

# امکان سنجی کاربرد ماده رنگزا برای ایجاد اثر استتار در ناحیه زیرقرمز نزدیک با استفاده از طیف نورسنج UV-Vis

## Feasibility Study on Application of a Dye to Impart Camouflage Effect at Near Infrared Region Using UV-Vis Spectrophotometer

اورانوس گودرزی، جواد مختاری\*، مهدی نوری

گیلان، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، گروه مهندسی نساجی، صندوق پستی ۳۷۵۶

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۵/۰۹

### چکیده

استتار، هم در ناحیه مرئی و هم در ناحیه زیرقرمز نزدیک، از موضوعات قابل توجه در اهداف و مقاصد نظامی است. برای ایجاد استتار در ناحیه زیرقرمز نزدیک، باید طیف انعکاسی اجزای طبیعت و هدف را همانند کرد. بنابراین طیف انعکاسی ماده رنگزای مدنظر در ناحیه زیرقرمز نزدیک، حائز اهمیت است. اگر ابتدا پارچه با رنگزاهای مختلف رنگرزی شود، سپس به کمک طیف نورسنج انعکاسی و با توجه به طیف انعکاسی منسوج رنگرزی شده از صحت کاربرد رنگزا برای ناحیه زیرقرمز نزدیک اطمینان حاصل شود، زمان و انرژی زیادی هدر می‌رود. بنابراین در پژوهش حاضر، با به کارگیری طیف نورسنج جذبی UV-Vis طیف انتقالی مواد رنگزای مدنظر بررسی شد و از روی شباهت طیف انتقالی رنگزای مدنظر و رنگزای دیگری که برای استتار در ناحیه زیرقرمز کاربرد دارد، امکان استفاده از ماده رنگزای جدید برای استتار ارزیابی شده است. چون رنگزای خمی آبی ۱۳ (C.I. Vat Blue 13) از جمله رنگزاهای استتاری است و ویژگی‌های ساختاری مواد رنگزا مانند طیف انتقالی یا طیف انعکاسی، از ساختار شیمیایی ماده رنگزا ناشی می‌شود. بنابراین، از شباهت بین طیف انتقالی رنگزای خمی آبی ۱۳ و رنگزای مدنظر (خمی آبی ۶) نتیجه گرفته شد که این رنگزا نیز می‌تواند به عنوان رنگزای استتاری در ناحیه زیرقرمز نزدیک به کار گرفته شود.

### مقدمه

اهمیت استتار تا جایی که وارد کردن بحث استتار در تفنگ‌های مسلسلی، اسلحه‌های ماشینی، توپ و تانک از اهداف نظامی قرن نوزدهم بوده است [۲]. در مقاصد نظامی، استتار برای تغییر شکل دادن نیروها و تجهیزات در برابر شناسایی دشمن (مهاجم) استفاده می‌شود، زمانی که نیروها و تجهیزات آنها پیشرفته‌تر می‌شود، استتار برای زنده ماندن و محافظت در برابر تجهیزات اهمیت بیشتری می‌یابد [۳-۸]. از نظر نظامی، تلاش‌ها و پژوهش‌های پیوسته‌ای برای یافتن روش‌هایی به منظور فریب دادن مشاهده‌کننده وجود دارد. رنگ‌های یافت شده در اغلب الگوهای استتار نظامی سبز، زیتونی، خاکی، قهوه‌ای و مشکی است [۸-۱۱]. برای استتار هماهنگی با محیط اطراف، کاهش تضادها و از بین بردن خطوط برجسته

انسان از زمان‌های قدیم، از اصول و فنون پنهان‌سازی و فریب در شکار و جنگ استفاده کرده است [۱]. ساکنان کره زمین هنگام شکار یا مخفی شدن، از استتار استفاده می‌کنند. کسانی که در غارها زندگی می‌کرده‌اند، پوست حیوانات، شاخ گوزن، سبزیجات و علف‌ها را به تن می‌کردند که بتوانند تا حد امکان به طعمه یا شکار خود نزدیک شوند [۲]. واژه استتار (camouflage) برای اولین بار در جنگ جهانی اول به کار برده شد. معادل فرانسوی استتار از فعل آراستن (camoufler) گرفته شده است [۱]. در واقع استتار جنگ‌جویان را از صدمه دشمن حفظ می‌کند. در ارتش مسئله استتار بسیار حائز

