



تاثیر نوع کاغذ بر دقت مدل پیش‌گویی رنگ با روش مکعب نزدیک‌ترین همسایگی برای پروفایل‌های مبتنی بر جدول در یک چاپگر جوهرافشان

مهزیار گرجی^۱، کیوان انصاری^{۲*}، سیامک مرادیان^۳

۱- کارشناس ارشد، گروه پژوهشی نمایش رنگ و پردازش تصویر، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

۲- استادیار، گروه پژوهشی نمایش رنگ و پردازش تصویر، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

۳- استاد، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

۴- استاد، قطب علمی رنگ کشور، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۳ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۲/۶/۲۰

چکیده

استفاده از انواع مختلف کاغذ در چاپگرهای جوهرافشان امری معمول است. یک چاپگر جوهرافشان با توجه به تفاوت نفوذ جوهر در کاغذهای مختلف و نیز اختلاف در براقیت و بافتار کاغذها، نتایج متفاوتی را در رنگ‌های چاپ شده باعث می‌شود. به بیان دیگر، تفاوت کاغذها بر دقت پیش‌گویی هر مدلی که به منظور ساخت پروفایل در فرآیند مدیریت رنگ به کار برود، موثر است. در مقاله حاضر اثر ۴ نوع کاغذ مختلف بر نتیجه پیش‌گویی رنگ یک نوع چاپگر جوهرافشان مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مدل پیش‌گویی در نظر گرفته شده، روش مکعب بود که به عنوان یکی از مدل‌های نزدیک‌ترین همسایگی در پروفایل‌های مبتنی بر جدول شناخته می‌شود. متغیرهای تصمیم‌گیری حجم محدوده رنگی بدست آمده و توانایی بازتولید رنگ بر روی کاغذ در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که مدل پیش‌گویی استفاده شده بهترین نتیجه را هنگام چاپ رنگ‌ها روی یک کاغذ مات می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت رنگ، پیش‌گویی رنگ، محدوده رنگی، پروفایل، چاپگر جوهرافشان.

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

M. Gorji¹, K. Ansari^{*1}, S. Moradian^{2,3}

¹ Department of Color Imaging and Color Image Processing, Institute for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

² Department of Polymer Engineering & Color Technology, Amirkabir University of Technology, P.O.Box: 15875-4413, Tehran, Iran

³ Center of Excellence for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

Received: 02-01-2012

Accepted: 15-10-2013

Available online: 10-06-2013

Abstract

The use of different papers in inkjet printers is a normal practice. However, due to the variety of the texture and gloss of such papers as well as the extent to which various papers enable the penetration of the ink into these papers would result in various results in the printed colors. In other words, such various in the papers affect the prediction accuracy of any model used for making the profiles in the color management process. In present article the effect of four paper types on the final printed papers as predicted by a cube nearest neighbor, prediction model in LUT profiles in an inkjet printer was investigated. The deciding parameters were repeatability and color gamut volume. The results show that this prediction model gave the best printed colors on the utilized matte paper. *J. Color Sci. Tech.* 7(2013), 257-263©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Color management, Color predicting, Color gamut, Profile, Ink-jet printer.

۱- مقدمه

یکی از دغدغه‌های طراحان گرافیک برای چاپ تصاویر و طراحی‌های خود، یکسان نشدن رنگ یک تصویر هنگامی که در نمایشگر نشان داده می‌شود با تصویر چاپ شده می‌باشد. راه حل این مشکل بیان مقادیر رنگی تصویر (که بصورت ارقام RGB و یا cmyk وابسته به دستگاه می‌باشند) توسط فضا رنگ‌های مستقل از دستگاه مانند CIELAB می‌باشد. این عمل با تعریف پروفایل برای دستگاه مورد نظر انجام داده می‌شود. در غیر این صورت و بدون استفاده از فرآیند مدیریت رنگ با توجه به آن که حداکثر توانایی ایجاد اندازه محدوده رنگی یک نمایشگر با یک چاپگر متفاوت است لذا هیچگاه نمی‌توان رنگ تصاویر را در این دو دستگاه یکسان دید. همچنین اگر بین فضا رنگ وابسته به دستگاه و مستقل از آن ارتباط مناسبی ایجاد نشود رنگ‌ها به درستی تبدیل نخواهند شد [۲۰].

