



## اندازه‌گیری ضریب پشت‌پوشی کاغذ با استفاده از پویشر

علی شمس ناتری<sup>۱،۲\*</sup>، عباس حاجی‌پور<sup>۲</sup>

- ۱- دانشیار، گروه مهندسی نساجی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۶۳۵  
 ۲- قطب علمی رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴  
 ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نساجی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۶۳۵  
 تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۳۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۲/۳/۲۰

### چکیده

پشت‌پوشی، یکی از خصوصیات مهم محصولات تجاری مختلف از جمله کاغذ می‌باشد. روش معمول اندازه‌گیری به کمک اسپکتروفوتومتر گران می‌باشد. این کار تحقیقاتی روش جدیدی برای اندازه‌گیری پشت‌پوشی به کمک پویشر به‌عنوان یک ابزار کم‌هزینه‌تر بیان می‌کند. پشت‌پوشی براساس مقادیر RGB تصاویر کاغذ حاصله از پویشر محاسبه می‌گردد. نتایج حاصله بیانگر این است که قابلیت اندازه‌گیری پشت‌پوشی توسط پویشر با اسپکتروفوتومتر قابل مقایسه می‌باشد. بهترین نتیجه بر اساس تبدیل RGB به فضای رنگی CIELab حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی: پشت‌پوشی، پویشر، کاغذ، اندازه‌گیری، اسپکتروفوتومتر.

## The Measuring Opacity of Paper by Scanner

A. Shams-Nateri<sup>1,2\*</sup>, A. Hajipour<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan, P.O.Box: 41635, Rasht, Iran

<sup>2</sup> Center of Excellence for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

Received: 29-12-2011

Accepted: 20-06-2012

Available online: 10-06-2013

### Abstract

The opacity is one of the important properties of various commercial products such as paper. The common opacity measurement method by using spectrophotometer is expensive. This work explains the novel method for measuring opacity by using scanner as a lower cost instrument. The opacity is evaluated by using RGB value of paper image which was obtained by scanner. The obtained results indicate that opacity measurement performance of scanner is comparable with spectrophotometer. The best opacity estimation is obtained conversion RGB to CIELab color space. *J. Color Sci. Tech.* 7(2013), 15-24 © Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Opacity, Paper, Measurement, Scanner, Spectrophotometer.

## ۱- مقدمه

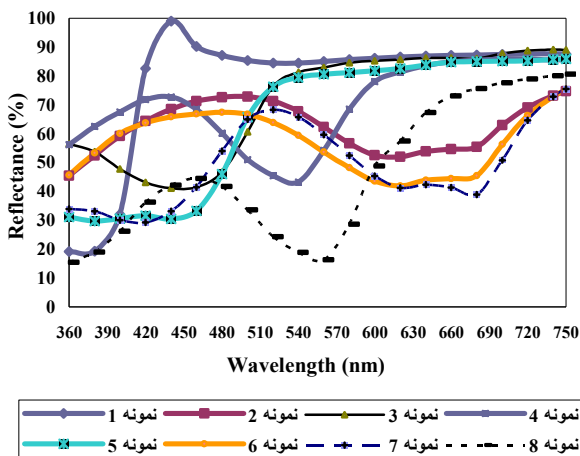
وابسته از جمله XYZ و  $CIE L^*a^*b^*$  انتقال داده شود. از طرف دیگر بعضی از این فضاهای رنگی حساسیت اندکی در مقابل تغییرات محرک از خود نشان می‌دهند. از این رو لازم است تا برای کاربردهای مختلف فضای رنگی مناسب شناسایی گردد [۲۰-۱۳].

از جمله ابزارهای موجود برای اندازه‌گیری مشخصات رنگی، طیف انعکاسی و میزان پشت‌پوشی مواد دستگاه اسپکتروفوتومتر انعکاسی می‌باشد. دستگاه فوق‌گران‌قیمت بوده و هزینه اندازه‌گیری با آن زیاد می‌باشد. از این رو در این کار تحقیقاتی، امکان اندازه‌گیری میزان پشت‌پوشی نمونه‌های کاغذی با استفاده از پوششگر به عنوان دستگاه ارزان‌قیمت مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا و به منظور به دست آوردن نتایج بهتر، کاغذ با رنگ‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. نسبت پشت‌پوشی در فضاهای رنگی مختلف و همچنین میزان پشت‌پوشی نمونه‌های کاغذی با استفاده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی نیز اندازه‌گیری شد. با استفاده از روش‌های آماری مختلف، مقادیر پشت‌پوشی به دست آمده از پوششگر در فضاهای رنگی مختلف با مقادیر به دست آمده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی مقایسه گردید و بهترین فضای رنگی که نزدیکترین مقادیر پشت‌پوشی را نسبت به اسپکتروفوتومتر انعکاسی دارد، شناسایی گردید.

## ۲- بخش تجربی

## ۲-۱- مواد

مواد مصرفی شامل ۸ نمونه کاغذ ظریف با رنگ‌های مختلف می‌باشد. در ضمن جهت پوشش نمونه‌های کاغذ از مقوای ضخیم سفید و مشکی به عنوان زمینه استفاده گردید. طیف انعکاسی نمونه‌های کاغذ به کار رفته در شکل ۱ نشان داده شده است. قابل ذکر می‌باشد که نمونه شماره یک کاغذ سفید بوده که احتمالاً حاوی مواد فلورسنت می‌باشد که از اندازه‌گیری مواد فلورسنتی این نمونه چشم‌پوشی شد. مشخصات رنگی نمونه‌های فوق در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱: طیف انعکاسی نمونه‌های کاغذ در حالت پشت‌پوش در محدوده طول موج ۳۶۰ تا ۷۵۰ نانومتر.

