

The Effect of Scanner Resolution and Bit Depth on Measuring Color Changes of Fabric In Small Color Space

Elham Hasanlou¹, Ali Shams nateri^{*1}, Hossein Izadan²

1- Department of Textile Engineering, University of Guilan, P.O. Box: 4199613776, Rasht, Iran

2- Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, P.O. Box: 8415683111, Isfahan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 27-05-2021

Accepted: 08-09-2021

Available online: 11-09-2022

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.2.3.7

Keywords:

Scanner

Color Difference

Resolution

Bit Depth

Fabric

ABSTRACT

In the present study, the performance of a scanner for measuring the fabric's color in a small color space of CIELAB space was evaluated using the complete factorial design. In this regard, the effect of two critical factors in the setup of the scanner, namely resolution and bit depth at different levels, on the color difference of the paired samples was investigated using analysis of variance. The evaluations showed that these two factors did not significantly affect measuring the color difference of the paired samples located in the small color space of CIELAB space. Also, the effect of the hue of the samples on the results of the scanner was investigated. It was found that the scanned samples' hue significantly affected the scanner's results. The evaluations carried out in the present research are essential in various applications, such as shade sorting.

*Corresponding author: a_shams@guilan.ac.ir





تأثیر قدرت تفکیک و عمق بی‌تی پویشگر بر اندازه‌گیری تغییرات رنگ پارچه در فضای رنگی کوچک

الهام حسنلو^۱، علی شمس نانری^{۲*}، حسین ایزدان^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۹۹۶۱۳۷۷۶

۲- استاد، گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۹۹۶۱۳۷۷۶

۳- استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱

چکیده

در تحقیق حاضر عملکرد یک پویشگر بر اندازه‌گیری رنگ پارچه در فضای کوچکی از فضا رنگ CIELAB با استفاده از روش طرح عاملی کامل مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور اثر دو عامل مهم در تنظیمات پویشگر یعنی قدرت تفکیک و عمق بی‌تی در سطوح مختلف بر اختلاف رنگ جفت نمونه‌ها با استفاده از تحلیل واریانس بررسی گردید. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد که دو عامل مذکور اثر معنادار بر اختلاف رنگ جفت نمونه‌هایی که در فضای کوچکی از فضا رنگ CIELAB واقع شده‌اند نداشته است. همچنین اثر فام نمونه‌ها بر نتایج حاصل از پویشگر نیز بررسی شد که نتایج نشان داد اثر فام نمونه‌های پویش شده بر نتایج حاصل از پویشگر معنادار می‌باشد. ارزیابی‌های انجام شده در این تحقیق در کاربردهای مختلف از جمله در دسته‌بندی شید می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۷

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۶/۲۰

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.2.3.7

واژه‌های کلیدی:

اسکنر

اختلاف رنگ

قدرت تفکیک

عمق بی‌تی

پارچه

*Corresponding author: a_shams@guilan.ac.ir



۱- مقدمه

پوشگرها به عنوان دستگاه‌های جانبی، تصاویر دیجیتالی دنیای حقیقی را ثبت کرده و به عنوان دستگاهی ورودی در تصویربرداری دیجیتال مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع پوشگرها برای تبدیل سیگنال‌های آنالوگ به تصویری دیجیتال به کار می‌روند. یکی از متداول‌ترین پوشگرها، پوشگر تخت^۱ است که جهت ارزیابی و اندازه‌گیری رنگ محصول در صنایع مختلف، به‌ویژه در صنعت نساجی مورد توجه واقع شده است [۱-۴].

مدل رنگ RGB یا فضای رنگی RGB، فضا رنگی بر پایه نظریه سه رنگی است که به عنوان مدل رنگ وابسته به دستگاه برای نمایش رنگ و تصویر به کار می‌رود. خروجی پوشگر را می‌توان به صورت روابط ۱ تا ۳ بیان نمود [۵]:

$$R = \int S_{scanR}(\lambda).R(\lambda)T_{oR}(\lambda)T_{fR}(\lambda).D_R(\lambda) \quad (1)$$

$$G = \int S_{scanG}(\lambda).R(\lambda)T_{oG}(\lambda)T_{fG}(\lambda).D_G(\lambda) \quad (2)$$

$$B = \int S_{scanB}(\lambda).R(\lambda)T_{oB}(\lambda)T_{fB}(\lambda).D_B(\lambda) \quad (3)$$

در روابط فوق، R ، G و B به عنوان محرکه‌های پوشگر شناخته می‌شوند. همچنین $[S_{scan}(\lambda)]$ توزیع طیفی منبع نوری، $[R(\lambda)]$ انعکاس یا انتقال طیفی شیء، $[T_o(\lambda)]$ انتقال طیفی لنزهای نوری، $[T_f(\lambda)]$ انتقال طیفی فیلترها و $[D(\lambda)]$ حساسیت آشکار ساز است.

تصویر پوشش شده توسط پوشگر دارای خصوصیتی است که دقت و کیفیت پوشگر را نشان می‌دهد. قدرت تفکیک^۲ و عمق بیته^۳ از جمله خصوصیات یک تصویر پوشش شده است. یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده کیفیت تصویر پوشش شده توسط پوشگر، قدرت تفکیک است که به صورت تعداد نقاط یا پیکسل‌های موجود در هر اینچ تعریف می‌شود. افزایش قدرت تفکیک سبب تراکم بیشتر پیکسل‌ها شده و بنابراین، جزئیات بیشتری از یک تصویر را می‌توان استخراج نمود. پوشگرهای تخت دارای حداقل قدرت تفکیک سخت‌افزاری 300×300 نقطه در اینچ^۴ هستند. البته امروزه پوشگرهایی قابلیت تفکیک بالاتر را نیز پشتیبانی می‌کنند که این قدرت تفکیک تحت عنوان قدرت تفکیک درون‌یابی شده شناخته می‌شود. در واقع توسط نرم‌افزارهای پوشگر، افزایش قدرت تفکیک تصویر امکان‌پذیر می‌گردد. با به کارگیری نرم‌افزار پوشگر،

پیکسل‌های مجازی اضافی مابین پیکسل‌هایی که به صورت سخت‌افزاری و به وسیله CCD ها حاصل شده است، ایجاد می‌شود. حسگر CCD که به عنوان حسگر تصویر نیز نامیده می‌شود، ابزار الکترونیکی است که شامل تعداد زیادی دیوده‌ها یا حسگرهای (سل‌های سیلیکونی) بسیار کوچک حساس به نور است [۶، ۷].

