

مقایسه روش‌های نگویبر و نگویبر اصلاح شده با ضریب n به منظور توصیف چاپگر نقطه‌ای چهار رنگ

فرهاد مقاره عابد^{۱*}، سید حسین امیرشاهی^۲، سید مجید مرتضوی^۳

۱- گروه پژوهشی فیزیک رنگ، پژوهشگاه صنایع رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

۲- دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۴

۳- دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۳۱۱-۸۴۱۵۶

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۵/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۱۱/۱۷ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۶/۱۲/۲۰

چکیده

در این تحقیق توصیف چاپگر نقطه‌ای، به دو روش نگویبر و نگویبر اصلاح شده با ضریب n برای یک چاپگر نقطه‌ای با چهار اولیه رنگی مورد بررسی قرار گرفته است. علیرغم ارتباط تقریباً خطی بین فضای پوشیده شده واقعی و هدف، برای رنگزاهای غیرمشکی چاپگر استفاده شده، انحراف زیاد بین سطح پوشیده شده واقعی و هدف برای رنگزای مشکی چاپگر، باعث ایجاد خطا در تخمین مؤلفه‌های رنگی در مدل نگویبر شده است. نتایج به دست آمده برای نمونه‌های آزمایش شده نیز نشان‌دهنده خطای محاسباتی کمتر در نمونه‌های تخمین زده شده به روش نگویبر اصلاح شده با ضریب n نسبت به روش نگویبر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: توصیف چاپگر، مدل نگویبر، چاپ نقطه‌ای، چاپگر چهار رنگ، برداشت نقطه.

Comparison of Neugebauer and n-Modified Neugebauer Models for the Characterization of a Four-color Halftone Printer

F. M. Abed*, S. H. Amirshahi, S. M. Mortazavi

Abstract

In this study, the characterization of a four-color halftone printer was carried out by original Neugebauer and n-modified Neugebauer models. According to the results, the modified Neugebauer method was led to a better outcome. Although the relation between target dot area and real dot area for a color inks were linear, the nonlinearity of target and real dot area for black ink caused some error especially in dark samples. In the n-modified Neugebauer model the nonlinearity between real and target dot area was considered. Therefore, this model was led to a better color reproduction accuracy as comparison with the original Neugebauer model. The results showed that the modified Neugebauer method is led to better outcome. *J. Color Sci. Tech.* 1(2008), 97-110. © Institute for Colorants, Paint and Coatings

Keyword: Printer characterization, Neugebauer model, Halftone, Four-color printer, Dot gain.

۱- مقدمه

مورد نظر وابسته می‌باشد. در صورت نیاز به استفاده از یک دستگاه در روزها و زمان‌های مختلف، انجام عمل تنظیم جهت اطمینان از حصول نتایج یکسان و قابل استفاده ضروری است. در هر حال تنظیم و توصیف می‌توانند یکدیگر را به نحوی پوشش دهند؛ بدین مفهوم که عدم امکان تنظیم با دقت مناسب با تکرار عمل توصیف، جبران می‌شود و بر عکس در صورت تنظیم مناسب یک دستگاه، تعداد دفعات توصیف رنگی را می‌توان کاهش داد به شرط این که دستگاه به طور مرتب تنظیم شود [۱].

توصیف رنگی یکی دستگاه به صورت تبدیل مؤلفه‌های رنگی یک دستگاه نمایش رنگ به فضای رنگی مستقل، مثلاً CIEXYZ تعریف می‌گردد. برای این منظور، یک مدل ریاضی تعریف می‌شود که توسط آن عمل انتقال رنگ از یک فضا به فضای دیگر صورت گیرد. ورودی یا خروجی یک دستگاه نمایش رنگ معمولاً اعدادی گسسته و محدود می‌باشند که شاخصی برای خروجی یا ورودی یک دستگاه نمایش دهنده رنگ است. برای وسایل ورودی، مدل ساخته شده باید مؤلفه‌های وابسته به دستگاه را به فضای مستقلی مانند CIEXYZ و برعکس در مورد دستگاه‌های خروجی، مؤلفه‌های مستقل باید به مقادیر وابسته به دستگاه مانند CMYK تبدیل شوند. اغلب مدل‌ها بر اساس انجام عمل نمونه‌برداری اولیه و محاسبه مقادیر متناظر رنگی برای نمونه مورد آزمایش در هر دو فضای وابسته و مستقل طراحی می‌شوند. هیچ یک از مدل‌های ارائه شده به طور مطلق برای تمامی دستگاه‌ها و تبدیل‌ها مناسب نیستند. طیف وسیعی از روش‌ها و مدل‌های مختلف، ارائه شده است که می‌توان آنها را به طور کلی به سه دسته مدل‌های عددی، جدول مقایسه‌ای^۷ و مدل‌های فیزیکی تقسیم نمود [۱،۳،۴].

در این تحقیق برای توصیف چاپگر معمولاً شامل موارد زیر می‌شود:
- روش‌هایی که در آن معادله‌ای بین میزان انعکاس و فضای نقطه تعریف می‌شود.

- روش‌هایی که رنگ نهایی حاصل از ترکیب چندین رنگزا (با استفاده از مقادیر کالریمتریک و یا طیف انعکاسی) محاسبه می‌شود.
پارامترهای مربوط به هر یک از مدل‌های فیزیکی با استفاده از نمونه‌های معلوم محاسبه می‌شوند.

از مدل‌های فیزیکی می‌توان به روش دانسیته^۸ و مدل‌های بر پایه فضای نقطه^۹ اشاره کرد. در روش اول، دانسیته به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری میزان رنگزا استفاده می‌شود. این روش از لحاظ ادراکی و همچنین میزان ارتباط خطی، نتایج بهتری در مقایسه با انعکاس اندازه‌گیری شده می‌دهد. میزان دانسیته D، با توجه به انعکاس، قابل محاسبه می‌باشد (معادله ۱) [۳،۵].

$$D = -\log R \quad (1)$$

روش‌های متعددی برای نمایش و انتقال رنگ در یک تصویر دیجیتال وجود دارد. از لحاظ تاریخی بیشتر سیستم‌های نمایش دیجیتال با داشتن یک فضای رنگی وابسته به دستگاه^۱ طراحی شده‌اند؛ به این معنی که مقادیر دیجیتالی ذخیره شده برای هر نقطه رنگی منجر به ایجاد نتایج مورد نظر برای یک وسیله خروجی بخصوص می‌باشد؛ به عنوان مثال، مشخصات رنگی یک نقطه رنگی در تصویر می‌تواند توسط مؤلفه‌های RGB (مناسب برای نمایش در یک نمایشگر) و یا مؤلفه‌های CMYK (مناسب برای توصیف همان رنگ در خروجی یک چاپگر) بیان شود. بنابراین، مؤلفه‌های رنگی که بر پایه وابستگی به رسانه بخصوصی می‌باشند فقط در دستگاه خروجی مربوطه، منجر به ایجاد ظاهر رنگی مناسب خواهند شد. سیستم باز متشکل از رسانه‌های ورودی و خروجی می‌باشد که هیچ یک از ورودی‌ها یا خروجی‌ها به صورت خاصی تعریف نشده باشند و به کارگیری همه حالت‌های ممکن از نحوه اتصال وسایل نمایش رنگ امکان‌پذیر می‌باشد. بنابراین، انتقال رنگ بین رسانه‌های نمایش رنگ در یک سیستم باز با تعریف یک سری روابط خاص برای مرتبط ساختن هر یک از رسانه‌ها به یکدیگر عملاً امکان‌پذیر نمی‌باشد. در سیستم‌های باز، با توجه به تنوع در سیستم‌های ورودی و خروجی و در نتیجه رویارویی با سیستم‌های مختلف بیان رنگ در دستگاه‌های گوناگون، مشکلات تازه‌ای برای انتقال رنگ بین دستگاه‌های نمایش رنگ پیش رو قرار می‌گیرد [۱-۳]. برای رفع مشکلات فوق، تلاش شده است تا دستگاه‌های نمایش رنگ با به کارگیری فضای رنگی مستقل از دستگاه^۲ توصیف گردند. در اغلب موارد این راه حل، قسمتی از مراحل سیستم‌های مدیریت رنگی را در بر می‌گیرد که تحت عنوان توصیف دستگاه^۳ معرفی شده است [۱،۳].

تنظیم یک دستگاه^۴ را می‌توان به صورت حصول یک وضعیت معلوم از یک دستگاه در نظر گرفت [۱،۳]. به عنوان مثال، تنظیم نقطه سفید، برداشت^۵ و انحراف^۶ در نمایشگر لوله اشعه کاتدی و نیز تنظیم معادله بین غلظت یا میزان رنگزا با سیگنال دریافتی برای چاپگر از جمله این نوع تنظیمات می‌باشد. تنظیم دستگاه، حصول نتایج یکسان را در هر بار استفاده از دستگاه تضمین می‌نماید. تنظیم دستگاه به راحتی و بدون نیاز به آگاهی از چگونگی ارتباط بین مؤلفه‌های دستگاه و مقادیر کالریمتری انجام می‌پذیرد در حالی که توصیف رنگی یک وسیله با هدف برقراری ارتباط منطقی بین مؤلفه‌های دستگاه و مقادیر کالریمتری صورت می‌پذیرد. عمل تنظیم معمولاً توسط سازنده انجام می‌شود و همچنین مراحل انجام آن به فناوری ساخت وسیله

- 1- Device dependent color space
- 2- Device independent color space
- 3- Device characterization
- 4- Device calibration
- 5- Gain
- 6- Offset

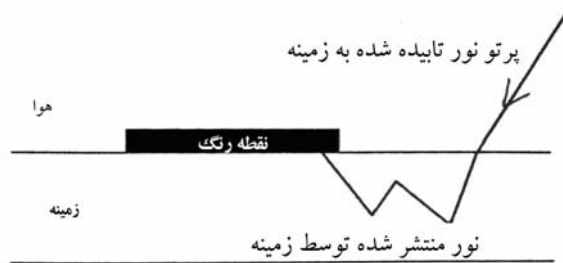
7- Look up table
8- Density
9- Dot area

اعمال این معادله غیرخطی برای لحاظ کردن تأثیر پدیده برداشت نقطه^۴، ضروری است. این پدیده باعث می‌شود که چاپ به دست آمده در سیستم نقطه‌ای از آنچه که مورد انتظار است تیره‌تر باشد. دلیل این امر برخورد نوری است که به ناحیه چاپ نشده تابیده است و توسط رنگ ناحیه چاپ شده جذب می‌شوند. همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، به دلیل انتشار، نور در زمینه چاپ نشده جذب می‌گردد [۵].

