



تأثیر فلورسنسی کاغذ بر تغییر رنگ نمونه‌های چاپ شده با کمک چاپگر رنگی آزمایشگاهی

مهدی صافی^{۱*}، فائزه مولا^۲

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

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، موسسه کار قزوین، قزوین، ایران، صندوق پستی: ۱۵۷۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۱۰ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۴/۶/۲۰

چکیده

در فرآیند چاپ، کاغذ و ویژگی‌های آن نقش مهمی در رنگ نهایی درک شده از آن دارند. در این تحقیق تأثیر حضور ماده فلورسنس در کاغذ بر روی تغییر رنگ یکسری نمونه چاپ شده بررسی شد. نمونه‌های استاندارد ۲۴ رنگی مکث روی کاغذ A4 سفید با چاپگر رنگی آزمایشگاهی چاپ شد. مقادیر بازتابش طیفی این نمونه‌ها تحت منبع نوری A و اختلاطی از A و UV با کمک یک دستگاه اسپکترورادیمتر پس از کالیبراسیون در محدوده مرئی تعیین گردید. مقادیر ضرایب رنگی آنها در سامانه رنگی CIELCH تحت روشنایی D65 و مشاهده‌کننده ۱۰ درجه محاسبه شد. نتایج نشان داد ویژگی فلورسنسی کاغذ در موارد زیادی جابجایی رنگی محسوس ایجاد می‌نماید. همچنین مشاهده شد برای رنگ‌های آکروماتیک تغییرات در فام نمونه‌ها محسوس نیست ولی در میزان روشنایی و خلوص نمونه‌ها تغییرات قابل توجهی ایجاد می‌شود. علاوه بر آن مشاهده شد که نوع فرمول اختلاف رنگ انتخابی بر تحلیل نتایج بدست آمده تأثیر به‌سزایی دارد.

واژه‌های کلیدی: کاغذ، ویژگی فلورسنسی، تغییر رنگ، سامانه رنگی CIELCH، سفیدکننده نوری.

The Effect of Fluorescence in Paper on Color Change of Printed Samples Using a Laboratory Color Printer

M. Safi^{*1}, F. Mola²

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 Textile Chemistry, Institute of Kar, P.O.Box: 1574, Qazvin, Iran

Received: 12-07-2014

Accepted: 31-05-2015

Available online: 11-09-2015

Abstract

In the printing process, paper and its characteristics are understood to have a major role in the final perceived color. At the present study, the effect of fluorescence in paper on color change of the printed samples was investigated. The 24 color patches from Munsell chart were printed on an A4 white paper by using a laboratory color printer. The spectra reflectance curves of the samples were determined by a calibrated spectroradiometer under illuminant A and a combination of illuminant A and UV radiation at the visible region. CIELCH color space parameters were calculated from the measured reflectance values under standard illuminant D65/10°. The results showed that fluorescence property of paper in many cases led to a noticeable color shift. In addition, it was shown that for achromatic samples, changes in hue were not significant but it was noticeable on lightness and chroma. Moreover, it was resulted that the selected color difference equation has a large impact to analyze acquired results. *J. Color Sci. Tech.* 9(2015), 159-167©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Paper, Fluorescence property, Color change, CIELCH color space, Optical brightening agent.

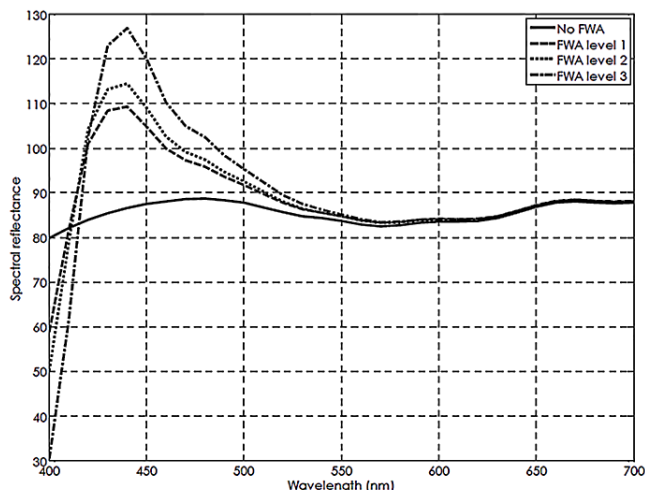
۱- مقدمه

در یک سامانه رنگی، با تغییر ویژگی هر یک از اجزاء مانند زمینه و ماده رنگی، کلیه مشخصه‌های رنگی تغییر می‌کنند. در یک فرآیند چاپ نیز هر یک از اجزاء شرکت کننده، در حصول رنگ نهایی نقش بسزایی دارند. از جمله این عوامل می‌توان به ویژگی‌های کاغذ مصرفی اشاره نمود [۱]. در تحقیقات مختلف تاثیر ویژگی‌های گوناگون کاغذ بر کیفیت چاپ از جمله وزن، تراکم بافت، براقیت، ظاهر رنگی و فلورسنسی آن بررسی شده است. حضور و یا عدم حضور هر یک از این عوامل می‌تواند رنگ نهایی از چاپ را متأثر سازد [۳-۱]. بسیاری از تولیدکنندگان کاغذ از خاصیت فلورسنسی برای بالا بردن سطح سفیدی در کاربردهای گوناگون از جمله چاپ استفاده می‌کنند [۴]. خاصیت فلورسنسی در اثر تابش پرتو فرابنفش به سطح کالایی که دارای عامل سفیدکننده نوری (FWA) باشد اتفاق می‌افتد [۵]. هنگامی که یک ماده حاوی سفیدکننده نوری در معرض تابش پرتوهایی با طول موج مناسب قرار گیرد، مقداری از انرژی، توسط مولکول‌های ماده جذب شده و این مولکول به سطح بالاتر انرژی انتقال می‌یابد. طبق قانون استوکس^۲ اگر این مولکول ناپایدار، در بازگشت به حالت پایه، انرژی خود را به صورت فلورسنس (غیرحرارتی) آزاد نماید، منجر به صدور مجدد نور در طول موجی بالاتر از تابش تحریک‌کننده می‌شود، لذا جسم به صورت فلورسنت مشاهده می‌گردد [۶، ۴]. لازم به ذکر است موادی با ویژگی فلورسنسی فقط به سفیدکننده‌های نوری محدود نمی‌شوند. بلکه کلیه ترکیباتی که به نوعی انرژی جذب شده را به طول موج‌های بلندتر انتقال می‌دهند در زمره چنین موادی تعریف می‌شوند. از این نوع مواد می‌توان به مواد رنگزای فلورسنسی اشاره نمود که بعضاً جذب و نشر آنها بر خلاف سفیدکننده‌های نوری در محدوده مرئی رخ می‌دهد [۴]. عواملی همچون طبیعت ماده مصرفی مانند ماهیت کاغذ یا جوهر مورد استفاده، مقدار عامل سفیدکننده و شدت نور فرابنفش در محیط که باعث تحریک و برانگیخته شدن سفیدکننده نوری در کالا می‌شود، می‌توانند بر فلورسنسی تاثیرگذار باشند [۷]. شکل ۱ رفتار انعکاسی یک کاغذ حاوی سفیدکننده نوری را در ۳ سطح و مقدار مختلف از آن نشان می‌دهد [۸]. در شکل ۱، PWA به نمونه کاغذ فاقد سفیدکننده نوری اشاره دارد.

همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، با فرض ثابت بودن میزان پرتوهای فرابنفش منبع نوری مورد مصرف، زمانی که مقدار سفیدکننده نوری در کاغذ افزایش می‌یابد میزان انعکاس از سطح کاغذ و در نتیجه میزان سفیدی آن افزایش می‌یابد. اما این‌گونه نیست که با افزودن مقدار بیشتری از سفیدکننده نوری، میزان سفیدی بیشتری دریافت گردد. اگر مولکولی که در اثر پرتوهای فرابنفش تهییج شده، در حالت

1- Fluorescent Whitening Agents (FWAs)

۲- تفاوت بین طول موج تحریک و انتشار، شیفت استوکس نامیده می‌شود.



شکل ۱: تغییرات انعکاس طیفی کاغذ با افزایش میزان سفیدکننده نوری تحت پرتوهای فرابنفش یک منبع نوری D65 [۸].

برانگیخته، با مولکول‌های دیگری برخورد نماید و انرژی خود را به صورت غیرتابشی از دست دهد، اثر فلورسنسی آن خاموش شده و قادر نخواهد بود که در ناحیه مرئی، نوری بالاتر از طول موج تحریک، تابش کند. این اثر تحت عنوان خاموش‌شوندگی^۳ شناخته می‌شود. وجود مولکول‌های غیرفلورسنت در مخلوط مانند حضور مواد رنگزا نیز می‌تواند باعث خاموش‌شوندگی شود. به علاوه بالارفتن غلظت مواد فلورسنت در محیط، دلیل دیگر خاموش‌شوندگی است که در اصطلاح به آن خود خاموش‌شوندگی^۴ می‌گویند [۴]. علاوه بر آن با افزایش مقدار سفیدکننده نوری، در مواردی سطح ظاهر درک شده، متمایل به خاکستری می‌شود؛ این پدیده به نام سبزشدگی^۵ معروف است [۱۰، ۹].

یکی از روش‌های معمول برای اندازه‌گیری ویژگی فلورسنسی نمونه‌ها، استفاده از روش‌های طیف‌سنجی با کمک طیف‌سنج انعکاسی می‌باشد که بر اساس هندسه تابش چندرنگ- تک رنگ^۶ انجام می‌شود. در توصیف رفتار نوری کاغذ، از دستگاه‌های رنگ‌سنجی و دستگاه سنجش روشنایی^۷ نیز استفاده می‌شود؛ همچنین، CIE و TAPPI نیز دو استاندارد مهم در صنعت کاغذ است [۱۱]. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد یکی از عوامل تاثیرگذار در فلورسنسی، طبیعت ماده مصرفی است که تعداد این مواد هم محدود است. با توجه به این مسئله در اندازه‌گیری طیف فلورسنسی مواد، می‌توان روش ساده‌تری را لحاظ کرد. روش ساده‌تر، اندازه‌گیری جذب فلورسنت بر اساس الگوریتم طیفی است. این روش با درون‌یابی کردن میزان سطح انرژی

3- Quenching

4- Self-quenching

5- Greening

6- Polychromatic- Monochromatic

7- Brightmeter

توجه به خصوصیات انتقال طیفی جوهر و کاغذ، انتقال طیفی مؤثر جوهر چاپ شده روی کاغذ، تخمین زده می‌شود. این روش چون نیاز به تنظیم پرتوهای فرابنفش منبع نوری قبل از آزمایش ندارد و تنظیمات، حین اندازه‌گیری به صورت خودکار انجام می‌شود، برای صرفه‌جویی در زمان بسیار مؤثر است. هر ماده چاپ شده روی کاغذ سفید حاوی سفیدکننده نوری، بدون در نظر گرفتن ماهیت ماده، دارای برانگیختگی طیفی و مشخصات فلورسنسی مخصوصی است. در حقیقت در اندازه‌گیری فلورسنس به صورت مجازی، اندازه‌گیری تحریک طیفی و مشخصات فلورسنسی کاغذ با فیلم‌های جوهر چاپ شده روی آن، انجام می‌شود [۱۷].

گاهی اوقات، برای تشدید اثر سفیدی کاغذ، از تباین هم‌زمان کمک گرفته می‌شود. به این ترتیب که کاغذ دارای عامل سفیدکننده نوری روی زمینه تیره قرار می‌گیرد و چون محیط، روی رنگ دریافتی، تأثیر دارد، بنا به قانون رنگ‌های متضاد، سبب سفیدتر دیده شدن کاغذ می‌گردد. اندازه‌گیری‌های مربوط به سفیدی را می‌توان با کمک مدل کیوبلکا-مانک انجام داد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان سفیدکننده نوری، حداکثر انتشار نور، در روی یک پس زمینه کاملاً تیره انجام می‌شود [۱۸]. غالباً فرمول‌هایی که برای سنجش میزان سفیدی ارائه شده‌اند، برای نمونه‌های سفید کاربرد دارند و در اندازه‌گیری برای نمونه‌های رنگی دچار خطا می‌شوند. در اندازه‌گیری درصد سفیدی نمونه‌های رنگی با استفاده از فرمول CIE، اختلاف زیادی میان نتایج با ارزیابی‌های چشمی مشاهده می‌شود. از نظر مشاهده‌کنندگان، نمونه‌هایی که دارای غنای رنگی خیلی کمی هستند، دارای سفیدی مشابه به هم می‌باشند. البته این اختلاف برای همه فام‌ها وجود ندارد. مثلاً میزان سفیدی اندازه‌گیری شده برای نمونه رنگی قرمز، با دید ناظرین مطابقت دارد ولی رنگ آبی در نمونه‌ها، از این گفته پیروی نمی‌کند [۱۹]. در تحقیق انجام شده برای سه رنگ آبی، قرمز و سیاه که به همراه درصدهای مختلف از سفیدکننده نوری، به کاغذ اضافه شده‌اند، طبق فرمول CIE، با افزایش میزان رنگ، سفیدی زیاد می‌شود. این در حالی است که نتیجه ارزیابی چشمی، کاغذ را تیره‌تر و در مواردی، نزدیک به قرمز گزارش می‌کند. نتایج اندازه‌گیری میزان سفیدی، طبق CIE، GANZ و Hunter با هم تفاوت دارد. این موضوع شاید به دلیل حساسیت زیاد محرک‌های X، Y و Z در CIE و GANZ باشد. این مسأله نشان می‌دهد که با وجود فرمول‌های مختلف برای اندازه‌گیری خواص نوری کاغذ، هنوز نقص‌هایی وجود دارد که برطرف شدن آنها، تلاش محققین را می‌طلبد [۱۳]. البته مطالعات زیادی در رابطه با مدل‌سازی رفتار فلورسنسی نمونه‌های رنگی چاپ شده، روی کاغذهای دارای عامل سفیدکننده نوری انجام شده است. تمرکز اصلی این مطالعات روی ارتباط میان طول موج تحریک و انتشار است [۲۰، ۲۱]. در آزمایش انجام گرفته روی ۴ نمونه رنگی قرمز، سبز، زرد و آبی تحت روشنایی‌های مختلف