عمق بیته یا عمق رنگی نیز به تعداد بیت‌های تشکیل دهنده هر پیکسل اطلاق می‌شود. پیکسل‌ها با عمق بیته بالاتر می‌توانند تصاویر با تعداد رنگ‌های بیشتر، دقیق‌تر و پیچیده‌تر را ایجاد کنند. در واقع تصویر پوشش شده توسط پوشگر با عمق بیته بالاتر، اگر عمق بیته دقیق باشد، از کیفیت رنگی بیشتری برخوردار بوده و جزئیات بیشتری از تصویر در اختیار است. در تصاویر سیاه و سفید، در هر پیکسل ۱ بیت وجود دارد و در تصاویر رنگی، هر پیکسل از ۲۴ بیت تشکیل شده است. در یک تصویر با رنگ خاکستری که تصویر در حالت خاکستری^۵ نیز نامیده می‌شود، هر پیکسل دارای یک مقدار از صفر (سیاه) تا ۲۵۵ (سفید) است. این عمق بیته اغلب به عنوان ۲۵۶ رنگ نامیده می‌شود. امروزه پوشگرهای رنگی عمق‌های بیته بالاتر را نیز پشتیبانی می‌کنند [۶، ۸].

تنظیمات پوشگر از جمله قدرت تفکیک و عمق بیته، بر نتایج حاصل از پوشگر (مقادیر RGB) به شدت تاثیرگذار است. ایزدان در سال ۲۰۰۷، عوامل مختلف در تنظیمات پوشگر از جمله دو عمق بیته ۲۴ و ۴۸ را بر ارزیابی رنگ و ثبات رنگی منسوجات مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق، نتایج نشان داد که استفاده از عمق بیته ۴۸ از نظر عملی مزیتی بر عمق بیته ۲۴ ندارد [۹].

در مطالعه‌ای دیگر، فشندی و همکارانش تغییر قدرت تفکیک را بر نتایج حاصل از پوشش نمونه‌های پارچه‌ای با بافت‌ها و رنگ‌های مختلف بررسی کردند. در این مطالعه، پارچه‌ها با بافت‌ها و رنگ‌های مختلف در ۴ قدرت تفکیک ۷۵، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ نقطه در اینچ پوشش شدند. نتایج به دست آمده نشان داد که تغییر قدرت تفکیک، اثر قابل‌توجهی بر روی مقادیر RGB حاصل از پوشگر برای پارچه‌ها با رنگ‌ها و بافت‌های مختلف، ندارد. همچنین در این مطالعه اثر عمق بیته بر نتایج حاصل از توصیف پوشگر ارزیابی شد. مشاهده گردید که افزایش عمق بیته، خطای رنگی را کاهش می‌دهد [۴].

در مقاله‌ای خاندوال^۶ و همکارانش، اثر پارامتر قدرت تفکیک را بر توصیف رنگی پوشگر مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، اثر قدرت تفکیک مختلف بر نتایج حاصل از تبدیل مقادیر RGB حاصل از پوشش منسوجات رنگی به مقادیر $L^*a^*b^*$ CIE با استفاده از روش رگرسیون چندجمله‌ای و شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق، نشان داد که توصیف رنگی

- 1- Flatbed scanner
- 2- Resolution
- 3- Bit depth
- 4- Dots per inch (dpi)

5- Grayscale
6- Khandual

هدف از تحقیق حاضر بررسی تاثیر تنظیمات پویشگر شامل قدرت تفکیک و عمق بیتهی بر اندازه‌گیری رنگ پارچه‌های پویش شده توسط پویشگر در فضای کوچکی از فضا رنگ CIELAB است. به عبارت دیگر، این مطالعه نحوه عملکرد پویشگر در اندازه‌گیری اختلاف رنگ نمونه‌هایی که در فضای کوچکی از فضا رنگ CIELAB واقع شده‌اند را مورد بررسی قرار می‌دهد. به منظور بررسی نحوه عملکرد پویشگر از حیث قدرت تفکیک و عمق بیتهی و میزان وابستگی مقادیر رنگی حاصل از پویشگر برای اندازه‌گیری رنگ نمونه پارچه‌های رنگی که در فضای کوچکی از فضا رنگ CIELAB واقع شده‌اند از روش طرح عاملی کامل بهره گرفته شده است. لازم به ذکر است که ابتدا ضروری به نظر می‌رسید که عملکرد پویشگر مورد استفاده در این مطالعه، از حیث تکرارپذیری و باز تولیدپذیری در فواصل رنگی کوچک بررسی شود و سپس با استفاده از روش طرح عاملی کامل، دو عامل موثر مذکور بر اختلاف رنگ بین پارچه‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

در این تحقیق از ۴ مجموعه رنگی پارچه ۱۰۰٪ پلی استری با روشنایی و رنگ‌های مختلف آبی، قرمز، سبز و زرد استفاده شد. پارچه‌های رنگی به روش چاپ دیجیتال تهیه گردید. چاپ دیجیتال بر روی پارچه‌ها با استفاده از یک چاپگر جوهر افشان پارچه با نام تجاری Epson Sure Color F9200 Printer ساخت ترکیه، توسط شرکت نیوچاپ، ایران انجام شد.

۲-۲- روش انجام آزمایش

در این تحقیق از پویشگر HP Scanjet G3110 که یک پویشگر تخت با CCD رنگی و مجهز به منبع نوری از نوع لامپ فلورسنت کاتد سرد^۵ است، استفاده گردید. تمامی نمونه‌ها به صورت رنگی (millions of color) پویش گردید. لازم به ذکر است که قبل از انجام پویش نمونه‌های رنگی، پویشگر از حالت کنترل خودکار نقطه سفید خارج شد. در حالت کنترل خودکار، مقادیر RGB پیکسل مربوط به درخشان‌ترین نقطه صفحه تغییر می‌کند که با حذف حالت خودکار از تاثیر پردازش تصویر ناخواسته توسط پویشگر بر روی اطلاعات رنگی در فرآیند پویش، جلوگیری به عمل می‌آید [۱۴]. به منظور ذخیره تصاویر پویش شده از فرمت TIF^۶ استفاده گردید.

در این تحقیق ابتدا تکرارپذیری پویشگر در فواصل رنگی کوچک مورد بررسی قرار گرفت. به منظور انتخاب نمونه‌های رنگی که در

پویشگر در قدرت تفکیک بالاتر از دقت بیشتر و خطای رنگی کمتر برخوردار است [۱۰].

در تحقیق دیگر، کوزیکی^۱ و سسیادک^۲ با استفاده از یک پویشگر تخت، تغییرات رنگی منسوجات پلی آمید تحت تابش پرتو فرابنفش را بررسی کردند. در این تحقیق، آنها تاثیر عوامل مختلف مانند قدرت تفکیک و میزان وضوح تصویر^۳ را بر نتایج حاصل از پویشگر مورد ارزیابی قرار دادند. نمونه‌ها در ۶ قدرت تفکیک مختلف پویش شدند. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد که پارامتر قدرت تفکیک بر نتایج حاصل از پویشگر تاثیرگذار است به نحوی که با افزایش قدرت تفکیک، انحراف معیار کانال‌های RGB حاصل از تصویر پویش شده افزایش می‌یابد [۱۱].