پدیده برداشت فیزیکی نقطه^۵ نیز علاوه بر برداشت نوری نقطه^۶ باید در نظر گرفته شود. افزایش سطح قسمت چاپ شده (یا نقطه چاپ شده) در اثر جاری شدن جوهر روی زمینه و جذب جوهر مرطوب، برداشت فیزیکی نقطه نام دارد. این پدیده باعث می‌شود که نقطه چاپ شده بزرگ‌تر از اندازه‌ای که مورد انتظار است چاپ شود. بنابراین، برای تصحیح تأثیرات این پدیده یک معادله غیرخطی مورد نیاز است که توسط آن، عدد یا سیگنال ورودی که به چاپگر فرستاده می‌شود (d) را به ناحیه‌ای که توسط نقطه چاپ شده پوشیده می‌شود ارتباط دهد [۸]. نحوه محاسبه سطح پوشیده شده واقعی (A) با استفاده از مقادیر مقدار انعکاس نمونه چاپ شده در معادله ۶ نشان داده شده است [۵].

$$A = \frac{\sum (P_s(\lambda)^{\frac{1}{n}} - P(\lambda)^{\frac{1}{n}} P_w(\lambda)^{\frac{1}{n}} - P_w(\lambda)^{\frac{1}{n}})}{\sum (P_s(\lambda)^{\frac{1}{n}} - P_w(\lambda)^{\frac{1}{n}})} \quad (6)$$

در این معادله، P انعکاس به دست آمده با درصد d، P_s انعکاس رنگ خالص، P_w انعکاس زمینه و λ طول موج می‌باشند. با استفاده از معادله ۶ سطح پوشیده شده واقعی با مقادیر فرستاده شده به چاپگر در درصدهای مختلف به دست می‌آید.



شکل ۱: پدیده برداشت نقطه.

که R مقدار انعکاس در هر یک از طول موج‌های مرئی است و قابل اندازه‌گیری می‌باشد.

مدل‌های بر پایه فضای نقطه بر اساس برقراری یک ارتباط بین میزان انعکاس یا دانسیته و فضای نقطه A تعریف می‌شوند. همچنین این ارتباط می‌تواند بین فضای نقطه و مؤلفه‌های کالریتری باشد. در روشی که توسط موری-داویس^۱ ارائه شده است، مقدار انعکاس برای کاغذ چاپ نشده برابر یک و مقدار انعکاس برای هنگامی که کاغذ به طور کامل توسط رنگ‌زا چاپ شده باشد صفر در نظر گرفته می‌شود (معادله ۲) [۳،۵،۶].

$$R = 1 - A \quad (2)$$

بنابراین، در صورتی که میزان انعکاس برای کاغذ سفید یا کاغذ چاپ شده با رنگ‌زا، استاندارد نشده باشد معادله ۲ به صورت معادله ۳ بازنویسی می‌شود.

$$R = R_w - A (R_w - R_s) \quad (3)$$

در این معادله، R_w میزان انعکاس برای سطح چاپ نشده و R_s میزان انعکاس برای رنگ خالص چاپ شده است. بنابراین، فضای نقطه A به صورت معادله ۴ محاسبه می‌شود.

$$A = \frac{R_w - R}{R_w - R_s} \quad (4)$$

دانسیته فضایی که توسط رنگ ایجاد شده است وابسته به مقدار نور وارد شده، نور منتشر شده و همچنین خصوصیات هندسی نقاط و زمینه می‌باشد. معادله بین فضای نقطه ایجاد شده، هندسه نقطه چاپ شده و فضای نقطه مورد نظر یا واقعی توسط تابع ارتباط میزان ته رنگ^۲ به دست می‌آید. با مشخص بودن این تابع، ارتباط بین نقطه ایجاد شده و فضای نقطه دلخواه، به راحتی قابل محاسبه خواهد بود. در صورتی که این تابع در دسترس نباشد، محاسبه فضای نقطه دلخواه با تعریف یک ضریب اصلاح، امکان‌پذیر می‌باشد.

در مدلی که توسط یول-نیلسن^۳ ارائه شده است، ضریب اصلاح n برای تصحیح انحرافات ناشی از انتشار درونی نور و نیز اصلاح عوامل ناشی از خصوصیات فیزیکی نقطه چاپ شده به صورت معادله ۵ استفاده شده است [۳،۵-۷].

$$A = 1 - R^{1/n} \quad (5)$$

4- Dot gain
5- Physical dot gain
6- Optical dot gain

1- Murray-Davies
2- Tonal value transfer function
3- Yule-Nielsen

$$\begin{aligned}
 X &= A_w X_w + A_c X_c + A_m X_m + A_y X_y + A_r X_r + \\
 &A_g X_g + A_b X_b + A_k X_k \\
 Y &= A_w Y_w + A_c Y_c + A_m Y_m + A_y Y_y + A_r Y_r + \\
 &A_g Y_g + A_b Y_b + A_k Y_k \\
 Z &= A_w Z_w + A_c Z_c + A_m Z_m + A_y Z_y + A_r Z_r + \\
 &A_g Z_g + A_b Z_b + A_k Z_k
 \end{aligned}
 \quad (8)$$

این معادله به نام معادله نگویبر شناخته شده است. بردار وزن‌های w_i که مشخص کننده سطح به وجود آمده برای هر یک از رنگ‌ها ($A_w, A_c, A_m, A_y, A_r, A_g, A_b, A_k$) می‌باشد توسط معادله دی‌مایکل محاسبه می‌شود که در معادله ۹ نشان داده شده است:

$$\begin{aligned}
 w_i &= [(1-c) \times (1-m) \times (1-y), c \times (1-m) \times (1-y), m \times \\
 &(1-c) \times (1-y), y \times (1-c) \times (1-m), c \times m \times (1-y), \\
 &c \times y \times (1-m), m \times y \times (1-c), c \times m \times y]
 \end{aligned}
 \quad (9)$$

معادله ۱۰ نشان دهنده مدل نگویبر برای چاپ نقطه‌ای چاپ شده با چهار رنگ CMYK می‌باشد.

$$X_{\text{cmky}} = \sum_{i=1}^{16} w_i X_i \quad (10)$$

در این معادله، w_i علاوه بر مقادیر نشان داده شده در معادله ۹، شامل ترکیب‌های اولیه‌های رنگی با رنگ مشکی نیز می‌باشد. معادله نگویبر برای چهار رنگ از دید تحلیلی^۳ معکوس‌پذیر نیست؛ بنابراین، ابداع روش‌هایی برای به دست آوردن میزان رنگ به کار رفته به منظور حصول رنگ با مؤلفه‌های رنگی دلخواه حائز اهمیت می‌باشد. از روش‌های به کار رفته می‌توان به روش‌های تکراری^۴ اشاره کرد. در این دسته از روش‌ها از یک حلقه تکرار شونده برای به دست آوردن نتیجه دلخواه استفاده می‌گردد. عمل معکوس‌سازی مدل به کار رفته در معادلات اصلاح شده نگویبر طبعاً پیچیده‌تر خواهد بود [۹].

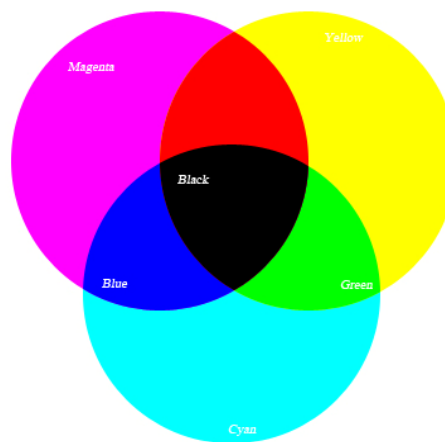
به منظور افزایش دقت روش نگویبر، انحرافات ناشی از برداشت نقطه در این مدل اصلاح شده است که معادله به دست آمده به معادله نگویبر اصلاح شده با ضریب تصحیح^۵ n معروف می‌باشد. در این روش مانند آنچه که در روش یول - نیلسن وجود دارد که در معادله ۵ نشان داده شده است یک ضریب تصحیح n برای جبران عوامل ناشی از انتشار درونی نور و نیز هندسه نقطه چاپ شده در نظر گرفته می‌شود [۷-۵، ۳]. نحوه محاسبه ضریب تصحیح n و چگونگی کاربرد آن در روش نگویبر در قسمت نتایج و بحث شرح داده شده است.

در روش نگویبر^۱ انعکاس هر بخش از یک تصویر که توسط روش‌های نقطه‌ای چاپ شده است به صورت تابعی از فضای نقطه اولیه‌های رنگی در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال، برای سه اولیه رنگی، هشت حالت رنگی وجود دارد که حاصل از ترکیب‌های دوتایی، سه‌تایی و خود اولیه‌ها می‌باشد (شکل ۲).