به طور کلی مواد با توجه به خصوصیت جذب و انتشارشان به سه گروه شفاف، نیمه‌شفاف و پشت‌پوش دسته‌بندی می‌شوند. به طوری که در مواد شفاف نور ورودی جذب و یا انتقال می‌یابد. در نمونه‌های نیمه‌شفاف نور ورودی جذب، انتقال و به دلیل پدیده انتشار انعکاس پیدا می‌کند. در این نمونه‌ها نور به مقدار بسیار کمی منتقل می‌شود اما با این وجود، این نمونه‌ها قادر نمی‌باشند که یک زمینه رنگی را به طور کامل پشت‌پوش نمایند. در حالی که در مواد پشت‌پوش نور ورودی جذب و یا انعکاس و یا انتشار می‌یابد. در این نمونه‌ها مقدار انتقال و مقدار اختلاف رنگ آن بر روی دو زمینه مشکی و سفید، صفر و مقدار پشت‌پوشی یک می‌باشد. همچنین تغییرات در جذب مستقیماً انعکاس را تغییر می‌دهد. میزان پشت‌پوشی نمونه شفاف و پشت‌پوش به ترتیب صفر و یک می‌باشد. در حالی که میزان پشت‌پوشی نمونه‌های نیمه‌شفاف بین صفر و یک متغیر می‌باشد. ضریب پشت‌پوشی یک نمونه به صورت نسبت روشنایی نمونه بر زمینه سیاه به روشنایی نمونه بر زمینه سفید تعریف می‌گردد. همچنین ضریب پشت‌پوشی به صورت نسبت انعکاس نمونه بر زمینه سیاه به انعکاس نمونه بر زمینه سفید نیز تعریف می‌گردد [۸-۱].

برای مواد نیمه شفاف، ضخامت ماده و هم زمینه بر انعکاس و پشت‌پوشی ماده تاثیر می‌گذارد. پشت‌پوشی اغلب نشانه‌ای از وجود مواد منتشر کننده است که تاثیر مستقیمی بر روی ظاهر دارد. یکی از راه‌های افزایش پشت‌پوشی، افزایش ضخامت نمونه می‌باشد. نور منتقل شده با افزایش ضخامت لایه کاهش می‌یابد، البته باید توجه داشت که تغییرات بیشتر در ضخامت تغییر چشم‌گیری در انعکاس آن نمونه ایجاد نمی‌کند [۱۰-۷].

اگر بخواهیم تعریفی از کاغذ بیان کنیم، می‌توان اینگونه بیان کرد که کاغذ، ورقه‌ای از مواد است که بیشتر ترکیبی از الیاف سلولزی است. خواص نوری کاغذ، حساسیت بسیار زیادی به ساختارشان دارد. یکی از ویژگی‌های مهم کاغذهای از نوع نوشتنی و چاپی، پشت‌پوشی است. پشت‌پوشی کاغذ را می‌توان به عنوان توانایی در پنهان کردن نوشته‌ها در پشت آنها یا در صفحات بعد، بیان کرد. برای آنکه بتوان نوشته و یا مطلب چاپ شده در یک طرف را خواند، بدون آنکه از طرف دیگر تاثیر بپذیرد، پشت‌پوشی لازم است [۱۱، ۱۲].

یکی از ابزارهای دریافت کننده تصویر پوششگر می‌باشد. حسگرهای دستگاه جفت‌کننده بار<sup>۱</sup> در پوششگرهای رنگی، تنها مقدار روشنایی برخورد کرده را می‌توانند اندازه‌گیری کنند و عمل انتقال این تصویر به فضای رنگی RGB، توسط سه ردیف حسگر همانند که هر یک از آنها توسط یکی از فیلترهای رنگی قرمز، سبز و آبی پوشیده شده‌اند انجام می‌گیرد. از آنجا که فضای رنگی RGB یک فضای رنگی وابسته به دستگاه می‌باشد، لازم است تا این فضای رنگی را به فضاهای رنگی غیر

1- Charge Coupled Devices (CCD)

## ۳- نتایج و بحث

در ارزیابی میزان پشت‌پوشی نمونه‌ها، مقادیر انعکاسی در محدوده ۳۶۰ تا ۷۵۰ نانومتر (با فواصل ۱۰ نانومتر) و مختصات رنگی در زیر روشنایی استاندارد D65 و مشاهده‌کننده استاندارد ۱۰ درجه توسط اسپکتروفوتومتر انعکاسی تحت زمینه مشکی و سفید اندازه‌گیری شد. مقدار پشت‌پوشی بر اساس نسبت انعکاس و روشنایی بر روی زمینه مشکی به انعکاس و روشنایی بر روی زمینه سفید محاسبه گردید. مقادیر پشت‌پوشی محاسبه شده با استفاده از نسبت روشنایی در جدول ۳ نشان داده شده است. همچنین جدول ۴ مقادیر پشت‌پوشی محاسبه شده بر اساس نسبت میانگین انعکاس در محدوده ۳۶۰ تا ۷۵۰ نانومتر را نشان می‌دهد. از مقادیر پشت‌پوشی اندازه‌گیری شده بر اساس انعکاس جهت ارزیابی قابلیت روش‌های مختلف اندازه‌گیری پشت‌پوشی استفاده گردید. مقادیر پشت‌پوشی بر مبنای روشنایی صرفاً جهت مقایسه نمونه‌ها ارائه گردیده است.

با توجه به جدول‌های ۳ و ۴ نمونه شماره ۱ دارای حداقل میزان پشت‌پوشی می‌باشد، که جهت پشت‌پوش شدن به تعداد لایه‌های بیشتری نیاز دارد. همچنین مقدار ضریب پشت‌پوشی با افزایش تعداد لایه نمونه‌های کاغذی افزایش یافته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تاثیر افزایش تعداد لایه و در نتیجه آن افزایش ضخامت در پشت‌پوش کردن نمونه در ضخامت‌های کمتر به مراتب بیشتر از ضخامت‌های بالا می‌باشد. به عبارتی افزایش لایه در ضخامت و لایه‌های کم نمونه در مقایسه با حالت با ضخامت و لایه‌های زیاد منجر به افزایش پشت‌پوشی بیشتری می‌گردد.