در مطالعه دیگر، حسنلو و همکارانش اثر دو عمق بیتهی ۲۴ و ۴۸ بیت را بر دو متغیر پاسخ یعنی نسبت سیگنال به نویز (S/N) و واریانس هر یک از کانال‌های رنگی RGB حاصل از پویشگر، مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از تحلیل واریانس نشان داد که عمق بیتهی در هر سه کانال رنگی حاصل از پویشگر، در فاصله اطمینان ۹۵ درصد معنادار می‌باشد به نحوی که در عمق بیتهی بالاتر یعنی ۴۸ بیت، بیشینه نسبت سیگنال به نویز و کمینه مقدار واریانس به دست آمد [۱۲].

۱-۱- طراحی آزمایش با روش طرح عاملی کامل^۴

امروزه با رشد روزافزون فعالیت‌های تحقیق و توسعه‌ای در واحدهای صنعتی و رشته‌های مختلف علوم و مهندسی، استفاده از طراحی آزمایش به‌عنوان روشی مفید جهت دستیابی به نتایج مطمئن‌تر، افزایش بهره‌وری و تعیین چگونگی تأثیر ورودی‌ها بر خروجی‌ها مورد توجه واقع شده است. طراحی آزمایش شامل یک سری از آزمایش‌هایی است که به‌طور آگاهانه با ایجاد تغییرات هدفمند در متغیرهای ورودی و یا عوامل اثرگذار، میزان تغییرات حاصل در متغیر پاسخ و یا مشخصه خروجی را شناسایی می‌کند. یکی از متداول‌ترین روش‌های طراحی آزمایش، روش طراحی عاملی کامل است که در آن امکان بررسی کلیه اثرات متقابل وجود دارد. در طرح عاملی کامل، طراحی بر اساس تمامی ترکیب‌های احتمالی در تمامی سطوح تعریف شده بین عوامل و متغیر پاسخ صورت می‌پذیرد. به‌عبارت دیگر، در این روش امکان بررسی کلیه اثرات متقابل بین عوامل و اثرات آن‌ها بر روی یک یا چند متغیر پاسخ در تمامی سطوح وجود دارد. تعداد آزمایش‌ها در این روش برابر با L^k بوده که در آن L تعداد سطوح و k تعداد عوامل است [۱۳].

- 1- Kozicki
- 2- Sasiadek
- 3- Sharpness
- 4- Full factorial design

5- Cold Cathode Fluorescent

6- Tagged Image File

نقطه در اینج و در دو عمق بیتهی ۲۴ و ۴۸ پوشش شدند. همچنین در این تحقیق، اثر رنگ نمونه‌ها بر نتایج حاصل از پوششگر بررسی شد. جهت طراحی آزمایش به روش طرح عاملی کامل و تحلیل آماری آزمایشات از نرم‌افزار مینی تب نسخه ۱۸ بهره گرفته شد. در این مطالعه، اختلاف رنگ در فضای رنگ CIELAB طبق رابطه ۴ بین نمونه‌های رنگی در هر مجموعه رنگی محاسبه گردید.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

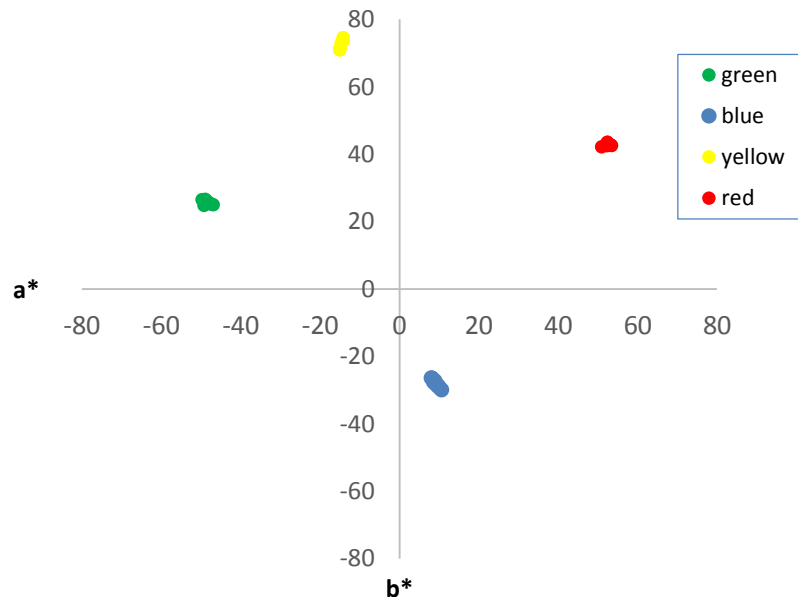
لازم به ذکر است که برای محاسبه مقادیر $L^*a^*b^*$ CIE، ابتدا مقادیر RGB حاصل از پوشش نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۵ به مقادیر CIEXYZ انتقال یافت و سپس مقادیر $L^*a^*b^*$ CIE از مقادیر CIEXYZ محاسبه گردید [۱۵، ۱۶]:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1804 \\ 0.2127 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9503 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (5)$$

فضای کوچکی از فضای رنگ CIELAB واقع شده باشند (نمونه‌هایی با فواصل رنگی کوچک)، از هر یک از ۴ مجموعه رنگی، ۵ جفت نمونه با اختلاف رنگ CMC (2:1) بین صفر تا سه در نظر گرفته شد. عملیات پوشش برای هر جفت نمونه رنگی ۳ مرتبه تکرار شده و پوشش با قدرت تفکیک ۳۰۰ dpi و عمق رنگی ۴۸ بیت صورت پذیرفت.

سپس به منظور بررسی تاثیر دو عامل مهم یعنی قدرت تفکیک و عمق بیتهی بر اندازه‌گیری رنگ پارچه‌هایی که در فضای کوچکی از فضای رنگ CIELAB واقع شده‌اند، از طرح عاملی کامل بهره گرفته شد. بدین منظور از ۴ مجموعه رنگی پارچه پلی‌استری، ۱۰ جفت نمونه با اختلاف رنگ CMC (2:1) بین صفر تا سه انتخاب گردید. شکل ۱ موقعیت قرار گرفتن نمونه‌ها را در دیاگرام $a^* b^*$ در فضای رنگ CIELAB نشان می‌دهد. شایان ذکر است که طیف انعکاسی پارچه‌های رنگی با استفاده از طیف‌سنج i1 Pro2 در ناحیه مرئی یعنی محدوده طول موج ۴۰۰ نانومتر تا ۷۰۰ نانومتر، در فواصل ۱۰ نانومتری اندازه‌گیری شد. مؤلفه‌های رنگی نمونه‌ها در فضای رنگ CIELAB در زیر استاندارد روشنایی D65 و مشاهده کننده استاندارد ۱۹۶۴ محاسبه گردید.