ایده شرح فضاهای رنگی رسانه‌های مختلف در یک فضای رنگی مستقل بسیار قدیمی‌تر از عبارت "مدیریت رنگ" است. شرکت کداک تحقیقاتی را در این زمینه برای چند دهه انجام داده بود و حتی استانداردهای رنگی تلویزیون PAL و NTSC تعریف شده بودند و چاپ افسر در آلمان نیز دارای استانداردهایی مانند DIN16539 بود. ولی تمامی این اطلاعات به عنوان اطلاعات محرمانه شرکت‌ها محسوب شده و در اختیار عموم قرار نمی‌گرفت. در سال‌های ابتدایی ۱۹۹۰ میلادی سیستم‌های اولیه برای استاندارد کردن اطلاعات رنگی رایانه‌های شخصی به بازار آمد. در سال ۱۹۹۲، ICC تحت نظارت سازمان تحقیقات آلمان FOGRA به منظور هماهنگ کردن اطلاعات رنگی همه سیستم‌ها ایجاد شد. در آن زمان شرکت‌های بزرگ اپل^۱، آگفا^۲ و کداک^۳، با داشتن دانش سنتی از رنگ و همچنین postscript اختراع شده توسط Adobe عضو ICC شدند. بقیه شرکت‌ها از جمله مایکروسافت برای در اختیار نگذاشتن اطلاعات و دانش رنگ خود ابتدا از وارد شدن به ICC خودداری کردند ولی بعدها تحت فشار رقابت مجبور به وارد شدن به آن شدند [۱۴].

برای این که بتوان یک چاپگر را به منظور ایجاد یک ارتباط مناسب بین فضا رنگ^۴ دستگاه و یک فضا رنگ مستقل از آن (همچون CIELAB) توصیف^۵ کرد، نیاز است که پروفایل مخصوص چاپگر مورد نظر ایجاد شود [۱]. برای این منظور بطور معمول از پروفایل‌های مبتنی بر جدول در ایجاد پروفایل برای یک چاپگر سود برده می‌شود که این نوع پروفایل‌ها بر اساس یک سری مدل‌های درون‌یابی کار می‌کنند [۱۱، ۱۲، ۴-۲]. مدل‌های مکعب^۶، منشور^۷، هرم^۸ و

چهاروجهی^۹، مدل‌های خطی مرسوم هستند که برای ایجاد یک پروفایل مبتنی بر جدول از آنها استفاده می‌شود [۳]. صحت پیش‌گویی مدل استفاده شده به یک سری عوامل همچون نحوه عملکرد نرم‌افزار درونی چاپگر (RIP)، نحوه ریزش جوهر، تعداد نمونه‌های رنگی که مدل توسط آنها عملیات درون‌یابی را انجام می‌دهد و نیز اندازه محدوده رنگی که چاپگر بر روی کاغذ ایجاد می‌نماید بستگی دارد [۱۴، ۱۳، ۲].

کیفیت رنگی چاپگرها را می‌توان به دو طریق با یکدیگر مقایسه کرد: محدوده رنگی چاپگر و میزان پیوستگی محدوده رنگی چاپگر. در این میان اندازه محدوده رنگی چاپگر خود به یک سری عوامل وابسته است:

۱. خلوص و فام جوهرها [۱۵]
۲. تعداد جوهرهای یک چاپگر [۱۶]
۳. مدیریت رنگ درونی چاپگر (RIP) [۱۶]
۴. نحوه، اندازه و شکل ریزش جوهرها بر روی کاغذ از طریق نازل‌های چاپگر [۱۷]
۵. نوع و رنگ کاغذ به کار رفته برای چاپ [۱۸]
۶. نحوه فرستادن اطلاعات به چاپگر [۱]
۷. منبع نوری که تحت آن کاغذ چاپ شده مشاهده می‌شود [۱۹]
۸. زمان [۱۹]

چهار عامل اول، عواملی هستند که می‌توانند برای هر چاپگر متفاوت باشند و در واقع این چهار عامل باعث می‌شوند که چاپگرهای مختلف توانایی رنگ متفاوتی داشته باشند. از سویی دیگر عامل چهارم و یا اثر کاغذ بر روی محدوده رنگی قابل ارائه چاپگر مسئله مهمی است که لازم است در مورد آن بررسی بیشتری صورت بگیرد.

در عمل انواع کاغذ با تفاوت در مقدار براقت سطحی، نوع بافت و نیز قدرت نفوذدهی جوهر برای استفاده در یک چاپگر مصرف می‌شود. این تغییر نوع کاغذ می‌تواند موجب تغییر اندازه در حجم محدوده رنگی توسط چاپگر گردد. همچنین قابلیت دوباره تولید رنگ توسط یک چاپگر بر روی کاغذهای مختلف، متفاوت است. اثر این موارد می‌تواند موجب تغییر در نتیجه پیش‌گویی توسط مدل مورد استفاده شود.

در این تحقیق اثر چهار نوع کاغذ بر عوامل موثر بر پیش‌گویی رنگ بررسی شده و با استفاده از مدل مکعب برای ایجاد پروفایل در فرآیند مدیریت رنگ نتایج مقایسه گردیدند. در عمل می‌توان مشاهده کرد که بسیاری از این عوامل هم سو نمی‌باشند، در نتیجه کاغذی بهترین نتیجه پیش‌گویی را خواهد داد، که مقدار متوسطی از عوامل موثر را دارا باشد.