### کلمات کلیدی

استتار،  
زیرقرمز نزدیک،  
رنگزا،  
طیف نورسنج،  
طیف انتقالی

\* مسئول مکاتبات، پیام نگار: j.mokhtari@guilan.ac.ir

ناحیه زیرقرمز انعکاس بسیاری دارد. بنابراین، مقدار انعکاس برگ سبز ۵۰ تا ۹۰٪ است [۱۵، ۱۶]. نتایج نشان می‌دهد، خواص استتاری الیاف رنگرزی شده در ناحیه زیرقرمز با ساختار رنگزا مرتبط است. بدین ترتیب که طیف منعکس شده از منسوج رنگرزی شده، به ساختار رنگزایی بستگی دارد که منسوج با آن رنگرزی شده است [۹، ۱۰].

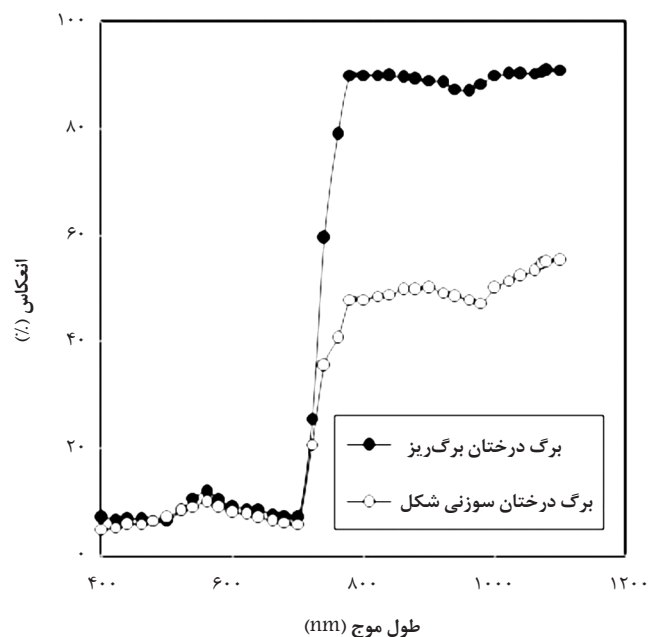
از جمله رنگزایی که برای ایجاد استتار روی منسوج پنبه‌ای استفاده می‌شوند، رنگزاهای خمی‌اند. رنگزاهای خمی که بدین منظور به کار می‌روند، اغلب دارای ساختارهای آنتراکینونی، بنزانترنی یا حلقه‌های آکریدینی هستند [۷]. در مطالعه‌ای از مواد رنگزای خمی مشکی ۲۷، خمی آبی ۱۳، خمی زرد ۳۳ و خمی نارنجی ۱ برای استتار منسوج پنبه‌ای استفاده شده است. بدین ترتیب که ابتدا با اندازه‌گیری طیف انعکاسی برگ سبز، بررسی مواد رنگزا از نظر داشتن ساختار مناسب و پس از حصول اطمینان از دارا بودن خاصیت استتار در مواد رنگزا، این مواد رنگزا با نسبت مناسب با یکدیگر مخلوط شده و سایه‌رنگ مناسب با اختلاف رنگ مجاز با برگ سبز روی پنبه ایجاد شد [۹]. الیاف مختلف می‌توانند با انواع مختلفی از رنگزاهای رنگرزی شوند. همچنین، برای دستیابی به استتار در ناحیه زیرقرمز یک لیف می‌تواند با ترکیبی از رنگزاهای مختلف، برای ایجاد سایه‌رنگ استاندارد، رنگرزی شود.

