد. هر رنگ اولیه، هنگامی که به صورت ۸ بیتی کدگذاری شود، می‌تواند از ۰ تا ۲۵۵ متغیر باشد. بنابراین دامنه عملیاتی یک چاپگر RGB بین $R=G=B=0$ (سیاه) و $R=G=B=255$ (سفید) با ۳ اولیه $(R+G+B)$ است. ساده‌ترین راه ساخت چارت و دادن ورودی به یک مدل این است که فضای RGB به چند بخش مساوی تقسیم شود. با توجه به این که ترکیبات مختلف R ، G ، B با یکدیگر پتانسیل تولید نیاز به کم کردن تعداد نمونه‌ها است، زیرا چارت‌های ساخته شده از چند هزار لکه رنگی عملاً موجب بهبود اندکی در توسعه کیفی یک پروفایل می‌شوند که به ندرت ارزش زمان و تلاش مورد نیاز برای اندازه‌گیری‌های مربوطه را دارد. لذا در این مرحله باید دانست که به چند نمونه و در کجای فضای مکعب RGB نیاز است [۲۰].

از سویی دیگر، نحوه قرارگیری نمونه‌ها روی رفتار نهایی و کیفیت پروفایل موثر است. یک چارت رنگ خوب باید برای گوشه‌های مکعب و قطر وجه‌های فضای سه‌بعدی ایجاد شده، نمونه

جدول ۳: مقادیر RGB برای تقسیم‌بندی ۴ تایی (۴ گرید، چارت ۶۴ تایی) در فضا رنگ RGB

Table 3: RGB values on 4 points, in RGB space (4Grid, chart's 64)

1	0	0	0	17	0	0	85	33	0	0	170	49	0	0	255
2	85	0	0	18	85	0	85	34	85	0	170	50	85	0	255
3	170	0	0	19	170	0	85	35	170	0	170	51	170	0	255
4	255	0	0	20	255	0	85	36	255	0	170	52	255	0	255
5	0	85	0	21	0	85	85	37	0	85	170	53	0	85	255
6	85	85	0	22	85	85	85	38	85	85	170	54	85	85	255
7	170	85	0	23	170	85	85	39	170	85	170	55	170	85	255
8	255	85	0	24	255	85	85	40	255	85	170	56	255	85	255
9	0	170	0	25	0	170	85	41	0	170	170	57	0	170	255
10	85	170	0	26	85	170	85	42	85	170	170	58	85	170	255
11	170	170	0	27	170	170	85	43	170	170	170	59	170	170	255
12	255	170	0	28	255	170	85	44	255	170	170	60	255	170	255
13	0	255	0	29	0	255	85	45	0	255	170	61	0	255	255
14	85	255	0	30	85	255	85	46	85	255	170	62	85	255	255
15	170	255	0	31	170	255	85	47	170	255	170	63	170	255	255
16	255	255	0	32	255	255	85	48	255	255	170	64	255	255	255

۲-۳- تنظیمات جهت چاپ چارت رنگ

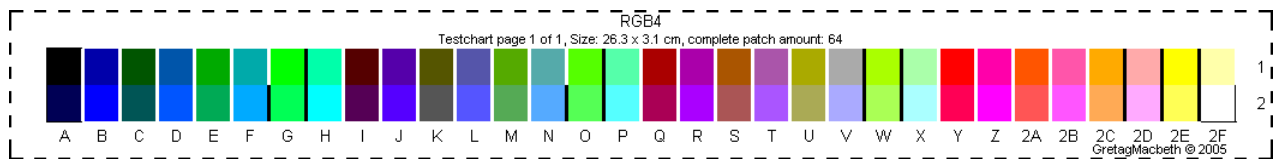
در این قسمت، هدف مقایسه روش‌هایی است که طی آن مقادیر RGB از طریق سیستم عامل به چاپگر فرستاده می‌شود. هر تصویری در فوتوشاپ تحت یک پروفایل مشخص نمایش داده می‌شود، به همین جهت RGB پیکسل‌های تصویر معنی‌دار شده و فوتوشاپ می‌تواند اطلاعات رنگ تصویر را تفسیر کند [۲۱].

در فوتوشاپ برای این که بتوان پروفایل یک تصویر را تغییر داد دو راه وجود دارد. راه اول این است که همان مقادیر RGB تصویر تحت پروفایل جدید تعریف شوند که در این صورت RGB پیکسل‌های تصویر ثابت مانده ولی اطلاعات رنگ آنها (که در فوتوشاپ $L^*a^*b^*$ به عنوان اطلاعات رنگ نمایش داده می‌شود) تغییر می‌کند. این نحوه تغییر پروفایل را می‌توان در قسمت 'Edit\Assign Profile' (شکل ۶) در نرم‌افزار فوتوشاپ انجام داد.

برای انجام این مرحله، اندازه هر لکه رنگ $۰,۷ \times ۰,۷۵$ سانتی‌متر و ابعاد کاغذ چارت رنگ به اندازه کاغذ A4 انتخاب شد و بعد از چاپ چارت رنگ، اندازه‌گیری اطلاعات انعکاس طیفی هر لکه رنگ توسط اسپکتروفوتومتر صورت گرفت.