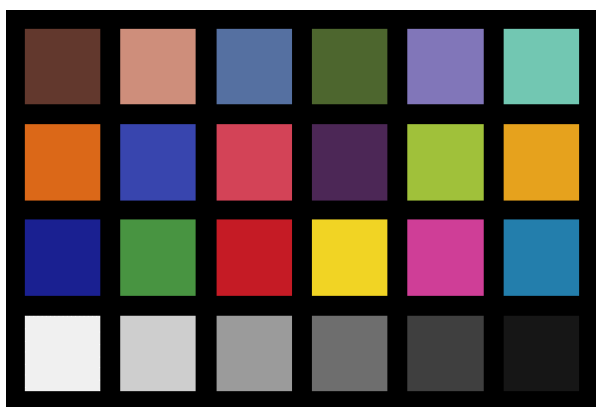
مولکول و یا اتم برای مواد معدنی انجام می‌شود. در این حالت طول موج‌هایی که برانگیختگی در آنها صورت می‌گیرد مشخص شده و اندازه‌گیری فقط در آن طول موج‌ها انجام می‌شود و به این ترتیب زمان کمتری صرف می‌گردد [۱۳، ۱۲]. به دلیل امکان تغییر پرتوهای فرابنفش منبع نوری مورد استفاده، معمولاً اندازه‌گیری رنگی نمونه‌های حاوی سفیدکننده نوری با خطا همراه است. درک این تغییرات ممکن است در ارزیابی‌های چشمی محسوس نباشد ولی نتایج اندازه‌گیری‌های دستگاهی را با خطا همراه می‌سازد. علاوه بر اینکه میزان برانگیختگی نمونه در زیر روشنایی‌های مختلف متفاوت است، نتایج حاصل از تکرار قرار دادن نمونه دارای سفیدکننده نوری زیر منبع نوری یکسان هم اختلاف داشته و این موضوع به دلیل تفاوت در میزان تحریک نمونه‌ها گزارش شده است [۱۴]. در آزمایشی که روی سه نوع کاغذ دارای عامل سفیدکننده نوری یکسان، زیر دو منبع روشنایی LED و لامپ فلورسنسی انجام شد، به دلیل تفاوت در میزان برانگیختگی، سفیدی درک شده از نمونه‌ها متغیر بود. همچنین در اندازه‌گیری‌های انجام شده، تحت روشنایی LED دارای پرتو فرابنفش نزدیک، میزان تهرنگ آبی درک شده، نسبت به روشنایی لامپ فلورسنسی کاهش یافت [۱۵]. برای تنظیم مقدار پرتوهای فرابنفش حاصل از منبع نوری، دو راه متداول، استفاده از فیلتر و کنترل عددی UV است. استفاده از هر روش باید با نوع زیرآیند مورد استفاده نظیر تفلون، منسوج و یا کاغذ هماهنگی داشته باشد و متناسب با استانداردهایی که برای هر کدام موجود است، باشد. در هر دو روش، نتایج خوبی برای کالیبراسیون به دست می‌آید، اگرچه به نظر می‌رسد که استفاده از روش عددی آسان‌تر باشد [۱۶].

برای اندازه‌گیری خواص نوری نمونه چاپ شده روی کاغذ سفید دارای سفیدکننده نوری، می‌توان از روش استاندارد فلورسنس مجازی^۱ استفاده کرد. در این روش که اخیراً مورد استفاده قرار می‌گیرد به جای استفاده از نمونه حقیقی، از نمونه تقریباً یکسان یا نزدیک به نمونه اصلی، به صورت مجازی استفاده می‌شود و با تابش دو روشنایی با شدت توزیع متفاوت از یکدیگر، میزان انعکاس طیفی نمونه‌ها و در نهایت خواص نوری نمونه‌ها اندازه‌گیری می‌گردد. در اندازه‌گیری به صورت مجازی، از دو روش ارتودکس و ابریج استفاده می‌شود. در روش ابریج، خصوصیات کاغذ سفید دارای سفیدکننده نوری تجزیه و تحلیل شده و اطلاعات، ذخیره می‌شود و بعد از اینکه کالیبراسیون دستگاه متناسب با حساسیت طیفی نمونه تنظیم شد، با به‌کارگیری دو روشنایی با شدت توزیع طیفی متفاوت انتقال طیفی مؤثر جوهر اندازه‌گیری می‌شود. در روش ارتودکس که کاربرد بیشتری هم دارد ضریب انعکاسی زمینه به عنوان اطلاعات اولیه نیاز است و جوهر چاپ شده روی کاغذ به عنوان محور کار در نظر گرفته می‌شود. سپس با

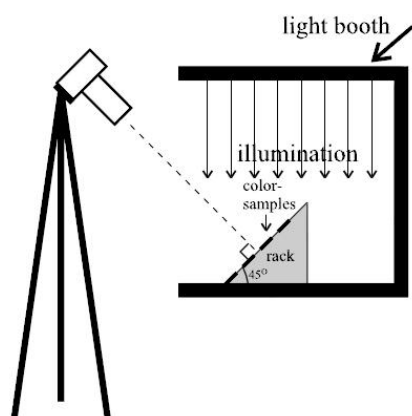
1- Virtual fluorescent standard (VFS) method

بار دیگر تحت اختلاطی از منبع روشنایی A و پرتو UV در محدوده ۷۸۰-۳۸۰ نانومتر با هندسه اندازه‌گیری ۴۵/۰ استفاده از منبع نوری A به دلیل نداشتن پرتو فرابنفش فاقد خاصیت تحریک‌کنندگی جزء فلورسنتی بوده و منبع مناسبی برای تحقیق است. شکل ۳ نحوه قرارگیری دستگاه اسپکترو رادیومتر نسبت به نمونه را نشان می‌دهد.

سپس بر اساس سامانه رنگی CIELCH و با استفاده از نرم افزار، زاویه فام، خلوص و میزان روشنایی هر نمونه تحت روشنایی D65 و مشاهده‌کننده استاندارد ۱۹۶۴ (۱۰ درجه) محاسبه شد. مقادیر اختلاف رنگ بین نمونه‌ها با کمک ۳ معادله اختلاف رنگ ΔE^*_{00} ، ΔE^*_{ab} و ΔE^*_{CMC} محاسبه و نهایتاً نتایج با یکدیگر مقایسه شدند. توضیحات بیشتر در خصوص رابطه‌های اختلاف رنگ استفاده شده در مرجع [۴] گزارش شده است. دیگر عوامل تاثیرگذار در اندازه‌گیری مقدار فلورسنتی کاغذ از قبیل نوع بافت و وزن کاغذ، براقیت، ظاهر رنگی، عوامل مربوط به جوهر چاپ و غیره ثابت نگه‌داشته شد. شکل ۴ منحنی توزیع انرژی طیفی بهنجار شده دو منبع نوری استفاده شده (A و UV) را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نمونه‌های استاندارد ۲۴ رنگی مکبث.



شکل ۳: هندسه اندازه‌گیری نمونه‌ها.

تغییرات نمونه‌ها، از نظر رنگ، روشنایی و خلوص بررسی شده و به هر کدام، عددی اختصاص می‌یابد [۲۲]. رابطه‌های غیرخطی، میزان واقعی سفیدی را اندازه‌گیری می‌کنند در حالی که رابطه خطی CIE، سفیدی بالاتری را از میزان حقیقی، گزارش می‌کند. در بررسی خواص انعکاسی کاغذ سفید با رابطه CIE و مقایسه آن با نتایج ارزیابی مشاهده‌کنندگان، رفتار نوری کاغذ، مدل‌سازی شده است [۲۳].

