وزارت علوم تحقیقات و فناوری
موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش

available online @ www.jcst.icrc.ac.ir
نشریه علمی- پژوهشی علوم و فناوری رنگ/ ۷ (۱۳۹۲)، ۳۵- ۲۵

نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ
Journal of Color Science and Technology
www.jcst.icrc.ac.ir

استتار منسوج پنبه‌ای در ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک با استفاده از رنگزای خمی

اورانوس گودرزی[۱]، جواد مختاری[۲*]، مهدی نوری[۳]

۱ـ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۶۳۵
۲ـ استادیار، گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۶۳۵
۳ـ دانشیار، گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۶۳۵

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۲/۳/۲۰

چکیده

سه رنگزای خمی آبی ۶، زرد ۲ و قرمز ۱۳ برای ایجاد استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک و تقلید طیف انعکاسی سه نوع برگ سبز استاندارد روی کالای پنبه‌ای به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که طیف انعکاسی کالای رنگرزی شده با مخلوطی از رنگزاها هنگامی که درصد رنگزای خمی آبی ۶ نسبت به وزن کالا برابر ۰٫۸۵ ٪ و ۱٫۲ ٪ باشد، بیشترین شباهت را با طیف انعکاسی برگ سبز دارد که نشان‌دهنده نقش مهم خمی آبی ۶ در استتار زیر قرمز نزدیک است. شیدهای سبز مربوط به برگ درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ، سبز ناتو و سبز جنگلی با اختلاف رنگ کمتر از دو واحد در فضارنگ CIE1976 روی پارچه پنبه‌ای به دست آمد. نتایج آنالیز آماری نیز همانندی منحنی‌های انعکاسی نمونه‌ها و استاندارد را تأیید کرد ($0<R^2<1$). نتایج حاصل از ثبات‌های شستشویی و نوری نمونه‌ها نشان داد که رنگزاهای مورد نظر، ثبات‌های قابل قبولی را روی پارچه پنبه‌ای ایجاد می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: استتار، زیر قرمز نزدیک، پارچه پنبه‌ای، سبز ناتو، سبز جنگلی، رنگزای خمی.

Camouflage of Cotton Fabrics in Visible and Near Infrared Region Using Vat Dyes

U. Goudarzi, J. Mokhtari*, M. Nouri
Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan, P.O.Box:41635, Rasht, Iran
Received: 17-01-2012 Accepted: 22-07-2012 Available online: 10-06-2013

Abstract

Three vat dyes, namely C.I. Vat Blue 6, C.I. Vat Yellow 2 and C.I. Vat Red 13, were employed on cotton fabrics in order to provide camouflage in NIR region and imitate reflectance profile of greenish leaves. Results showed that the reflectance curve of dyed fabric with the mixture of dyes when concentration of Vat Blue 6 is 0.85% (owf) and 1.2% (owf), has more similarity with reflectance profile of greenish leaf, which states that vat blue 6 plays an important role in NIR camouflage. Green shades related to deciduous tree leaf and coniferous needle, NATO and forest green were received on cotton fabrics with color difference less than 2, in CIE1976 color space. The results of statistical analyses confirmed the matching of reflectance curves of the samples and the standard ($0<R^2<1$). Wash and light fastness properties results of the samples showed that the dyes offer acceptable fastnesses on cotton fabric. J. Color Sci. Tech. 7(2013), 25-35© Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Camouflage, NIR, Cotton fabric, NATO green, Forest green, Vat dye.

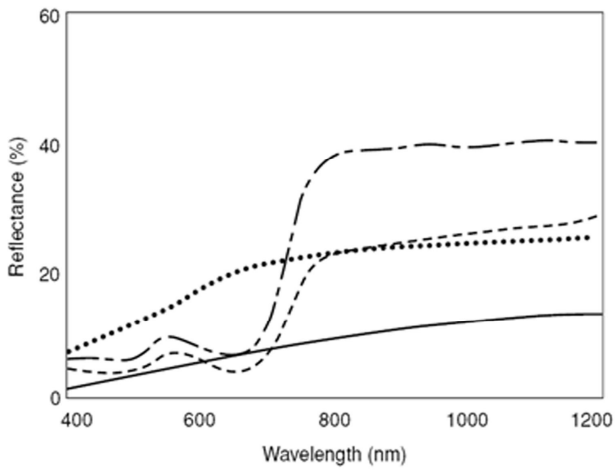
***Corresponding author: j.mokhtari@guilan.ac.ir**

۱ـ مقدمه

انسان از زمان‌های قدیم، اصول و فنون پنهان‌سازی و فریب را در جنگ و شکار مورد استفاده قرار داده است. ساکنان کره زمین در هنگام شکار و یا مخفی‌شدن از استتار[1] استفاده می‌کنند. کسانی که در غارها زندگی می‌کرده‌اند پوست حیوانات، سبزیجات و علف‌ها را به تن می‌کردند که بتوانند تا حد امکان به طعمه یا شکار خود نزدیک شوند. استتار از اصول و عوامل پدافند غیرعامل می‌باشد و از مهم‌ترین حیله‌های جنگی است که باید برای فریب دشمن به کار رود. بنابراین استتار، پنهان‌سازی و فریب یکی از مباحث مهم در مجامع نظامی کشورها می‌باشد. حفاظت نیروهای نظامی و تجهیزات آنها برای یک ارتش بسیار حائز اهمیت است [۲، ۱]. در ابتدا برای پنهان‌سازی، استتار تنها در ناحیه مرئی صورت می‌گرفت. اما در سال‌های اخیر با پیشرفت علم، تجهیزات ردیابی نیز به سرعت پیشرفت کرده و در محدوده‌های متفاوتی از طیف الکترومغناطیس عمل می‌کنند [۱]. بنابراین پنهان‌سازی در مقابل این تجهیزات، یکی از موضوعات مهم در مجامع نظامی می‌باشد. یکی از راه‌های در امان ماندن، استتار افراد و تجهیزات آنها می‌باشد. با پیشرفت تجهیزات ردیابی در میدان رزم، که در محدوده‌های متفاوتی از طیف الکترومغناطیس عمل می‌کنند، سلاح‌های سربازان نه تنها در محدوده مرئی، بلکه باید در محدوده‌های وسیعی از طیف، مانند فرابنفش، زیر قرمز، رادار و غیره استتار شود [۲]. به منظور ایجاد استتار در ناحیه مرئی، یک هدف باید از نظر رنگ، بافت و الگو با محیط اطرافش همانند باشد. در این ناحیه از طیف الکترومغناطیس، ظاهر هدف و همانندی آن با محیط اطرافش بسیار مهم است و ارزیابی استتار معمولا از طریق رنگ همانندی و اندازه‌گیری اختلاف رنگ با دستگاه انجام می‌شود. اما در ناحیه زیر قرمز نزدیک، مشاهده و شناسایی هدف با استفاده از تجهیزات دید شب[2] انجام می‌گردد. به این صورت که این تجهیزات پرتو زیر قرمز را به محیط تابانده و سپس بازتاب آن را مورد بررسی قرار می‌دهند. چنانچه هدف مورد نظر انعکاسی مشابه با انعکاس اجزاء محیط اطرافش داشته باشد، قابل شناسایی توسط این دستگاه‌ها نبوده و در مقابل آنها استتار می‌شود. بنابراین در ناحیه زیر قرمز نزدیک، طیف انعکاسی دارای اهمیت می‌باشد و طیف انعکاسی هدف، باید با طیف انعکاسی اجزاء محیط اطراف آن همانند باشد. بنابراین ارزیابی استتار در این ناحیه از طریق اندازه‌گیری طیف انعکاسی منسوج استتار شده و مقایسه این طیف با طیف انعکاسی اجزاء محیط انجام می‌شود [۴، ۳]. اجزاء طبیعی مهم موجود در طبیعت شامل ماسه، خاک و شاخ و برگ درختان می‌باشد. منحنی انعکاسی این اجزا باید به وسیله مواد استتاری همانند شود. طیف انعکاسی اجزاء محیط در شکل ۱ نشان داده شده است [۵].