7- Prism
8- Pyramid
9- Tetrahedral

1- Apple
2- AGFA
3- Kodak
4- Color Space
5- Characterize
6- Cube

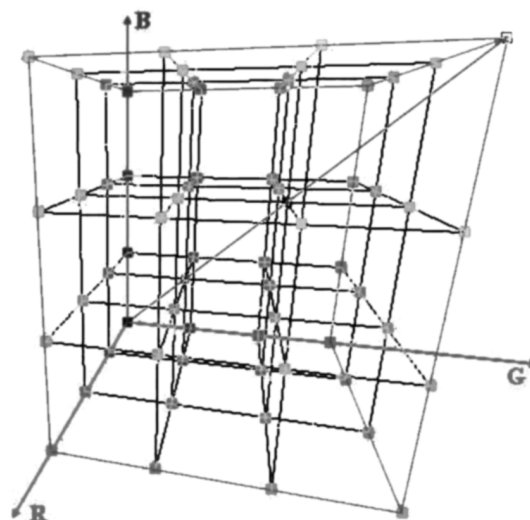
۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

برای چاپ چارت نمونه‌های رنگی از یک نوع چاپگر جوهرافشان RGB با نام تجاری Epson P50 استفاده شد. این چاپگر دارای شش مخزن تغذیه جوهر بود. چهار نوع کاغذ مختلف نیز با مشخصات کاغذ براق [۷]، کاغذ لوستر (یک نوع کاغذ مات با قابلیت نفوذ کم جوهر) [۸]، کاغذ مات [۹] و کاغذ معمولی [۱۰] برای بررسی تاثیر آنها در نتیجه پیش‌گویی مدل به کار گرفته شدند.

۲-۲- روش کار

برای بررسی بهتر نتایج، عمل پیش‌گویی رنگ با استفاده از تعداد مختلفی از نمونه‌های رنگی در چارت انجام شد. این تعداد نمونه رنگی از ۴ گرید^۱ تا ۱۵ گرید در مدل مکعب بررسی شده و مدل توسط عملیات درون یابی بدست آمد. لازم به ذکر است که گرید اصطلاحی است برای نشان دادن میزان بزرگی یک جدول که در پروفایل‌های مبتنی بر جدول به کار می‌رود. در این حالت برای ایجاد یک سری از نقاط با فواصل برابر در یک فضا رنگ نیاز است که تقسیم‌بندی مشخصی انجام گیرد. به عنوان مثال اگر هر بعد یا عبارتی هر محور مختصاتی از فضا رنگ به ۱۵ قسمت با فواصل برابر تقسیم شود، در این صورت در کل فضا رنگ ۱۵^۳ نقطه و یا ۳۳۷۵ نقطه تشکیل می‌گردد که آن را جدول ۱۵ گرید می‌نامند. به همین ترتیب در یک فضا رنگ تقسیم شده توسط ۴ گرید می‌توان ۶۴ نقطه را در نظر گرفت. شکل ۱ تقسیم‌بندی فضا رنگ RGB توسط ۴ گرید نشان داده شده است.



شکل ۱: نقاط ایجاد شده توسط تقسیم‌بندی ۴ گرید در فضا رنگ RGB [۲].

تمامی اندازه‌گیری‌ها توسط یک اسپکتروفوتومتر با نام تجاری eye-one و به کمک چارت خوان^۲ با نام io ساخت شرکت XRite انجام شدند. این نوع از اسپکتروفوتومترها دارای درجه اندازه‌گیری کوچک هستند. اگر چه اسپکتروفوتومترهای با درجه بزرگ‌تر دارای این مزیت هستند که خطای ناشی از ناپیکناختی را به واسطه میانگین‌گیری کاهش دهند، ولی به خاطر سرعت بالای اندازه‌گیری در دستگاه‌های eye-one که مورد نیاز اندازه‌گیری‌های چاپ چارت‌های رنگی است، لذا از آن استفاده شد. هنگام چاپ چارت‌های رنگی، مدیریت رنگ چاپگر و مدیریت رنگ نرم‌افزار نمایش تصویر (که در این تحقیق از Adobe photoshop CS5 استفاده گردید) به حالت غیرفعال^۳ در آورده شد تا بدین ترتیب در مقادیر عددی RGB که به چاپگر ارسال می‌شود تغییری رخ ندهد. تمامی اندازه‌گیری‌ها طبق استاندارد ISO3664 تحت منبع نوری D50 و مشاهده کننده استاندارد^۴ CIE 1931 انجام شدند. همچنین جهت مقایسه صحت نتایج مدل که از گریدهای مختلف حاصل شده بود بر روی کاغذهای معرفی شده، به میزان ۲۰۰۰ نمونه تصادفی در فضا رنگ RGB تولید شد و اجرای مدل توسط آن به مورد آزمون گذاشته شد.