دی‌مایکل^۲ با فرض تصادفی بودن محل تلاقی که تقریباً به ساختار مورد استفاده در الگوریتم‌های چاپگرهای نقطه‌ای مطابقت دارد، رنگ ایجاد شده توسط مجموعه‌ای از اولیه‌ها را به صورت تابعی از میزان انعکاس هر یک از اولیه‌ها محاسبه کرده است. بنابراین، با فرض این که مجموعه حاصل از چاپ نقطه‌ای به صورت یک رنگ یکنواخت و خالص دیده شود و همچنین افزایشی بودن اختلاط رنگی، می‌توان انعکاس رنگ نهایی را توسط معادله ۷ نشان داد [۳، ۵-۷، ۹].

$$\begin{aligned}
 R &= A_w R_w + A_c R_c + A_m R_m + A_y R_y + \\
 &A_r R_r + A_g R_g + A_b R_b + A_k R_k
 \end{aligned}
 \quad (7)$$

که در این معادله، R مقدار انعکاس کل به دست آمده و A سطح پوشانیده شده یا چاپ شده است و حروف w, c, m, y, g, b, k به کاغذ سفید یا زمینه، سه اولیه رنگی، ترکیب دوتایی اولیه‌های رنگی و ترکیب سه‌تایی آنها اشاره می‌کنند. این معادله را می‌توان برای مقادیر رنگی X, Y, Z در فضای رنگی CIEXYZ نیز به صورت معادله ۸ نوشت.



شکل ۲: هشت حالت رنگی مختلف حاصل از سه اولیه رنگی و رنگ‌های به دست آمده از ترکیب دوتایی و سه‌تایی هر یک از اولیه‌های CMY.

3- Analytically
4- Iterative methods
5- N-modified Neugebauer equation

1- Neugebauer
2- Demichel

نکته‌ای که باید توجه شود این است که در اکثر چاپگرها علاوه بر سه اولیه رنگی فیروزه‌ای، سرخابی و زرد، رنگ مشکی (اولیه مشکی^۱) هم مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزودن رنگ مشکی به دلیل افزایش محدوده تباین قابل تولید و نیز جبران عدم توانایی در تولید رنگهای خنثی تیره می‌باشد. همچنین با به کارگیری رنگ مشکی و جایگزینی رنگزاهای غیرمشکی با مشکی توسط روش‌هایی با نام «GCR»^۲ از میزان مصرف رنگزاهای غیرمشکی در رنگ‌های خنثی کاسته می‌شود. اولیه مشکی همچنین در متن‌های تک رنگ و چاپ تصاویر کاربرد دارند [۳،۱۰،۱۱].

در صورت استفاده از سه اولیه CMY برای همانندسازی یک رنگ، تنها یک حالت برای ترکیب سه رنگ وجود دارد. در حالی که در صورت استفاده از سه اولیه CMY همراه با رنگ مشکی، حالت‌های زیادی از ترکیب رنگ‌ها می‌تواند برای همانندسازی یک رنگ وجود داشته باشد. بنابراین، یک ترکیب یکتا از مخلوط CMYK برای دوباره تولید رنگ وجود ندارد [۳،۱۰،۱۱].

۲-۲- روش کار

GCR یکی از الگوریتم‌هایی می‌باشد که برای محاسبه میزان رنگ مشکی در فضای رنگی CMYK به کار برده می‌شود. میزان جزء مشکی معمولاً بعد از محاسبه اولیه‌های CMY محاسبه می‌گردد. میزان جوهر مشکی معمولاً تابعی از حداقل میزان دیگر رنگزاهای غیرمشکی می‌باشد که در معادله ۱۱ نشان داده شده است [۳،۱۲].

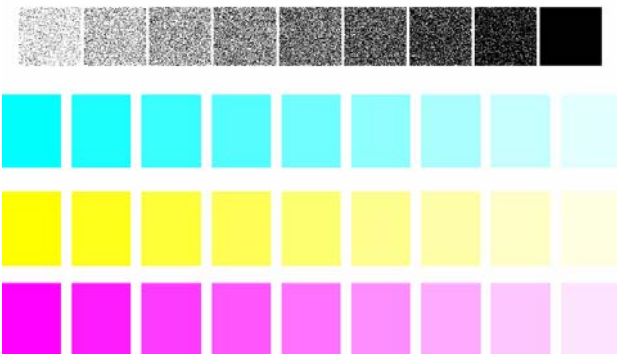
$$K = f(\min(C, M, Y)) \quad (11)$$

در این معادله، K مقدار جوهر مشکی و f تابعی بر اساس حداقل مقادیر رنگزاهای غیرمشکی دیگر است. همچنین در اغلب موارد اگر میزان حداقل از یک حد آستانه کمتر باشد، مقدار K صفر در نظر گرفته می‌شود [۳،۱۲].

هدف از این تحقیق معرفی روش‌های توصیف فیزیکی چاپگر و مقایسه دو روش نگوبیر و روش نگوبیر اصلاح شده به منظور توصیف کالریمتریک چاپگرهای چهار رنگ نقطه‌ای در دوباره تولید رنگ می‌باشد. با توجه به اینکه به کارگیری روش‌های نگوبیر و نگوبیر اصلاح شده معمولاً در مورد چاپگرها با سه اولیه مرسوم می‌باشد و اینکه امروزه اکثر چاپگرها از چهار اولیه برای دوباره تولید رنگ استفاده می‌کنند به کارگیری چهار اولیه در روش‌های نگوبیر و نگوبیر اصلاح شده حائز اهمیت می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

در این بخش نتایج بدست آمده از دو روش فیزیکی نگوبیر و روش نگوبیر اصلاح شده برای توصیف چاپگر چهار رنگ نقطه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت.



شکل ۳: نمونه‌های استفاده شده برای اندازه‌گیری ضریب n.

۲- بخش تجربی

۱-۲- مواد شیمیایی

نمونه‌های رنگی استفاده شده در این تحقیق از کاتالوگ DIC Color

- 1- Black primary
- 2- Gray component replacement

به نحوی که با نزدیک شدن مقادیر قرمز، سبز یا آبی وابسته به چاپگر به عدد ۸۵، میزان جوهر مشکی به کار رفته نیز به سمت صفر حرکت می‌کند. شکل ۴ نمایشی از چگونگی مصرف جوهر مشکی در یک جدول رنگی را نشان می‌دهد.

با توجه به مشاهدات صورت گرفته، نحوه اضافه شدن جوهر مشکی به صورت معادله ۱۲ تخمین زده شد.

$$C_k = C_1 \times \frac{C_2 - T_r}{T_r} \times \frac{C_3 - T_r}{T_r} \quad (12)$$

در این معادله مقادیر C_1 ، C_2 و C_3 مقادیر رنگی چاپگر یعنی CMY و C_k مقدار محاسبه شده برای جوهر مشکی می‌باشد. استفاده از این معادله فقط در صورت بزرگ‌تر بودن مقادیر C_2 و C_3 از حد آستانه تعریف شده یعنی T_r صورت می‌گیرد. در صورتی که C_1 ، C_2 یا C_3 از مقادیر رنگی نیز به طور همزمان از حد آستانه تجاوز کنند، مقدار C_k براساس فاصله C_1 ، C_2 یا C_3 نسبت به حد آستانه محاسبه می‌شود. مراحل کلی محاسبه جوهر مشکی از مقادیر RGB به صورت ساده در شکل ۵ ارائه شده است. در مرحله اول، میزان جوهر مشکی مورد نیاز محاسبه می‌شود. سپس مقادیر C ، M ، Y و K با توجه به مقدار جوهر مشکی به دست آمده محاسبه می‌شوند. مقدار T_r برای چاپگر استفاده شده در این تحقیق برابر ۱۷۰ می‌باشد که از تفاضل عدد ۸۵ از حد آستانه ۲۵۵ به دست آمده است.

لازم به توضیح است که کنترل دقیق جزء مشکی با توجه به عدم دسترسی بودن الگوریتم‌های استفاده شده توسط چاپگر به سادگی مقدر نمی‌باشد و در برخی موارد این گونه اطلاعات به عنوان اطلاعات تجاری از طرف شرکت سازنده به گونه‌ای که به سادگی در دسترس کاربران قرار گیرد ارائه نمی‌گردد.

۲-۳- توصیف چاپگر نقطه‌ای چهار رنگ با روش‌های نگویبر و نگویبر اصلاح شده

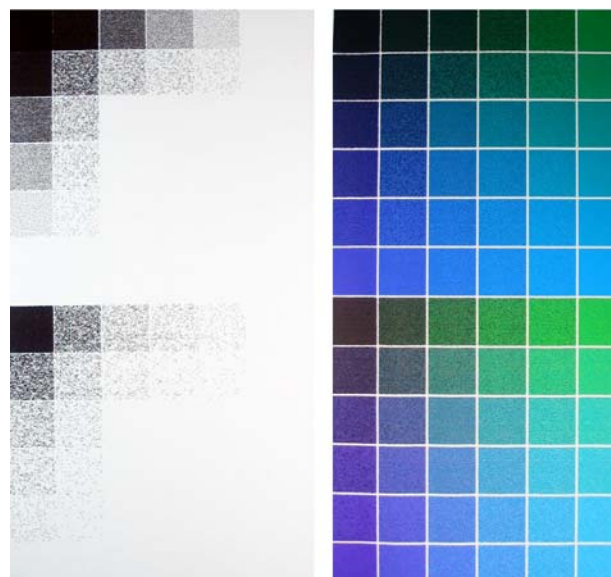
به علت اینکه چاپگرهای چهار رنگ مورد استفاده علاوه بر جوهرهای فیروزه‌ای، سرخابی و زرد (CMY) از جوهر مشکی نیز در چاپ نمونه‌ها استفاده می‌کنند، کاربرد روش‌های مورد استفاده در چاپگرهای سه رنگ، دقت مناسب را در پیشگویی نتیجه نهایی فراهم نمی‌آورد. بنابراین، مدل‌های توصیف برای چاپگرهای چهار رنگ بر پایه مدل‌های نگویبر و نگویبر اصلاح شده استفاده شد.