مقادیر انعکاس اجزاء طبیعی در ناحیه زیر قرمز نزدیک، به این صورت می‌باشد: برگ درختان: ۵۰-۹۰٪، خاک: ۱۵-۲۰٪ و ماسه: ۴۰-۳۰٪ [۶]. لذا با توجه به اجزاء غالب موجود در طبیعت، رنگ‌هایی که در اغلب الگوهای استتاری یافت می‌شود، عبارتند از: سبز، زیتونی، قهوه‌ای، خاکی و مشکی. این رنگ‌ها می‌توانند در غالب مشخصات رنگی در فضارنگ CIE (در ناحیه مرئی) و یا در غالب طیف انعکاسی (در ناحیه زیر قرمز نزدیک) اندازه‌گیری شوند [۷، ۴-۱].

یکی از روش‌های استتار نمودن الیاف و اصلاح میزان انعکاس زیر قرمز نزدیک در آنها، افزودن ذرات افزودنی در مقیاس میکرو و نانو به پلیمر در حین تولید آن می‌باشد. امروزه این امر برای شیدهای تیره و چاپ‌های طرح جنگلی و با استفاده از رنگزاهای انتخابی روی نایلون ۶۶ امکان‌پذیر است. اما باید توجه داشت که الیاف نایلون ۶۶ دارای انعکاس بالایی در ناحیه زیر قرمز نزدیک بوده و رنگزاهای متداول که برای رنگرزی و چاپ استفاده می‌شوند، در زمان مشاهده با عینک‌های دید شب غیرفعال، تاثیر کمی برای کاهش این انعکاس بالا دارند. این مسأله سبب ایجاد انعکاس بالا در محدوده nm ۹۰۰-۶۰۰، جایی که دستگاه‌های دید شب عمل می‌کنند، می‌شود. لذا در مطالعه برای بهبود خواص انعکاسی نایلون و کاهش میزان انعکاس آن در ناحیه زیر قرمز نزدیک، از نانوذراتی در حین تولید و پلیمریزاسیون نایلون استفاده شده است [۸]. از روش‌های متداول استتار منسوجات، رنگرزی و چاپ آنهاست. برای چاپ‌های استتاری بر روی منسوجات از رنگدانه های مختلفی استفاده می‌شود. از جمله رنگدانه‌هایی که برای چاپ‌های استتاری منسوجات به کار می‌رود، رنگدانه‌های کربن سیاه،



شکل ۱: طیف انعکاسی اجزاء طبیعی: ——— برگ درخت لیمو، ..... شن خشک، ----- برگ درخت صنوبر، — خاک [۵].

1 - Camouflage
2 - Night Vision Goggles (NVG)

زرد سودارشان[1] و قرمز سیگنال[2] می‌باشند، که نقش مهمی را در میزان نهایی انعکاس زیر قرمز، بازی می‌کنند. کربن سیاه مقدار انعکاس در زیر قرمز را تا مقدار زیادی کاهش می‌دهد، زیرا انعکاس آن در زیر قرمز بسیار کم است (در حدود ۲٪)، در حالی که قرمز سیگنال و زرد سودارشان، که یک ترکیب کادمیومی است، دارای میزان انعکاس بالایی هستند. در مطالعه‌ای براساس فرمولاسیون رنگدانه‌های غیر آلی، خاصیت استتاری منسوج پنبه- نایلونی با استفاده از پیونده اکریلیک[3] بررسی شده است [۶]. نوع دیگر رنگدانه‌های منعکس‌کننده زیر قرمز، اکسیدهای فلزی مانند دی‌اکسید تیتانیم و دی‌اکسید سیلیسیم می‌باشند که در ناحیه زیر قرمز میزان انعکاس بالایی داشته و خاصیت استتاری منسوجات را بهبود می‌بخشند [۹].

متداول‌ترین روش برای ایجاد خاصیت استتار بر روی الیاف، رنگرزی آنهاست. الیاف مختلف می‌توانند با محدوده وسیعی از مواد رنگزا، رنگرزی شوند. در سال‌های اخیر، دسته‌های متفاوتی از مواد رنگزا بر روی الیاف، به منظور استتار آنها، استفاده شده است [۱۰، ۷]. به عنوان مثال برای استتار منسوج پلی‌استر از رنگزای دیسپرس [۱۱] و برای منسوج نایلون از مواد رنگزای اسیدی استفاده شده است [۷]. باید توجه داشت که خواص استتاری الیاف رنگرزی شده، ارتباط مستقیمی با ساختار رنگزای به کار رفته دارد [۸]. یکی از دسته‌های مواد رنگزا که خواص ثباتی خوبی روی الیاف سلولزی داشته و اخیرا استفاده از آنها برای مقاصد استتاری افزایش یافته است، مواد رنگزای خمی می‌باشد. رنگزاهای خمی که برای استتار زیر قرمز استفاده می‌شوند، باید دارای ساختارهای آنتراکینون[4]، بنزانترون[5] یا حلقه‌های پلی‌سیکلیک آکریدین[6] باشند تا بتوانند طیف انعکاسی مورد نظر در ناحیه زیر قرمز نزدیک و خاصیت استتاری را بر روی منسوج پنبه‌ای ایجاد نمایند [۵].

با بررسی‌های به عمل آمده مشخص گردید که در اغلب مطالعات، استتار همزمان در ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک انجام نگرفته و بیشتر مقالات به استتار در این دو ناحیه به طور مجزا پرداخته‌اند. هدف این تحقیق بررسی استتار در ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک به صورت همزمان است. برای این منظور، سه ماده رنگزای خمی C.I. Vat Blue 6، C.I. Vat Yellow 2 و C.I. Vat Red 13، برای استتار پارچه پنبه‌ای انتخاب و ساختار شیمیایی و خواص استتاری این مواد رنگزا بر روی پارچه پنبه‌ای بررسی شده است. منحنی انعکاس سه نوع برگ سبز تازه درخت، برگ درختان برگ‌ریز[7] (حد بیشینه انعکاس برگ سبز)، برگ درختان سوزنی‌برگ[8] (حد کمینه انعکاس برگ سبز) و سایر برگ‌هایی که میزان انعکاس آنها بین این دو نوع برگ قرار دارد، به عنوان استاندارد اندازه‌گیری استفاده شد. نمونه‌هایی از کالای پنبه‌ای با مخلوطی از رنگزاهای مورد استفاده برای استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک رنگرزی می‌گردند، به‌طوری‌که کالای رنگرزی شده در ناحیه مرئی با دو شید استاندارد مربوط به الگوی ارتش ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۴۸، سبز ناتو[9] و سبز جنگلی[10] و همچنین دو شید سبز مربوط به برگ درختان سوزنی‌برگ و برگ‌ریز، با اختلاف رنگ مجاز کمتر از ۲ واحد (در فضارنگ CIE1976) همانند گردد. طیف انعکاسی پارچه‌های رنگرزی شده در ناحیه زیر قرمز نزدیک و همچنین میزان اختلاف رنگ و مقادیر کروماتیکی آنها در مقایسه با استاندارد نمونه‌های رنگرزی شده، به ترتیب برای بررسی استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک و استتار در ناحیه مرئی مورد مطالعه قرار گرفت. برای بررسی دقیق همانندی طیف‌های انعکاسی در ناحیه زیر قرمز نزدیک، از آنالیزهای آماری استفاده و مقادیر مجموع مربعات انحرافات طیفی و ضریب تعیین اندازه‌گیری شده است. دو ماده رنگزای جدید به گروه مواد رنگزای خمی استتاری معرفی و در نهایت خواص ثباتی پارچه‌های رنگرزی شده با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شده است.