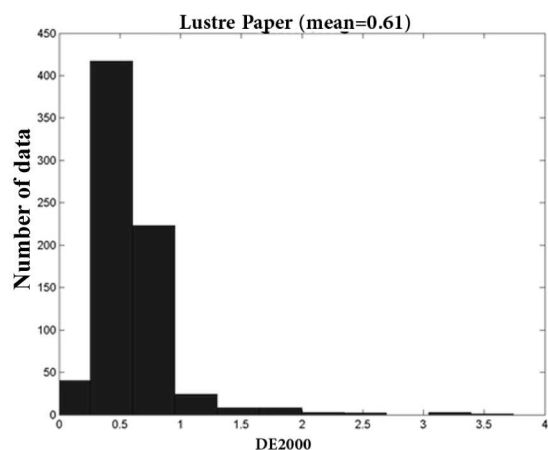
۳- نتایج و بحث

با توجه به اینکه کاغذهای مختلف دارای بافتار و ویژگی‌های سطحی متفاوتی هستند، لذا با ریزش جوهر توسط چاپگر میزان نفوذ متفاوتی در هر کاغذ انتظار می‌رود. این نکته می‌تواند باعث تغییر اندازه محدوده رنگی چارت رنگی چاپ شده شود [۵]. از سوی دیگر ناپیکناختی سطح و میزان نفوذ متفاوت جوهر در قسمت‌های مختلف کاغذ می‌تواند باعث کم شدن قابلیت دوباره تولید چاپگر گردد.

برای آن که بتوان قابلیت دوباره تولید چاپ توسط یک چاپگر بر روی کاغذ را بدست آورد، بهتر است از تمام فضا رنگ (در اینجا فضا رنگ RGB) نقاطی انتخاب و جهت چاپ به چاپگر ارائه شود. از این رو مناسب است که نقاط انتخاب شده در فاصله‌های یکسانی از یکدیگر انتخاب شوند. جهت تعیین قابلیت دوباره تولید چاپ بر روی کاغذهای مختلف، لازم است که بتوان بیشترین تعداد لکه‌های رنگی را در یک صفحه کاغذ قرار داد (با لحاظ این نکته نیز که ابعاد هر نمونه جهت اندازه‌گیری با دستگاه eyeone-io مناسب باشد). در صورتی که چارت رنگی بصورتی باشد که نیاز به صفحه دوم باشد از آنجا که برای چاپ کل چارت رنگی نیاز به دو بار عملیات چاپ است، لذا ممکن است همین کار موجب ایجاد خطا شود. بنابراین یک چارت رنگی ۹ گرید (شامل ۷۲۹ نمونه رنگی) انتخاب شد که بیشترین تعداد ممکن در یک صفحه A4 را ایجاد می‌نمود و سپس مراحل بدین ترتیب طی

2- Chart Reader
3- Off
4- Color Matching Functions

1- Grid



شکل ۲: توزیع قابلیت دوباره تولید نمونه‌های رنگی (در چارت ۹ گرید) بر روی کاغذ لوستر.

لذا در نفوذ جوهر به درون کاغذ معمولی، بدلیل عدم یکنواختی الیاف در شکل‌دهی به هر کاغذ در ابعاد میکروسکوپی، بروز تغییرات در هر بار اندازه‌گیری رنگ اجتناب‌ناپذیر است.

در مورد کاغذ لوستر، با وجود این که دارای قابلیت دوباره تولید بهتری نسبت به کاغذ مات و معمولی است، ولی میزان بیشینه اختلاف‌های به دست آمده برای این کاغذ در جدول‌های ۱ و ۲ بالاتر بوده است. این مسئله ممکن است به علت اثر غلتک چاپگر Epson P50 (که این اثر با چشم نیز قابل مشاهده بود و بنا به دلایل نامشخص فقط بر روی این نوع کاغذ ایجاد می‌شد) که وظیفه جابه‌جایی کاغذ را بر عهده دارد باشد که در این نوع کاغذ (احتمالاً بخاطر خواص سطح) بیشتر مشخص گردیده است. در شکل ۲ نتیجه این اثر به شکلی دیگر نشان داده شده است. هر چه قابلیت دوباره تولید چاپ کمتر باشد، خطاهای غیر قابل کنترل بیشتر می‌شوند و لذا این خود در قابلیت پیش‌گویی مدل نیز اثر نامطلوبی خواهد گذاشت.