تمامی نمونه‌ها در سه قدرت تفکیک مختلف ۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰



شکل ۱: موقعیت قرار گرفتن نمونه‌ها در دیاگرام $a^* b^*$ در فضای رنگ CIELAB.

Figure 1: The color distribution of the samples in the $a^* b^*$ diagram of the CIELAB color space.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی باز تولیدپذیری و تکرارپذیری پوششگر در فواصل رنگی کوچک

برای بررسی تکرارپذیری پوششگر مورد استفاده در این تحقیق در فواصل رنگی کوچک، در مجموع ۱۲۰ پوشش انجام شد. در جدول ۱، اختلاف رنگ بین جفت نمونه‌ها در فضای رنگ CIELAB در ۳ مرتبه پوشش ارائه شده است.

نتایج به دست آمده در جدول ۱ نشان می‌دهد که سه مرتبه پوشش اثر قابل توجهی بر اختلاف رنگ جفت نمونه‌ها نداشته است. همچنین برای بررسی بیشتر تکرارپذیری پوششگر در فواصل رنگی

کوچک با استفاده از رابطه ۶، مقدار r که به تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها اشاره دارد محاسبه گردید [۱۶]:

$$\text{Repeatability, } r = \frac{B-W}{B+(N-1)W} \quad (6)$$

در رابطه فوق، B واریانس بین گروه‌ها، W واریانس درون گروه‌ها و N اندازه نمونه‌ها را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که برای محاسبه مقدار r ، از روش تحلیل واریانس (Anova) برای هر یک از ۴ مجموعه رنگی استفاده شد. جدول ۲ نتایج حاصل از بررسی تکرارپذیری پوششگر در فواصل رنگی کوچک را نشان می‌دهد.

جدول ۱: اختلاف رنگ بین جفت نمونه پارچه‌های رنگی با فواصل رنگی کوچک در فضای رنگ CIELAB در ۳ مرتبه پوشش.

Table 1: Color difference between the color fabric pairs with the small color intervals in the CIELAB color space at 3 times scanning.

No. of color set	Color	Scan number	Color difference between paired samples in CIELAB color space				
			1	2	3	4	5
1	Blue	1	3.262	1.029	3.496	2.518	0.738
		2	3.186	0.917	3.698	2.812	0.790
		3	3.150	0.952	4.112	3.203	1.022
2	Red	1	0.917	0.779	4.389	5.241	4.914
		2	1.406	1.048	4.035	4.938	4.993
		3	1.485	0.718	4.450	4.912	5.117
3	Green	1	0.636	2.065	2.721	1.519	1.227
		2	0.503	1.728	2.822	1.392	1.458
		3	0.565	1.813	2.505	1.408	1.152
4	Yellow	1	0.612	0.940	7.053	0.672	3.336
		2	1.059	0.847	7.132	0.508	2.965
		3	1.403	0.926	7.157	0.650	2.948

جدول ۲: مقدار تکرارپذیری (r) پوششگر در فواصل رنگی کوچک.

Table 2: Repeatability value (r) of the scanner in the small color intervals.

No. of color set	Color	Repeatability value (r)
1	Blue	0.90
2	Red	0.95
3	Green	0.88
4	Yellow	0.76
Mean	-	0.87

در جداول ۴ تا ۷ تحلیل واریانس (Anova) برای ارزیابی تاثیر دو عامل A و B بر اختلاف رنگ جفت نمونه‌ها در فضای رنگ CIELAB به ترتیب برای هر یک از ۴ مجموعه رنگی آبی، قرمز، سبز و زرد نشان داده شده است. به منظور بررسی اثر معناداری عوامل بر متغیر پاسخ از مقدار P در فاصله اطمینان ۹۵ درصد بهره گرفته شد. در شکل‌های ۲ تا ۵، نمودار اثرات اصلی و متقابل دو عامل A و B بر متغیر پاسخ به ترتیب برای هر یک از ۴ مجموعه رنگی آبی، قرمز، سبز و زرد نشان داده شده است.

در نمودارهای اثرات اصلی، خط مرجع میانگین کل را نشان می‌دهد. هنگامی که سطوح مختلفی از عوامل بر پاسخ به صورت متفاوت اثرگذار باشند، اثر اصلی وجود دارد. همچنین هنگامی بین عوامل تأثیر متقابل وجود دارد که تأثیر سطح یک عامل بر متغیر پاسخ، به سطح یک عامل دیگر وابسته باشد. در صورتی که تأثیر متقابل بین عوامل وجود نداشته باشد، خطوط موازی به دست می‌آید که به خطوط تراز معروف هستند.

در جدول ۴، نتایج تحلیل واریانس برای مجموعه نمونه‌های اول (آبی) نشان می‌دهد که مقدار P به دست آمده توسط عامل قدرت تفکیک (A) و عامل عمق بیتهی (B) بر متغیر پاسخ از مقدار $\alpha = 0,05$ بیشتر است و لذا این عوامل تاثیر معنادار بر اختلاف رنگ جفت نمونه‌ها ندارد. همچنین با توجه به این جدول می‌توان دریافت که اثر متقابل دو عامل A و B نیز معنادار نیست ($P > 0,05$).

به طور کلی اگر مقدار t بین ۰,۲ تا ۰,۴ حاصل شود نشان‌دهنده تکرارپذیری کم، مقدار t بین ۰,۴ تا ۰,۷ تکرارپذیری متوسط، مقدار t بین ۰,۷ تا ۰,۹ تکرارپذیری بالا و مقدار t بالاتر از ۰,۹ تکرارپذیری بسیار بالا است.

بنابراین مطابق با نتایج حاصل از جدول ۲ مشاهده می‌گردد که مقدار t بدست آمده برای پوششگر بین ۰,۷۵ تا ۰,۹۵ حاصل شده است، لذا پوششگر مورد استفاده در این مطالعه از تکرارپذیری بالا برخوردار بوده است. به عبارت دیگر پوششگر از توانایی بسیار مناسب و مطلوبی در حصول نتایج یکسان برای جفت نمونه‌هایی با اختلاف رنگ کوچک در پوشش‌های متوالی برخوردار بوده است.

۲-۳- بررسی اثر قدرت تفکیک و عمق بیتهی بر نتایج حاصل از پوششگر

عامل قدرت تفکیک در سه سطح و عامل عمق بیتهی در دو سطح به عنوان متغیرهای مستقل و اختلاف رنگ جفت نمونه‌های رنگی در فضای رنگ CIELAB در هر یک از ۴ مجموعه رنگی به عنوان متغیر پاسخ در طرح عاملی کامل در نظر گرفته شد. در جدول ۳ عوامل و تعداد سطوح به کار رفته در طرح عاملی کامل نشان داده شده است. برای ۱۰ جفت نمونه در هر یک از ۴ مجموعه رنگی، ۶۰ آزمایش انجام گردید. لذا در این تحقیق، در مجموع ۲۴۰ آزمایش طراحی شده و مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۳: عوامل و سطوح به کار رفته در طرح عاملی کامل.