۲ـ بخش تجربی

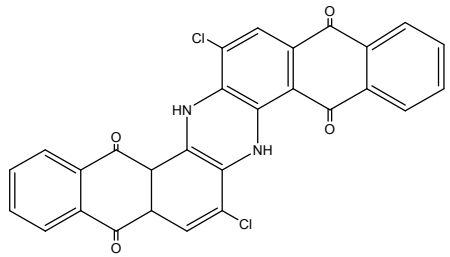
۲ـ۱ـ مواد

پارچه پنبه‌ای با بافت جناغی[11] (سفیدگری شده و مرسریزه شده)، از کارخانجات نساجی اردکان خریداری شد. مواد رنگزای خمی استفاده شده در این تحقیق، شامل C. I. Vat Blue 6 (۱۰۰٪)، C. I. Vat Yellow 2 (۱۰۰٪) و C.I. Vat Red 13 (۱۰۰٪) از شرکت سیبا خریداری شدند. ساختار شیمیایی مواد رنگزای خمی استفاده شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

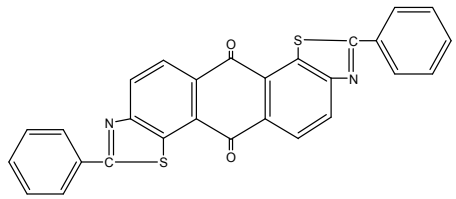
آب اکسیژنه (H_2O_2)، استیک اسید (CH_3COOH)، سود (NaOH)، هیدروسولفیت سدیم ($Na_2S_2O_4$)، کربنات سدیم (Na_2CO_3)، سولفات سدیم (Na_2SO_4)، استن (CH_3COCH_3)، شوینده غیریونی و آنیونی، همگی از نوع آزمایشگاهی بوده و از شرکت مرک خریداری شدند.

1- Sudarshan
2- Signal
3- Acrylic
4- Anthraquinone
5- Benzanthrone
6- Acridine polycyclic ring

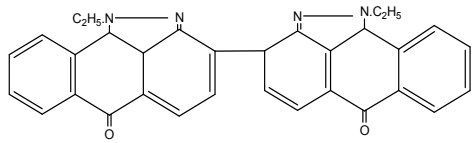
7- Deciduous tree leaf
8- Coniferous needle
9- NATO green
10- Forest green -
11- Twill



(۱)



(۲)



(۳)

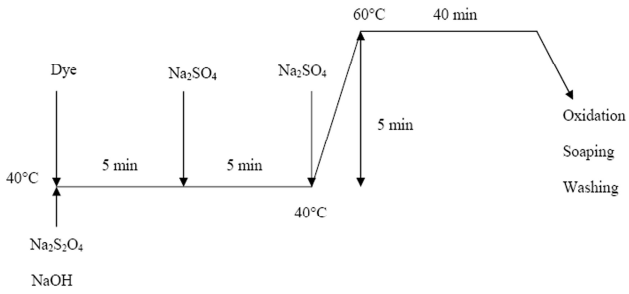
شکل ۲: ساختار شیمیایی مواد رنگزای خمی: ۱) C.I. Vat Blue 6، ۲) C.I. Vat Yellow 2 و ۳) C.I. Vat Red 13.

۲ـ۲ـ روش کار

۲ـ۲ـ۱ـ رنگرزی پارچه پنبه‌ای

ابتدا پارچه پنبه‌ای با مواد رنگزای خمی رنگرزی شد. شکل ۳ گراف رنگرزی پارچه پنبه‌ای با مواد رنگزای خمی را نشان می‌دهد.

برای انجام رنگرزی، ۱ گرم از پودر ماده رنگزا به ml ۹۹ آب مقطر در دمای °C ۷۰-۶۰ اضافه گردید و به مدت ۱۰ دقیقه به طور مداوم به هم زده شد تا پراکندگی یکنواختی از رنگزا در آب به دست آید. به این ترتیب محلول مادر (۱٪) برای هر ماده رنگزا تهیه شد. وزن هر نمونه ۱ گرم بوده و کل حجم حمام رنگرزی ml ۴۰ بود. برای عمل احیا مقادیر مورد نیاز از مواد رنگزا به حمام رنگرزی اضافه شده، سپس ml/l ۳۶ سود و g/l ۳۶ هیدروسولفیت سدیم برای شید سبز ناتو، ml/l ۵۱،۵ سود و g/l ۵۱،۵ هیدروسولفیت سدیم برای شید سبز جنگلی، ml/l ۲۸ سود و g/l ۲۸ هیدروسولفیت سدیم برای شید سبز برگ درختان برگ‌ریز و ml/l ۷۲ سود و g/l ۷۲ هیدروسولفیت سدیم برای شید سبز برگ درختان سوزنی‌برگ به حمام رنگرزی اضافه شد. دمای حمام در °C ۴۰ تنظیم گردید. پارچه پنبه‌ای وارد حمام رنگرزی شد. محلول داخل حمام رنگرزی، به طور مداوم به هم زده شد و رنگرزی در دمای °C ۴۰ به مدت ۱۰ دقیقه ادامه پیدا کرد.



شکل ۳: فرآیند رنگرزی با مواد رنگزای خمی.

سپس دمای حمام به °C ۶۰ افزایش یافته و رنگرزی در این دما به مدت ۴۰ دقیقه انجام شد. به منظور رمق‌کشی بهتر ماده رنگزا، نمک سولفات سدیم در دو مرحله، با فواصل زمانی ۱۰ دقیقه با مقادیر g/l ۱۲،۴، g/l ۱۸،۶، g/l ۹،۶۵ و g/l ۲۴،۸ به ترتیب برای شید سبز ناتو، سبز جنگلی، شید سبز برگ درختان برگ‌ریز و شید سبز برگ درختان سوزنی‌برگ، به حمام رنگرزی اضافه گردید. پس از اتمام رنگرزی، نمونه‌ها از داخل حمام خارج شدند. اکسیداسیون نمونه‌ها در دو مرحله انجام شد: در مرحله اول نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه به طور یکنواخت در معرض هوای آزاد قرار گرفتند. در مرحله دوم، نمونه‌ها در حمامی شامل ml/l ۵ آب اکسیژنه و ml/l ۱ استیک اسید، وارد شدند. کل حجم حمام، ml ۴۰ بوده و اکسیداسیون در دمای °C ۴۰ به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. پس از آن نمونه‌ها در حمامی حاوی g/l ۳ شوینده غیریونی و g/l ۲ کربنات سدیم در دمای °C ۱۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه شستشو داده شدند. در نهایت نمونه‌ها با آب سرد آب‌کشی شده و در شرایط محیط خشک شدند. به منظور حصول اطمینان از تکرارپذیر بودن آزمایشات، فرآیند رنگرزی برای هر نمونه دو بار تکرار شد.

۲ـ۲ـ۲ـ اندازه‌گیری ثبات شستشویی

برای اندازه‌گیری ثبات شستشویی کالاهای رنگرزی شده، از روش استاندارد ISO 105-C04:1993(E) و ISO105-C01:1993(E) استفاده شد. پارچه‌ها در ابعاد ۱۰۰×۴۰ میلی‌متر تهیه شدند. نمونه مورد آزمایش در بین یک قطعه پارچه هم‌جنس (پنبه) و یک قطعه پارچه غیر هم‌جنس (پشم) قرار داده شد و از یک سمت آن دوخت خورد. بعد با توجه به شرایط بیان شده در جدول ۱ شستشو انجام گرفت. پس از اتمام کار، پارچه‌ها خارج شده و وارد بشر محتوی آب سرد (دو مرتبه) شدند. سپس نمونه‌ها شستشو شده و در دمای °C ۶۰ خشک شدند. پس از خشک شدن با معیار خاکستری (تغییر رنگ و اثر لکه‌گذاری) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

جدول ۱: شرایط حمام‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری ثبات شستشویی.