در مطالعه دیگری برای استتار منسوج پلی‌استر از مواد رنگزای پراکنده استفاده شد و خاصیت استتار آن با استفاده از مواد رنگزای پراکنده مانند رنگزای پراکنده آبی ۱۴ و پراکنده زرد ۲۳ بررسی شد [۱۰]. همچنین، برای همانند کردن هر منسوج با محیط اطراف آن می‌توان آنها را با استفاده از رنگدانه چاپ کرد. در مطالعه‌ای براساس فرمول‌بندی رنگدانه‌های غیرآلی، خاصیت استتاری منسوج پنبه-نایلونی با استفاده از پیونده (binder) آکرلیکی بررسی شده و در آن از رنگدانه‌های مختلفی برای به دست آوردن مقدار بهینه انعکاس منسوج در ناحیه زیرقرمز نزدیک استفاده شده است. از جمله این رنگدانه‌ها، کربن سیاه، زرد Sudarshan و قرمز سیگنال‌اند که هر یک نقش مهمی را در مقدار نهایی انعکاس زیرقرمز ایفا می‌کنند. کربن سیاه مقدار انعکاس در زیرقرمز را تا مقدار زیادی کاهش می‌دهد، زیرا انعکاس آن در زیرقرمز بسیار کم است (در حدود ۲٪)، در حالی که قرمز سیگنال و زرد Sudarshan، که یک ترکیب کادمیمی است، این مقدار را افزایش می‌دهند [۳-۶]. نوع دیگر رنگدانه‌های منعکس‌کننده زیرقرمز، اکسیدهای فلزی مانند تیتانیوم دی‌اکسید و سیلیسیم دی‌اکسید است که در ناحیه زیرقرمز مقدار انعکاس زیاد دارند و خاصیت استتاری منسوجات را بهبود می‌بخشند [۱۲، ۱۳].

از روش‌های دیگر اصلاح انعکاس زیرقرمز نزدیک در الیاف، افزودن ذرات افزودنی در مقیاس میکرو و نانو به پلیمر حین تولید آن است. افزودنی‌های مختلف آثار متفاوتی را در هر دو ناحیه مرئی و زیرقرمز ایجاد می‌کنند. یکی از تلاش‌های مهم در ارتش، بهبود خواص استتار پوشاک ساخته شده از الیاف مصنوعی و تجهیزات در ناحیه زیرقرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس است. امروزه این موضوع برای سایه‌رنگ‌های تیره و چاپ‌های طرح جنگلی با استفاده از رنگزاهای انتخابی روی نایلون ۶۶ امکان‌پذیر است. اما باید توجه داشت، الیاف نایلون ۶۶ دارای انعکاس زیاد در ناحیه زیرقرمز نزدیک‌اند و رنگزاهای متداول که برای رنگرزی و چاپ

تصویر از طریق یک الگوی کارآمد ضروری است [۲]. نور خورشید شامل ۵٪ پرتو فرابنفش، ۴۶٪ نور مرئی و حدود ۴۹٪ تابش زیرقرمز نزدیک (NIR) است (طول موج ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ nm) [۱۲، ۱۳]. با پیدایش تجهیزات شناسایی در زیرقرمز نزدیک، مانند دوربین‌های دید در شب و عکس‌برداری NIR، ضروری است که انعکاس IR رنگ‌ها و پوشاک در محدوده ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ nm نیز در نظر گرفته شود. بنابراین ضروری است، برای استتار، منسوجات با رنگزاهای و رنگدانه‌هایی که دارای انعکاس زیرقرمز مشابه با اجزای طبیعت هستند و طیف انعکاسی محیط را با طیف انعکاسی اشیا همسان می‌کنند، رنگرزی یا چاپ شوند. برای افراد نظامی ضروری است، لباس‌های مناسبی را به تن کنند تا تضاد بین اشیا و محیط اطراف آن را در ناحیه NIR علاوه بر ناحیه مرئی کاهش دهد [۹، ۱۰، ۱۴]. در دوربین‌های دید در شب (NVG) پرتوهای زیرقرمز به محیط فرستاده شده و بازتاب آن بررسی می‌شود. بنابراین، اگر هدف مدنظر انعکاسی مشابه با انعکاس اجزای محیط داشته باشد، در برابر این دوربین‌ها استتار شده و شناسایی نمی‌شود [۱۱].