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، تغییرات هر جزء یک سامانه رنگی می‌تواند بر نتیجه و رنگ نهایی تأثیرگذار باشد. چن و همکارانش تاثیر حضور فلورسنت در یکسری کاغذ چاپ شده را بررسی نمودند. آنها از دو گروه کاغذ حاوی و فاقد مواد فلورسنتی استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد با تغییر محتوی UV شرایط اندازه‌گیری اختلاف رنگ بزرگی در حدود ۳ واحد از فرمول اختلاف رنگ CIELAB حاصل می‌گردد [۱۳]. همچنین در یکی از آزمایش‌های انجام گرفته روی نمونه‌های رنگی چاپ شده بر کاغذ سفید دارای سفید کننده نوری نتایج نشان داد نمونه‌هایی که از خلوص کمتر و روشنایی بالاتری برخوردارند دارای اختلاف رنگ‌های بزرگ‌تری هستند زیرا دارای محتوی رنگی^۱ کمتری هستند که خود منجر به کاهش مقدار پوشانندگی رنگ روی کاغذ حاوی سفید کننده است. به علاوه رنگ‌های روشنتر نیز به دلیل میزان پوشانندگی کمتر، سفیدتر نشان داده می‌شوند [۱۴]. به هر حال به نظر می‌رسد حضور فلورسنتس، رفتار رنگی جوهر منتقل شده و چاپ شده بر سطح کاغذ را تحت تاثیر قرار می‌دهد و این مسئله در مدیریت رنگ در فرآیند چاپ انجام شده بسیار مهم می‌باشد.

در تحقیق حاضر به واسطه عدم تهیه نمونه‌های کاغذ با ویژگی فلورسنتی متفاوت، تلاش گردید با تغییر شرایط نورپردازی از اختلاط منابع نوری حاوی و فاقد پرتوی‌های UV اثر فلورسنتی کاغذ روی ظاهر رنگی نمونه‌هایی با فام مختلف تعیین و هرگونه تغییر رنگ احتمالی به کمک رابطه‌های مختلف اختلاف رنگ بررسی شود.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

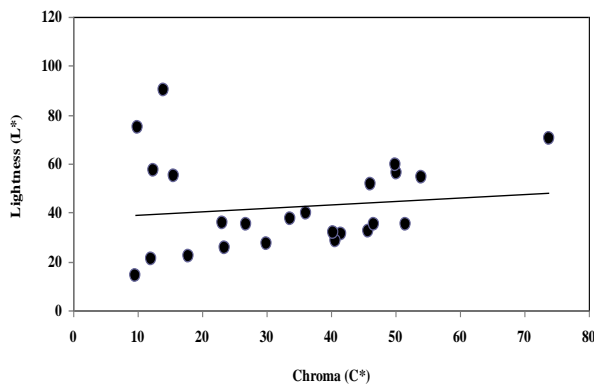
در این تحقیق، از نمونه‌های استاندارد ۲۴ رنگی مکبث (شکل ۲) با اسکنر مدل ۷۷۰۰-EPSON PERFECTION با بزرگ‌نمایی 300dpi تصویری تهیه و سپس توسط چاپگر مدل EPSON Inkjet Stylus P50 روی کاغذ عکاسی چاپ شد. مقادیر انعکاس طیفی همه ۲۴ نمونه چاپ شده بروی کاغذ عکاسی به وسیله اسپکترو رادیومتر کالیبره شده مدل Konica Minolta CS-2000 اندازه‌گیری شد و نتایج آن از طریق نرم‌افزار CS-slow گزارش گردید.

۲-۲- روش کار

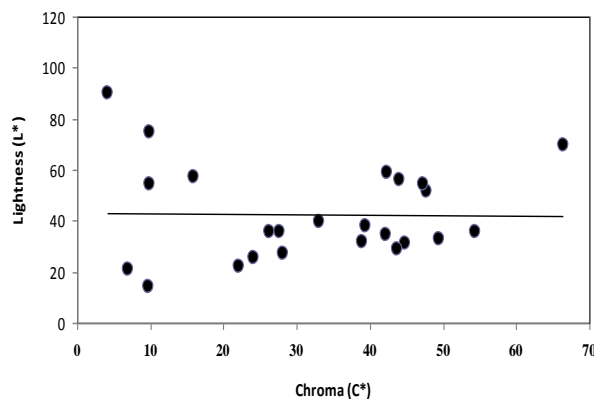
مقادیر انعکاس طیفی هر نمونه از کارت رنگی یک‌بار تحت منبع نوری A و

از طرفی برای چنین ترکیباتی، بیشترین مقدار انعکاس ثابت نبوده و برخلاف نمونه‌های فاقد فلورسنت با تهیجات مختلف تغییر می‌کند. لذا کسب مقادیر بازتابش بالای ۱۰۰ درصد برای نمونه‌هایی همچون کاغذ استفاده شده در این تحقیق امری بدیهی می‌باشد. مختصات نمونه‌های در هر دو حالت تحت روشنایی D65 و مشاهده‌کننده ۱۹۶۴ (۱۰ درجه) در جدول ۱ گزارش شده است. شماره‌گذاری انجام شده در جدول ۱ مطابق چیدمان آنها در نمونه رنگی مکبث از شماره ۱ نمونه بالا سمت چپ تا ۲۴ نمونه پایین سمت راست می‌باشد.

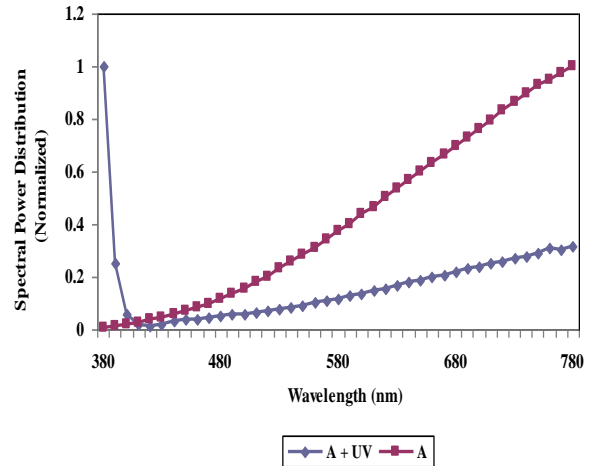
شکل‌های ۶ و ۷ چینش نمونه‌ها در فضای CIELCH در دو شرایط به ترتیب بدون حضور UV و در حضور UV را نشان می‌دهند. نتایج شکل‌های فوق نشان می‌دهند به واسطه حضور پرتوهای UV در اندازه‌گیری‌ها که عامل تحریک‌کننده برای واکنش جزء فلورسنسی کاغذ می‌باشد، مقادیر روشنایی و خلوص نمونه‌ها تغییرات محسوسی داشته‌اند. برای توضیح واضح‌تر، تاثیر حضور پرتوهای UV بر میزان تغییرات هر سه کمیت روشنایی، خلوص و فام برای هر ۲۴ نمونه در شکل‌های ۸ تا ۱۰ به ترتیب رسم شده است.



شکل ۶: مقادیر L^* بر حسب C^* نمونه‌ها (شرایط بدون UV).



شکل ۷: مقادیر L^* بر حسب C^* نمونه‌ها (شرایط حاوی UV).