استاندارد	کربنات سدیم (g/l)	شوینده آنیونی (g/l)	دما (°C)	زمان (دقیقه)	L:R
ISO 105-C04:1993(E)	۲	۵	۹۵±۲	۳۰	۵۰:۱
ISO 105-C01:1993(E)	۱	۵	۴۰±۲	۳۰	۵۰:۱

۲ـ۲ـ۳ـ اندازه‌گیری ثبات نوری

ثبات نوری نمونه‌ها با استفاده از روش استاندارد ISO 105 B02 1994(E): اندازه‌گیری شد. به این صورت که هشت کالای پشمی آبی رنگ (معیار آبی) به همراه نمونه‌ها در داخل دستگاه اندازه‌گیری ثبات رنگ در برابر نور طوری قرار داده شدند که قسمتی از پارچه‌ها در معرض نور قرار گیرند و قسمت دیگر پارچه از نور محافظت شود. کالاها به مدت یک هفته در داخل دستگاه قرار گرفتند و اختلاف رنگ بین قسمت‌های نور دیده و نور ندیده با معیار آبی سنجش شدند.

۲ـ۳ـ دستگاه‌ها

برای اندازه‌گیری λ_{max} مواد رنگزا، غلظت ۰٫۱ g/l از ماده رنگزا در محلول استن تهیه و از اسپکتروفوتومتر عبوری Cintra10، ساخت کشور استرالیا، استفاده شد. پارامترهای رنگی L* (محور روشنایی)، a* (محور قرمز- سبز) و b* (محور زرد- آبی) مربوط به برگ سبز درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ و نمونه‌های رنگرزی شده در فضارنگ CIE1976، با استفاده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی Color Eye 7000A ساخت کشور آمریکا (شرکت X-Rite) در محدوده طول موج ۴۰۰-۷۰۰ nm، تحت منبع نوری D65 و مشاهده کننده ۱۰° اندازه‌گیری شد. با مقایسه پارامترهای رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با پارامترهای رنگی شیدهای استاندارد الگوی ارتش ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۴۸ و همچنین مقادیر کروماتیکی مربوط به برگ سبز درختان، اختلاف رنگ نمونه‌های رنگرزی شده با نمونه‌های استاندارد بر اساس اختلاف رنگ CIE1976 محاسبه شد. منحنی انعکاس نمونه‌های رنگرزی شده در محدوده طول موج ۴۰۰-۱۱۰۰ nm با استفاده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی Analytik Jena Specord 250، ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های انعکاس برای هر نمونه، چهار بار انجام شده و قبل از هر اندازه‌گیری، نمونه‌ها به اندازه ۹۰° چرخیدند. میانگین اندازه‌گیری‌ها برای هر نمونه، به عنوان مقدار نهایی ثبت شد.

۳ـ نتایج و بحث

استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک

به منظور ایجاد استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک باید طیف انعکاسی هدف با طیف انعکاسی اجزاء محیط اطراف آن همانند باشد. یکی از اجزای طبیعی مهم در طبیعت، که برای استتار زیر قرمز باید طیف انعکاسی آن را همانند نمود، برگ سبز درخت می‌باشد. بنابراین یکی از رنگ‌هایی که در اغلب الگوهای استتاری وجود دارد، رنگ سبز است. این رنگ از رنگ سبز کلروفیل موجود در گیاهان سبز و برگ درختان حاصل می‌شود [۶].

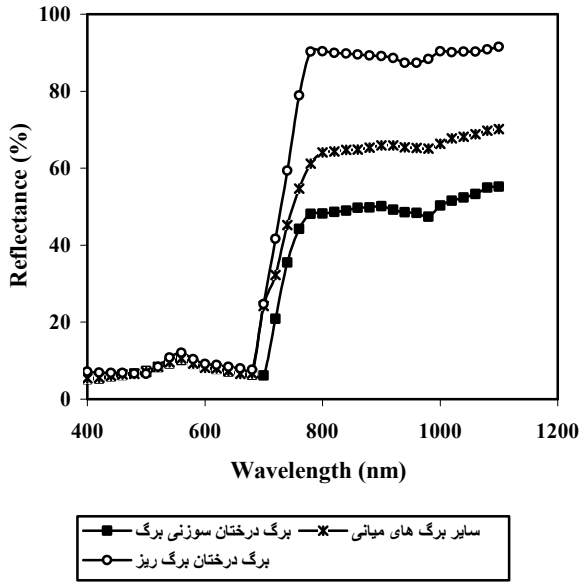
باید توجه داشت که نواحی مختلف، دارای پوشش گیاهی متفاوتی می‌باشند. همچنین میزان انعکاس یک برگ، در ناحیه زیر قرمز نزدیک، در فصل تابستان و زمستان متفاوت است [۱۰]. بنابراین برای همانند نمودن منحنی انعکاس برگ سبز، باید یک طیف انعکاسی استاندارد را به عنوان مرجع در نظر گرفت تا بتوان همه ارزیابی‌ها را با توجه به آن انجام داد. در مراجع ذکر شده است که برگ سبز درختان برگ‌ریز و درختان سوزنی‌برگ، به عنوان مرجع استاندارد اندازه‌گیری‌ها در نظر گرفته می‌شود. در واقع برگ درختان سوزنی‌برگ و درختان برگ‌ریز به ترتیب به عنوان حد کمینه و بیشینه انعکاس برگ سبز در ناحیه زیر قرمز نزدیک در نظر گرفته شده و انعکاس بقیه گیاهان و برگ‌های سبز، در محدوده انعکاس این دو نوع برگ قرار می‌گیرد [۱۱، ۱۰]. در مطالعه‌ای ژانگ و همکارانش برای استتار منسوج پنبه‌ای از چند ماده رنگزای خمی مانند C.I. Vat Blue 13، C.I. Vat Orange 1، C.I. Vat Yellow 33 و C.I. Vat Black 27 استفاده نمودند. با اندازه‌گیری طیف انعکاسی دو نوع برگ سبز درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ و انجام رنگ‌همانندی، شید سبز مربوط به این دو نوع برگ سبز را بر روی منسوج پنبه‌ای، با اختلاف رنگ نسبتا بالایی (در حدود ۸ واحد)، به دست آوردند. این محققان طیف انعکاسی منسوج رنگرزی شده را اندازه‌گیری نموده و با توجه به قرارگیری منحنی انعکاسی پارچه رنگرزی شده در محدوده انعکاس برگ سبز درختان، اظهار داشتند که استتار در ناحیه زیر قرمز برای منسوج پنبه‌ای صورت

گرفته است (ارزیابی کیفی) [۱۰]. در این تحقیق از نتایج مطالعات ژانگ و همکارانش استفاده شده و استتار زیر قرمز پارچه پنبه‌ای با استفاده از دو ماده رنگزای خمی استتاری جدید (C.I. Vat Blue 6 و C.I. Vat Red 13) و یک رنگزای خمی استتاری متداول (C.I. Vat Yellow 2)، با همانندی دو شید سبز مربوط به برگ درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ و همچنین دو شید سبز استاندارد مربوط به الگوی نظامی ارتش ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۴۸، با اختلاف رنگ مجاز (کمتر از ۲ واحد)، انجام شد. همچنین خواص ثباتی مواد رنگزا در کالای رنگرزی شده و ارزیابی همانندی نمودارهای انعکاسی و استتار زیر قرمز با استفاده از آنالیزهای آماری (ارزیابی کمّی) بررسی شد. برای این منظور طیف انعکاسی سه نوع برگ سبز، یعنی برگ درختان برگ‌ریز، برگ درختان سوزنی‌برگ و برگ درختانی که انعکاس آنها در محدوده انعکاس این دو نوع برگ قرار دارد، به ترتیب، به عنوان حد بیشینه، کمینه و میانی انعکاس برگ سبز درختان اندازه-گیری شد. طیف انعکاسی این سه نوع برگ، در شکل ۴ نشان داده شده است.