به علت نفوذ متفاوت جوهر در کاغذهای مختلف و همچنین به علت میزان سفیدی کاغذ و سایر موارد، چاپ بر روی کاغذهای مختلف باعث ایجاد اندازه محدوده رنگی‌های متفاوت می‌شود. مدل مکعب (که در این تحقیق از آن استفاده شده است) از روش درون‌یابی توسط ۸ همسایه نزدیک در فضای رنگ دستگاه (که برای چاپگر Epson P50 فضای RGB می‌باشد)، مختصات رنگی CIELAB نقطه مورد نظر را بدست می‌آورد. هر چه همسایه‌ها در فضای CIELAB به نقطه مورد نظر نزدیک‌تر باشند، با توجه به اینکه پیش‌گویی توسط مدل با عملیات درون‌یابی انجام می‌شود، در نتیجه نتایج بهتری ایجاد خواهد شد. در شکل ۳ قرارگیری این نقاط که بر روی دو کاغذ براق و کاغذ معمولی چاپ شده اند در بعد a^*-b^* فضای رنگ CIELAB نشان داده شده‌اند.

گردید که ابتدا چارت رنگی ۹ گرید بر روی هر کدام از انواع کاغذ ۵ بار چاپ گردید. مشخصات رنگ هر کدام از نمونه‌های چارت رنگی بر اساس CIELAB بدست آمد. سپس میانگین اختلاف (M) و بیشینه اختلاف (N) نمونه‌های رنگی (بر اساس ΔE_{00}) محاسبه شد:

$$M = \frac{\sum_i^5 |X_i - \bar{X}|}{5}$$

$$N = \max(X_i - \bar{X}), i=1,2,3,4,5$$

که در آن X_i مشخصات نمونه رنگی در چاپ‌های مختلف و \bar{X} میانگین مشخصات رنگ هر نمونه رنگی در ۵ بار چاپ می‌باشد. نتایج قابلیت دوباره تولید چاپگر در جدول ۱ و ۲ بر روی ۴ نوع کاغذ مختلف آورده شده است.

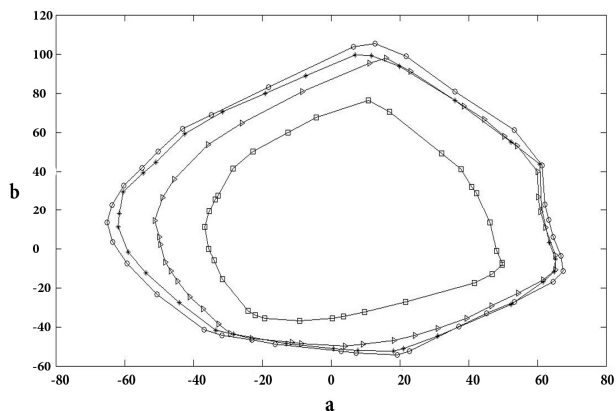
همان‌طور که در جدول‌های ۱ و ۲ مشخص است چاپ بر روی کاغذ براق دارای بهترین قابلیت دوباره تولید است که علت آن می‌تواند به خاطر عدم نفوذ جوهر به کاغذ بواسطه وجود لایه براق‌کننده باشد. در این صورت میزان پخش‌شدگی جوهر نیز بر روی سطح کاغذ یکنواخت تر رخ می‌دهد. از سوی دیگر چاپ بر روی کاغذ معمولی بدترین نتیجه را بدست می‌دهد. به نظر می‌رسد علت این مسئله بخاطر وجود نداشتن لایه لاک (که باعث تبدیل کاغذ معمولی به کاغذ براق و یا مات می‌گردد) است. زیرا بدین ترتیب نفوذ متفاوت جوهر در هر بار عملیات چاپ، بدرون ساختار غیر هموزن الیاف کاغذ (که از نوع الیاف نیافتته می‌باشند) صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر وجود لایه محافظ لاک بر روی یک کاغذ لایه داده شده باعث جلوگیری و یا کاهش چشمگیر نفوذ جوهر بدرون ساختار در مقایسه با یک کاغذ معمولی گردد.

جدول ۱: قابلیت دوباره تولید رنگ چاپگر با محاسبه M برای ۹ گرید (۷۲۹ نمونه رنگی) بر روی چهار نوع کاغذ مختلف براساس ΔE_{00} .