اجزای موجود در طبیعت شامل برگ درختان، سنگ، ساقه و شن هستند که در محیط‌های جنگلی، برگ درختان بیشترین بخش این اجزا را تشکیل می‌دهند. مشخصات انعکاسی زیرقرمز دو نوع برگ سبز (درختان برگ‌ریز و درختان سوزنی‌برگ) که در مراجع به عنوان استاندارد در نظر گرفته شده‌اند، در شکل ۱ نشان داده شده است [۳، ۹]. در این شکل مشاهده می‌شود، در طول موج ۵۵۰ nm، پیکی با شدت کم وجود دارد. این افزایش کم مربوط به کلروفیل موجود در برگ گیاهان است. در حالی که در طول موج بیش از ۷۵۰ nm، افزایش تدریجی در انعکاس به مقدار ۹۰-۵۰٪ مشاهده می‌شود. برای ایجاد استتار جنگلی در ناحیه زیرقرمز نزدیک، باید طیف انعکاسی منسوج رنگرزی شده همانند طیف انعکاسی برگ سبز باشد. کلروفیل، به عنوان رنگدانه سبز رنگ که علت رنگ سبز گیاهان است، در



شکل ۱- طیف انعکاسی برگ سبز [۶، ۷].

قرمز-سبز) و  $b^*$  (محور زرد-آبی) در فضا رنگ CIE1976، در محدوده طول موج ۴۰۰-۷۰۰ nm، تحت منبع نوری  $D_{65}$  و مشاهده‌کننده  $2^\circ$  با استفاده از طیف‌نورسنج انعکاسی SPECORD 250-222 P 168، ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شد.

### روش‌ها

ابتدا نمودار طیف جذبی محلول مواد رنگزا با استفاده از طیف‌نورسنج انتقالی رسم شد. بدین منظور، مقدار  $0.06 \text{ g}$  ماده رنگزا در  $100 \text{ mL}$  استون حل و بدین ترتیب محلولی با غلظت  $0.06 \text{ g/L}$  از مواد رنگزا در استون تهیه شد. مقداری از این محلول‌ها در سلول‌های شیشه‌ای ریخته و طیف جذبی آن‌ها با توجه به قانون بیر-لامبرت (۱)، با استفاده از دستگاه طیف‌نورسنج انتقالی، با فواصل طول موج  $20 \text{ nm}$  و به کمک معادله (۱) اندازه‌گیری شد:

$$A = \varepsilon L C \quad (1)$$

که در آن  $A$  مقدار جذب،  $\varepsilon$  ضریب جذب مولار ( $\text{L/mol.cm}$ )،  $L$  طول سلول طیف‌نورسنج ( $\text{cm}$ ) و  $C$  غلظت رنگزا ( $\text{mol/L}$ ) است. سپس به کمک معادله (۲) مقادیر درصد انتقال مواد رنگزا محاسبه و نمودار آن‌ها رسم شد [۱۹]:

$$T = 10^{(-A)} \quad (2)$$

که در آن،  $A$  مقدار جذب و  $T$  مقدار انتقال ماده رنگزاست. رنگرزی پارچه پنبه‌ای با مواد رنگزای خمی به روش زیر انجام شد: ابتدا محلول خمی مواد رنگزا تهیه شد. کاهش مواد رنگزای خمی در حمام شامل  $20 \text{ g/L}$  سدیم هیدروسولفید و  $20 \text{ mL}$  بر لیتر سدیم هیدروکسید  $36$  درجه بومه و در دمای  $60^\circ\text{C}$  انجام شد. سپس، کالای پنبه‌ای در حمام شامل  $2\%$  (owf) رنگزای خمی با  $L:R$  برابر  $1:40$  قرار گرفت و رنگرزی به مدت  $40 \text{ min}$  در دمای  $60^\circ\text{C}$  انجام شد. برای رمق‌کشی بهتر ماده رنگزا، مقدار  $5 \text{ g/L}$  نمک سدیم سولفات، در دو مرحله، با فواصل زمانی  $10 \text{ min}$  به حمام رنگرزی اضافه شد. پس از اتمام رنگرزی، اکسایش کالای رنگرزی شده در دو مرحله انجام شد. ابتدا کالاهای به مدت  $5 \text{ min}$  در معرض هوای آزاد قرار گرفتند. سپس اکسایش نهایی در حمامی شامل  $5 \text{ mL}$  بر لیتر هیدروژن پراکسید  $30\%$ ،  $L:R$  برابر  $1:40$  و دمای  $40^\circ\text{C}$  به مدت  $10 \text{ min}$  انجام شد. در نهایت شست‌وشوی کالای رنگرزی شده در حمامی شامل  $3 \text{ g/L}$  شوینده غیر یونی و  $2 \text{ g/L}$  سدیم کربنات،  $L:R$  برابر  $1:40$  و دمای  $100^\circ\text{C}$  به مدت  $10 \text{ min}$  انجام شد. پس از اتمام فرایند رنگرزی، به منظور اندازه‌گیری طیف انعکاسی منسوج در ناحیه زیرقرمز نزدیک، از طیف‌نورسنج انعکاسی استفاده شد و نمودار طیف انعکاسی آن بر حسب طول موج، به فواصل طول موج  $20 \text{ nm}$ ، در محدوده طول موج  $400-1100 \text{ nm}$  رسم شد. همچنین، مقادیر رنگی نمونه‌ها نیز با استفاده از طیف‌نورسنج انعکاسی در محدوده طول موج  $400-700 \text{ nm}$  اندازه‌گیری شد.

استفاده می‌شوند، در زمان مشاهده با عینک‌های دید شب غیرفعال، اثر کمی برای کاهش این انعکاس زیاد دارند. این مسئله سبب ایجاد انعکاس زیاد در محدوده  $600-900 \text{ nm}$ ، جایی که دستگاه‌های دید در شب عمل می‌کنند، می‌شود. بنابراین، در مطالعه‌ای برای بهبود خواص انعکاسی نایلون و کاهش مقدار انعکاس آن در ناحیه زیرقرمز نزدیک، از نانوذراتی حین تولید و پلیمر شدن نایلون استفاده شده است [۱۷].

با توجه به اهمیت مسئله استتار در زیرقرمز نزدیک، جای تعجب نیست که اغلب کارهای انجام شده روی سنتز، فرمول‌بندی و کاربرد رنگزاهای محرمانه است. به هر حال مقالاتی موجودند که مسئله سنتز و فرمول‌بندی رنگزاهای مورد استفاده برای استتار را تا حدی مورد توجه قرار داده‌اند [۱۸، ۱۹]. روش متداول برای بررسی امکان استفاده از یک ماده رنگزا برای استتار، استفاده از طیف‌نورسنج انعکاسی، به منظور اندازه‌گیری طیف انعکاسی منسوج رنگرزی شده است.

در این مقاله روشی ارائه شده که در آن پیش از رنگرزی منسوج، می‌توان از صحت کاربرد رنگزا برای ایجاد استتار در ناحیه زیرقرمز مطمئن شد. با توجه به هزینه‌بر بودن فرایند رنگرزی، هزینه زیاد استفاده از دستگاه طیف‌نورسنج انعکاسی در ناحیه زیرقرمز نزدیک و به منظور جلوگیری از اتلاف زمان و انرژی، به کارگیری یک طیف‌نورسنج UV-Vis برای شناسایی مقدماتی قابلیت رنگزاهای برای ایجاد استتار، می‌تواند مشکلات گفته شده را مرتفع کرده و راه حلی ساده‌تر را برای شناسایی رنگزاهای استفاده شده برای استتار فراهم کند. بدین منظور، با به کارگیری سه ماده رنگزای متفاوت، استفاده از طیف‌نورسنج انتقالی و بررسی طیف انتقالی مواد رنگزا، امکان ایجاد استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک (تا طول موج  $1100 \text{ nm}$ ) بررسی می‌شود.