از شکل ۴ مشاهده می‌شود که در طیف انعکاسی برگ درختان، افزایش ملایمی در انعکاس آنها در طول موج ۵۵۰ nm وجود دارد. این افزایش به علت انعکاس کلروفیل موجود در برگ سبز می‌باشد. سپس در محدوده ۷۸۰-۶۷۰ nm، میزان انعکاس با شیب زیادی افزایش پیدا می‌کند. بعد از این محدوده، انعکاس برگ درختان تا طول موج ۱۱۰۰ nm ثابت باقی می‌ماند. این مقدار انعکاس در ناحیه زیر قرمز، به طور تقریبی برای درختان سوزنی‌برگ ۵۰٪ و برای درختان برگ‌ریز ۹۰٪ می‌باشد. در واقع محدوده انعکاس برگ سبز در ناحیه زیر قرمز نزدیک، ۹۰-۵۰٪ می‌باشد. انعکاس انواع دیگر برگ‌های سبز در محدوده انعکاس این دو نوع برگ قرار دارد. میانگین آنها انعکاسی در حدود ۷۰٪ در ناحیه زیر قرمز نزدیک دارد.

برای ایجاد استتار جنگلی (رنگ سبز) بر روی منسوج، باید طیف انعکاسی منسوج رنگرزی شده با رنگزای مورد نظر همانند با طیف انعکاسی برگ سبز باشد و در محدوده انعکاس برگ سبز در ناحیه زیر قرمز نزدیک (۹۰-۵۰٪) قرار گیرد. بنابراین انعکاس رنگزایی که برای رنگرزی منسوج و استتار آن به کار می‌رود بسیار حائز اهمیت بوده و ارتباط مستقیمی با ساختار شیمیایی آن رنگزا دارد. به این معنی که خواص انعکاسی یک ماده رنگزا از ساختار شیمیایی آن ناشی می‌شود. بنابراین رنگزایی که برای استتار زیر قرمز به کار می‌رود، باید دارای ساختار شیمیایی مناسبی باشد تا بتواند طیف انعکاسی مورد نظر را بر روی منسوج ایجاد نماید. ساختار شیمیایی سه ماده رنگزای خمی به کار رفته، در شکل ۲ نشان داده شده است (لازم به ذکر است که رنگزای Vat Yellow 2 از جمله مواد رنگزایی است که در مقالات از آن برای استتار زیر قرمز استفاده شده است [۷].). همانگونه که از شکل ۲ مشاهده می‌شود که هر سه رنگزای استفاده شده، دارای ساختار آنتراکینون می‌باشند. بنابراین این رنگزاها دارای ساختار مناسب برای ایجاد خاصیت استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک بوده و از نظر ساختاری برای استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک قابل کاربرد می‌باشند. برای اندازه‌گیری مقدار λ_{max} مواد رنگزا، غلظت ۰٫۱ g/l محلول مواد رنگزا در استن تهیه و با استفاده از اسپکتروفوتومتر عبوری Cintra 10 مقدار λ_{max} آنها اندازه‌گیری شد. مقدار λ_{max} و مشخصات ساختاری مواد رنگزای به کار رفته در جدول ۲ نشان داده شده است.

تا این مرحله، با توجه به دارابودن ساختار شیمیایی مناسب، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مواد رنگزای به کار رفته دارای خاصیت استتاری برای ناحیه زیر قرمز نزدیک می‌باشند. بعد از این مرحله باید از طریق اندازه‌گیری طیف انعکاسی رنگزاها بر روی منسوج، اطمینان حاصل کرد که این رنگزا جزء مواد رنگزای استتاری هستند.



شکل ۴: طیف انعکاسی انواع برگ سبز.

جدول ۲: مشخصات مواد رنگزای به کار برده شده در فرآیند رنگرزی.

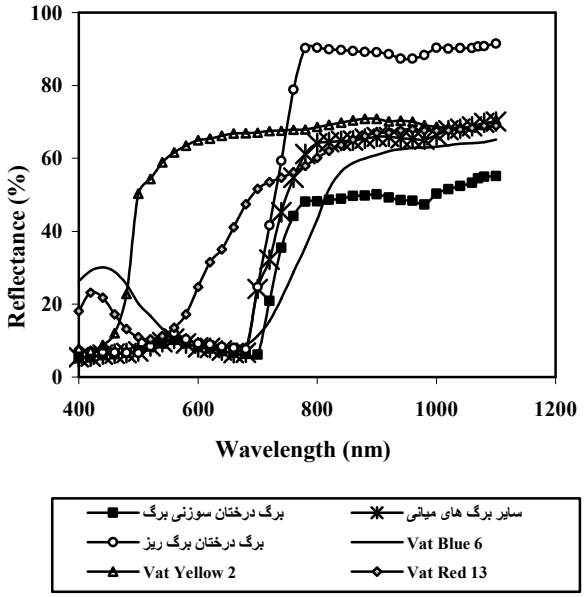
ماده رنگزا	ساختار شیمیایی	λ_{max} (nm)
C.I. Vat Blue 6	آنتراکینون	۶۶۰
C.I. Vat Yellow 2	آنتراکینون	۴۲۲
C.I. Vat Red 13	آنتراکینون	۵۲۰

برای این منظور، بعد از اندازه‌گیری منحنی انعکاس برگ سبز، ابتدا پارچه‌های پنبه‌ای به صورت تک‌رنگ با مواد رنگزای خمی رنگرزی شدند. طیف انعکاسی هر رنگزا به طور جداگانه بر روی منسوج با غلظت رنگرزی (owf) ۲٪، در کنار طیف انعکاسی برگ سبز، در شکل ۵ نشان داده شده است.

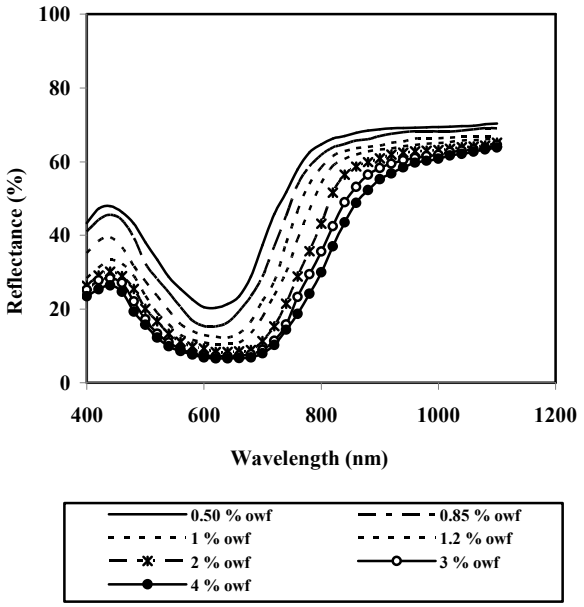
از شکل ۵ مشاهده می‌شود که انعکاس رنگزای Vat Yellow 2، در محدوده طول موج ۵۶۰-۴۴۰ nm، به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. سپس، انعکاس این رنگزا بعد از طول موج ۵۶۰ nm با مقدار ۲± ۶۷٪ ثابت می‌ماند. انعکاس رنگزای Vat Red 13، در محدوده ۷۰۰-۵۸۰ nm به سرعت افزایش می‌یابد. پس از این محدوده انعکاس رنگزا در محدوده ۶± ۶۴٪ قرار می‌گیرد. همچنین برای این رنگزا، افزایش ملایمی در انعکاس در طول موج ۴۲۰ nm مشاهده می‌شود. برای رنگزای Vat Blue 6، انعکاس در محدوده ۷۸۰-۷۰۰ nm افزایش یافته و از طرفی برای این رنگزا پیک ملایمی در طول موج ۴۴۰ nm وجود دارد. پس از طول موج ۷۸۰ nm انعکاس رنگزا در محدوده ۲± ۵۹٪ قرار می‌گیرد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود انعکاس هر سه ماده رنگزا در طول موج ۱۱۰۰-۶۷۰ nm در محدوده انعکاس برگ سبز قرار دارد (۹۰-۵۰٪). لذا سه رنگزای خمی انتخابی، دارای طیف انعکاسی مناسب در محدوده زیر قرمز بوده و در این ناحیه از میزان انعکاس کافی برخوردار هستند. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که این سه ماده رنگزا می‌توانند طیف انعکاسی برگ سبز را در صورت ترکیب‌شدن با یکدیگر با نسبت مناسب، همانند کنند. لذا این مواد رنگزا، از نظر منحنی انعکاسی نیز برای استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک مناسب می‌باشند. همچنین از شکل ۵ مشاهده می‌گردد که در مقایسه با دو رنگزای Vat Yellow 2 و Vat Red 13، طیف انعکاسی ماده رنگزای Vat Blue 6 بیشترین شباهت را با طیف انعکاسی برگ سبز دارد. به این دلیل که انعکاس این ماده رنگزا مانند انعکاس برگ سبز، در محدوده طول موج ۸۰۰-۶۹۰ nm افزایش می‌یابد. این محدوده بسیار نزدیک به محدوده ۷۸۰-۶۷۰ nm، که محدوده افزایش انعکاس برگ سبز است، می‌باشد. در صورتی که محدوده افزایش انعکاس دو رنگزای دیگر متفاوت است و در این محدوده افزایش انعکاس برگ سبز (۷۸۰-۶۷۰ nm) قرار ندارد. بنابراین از میان این سه ماده رنگزا، رنگزای Vat Blue 6 نقش بسیار مهمی را در استتار زیر قرمز بازی می‌کند. در شکل ۶ منحنی انعکاس پارچه‌های رنگرزی شده با رنگزای Vat Blue 6 در غلظت‌های مختلف رنگرزی نشان داده شده است.