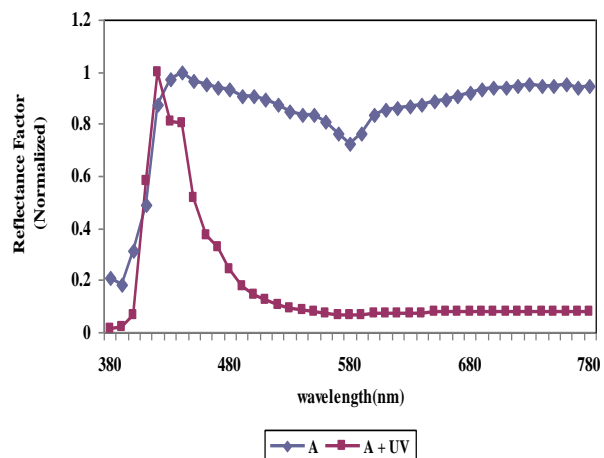


شکل ۴: توزیع انرژی طیفی بهنجار شده منابع نوری A و اختلاطی از A و UV استفاده شده.

۳- نتایج و بحث

شکل ۵، منحنی انعکاس طیفی بهنجار شده کاغذ عکاسی سفید به عنوان نمونه سفید مرجع (قبل از چاپ) در دو حالت حضور و عدم حضور پرتوهای UV را نشان می‌دهد. علت بهنجار کردن منحنی‌ها به حداکثر مقدارشان نمایش و مقایسه بهتر تغییرات در یک مقیاس یکسان بوده است.

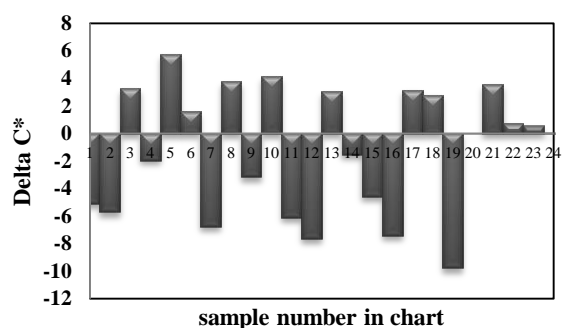
از شکل ۵ مشخص است که رفتار منحنی انعکاسی بهنجار شده نمونه سفید (نمونه کاغذ چاپ نشده) در حالتی که تحریکات فلورسنسی وجود دارد کاملاً با نمونه‌ای که تحت شرایط روشنایی A سنجش شده است کاملاً متفاوت است. مطمئناً مقدار بازتابش به شدت تابش پرتوهای UV منبع نوری بسیار وابسته است.



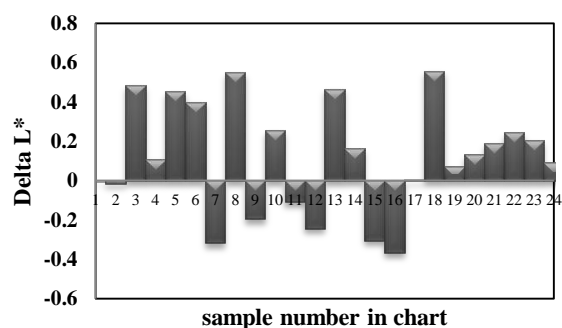
شکل ۵: منحنی انعکاس طیفی بهنجار شده کاغذ عکاسی استفاده شده قبل از چاپ در دو حالت تابش حاوی UV و بدون UV.

جدول ۱: مختصات رنگی نمونه‌های چارت رنگی چاپ شده تحت روشنایی D65 و مشاهده‌کننده استاندارد ۱۹۶۴ (۱۰ درجه) در دو حالت مختلف حاوی و فاقد پرتوهای UV.

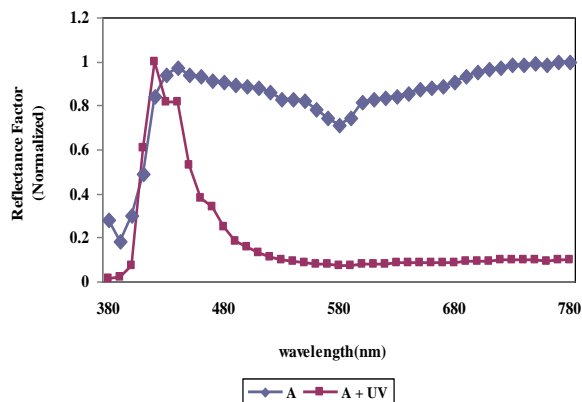
نمونه	(شرایط بدون UV)			(شرایط حاوی UV)		
	h	C*	L*	h ⁰	C*	L*
۱	۹۴,۱۷۴۱	۱۲,۱۱۷۵۸	۲۰,۸۹۸۵	۱۰۱,۹۹۴۹	۶,۹۸۷۶۹۱	۲۰,۸۹۸۵
۲	۴۴,۸۱۰۴۷	۱۵,۶۱۱۵	۵۴,۶۱۱۸	۶,۴۱۶۳۰۵	۹,۸۹۵۳۷۱	۵۴,۶۱۱۸
۳	۲۰۲,۱۲۳۱	۴۱,۶۰۳۳۸	۳۱,۳۶۷۳	۲۱۰,۶۷۱۱	۴۴,۸۸۵۹۸	۳۱,۳۶۷۳
۴	۱۴۷,۱۳۰۵	۲۹,۹۹۹۱۷	۲۷,۲۲۷۹	۱۵۶,۴۴۴۷	۲۸,۰۶۲۴۴	۲۷,۲۲۷۹
۵	۲۱۳,۵۸۹۲	۳۳,۷۳۶۲۷	۳۷,۷۷۹۴	۲۲۴,۰۰۲۶	۳۹,۴۶۲۸۹	۳۷,۷۷۹۴
۶	۱۸۰,۶۳۶۷	۴۶,۰۹۴۷۲	۵۱,۷۶۰۶	۱۹۱,۴۲۱۶	۴۷,۷۰۲۲۹	۵۱,۷۶۰۶
۷	۴۸,۷۵۰۴۱	۵۴,۱۰۷۷۹	۵۴,۲۳۸۹	۴۳,۳۱۲۴۴	۴۷,۳۲۵۴۲	۵۴,۲۳۸۹
۸	۲۰۶,۳۳۰۷	۴۵,۷۲۱۹۵	۳۲,۶۹۰۱	۲۱۴,۳۳۴	۴۹,۵۰۲۹۴	۳۲,۶۹۰۱
۹	۲۲,۰۶۳۶۱	۳۶,۲۰۹۱۸	۳۹,۴۳۹۸	۹,۲۵۳۵۹۸	۳۳,۰۳۰۰۷	۳۹,۴۳۹۸
۱۰	۲۱۰,۱۵۲۶	۱۷,۹۳۷۵۱	۲۲,۰۵۴۳	۲۲۴,۳۹۶۱	۲۲,۰۷۴۴۶	۲۲,۰۵۴۳
۱۱	۱۰۳,۱۷۹۶	۵۰,۲۲۸۸۵	۵۶,۱۵۸۵	۱۰۶,۴۸۱	۴۴,۱۱۰۰۹	۵۶,۱۵۸۵
۱۲	۷۱,۶۳۰۰۴	۴۹,۹۳۰۳۲	۵۹,۰۷۲۷	۶۹,۹۴۶۷۵	۴۲,۲۷۲۶۱	۵۹,۰۷۲۷
۱۳	۲۰۲,۰۵۳۹	۴۰,۷۰۳۵۵	۲۸,۸۵۱۳	۲۲۰,۶۳۹۵	۴۳,۷۵۶۸۷	۲۸,۸۵۱۳
۱۴	۱۵۲,۷۴۲۷	۴۰,۴۱۰۶۱	۳۱,۶۱۰۳	۱۵۹,۷۹۷۶	۳۸,۸۷۹۱۷	۳۱,۶۱۰۳
۱۵	۳۸,۰۸۵۴۵	۴۶,۷۳۵۶۲	۳۴,۸۰۶۵	۳۱,۳۱۷۴۳	۴۲,۱۵۱۶۶	۳۴,۸۰۶۵
۱۶	۷۳,۸۳۶۹۷	۷۳,۹۰۶۹۷	۶۹,۶۶۷۲	۷۳,۱۱۳۴۸	۶۶,۴۷۲۸۳	۶۹,۶۶۷۲
۱۷	۳۴۴,۶۵۷۸	۲۳,۰۷۷۹۸	۳۵,۶۵۶۸	۳۲۴,۷۳۴۴	۲۶,۲۵۳۷۸	۳۵,۶۵۶۸
۱۸	۱۹۸,۱۱۳۱	۵۱,۵۳۶۹۳	۳۵,۶۶۷	۲۰۵,۵۹۵۸	۵۴,۳۴۴۷۹	۳۵,۶۶۷
۱۹	۱۰۰,۶۰۱۲	۱۴,۰۲۷۱۲	۹۰,۱۱۳	۱۸۹,۳۱۸۲	۴,۲۳۸۳۳۹	۹۰,۱۱۳
۲۰	۱۳۳,۹۶۴۹	۹,۹۴۵۱۷۲	۷۴,۶۰۳۵	۲۱۳,۶۷۴۱	۹,۹۳۴۵۸۳	۷۴,۶۰۳۵
۲۱	۱۷۱,۷۵۲۶	۱۲,۴۴۷۶۵	۵۷,۲۳۵۲	۲۱۳,۰۲۶۱	۱۵,۹۸۸۳۷	۵۷,۲۳۵۲
۲۲	۱۷۳,۰۷۲۹	۲۶,۸۹۴۴	۳۵,۴۷۰۵	۱۸۷,۷۵۵۱	۲۷,۶۵۰۷۸	۳۵,۴۷۰۵
۲۳	۱۷۳,۹۷۲۸	۲۳,۵۵۲۸۳	۲۵,۷۴۰۳	۱۸۸,۳۴۴۱	۲۴,۱۱۳۵	۲۵,۷۴۰۳
۲۴	۱۶۲,۸۸۴۱	۹,۶۴۵۰۱۱	۱۴,۲۸۰۱	۱۹۳,۲۹۴۷	۹,۷۰۹۱۲	۱۴,۲۸۰۱