از آنجایی که مقادیر RGB تصویر نمونه در پویشگر تابع شدت روشنایی نمونه می‌باشد. به طوری که با تبدیلات به سیستم رنگی مختلف می‌توان پارامترهای جدید مرتبط با روشنایی اندازه‌گیری شده با دستگاه اسپکتروفوتومتر به دست آورد. به همین دلیل در روش پویشگر، پس از پویش نمونه‌ها تحت زمینه مشکی و سفید، مقادیر RGB به دست آمده از پویش نمونه‌ها در تعداد لایه‌های مختلف به فضاهای رنگی Gray Scale، sRGB، XYZ، CIELab، hLab (فضا رنگ هانتر)، CMYK و LSLM برده و ضریب پشت‌پوشی نمونه‌ها در آن فضای رنگی محاسبه گردید.

پارامترهای سامانه مقیاس خاکستری<sup>۱</sup> بر اساس رابطه ۱ محاسبه گردید [۲۱]:

$$\text{Gray scale} = 0.2989 \times R + 0.5870 \times G + 0.1140 \times B \quad (1)$$

جدول ۱: مشخصات رنگی نمونه‌های کاغذی به کار رفته.

| ردیف | L*    | a*     | b*     | c*    | h°     |
|------|-------|--------|--------|-------|--------|
| ۱    | ۹۴,۱۵ | ۲,۲۵   | -۳,۶۵  | ۴,۲۹  | ۳۰۱,۶۶ |
| ۲    | ۸۳,۷۵ | -۹,۸۷  | -۵,۲۹  | ۱۱,۲  | ۲۰۸,۲۰ |
| ۳    | ۹۰,۳۹ | -۱,۶۱  | ۳۱,۹۴  | ۳۱,۹۸ | ۹۲,۸۹  |
| ۴    | ۸۱,۲۲ | ۲۴,۰۶  | -۸,۵۲  | ۲۵,۵۲ | ۳۴۰,۴۹ |
| ۵    | ۸۹,۵۶ | -۶,۲۰  | ۴۰,۳۱  | ۴۰,۷۸ | ۹۸,۷۵  |
| ۶    | ۷۹,۳۷ | -۱۰,۷۲ | -۹,۷۸  | ۱۴,۵۱ | ۲۲۲,۳۷ |
| ۷    | ۸۰,۲۰ | -۲۳,۳۳ | ۱۸,۷۱  | ۲۹,۹۰ | ۱۴۱,۲۷ |
| ۸    | ۶۲,۵۵ | ۳۰,۱۸  | -۱۳,۵۲ | ۳۳,۰۷ | ۳۳۵,۸۵ |

## ۲-۲- روش کار

نمونه‌های کاغذی بر روی صفحه پویشگر قرار گرفته و مقوای ضخیمی که به عنوان زمینه مورد استفاده قرار گرفته بود، بر روی آن قرار داده شد. عمل پویش در وضوح ۲۰۰ ppi برای لایه‌های مختلفی از نمونه‌ها انجام گرفت. تصاویر خام جهت حذف نایکنواختی فیلتر گردید و سپس مقادیر RGB آنها که برابر با متوسط مقادیر RGB تمام پیکسل‌های تشکیل‌دهنده تصویر است، ثبت گردید. تبدیل این فضای رنگی به فضاهای رنگی مختلف دیگر با استفاده از برنامه Matlab انجام گردید. در پایان به منظور بررسی ضرایب پشت‌پوشی فضاهای رنگی مختلف به دست آمده از پویشگر، مقدار پشت‌پوشی نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی اندازه‌گیری شد و بهترین فضای رنگی برای اندازه‌گیری ضریب پشت‌پوشی با استفاده از پویشگر تعیین گردید. تجهیزات به کار رفته شامل دستگاه ضخامت‌سنج دیجیتال M034A ساخت شرکت SDL، اسپکتروفوتومتر انعکاسی color-eye 7000A ساخت شرکت XRite و پویشگر HP Scanjet G3010 می‌باشد. ضخامت نمونه‌ها به صورت تک‌لایه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: ضخامت نمونه‌های کاغذی به کار رفته بر حسب میکرون.

| ردیف | ضخامت (میکرون) |
|------|----------------|
| ۱    | ۴۵             |
| ۲    | ۴۰             |
| ۳    | ۶۰             |
| ۴    | ۶۵             |
| ۵    | ۷۵             |
| ۶    | ۶۰             |
| ۷    | ۶۵             |
| ۸    | ۶۵             |

1- Gray Scale

جدول ۳: مقادیر پشت پوشی نمونه‌های کاغذ بر اساس نسبت روشنایی (روش اسپکتروفوتومتری).

| نمونه ۸ | نمونه ۷ | نمونه ۶ | نمونه ۵ | نمونه ۴ | نمونه ۳ | نمونه ۲ | نمونه ۱ | لایه کاغذ |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| ۰,۹۷    | ۰,۹۵    | ۰,۹۵    | ۰,۹۴    | ۰,۹۳    | ۰,۹۲    | ۰,۸۷    | ۰,۷۶    | ۱         |
| ۱,۰۰    | ۰,۹۹    | ۰,۹۹    | ۰,۹۹    | ۰,۹۹    | ۰,۹۸    | ۰,۹۶    | ۰,۸۷    | ۲         |
| ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۰,۹۹    | ۰,۹۹    | ۰,۹۱    | ۳         |
|         |         |         |         |         | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۰,۹۵    | ۴         |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۶    | ۵         |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۸    | ۶         |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۸    | ۷         |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۹    | ۸         |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۹    | ۹         |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۹    | ۱۰        |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۹    | ۱۱        |
|         |         |         |         |         |         |         | ۱,۰۰    | ۱۲        |