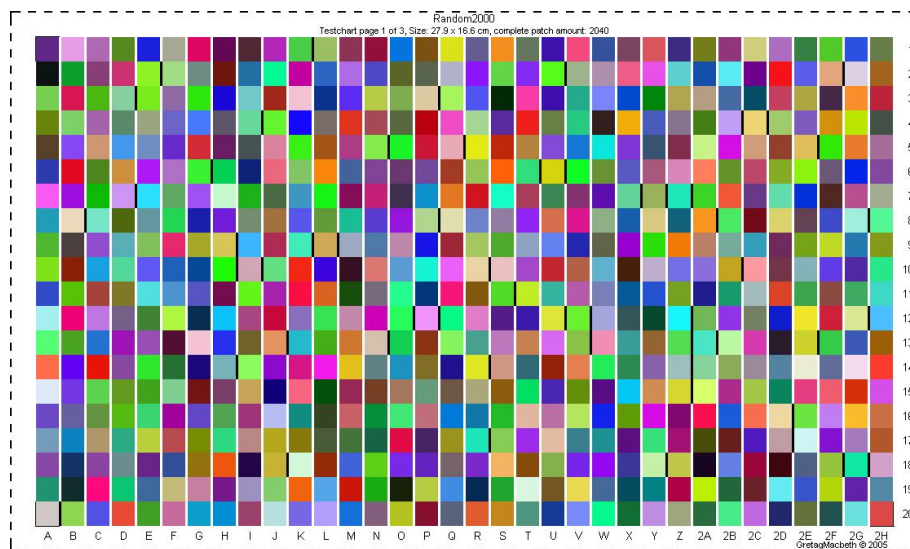
لازم بذکر است که نرم‌افزار پروفایل‌ساز تجاری برای تشخیص لکه‌های رنگ و اندازه‌گیری آنها، ممکن است چند لکه رنگ تکراری را به چارت اضافه کند که باید از میان نمونه‌های رنگ تکراری تنها یک لکه رنگ انتخاب شود تا در محاسبات داده تکراری وجود نداشته باشد.

همچنین برای مقایسه قدرت پیش‌گویی مدل، از یک چارت رنگ با ۲۰۰۰ لکه رنگ که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند، استفاده شد (شکل ۵).



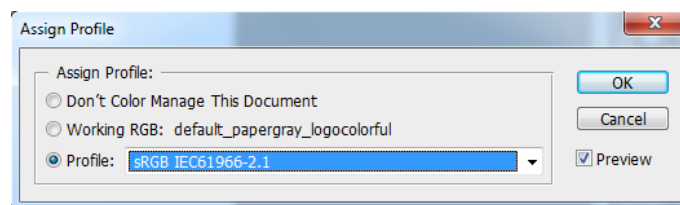
شکل ۴: چارت رنگ که هر بعد فضای RGB را به ۴ نقطه تقسیم کرده است (چارت ۶۴ تایی).

Figure 4: Color chart divides into 4 points, based on RGB space (chart's 64).



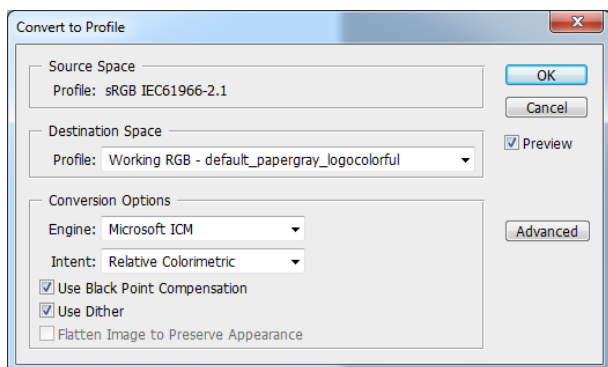
شکل ۵: چارت رنگ با نمونه‌های تصادفی برای مقایسه مدل‌های مختلف (چارت ۲۰۰۰ تایی).

Figure 5: The random Color chart to compare the various models (chart's 2000)



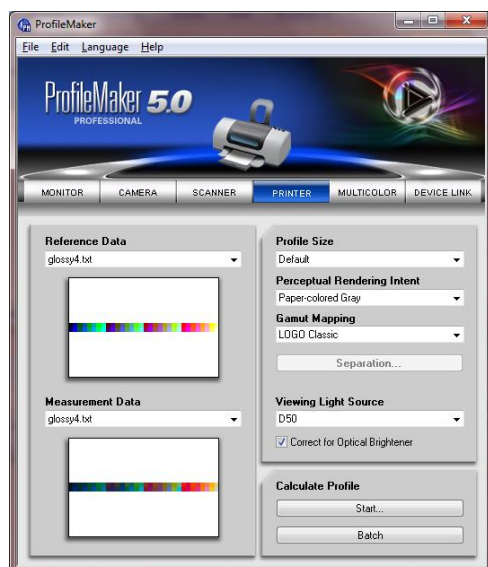
شکل ۶: نحوه تغییر پروفایل از طریق Assign Profile در فوتوشاپ.

