دوباره تولید نمونه‌های رنگی با استفاده از یک چاپگر چهار رنگ با بکار گیری روش جدول مقایسه‌ای و انطباق محدوده‌های رنگی

فرهاد مقاره‌عابد[i]؛ سید حسین امیرشاهی[ii]؛ سید مجید مرتضوی[iii]؛ محمد رضا مقاره‌عابد[iv]

چکیده

در این تحقیق، توصیف چاپگر به روش جدول مقایسه‌ای برای یک چاپگر چهار اولیه ای نیم‌رنگ بررسی شده است. برای این منظور تعداد ۲۱۶ نمونه رنگی برای تشکیل یک جدول مقایسه‌ای تهیه و مولفه‌های رنگی مجهول به روش درونیابی مکعب در جدول مقایسه‌ای محاسبه شد. عمل انطباق محدوده‌های رنگی نیز برای آن دسته از نمونه-های رنگی اولیه؛ که خارج از محدوده رنگی قابل تولید توسط چاپگر قرار داشتند، انجام شد. برای این منظور در ابتدا مناطق مرزی محدوده رنگی چاپگر با روشSMGBD محاسبه شد و سپس عمل انطباق نقاط خارج از محدوده رنگی با استفاده از روش CLGB صورت گرفت.

کلمات کلیدی

توصیف چاپگر، انطباق محدوده‌های رنگی، روش جدول مقایسه‌ای

Reproducing of Color Samples by a Four-Colors Halftone Printer Using Look-up Table Technique and Gamut Matching

F. Moghareh Abed ; S. H. Amirshahi; S. M. Mortazavi; M. R. Moghareh Abed

ABSTRACT

The look-up table (LUT) method is implement for characterizing a four-color halftone printer. In order to create a LUT, 216 colored samples are created and their colorimetric coordinates were measured. Then, cubic interpolation algorithm is used to calculate the approximation. Because of differences in color gamut's of printer and the gamut of samples, a gamut-mapping algorithm is used. The CLGB technique is used to map out of gamut colors.

KEYWORDS

Printer characterization, color gamut mapping, Look-up table

۱- مقدمه

با وجود اینکه تهیه سخت افزارها و نرم افزارهای نمایش رنگ هزینه زیادی در بر دارد، احتمال اینکه رنگ تصویر نهایی تولید شده با یک دستگاه نمایش رنگ؛ مانند چاپگر کاملا بر رنگ تصویر اصلی منطبق باشد بسیارکم است و حتی در برخی موارد، تصویر نهایی، تصویر قانع کننده‌ای نیست .یک کاربرد ،هر یک از اجزا و دستگاه‌های مورد نیاز برای نمایش رنگ را

[i] کارشناسی ارشد، پژوهشکده صنایع رنگ ایران : email: farhad.abed@gmail.com

[ii] استاد، دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[iii] استادیار، دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان

[iv] کارشناسی ارشد، مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان

جداگانه انتخاب و تهیه می‌کند که هر کدام از این وسایل نمایش، چاپ و پردازش، سیستم‌های متفاوت رنگی مربوط به خود دارند که ممکن است با دیگر اجزا هماهنگی نداشته باشد. هیچ یک از اجزای این مجموعه لزوماً برای ارتباط با دیگر اجزا طراحی نشده‌اند. چنین سیستمی، که در آن اجزای بکار برده‌شده هیچ گونه ارتباط از قبل تعریف شده‌ای با هم ندارند، سیستم باز[1] نامیده می‌شود. اگر هر جزء بدون ارتباط با دیگر اعضا عمل کند نتیجه‌ای که در سیستم باز به‌دست می‌آید کاملاً غیر قابل پیش‌بینی است که یکی از دلایل بروز چنین مشکلی طبیعت سیستم باز می‌باشد. در یک سیستم باز برای چگونگی ارتباط بین اعضای موجود در مجموعه، حالت‌های مختلف زیادی را می‌توان در نظر گرفت که ممکن است به حصول نتایج غیر قابل انتظاری منجر شود. در چنین سیستم‌هایی هر یک از اجزا به‌طور جداگانه از فضای رنگی منحصر به خود استفاده می‌کند که فضای نمایش رنگی وابسته[2] نامیده می شود [۱].

یکی از مراحل مهم برای حصول نتیجه مطلوب، تبدیل مؤلفه‌هاي رنگی وابسته به دستگاه نمایش رنگ به یک فضای رنگی مستقل، مانند CIEXYZ است. برای این منظور، یک مدل ریاضی تعریف می‌شود که به‌وسیله آن، عمل انتقال از یک فضا به فضای دیگر صورت می‌گیرد. ورودی یا خروجی یک دستگاه نمایش رنگ معمولاً اعدادی گسسته و محدودشده‌ای است که شاخصی برای خروجی یا ورودی یک دستگاه نمایش رنگ می‌باشد. مدل ساخته شده باید مولفه‌های وابسته به دستگاه را به فضای رنگی مستقلی مانند CIEXYZ برای دستگاه‌های ورودی و برای دستگاه‌های خروجی مولفه‌های مستقل را به مقادیر وابسته به دستگاه مانند CMYK تبدیل کند. اغلب مدل‌ها بر اساس انجام عمل نمونه برداری 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 به‌طور مطلق، برای تمامی دستگاه‌ها و تبدیل‌ها مناسب نیستند. در این راستا، طیف وسیعی از روش‌ها و مدل‌های مختلف، ارائه شده است که می‌توان آنها را بطور کلی به سه دسته مدل های عددی، جدول مقایسه‌ای یا LUT[3] و مدل فیزیکی تقسیم کرد [۱]،[۲].