جدول ۴: مقادیر پشت پوشی نمونه‌های کاغذ بر اساس میانگین انعکاس (روش اسپکتروفوتومتری).

| نمونه ۸ | نمونه ۷ | نمونه ۶ | نمونه ۵ | نمونه ۴ | نمونه ۳ | نمونه ۲ | نمونه ۱ | ردیف |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| ۰,۸۹    | ۰,۹۲    | ۰,۸۹    | ۰,۸۹    | ۰,۸۰    | ۰,۹۹    | ۰,۷۲    | ۰,۵۵    | ۱    |
| ۰,۹۷    | ۰,۹۹    | ۰,۹۸    | ۰,۹۶    | ۰,۹۵    | ۰,۹۵    | ۰,۹۱    | ۰,۷۴    | ۲    |
| ۰,۹۹    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۰,۹۶    | ۰,۹۸    | ۰,۹۸    | ۰,۹۷    | ۰,۸۰    | ۳    |
| ۱,۰۰    |         |         | ۱,۰۰    |         | ۰,۹۸    | ۱,۰۰    | ۰,۸۸    | ۴    |
|         |         |         |         |         | ۱,۰۰    |         | ۰,۹۲    | ۵    |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۵    | ۶    |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۵    | ۷    |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۷    | ۸    |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۸    | ۹    |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۸    | ۱۰   |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۸    | ۱۱   |
|         |         |         |         |         |         |         | ۱,۰۰    | ۱۲   |

$$\begin{cases} L^* = 116 \times F\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \\ a^* = 500 \times \left[ F\left(\frac{X}{X_n}\right) - F\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \\ b^* = 200 \times \left[ F\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - F\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \end{cases} \quad (8)$$

تابع  $F(I)$  برای  $I$  بزرگتر از  $0,00885$  از رابطه ۹ محاسبه می‌گردد:

$$F(I) = I^{1/3} \quad (9)$$

تابع  $F(I)$  برای  $I$  کوچکتر و مساوی  $0,00885$  از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$F(I) = 7.7871 \times I + \frac{16}{116} \quad (10)$$

پارامترهای سامانه هانتر (hLab) بر اساس رابطه ۱۱ محاسبه گردید [۴]:

$$\begin{aligned} L_H &= 100 \times \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{0.5} \\ a_H &= 175 \left(\frac{X}{X_n} - \frac{Y}{Y_n}\right) \times \left(\frac{0.0102 X_n}{Y_n}\right)^{0.5} \\ b_H &= 70 \left(\frac{Y}{Y_n} - \frac{Z}{Z_n}\right) \times \left(\frac{0.00847 Z_n}{Y_n}\right)^{0.5} \end{aligned} \quad (11)$$

پارامترهای سامانه CMYK بر اساس RGB با استفاده از رابطه ۱۲ و ۱۳ محاسبه گردید [۱۴]:

$$\begin{cases} C_0 = 1 - R \\ M_0 = 1 - G \\ Y_0 = 1 - B \end{cases} \quad (12)$$

پارامترهای سامانه sRGB بر اساس رابطه‌های ۲ تا ۶ محاسبه گردید [۲۲]:

$$\begin{cases} R = R/255 \\ G = G/255 \\ B = B/255 \end{cases} \quad (2)$$

$$r = \begin{cases} \frac{R}{12.92} & R \leq 0.04045 \\ \left(\frac{R+0.055}{1.055}\right)^{2.4} & R > 0.04045 \end{cases} \quad (3)$$

$$g = \begin{cases} \frac{G}{12.92} & G \leq 0.04045 \\ \left(\frac{G+0.055}{1.055}\right)^{2.4} & G > 0.04045 \end{cases} \quad (4)$$

$$b = \begin{cases} \frac{B}{12.92} & B \leq 0.04045 \\ \left(\frac{B+0.055}{1.055}\right)^{2.4} & B > 0.04045 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \bar{R} = 100 \times r \\ \bar{G} = 100 \times g \\ \bar{B} = 100 \times b \end{cases} \quad (6)$$

محركه سه گانه XYZ بر اساس پارامترهای سامانه sRGB با استفاده از رابطه ۷ محاسبه گردید [۲۲]:

$$\begin{cases} X = 0.4124 \times \bar{R} + 0.3576 \times \bar{G} + 0.1805 \times \bar{B} \\ Y = 0.2126 \times \bar{R} + 0.7152 \times \bar{G} + 0.0722 \times \bar{B} \\ Z = 0.0193 \times \bar{R} + 0.1192 \times \bar{G} + 0.9505 \times \bar{B} \end{cases} \quad (7)$$

تبدیل RGB تصویر پوشی شده به مقادیر محركه سه گانه XYZ تحت روشنایی استاندارد D65 و مشاهده کننده ۱۰ درجه صورت گرفته است. البته در تبدیل فوق از فرمول عمومی sRGB استفاده گردید. قابل ذکر می‌باشد در تحقیقات قبلی از روشنایی استاندارد D65 بیشتر از روشنایی استاندارد A استفاده شده است. بر همین اساس تبدیلات تحت روشنایی استاندارد D65 صورت گرفته است. پارامترهای سامانه CIE Lab بر اساس محركه سه گانه XYZ با استفاده از رابطه ۸ محاسبه گردید [۲۳]:

همچنین مقادیر پشت‌پوشی در فضاهای رنگی GrayScale, YIQ, YUV و همچنین  $YCbCr$  نیز برابر می‌باشد و به همین دلیل تنها مقادیر پشت‌پوشی در فضای رنگی GrayScale به نمایندگی از فضاهای رنگی دیگر در نظر گرفته شده است. از آنجا که مقدار پشت‌پوشی در فضای رنگی  $I_1I_2I_3$  برابر با مقدار پشت‌پوشی در فضای رنگی RGB می‌باشد، از بررسی این فضای رنگی نیز صرف‌نظر شد. فضای رنگی  $I_1I_2I_3$  از تبدیل خطی زیر به دست می‌آید [۱۵]:

$$\begin{cases} I_1 = \frac{1}{3} \times (R + G + B) \\ I_2 = \frac{1}{2} \times (R - B) \\ I_3 = \frac{1}{4} \times (2G - R - B) \end{cases} \quad (15)$$