شکل ۹: تاثیر حضور پرتوهای UV بر میزان تغییرات خلوص.



شکل ۸: تاثیر حضور پرتوهای UV بر میزان تغییرات روشنایی.



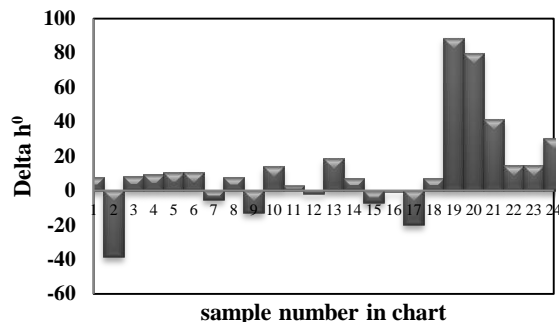
شکل ۱۱: طیف انعکاسی بهنجار شده برای نمونه ۱۹ از شرایط بدون UV تا شرایط حاوی UV.

که این اثر را واضح‌تر نشان داده است. انطباق طیف انعکاسی نمونه‌ها، درستی اندازه‌گیری‌ها را برای ۲۴ نمونه رنگی نشان می‌دهد. به طور مثال، در شکل ۱۱ طیف انعکاسی بهنجار شده برای نمونه سفید (نمونه شماره ۱۹) نشان داده شده است.

در بررسی تغییرات خلوص نمونه‌ها، بیشترین تغییرات در ناحیه آکروماتیک و مربوط به نمونه سفید می‌باشد. بیشترین تغییرات روشنایی برای نمونه‌های محدوده طول موج رنگ آبی ایجاد شده است. چون هرچه قدر از میزان روشنایی کاسته شود، محتوای رنگی افزایش می‌یابد، بنابراین انتظار می‌رود که بیشترین تغییرات مربوط به خلوص، در محدوده طول موج‌های سبز-قرمز اتفاق افتاده باشد. درستی این امر در شکل ۹ و برای نمونه‌های ۲، ۷، ۱۱، ۱۲ و ۱۶ دیده می‌شود. در نمونه‌های ۹، ۱۴، ۱۵ و ۱۷ که در محدوده سبز-قرمز قرار دارند، به دلیل تغییرات ناچیز در میزان روشنایی، اختلاف زیادی هم در خلوص دیده نمی‌شود. نمونه‌های ۲ و ۱۷ بیشترین تغییرات زاویه فام را در نمونه‌های کروماتیک دارند. در این نمونه‌ها چون فام به دلیل حضور فلورسنت، تقویت شده میزان خلوص رنگ‌ها هم بالاتر می‌رود. در جدول ۳ اطلاعات آماری مربوط به میزان تغییرات زاویه فام، روشنایی و خلوص نمونه‌ها از شرایط بدون پرتو UV تا شرایط حاوی UV به تفکیک نمونه‌های کروماتیک و آکروماتیک گزارش شده است.

جدول ۳: تحلیل نتایج مربوط به شکل‌های ۸-۱۰ به تفکیک کروماتیک و آکروماتیک.

تغییرات نمونه‌های آکروماتیک			تغییرات نمونه‌های کروماتیک			
Δh^0	ΔC^*	ΔL^*	Δh	ΔC^*	ΔL^*	
۱۴,۳۷	-۹,۷۹	۰,۰۷۲	-۳۸,۳۹	-۷,۶۶	-۰,۳۷	کمینه
۸۸,۷۲	۳,۵۴	۰,۲۴	۱۸,۵۸	۵,۷۳	۰,۵۶	بیشینه
۴۴,۸۶	-۰,۸۱	۰,۱۶	۱,۱۰	-۱,۲۵	۰,۱۱	میانگین



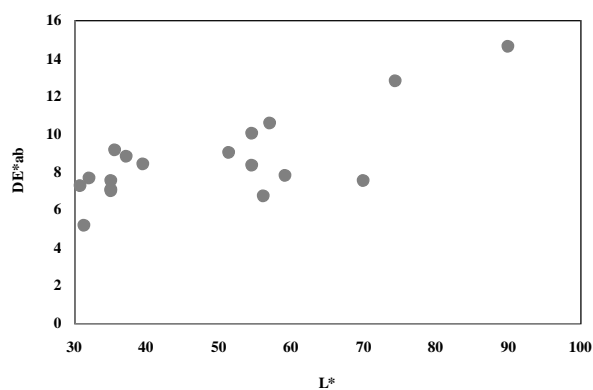
شکل ۱۰: تأثیر حضور پرتوهای UV بر میزان تغییرات زاویه فام.