همان‌گونه که از شکل ۶ مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت رنگرزی مقادیر انعکاس کاهش می‌یابد و شکل کلی نمودارها تغییر نکرده است. متوسط میزان انعکاس در ناحیه مرئی در حدود ۳۰٪ و در ناحیه زیر قرمز نزدیک ۶۶٪ می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که غلظت مناسب رنگزای Vat Blue 6 برای رنگرزی دو شید سبز ناتو و سبز جنگلی به ترتیب، (owf) ۰٫۸۵٪ و (owf) ۱/۲٪ می‌باشد (برای همانندی رنگ سبز و طیف انعکاسی برگ‌های میانی). در این دو غلظت از رنگزای Vat Blue 6، طیف انعکاسی حاصله از دو شید سبز ناتو و سبز جنگلی کاملا همانند با طیف انعکاسی برگ سبز بوده و در محدوده انعکاس آنها قرار می‌گیرد. بنابراین رنگزای Vat Blue 6 نقش مهمی را در استتار زیر قرمز بازی می‌کند.



شکل ۵: منحنی انعکاس پارچه‌های رنگرزی شده با مواد رنگزای خمی (به صورت تک‌رنگ) با غلظت رنگرزی (owf) ۲٪ در کنار منحنی انعکاس برگ سبز.



شکل ۶: منحنی انعکاس پارچه‌های رنگرزی شده با رنگزای Vat Blue 6 در غلظت‌های مختلف رنگرزی.

استتار در ناحیه مرئی

باتوجه به اینکه هدف این تحقیق ایجاد استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک و مرئی به طور هم‌زمان است، لذا علاوه بر ایجاد استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک روی کالای پنبه‌ای، استتار در ناحیه مرئی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. الگوهای استتاری مختلفی (استتار در منطقه جنگلی، استتار در منطقه بیابانی و غیره) وجود دارد که با توجه به تنوع زیاد، در این مقاله شیدهای سبز ناتو و سبز جنگلی و همچنین دو شید سبز مربوط به برگ درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ بررسی می‌گردد. برای این منظور، از رنگزاهای استتاری مورد استفاده در ناحیه زیر قرمز نزدیک برای ایجاد استتار در ناحیه مرئی و همانندی این چهار شید سبز روی کالای پنبه‌ای استفاده می‌شود. مقادیر رنگی استاندارد شیدهای سبز ناتو و سبز جنگلی، مربوط به الگوی ارتش ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۴۸ [۷] و همچنین مقادیر رنگی اندازه‌گیری شده شیدهای سبز برگ درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ، تحت منبع نوری D65، مشاهده کننده ۱۰° و فضارنگ CIE1976، در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: مقادیر رنگی استاندارد سبز ناتو و سبز جنگلی [۷] و شید سبز برگ درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ.

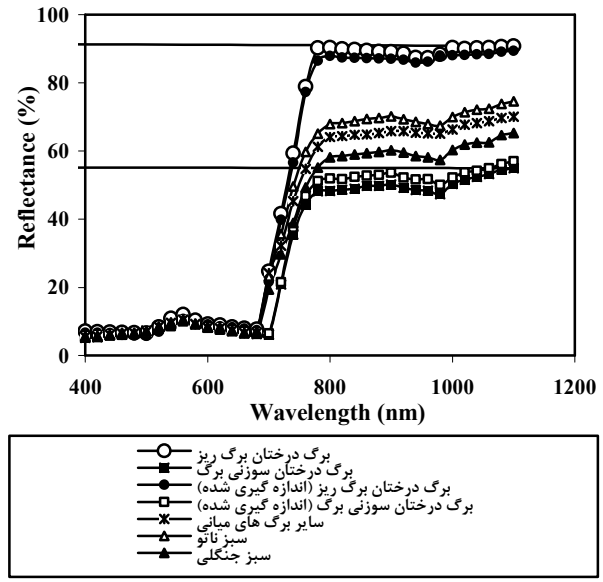
شید	L*	a*	b*
سبز ناتو [۷]	۳۶,۹۸	-۲,۱۱	۸,۰۴
سبز جنگلی [۷]	۳۱,۲۴	-۳,۰۶	۷,۶۹
درختان برگ‌ریز	۴۸,۱۳	-۴,۰۸	۱۱,۸۲
درختان سوزنی‌برگ	۲۷,۳۲	-۲,۵۴	۶,۴۹

بعد از انتخاب رنگزای مناسب برای استتار زیر قرمز، رنگزی‌های مختلفی با ترکیب درصدهای متفاوت از رنگزاها انجام شد. با بررسی کالاهای رنگرزی شده با استفاده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی و کاهش تضادها در نور روز (ناحیه مرئی)، شید سبز ناتو با درصد رنگرزی (owf) ۳,۶٪، با ترکیب رنگزاهای آبی (owf ۰,۸۵٪)، زرد (owf ۱,۱۵٪) و قرمز (owf ۱,۶٪)، شید سبز جنگلی با درصد رنگرزی (owf) ۵,۱۵٪، با ترکیب رنگزاهای آبی (owf ۱,۲٪)، زرد (owf ۱,۹٪) و قرمز (owf ۲,۰۵٪)، شید سبز برگ درختان برگ‌ریز با درصد رنگرزی (owf) ۲,۸٪، با ترکیب رنگزاهای آبی (owf ۰,۵٪)، زرد (owf ۱,۳۵٪) و قرمز (owf ۰,۹۵٪) و شید سبز برگ درختان سوزنی‌برگ با درصد رنگرزی (owf) ۷,۲٪، با ترکیب رنگزاهای آبی (owf ۳,۸٪)، زرد (owf ۱,۵٪) و قرمز (owf ۱,۹٪) بر روی پارچه پنبه‌ای به دست آمد. مقادیر کروماتیکی (CIE1976 L*, a*, b*) این شیدها اندازه‌گیری شد. اختلاف رنگ نمونه‌های رنگرزی شده با نمونه‌های استاندارد بر اساس اختلاف رنگ CIE1976 محاسبه شد. مقادیر کروماتیکی نمونه‌های رنگرزی شده با شیدهای سبز ناتو، سبز جنگلی، سبز برگ درختان برگ‌ریز و برگ درختان سوزنی‌برگ، تحت منبع نوری D65 و مشاهده کننده ۱۰°، در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴ نشان می‌دهد که تمامی مقادیر کروماتیکی شیدهای به دست آمده بسیار نزدیک به مقادیر کروماتیکی شیدهای استاندارد آنها می‌باشد. همچنین اختلاف رنگ بین هر نمونه و نمونه استاندارد آن بسیار ناچیز بوده و کمتر از ۲ واحد است. این مقدار اختلاف رنگ، مطابق با استانداردهای نظامی می‌باشد [۳]. لذا نتایج نشان می‌دهد که همانندی نمونه‌ها و استتار آنها در ناحیه مرئی به خوبی انجام شده است. شکل ۷ منحنی انعکاسی پارچه‌های پنبه‌ای رنگرزی شده با چهار شید سبز ناتو، سبز جنگلی و سبز مربوط به برگ درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ را نشان می‌دهد.