مدل نگویبر برای چهار رنگ، شبیه مدل سه رنگ می‌باشد، با این تفاوت که اختلاط دوتایی، سه جوهر غیرمشکی با رنگ مشکی و نیز اختلاط هر چهار رنگ نیز باید به معادله اصلی اضافه شوند که در جمع منجر به تولید ۱۶ جمله می‌گردد (معادله ۱۳).

۱-۳- تعیین الگوریتم GCR به کار رفته در چاپگر

چاپگر مورد استفاده در این تحقیق، یک چاپگر نقطه‌ای چهار رنگ دارای رنگ مشکی بود بنابراین، مدل فیزیکی نگویبر و روش نگویبر اصلاح شده با توجه به خصوصیات فیزیکی چاپگر نقطه‌ای قابل استفاده می‌باشند.

به منظور توصیف چاپگر، الگوریتم کاربرد جزء مشکی مورد استفاده توسط چاپگر باید مشخص باشد. با توجه به اینکه الگوریتم GCR چاپگر توسط شرکت‌های سازنده در اختیار قرار داده نشد کنترل مقادیر درصد جوهرهای پاشیده شده روی کاغذ با توجه به موارد ذکر شده در مورد الگوریتم‌های جایگزینی جزء مشکی مشخص گردید. به این منظور تعداد زیادی نمونه با مقادیر معلوم RGB تولید و مقادیر CMYK چاپ و مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۴ تعداد ۷۲ نمونه از یک سری ۲۱۶ نمونه چاپ شده ارائه داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در صورتی که میزان حداقل دو رنگ استفاده شده از رنگ‌های قرمز، سبز یا آبی وابسته به چاپگر کمتر از عدد ۸۵ باشد جوهر مشکی در چاپ نمونه استفاده می‌شود (دامنه تغییرات مقادیر RGB بین ۰ و ۲۵۵ در نظر گرفته شده است). همچنین مقدار جوهر مشکی استفاده شده تا رسیدن هر یک از مقادیر قرمز، سبز یا آبی به صورت تدریجی کاهش می‌یابد



(ب)

(الف)

شکل ۴: (الف) نمونه چاپ شده توسط چاپگر (۶۴-۰) و (ب) میزان جوهر مشکی استفاده شده برای هر رنگ. در این شکل نمونه‌های ایجاد شده با مقدار مؤلفه $R=0.25$ و $R=0.0$ با تغییرات دو مؤلفه G و B و نحوه کاربرد جزء مشکی ارائه شده است.

۳-۳- محاسبه ضریب تصحیح n

برای محاسبه ضریب n در معادله نگویبر اصلاح شده، از هر جوهر تعداد ۱۰ نمونه در عمق‌های مختلف تهیه شد. نمونه‌های به دست آمده دارای غلظت‌های بین صفر و ۱۰۰٪ روی زمینه سفید به صورت خالص (بدون دخالت جوهرهای دیگر) بودند. نمونه‌های استفاده شده، در شکل ۳ ارائه شده است. سپس طیف انعکاسی هر یک از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و با توجه به معادله ۶ سطح پوشیده شده واقعی هر یک از نمونه‌ها محاسبه گردید.

ارتباط بین سطح حقیقی به دست آمده و سطح پوشیده شده اعمال شده (هدف) به چاپگر در شکل ۶ برای هر چهار رنگ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مساحت واقعی پوشیده شده به غیر از رنگ مشکی تقریباً حالت خطی دارد. همان‌گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، جوهر مشکی استفاده شده به صورت قابل توجهی نسبت به مقدار جوهر مشکی هدف، انحراف دارد که در نهایت منجر به ایجاد خطا بین نمونه‌های اصلی و نمونه‌های تخمین زده شده در روش نگویبر می‌شود. به عبارت دیگر تأثیر مقدار جوهر مشکی کمتر از آنچه که در واقعیت اتفاق می‌افتد تخمین زده می‌شود. بنابراین، در صورت استفاده از روش نگویبر (بدون در نظر گرفتن میزان برداشت نقطه) نمونه‌های نهایی تخمین زده شده خالص‌تر از نمونه‌های واقعی محاسبه می‌شود و در نهایت نمونه‌های دوباره تولید شده ناخالص‌تر و تیره‌تر از آنچه که انتظار می‌رود چاپ می‌شود.

طیف‌های انعکاسی به دست آمده بدون در نظر گرفتن ضریب n در شکل ۷ ارائه شده است. اختلاف بین طیف‌های انعکاسی نمونه اصلی برای جوهرهای غیرمشکی قابل قبول است، ولی منحنی‌های انعکاسی پیش‌بینی شده برای رنگ مشکی، اختلاف زیادی با نمونه واقعی دارد. در شکل ۷ در نمودار مربوط به جوهر مشکی مشاهده می‌شود که منحنی‌های انعکاسی تخمین زده شده برای نمونه‌های مشکی در اکثر طول موج‌ها، انعکاس بیشتری نسبت به نمونه‌های

$$X = X_w A_w + X_C A_C + X_M A_M + X_Y A_Y + X_K A_K + X_{CM} A_{CM} + X_{CY} A_{CY} + X_{CK} A_{CK} + X_{YM} A_{YM} + X_{YK} A_{YK} + X_{MK} A_{MK} + X_{CMY} A_{CMY} + X_{CMK} A_{CMK} + X_{CYK} A_{CYK} + X_{MYK} A_{MYK} + X_{CMYK} \quad (13)$$

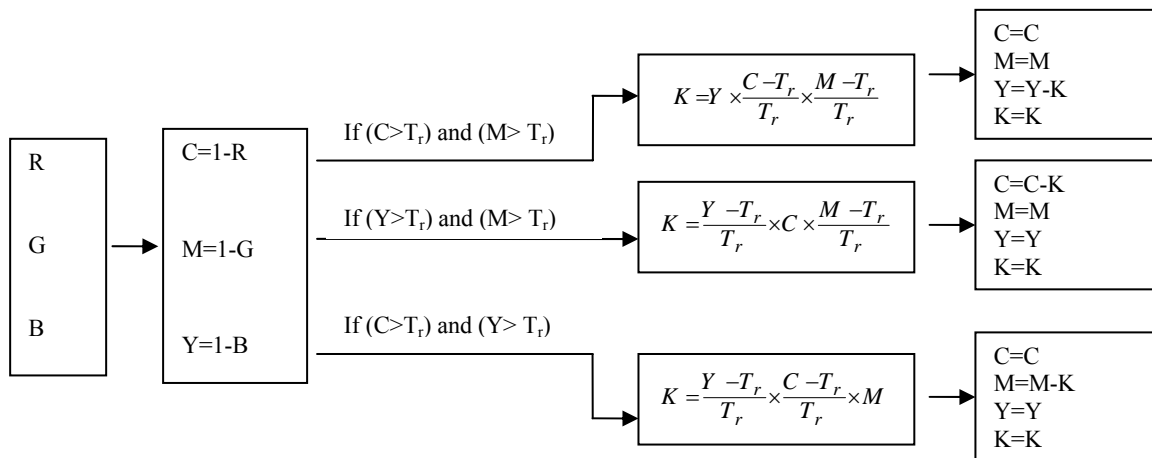
در عمل به علت اینکه رنگ ایجاد شده حاصل از اختلاط جوهرهای غیرمشکی با جوهر مشکی تقریباً برابر با رنگ جوهر مشکی می‌باشد، در این معادله، مؤلفه‌های رنگی تمامی اختلاط‌های صورت گرفته با رنگ مشکی برابر با مؤلفه‌های رنگی رنگ مشکی در نظر گرفته شد. مؤلفه‌های رنگی Y و Z نیز به صورت مشابه محاسبه می‌شوند.

سطوح پوشیده شده برای هر یک از حالت‌های مذکور از معادله دی‌مایکل به دست آمد (معادله ۱۴).

$$\begin{aligned} A_w &= (I-C) \times (I-Y) \times (I-K) \times (I-M) & A_C &= C \times (I-Y) \times (I-M) \times (I-K) \\ A_M &= M \times (I-C) \times (I-Y) \times (I-K) & A_Y &= Y \times (I-C) \times (I-M) \times (I-K) \\ A_K &= K \times (I-C) \times (I-M) \times (I-K) & A_{CM} &= C \times M \times (I-Y) \times (I-K) \\ A_{CY} &= C \times Y \times (I-M) \times (I-K) & A_{CK} &= C \times K \times (I-M) \times (I-Y) \\ A_{YM} &= Y \times M \times (I-C) \times (I-K) & A_{YK} &= Y \times K \times (I-C) \times (I-M) \\ A_{YK} &= Y \times K \times (I-C) \times (I-Y) & A_{CMY} &= C \times M \times Y \times (I-K) \\ A_{CMK} &= C \times M \times K \times (I-Y) & A_{CYK} &= C \times Y \times K \times (I-M) \\ A_{MYK} &= M \times Y \times K \times (I-C) & A_{CMYK} &= C \times M \times Y \times K \end{aligned} \quad (14)$$

روش نگویبر اصلاح شده برای چهار رنگ نیز مانند حالت سه رنگ می‌باشد با این تفاوت که ترکیبات دوتایی، سه‌تایی و چهارتایی جوهرهای غیرمشکی چاپگر با رنگ چهارم (جوهر مشکی) نیز به معادله اضافه می‌شوند (معادله ۱۵).

$$X = [X_w^{1/n} A_w + X_C^{1/n} A_C + X_M^{1/n} A_M + X_Y^{1/n} A_Y + X_K^{1/n} A_K + X_{CM}^{1/n} A_{CM} + X_{CY}^{1/n} A_{CY} + X_{CK}^{1/n} A_{CK} + X_{YM}^{1/n} A_{YM} + X_{YK}^{1/n} A_{YK} + X_{MK}^{1/n} A_{MK} + X_{CMY}^{1/n} A_{CMY} + X_{CMK}^{1/n} A_{CMK} + X_{CYK}^{1/n} A_{CYK} + X_{MYK}^{1/n} A_{MYK} + X_{CMYK}^{1/n}]^n \quad (15)$$



شکل ۵: الگوریتم GCR استفاده شده توسط چاپگر.