نتایج حاصل از شکل‌های ۸ تا ۱۰ همان‌گونه که در بالا اشاره شد، نشان می‌دهند که با تغییر شرایط روشنایی از منبع نوری A (شرایط فاقد UV) تا منبع نوری A+UV (شرایط حاوی UV) مقادیر هر یک از مختصات رنگی نمونه‌ها تغییر قابل توجهی می‌نمایند. به نظر می‌رسد بیشترین تغییرات در زاویه فام و همچنین کمترین میزان تغییرات در روشنایی و به‌ویژه خلوص، مربوط به نمونه‌های آکروماتیک (نمونه‌های شماره ۱۹-۲۴) می‌باشد. در این میان نمونه ۱۹ با بیشترین تغییرات خلوص، مستثنی است. همچنین نمونه‌های کروماتیک (نمونه‌های شماره ۱-۱۸) با تغییرات فام کم ولی دارای اختلاف خلوص و روشنایی محسوسی هستند. به نظر می‌رسد ماهیت شید آبی جزء فلورسنسی تحت شرایط پرتو UV در تغییر هر یک از مولفه‌ها بخصوص روشنایی و خلوص تأثیر به‌سزایی دارد. در جدول ۲، نتایج به دست آمده در شکل‌های ۸-۱۰ تحلیل شده و مقادیر مربوط به میانگین، کمینه و بیشینه اختلافات عوامل در شرایط مورد بحث محاسبه شده است.

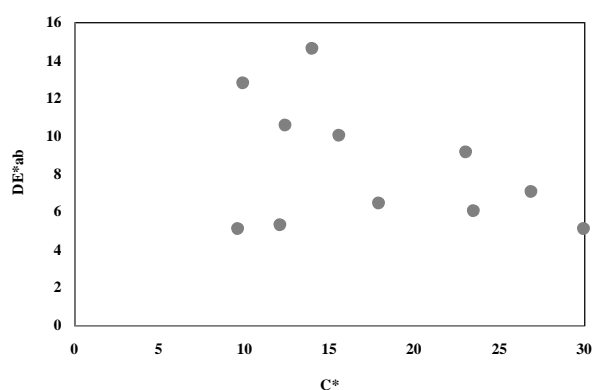
جدول ۲: تحلیل آماری نتایج مربوط به شکل‌های ۸-۱۰.

میانگین اختلافات	کمینه اختلافات	بیشینه اختلافات
۰,۱۱۸	-۰,۳۶۷	۰,۵۵۷
-۱,۱۴۱	-۹,۷۸۹	۵,۷۲۶
۱۲,۰۴۱	-۳۸,۳۹۴	۸۸,۷۱۷

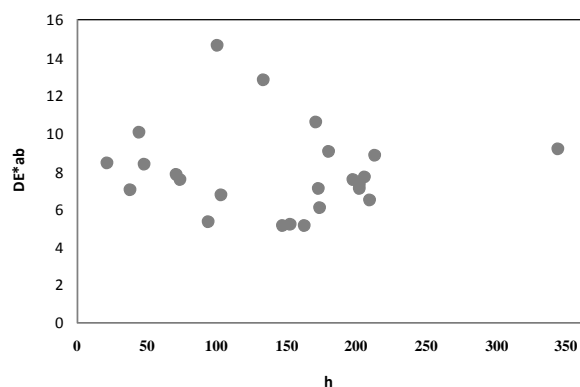
نتایج جدول ۲ نشان می‌دهند که به واسطه حضور جزء فلورسنسی در کاغذ، به طور متوسط مقدار روشنایی، خلوص و فام بترتیب ۰,۱۱۸، ۱۲,۰۴ و -۱,۱۴۱ واحد تغییر می‌یابند. در بررسی اثر پدیده فلورسنسی، پرتوهای کلی در نظر گرفته می‌شود که مجموع انعکاس واقعی نمونه و انعکاس فلورسنسی است. حضور فلورسنت، خاصیت رنگی نمونه را تحت تأثیر قرار داده و موجب انتقال پیک جذب به طول موج بالاتر می‌شود. نمونه ۱۹ مربوط به رنگ سفید بوده



شکل ۱۲: میزان تغییرات اختلاف رنگ نمونه‌ها (ΔE^*_{ab}) با مقادیر روشنایی در دو حالت پرتو UV حذف شده و حفظ شده.



شکل ۱۳: میزان تغییرات اختلاف رنگ نمونه‌ها (ΔE^*_{ab}) با مقادیر خلوص در دو حالت پرتو UV حذف شده و حفظ شده.



شکل ۱۴: میزان تغییرات اختلاف رنگ نمونه‌ها (ΔE^*_{ab}) با مقادیر فام در دو حالت پرتو UV حذف شده و حفظ شده.

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت حضور ویژگی فلورسنسی در کاغذ در موارد زیادی منجر به تغییر مختصات رنگی نمونه چاپ شده، می‌گردد. با استفاده از روش‌های ارائه شده در مدل‌سازی رنگ‌های چاپ شده روی کاغذ دارای سفیدکننده نوری که مبتنی بر اندازه‌گیری نور در محدوده طول موج تحریک و انتشار هستند می‌توان از این

علامت گزارش شده صرفاً فقط جهت تغییرات را نشان می‌دهد. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که به طور متوسط بیشترین تغییرات زاویه فام برای نمونه‌های آکروماتیک حاصل شده است. با توجه به اینکه تغییرات نمونه‌های آکروماتیک و کروماتیک تا اندازه‌ای با هم متفاوت می‌باشند، لذا مقادیر تغییر رنگ هر مجموعه با کمک ۳ رابطه اختلاف رنگ ΔE^*_{ab} ، ΔE^*_{00} و ΔE^*_{CMC} نیز تعیین شد. نتایج در جدول ۴ در دو حالت UV حذف شده و UV حفظ شده گزارش شده است.

جدول ۴: محاسبه مقدار تغییر رنگ حاصل شده در دو حالت UV حذف و حفظ شده.

ΔE	نمونه‌های آکروماتیک			نمونه‌های کروماتیک		
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین
ΔE^*_{ab}	۵,۰۸	۱۴,۵۶	۹,۳۲	۵,۰۹	۹,۹۷	۷,۴۳
ΔE^*_{00}	۴,۲۰	۱۱,۵۰	۷,۲۶	۱,۸۹	۷,۵۳	۴,۰۷۰
ΔE^*_{CMC}	۴,۴۶	۱۳,۷۵	۸,۷۹	۲,۵۳	۱۳,۲۸	۴,۶۵

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که نوع فرمول اختلاف رنگ انتخاب شده در بررسی تاثیر کاغذ حاوی ترکیبات فلورسنسی بر تغییر رنگ نمونه‌ها برای هر دو مجموعه آکروماتیک و کروماتیک تاثیر به‌سزایی دارد. در این میان کمترین مقدار اختلاف رنگ برای هر دو مجموعه از رابطه ΔE^*_{00} حاصل شده است. با دقت در مقادیر به دست آمده در جدول ۴ می‌توان در مجموع نتیجه گرفت که در نتیجه حضور جزء فلورسنسی و تغییر در شرایط روشنایی دید، مقادیر اختلاف رنگ بزرگی حاصل می‌شود.

مقادیر اختلاف رنگ ΔE^*_{ab} در برابر مقادیر روشنایی، خلوص و زاویه فام در شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ ترسیم شده است. فرمول‌های اختلاف رنگ ΔE^*_{CMC} و ΔE^*_{00} جزو فرمول‌های اختلاف رنگ سفارش شده عموماً برای ارزیابی اختلاف‌های کوچک تا متوسط می‌باشند. با توجه به مقادیر به دست آمده برای اختلاف رنگ ΔE^*_{ab} (مقادیر بزرگ‌تر از ۵) برای بررسی شکل‌های فوق از این رابطه اختلاف رنگ استفاده شد [۴].