جدول ۴: مقادیر رنگی پارچه‌های پنبه‌ای رنگرزی شده با شیدهای سبز ناتو، سبز جنگلی، سبز درختان برگ‌ریز و سبز درختان سوزنی‌برگ و اختلاف رنگ آنها با نمونه استاندارد.

	غلظت ماده رنگزا (owf %)							
شید	غلظت رنگرزی (٪)	Vat Blue 6	Vat Yellow 2	Vat Red 13	L*	a*	b*	ΔE*
سبز ناتو	۳,۶	۰,۸۵	۱,۱۵	۱,۶	۳۷,۰۷	-۱,۹۶	۹,۱۷	۱,۱۴
سبز جنگلی	۵,۱۵	۱,۲	۲,۰۵	۱,۹	۳۲,۴۸	-۳,۰۴	۸,۴۹	۱,۴۸
سبز برگ‌ریز	۲,۸	۰,۵	۱,۳۵	۰,۹۵	۴۷,۸۲	-۴,۵۵	۱۲,۶۶	۱,۰۱
سبز سوزنی‌برگ	۷,۲	۳,۸	۱,۵	۱,۹۱	۲۸,۵۱	-۲,۷۸	۶,۹۱	۱,۲۹



شکل ۷: منحنی انعکاس پارچه‌های رنگرزی شده با شید سبز ناتو، سبز جنگلی و سبز مربوط به برگ‌های درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ.

از شکل ۷ مشاهده می‌شود که مشابه با طیف انعکاسی برگ سبز، نمودار مربوط به شید سبز ناتو و سبز جنگلی و دو شید سبز مربوط به برگ درختان، در طول موج ۵۵۰ nm، پیک ملایمی داشته و همچنین انعکاس آنها در محدوده طول موج ۶۷۰-۷۸۰ nm به طور ناگهانی افزایش یافته است. بنابراین شکل کلی نمودارها بسیار مشابه با نمودار انعکاس برگ سبز بوده و محدوده افزایش انعکاس این شیدها کاملا در محدوده‌ی افزایش انعکاس برگ سبز قرار دارد. لذا در مقابل دوربین‌های دید شب شناسایی نمی‌شود. در ناحیه مرئی تقریبا با منحنی برگ سبز همپوشانی داشته و در ناحیه زیر قرمز نزدیک، در محدوده انعکاس برگ درختان برگ‌ریز و درختان سوزنی‌برگ قرار دارند. میزان انعکاس پارچه‌های پنبه‌ای رنگرزی شده با دو شید سبز ناتو و سبز جنگلی در ناحیه زیر قرمز نزدیک، به ترتیب، در حدود ۷۰٪ و ۶۰٪ می‌باشد. منحنی انعکاسی این دو شید با منحنی انعکاسی برگ‌های میانی که انعکاسی بین محدوده انعکاسی برگ درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ دارند، مقایسه شده است. میزان انعکاس شید سبز ناتو بیشتر از شید سبز جنگلی است. این به خاطر تیره‌تر بودن شید سبز جنگلی نسبت به سبز ناتو است که میزان انعکاس آن را کاهش می‌دهد. همچنین منحنی‌های انعکاسی مربوط به دو شید سبز برگ درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ کاملا با منحنی‌های استاندارد مربوط به خود همانند شده‌اند. به منظور بررسی دقیق‌تر همانندی منحنی‌های انعکاسی پارچه‌های رنگرزی شده با نمودارهای استاندارد خود، از آنالیزهای آماری استفاده گردیده و مقادیر مجموع مربعات انحرافات طیفی (SSE) و ضریب تعیین (R^2)، با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۴ [۱۲] محاسبه گردید.

$$SST = \sum_{i=0}^{n} (Y_i - \overline{Y})^2 \quad (۱)$$

$$SSE = \sum_{i=0}^{n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (۲)$$

$$R^2 = 1 - SSE / SST \; (0 \le R^2 \le 1) \quad (۳)$$

$$R = \sqrt{R^2} \quad (۴)$$

که SST مجموع مربعات کل، SSE مجموع مربعات انحرافات (مجموع مربعات متغیرهای توضیح دهنده)، $\hat{Y}_i$ مقدار اندازه‌گیری شده، $\overline{Y}$ مقدار میانگین و R^2 نسبت کل تغییرات (ضریب تعیین) می‌باشد. ضریب تعیین بدون واحد بوده و مقدار آن همیشه بین ۰ و ۱ می‌باشد. در واقع ضریب تعیین برابر است با نسبت یا درصدی از تغیرات Y که توسط متغیر کمکی X توضیح داده می شود. لذا یک مدل، زمانی به عنوان یک مدل خوب در نظر گرفته می‌شود که قدرت توضیح‌دهندگی آن، که توسط ضریب تعیین R^2 اندازه‌گیری می‌شود، حتی الامکان بالا بوده و به عدد ۱ نزدیک باشد [۱۲]. جدول ۵ نتایج آماری اندازه‌گیری شده را برای نمونه‌های رنگرزی شده نشان می‌دهد.

جدول ۵: نتایج آماری مربوط به منحنی‌های انعکاسی نمونه‌های رنگرزی شده.

شید	SST	SSE	R^2	R (%)
درختان سوزنی‌برگ	۱۵۷۳۴,۴۹	۱۴۴,۴۸	۰,۹۹	۹۹,۵
درختان برگ‌ریز	۵۴۳۶۹,۴۵	۱۰۸,۳۹	۱	۱۰۰
سبز ناتو	۲۸۰۷۰,۵۴	۳۰۵,۸۴	۰,۹۹	۹۹,۵
سبز جنگلی	۲۸۰۷۰,۵۴	۷۳۱,۱۷	۰,۹۷	۹۸,۵

همان‌گونه از جدول ۵ مشاهده می‌گردد، مقادیر R^2 برای هر چهار شید در محدوده صفر تا یک قرار داشته و بسیار نزدیک به عدد ۱ است. برای شید سبز درختان سوزنی‌برگ ۹۹,۵٪، برای شید سبز درختان برگ‌ریز ۱۰۰٪، برای شید سبز ناتو ۹۹,۵٪ و برای شید سبز جنگلی ۹۸,۵٪ از داده‌ها با مقادیر مرجع خود همانند شده‌اند. مقدار بالای ضریب تعیین، نشان دهنده این است که مقادیر اندازه‌گیری شده انعکاس نمونه‌های رنگرزی شده در طول موج مرئی تا زیر قرمز نزدیک (۴۰۰-۱۱۰۰ nm) بسیار به مقادیر واقعی خود نزدیک بوده و منحنی‌های اندازه‌گیری شده با منحنی‌های استاندارد همانند می‌باشند. بنابراین با همانندی منحنی انعکاسی نمونه‌ها در طول موج زیر قرمز نزدیک و همچنین اختلاف رنگ مجاز (کمتر از ۲ واحد) آنها در ناحیه مرئی، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استتار نمونه‌ها در هر دو ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک انجام شده است.