در بعضی مواقع، دوباره تولید رنگ مرجع در رسانه نمایش رنگ خروجی به طور کامل ممکن نیست که یکی از دلایل آن، تفاوت درتوانایی محدوده رنگ‌های قابل تولید با دستگاههای مختلف نمایش است که محدوده رنگی[4] نامیده می‌شود. به عنوان مثال، ممکن است یک موقعیت بخصوص رنگی در نمایشگر لوله اشعه کاتدی[5] با یک چاپگر، قابل تولید نباشد. در چنین مواقعی لازم است روش‌های انطباق محدوده رنگی[6] برای حصول بهترین حالت ممکن به منظور دوباره تولید رنگ اولیه، به‌کارگرفته شود. باید توجه داشت که شرایط مشاهده نیز بر محدوده رنگی قابل تولید با دستگاه تاثیر گذار است؛ به عنوان مثال در عکاسی، عکس‌های گرفته شده در فضای باز معمولا زیر منابع نوری مصنوعی مشاهده می شوند که به مراتب، شدت روشنایی کمتری نسبت به شدت روشنایی منظره اصلی در فضای باز دارد. بدین ترتیب، زیر منابع نوری مصنوعی ایجاد محدوده روشنایی و تباین رنگی[7] تصویر اصلی مقدور نیست. با افزایش فیزیکی تباین عکس‌های گرفته شده تا حدود زیادی این کمبود جبران می شود. با استفاده از مدل‌های ظاهر رنگی[8] می‌توان تاثیر شرایط مشاهده را نیز بر ظاهر رنگی نهایی، پیش‌بینی کرد [۱]،[۳]،[٤]. بنابراین انطباق محدوده رنگی به عنوان یک مرحله در سیستم نمایش رنگ مستقل از دستگاه حائز اهمیت است[۱].

اصول نظری

۱-۱- توصیف با استفاده از جدول مقایسه‌ای یا LUT

جدول مقایسه‌ای عبارت است از یک سری از جفت مقدارها که دامنه‌ها یا فضاهای مختلفی، مانند مقادیر رنگی مربوط به دستگاه و مقادیر متناظر در سیستم رنگی CIE را به یکدیگر مرتبط می‌سازد. جدول مقایسه‌ای معمولاً در مواقعی به‌کار برده می‌شود که دو فضای مورد نظر ارتباط مستقیم و یا ساده نداشته باشند. در چنین شرایطی، درون‌یابی در داخل یک جدول مقایسه‌ای بسیار سریع‌تر و موثرتر از طراحی یک مدل پیچیده است. در ساده‌ترین حالت، یک فضای رنگی از یک مکعب با سه مولفه اصلی؛ که در رئوس آن ترکیب دوتایی و سه‌تایی اولیه‌های رنگی قرار دارند، تشکیل شده است. مقادیر متناظر با هر یک از رئوس در فضای رنگی دوم نیز با اندازه‌گیری محاسبه می‌شوند. مقادیر خروجی متناظر با هریک از ترکیبات اولیه‌ها می‌توانند با توجه به نسبت فاصله ای که از هر یک از رأس‌ها دارند، محاسبه شوند [۱]،[۳].

۱-۲- انطباق محدوده رنگی

با استفاده از یک مدل ظاهر رنگی و همچنین دستگاه‌های توصیف شده امکان دوباره تولید رنگ فقط در صورتی امکان پذیر است که رنگ مورد نظر، درون محدوده رنگی قابل تولید توسط رسانه خروجی قرار گرفته باشد. به عبارت دیگر، یک رنگ با مقادیر مشخص فام، درخشندگی و غنای رنگی، در صورتی در یک دستگاه نمایش رنگ قابل نمایش است که مقادیر رنگی مذکور در رسانه خروجی قابل تولید باشد. به عنوان مثال، ممکن است دوباره تولید یک رنگ درخشان و

خالص آبی؛ که در یک نمایشگر ایجاد می‌شود، با یک چاپگر جوهر افشان روی کاغذ امکان پذیر نباشد. این امر به دلیل تفاوت در محدوده رنگی وسایل مختلف نمایش رنگ است که با خصوصیت‌های فیزیکی رسانه مورد نظر ارتباط مستقیم دارد. بنابراین عملا دوباره تولید دقیق و کامل تمامی رنگ‌ها در رسانه‌های مختلف غیر ممکن است. الگوریتم‌های انطباق محدوده‌های رنگی، شامل روش‌هایی هستند که راه‌حل‌هایی برای نمایش آن دسته از رنگ‌ها؛ که در یک رسانه بخصوص قابل نمایش یا دوباره تولید نیستند، ارائه می‌دهد. انطباق محدوده‌های رنگی می‌تواند جزئی از سیستم دوباره تولید رنگ در یک سیستم باز در نظر گرفته شود. اطلاعات رنگی بعد از گذشتن از مراحل توصیف دستگاه و مدل ظاهر رنگی به مرحله انطباق محدوده رنگی می‌رسند[٦]،[٥].

آگاهی از نقاط مرزی دامنه رنگی دستگاه خروجی برای انجام عمل انطباق محدوده‌های رنگی ضروری است؛ بنابراین، در گام اول برای ارائه الگوریتم انطباق دامنه رنگی، الگوریتم‌هایی برای محاسبه مناطق مرزی محدوده‌های رنگی[٩] تعریف می‌شود[٦].

محاسبه مناطق مرزی محدوده‌های رنگی با مدل به‌کار برده شده در مرحله توصیف نیز میسر است. به عنوان مثال، در صورت استفاده از مدل Neugebauer برای توصیف چاپگر، امکان محاسبه مناطق مرزی با استفاده از روابط موجود میسر است[٨]،[٧]. بنابراین نحوه توصیف دستگاه مورد آزمایش را می توان بخشی از عملیات انطباق محدوده‌های رنگی در نظر گرفت. در مرحله بعدی، مناطق مرزی محدوده‌های رنگی دامنه رنگی اولیه و هدف مقایسه و سپس نحوه حرکت محدوده‌های رنگی مختلف برای منطبق شدن روی محدوده رنگی دیگر مشخص می‌شود. در روش «LGB»[١٠] چگونگی انطباق دامنه رنگی روی دامنه رنگی دیگر به‌وسیله خطوط منطبق کننده مشخص می‌شود. نحوه حرکت مناطق مرزی برای منطبق شدن روی دامنه رنگی هدف، می‌تواند بر اساس ثابت نگه داشتن فام، روشنایی و یا روش‌های دیگر بنا شده باشد. باید توجه داشت که خطای به دست آمده در این مرحله روی مسیر کلی دوباره تولید رنگ و در نتیجه رنگ تولید شده نهایی تاثیر می‌گذارد[٦]،[٥].