Figure 6: Profile Changing through the Assign Profile section in Photoshop.



شکل ۷: نحوه تغییر پروفایل از طریق Convert to Profile در فوتوشاپ.

Figure 7: Profile Changing through the Convert to Profile section in Photoshop.



شکل ۸: ساخت پروفایل در محیط نرم افزار ProfileMaker

Figure 8: Building profile in ProfileMaker software

سازندگان این گونه نرم‌افزارها اغلب بر سر بالا بردن کیفیت از طریق افزایش تعداد نقاط نمونه و کاهش زمان پردازش و افزایش سرعت پروفایل‌سازی و کاهش حجم نرم‌افزار با یکدیگر رقابت می‌کنند.

۳- نتایج و بحث

برای ایجاد گروه‌های آموزشی مختلف ابتدا با ایجاد تقسیم بندی های مختلف هندسی در فضای RGB، چارت های رنگ متفاوتی که از نظر تعداد رنگ با یکدیگر متفاوتند ایجاد شدند. در جدول شماره ۴ گریدهای تقسیم‌بندی در حالت‌هایی که هر محور از فضای سه بعدی شامل ۴ الی ۱۵ گره است، مشخص شده است. این تقسیم‌بندی‌ها

راه حل دوم ثابت نگه داشتن $L^*a^*b^*$ پیکسل‌های تصویر می‌باشد. در این صورت برای این که بتوان تصویر را در پروفایل جدید نشان داد، به ناچار این بار RGB پیکسل‌های تصویر تغییر خواهند کرد. این عمل را می‌توان در قسمت Edit\Convert to Profile (شکل ۷) انجام داد. در این عملیات با توجه به این که محدوده رنگ پروفایل ورودی و خروجی ممکن است متفاوت باشند، در این صورت باید برای انتقال رنگ‌های خارج از محدوده رنگ به درون محدوده رنگ باید یک روش (از چهار روش رنگ‌سنجی نسبی، رنگ‌سنجی مطلق، ادراکی و اشیاعی) انتخاب شود. در این روش نقطه سفید در پروفایل ورودی و خروجی یکسان در نظر گرفته می‌شود [۷].

از سویی دیگر، فوتوشاپ قابلیت تبدیل به پروفایل^۱ را به صورتی دیگر به هنگام چاپ به نمایش گذاشته است. به این صورت که در قسمت پیش نمایش چاپ^۲ یک عملیات مدیریت رنگ شبیه‌سازی شده نشان داده شده است که برای آن باید حالت "بدون مدیریت رنگ" انتخاب شود. در این وضعیت پروفایل بدون تغییر به سیستم عامل و سپس به نرم‌افزار چاپگر فرستاده می‌شود. از آنجایی که هدف تحقیق بررسی ارتباط RGB فرستاده شده به چاپگر و سنجش انعکاس طیفی لکه‌های رنگ بعد از چاپ است، لذا از حالت ارسال داده های رنگ بدون مدیریت رنگ استفاده شد، تا اثر تغییرات به صورت مستقل و جدا دیده شوند. هنگام این انتخاب لازم است که حالت "بدون مدیریت رنگ" و یا "ICM off" بار دیگر در نرم افزار چاپگر نیز غیرفعال گردد.

۲-۴- معرفی نرم افزار تجاری ProfileMaker

از نرم‌افزار پروفایل‌ساز تجاری برای ساخت پروفایل تصاویر استفاده می‌شود. نرم‌افزار پروفایل‌ساز تجاری دارای این قابلیت است که براساس اطلاعات ارقام چارتهای رنگ نسبت به تولید و ارائه پروفایل اقدام کند. این پروفایل‌ها می‌توانند برای مشاهده تصویر و یا چاپ آنها مورد استفاده قرار گیرند. این نرم‌افزار دارای محیطی گرافیکی با امکان لحاظ برخی تغییرات ساده می‌باشد (شکل ۸). روش تبدیل مقادیر وابسته به دستگاه به مقادیر مستقل از دستگاه در این نرم‌افزار تجاری، روش جدول فهرستی^۳ (LUT) است. یک جدول فهرستی، جدولی از اعداد است که امکان می‌دهد به هر یک از مقادیر ورودی مراجعه شده و مقدار خروجی متناظر با آن پیدا گردد. بسته نرم‌افزاری پروفایل‌ساز تعداد نقاط موجود در جداول فهرستی را تعیین می‌کند. پروفایل‌های مبتنی بر جدول همیشه از CIELAB به عنوان فضای پروفایل اتصال استفاده می‌کنند.