۳-۴- مقایسه روش‌های نگویبر و نگویبر اصلاح شده

برای ارزیابی چگونگی عملکرد و همچنین مقایسه دو روش، تعداد ۶۰ نمونه از کاتالوگ رنگی ذکر شده، بصورت اتفاقی انتخاب و مؤلفه‌های رنگی CIEXYZ آنها توسط هر دو روش به مؤلفه‌های وابسته به چاپگر تبدیل و توسط چاپگر، چاپ شد. برای این منظور مقادیر CMYK هر نمونه با استفاده از معادلات ۱۴ و ۱۵ و الگوریتم GCR چاپگر محاسبه گردید:

با توجه به اینکه مقادیر K طبق الگوریتم نشان داده شده در شکل ۵ متفاوت می‌باشد معادله برای هر چهار حالت ممکن کاربردی جز مشکی حل و جواب‌های قابل قبول RGB از بین جوابها استخراج شدند. سپس طیف انعکاسی نمونه‌های چاپ شده اندازه‌گیری و در نتیجه مقادیر رنگی CIEXYZ نمونه‌ها محاسبه گردید و برای ارزیابی توانایی مدل‌ها استفاده شد. در مرحله بعد، مؤلفه‌های رنگی واقعی نمونه‌ها با مقادیر تخمین زده شده توسط هر دو روش مقایسه و مقادیر خطا طبق معادلات ۱۷ و ۱۸ محاسبه شد (جدول ۱).

$$\Delta E_{xyz} = \frac{\sqrt{(X_s - X_e)^2 + (Y_s - Y_e)^2 + (Z_s - Z_e)^2}}{n} \quad (17)$$

$$\Delta E_{L^*a^*b^*} = \frac{\sqrt{(L_s^* - L_e^*)^2 + (a_s^* - a_e^*)^2 + (b_s^* - b_e^*)^2}}{n} \quad (18)$$

در این معادله مقادیر $X_s, Y_s, Z_s, L_s^*, a_s^*, b_s^*$ مؤلفه‌های CIEXYZ و $X_e, Y_e, Z_e, L_e^*, a_e^*, b_e^*$ مؤلفه‌های CIELAB نمونه‌های اصلی و $X_s, Y_s, Z_s, L_s^*, a_s^*, b_s^*$ مؤلفه‌های CIEXYZ و $X_e, Y_e, Z_e, L_e^*, a_e^*, b_e^*$ مؤلفه‌های CIELAB نمونه‌های تخمین‌زده شده است. در این روابط، n تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

اصلی دارند که به علت برداشت نقطه برای جوهر مشکی می‌باشد. این اختلاف نشان می‌دهد که جوهر مشکی، نسبت به آنچه که انتظار می‌رود سطح پوشیده شده بیشتری دارد.

میزان خطا به صورت اختلاف طیف‌های انعکاس واقعی و هدف (ΔE_R) برای n های (n ضریب تصحیح) مختلف برای هر یک از رنگ‌ها به صورت مستقل محاسبه شد (معادله ۱۶).

$$\Delta E_R = \frac{\sum_{i=1}^m \sqrt{\sum_{\lambda=400}^{700} (R_{s,i,\lambda} - R_{e,i,\lambda})^2}}{m} \quad (16)$$

در این معادله R_s و R_e انعکاس نمونه اصلی و نمونه تخمین زده می‌باشد. m تعداد نمونه‌های مورد آزمایش می‌باشد.

مقدار n هنگامی بهینه است که مجموع خطای محاسبه شده برای همه رنگ‌ها حداقل باشد. مجموع خطای به دست آمده برای چهار رنگ در شکل ۸ ارائه شده است. میزان n بهینه برای چاپگر مورد استفاده در این تحقیق برابر $n = 2,24$ محاسبه شد.

ارتباط بین سطح حقیقی به دست آمده و سطح پوشیده شده اعمالی (هدف) به چاپگر در شکل ۹ برای هر چهار رنگ برای $n = 2,24$ نشان داده شده است. بنابراین، قبل از اینکه مقادیر غلظت‌های رنگی برای تخمین طیف انعکاسی (یا مؤلفه‌های رنگی CIEXYZ) تعیین گردد باید در معادله تصحیح با مقدار n برابر ۲,۲۴ قرار گیرد.

شکل ۱۰ طیف‌های انعکاسی تخمین زده شده با استفاده از این روش را نشان می‌دهد. در مقایسه با روش نگویبر، طیف‌های انعکاسی تخمین زده شده بخصوص در مورد رنگ مشکی با خطای کمتری محاسبه شده است.

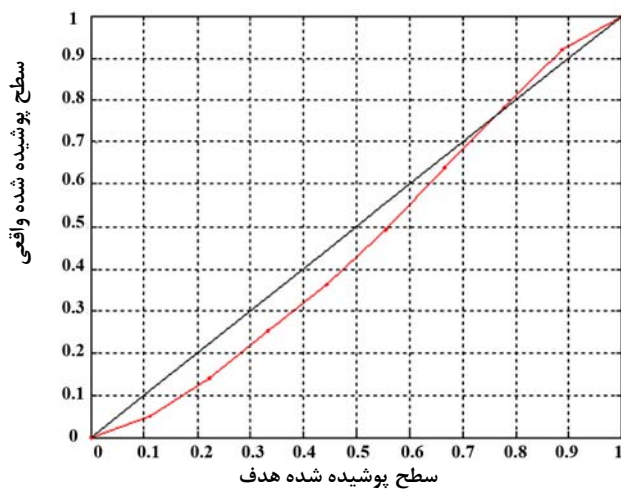
جدول ۱: مقایسه روش‌های نگویبر و نگویبر اصلاح شده در توصیف چاپگر.

ΔE_{xyz}		$\Delta E_{L^*a^*b^*}$		فضای رنگی	
نگویبر	نگویبر اصلاح شده با ضریب n	نگویبر	نگویبر اصلاح شده با ضریب n	روش	میانگین خطا
۶,۹۳۸۴	۵,۰۷	۹,۴۹۷۷	۵,۰۳۹۴	میانگین خطا	۹,۴۹۷۷
۰,۲۷۵	۰,۲۵۹۳	۰,۳۷۵۸	۰,۲۰۹۹	انحراف معیار	۰,۳۷۵۸
۰,۱۷۸۹	۰,۰۶۷۷	۰,۱۹۲۵	۰,۰۳۷	خطای کمینه	۰,۱۹۲۵
۱۸,۳۴۳۲	۱۵,۱۳۷۷	۲۶,۷۴۱۸	۲۰,۲۱۱۷	خطای بیشینه	۲۶,۷۴۱۸

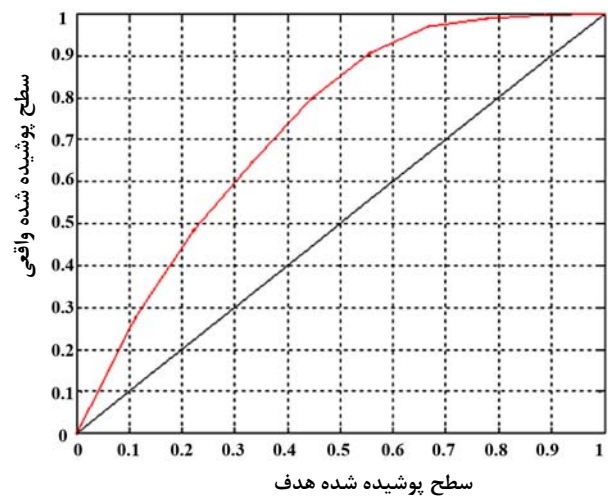
سطح پوشیده شده هدف برای جوهر مشکی، نمونه‌های دوباره تولید شده بسیار ناخالص‌تر از نمونه‌های استاندارد می‌باشند. این مطلب بویژه در معادله با رنگ‌های دارای روشنایی‌های پایین به علت افزایش درصد جوهر مشکی بیشتر مشهود است. در روش نگویبر اصلاح شده میزان برداشت نقطه در نظر گرفته شده است. بنابراین، نمونه‌هایی که در آنها جزء مشکی به کار رفته است، با دقت بیشتری نسبت به روش نگویبر کلاسیک تخمین زده شده‌اند که در نتیجه کاهش میزان خطای رنگ دوباره تولید شده را در مدل اصلاح شده به همراه داشته است (جدول ۱).

مقادیر میانگین خطا در جدول ۱ نشان‌دهنده این مطلب است که روش نگویبر اصلاح شده با ضریب n به طور کلی نسبت به روش نگویبر کلاسیک برای توصیف چاپگر استفاده شده مناسب‌تر می‌باشد.