انتخاب فضای رنگی به‌کار برده شده برای انجام عملیات انطباق دامنه‌ها نیز حائز اهمیت است. اغلب، الگوریتم‌های انطباق دامنه رنگی در فضاهای رنگی منظم بصری تعریف می‌شوند. در این صورت، امکان تنظیم یا تغییر هر یک از مولفه‌های ادراکی بدون تاثیر گذاری بر دیگر اجزا نیز فراهم می‌شود. فضاهای رنگی CIELUV و CIELAB دو فضای رنگی هستند که اغلب برای این منظور استفاده می‌شود و فضاهای رنگی RLAB وLLAB نیز؛ که از نظر محرکه فام منظم‌تر هستند؛ به‌کار برده می‌شوند؛ به عنوان مثال، تغییر خلوص (C) یا روشنایی (L) بدون تاثیرگذاری بر روی فام (مثلاً در زوایای فام حدود°٢٩٠ که در سیستم CIELAB نایکنواخت است) امکان پذیر است. همچنین استفاده از محرکه فام در مدل ظاهری CIECAM97s در این ناحیه نایکنواخت فام، نتایج بهتری را به همراه داشته است[٥]،[٦].

خصوصیت‌های رسانه‌ای، که عمل انطباق محدوده روی محدوده رنگی آن صورت می‌گیرد، در انتخاب الگوریتم انطباق دامنه نیز موثر است. روش‌های انطباق دامنه‌های رنگی به‌طور کلی به دو دسته تقسیم می شود: روش برش[١١] و روش فشرده‌سازی[١٢] [٣]،[٥]،[٦].

در روش برش فقط آن دسته از رنگ‌ها که در خارج از محدوده رنگی قابل تولید قرار گرفته‌اند، تغییر یا جابجا می‌شوند و بقیه محدوده رنگی بدون تغییر باقی می‌ماند. در این روش، رنگ‌هایی که خارج از محدوده رنگی قرار دارند روی قسمتی از دامنه رنگی منطبق می‌شود. نحوه انتخاب نقطه جایگزین شده به الگوریتم انتخاب شده برای انطباق محدوده رنگی بستگی دارد.

در الگوریتم‌های فشرده‌سازی برای جبران اختلاف بین دامنه رنگی اصلی و دامنه رنگی دستگاه تولید کننده رنگ، تمامی رنگ‌ها در محدوده رنگی اصلی تغییر داده می‌شوند. در این روش، اختلاف موجود بین دامنه‌های رنگی بر روی تمامی محدوده رنگی پخش می‌شود.

استفاده از الگوریتم‌های برش در مواقعی که اختلاف بین دامنه‌های رنگی چندان زیاد نیست نتایج مطلوب تری نسبت به الگوریتم‌های فشرده‌سازی به همراه دارد. در مواقعی که اختلاف دامنه های رنگی افزایش می‌یابد روش‌های فشرده‌سازی نسبت به روش‌های برش نتایج مطلوب‌تری به دست می‌دهند. علاوه برآن، شرایط مشاهده متفاوت برای رسانه‌های مختلف نیز باعث افزایش تفاوت در نحوه عملکرد الگوریتم‌های به‌کار برده شده برای رسانه‌های مختلف می‌شود. به عنوان مثال، دامنه رنگی محاسبه شده برای یک نمایشگر معمولا در یک فضای تیره اندازه‌گیری می‌شود. این در حالی است که تصویر دوباره تولید شده با چاپگر ممکن است در زیر منبع نوری D_{50} مشاهده شود[٣].

در صورت استفاده از روش برش هنگامی‌که اختلاف بین دو محدوده رنگی بزرگ است قسمت زیادی از تغییرات رنگی؛ که در تصویر اصلی وجود داشته است، حذف می‌شود. بکارگیری الگوریتم های فشرده‌سازی نیز در این‌گونه مواقع باعث تغییرات بیش از حد در رنگ‌های تصویر اصلی می‌شود.

در این گونه موارد از الگوریتم‌های دیگر؛ که ترکیبی از الگوریتم‌های برش و فشرده‌سازی است استفاده می‌شود [۳].

به منظور محاسبه و بیان محدوده‌های رنگی، روشی برای توصیف نوار مرزی محدوده رنگی تعریف می شود. الگوریتم‌های توصیف نوار مرزی محدوده رنگی، تخمینی از مناطق مرزی محدوده رنگی مورد نظر را به دست می‌دهد. روش Segment Maxima GBD از جمله روش‌هایی است که Morovic و Luo در سال ۱۹۹۷ارائه داده‌اند[۶]. بعد از مشخص شدن نوار مرزی محدوده رنگی با استفاده از الگوریتم LBG نقطه تلاقی نوار مرزی و خط مشخص کننده مسیر انطباق، محاسبه می‌شود. روش‌های Flexible Sequential LGB و Constrained LGB (CLGB) از جمله این روش‌هاست. در روش CLGB نوار مرزی دامنه رنگی در راستای خطوطی با روشنایی و فام ثابت تلاقی داده می شود. در روش Flexible Sequential نواحی مرزی دامنه رنگی با هر خط که زاویه فام ثابت دارد تلاقی داده می‌شود. هرکدام از این روش‌ها را می‌توان در فضاهای رنگی یکنواخت یا فضاهای رنگی حاصل از مدل‌های ظاهر رنگی استفاده کرد[۶]،[۵]،[۳].