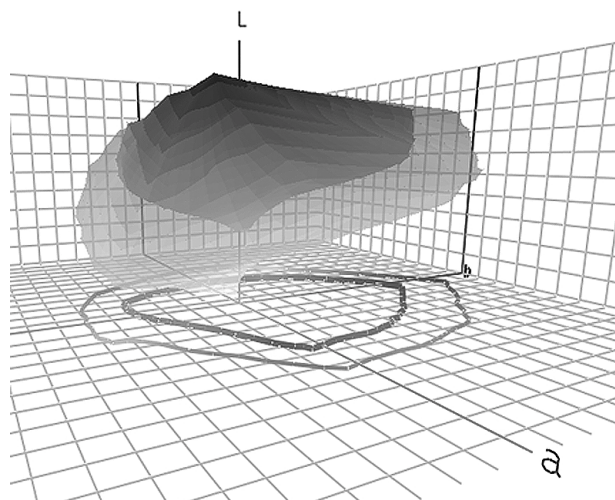
نوع کاغذ	متوسط	میان	بیشینه	انحراف معیار
براق	۰,۳۹	۰,۳۹	۰,۹۷	۰,۱۱
لوستر	۰,۶۱	۰,۵۶	۳,۵۹	۰,۳۶
مات	۱,۱۳	۱,۰۸	۱,۹۱	۰,۳۸
کاغذ معمولی	۱,۵۸	۱,۶۳	۲,۹۲	۰,۳۲

جدول ۲: قابلیت دوباره تولید رنگ چاپگر با محاسبه N برای ۹ گرید (۷۲۹ نمونه رنگی) بر روی چهار نوع کاغذ مختلف براساس ΔE_{00} .

نوع کاغذ	متوسط	میان	بیشینه	انحراف معیار
براق	۰,۶۶	۰,۶۴	۲,۰۱	۰,۲۳
لوستر	۰,۹۷	۰,۸۴	۷,۳۵	۰,۷۰
مات	۲,۳۷	۲,۲۴	۳,۹۶	۰,۸۴
معمولی	۳,۰۲	۳,۰۵	۷,۰۱	۰,۷۶



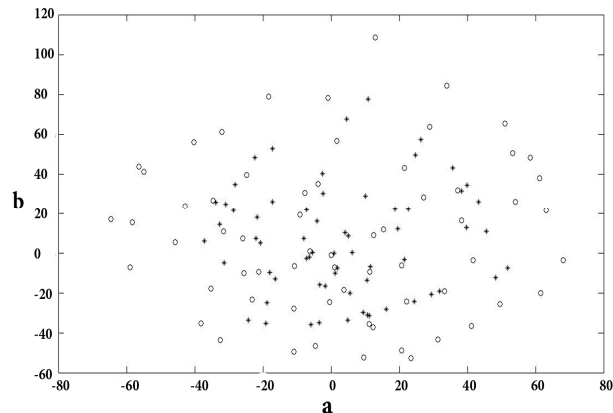
شکل ۴: محدوده رنگی ایجاد شده با لحاظ ۹ گرید توسط روش convex hull modified در صفحه a-b: کاغذ براق (O)، کاغذ لوستر (*)، کاغذ مات (مثلث) و کاغذ معمولی (مربع).



شکل ۵: تفاوت در محدوده رنگی در فضای سه‌بعدی بین دو نوع کاغذ: کاغذ براق (محدوده رنگی بزرگ‌تر) و کاغذ معمولی (رسم توسط نرم‌افزار chromix color think pro).

جدول ۴: متوسط، حداقل و حداکثر اختلاف همسایگی بر اساس ΔE_{00} در چارت ۹ گرید که بر روی ۴ نوع کاغذ براق، لوستر، مات و کاغذ معمولی چاپ شده است.

نوع کاغذ	متوسط DE2000	حداکثر اختلاف	حداقل اختلاف
براق	۴,۰۲	۱۹,۱۸	۰,۱۸
لوستر	۴,۰۵	۱۵,۱۰	۰,۰۷
مات	۳,۷۵	۱۱,۷۶	۰,۱۰
معمولی	۳,۱۶	۱۱,۳۵	۰,۱۲



شکل ۳: مشخصات رنگ ۶۴ نمونه رنگی (۴ گرید) در صفحه a^*b^* نقاط (ستاره) مربوط به چاپ بر روی کاغذ معمولی و نقاط (o) مربوط به کاغذ براق می‌باشند.

در شکل ۴ نیز می‌توان نسبت اندازه محدوده رنگی در صفحه a^*b^* که توسط چاپ بر روی چهار نوع کاغذ مختلف ایجاد شده است را مشاهده نمود. لازم به ذکر است که مرزهای محدوده رنگی توسط رابطه پیشنهادی با نام convex hull modified ایجاد شده‌اند [۶]. شکل ۵ نیز نسبت اندازه محدوده رنگی دو کاغذ براق و معمولی را در یک فضای سه‌بعدی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که ایجاد شکل محدوده رنگی توسط نرم‌افزار chromix color think pro انجام شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشخص است چاپ بر روی کاغذهای براق و لوستر می‌تواند بیشترین اندازه محدوده رنگی و چاپ بر روی کاغذ معمولی کمترین اندازه محدوده رنگی را ایجاد کند. در جدول ۳ اندازه حجم محدوده‌های رنگی ایجاد شده و نسبت آنها نشان داده شده است.