- 1- Convert to Profile
- 2- Print Preview
- 3- Look up table(LUT)

در شکل‌های ۹ تا ۱۲ نحوه توزیع گروه‌های آموزشی در درجه‌بندی‌های ۱۵،۸،۴ به‌عنوان مثال و نیز گروه آزمون ۲۰۰۰ تایی در فضای سه‌بعدی RGB و نیز مقادیر انعکاس طیفی مربوطه که پس از چاپ به کمک طیف‌سنج در محدوده طیف مرئی تهیه شده بود، نشان داده شده است.

همچنین در شکل ۱۳ محدوده رنگی چارت رنگ با درجه ۱۵ که بر روی دو نوع کاغذ براق چاپ شده بود با کمک روش کانوکس هال بهبود یافته^۱ نشان داده شده است.

در مرحله بعد، از طریق روش ماتریسی و عملیات جبر خطی طبق رابطه کلی ۱ و چند جمله‌ای‌های تعریف شده در جدول ۱ نسبت به تعیین ماتریس تبدیل A (مجهول) از طریق درجه‌بندی‌های مختلف گروه‌های آموزشی تعریف شده در جدول ۴ در فضای RGB (معلوم) و ارقام رنگ متناظر XYZ (معلوم) اقدام گردید. در این جا باید توجه داشت که آرایه‌های ماتریس تبدیل A با توجه به گریدهای مختلف و با توجه به آن که کدام چندجمله‌ای از جدول ۱ انتخاب شده اند، متفاوت هستند.

آنگاه با کمک ماتریس تبدیل به دست آمده از هر کدام از گروه‌های آموزشی و با توجه به چند جمله‌ای انتخاب شده، نسبت به پیشگویی ارقام رنگ XYZ گروه آزمون که شامل ۲۰۰۰ نمونه تصادفی رنگ در یک چارت رنگ بود، اقدام شد. به عبارتی در وضعیت آزمون، مقادیر معلوم در رابطه کلی ۱ ارقام RGB و ماتریس A و مقادیر مجهول ارقام رنگ XYZ بودند. در نهایت محاسبات آماری مقادیر اختلاف رنگ برای مبنای DE2000 بین ارقام رنگ پیشگویی شده و ارقام رنگ واقعی چاپ شده گروه آزمون (اندازه‌گیری شده توسط طیف‌سنج) تعیین گردید.

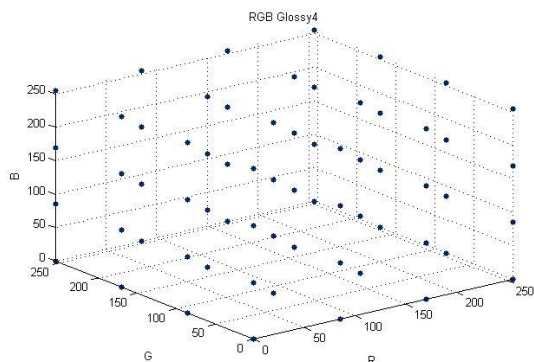
منجر به ایجاد ۶۴ الی ۳۳۷۵ قطعه رنگ در چارت‌های رنگ مختلف می‌گردید که از نظر هندسی منجر به یک پوشش‌دهی یکنواخت در فضای RGB می‌شوند. همچنین برای ایجاد گروه آزمون با روش تصادفی ۲۰۰۰ مقدار برای نقاط رنگ RGB تعیین شد.

جدول ۴: تعداد نمونه‌های رنگ در چارت‌های رنگ ساخته شده.

Table 4: Number of color patches in produced color charts.

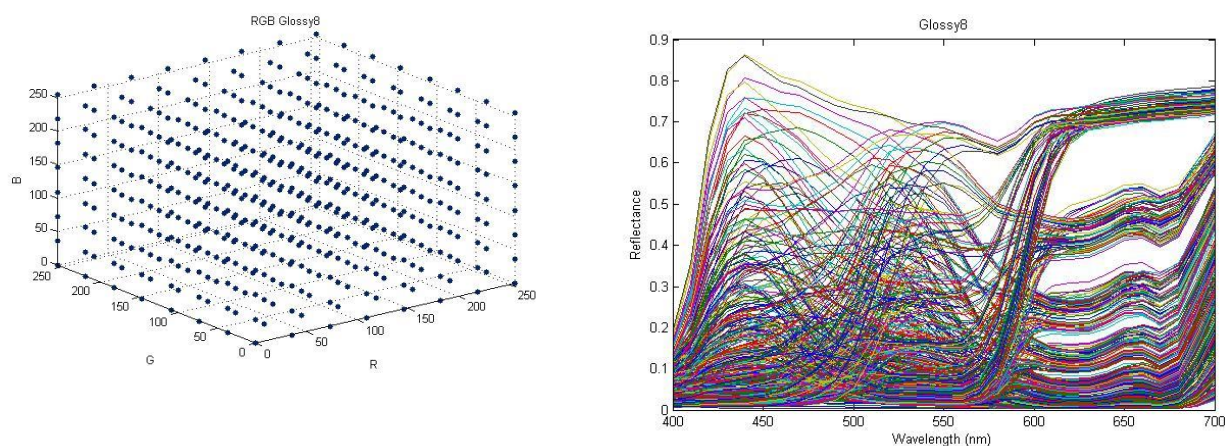
نام نمونه	تعداد تقسیم‌بندی در فضای RGB	تعداد نمونه‌ها در چارت
4grid	4	64
5grid	5	125
6grid	6	216
7grid	7	343
8grid	8	512
9grid	9	729
10grid	10	1000
11grid	11	1331
12grid	12	1728
13grid	13	2197
14grid	14	2744
15grid	15	3375
test	-	2000