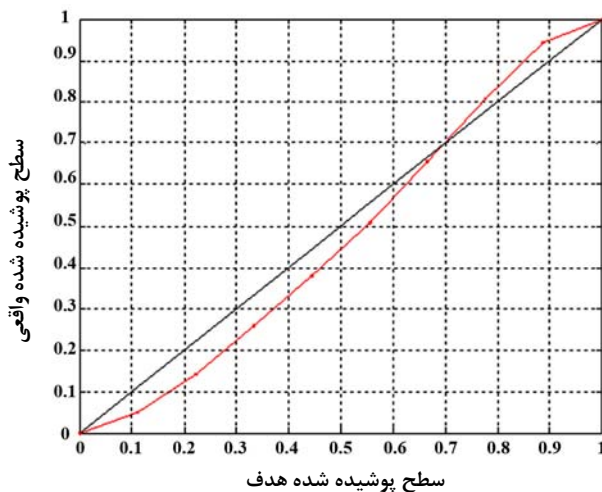
با توجه به اینکه ارتباط سطح پوشیده شده واقعی توسط جوهرهای غیرمشکی با سطح پوشیده شده نمونه هدف تقریباً خطی می‌باشد، تفاوت چندانی از لحاظ تغییرات فام در نمونه‌های تخمین زده شده در روش نگویبر انتظار نمی‌رود. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، اختلاف نمونه‌های اصلی و تخمین زده شده تقریباً با حفظ زاویه فام ثابت و بیشتر در جهت کاهش میزان روشنایی و خلوص صورت گرفته است. به علت اختلاف زیاد در سطح پوشیده شده واقعی و



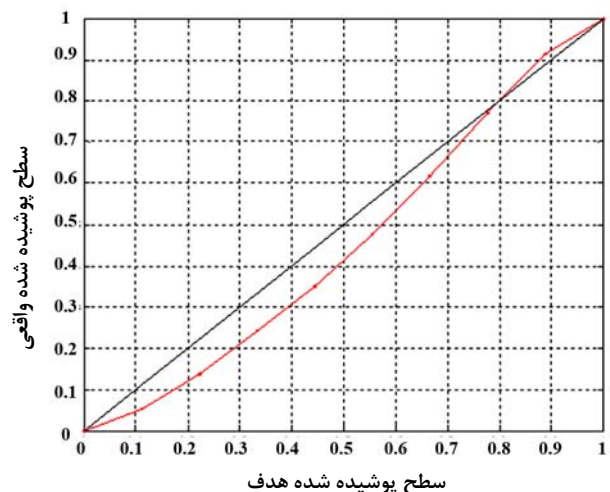
(ب)



(الف)

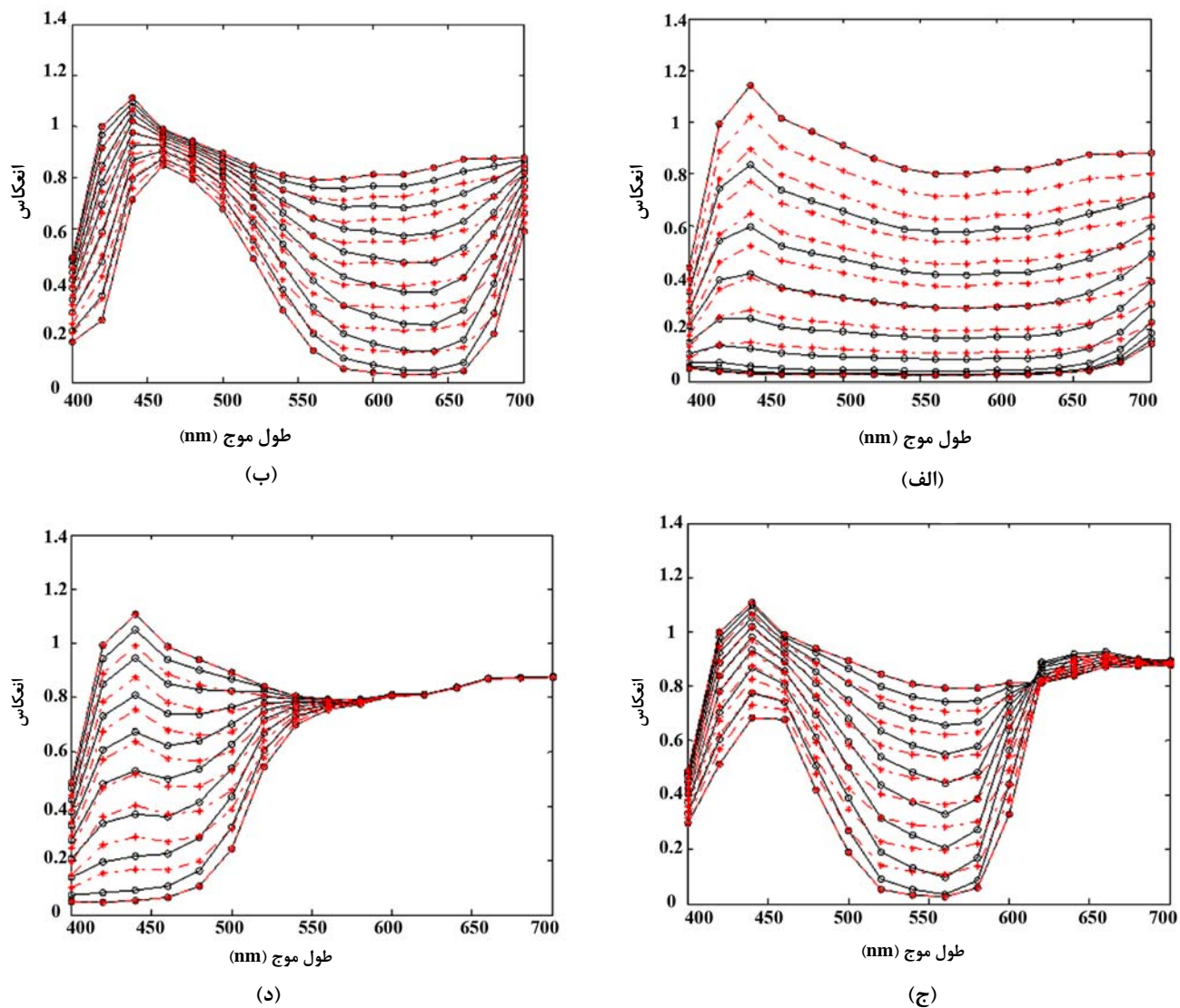


(د)

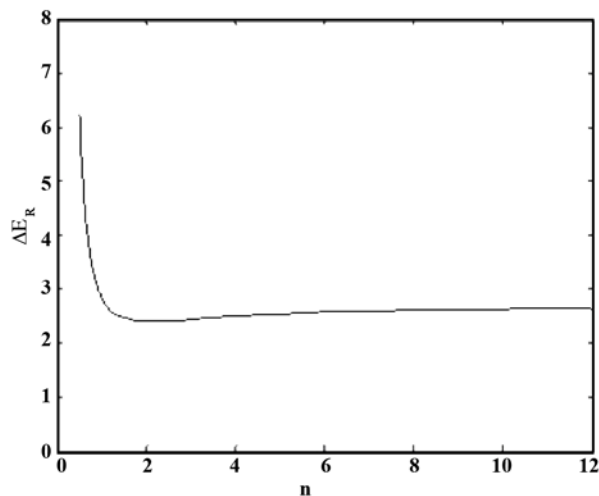


(ج)

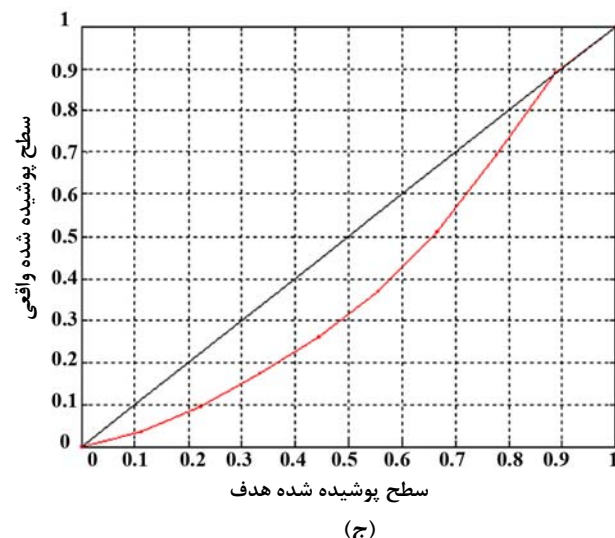
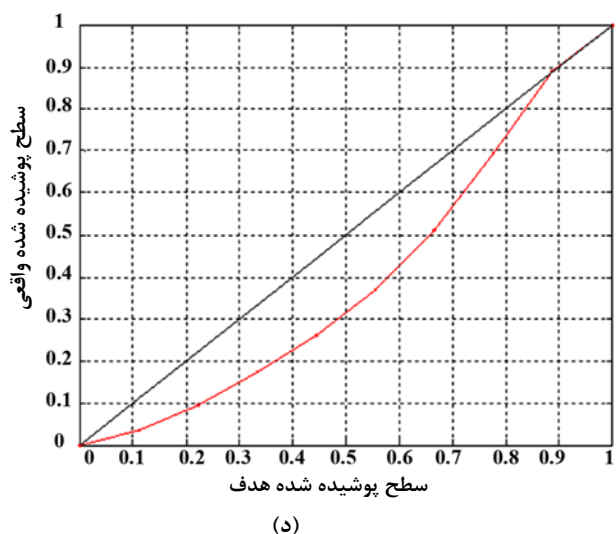
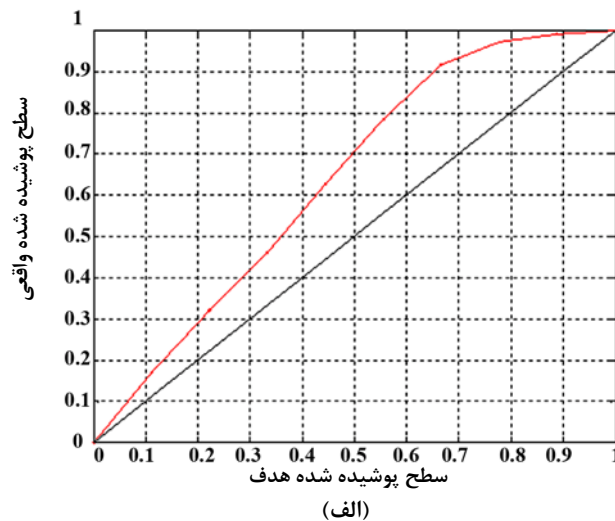
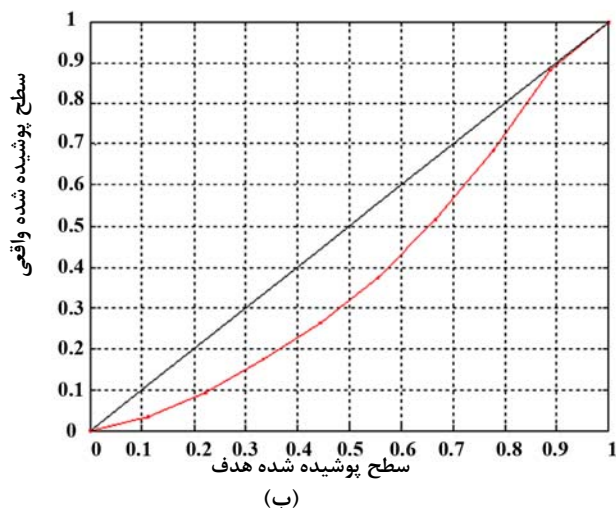
شکل ۶: ارتباط سطح پوشیده شده واقعی و پوشیده شده اعمال شده به چاپگر (الف) رنگ مشکی، (ب) رنگ فیروزه‌ای، (ج) رنگ سرخابی، (د) رنگ زرد.