تخمین نقاط مرزی به روش SMGBD

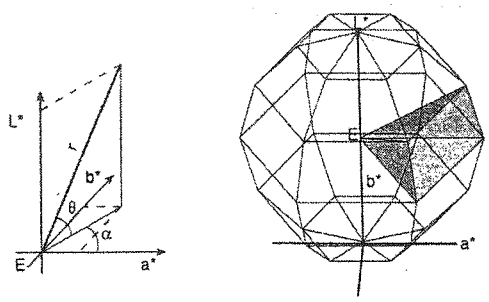
در این روش، نقاط مرزی دامنه رنگی مورد نظر با بخش بندی فضاهای رنگی دستگاه تولید کننده رنگ؛ که شامل رنگهای با بیشترین فاصله (از مرکز یا محور روشنایی) می‌باشند، محاسبه می‌شود. به عنوان مثال، در صورتی که فضای رنگی مورد استفاده، فضای L*a*b* باشد، مولفه‌های مورد نیاز برای بخش بندی فضای رنگی بصورت روابط (۱) خواهد بود:

$$R = [(L^*-L_E^*)^2 + (a^*-a_E^*)^2 + (b^*-b_E^*)^2]^{1/2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}[(b^*-b_E^*) / (a^*-a_E^*)] \qquad (۱)$$

$$\theta = \tan^{-1}[(L^* - L^*_E) / ((a^*- a_E^*)^2 + (b^*-b_E^*)^2)^{1/2}]$$

در این روابط، نقطه مرکزی (E) اغلب دارای مقادیر L*a*b* برابر با [۰و۰و۵۰] در فضای رنگی CIELAB است. در این رابطه‌ها عبارت است از R فاصله یک رنگ از نقطه مرکزی تعریف شده، α زاویه فام است؛ که می تواند بین ۰ تا ۳۶۰ درجه تغییر کند و θ زاویه‌ای است که در صفحه‌ای با α ثابت ساخته می‌شود که تغییرات ۱۸۰ درجه‌ای دارد. شکل (۱) نحوه تقسیم بندی فضا را در این روش نشان می‌دهد[۶].



شکل (۱): بخش بندی فضای رنگی با استفاده از روش SMGBD

روش SMGBD فضای رنگی مورد استفاده را به n×n بخش تقسیم می‌کند. این تقسیم بندی می‌تواند بر اساس تغییرات α یا L* و فام صورت گیرد. بنابراین هر به‌وسیله سه مولفه α و θ و r یا h_{ab} و L* و C* مشخص می‌شود. سپس برای هر بخش، رنگی که بیشترین فاصله از مرکز (R) را دارد به عنوان نقطه مرزی انتخاب می‌شود[۶].

انطباق محدوده های رنگی به‌روش Constrained LGB

بعد از محاسبه نوار مرزی با استفاده از روش GBD باید نقطه تقاطع نوار مرزی با خطی که دارای زاویه کروی ثابت (θ,α) یا L* و فام ثابت است، محاسبه شود. برای این منظور، معادله خطی که از مرکز فضای رنگی (L*a*b* برابر [۰و۰و۵۰]) می گذرد محاسبه می‌شود. سپس سه نقطه رنگی a، b و c از نقاط رنگی نوار مرزی؛ که به‌روش GBD به دست آمده‌اند، با شرایط زیر انتخاب می‌شوند:

الف- نقطه به دست آمده از تقاطع صفحه تشکیل شده به‌وسیله سه نقطه a، b، c و خط L باید درون مثلث تشکیل شده به‌وسیله سه نقطه c , b , a قرار گرفته باشد.

ب- سه نقطه a، b و c باید از بخش‌های همسایه‌ای نوار مرزی به دست آمده از GBD محاسبه شده باشند؛ در نتیجه نقطه به دست آمده از درون یابی سه نقطه a، b و c نیز روی نوار مرزی قرار می‌گیرد.

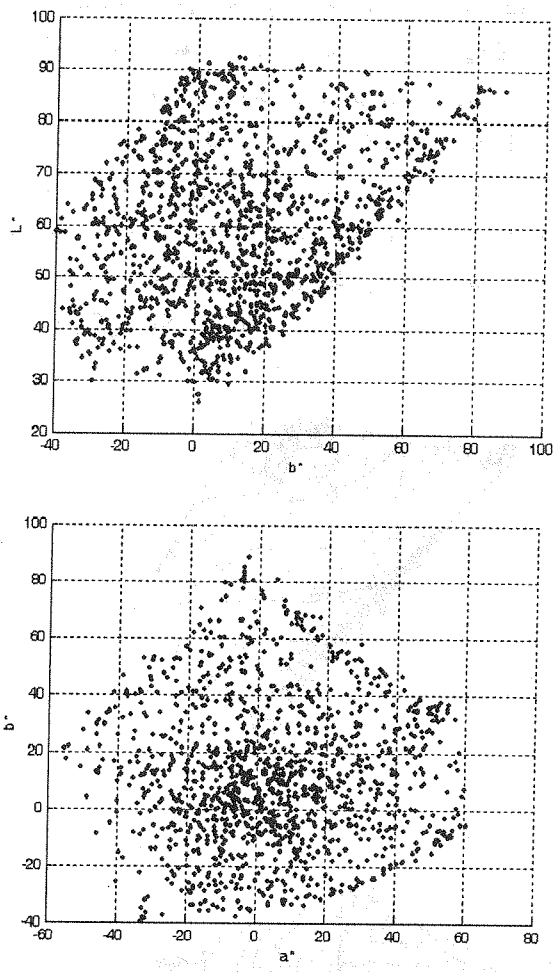
در عمل می‌توان تمامی مثلث‌هایی را که به‌وسیله بخش‌های همسایه قابل تولید هستند با فرض الف مقایسه کرده تا سه نقطه مناسب برای درون یابی حاصل شود [۶].

۲- اساس تجربی

۲-۱- مشخصات نمونه‌های به‌کار رفته

نمونه‌های رنگی استفاده شده در این تحقیق از کاتالوگ DIC Color Guid Process color Note که ۱۲۸۰ نمونه رنگی دارد، گرفته شد. انعکاس نمونه‌های مذکور با استفاده از

اسپکتروفتومتر Texflash ساخت شرکت Data Color با دیافراگم ۱۸ میلی‌متر اندازه‌گیری و مولفه‌های رنگی نمونه ها زیر منبع نوری D_{65} و استاندارد مشاهده‌کننده ۱۰ درجه محاسبه شد. شکل (۲) نحوه پراکندگی نمونه های مورد آزمایش را در فضای رنگی CIELAB نشان می‌دهد. انتخاب این تعداد نمونه برای تخمین دامنه رنگی، به علت در برگیری کلیه فامهای رنگی در روشنایی‌ها و خلوص‌های مختلف می باشد. در هر حال، محدوده رنگی مورد آزمایش نمی‌تواند بیانگر تمامی رنگ‌های موجود در طبیعت باشد؛ در نتیجه محدوده رنگی به‌دست آمده، صرفا در مورد نمونه های آزمایش شده صادق است.