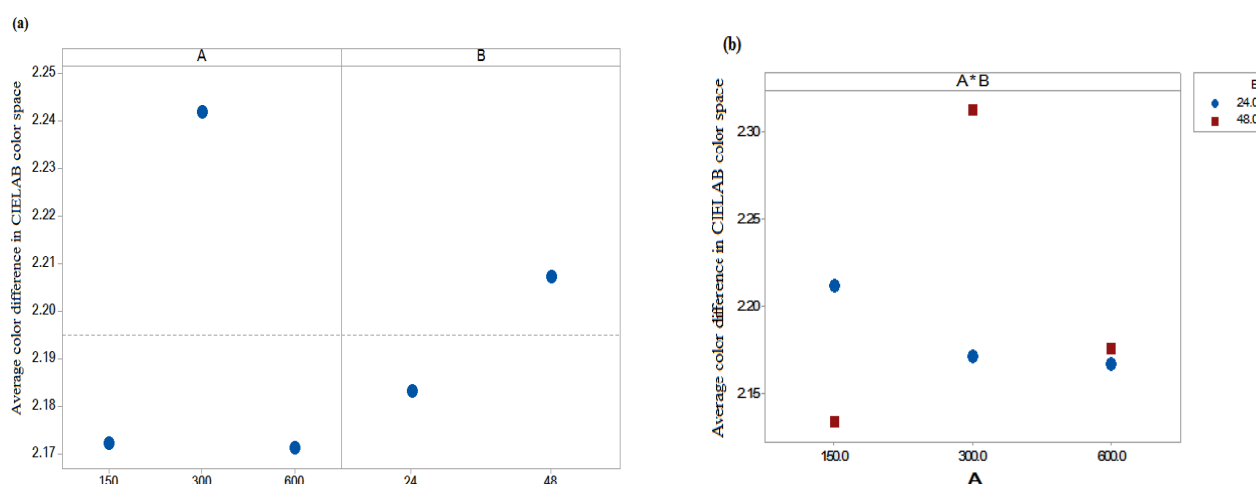
Table 3: Factors and levels of factors in the full factorial design.

Factors	Symbolic coding	No. of levels	Description
Resolution	A	3	150 dpi 300 dpi 600 dpi
Bit depth	B	2	24 48

جدول ۴: تحلیل واریانس جهت بررسی تاثیر عوامل A و B بر اختلاف رنگ ΔE_{ab}^* جفت نمونه‌ها، مجموعه نمونه‌های اول (آبی).

Table 4: Analysis of Variance to assess the effects of factors A and B on the ΔE_{ab}^* color difference of pairs, the first set of samples (blue).

Factor	degrees of freedom (df)	Sum of squares (SS)	Mean squares (MS)	F value	P value
A	2	0.065	0.033	0.02	0.982
B	1	0.009	0.009	0.00	0.944
Interaction of A and B	2	0.122	0.061	0.03	0.966
Error	54	95.294	1.765	-	-
Total	59	95.490	-	-	-



شکل ۲: (a) نمودار اثرات اصلی و (b) نمودار اثرات متقابل برای مجموعه نمونه‌های اول (آبی).

Figure 2: a) Main effects plot and b) Interaction effects plot for the first set of samples (blue).

پاسخ ندارد. همچنین اثر متقابل دو عامل A و B نیز معنادار نیست. مشابه با نتایج حاصل از شکل ۲ (a)، در سه مجموعه نمونه‌های رنگی دیگر (شکل‌های ۳ تا ۵ (a)) نیز دو عامل A و B بر متغیر پاسخ اثرگذار هستند اما با توجه به نتایج تحلیل واریانس (جدول ۵ تا ۷) اثر این دو عامل بر متغیر پاسخ معناداری نیست. همچنین نمودار تاثیر متقابل عامل A و B (AB) در این سه مجموعه نمونه‌های رنگی در شکل‌های ۳ تا ۵ (b) نشان می‌دهد که تاثیر متقابل بین عامل A و B وجود دارد، اما با توجه به نتایج تحلیل واریانس در جدول ۵ تا ۷، اثر متقابل بین عوامل مذکور معنادار نیست.

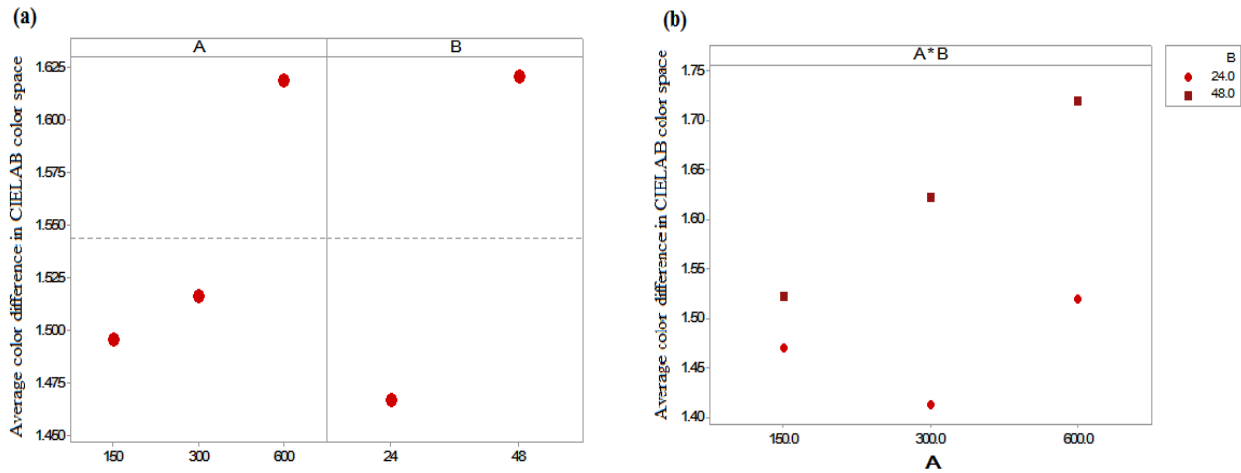
در شکل ۲ (a)، مشاهده می‌گردد که هر دو عامل A و B در مجموعه نمونه‌های اول بر متغیر پاسخ، اثرگذار هستند، اما مطابق با نتایج به دست آمده در جدول ۴، اثر این دو عامل یعنی قدرت تفکیک و عمق بیتهی بر متغیر پاسخ معنادار نیست. همچنین نمودار تاثیر متقابل عامل A و B (AB) در شکل ۲ (b)، نشان می‌دهد که خطوط فرضی بین داده‌ها موازی نیست و تاثیر متقابل بین عامل A و B وجود دارد، اما با توجه به نتایج تحلیل واریانس در جدول ۴، اثر متقابل بین عوامل مذکور معنادار نیست.