1- Convex hull modified



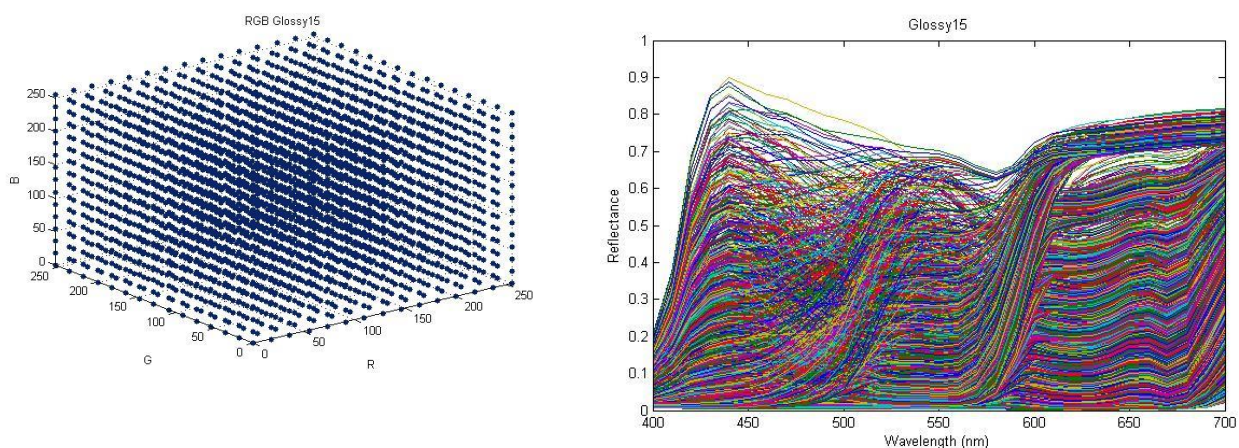
شکل ۹: توزیع نمونه‌ها با درجه ۴ در فضای RGB و انعکاس طیفی نمونه‌های چاپ شده بر روی کاغذ براق.

Figure 9: RGB space distribution of color patches (Grade 4) and their spectral reflectance's on printed glossy paper.



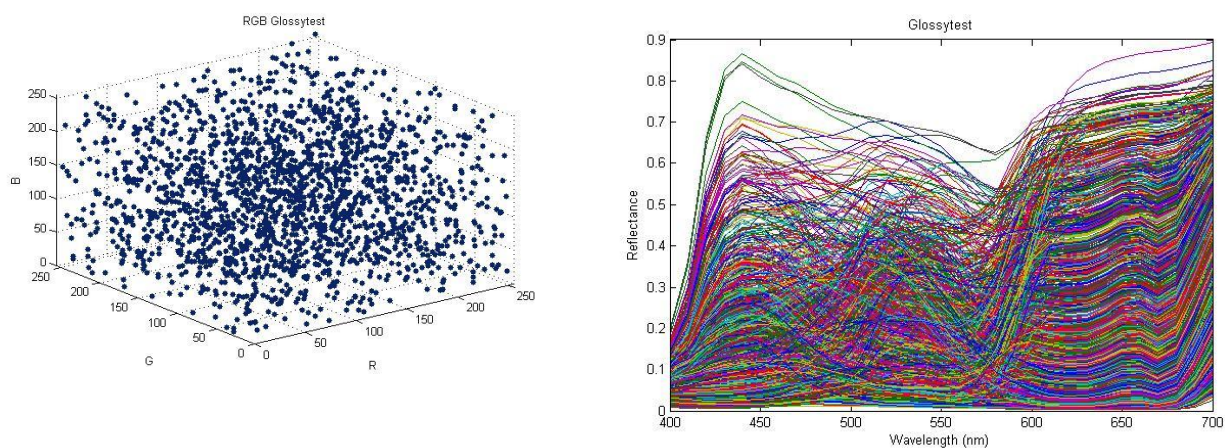
شکل ۱۰: توزیع نمونه‌ها با درجه ۸ در فضای RGB و انعکاس طیفی نمونه‌های چاپ شده بر روی کاغذ براق.

Figure 10: RGB space distribution of color patches (Grade 8) and their spectral reflectance's on printed glossy paper.



شکل ۱۱: توزیع نمونه‌ها با درجه ۱۵ در فضای RGB و انعکاس طیفی نمونه‌های چاپ شده بر روی کاغذ براق.

Figure 11: RGB space distribution of color patches (Grade 15) and their spectral reflectance's on printed glossy paper.