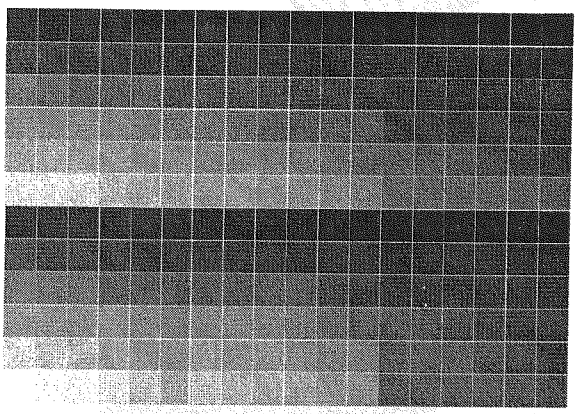
شکل(۲): محدوده رنگی ۱۲۰۰ نمونه مورد آزمایش از کاتالگ رنگی DIC

در مراحل بعدی برای توصیف چاپگر و محاسبه محدوده رنگی چاپگر، تعداد ۶×۶×۶ نمونه روی کاغذ مات مخصوص چاپگر، چاپ شد. چاپگر مورد استفاده در این تحقیق، چاپگر جوهر افشان رنگی (HP 550 C) با ٤ جوهر فیروزه‌ای، سرخابی، زرد و مشکی بود. همچنین برای چاپ نمونه های رنگی، کاغذ مات مخصوص چاپ رنگی sihl با وزن ۹۰ گرم بر متر مربع و ابعاد ۲۱۰×۲۹۷ میلی‌متر استفاده شد.

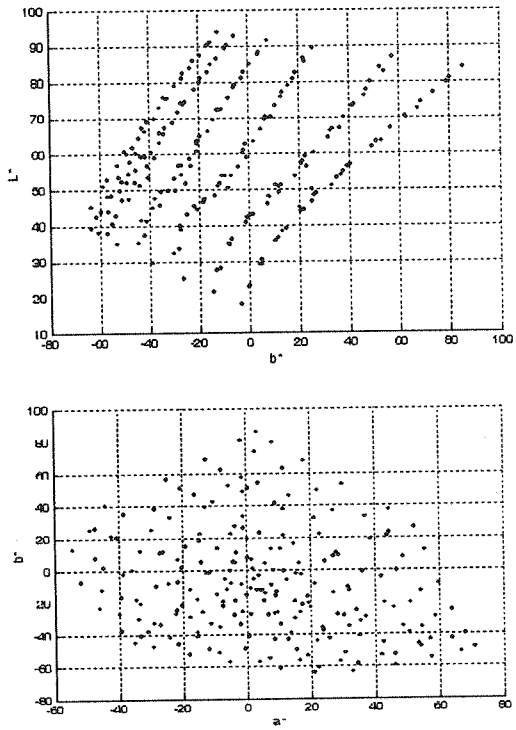
۲-۲- توصیف چاپگر

در این تحقیق، به علت وجود پیچیدگی‌های ناشی از الگوریتم اولیه مشکی به‌کار رفته، که اصطلاحاً «GCR» نامیده می‌شود، از روش درونیابی مکعب در یک جدول مقایسه‌ای یا LUT به منظور توصیف چاپگر استفاده شد. در این روش، رابطه بین مقادیر وابسته و مستقل از دستگاه با استفاده از یک سری داده؛ که دو فضا را به یکدیگر مرتبط می‌سازند، برقرار می‌شود. سپس مقادیر میانی با الگوریتم درون یابی مکعب محاسبه شدند.

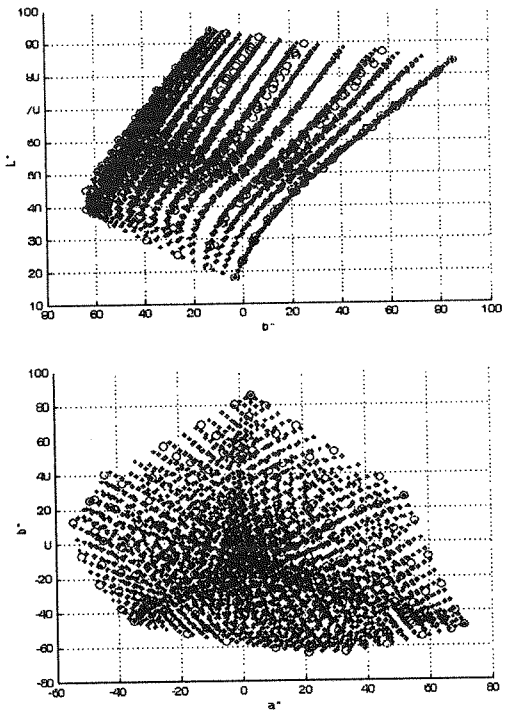
برای این منظور از تعداد ۲۱٦ نمونه چاپ شده با چاپگر استفاده شد (شکل(۳)). با به‌کارگیری عمل درون‌یابی، جدول مقایسه‌ای، انبوه سازی[۳] شد[۸]. عمل انبوه سازی برای محاسبه مناطق مرزی به‌روش SMGBD باعث افزایش نقاط و در نتیجه کاهش عملیات ریاضی برای جستجوی یک نقطه مرزی در یک بخش در روش SMBGD می‌شود. عمل انبوه سازی با استفاده از الگوریتم درونیابی روش مکعب روی۲۱٦ نمونه اولیه صورت گرفت. سپس مؤلفه‌های XYZ نمونه مورد نظر به عنوان ورودی به جدول مقایسه اعمال و مؤلفه‌های RGB وابسته به دستگاه به‌صورت مستقیم از جدول مقایسه استخراج شدند. محدوده رنگی به‌دست آمده از ۲۱٦ نمونه، قبل و بعد از عملیات انبوه سازی به ترتیب در شکل‌های (٤) و (٥) نشان داده شده‌است:



شکل(۳):۲۱۶ نمونه های چاپ شده با چاپگر



شکل (۴): محدوده رنگی ۲۱۶ نمونه چاپ شده در فضای رنگی CIELAB.