مطابق با نتایج تحلیل واریانس در جدول ۵ تا ۷ به ترتیب برای سه مجموعه نمونه‌های دیگر یعنی قرمز، سبز و زرد می‌توان مشاهده نمود که دو عامل قدرت تفکیک و عمق بیتهی تاثیر معنادار بر متغیر

جدول ۵: تحلیل واریانس جهت بررسی تاثیر عوامل A و B بر اختلاف رنگ ΔE_{ab}^* جفت نمونه‌ها، مجموعه نمونه‌های دوم (قرمز).

Table 5: Analysis of Variance to assess the effects of factors A and B on the ΔE_{ab}^* color difference of pairs, the second set of samples (red).

Factor	degrees of freedom (df)	Sum of squares (SS)	Mean squares (MS)	F value	P value
A	2	0.174	0.087	0.140	0.871
B	1	0.356	0.356	0.570	0.455
Interaction of A and B	2	0.079	0.040	0.060	0.940
Error	54	34.009	0.630	-	-
Total	59	34.617	-	-	-



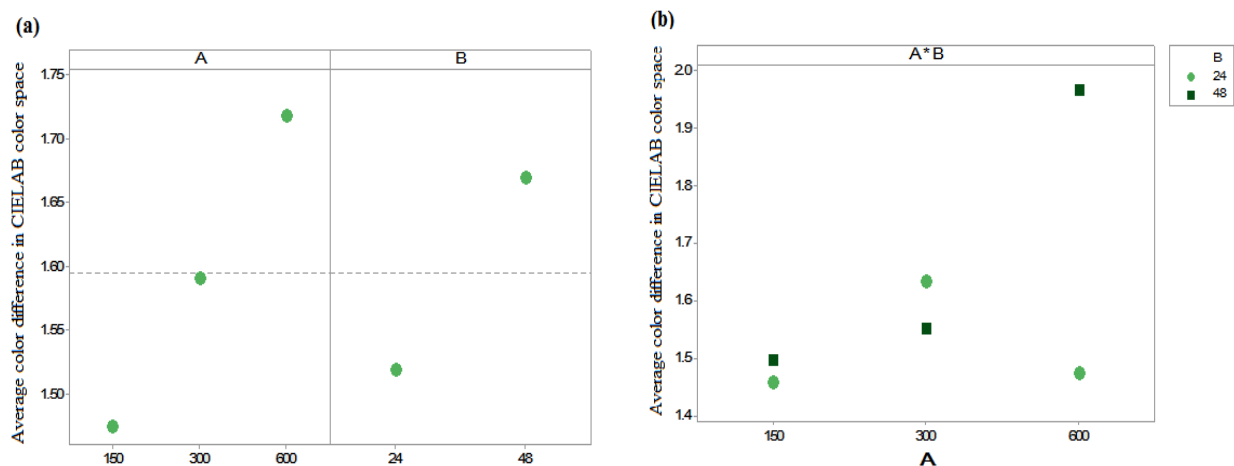
شکل ۳: (a) نمودار اثرات اصلی و (b) نمودار اثرات متقابل برای مجموعه نمونه‌های دوم (قرمز).

Figure 3: a) Main effects plot and b) Interaction effects plot for the second set of samples (red)..

جدول ۶: تحلیل واریانس جهت بررسی تاثیر عوامل A و B بر اختلاف رنگ ΔE_{ab}^* جفت نمونه‌ها، مجموعه نمونه‌های سوم (سبز).

Table 6: Analysis of Variance to assess the effects of factors A and B on the ΔE_{ab}^* color difference of pairs, the third set of samples (green).

Factor	degrees of freedom (df)	Sum of squares (SS)	Mean squares (MS)	F value	P value
A	2	0.593	0.297	0.700	0.501
B	1	0.341	0.341	0.800	0.374
Interaction of A and B	2	0.919	0.460	1.080	0.346
Error	54	22.900	0.424	-	-
Total	59	24.754	-	-	-



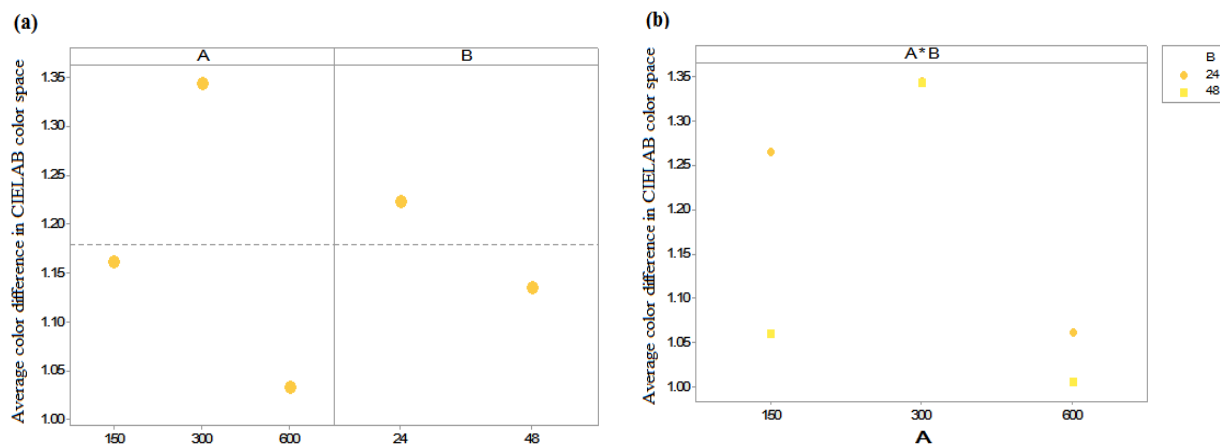
شکل ۴: (a) نمودار اثرات اصلی و (b) نمودار اثرات متقابل برای مجموعه نمونه‌های سوم (سبز).

Figure 4: a) Main effects plot and b) Interaction effects plot for the third set of samples (green).

جدول ۷: تحلیل واریانس جهت بررسی تاثیر عوامل A و B بر اختلاف رنگ ΔE_{ab}^* جفت نمونه‌ها، مجموعه نمونه‌های چهارم (زرد).

Table 7: Analysis of Variance to assess the effects of factors A and B on the ΔE_{ab}^* color difference of pairs, the fourth set of samples (yellow).