با توجه به مقادیر  $R^2$  به خوبی پیداست که فضاهای رنگی LSLM با ضریب تعیین  $0.992$ ، RGB با ضریب تعیین  $0.985$  و فضای رنگی XYZ با ضریب تعیین  $0.979$ ، بالاترین مقادیر ارتباط را با نتایج حاصل از اسپکتروفوتومتر انعکاسی، دارا می‌باشند. در این بین فضاهای رنگی hLab، CMYK و CIELab با مقادیر  $R^2$  به ترتیب  $0.945$ ،  $0.949$  و  $0.957$  پایین‌ترین مقادیر ارتباط را با مقادیر به دست آمده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی از خود نشان دادند. برای مقایسه بیشتر، مقادیر درصد خطای نسبی (E%)، مجموع مربعات خطا پیشگویی (RMS) و ضریب همبستگی به همراه آنالیز آماری استیودنت زوجی در جدول ۵ نشان داده شده است.

$$\left\{ \begin{array}{l} K = \text{Minimum}(C_0, M_0, Y_0) \\ C = \frac{C_0 - K}{1 - K} \\ M = \frac{M_0 - K}{1 - K} \\ Y = \frac{Y_0 - K}{1 - K} \end{array} \right. \quad (13)$$

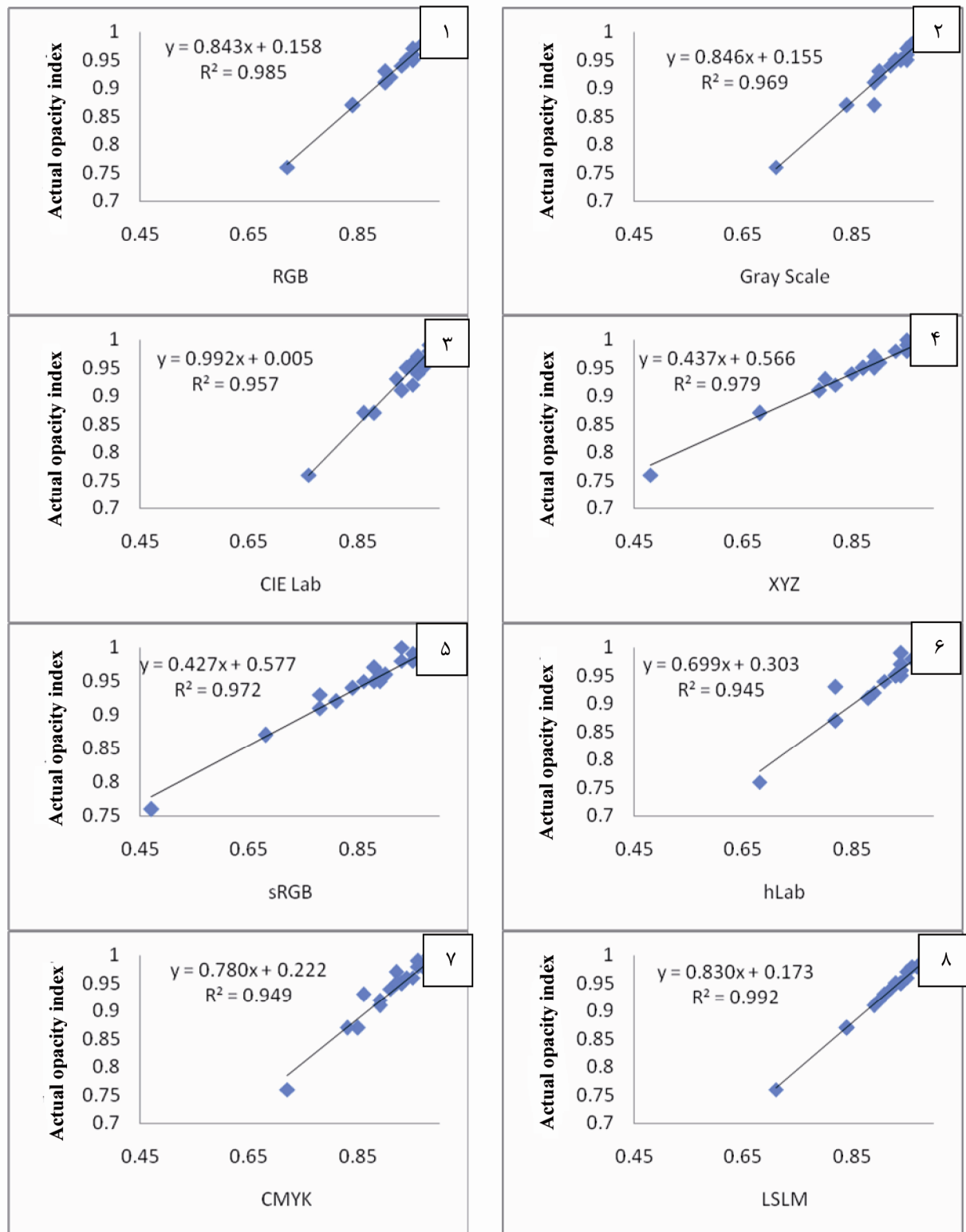
پارامترهای سامانه LSLM بر اساس RGB با استفاده از رابطه ۱۴ محاسبه گردید [۲۴]:

$$\begin{bmatrix} L \\ S \\ LM \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.209 & 0.715 & 0.076 \\ 0.209 & 0.715 & -0.924 \\ 3.148 & -2.799 & -0.349 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (14)$$

به منظور مقایسه بهتر نتایج حاصله، منحنی‌های مقادیر پشت‌پوشی به دست آمده از اسپکتروسکوپی انعکاسی بر حسب مقادیر پشت‌پوشی به دست آمده از پوشگر در هر یک از فضاهای رنگی رسم گردید. شکل ۲ ارتباط میان نتایج حاصل از پوشگر در فضاهای رنگی مختلف و نتایج حاصل از اسپکتروفوتومتر انعکاسی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است، از آنجایی که مقادیر پشت‌پوشی در فضاهای رنگی CIELab و CIELUV با یکدیگر برابر می‌باشد، تنها مقادیر پشت‌پوشی در فضای رنگی CIELab مورد بررسی قرار گرفت.