شکل ۷: منحنی‌های انعکاسی نمونه‌های تخمین زده شده (نقاط ستاره با خطوط خط‌چین) و منحنی‌های انعکاسی نمونه‌های اصلی (نقاط توخالی) بدون در نظر گرفتن ضریب n (الف) اولیه مشکی، (ب) اولیه فیروزه‌ای، (ج) اولیه سرخابی، (د) اولیه زرد.



شکل ۸: تغییرات کل خطا در مقابل تغییرات n در روش نگویبر اصلاح شده.



شکل ۹: ارتباط سطح پوشیده شده واقعی و پوشیده شده اعمال شده به چاپگر در روش نگویبر اصلاح شده با ضریب n با مقدار $n=2,24$ (الف) رنگ مشکی، (ب) رنگ فیروزه‌ای، (ج) رنگ سرخابی، (د) رنگ زرد.

همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود خطای به دست آمده در روش نگویبر اصلاح شده نسبت به روش نگویبر قابل قبول تر است که ناشی از انطباق مناسب‌تر طیف‌های انعکاسی در روش نگویبر اصلاح شده می‌باشد. همچنین میزان اختلاف بدست آمده برای هر یک از نمونه‌ها در سه سطح از روشنایی و در فضای رنگی CIELAB تحت منبع نوری D65 در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر اختلاف رنگ نشان داده شده در جدول ۱ اگرچه با کاربرد ضریب اصلاح n نتایج بهتری حاصل شده است ولی مقادیر نسبتاً بزرگ اختلاف رنگ در فضای CIELAB نشان می‌دهد که رنگ دوباره تولید شده از لحاظ بصری قابل قبول نمی‌باشد و مدل مربوطه نیاز به اصلاحات تکمیلی دارد. از دلایل ایجاد خطا می‌توان به انحراف میزان فضای پوشیده شده نسبت به فضای پوشیده شده واقعی برای

جوهرهای رنگی از حالت خطی در مدل اصلاح شده اشاره کرد. این امر به دلیل ماهیت معادله نگویبر و تأثیرپذیری ضریب تصحیح n از رفتار هر ۴ ماده رنگزا می‌باشد که به نظر می‌رسد انحراف شدید جزء مشکی باعث شده است تا انتخاب مقدار n باعث ایجاد انحراف میزان فضای پوشیده شده نسبت به فضای پوشیده شده واقعی از حالت خطی برای جوهرهای رنگی در مدل اصلاح گردد. این مسأله با کاربرد مقادیر مختلف ضریب تصحیح n در حالت‌های مختلف کاربرد میزان جزء مشکی می‌تواند باعث افزایش دقت گردد. به هر حال، در مواقعی که جوهر مشکی به همراه اجزاء غیرمشکی استفاده می‌شود این مسأله اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بنابراین، عدم کاربرد جوهرهای رنگی با خصوصیات فیزیکی متفاوت در توصیف این دسته از چاپگرها حائز اهمیت می‌باشد. به عبارت دیگر، در صورت استفاده از مدل نگویبر اصلاح شده با ضریب n به منظور توصیف چاپگرهای نقطه‌ای

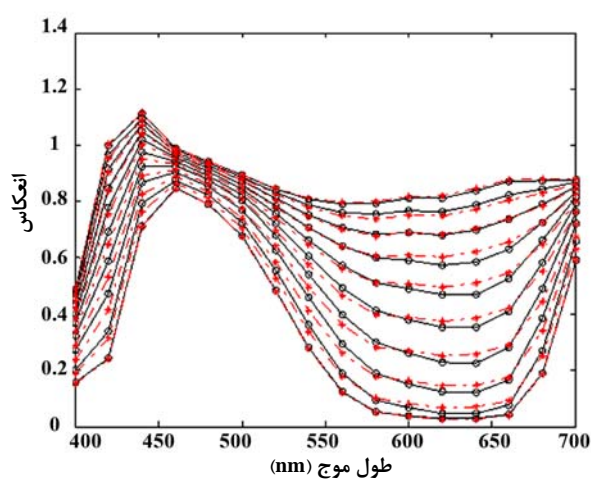
جوهرهای غیرمشکی چاپگر استفاده شده تقریباً خطی است ولی انحراف زیاد بین سطح پوشیده شده واقعی و هدف برای رنگزای مشکی چاپگر، باعث ایجاد خطا در تخمین مولفه‌های رنگی در مدل نگوبیر شده است. این موضوع باعث عدم انطباق طیف‌های انعکاس رنگ مشکی با استفاده از روش نگوبیر نیز شده است. در مدل نگوبیر اصلاح شده، انحراف بین فضای پوشیده شده واقعی و هدف برای رنگزاهای چاپگر در نظر گرفته می‌شود که باعث بهبود نتایج نسبت به روش نگوبیر شد. نتایج بدست آمده نیز برای نمونه‌های آزمایش شده، نشان دهنده خطای کمتر محاسبه شده در نمونه‌های روش نگوبیر اصلاح شده با ضریب n نسبت به روش نگوبیر می‌باشد که ناشی از انطباق مناسب‌تر طیف‌های انعکاسی در روش نگوبیر اصلاح شده با ضریب n در مولفه‌های رنگی پیش‌بینی شده می‌باشد.

خصوصیات فیزیکی جوهرهای استفاده شده در چاپگر باید تا حد ممکن مشابه یکدیگر باشند.

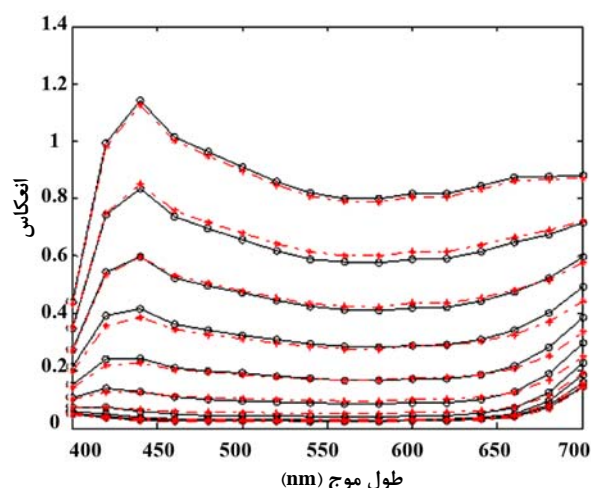
۴- نتیجه گیری

در این تحقیق دو روش فیزیکی نگوبیر و روش نگوبیر اصلاح شده با ضریب n برای چاپگرهای چهار رنگ که با مکانیسم نقطه‌ای، کار می‌کند، بررسی شد. همان‌طور که گفته شده است، پدیده برداشت نقطه باعث به وجود آمدن انحراف از حالت خطی در اختلاط افزایشی فرض شده در مدل نگوبیر می‌شود. در مدل نگوبیر اصلاح شده، ضریب n برای جبران پدیده برداشت نقطه تعریف می‌شود.

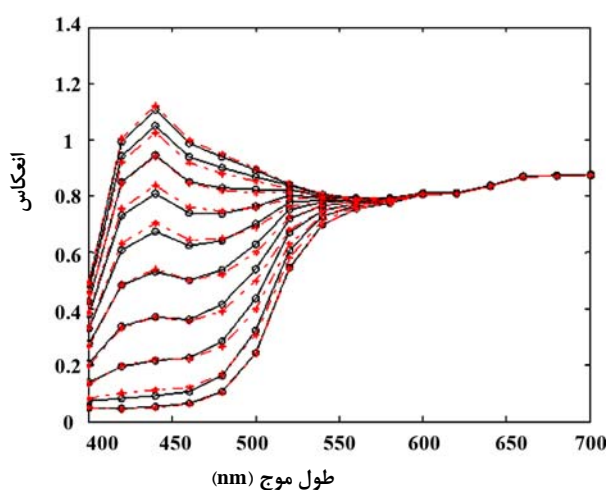
علیرغم اینکه ارتباط بین فضای پوشیده شده واقعی و هدف برای