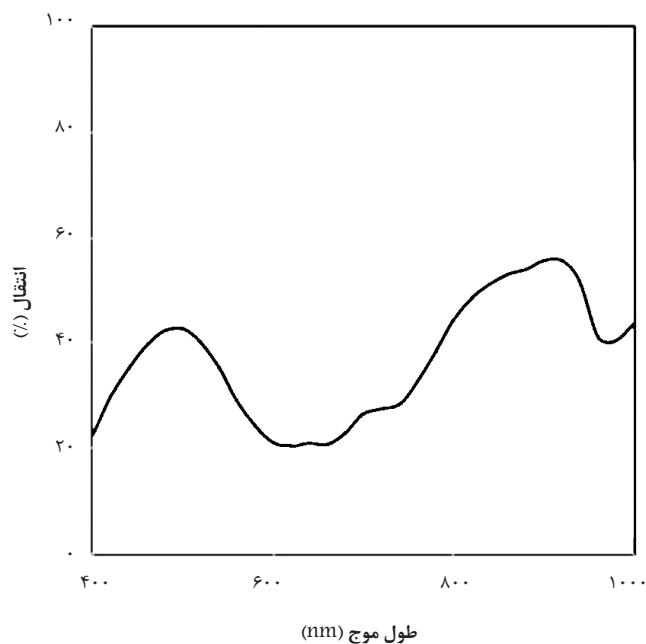
### تجربی

#### مواد

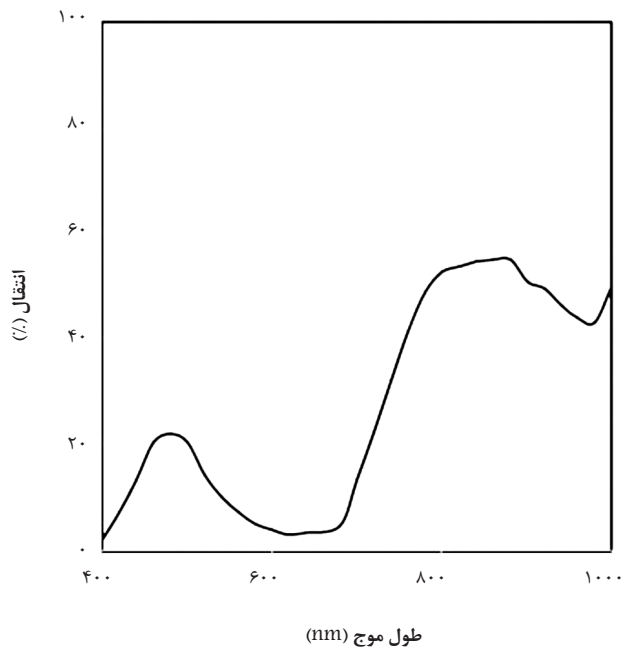
مواد رنگزای خمی آبی ۱۳ (C.I. Vat Blue 13, Constitution No: 69845)، خمی آبی ۶ (C.I. Vat Blue 6, Constitution No: 69825)، خمی آبی ۱ (C.I. Vat Blue 1, Constitution No: 73000)، خمی زرد ۲ (C.I. Vat Yellow 2, Constitution No: 67300) و خمی قرمز ۱۳ (C.I. Vat Red 13, Constitution No: 70320) استفاده شدند. این مواد رنگزای خمی، از شرکت Ciba خریداری شدند. پارچه‌ی پنبه‌ای از منابع محلی تهیه شد. استون، سدیم هیدروسولفید، سدیم هیدروکسید  $36$  درجه بومه، سدیم سولفات، هیدروژن پراکسید، شوینده غیر یونی و سدیم کربنات نوع آزمایشگاهی از شرکت Merck تهیه شد.

#### دستگاه‌ها

برای اندازه‌گیری نمودار انتقال محلول مواد رنگزا از طیف‌نورسنج عبوری Citra 10، ساخت کشور استرالیا استفاده شد. منحنی انعکاسی نمونه‌های رنگرزی شده در محدوده طول موج  $400-1100 \text{ nm}$  و همچنین پارامترهای رنگی آنها شامل  $L^*$  (محور روشنایی)،  $a^*$  (محور



شکل ۳- درصد انتقال محلول رنگزای خمی آبی ۶.



شکل ۲- درصد انتقال محلول رنگزای خمی آبی ۱۳.