**جدول ۵:** مقادیر درصد خطای نسبی، مجموع مربعات خطای پیشگویی، ضریب همبستگی و  $R^2$ ، آزمون t، برای مقادیر پشت‌پوشی به دست آمده از پوشگر در فضاهای رنگی مختلف نسبت به اسپکتروفوتومتر انعکاسی.

| فضاهای رنگی     | درصد خطای نسبی | مجموع مربعات خطا | آزمون t    | ضریب همبستگی |
|-----------------|----------------|------------------|------------|--------------|
| RGB             | ۰.۸۹           | ۰.۰۲۸۳           | ۰.۰۰۰۱۶۹   | ۰.۹۹۳        |
| Gray Scale      | ۱.۱۴           | ۰.۰۳۳۰           | ۰.۰۰۰۰۴۱۴  | ۰.۹۸۵        |
| CIELab(D65 10°) | ۰.۷۵           | ۰.۰۲۲۴           | ۰.۲۱       | ۰.۹۷۸        |
| XYZ             | ۵.۵۰           | ۰.۱۷۴۵           | ۰.۰۰۰۰۱۳۶  | ۰.۹۹۰        |
| sRGB            | ۵.۷۷           | ۰.۱۸۲۳           | ۰.۰۰۰۰۱۱۴  | ۰.۹۸۶        |
| hLab            | ۱.۹۶           | ۰.۰۶۴۲           | ۰.۰۰۰۰۲۲۳  | ۰.۹۷۲        |
| CMYK            | ۱.۵۹           | ۰.۰۴۷۷           | ۰.۰۰۰۰۲۲۱  | ۰.۹۷۴        |
| LSLM            | ۱.۱۴           | ۰.۰۳۳۰           | ۰.۰۰۰۰۰۴۰۴ | ۰.۹۹۶        |



شکل ۲: ارتباط میان نتایج پشت پوشی حاصل از پوشگر در فضاهای رنگی (۱) RGB، (۲) Gray Scale، (۳) CIE Lab، (۴) XYZ، (۵) sRGB، (۶) hLab، (۷) CMYK، (۸) LSLM و نتایج پشت پوشی حاصل از اسپکتروفوتومتر انعکاسی.

آمده از اسپکتروسکوپی انعکاسی در شکل ۳ نشان داده شده است. برای ارزیابی ارتباط بین میزان پشت پوشی نمونه‌ها و دقت پیشگویی پشت پوشی در روش‌های مختلف به کمک پیشگر، تغییرات خطای پیشگویی بر حسب میزان پشت پوشی نمونه در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ به وضوح مشاهده می‌گردد که کمترین خطا در فضاهای رنگی مختلف به ضرایب پشت پوشی بالا و بیشترین خطای فضاهای رنگی به ضرایب پشت پوشی پایین مربوط می‌باشد. در بین فضاهای رنگی، فضاهای رنگی sRGB و XYZ با درصد خطای به ترتیب ۳۸,۱۶ و ۳۶,۸۴ در پشت پوشی ۰,۷۶ که مربوط به نمونه ۱ (به صورت تک‌لایه) می‌باشد، بیشترین مقدار خطا را از خود نشان دادند.

با توجه به آزمون استیودنت زوجی، مقدار خطای نسبی و همچنین مقدار میانگین مجموع مربعات خطا (RMS)، در روش استفاده از فضای رنگی CIELab که به ترتیب برابر با ۰,۲۱، ۰,۷۵ و ۰,۲۲۴ می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که فضای رنگی CIELab بهترین ارزیابی پشت پوشی را حاصل نموده است. از طرف دیگر بیشترین مقدار خطای این فضای رنگی در پیش‌بینی مقدار پشت پوشی ۳,۲۶ می‌باشد، که نسبت به فضاهای رنگی دیگر از دقت قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشد. جدول ۶ مقادیر پشت پوشی به دست آمده از پیشگر را در فضای رنگی CIELab نشان می‌دهد. این مقادیر پشت پوشی نیز همانند مقادیر پشت پوشی به دست آمده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی، با افزایش لایه بتدریج افزایش یافته‌اند.