Factor	degrees of freedom (df)	Sum of squares (SS)	Mean squares (MS)	F value	P value
A	2	0.978	0.489	1.790	0.176
B	1	0.117	0.117	0.430	0.515
Interaction of A and B	2	0.112	0.056	0.210	0.815
Error	54	14.710	0.273	-	-
Total	59	15.916	-	-	-



شکل ۵: (a) نمودار اثرات اصلی و (b) نمودار اثرات متقابل برای مجموعه نمونه‌های چهارم (زرد).

Figure 5: a) Main effects plot and b) Interaction effects plot for the fourth set of samples (yellow).

در حالی که اثر دو عامل دیگر یعنی قدرت تفکیک و عمق بیتهی بر متغیر پاسخ معنادار نیست. همچنین با توجه به این جدول می‌توان مشاهده نمود که اثر متقابل عوامل AB، AC و BC نیز معنادار نیست.

در شکل ۶ نیز، نمودار اثرات اصلی و متقابل سه عامل A، B و C بر متغیر پاسخ نشان داده شده است. در شکل ۶ (a)، مشاهده می‌گردد که عامل A یعنی فام نمونه‌ها بر متغیر پاسخ اثرگذار است که نتایج تحلیل واریانس در جدول ۸ نیز این مسئله را تایید می‌نماید. همچنین با توجه به این شکل، دو عامل قدرت تفکیک و عمق بیتهی اثرات جزئی بر متغیر پاسخ دارند که با توجه به نتایج تحلیل واریانس در جدول ۸، این اثر معنادار نیست.

نمودار تاثیر متقابل عوامل AB، AC و BC نیز در شکل ۶ (b) نشان می‌دهد که تاثیر متقابل بین عوامل مذکور وجود دارد زیرا خطوط فرضی بین داده‌ها موازی نیست، اما با توجه به نتایج تحلیل واریانس در جدول ۸، اثر متقابل بین عوامل یاد شده معنادار نیست.

۳-۳- بررسی اثر فام نمونه‌ها بر نتایج حاصل از پویشگر

به منظور بررسی اثر فام نمونه‌های پارچه بر نتایج حاصل از پویشگر، عامل فام (A) در ۴ سطح (آبی، قرمز، سبز و زرد)، قدرت تفکیک (B) در ۳ سطح (۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ نقطه در اینچ) و عمق بیتهی (C) در ۲ سطح (۲۴ و ۴۸ نقطه در اینچ) به عنوان متغیرهای مستقل و اختلاف رنگ جفت نمونه‌های رنگی در فضا رنگ CIELAB به عنوان متغیر پاسخ در طرح عاملی کامل در نظر گرفته شد. بنابراین در مجموع ۲۴۰ آزمایش طراحی شده و مورد ارزیابی قرار گرفت.

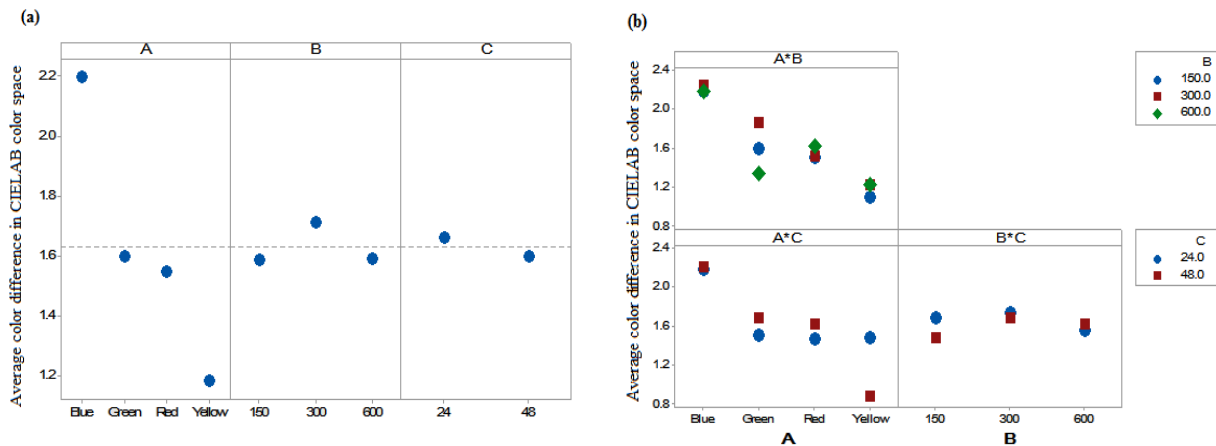
در جدول ۸ تحلیل واریانس برای ارزیابی تاثیر سه عامل فام، قدرت تفکیک و عمق بیتهی بر اختلاف رنگ جفت نمونه‌ها نشان داده شده است. برای بررسی اثر معناداری عوامل بر متغیر پاسخ از مقدار P در فاصله اطمینان ۹۵ درصد بهره گرفته شد.

مطابق با نتایج به دست آمده از جدول ۸، عامل A یعنی فام نمونه‌ها بر اختلاف رنگ جفت نمونه‌ها تاثیر معنادار دارد ($P < 0.05$).

جدول ۸: تحلیل واریانس جهت بررسی تاثیر سه عامل A، B و C بر اختلاف رنگ ΔE_{ab}^* جفت نمونه‌ها، ۴ مجموعه نمونه‌های رنگی.

Table 8: Analysis of Variance to assess the effects of factors A and B on the ΔE_{ab}^* color difference of pairs, 4 sets of color samples.

Factor	degrees of freedom (df)	Sum of squares (SS)	Mean squares (MS)	F value	P value
A	3	31.874	10.625	14.320	0.000
B	2	0.811	0.406	0.550	0.580
C	1	0.244	0.244	0.330	0.567
Interaction of A and B	6	2.346	0.394	0.530	0.784
Interaction of A and C	3	6.020	2.007	2.710	0.056
Interaction of B and C	2	0.660	0.330	0.440	0.642
Error	216	160.225	0.742	-	-
Total	239	202.651	-	-	-



شکل ۶: (a) نمودار اثرات اصلی و (b) نمودار اثرات متقابل برای ۴ مجموعه نمونه‌های رنگی.

Figure 6: a) Main effects plot and b) Interaction effects plot for 4 sets of color samples.