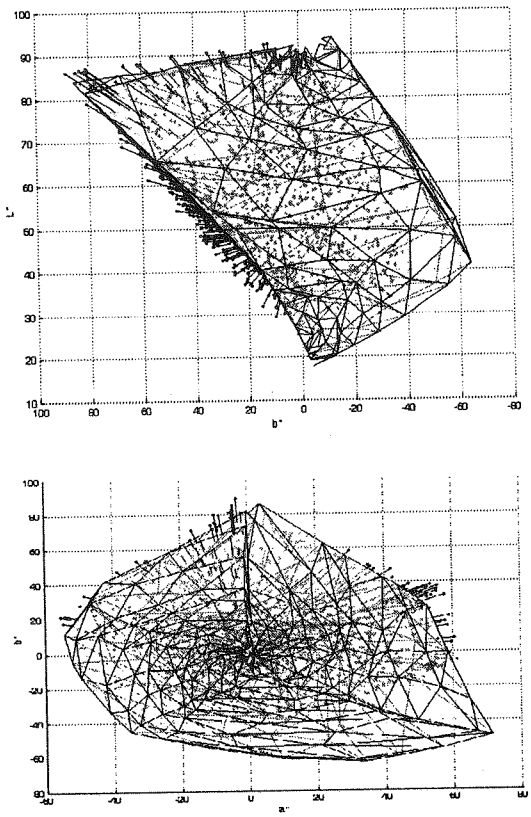


شکل(۵): محدوده رنگی نمونه‌های چاپ شده بعد از عملیات انبوه‌سازی در فضای رنگی CIELAB. (دوایر توخالی نشان دهنده ۲۱۶ نمونه اصلی و نقاط توپر مقادیر محاسبه شده بعد از عملیات انبوه‌سازی می‌باشند.)

۲-۳- انطباق محدوده‌های رنگی

برای انطباق محدوده‌های رنگی ابتدا لازم است تا نوار مرزی محدوده‌های رنگی محاسبه شود. در این تحقیق از روش SMGBD استفاده شد که در آن، عمل بخش بندی فضای رنگی با استفاده از روش بخش بندی زاویه فضایی در فضای رنگی CIELAB صورت می‌گیرد.در مرحله بعدی عمل انطباق محدوده‌ها برای آن دسته از رنگ‌ها؛ که در خارج از دامنه فضای رنگی قرار گرفته‌اند، صورت گرفت. روش به‌کار گرفته شده در این قسمت، روش CLGB بود که بر مبنای انطباق محدوده رنگی در الگوریتم برش می‌باشد.سپس تعداد ۶۰ نمونه مجهول برای ارزیابی توانایی مدل بکار برده شده، استفاده شد.

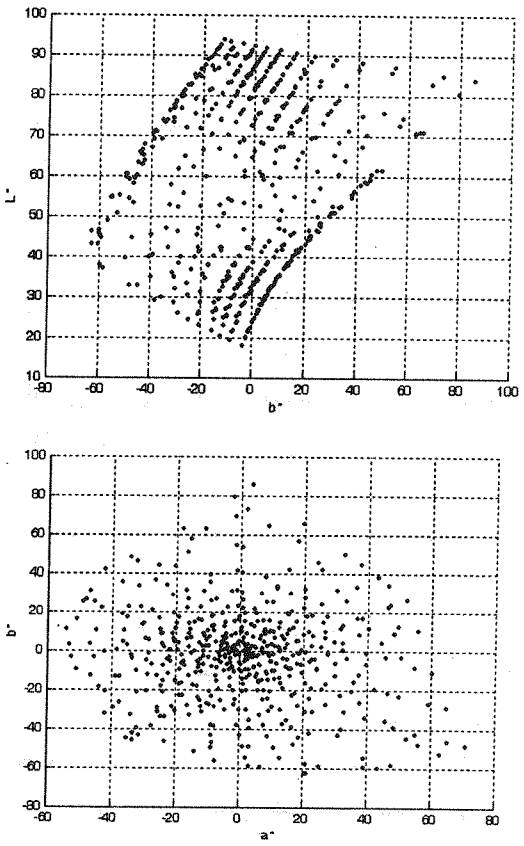
محدوده رنگی نمونه‌های مورد آزمایش DIC و چاپگر به ترتیب در شکل‌های (۲) و (۵) نشان داده شده است. در شکل (۶) دو محدوده‌رنگی به‌صورت همزمان ترسیم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود محدوده رنگی چاپگر محدوده رنگی مرجع را به‌صورت مطلوبی در بر گرفته است؛ ولی در هر حال محدوده‌های رنگی به‌صورت کامل بر یکدیگر منطبق نیستند و بنابراین آن دسته از محدوده‌های رنگی نمونه‌های اولیه؛ که خارج از محدوده رنگی قابل تولید با چاپگر هستند، باید با استفاده از الگوریتم‌های انطباق محدوده‌های رنگی بر محدوده رنگی چاپگر منطبق شوند.



شکل(۶): محدوده رنگی پویشگر مورد آزمایش به‌صورت نقطه و محدوده رنگی چاپگر مورد آزمایش به‌صورت فریم در فضای CIELAB

برای این منظور، ابتدا مناطق مرزی محدوده رنگی چاپگر محاسبه شد. تعداد ۲۱۶ نمونه؛ که محدوده رنگی چاپگر را بخوبی پوشش می‌دادند، با چاپگر چاپ شده و سپس طیف انعکاسی و مؤلفه‌های رنگی نمونه‌های مورد آزمایش اندازه گیری و محاسبه شد.