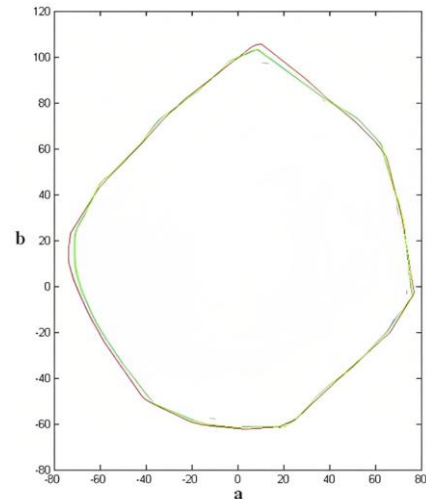


شکل ۱۲: توزیع نمونه‌های رنگ گروه آزمون (۲۰۰۰ عددی) در فضای RGB و انعکاس طیفی نمونه‌های چاپ شده بر روی کاغذ براق.

Figure 12: RGB space distribution of test group color patches (chart's 2000) and their spectral reflectance's on printed glossy paper.

نتایج نشانگر این است که در روش ماتریسی و با انتخاب هر کدام از چندجمله‌ای‌ها، افزایش گرید از ۴ الی ۱۵ تاثیر موثری بر روی کاهش بیشینه و کاهش انحراف معیار مقادیر اختلاف رنگ نداشته است. همچنین هنگامی که از چارت رنگ ۳۳۷۵ تایی به بجای چارت رنگ ۶۴ تایی برای تعیین ماتریس تبدیل A استفاده شد، مقدار متوسط اختلاف رنگ کلی تنها در حدود یک واحد کاهش یافت. اما زمانی که از درجات بالاتر چندجمله‌ای برای ایجاد ماتریس تبدیل A استفاده شد، کاهش کلی بیشینه و انحراف معیار و متوسط و میانه مقادیر اختلاف رنگ قابل ملاحظه بود. بدین ترتیب که استفاده از چند جمله‌ای RGB3 نسبت به استفاده از چندجمله‌ای RGB1 باعث شد که مقدار متوسط اختلاف رنگ کلی را از ۱۱٫۸۵ به ۲٫۶۷ یعنی در حدود ۷۷ درصد کاهش داشته باشد.

البته در مقایسه با روش جدول فهرستی که با کمک نرم افزار پروفایل ساز تجاری انجام شد، مشخص گردید که اثر گریدهای بالاتر برای نیل به مقادیر کمتر اختلاف رنگ موثرتر است به طوری که این نرم افزار هنگام استفاده از گرید ۱۵ نسبت به گرید ۴ توانست به اندازه ۲ واحد متوسط اختلاف رنگ کلی کمتر را به دست دهد. بدین ترتیب می توان گفت که استفاده از نرم افزار پروفایل ساز تجاری توانست اختلاف رنگ فرآیند پیشگویی را به مرزهای حداقل لازم برای ادراک اختلاف رنگ نزدیک تر سازد [۲۲].



شکل ۱۳: محدوده رنگی نمونه‌های رنگ چاپ شده با درجه ۱۵ بر روی دو نوع کاغذ براق در صفحه a-b (رسم توسط روش کانوکس هال بهبود یافته).

Figure 13: The color gamut (a-b axes) of the color patches (Grid15) printed on two types of glossy papers (plotted by Convex hull modified method).

لازم به ذکر است که ارقام رنگ واقعی گروه آزمون از طریق مقادیر انعکاس طیفی نقاط رنگ چاپ شده و با کمک توابع رنگ همانند مشاهده گر ۲ درجه و استاندارد نوری D50 به ارقام رنگ در فضای XYZ محاسبه شدند. در جداول ۵ الی ۷ نتایج حاصل از اختلاف رنگ بر مبنای DE2000 با روش ماتریسی برای چندجمله‌ای‌های RGB1 تا RGB3 و تحت گریدهای مختلف آورده شده است.

جدول ۵: مقادیر DE2000 برای کاغذ براق با ورودی RGB1 به روش ماتریسی.

Table 5: DE2000 values on glossy paper using RGB1 input and Matrix method.

Glossy paper, Matrix RGB1, DE2000				
Size	Mean	Median	Max	STD
4 grid	13.49	12.66	29.08	4.55
5 grid	13.09	12.23	28.49	4.49
6 grid	12.26	11.31	29.41	4.57
7 grid	11.89	10.86	30.06	4.63
8 grid	11.72	10.63	30.44	4.68
9 grid	11.59	10.48	31.34	4.73
10 grid	11.41	10.30	31.03	4.71
11 grid	11.41	10.30	31.98	4.80
12 grid	11.38	10.28	32.04	4.81
13 grid	11.40	10.32	32.28	4.82
14 grid	11.29	10.18	32.33	4.82
15 grid	11.23	10.14	32.12	4.80
	11.85	10.80	30.88	4.70

جدول ۶: مقادیر DE2000 برای کاغذ براق با ورودی RGB2 به روش ماتریس.