یکی از نتایج تقریبی به دست آمده شکل‌های ۱۴-۱۲ این است که نمونه‌های با روشنایی کمتر (تیره‌تر) و یا نمونه‌هایی با کرومای بیشتر وقتی در دو حالت بدون پرتو UV و با پرتو UV تحریک و مقایسه می‌شوند به مقادیر اختلاف رنگ کمتری منجر می‌شوند. به نظر می‌رسد نمونه‌هایی با روشنایی بیشتر و کرومای کمتر از خاصیت پوشاندگی کمتری بر روی کاغذ برخوردار باشند. لذا تاثیر حضور جزء فلورسنسی در کاغذ در شرایط نورپردازی مختلف با اختلاف رنگ‌هایی بزرگ‌تری نشان داده می‌شود. در خصوص تغییرات مقدار اختلاف رنگ با زاویه فام هم روند قابل پیش‌بینی مشاهده نمی‌شود.

تحقیق، بررسی تغییر رنگ نمونه‌های چاپ شده بر روی کاغذ دارای سفیدکننده نوری تحت تأثیر فلورسنت است. نتایج نشان می‌دهند که ویژگی فلورسنسی کاغذ، در صورتی که نمونه‌های چاپ شده بر آن، تحت شرایط روشنایی حاوی پرتوهای UV اندازه‌گیری شوند، اختلاف قابل توجهی را باعث می‌شود. همچنین تغییرات حاصل شده برای نمونه‌های آکروماتیک که از روشنایی بالا و کرومای پایینی بهره می‌برند بزرگ‌تر و محسوس‌تر است. به علاوه در بیشتر موارد، تغییرات مشاهده شده در جهت افزایش مختصات رنگی نمونه‌ها می‌باشد. از آنجایی که تحلیل نتایج به شدت تابع رابطه اختلاف رنگ است و با توجه به مقادیر بزرگ به دست آمده در اختلاف رنگی نمونه‌ها، رابطه اختلاف رنگ ΔE^*_{ab} جهت بررسی تغییرات پیشنهاد شد.

تحقیق در دوباره تولید رنگ روی زمینه‌های دارای عامل سفیدکننده نوری استفاده کرد. اهمیت توجه به موضوع فوق می‌تواند در بحث مدیریت رنگ سامانه‌های دوباره تولید رنگ مورد توجه واقع گردد. به طوری که عدم توجه به رفتار طیفی کاغذ مصرفی می‌تواند کارایی و بازده سیستم مدیریت رنگ اجرا شده برای یک مجموعه مشخص را تحت تأثیر قرار دهد.

۴- نتیجه‌گیری

ویژگی‌های کاغذ مورد استفاده در صنعت از عوامل مهم دستیابی به کیفیت مطلوب به شمار می‌رود. به دلایل مختلفی از جمله دستیابی به یک سفیدی مطلوب، در کاغذ مورد مصرف، از مواد فلورسنسی یا سفیدکننده‌های نوری استفاده می‌شود. موضوع مورد بررسی در این

۵- مراجع

1. M. A. Hubbe, J. J. Pawlak, A. A. Koukoulas, Paper's appearance: A review. *BioResources*. 3(2008), 627-665.
2. Y. J. Wu, A. Pekarovicova, P. D. Fleming, How paper properties influence color reproduction of digital proofs for publication gravure, http://www.wmich.edu/pci/faculty/Publication/fleming/2007%20TAGA%20Paper_submit.pdf (downloaded 2014).
3. Summary of CIE publication 163: the effects of fluorescence in the characterization of imaging media, [http://www.color.org/icc_white_paper_14_summary_of_cie163_fluorescence,2005,\(downloaded 2014\)](http://www.color.org/icc_white_paper_14_summary_of_cie163_fluorescence,2005,(downloaded 2014)).
4. S. H. Amirshahi, F. Agahian, Computational colour physics, arkan-e danesh-e sfahan, Iran, 2007, 252-324.
5. A. W. Springsteen, Fluorescence & Color (An overview of the fundamentals of measuring fluorescent color), labsphere (Leadership in Reflectance Technology, <http://www.labsphere.com>, (downloaded 2014).
6. S. Chen, Effects of paper properties on xerographic print quality, Degree of Master of Applied Science, University of Toronto, 2009.
7. Industrial reports, Reviewing the concept of paper brightness, Axiphos GmbH, (2001), 1-9.
8. M. Andersson, Digital camera calibration for color measurements on prints, Electronic Imaging, International Society for Optics and Photonics, 2007.
9. T. Roick, New generation of FWAs for the paper industry, Bayer Chemicals, (2004).
10. M. Andersson, O. Norberg, Color measurements on prints containing fluorescent whitening agents, Electronic Imaging, International Society for Optics and Photonics, 2007.
11. B. Aksoy, P. D. Fleming, M. K. Joyce, Comparative study of brightness/whiteness using various analytical methods on coated papers containing colorants, TAPPI Spring Technical Conf. & Trade, 2003.
12. G. Feng, Y. Wang, T. Guo, A simple algorithm for absolute fluorescence colorimetry measurement, Color Science for Industry(AIC), 2007, Zhejiang university, Hangzhou, china, 356-358.
13. Y. Chen, M. R. Luo, P. A. Rhodes, Investigation of colorimetry for samples on fluorescent paper, Color Science for Industry(AIC), 2007, Zhejiang university, Hangzhou, china, 195-198.
14. J. K. Gay, C. C. Melo, R. Hirschler, Instrumental whiteness evaluation: Practical results of inter-instrument agreement tests, Interim Meeting of the International Color Association, Proceedings(AIC Color and Paints), 2004. Porto Alegre, Brazil, 134-137.
15. I. Katayama, Whiteness of paper containing fluorescent whitening agent under white LED and fluorescent lamp illumination, Midterm Meeting, Interaction Of Colour & Light In The Arts And Sciences(Aic), 2011, Zurich, 463-466.
16. S. Tominaga, H. Haraguchi, A Spectral Imaging method for classifying fluorescent scene illuminant, 10th Congress of the International Colour Association (AIC Colour), 05(2005), 193-196.
17. K. Imura, New method for measuring an optical property of a printed sample on FWA-treated paper, Wiley Periodicals. 32(2007), 449-462.
18. L. Simonot, M. Thoury, J. Delaney, Extension of the Kubelka-Munk theory for fluorescent. *JOSA A*. 28(2011), 1349-1357.
19. B. Aksoy, P. D. Fleming, M. K. Joyce, Whiteness evaluations on tinted and fwa added papers, Western Michigan University. *Appl. Opt.* 2004.
20. R. D. Hersch, Spectral prediction model for color prints on paper with fluorescent additives. *Appl. Opt.* 47((2008), 6710-6722.
21. G. Shi, N. Dong, Y. Zhang, J. Chen, Spectral reflection and transmission prediction model of halftone image on fluorescent supports, IS&T/SPIE 7866, 2011.
22. M. R. Pointer, Measuring colour rendering—A new approach—i, National Physical Laboratory (NPL), Report DQL-OR 007, 2004.
23. L. G. Coppel, Whiteness and fluorescence in paper, perception and optical modelling, Degree of Master of Applied Science, Mid Sweden University, Mittuniversitetet, 2010.