برای مشخص شدن ارتباط میان کاهش فاصله همسایگی با کوچک‌تر شدن اندازه محدوده رنگی، چارت ۹ گرید بر روی ۴ نوع کاغذ چاپ گردید و حداکثر و حداقل فاصله همسایگی در آن بدست آمد که در جدول ۴ نتایج آن آورده شده است.

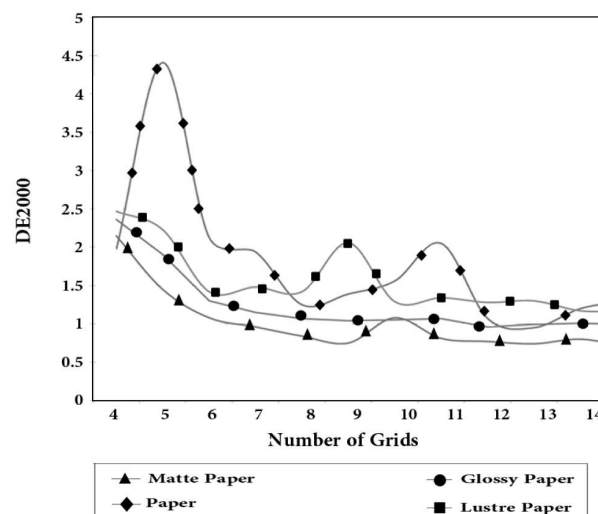
جدول ۳: مقایسه حجم محدوده رنگی ایجاد شده توسط چارت ۹ گرید بر روی ۴ نوع کاغذ مختلف.

نوع کاغذ	حجم محدوده رنگی	نسبت حجم محدوده رنگی هر کاغذ به کاغذ براق
براق	۵۱۲۵۸۰	۱
لوستر	۵۰۰۲۰۱	۰,۹۸
مات	۴۱۷۷۷۳	۰,۸۱
معمولی	۱۸۹۹۴۵	۰,۳۷

محدوده رنگی را می‌دهد، ولی قابلیت دوباره تولید آن آنقدر ضعیف است که موجب نتایج غیرمنطقی می‌شود. شکل ۶ این گفته را تأیید می‌کند. همان‌طور که دیده می‌شود هنگام حرکت از ۴ گرید به سمت ۱۵ گرید، در حالی که به صورت منطقی انتظار می‌رود نتایج بهبود یابند، ولی در کاغذ معمولی این بهبودی با تغییرات ناگهانی بسیاری همراه است. از سوی دیگر اندازه محدوده رنگی و قابلیت دوباره تولید کاغذ مات در میان سایر کاغذها حالت متوسطی دارد. شکل ۶ نشان می‌دهد که این نکته باعث می‌شود تا مدل بر روی آن بهترین نتیجه را از خود نشان دهد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق مشخص گردید که تغییر نوع کاغذ بر قابلیت دوباره تولید چاپ در چاپگرهای جوهرافشان و همچنین اندازه محدوده رنگی ایجاد شده موثر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد کاغذ مات در بین کاغذهای انتخاب شده، حالت متوسطی چه از لحاظ قابلیت دوباره تولید و چه از لحاظ اندازه محدوده رنگی دارا است و بهترین نتیجه پیش‌گویی رنگ نیز با این نوع از کاغذ بدست می‌آید. کاغذ براق و کاغذ لوستر محدوده‌های رنگی بزرگی ایجاد می‌کنند، در نتیجه رنگ چاپ شده بر روی آنها می‌تواند خلوص‌های بیشتری را نسبت به سایر کاغذها به دست دهد. این مسئله باعث می‌شود که تمایل به استفاده از این نوع کاغذها نسبت به سایر کاغذها از جمله مات و نیمه مات بالاتر باشد. لازم به ذکر است که در این مورد به نظر می‌رسد که استفاده از روش مکعب برای ساخت پروفایل مناسب نمی‌باشد و باید از مدل‌هایی استفاده کرد که از روش درون‌یابی غیرخطی استفاده می‌کنند. همچنین کاغذ معمولی دارای قابلیت دوباره تولید بسیار ضعیفی بود که این خود موجب خطای غیرقابل کنترل می‌گردد. لذا می‌توان گفت که به سختی بتوان مدلی یافت که بتواند نتایج مطلوبی در پیش‌گویی رنگ بر روی کاغذ معمولی بدهد. این مسئله باعث می‌شود که عملاً پروفایل کردن کاغذ معمولی با لحاظ شرایط بهینه غیرممکن به نظر برسد.