Table 6: DE2000 values on glossy paper using RGB2 input and Matrix method.

Glossy paper Matrix RGB ² DE2000				
Size	Mean	Median	Max	STD
4 grid	8.84	5.69	49.88	7.90
5 grid	7.88	5.25	49.28	7.01
6 grid	7.69	4.87	48.70	7.22
7 grid	7.45	4.58	49.14	7.22
8 grid	7.43	4.55	49.19	7.27
9 grid	7.45	4.52	49.62	7.33
10 grid	7.28	4.38	49.81	7.30
11 grid	7.18	4.34	49.80	7.19
12 grid	7.14	4.36	49.39	7.09
13 grid	7.15	4.36	49.94	7.13
14 grid	7.09	4.28	49.93	7.15
15 grid	7.01	4.21	49.73	7.08
	7.47	4.62	49.53	7.24

جدول ۷: مقادیر DE2000 برای کاغذ براق با ورودی RGB3 به روش ماتریس.

Table 7: DE2000 values on glossy paper using RGB3 input and Matrix method.

Glossy paper Matrix RGB ³ DE2000				
Size	Mean	Median	Max	STD
4 grid	3.31	2.69	17.45	2.26
5 grid	3.62	3.14	19.67	2.38
6 grid	2.79	2.28	17.11	1.92
7 grid	2.62	2.16	17.01	1.80
8 grid	2.57	2.10	17.33	1.83
9 grid	2.52	2.04	17.29	1.78
10 grid	2.55	2.09	17.01	1.78
11 grid	2.46	2.02	16.93	1.74
12 grid	2.45	2.00	17.15	1.78
13 grid	2.38	1.95	17.21	1.74
14 grid	2.41	1.96	17.34	1.77
15 grid	2.37	1.94	17.11	1.73
	2.67	2.20	17.38	1.88

در جدول ۸ نتایج حاصل شده از نرم‌افزار ProfileMaker آورده شده است.

جدول ۸: مقادیر DE2000 برای کاغذ براق با استفاده از نرم‌افزار ProfileMaker.

Table 8: DE2000 values on glossy paper using ProfileMaker software.

Glossy paper Profilemaker DE2000				
Size	Mean	Median	Max	std
4 grid	2.98	2.51	16.14	2.03
5 grid	2.38	2.09	12.72	1.45
6 grid	1.48	1.24	7.29	0.94
7 grid	1.22	1.03	5.89	0.78
8 grid	1.18	1.02	6.31	0.75
9 grid	1.17	0.95	12.77	0.92
10 grid	1.11	0.91	5.52	0.74
11 grid	1.14	0.93	5.54	0.78
12 grid	1.02	0.83	5.5	0.7
13 grid	1.03	0.85	5.28	0.7
14 grid	1.04	0.84	5.67	0.74
15 grid	1.01	0.82	5.76	0.69
	1.40	1.17	7.87	0.94

پروفایل‌ساز تجاری نیز اختلاف رنگ بین ارقام رنگ پیشگویی شده و واقعی محاسبه شد. نتایج نشان داد که در روش ماتریسی افزایش درجه از ۴ الی ۱۵ تاثیر چندانی در بهبود به اندازه اثر افزایش درجه چندجمله‌ای نداشت. اما نتایج با روش جدول فهرستی نرم‌افزار پروفایل‌ساز تجاری، با افزایش گرید بهبود قابل توجه یافت. در مقایسه در بهترین وضعیت، اختلاف رنگ کمتری توسط نرم‌افزار پروفایل‌ساز تجاری به دست آمد که نزدیک به آستانه ادراک اختلاف رنگ یعنی ۱،۰۱ بود، در حالی که در بهترین حالت در روش ماتریسی اختلاف رنگ ۲،۳۷ به دست آمد. در یک نتیجه‌گیری کلی به نظر می‌رسد که حداقل هنگام استفاده از چاپگرها، استفاده از روش جدول فهرستی به جای روش ماتریسی ارجحیت دارد.

در این مقاله هیچگونه تعارض منافی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از رساله دکترای آقای مهزیار گرجی می‌باشد. نویسندگان مقاله از راهنمایی‌های علمی پروفیسور سیامک مرادیان عضو قطب علمی رنگ کشور کمال تشکر را می‌نمایند.