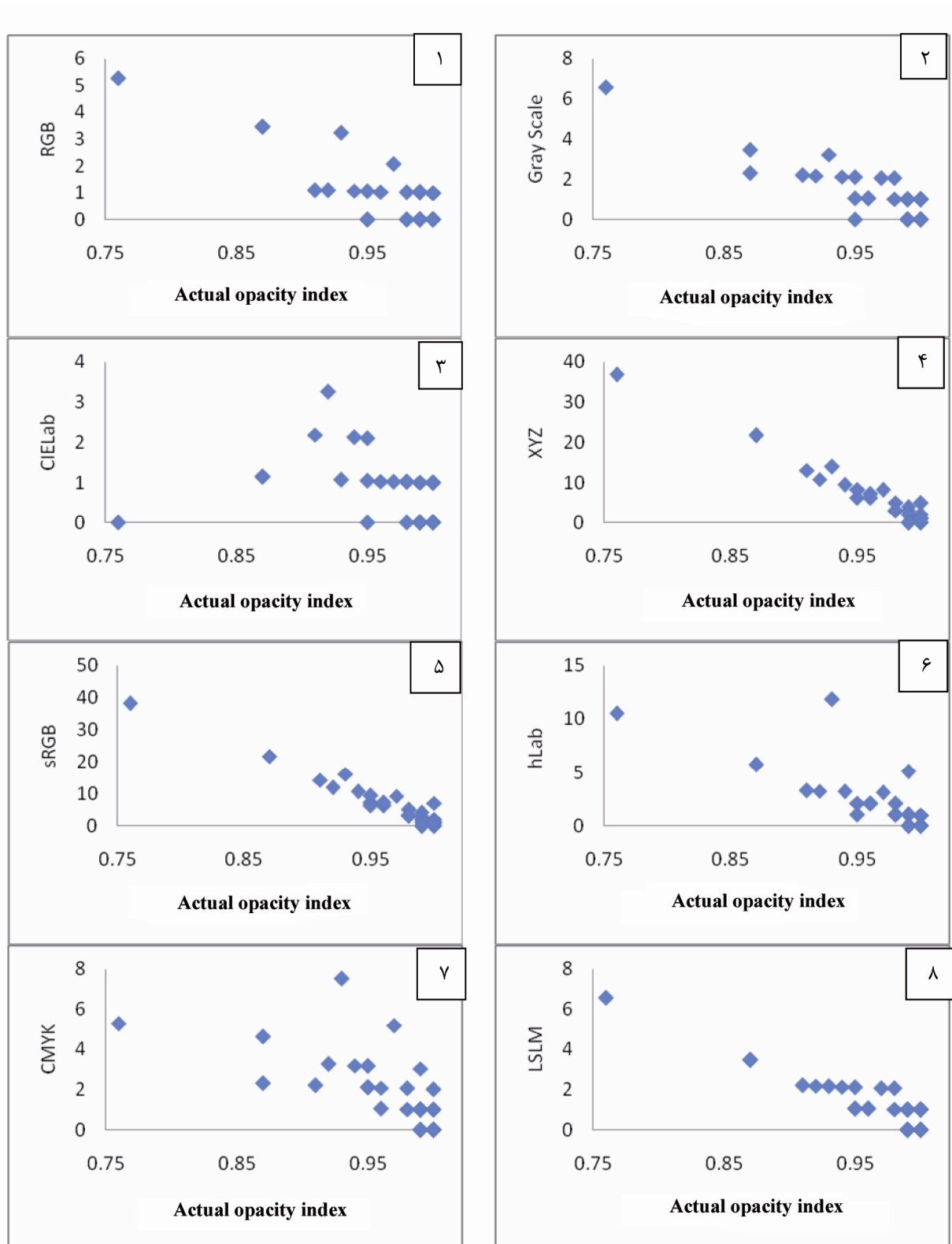
همان‌طور که بیان شد، فضای رنگی hLab کمترین مقدار ضریب تعیین را نسبت به مقادیر به دست آمده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی را از آن خود کرده بود، و با مقدار ضریب تعیین RGB که برابر با ۰,۹۸۵ می‌باشد، اختلاف زیادی دارد. بنابراین انتظار می‌رود که فضای رنگی RGB در آزمون آماری انجام شده نتایج بهتری نسبت به آن داشته باشد، که با توجه به مقادیر جدول ۶ در می‌یابیم که این پیش‌بینی کاملاً صحیح می‌باشد. اما با نگاهی دقیق‌تر به مقادیر جدول ۵ متوجه می‌شویم که ممکن است مقدار  $R^2$  برای یک نمونه بیشتر از دیگری باشد اما مقدار درصد خطا و یا مقدار خطای پیشگویی نمونه دیگر از آن کمتر باشد، و این پیش‌بینی درست نباشد. در واقع افزایش مقدار  $R^2$  نشان دهنده این موضوع می‌باشد که تغییرات پشت پوشی در آن فضای رنگی نسبت به پشت پوشی اندازه‌گیری شده توسط اسپکتروفوتومتر انعکاسی حالت خطی‌تری دارد و از حالت خطی انحراف کمتری دارد حال آنکه ممکن است این مقادیر از مقدار واقعی دور بوده و مقدار خطا بیشتر باشد که مقایسه فضای رنگی XYZ و CIELab تاییدکننده این موضوع می‌باشد. از این رو تنها با توجه به مقادیر  $R^2$  نمی‌توان بهترین فضای رنگی که نزدیک‌ترین مقدار پشت پوشی را نسبت به مقادیر اسپکتروفوتومتر انعکاسی می‌دهد را برای تعیین ضریب پشت پوشی با استفاده از پیشگر مشخص کرد.

اما از آنجایی که مقدار میانگین درصد خطا، بخوبی دقت آن فضای رنگی را در تعیین میزان پشت پوشی نشان نمی‌دهد، از این رو مقدار درصد خطای فضاهای رنگی مختلف در مقادیر پشت پوشی‌های مختلف به دست

جدول ۶: مقادیر پشت پوشی نمونه‌ها با استفاده از پیشگر و در فضای رنگی CIELab.

| نمونه ۸ | نمونه ۷ | نمونه ۶ | نمونه ۵ | نمونه ۴ | نمونه ۳ | نمونه ۲ | نمونه ۱ | لایه کاغذ |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| ۰,۹۶    | ۰,۹۷    | ۰,۹۴    | ۰,۹۶    | ۰,۹۲    | ۰,۹۵    | ۰,۸۶    | ۰,۷۶    | ۱         |
| ۰,۹۹    | ۱,۰۰    | ۰,۹۹    | ۰,۹۹    | ۰,۹۹    | ۰,۹۹    | ۰,۹۵    | ۰,۸۸    | ۲         |
| ۰,۹۹    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۰,۹۹    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۰,۹۸    | ۰,۹۳    | ۳         |
| ۰,۹۹    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۰,۹۵    | ۴         |
| ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۱,۰۰    | ۰,۹۷    | ۵         |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۸    | ۶         |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۹    | ۷         |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۹    | ۸         |
|         |         |         |         |         |         |         | ۰,۹۹    | ۹         |
|         |         |         |         |         |         |         | ۱,۰۰    | ۱۰        |
|         |         |         |         |         |         |         | ۱,۰۰    | ۱۱        |
|         |         |         |         |         |         |         | ۱,۰۰    | ۱۲        |





شکل ۳: مقدار درصد خطای فضاهای رنگی (۱: RGB، ۲: Gray Scale، ۳: CIE Lab، ۴: XYZ، ۵: sRGB، ۶: hLab، ۷: CMYK، ۸: LSLM) در ضرایب پشت‌پوشی مختلف به دست آمده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی.