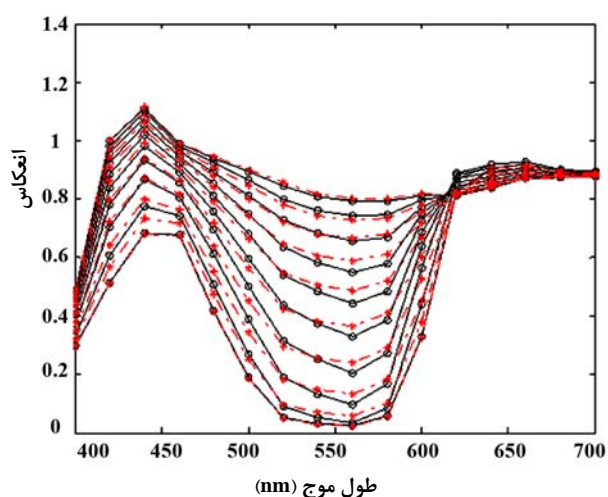
(ب)



(الف)

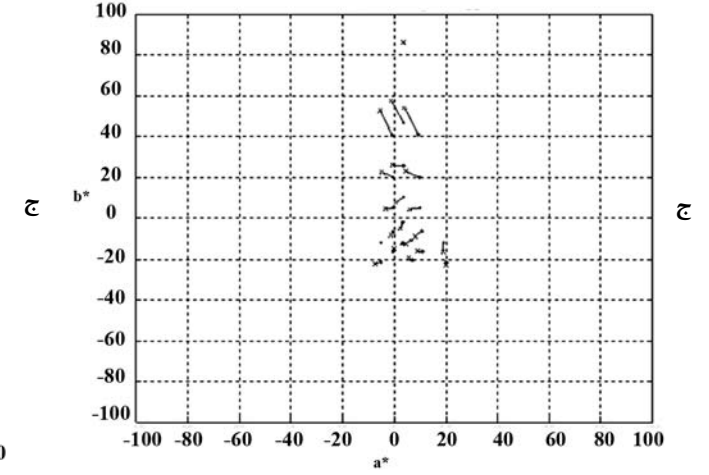
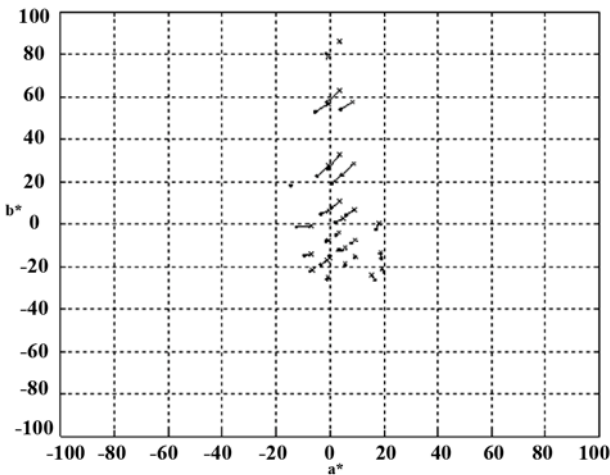
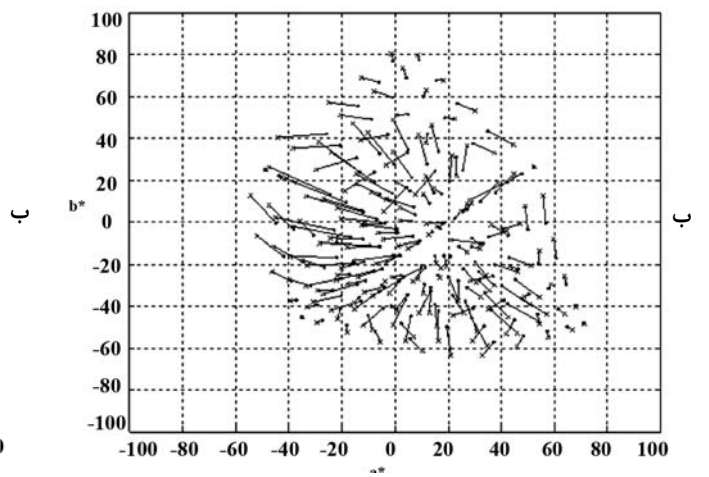
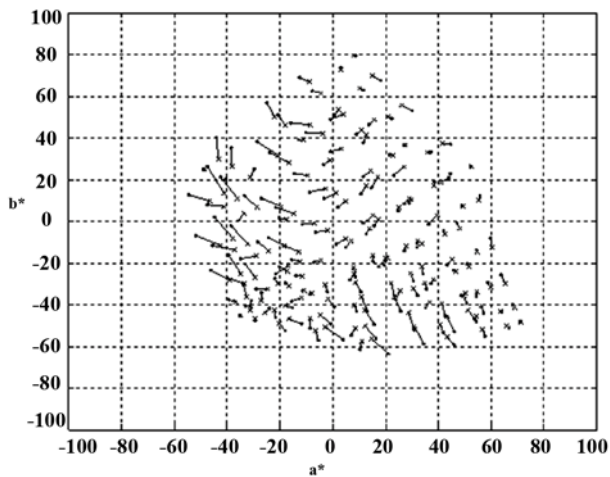
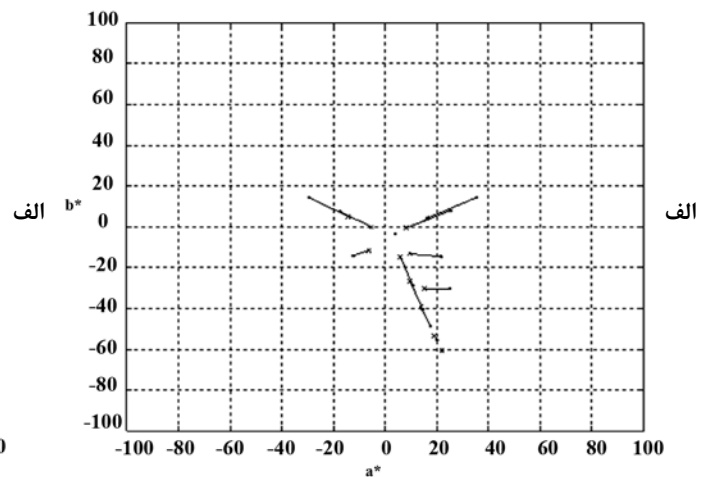
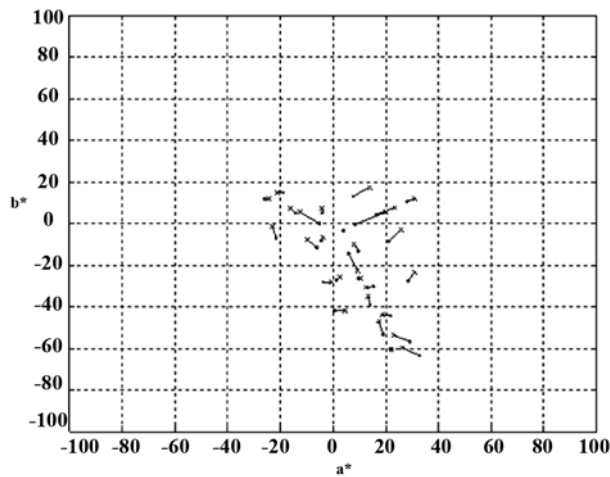


(د)



(ج)

شکل ۱۰: منحنی‌های انعکاسی نمونه‌های تخمین زده شده (نقاط ستاره با خطوط خط‌چین) و منحنی‌های انعکاسی نمونه‌های اصلی (نقاط توخالی در روش نگوبیر اصلاح با مقدار $n=2.24$ (الف) اولیه مشکی، (ب) اولیه فیروزه‌ای، (ج) اولیه سرخابی، (د) اولیه زرد.



شکل ۱۲: روش نگویبر اصلاح شده با ضریب n در فضای رنگی CIELAB در ۳ منطقه از محور روشنایی. دایره‌های توپر نشان‌دهنده مختصات نقطه اصلی و علامت ضربدر انتهای هر خط، مؤلفه رنگی تخمین زده شده می‌باشد (الف) روشنایی ۰-۴۰، (ب) روشنایی ۴۰-۸۰، (ج) روشنایی بزرگتر از ۸۰.

شکل ۱۱: روش نگویبر در فضای رنگی CIELAB در ۳ منطقه از محور روشنایی. دایره‌های توپر نشان‌دهنده مختصات نقطه اصلی و علامت ضربدر انتهای هر خط، مؤلفه رنگی تخمین زده شده می‌باشد (الف) روشنایی ۰-۴۰، (ب) روشنایی ۴۰-۸۰، (ج) روشنایی بزرگتر از ۸۰.

۵- مراجع

1. M. D. Fairchild, Color appearance models, Addison-Wesley, MA. 1998.
2. M. J. Vrhel, J. Trussell, Color device calibration: a mathematical formulation. *IEEE Transaction on Image Processing*. 8(1999), 1796-1806.
3. P. Green, L. MacDonald, Color engineering, Addison-Wesley, England. 2002.
4. P. Hung, Colorimetric calibration for scanners and media. *SPIE*. 1448(1991), 164-174.
5. S. Westland, C. Ripamonti, Computational colour science using MATLAB, John Wiley&Sons, West Sussex. 2004.
6. R. S. Berns, K. Iino, Spectral modeling of an ink jet printer. *Electronic Imaging*. 5(1995), 3-6.
7. D. Wyble, R. S. Berns, A critical review of spectral models applied to binary color printing. *Color Res. Appl.* 25(2000), 4-19.
8. H. R. Kang, Color scanner calibration. *J. Imaging Sci. Techn.* 36(1992), 162-170.
9. M. Mahy, P. Ddelabastita, Inversion of the neugebauer equations. *Color Res. Appl.* 21(1996), 404-411.
10. H. E. Burdick, Digital imaging theory and application, R. R. Donnelley & Sons, New York. 1997.
11. T. J. Cholewo, Conversion between CMYK spaces preserving black separation, 8th Color Imaging Conference, Scottsdale, Ariz. (2000), 257-261.
12. M. Shaw, G. Sharma, R. Bala, E. N. Dalal, Color printer characterization adjustment for different substrates. *Color Res. Appl.* 28(2003), 454-467.