با خاموش شدن تعدادی از حسگرها در قدرت تفکیک کمتر، نمونه‌برداری صورت می‌پذیرد. به طور کلی می‌توان بیان کرد که در این مطالعه احتمال تغییر رنگ با تغییر قدرت تفکیک بسیار کم بوده است. در بیان علت عدم تاثیر معنادار عمق بیتهی بر متغیر پاسخ می‌توان به کوچک بودن فواصل رنگی بین نمونه‌ها اشاره نمود. هنگامی که پوشش نمونه در عمق بیتهی ۲۴ انجام می‌شود، ۸ بیت برای هر یک از کانال‌های رنگی R، G و B در نظر گرفته می‌شود و در هر کانال ۲۵۶ رنگ با مقادیر ۰ تا ۲۵۵ کدبندی می‌شوند، در حالی که در حالت عمق بیتهی ۴۸، ۱۶ بیت برای هر کانال اختصاص می‌یابد و ۶۵۵۳۶ رنگ که در هر کانال با مقادیر ۰ تا ۶۵۵۳۵ کدبندی شده‌اند در دسترس می‌باشد که این عامل باعث می‌شود رنگ با دقت

به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان نمود که تغییر قدرت تفکیک بر اختلاف رنگ جفت نمونه‌های پارچه ای با فواصل رنگی کوچک در فضا رنگ CIELAB موثر نیست. علت این امر را می‌توان در فرآیند نمونه‌برداری در راستای طولی و عرضی توسط پوششگر جستجو کرد. پوششگر در قدرت تفکیک ۳۰۰ نقطه در اینچ، نمونه مورد پوشش را در فواصل ۰،۰۰۳۳ اینچ (در راستای طولی) اندازه‌گیری می‌کند. در واقع فاصله یک توقف هد پوششگر توسط موتور پله‌ای تا توقف دیگر به قدری کوچک است که در این فاصله مسلماً تغییرات رنگی در تصویر بسیار ناچیز خواهد بود. با کاهش قدرت تفکیک، فاصله نمونه‌برداری افزایش می‌یابد که نتایج نشان می‌دهد هیچ یک از اطلاعات تصویر از بین نرفته است. در راستای عرضی نیز،

پاسخ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل واریانس نشان داد که دو عامل یاد شده اثر معنادار بر متغیر پاسخ نداشته است. بنابراین تغییر قدرت تفکیک و عمق بیته بر نتایج حاصل از پوش پارچه در فضای کوچکی از فضا رنگ CIELAB بی‌تاثیر بوده است. این نتایج برای رنگ‌های مختلف مورد بررسی در این تحقیق نیز صادق بوده است. همچنین بررسی اثر فام نمونه‌ها بر نتایج حاصل از پوشگر نشان داد که فام نمونه‌های پوش شده بر میانگین اختلاف رنگ اثر معنادار داشته است. ارزیابی‌های انجام شده در این تحقیق در کاربردهای مختلف از جمله در دسته‌بندی شید می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. شایان ذکر است که نتایج به دست آمده در این تحقیق وابسته به دستگاه (پوشگر مورد استفاده) است که لازم است به این مسئله توجه گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از همکاری و حمایت دانشگاه گیلان تقدیر و تشکر می‌نمایند.

بیشتری توسط پوشگر اندازه‌گیری شود [۴]. با اینکه استفاده از عمق بیته ۴۸ موجب می‌شود که تعداد رنگ‌های موجود بین تیره‌ترین و روشن‌ترین رنگ در تصویر پوش شده نسبت به عمق بیته ۲۴، بیشتر شناسایی شده و اندازه‌گیری رنگ دقیق‌تر صورت پذیرد. با این حال، احتمالاً به دلیل کوچک بودن اختلاف رنگی بین نمونه‌ها، تعداد رنگ‌های موجود در حد فاصل بین روشن‌ترین و تیره‌ترین رنگ در تصویر کمتر بوده و عامل عمق بیته تاثیر معناداری بر متغیر پاسخ نداشته است.

۴- نتیجه‌گیری

هدف از تحقیق حاضر بررسی میزان دقت و عملکرد پوشگر بر اندازه‌گیری رنگ پارچه در فضای کوچکی از فضا رنگ CIELAB می‌باشد. بدین منظور تاثیر دو عامل یعنی قدرت تفکیک و عمق بیته بر اختلاف رنگ جفت نمونه‌ها به روش طرح عاملی کامل بررسی شد. عامل A یعنی قدرت تفکیک در سه سطح (۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ نقطه در اینچ) و عامل B یعنی عمق بیته در دو سطح (۲۴ و ۴۸) بر متغیر

۵- مراجع

1. A. Shams-Nateri, E. Hasanlou, Computer vision techniques for measuring and demonstrating color of textile in Applications of Computer Vision in Fashion and Textiles, ed: Elsevier, 2018, 189-220.
2. M. Safi, F. Mola, Color Management: A Necessity for Reproduction of Digital Color Images. *J. Stud. Color World*, 7(2017), 67-81.
3. M. Safi, Reconstruction and Extension of a Scalable Spectral Space for Study of Single Component Dyeing Systems on Textiles Using Colorimetric Characterization of Scanner. *J. Color Sci. Tech.* 7(2013), 249-256.
4. H. Fashandi, S. H. Amirshahi, S. Gorji Kandi, Evaluation of scanner capability for measuring the color of fabrics with different textures in different setups. *Fibers Polym.* 11(2010), 767-774.
5. P. C. Hung, Colorimetric calibration for scanners and media, in Camera and Input Scanner Systems. *SPIE*, Vol. 1448, 164-174, 1991.
6. J. Gilbert, How to Do Everything with Your Scanner, Osborne/McGraw-Hill. 2001, 1-60.
7. A. Mahmoudi Nahavandi, Taking Full Advantage of RGB Sensor's Colorimetric Characteristics in Multi Spectral Imaging. *Prog. Color Colorants Coat.* 13(2020), 121-130.
8. K. Pender, Digital colour in graphic design, CRC Press, 2012, 21-35.
9. H. Izadan, Assessment of colour and colour fastness of textile materials, Ph.D thesis, University of Leeds, England, 2007.
10. A. Khandual, G. Baci, J. Hu, D. Zheng, Color characterization for scanners: Dpi and color co-ordinate issues. *IJARCSSE*, 2(2012), 354-365.
11. M. Kozicki, E. Şaşıadek, Scanning of flat textile-based radiation dosimeters: Influence of parameters on the quality of results. *Radiat. Meas.* 58(2013), 87-93.
12. E. Hasanlou, A. Shams-Nateri, H. Izadan, Optimizing the setup of a flatbed color scanner for color measurement using full factorial design. *Color Res Appl.* 44(2019), 718-729.
13. P. Aveiro, Design of experiments in production engineering, Davim JP, editor. Basel, Switzerland: Springer International Publishing, 2016, 1-43.
14. H. Amirshahi, F. Agahian, Computational color physics. 1th printing. Arkan Danesh publish, 2007.
15. A. Shams-Nateri, Measuring reflectance spectra of textile fabrics by scanner. *J Text Sci. Eng.* 1(2011), 1-13.
16. D. G. C. Harper, Some comments on the repeatability of measurements. *Ring. Migr.* 15(1994), 84-90.

How to cite this article:

E. Hasanlou, A. Shams nateri, H. Izadan, The Effect of Scanner Resolution and Bit Depth on Measuring Color Changes of Fabric In Small Color Space. *J. Color Sci. Tech.* 16, 2(2022), 123-134.

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.2.3.7