نسبی و مجموع مربعات خطا و مقدار ضریب همبستگی جهت مقایسه روش‌های مختلف محاسبه گردید. تحلیل‌های انجام شده نشان داد، ارزیابی ضریب پشت‌پوشی به روش پوشگر در فضای رنگی CIELab با ضریب پشت‌پوشی محاسبه شده به روش اسپکتروفوتومتری بیشترین همخوانی را دارد. بیشترین خطای این فضای رنگی در تعیین مقدار ضریب پشت‌پوشی کمتر از ۳٫۵ درصد می‌باشد، که حد قابل قبولی از دقت را از خود نشان داد. در نتیجه با توجه به نتایج به دست آمده، پوشگر ابزاری مناسب برای بررسی پشت‌پوشی نمونه‌های کاغذی می‌باشد و می‌توان از آن به جای اسپکتروفوتومتر انعکاسی استفاده نمود و این کار باعث صرفه‌جویی در هزینه می‌گردد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی بر آن شد که با استفاده از پوشگر، میزان پشت‌پوشی کاغذ اندازه‌گیری شود، از این رو در مجموع پشت‌پوشی ۸ نمونه با ضخامت و رنگ‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، پس از پوشش نمونه‌ها مقادیر RGB تصاویر نمونه‌های مختلف به فضاهای رنگی مختلف برده شد. از نمودار توزیع پراکندگی ضریب پشت‌پوشی ارزیابی شده در این فضا نسبت به مقادیر پشت‌پوشی حاصله در روش اسپکتروفوتومتری جهت مقایسه روش‌های مختلف استفاده گردید. در ادامه به منظور بررسی دقیق‌تر فضاهای رنگی، تحلیل‌های آماری آزمون استیودنت زوجی انجام گردیده و مقدار خطا

#### ۵- مراجع

1. D. R. Pant, Determination of optical characteristics of materials for computer colorant analysis, Msc thesis, Department of Computer Science. University of Joensuu, Finland, 2006.
2. F. H. Imai, R. S. Berns, Di- Y. Tzeng, A comparative analysis of spectral reflectance estimated in various spaces using a trichromatic camera system. *J. Imaging Sci. Technol.* 44(2000), 280-287.
3. T. H. Morton, 20—opacity and obscuring power of textile fabrics. *J. Tex. Inst.* 56(1965), 260-273.
4. R. McDonald, Colour physics for industry, 2nd edition. Society of Dyers and Colourists, West Yorkshire. 1997, 134-372.
5. R. G. Kuehni, Color: An introduction to practice and principles, 2nd edition. John Wiley and Son, Inc., New Jersey. 2005, 183-192.
6. G. A. Klein, Industrial color physics. Journal of Springer, optical sciences, Herrenberg. 2009, 43-63.
7. R. W. G. Hunt, The reproduction of colour, 6th edition. John Wiley and Son, Ltd, Chichester. 2004, 68-70.
8. J. Hiltunen, Accurate color measurement. University of Joensuu, Joensuu. 2002, 65-68.
9. H. Brody, R. G. Quynn, Measurement of opacity in fibers. *Textile Res. J.* 35(1965), 524-529.
10. K. Simon, B. Trachsler, A random walk approach for light scattering in material. *DMTCS. AC*(2003), 289-300.
11. M. A. Hubbe, J. J. Pawlak, A. A. Koukoulas, Paper's appearance: A review. *BioResources.* 3(2008), 627-665.
12. M. Alava, k. Niskanen, The physics of paper. *Rep. Prog. Phys.* 69(2006), 669-723.
13. A. Shams-Nateri, S. H. Amirshahi, A scanner based neural network technique for color evaluation of textile fabrics. 12<sup>th</sup> International CSI Computer Conference, Tehran, Iran, (2007), 2396-2400.
14. Ford, A. Roberts, Colour space conversions, <http://www.poynton.com/PDFs/coloureq.pdf>, accessed online August. 1998.
15. P. Colantoni, Al, Color space transformations, <http://www.colantoni.nerim.net/download/colspacettransform-1.0.pdf>, accessed online 2004.
16. D. Huss, How to do everything with your scanner. McGraw-Hill, California. 2003, 11-20.
17. G. Sharma, Targetless scanner color calibration. *J. Imaging Sci. Technol.* 44(2000), 301-307.
18. E. Allen, E. Bilissi, The manual of photography, 10th edition. Elsevier Ltd., 2011, 280-288.
19. 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. Tech.* 1(2008), 97-110.
20. M. Mafi, A. Shams-Nateri, Dye concentration estimation in bicomponent solution by neural network based scanner. *J. Color Sci. Tech.* 6(2012), 247-251.
21. Sunita, H. Sethi, A. Oberoi, Processing microscopic images of polymer beads used in manufacturing membrane filter to achieve quality. *J. Eng. Sci. Technol.* 2(2012), 30-35.
22. A. Shams-Nateri, Measuring reflectance spectra of textile fabrics by scanner. *J. Textile Sci. Engg.* 1(2011).
23. J. Schanda, Colorimetry: Understanding the CIE system. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey. 2007, 61-64.
24. J. Yang, C. Liu, L. Zhang, Color space normalization: enhancing the discriminating power of color spaces for face recognition. *J. Pattern Recognition.* 43(2010), 1454-1466.