پس از دستیابی به دو شید استاندارد ارتش آمریکا و شیدهای مربوط به برگ سبز درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ، خواص ثباتی پارچه‌های رنگرزی شده مورد بررسی قرار گرفت. ثبات شستشویی نمونه‌ها با توجه به تغییر رنگ و لکه‌گذاری توسط خط‌کش معیار خاکستری ارزیابی گردید. همچنین برای اندازه‌گیری ثبات نوری نمونه‌ها، پس از قراردادن پارچه‌های رنگرزی شده در معرض نور، نمونه‌ها با معیارهای آبی مقایسه شدند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ثبات نمونه‌ها در جدول ۶ نشان داده شده است.

همان‌گونه که از جدول ۶ مشاهده می‌شود، ثبات شستشویی نمونه‌ها در حد خوب و ثبات نوری آنها در حد عالی می‌باشد. بنابراین رنگزاهای خمی به کار رفته در آزمایش، ثبات‌های قابل قبولی را بر روی پارچه پنبه‌ای ایجاد نموده‌اند.

جدول ۶: نتایج حاصل از اندازه‌گیری ثبات شستشویی و نوری نمونه‌ها.

نمونه	ثبات شستشویی	ثبات نوری
سبز ناتو	۴-۵	۸
سبز جنگلی	۴	۸
شید سبز برگ درختان برگ‌ریز	۴-۵	۷-۸
شید سبز برگ درختان سوزنی‌برگ	۴-۵	۸

۴ـ نتیجه‌گیری

برای ایجاد استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک، سه رنگزای خمی Vat Blue 6، Vat Yellow 2 و Vat Red 13 انتخاب و پارچه‌های پنبه‌ای با این مواد رنگزا رنگرزی شدند. خواص استتاری رنگزاهای خمی، در ناحیه زیر قرمز نزدیک بر روی الیاف تحت تاثیر ساختار شیمیایی ماده رنگزای به کار رفته می‌باشد. نتایج نشان داد که رنگزاهای انتخابی دارای ساختار شیمیایی مناسبی برای استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک هستند. منحنی انعکاسی سه نوع برگ سبز، یعنی برگ درختان برگ‌ریز، برگ درختان سوزنی‌برگ و برگ درختانی که انعکاس آنها در محدوده انعکاس این دو نوع برگ قرار دارد، به ترتیب به عنوان حد بیشینه، کمینه و میانی انعکاس برگ سبز درختان اندازه‌گیری شد. منحنی انعکاسی مواد رنگزا بر روی پارچه پنبه‌ای اندازه‌گیری شد. برای شید سبز برگ‌های میانی، طیف انعکاسی پارچه‌های رنگرزی شده با رنگزای Vat Blue 6 در غلظت رنگرزی (owf) ۰,۸۵٪ و (owf) ۱,۲٪، با طیف انعکاسی برگ سبز همانند می‌شود. به علت قرار داشتن محدوده افزایش انعکاس رنگزای Vat Blue 6 (۶۹۰-۸۰۰ nm) در محدوده افزایش انعکاس برگ سبز (۶۷۰-۷۸۰ nm)، در مقایسه با دو رنگزای دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که این رنگزا نقش مهمی را در استتار منسوج پنبه‌ای در ناحیه زیر قرمز نزدیک بازی می‌کند. با افزایش درصد رنگرزی رنگزای Vat Blue 6 میزان انعکاس پارچه پنبه‌ای کاهش می‌یابد. دو شید سبز مربوط به برگ درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ و همچنین دو شید سبز استاندارد مربوط به الگوی ارتش ایالات متحده امریکا در سال ۱۹۴۸، سبز ناتو و سبز جنگلی، با اختلاف رنگ کمتر از دو واحد (در فضارنگ CIE1976)، بر روی پارچه پنبه‌ای به دست آمد. طیف انعکاسی مربوط به این چهار شید اندازه‌گیری شد. میزان انعکاس در ناحیه زیر قرمز نزدیک برای شید سبز ناتو و سبز جنگلی، به ترتیب، در حدود ۷۰٪ و ۶۰٪ می‌باشد. همانندی طیف‌های انعکاسی نمونه‌ها با طیف انعکاسی استاندارد آنها با استفاده از آنالیزهای آماری بررسی و مقادیر مجموع مربعات انحرافات طیفی و ضریب تعیین اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که هر یک از نمودارها دارای ضریب تعیین بالایی هستند و این نشان دهنده اختلاف بسیار کم داده‌های به دست امده در مقایسه با مقادیر استاندارد آنها می‌باشد. لذا منحنی انعکاسی نمونه‌ها در محدوده طیف انعکاسی برگ سبز قرار داشته و منحنی انعکاسی استاندارد مربوط به خود را همانند می‌کنند. بنابراین دو ماده رنگزای استتاری جدید به گروه مواد رنگزای خمی استتاری افزوده شد. رنگزاهای مورد استفاده، ثبات‌های نوری در حد عالی بر روی پارچه پنبه‌ای ایجاد می‌کنند. همچنین این مواد رنگزا ثبات‌های شستشویی قابل قبولی بر روی نمونه‌ها دارند.

۵ـ مراجع

1. T. Hallberg, T. N. Heikkila, E. H. Karlsson, P. S. Salonen, Ch. Nilsson, A. Janis. Development of low-emissive camouflage paint. Scientific Report. FOI- Swedish Defence Research Agency, FOI-R-1592-SE, (2005).
2. V. Rubeziene, I. Padleckiene, J. Baltusnikaite, S. Varnaite. Evaluation of camouflage effectiveness of printed fabrics in visible and near infrared radiation spectral ranges. *J. Mater. Sci*. 14(2008), 361-365.
3. V. Rubeziene, G. Minkuviene, J. Baltusnikaite, I. Padleckiene. Development of visible and near infrared camouflage textile materials. *J. Mater. Sci.* 15(2009), 173-177.
4. N. P. Puzikova, E. V. Uvarova, I. M. Filyaev, L. A. Yarovaya. Principles of an approach for coloring military camouflage. *J. Fibre. Chem.* 40(2008), 53-56.
5. A. R. Horrocks, S. C. Anand. Handbook of technical textiles. CRC Press, Woodhead Publishing Limited, England. (2000), 425-460.
6. K. K. Gupta, A. Nishkam, N. Kasturiya. Camouflage in the non-visible region. *J. Ind. Text.* 31(2001), 27-42.
7. A. O. Ramsley, W. B. Bushnell. Development of the U.S. woodland battle dress uniform. Technical Report. NATICK/TR-81/008, Clothing, Equipment and Materials Engineering Laboratory, (1981).
8. K. Frankel, S. Sousa, R. Cowan, M. King. Concealment of the warfighter's equipment through enhanced polymer technology. INVISTA Wilmington, DE 19805, INVISTA Sabine, TX, U.S. Army Natick Soldier Center Natick, MA 01760, (2004).
9. P. Jeevanandam, R. S. Mulukutla, M. Phillips, S. Chaudhuri, L. E. Erickson, K. J. Klabunde. Near infrared reflectance properties of metal oxide nanoparticles. *J. Phys. Chem. C.* 111(2007), 1912-1918.
10. H. Zhang, J. Ch. Zhang. Near-infrared green camouflage of cotton fabrics using vat dyes. *J. Text. Inst.* 99 (2008), 83–88.
11. H. Zhang, J. Zhang. Near-infrared green camouflage of PET fabrics using disperse dyes. *J. Sen,i Gakkaishi*. 63(2007), 223-229.
12. J. Fox. Applied Regression Analysis, Linear Models and Related Methods. SAGE publications, Inc., United States of America. (1997), 85-133.