۴- نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق تبدیل ارقام رنگ وابسته به دستگاه RGB به ارقام مستقل از دستگاه XYZ از طریق روش ماتریسی و مقایسه نتایج آن با نرم‌افزار پروفایل‌ساز تجاری بود. نتایج این تحقیق می‌تواند برای بهبود و فهم سیستم مدیریت رنگ در چاپ دیجیتال به کار برده شود. برای این منظور یکسری گروه آموزشی براساس درجه‌های مختلف جایگیری در فضای RGB که امکان ایجاد ۶۴ (درجه ۴) الی ۳۳۷۵ (گرید ۱۵) نمونه رنگ در چارت رنگ را می‌نمود، تهیه شدند. همچنین برای بهبود نتایج در روش ماتریسی از چندجمله‌های درجه اول الی درجه سوم در ماتریس ضرائب ورودی RGB استفاده شد. بدین ترتیب ماتریس‌های انتقال توسط روش ماتریسی با توجه به حالات مختلف تعریف شده تعیین شدند. سپس با کمک ماتریس انتقال نسبت به پیشگویی ارقام رنگ مستقل از دستگاه برای یکسری نمونه ۲۰۰۰ تایی تصادفی در چارت رنگ اقدام شد. آنگاه اختلاف رنگ DE2000 بین ارقام رنگ حاصل از پیشگویی ماتریسی انتقال در روش ماتریسی (درجه‌بندی‌های مختلف و چندجمله‌ای‌های مختلف) و ارقام رنگ واقعی مربوط به ۲۰۰۰ نمونه تصادفی در چارت رنگ آزمون، چاپ شده متناظر آن که با کمک طیف‌سنج به دست آمده بودند، محاسبه گردید. در گریدهای مختلف توسط نرم‌افزار

۵- مراجع

1. G. Sharma. Digital color imaging handbook. CRS press. 2003. chapter 4.
2. J. P. Homann. Digital Color Managemet. Springer. Berlin. Germany, (2009), 116-117.
3. M. S. Kurecic. A. Darko. L.Mandić. Color management implementation in digital photography. *J. Info. Org. Sci. (JIOS)*, 31(2) (2007).
4. C. E. Chin, M. E. K. Garcia. M. R.Gupta. Color management of printers by regression over enclosing neighborhoods. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). San Antonio, Texas, USA. Sep. 16-19, (2007), 161-164.
5. B. Fraser, C. Murphy, F. Bunting, Real world color management. Second ed. Peachpit Press. 2005. 609.
6. M. Gorji, K. Ansari, S. Moradian, Errors involved in profiles in color management systems, AIC 2012 Taipei, Taiwan, (2012), Sep. 23-25.
7. M. Gorji. K. Ansari. S. Moradian. Investigating methods for determining the boundaries of the color gamut of a printer. *J. Print. Publ.* 1 (2012), 103-117.
8. M. Gorji. K. Ansari. F. Ameri, S. Moradian. A concise review on color match prediction models. *J. Color Sci. Tech.* 8 (2014), 249-260.
9. P. Green, J. Holm, W. Li, Recent developments in ICC color management. *Color Res. Appl.* 33(6) (2008), 444-448.
10. P. Green. L. MacDonald. Colour Engineering: Achieving Device Independent Colour. Wiley. 1st ed. 2002.
11. P. Hung. Colorimetric calibration for scanners and media. SPIE. 1991. 1448, 164-174.
12. M. Gorji. K. Ansari. S. Moradian. The use of decomposing theory and artificial neural network to enhance the performance of color profile management systems. *J. Print. Publ.* 2 (2012), 75-88.
13. M. Gorji, K. Ansari, S. Moradian, The effect of various papers on the prediction accuracy of a cube nearest neighbor color prediction model in LUT profiles utilized in an inkjet printer. *J. Color Sci. Tech.* 7 (2013), 257-263.
14. L.W. MacDonald, M. Ronnier Luo, Colour imaging, vision and technology. *J. Color Sci. Tech.* 27(6) (2002). 455-455.
15. F. Dugay, I. Farup, J. Y. Hardeberg. Perceptual evaluation of color gamut mapping algorithms. *J. Color Sci. Tech.* 33 (2008), 470-476.
16. S. Gorji Kandi, M. Amani Tehrani. A new method for color gamut mapping by genetic algorithm. *Prog. Color Colorants Coat.* 2(2009). 95-101.
17. R. Bala. Challenges in color reproduction: Towards Higher Dimensions. SPIE/IS&T Electronic imaging symposium. 5667 (2004), 162-169.
18. L. Yang. Characterization of inks and ink application for ink-jet printing model and simulation. *J. Opt. Soc. Am. A.* 20(7) (2003), 1149-1154.
19. A. Tajik Esmaeili. M. Ataefard. M. Safi. Recognition of sequence of print and ink strokes: investigation the effect of handwriting pressure, hue of ink, printer and paper type, *Prog. Color Colorants Coat.* 12 (2019), 251-261
20. R. Lukac. K. N. Plataniotis. Color image processing (methods and applications). CRC Press. (2006) chapter 1.
21. Color management workflow in adobe after effects CS. Adobe photoshop. 2007.
22. A. Dolhasz, C. Harvey, I. Williams. Learning to observe: approximating human perceptual thresholds for detection of suprathreshold image transformations, Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (CVPR), (2020), 4797-4807.

How to cite this article:

K. Ansari, M. Gorji Bandpay, M. Safi, F. Ameri, Comparison of the Color Values Prediction by a Matrix Method and a Well-Known Software for a Digital Color Management Process. *J. Color Sci. Tech.* 16, 3(2022), 253-266.

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.3.1.7