شکل ۶: نتایج پیش‌گویی مدل مکعب (در گریدهای ۴ الی ۱۵) در چاپ بر روی ۴ نوع کاغذ مختلف (نمودار DE بر حسب گرید می‌باشد).

نتایج پیش‌گویی رنگ در چاپ بر روی کاغذهای مختلف برای تعداد نمونه‌های رنگی مختلف برای پیش‌گویی رنگ توسط مدل مکعب در شکل ۶ آورده شده است (درواقع این نتایج تلفیقی از قدرت پیش‌گویی و قابلیت دوباره تولید می‌باشد).

جدول ۴ و شکل ۶ در واقع نتایج حاصل از برهم‌کنش قابلیت دوباره تولید (جدول ۱ و ۲) در برابر اندازه محدوده رنگی (جدول ۳) می‌باشند. همان‌طور که گفته شد هر چه قابلیت دوباره تولید بهتر باشد، در پیش‌گویی مدل اثر بهتری می‌گذارد، در مقابل هر چه اندازه محدوده رنگی بزرگ‌تر باشد، در قدرت پیش‌گویی مدل تأثیر منفی خواهد گذاشت.

کاغذهای لوستر و براق اندازه‌های محدوده رنگی تقریباً برابری ایجاد می‌کنند، در حالی که قابلیت دوباره تولید بر روی کاغذ لوستر کمی ضعیف‌تر از کاغذ براق است. پس می‌توان نتیجه گرفت که قدرت پیش‌گویی مدل بر روی کاغذ لوستر ضعیف‌تر خواهد بود که جدول ۴ این نتیجه را تأیید می‌کند. در مقابل کاغذ معمولی کوچک‌ترین اندازه

۵- مراجع

1. B. Fraser, C. Murphy, F. Bunting, Real world color management, peachpit press, 2005, chapter 4.
2. G. Trucco, The art and science of printer profiling, <http://www.gt-photography.com/articles/The%20Art%20and%20Science%20of%20Printer%20Profiling.pdf>, accessed online. 2004.
3. H. R. Kang, Computational color technology, SPIE press, 159, 2006, 151-163.
4. P. Hemingway, n-simplex interpolation, HP Laboratories Bristol, <http://www.hpl.hp.com/techreports/2002/HPL-2002-320.pdf>, accessed online. 2002.
5. L. Yang, Ink paper interaction, Department Of Science and Technology Linkoping University, SE- 74601 Norrkoping, Sweden Norrkoping, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.134.9213&rep=rep1&type=pdf>, accessed online. 2003, 58-62.
6. J. J. Morvic, Color gamut mapping, Hewlett-Packard Company, Barcelona, Spain, 2008, 143-155.

7. <http://www.photopaperdirect.com>, Super Glossy photo paper, 260 g/m², China Lucky film Corporation, 2012.
8. <http://www.photopaperdirect.com>, Lustre photo paper, 260 g/m², China Lucky film Corporation, 2012.
9. <http://www.axonpaper.com>, Matte paper, 140 g/m², 2012.
10. <http://www.paper-machinery.com>, Plain paper, 80 g/m², 2012.
11. <http://www.color.org>, Specification ICC.1:2010, profile version 4.3.0.0, accessed online, 2010.
12. E. Tapp, Practical color management, O'ReillyMedia, Inc., 1005, Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, 2007, chapter 2.
13. F. Dugay, Perceptual evaluation of color gamut mapping algorithms, Master theses, The Norwegian Color Research Laboratory -HøgskoleniGjøvik, Norway, http://www.colorlab.no/content/download/21934/215647/file/Fabienne_Dugay_Master_thesis.pdf, accessed online, 2007.
14. J. Homann, Digital color management, Springer, 2009, chapter 3 & 5.
15. L. A. Taplin, Spectral modeling of a six-color ink jet printer, B.S. University of Delaware, 1996.
16. M. Rosen, W. Ohta, Color desktop printer technology, Taylor & Francis, 2006, chapter 2.
17. S. Gooran, Digital halftoning, Department of Science and Technology, Linköping University, Campus Norrköping, Sweden, webstaff.itn.liu.se/~sasgo26/TNM011/digital_half_toning.doc, accessed online, 2005.
18. S. Mourad, Color prediction model for electrophotographic prints on common office paper, Ecole Polytechnique Fédérale De Lausanne, Ph.D dissertation, 2003, chapter 2.
19. G. Sharma, Digital color imaging handbook, CRS press, 2003, chapter 6.
20. F. M. Abed, S. H. Amirshahi, S. M. Mortazavi, Comparison of Neugebauer and n-modified Neugebauer models for the characterization of a four-color halftone printer. *J. Color Sci. Technol.* 2(2008), 97-110.