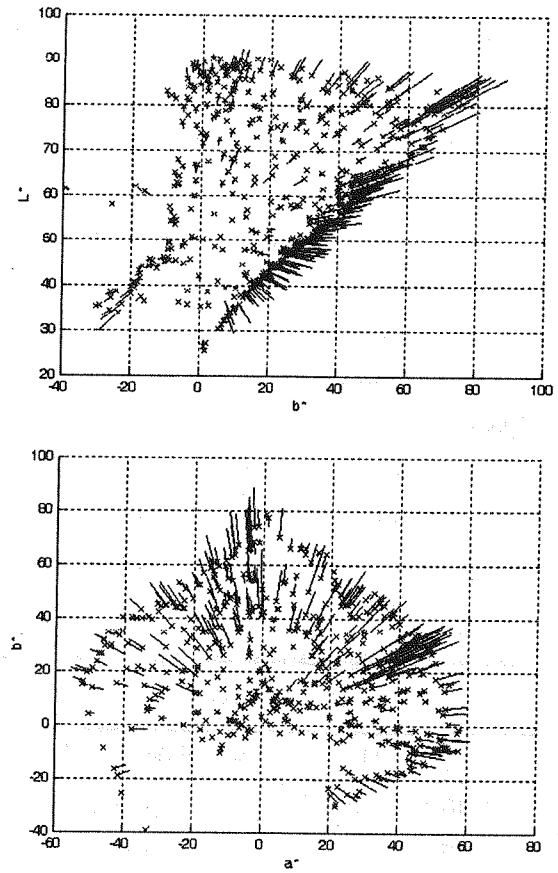
بعد از افزایش تعداد نقاط موجود در جدول مقایسه‌ای با استفاده از الگوریتم انبوه‌سازی، تعداد نقاط محدوده رنگی به ۲۵×۲۵×۲۵ افزایش یافت. در این تحقیق فضای رنگی در کل به ۲۶×۲۶ قسمت تقسیم شد که حاصل تقسیم‌بندی زاویه فام به ۲۶ بخش و زاویه عمودی به ۲۶ قسمت است. در شکل (٤) نقاط اولیه به‌کار برده شده؛ که شامل ۲۱۶ نمونه است، نشان داده شده است. در شکل (٥) محدوده رنگی بعد از عملیات انبوه سازی نمایش داده شده و در مراحل بعد قسمت نوار مرزی محدوده رنگی مورد آزمایش جدا شده است. مولفه‌های رنگی جداشده برای تخمین نوار مرزی در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل (۷): نقاط مرزی محدوده رنگی چاپگر با استفاده از روش SMGBD با تقسیم بندی فضای رنگی به ۲۶×۲۶ قسمت

۲-٤- انطباق نقاط خارج از محدوده رنگی

در این تحقیق از روش برش برای انجام عملیات انطباق محدوده‌های رنگی استفاده شده است؛ بدین معنی که عمل انطباق تنها بر روی نقاط خارج از محدوده رنگی قابل تولید با چاپگر انجام گرفته است. همان‌طور که گفته شد برای توصیف چاپگر از LUT و روش درونیابی مکعب استفاده شده است. نقطه‌ای که نقاط مناسب مرزی در اطراف آن برای انجام عملیات درونیابی وجود نداشته باشد، خارج از محدوده رنگی قرار داشته و عمل درونیابی به روش مکعب در مورد آنها نمی‌تواند صورت گیرد و باید با استفاده از الگوریتم‌های انطباق محدوده رنگی روی محدوده قابل تولید با چاپگر منطبق شوند. عمل انطباق به روش CLGB در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ صورت گرفته است. شکل (۸) نمونه‌های خارج از دامنه چاپگر و همچنین مسیر حرکت نقاط مزبور را برای انطباق نقاط بر محدوده رنگی چاپگر نشان می‌دهد. عمل انطباق محدوده رنگی با توجه به خطی که از نقطه [۵۰،۰،۰] در فضای CIELAB و نقاط خارج از محدوده رنگی می‌گذرد برای نقاط خارج از محدوده رنگی چاپگر انجام گرفت.



شکل(۸): نقاط منطبق شده محدوده رنگی پویشگر بر روی محدوده رنگی چاپگر

بنابراین برای دوباره تولید یک رنگ با مولفه رنگی CIEXYZ با چاپگر، ابتدا وجود یا عدم وجود نقطه رنگی در محدود رنگی چاپگر بررسی شد. درصورتی که نقطه رنگی،

درون محدوده رنگی قرار نداشته باشد، به روی محدوده رنگی چاپگر منطبق می‌شود. سپس مقادیر رنگی وابسته به چاپگر (R,G,B) با استفاده از الگوریتم درونیابی از جدول مقایسه ای ساخته شده به‌دست آمد.

۳- ارزیابی فرآیند دوباره تولید رنگ با چاپگر

برای ارزیابی کل فرآیند، تعداد ۶۰ نمونه رنگی از کاتالوگ رنگی DIC به‌صورت اتفاقی انتخاب و طیف انعکاسی و همچنین مؤلفه‌های رنگی CIEXYZ هر یک از نمونه‌ها زیر منبع نوری D65 و مشاهده کننده استاندارد ۱۰° با دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری و محاسبه شد. مؤلفه‌های $L^*a^*b^*$ به‌دست آمده, با الگوریتم‌های درون‌یابی و انطباق محدوده های رنگی، به مؤلفه‌های وابسته به چاپگر تبدیل شدند. خطای مدل با استفاده از رابطه (۲) و (۳) محاسبه شده است.

$$\Delta E_{xyz} = \frac{\sum\sqrt{(X_s - X_e)^2 + (Y_s - Y_e)^2 + (Z_s - Z_e)^2}}{n} \qquad (۲)$$

$$\Delta E_{L^*a^*b^*} = \frac{\sum\sqrt{(a_s^* - a_e^*)^2 + (b_s^* - b_e^*)^2 + (L_s^* - L_e^*)^2}}{n} \qquad (۳)$$

در این رابطه‌ها، مقادیر X_s ،Y_s ،Z_s ،L^*_s ،a^*_s و b^*_s مؤلفه‌های CIEXYZ و CIELAB نمونه‌های اصلی و X_s ،Y_e ،Z_e ،L^*_e ،a^*_e و b^*_e مؤلفه‌های CIEXYZ و CIELAB نمونه‌های تخمین‌زده شده است. n نشانگر تعداد نمونه‌هاست.

همان‌طور که در جدول (۱) نشان داده شده است میانگین خطا برای نمونه‌های اولیه و نمونه‌های تخمین زده شده در حد قابل قبولی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اغلب نقاط آزمایش شده، درون محدوده رنگی قابل تولید با چاپگر قرار گرفته است. با این حال، مقادیر زیاد اختلاف رنگ بیشینه حاکی از حضور نقاط خارج از محدوده‌رنگی است که با الگوریتم های انطباق محدوده‌های رنگی روی فضای رنگی قابل تولید با چاپگر منطبق شده‌اند.

جدول(۱):محاسبه میزان خطا توصیف چاپگر بعد از عملیات انطباق محدوده‌های رنگی

اختلاف در فضای رنگی	$\Delta E_{L^*a^*b^*}$	ΔE_{xyz}
میانگین خطا	2.202	1.404
انحراف معیار	1.311	0.59
خطا کمینه	0.136	0.253
خطا بیشینه	7.405	2.938

٤- بحث و نتیجه گیری

در انتقال یا دوباره تولید رنگ یک تصویر بین رسانه‌های مختلف، به علت یکسان نبودن محدوده‌های رنگی، همانندی کامل تمامی رنگ‌های اولیه میسر نیست. با به‌کار گیری الگوریتم‌های انطباق محدوده‌های رنگی می‌توان به‌گونه‌ای روی رسانه خروجی دوباره تولید کرد که اختلاف بصری تصویر نهایی کاهش یابد.

عمل انطباق محدوده‌های رنگی به علت تفاوت در محدوده‌های رنگی نمونه‌های اولیه و نمونه‌های قابل تولید با چاپگر، باید قبل از پیش‌بینی و تبدیل مولفه‌های رنگی فضای مستقل به فضای وابسته به دستگاه انجام گیرد. در این تحقیق نمونه‌های رنگی چاپ شده از کاتالوگ رنگی DIC به عنوان فضای رنگی مرجع انتخاب و عمل دوباره تولید رنگ فضای رنگی مرجع با چاپگر انجام پذیرفت.از آنجا که قسمتی از محدوده رنگی مرجع، خارج از محدوده رنگی قابل تولید با چاپگر قرار دارد؛ لذا عمل انطباق محدوده‌های رنگی برای انطباق نقاط خارج از محدوده رنگی چاپگر صورت گرفت. با توجه به اختلاف کم محدوده‌های رنگی، الگوریتم انطباق بر مبنای روش برش انتخاب شد. همچنین روش SMGBD برای توصیف نقاط مرزی محدوده‌های رنگی استفاده شد؛ سپس مولفه‌های رنگی در فضای قابل تولید با چاپگر با استفاده از الگورتیم درونیابی مکعب تخمین زده شد. باید توجه داشت که برای فراهم آوردن داده‌های مورد نیاز در روش جدول مقایسه‌ای برای توصیف چاپگر، تعداد نمونه‌گیری‌ها به ناچار نسبتا زیاداست که این امر باعث طولانی شدن فرآیند توصیف می‌شود. همچنین حجم مورد نیاز برای ذخیره‌سازی اطلاعات نمونه‌های رنگی نیز نسبت به سایر روش‌ها بیشتر است. در روش جدول مقایسه‌ای، در صورت بروز هرگونه تغییرات در شرایط محیطی یا شرایط فیزیکی دستگاه، کل جدول مقایسه‌ای نیز باید دوباره ساخته شود. مزیت این روش برقراری ارتباط بین فضاهای رنگی بدون آگاهی از نحوه ارتباط فیزیکی فضاهای رنگی است که در صورت عدم تغییر شرایط از دقت مناسبی برخوردار است.

نتایج حاصله در این تحقیق با استفاده از دو رابطه اختلاف رنگ ΔE_{xyz} و $\Delta E_{L^*a^*b^*}$ ارزیابی شد. که رابطه دوم به دلیل استفاده از مولفه‌های یکنواخت بصری بیشتر قابل استناد است. اگرچه میانگین اختلاف رنگ در حد قابل قبولی است؛ ولی با توجه به خطای بیشینه به‌دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که دوباره تولید بعضی از نمونه های مرجع با وسیله خروجی مورد استفاده؛ یعنی چاپگر با دقت مناسب امکان پذیر نیست.

۵- مراجع

[۱] Fairchild, M. D., *Color Appearance models*, Addison-Wesley, Reading MA, 1998

[۲] Vrhel, M. J. and Trussell, J., "Color device calibration: a mathematical formulation", *IEEE Transaction on image processing*, Vol. 8, No. 12, pp 1796-1806, 1999.

[۳] Green, P. and MacDonald, L., *Color engineering*, Addison-Wesley, England, 2002.

[٤] Sharma, G., Vrhel, M. J. and Trussell, J., "Color imaging for multimedia", *Processing of the IEEE*, Vol. 86 No. 6, pp 1088-1108 1998

[٥] MacDonald, L. W. and Luo, M. R., *Color imaging vision and technology*, John Wiley & Sons LTD., England, 1999.

[٦] Morovic, J., *To develop a universal gamut mapping algorithm*, University of Derby, Thesis, 1998.

[٧] , M. "Calculation of Color Gamut Based on the Neugebauer Model", *Color research and application*, Vol. 22 No. 6, pp. 365-374, 1997

[٨] Kasson, J. M., Plouffe, W. and Nin, S. I., "A tetrahedral interpolation technique for color space conversion", *SPIE*, Vol. 1909 pp 127-138, 1993.

۶- زیرنویس ها

---

[1] Open system
[2] Dependent color space
[3] Look-up table
[4] Color gamut
[5] CRT
[6] Gamut mapping
[7] Chromatic contrast
[8] Color appearance models
[9] Gamut boundary descriptor (GBD)
[10] Line gamut boundary
[11] Clipping
[12] Compression
[13] Packing