با مقایسه شکل‌های ۲ و ۳ و با توجه به اینکه در طیف انتقالی هر دو ماده رنگزا موقعیت مکانی پیک‌ها تقریباً یکسان است، می‌توان نتیجه گرفت، بین طیف‌های انتقالی رنگزای خمی آبی ۱۳ و رنگزای خمی آبی ۶ تشابه زیادی وجود دارد. به این معنی که در طیف انتقالی هر دو رنگزا، در طول موج  $640\text{ nm}$  پیک ملایمی مشاهده شده و همچنین در طول موج  $700\text{ nm}$  تا  $800\text{ nm}$  افزایش قابل توجهی در مقدار انتقال مشاهده می‌شود. این مسئله را می‌توان با مقدار انعکاس رنگزای منسوج در همین محدوده طول موج مرتبط دانست. همچنین با توجه به اینکه طیف انتقالی ماده رنگزا از ساختار آن نتیجه می‌شود، تشابه طیف انتقالی این دو ماده رنگزا، تشابه ساختاری آنها را نشان می‌دهد و تأییدکننده این موضوع است که رنگزای خمی آبی ۶ نیز ساختار آتراکینونی دارد. ساختار این رنگزا در شکل ۵ نشان داده شده است.

رنگزای خمی آبی ۱ جزء مواد رنگزای مورد استفاده برای استتار نیست. این ماده رنگزا ساختار ایندیگوئیدی دارد. در شکل ۴ نمودار انتقال رنگزای خمی آبی ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، طیف انتقالی رنگزای خمی آبی ۱ و خمی آبی ۱۳ مشابه نیست و بین آنها اختلافاتی مشاهده می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود، پیک جذبی این رنگزا مشابه پیک جذبی در طیف انتقالی رنگزای خمی آبی ۱۳ نیست. در طیف انتقالی رنگزای خمی آبی ۱۳ پس از طول موج  $700\text{ nm}$ ، افزایش شدیدی در مقدار انتقال محلول رنگزا مشاهده می‌شود، در حالی که در طیف انتقالی رنگزای خمی آبی ۱ چنین افزایشی مشاهده نشده و مقدار آن ناچیز است. بنابراین، طیف انتقالی دو رنگزای خمی آبی ۱۳ و خمی آبی ۶ در ناحیه زیرقرمز نزدیک، بسیار مشابه یکدیگر است، در حالی که نمودار طیف انتقالی رنگزای خمی آبی ۱ با این دو متفاوت است. بنابراین می‌توان

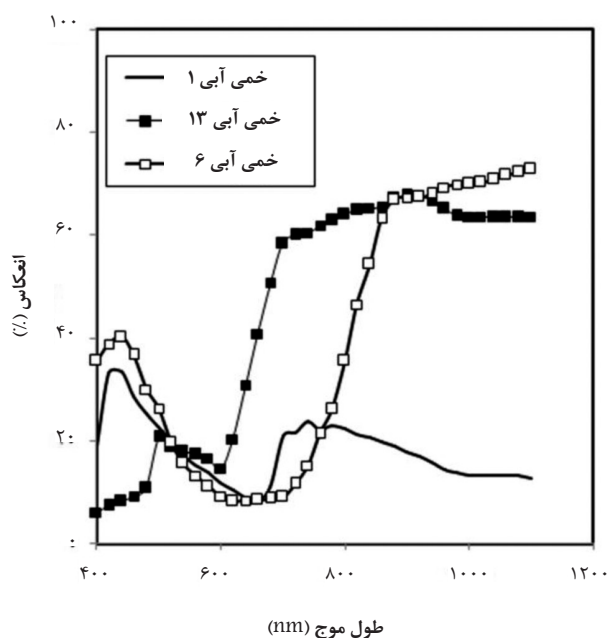
## نتایج و بحث

شکل‌های ۲ تا ۴ به ترتیب طیف انتقالی مواد رنگزای خمی آبی ۱۳، خمی آبی ۶ و خمی آبی ۱ را بر حسب طول موج نشان می‌دهند. رنگزای خمی آبی ۱۳ یکی از رنگزاهایی است که برای استتار در زیرقرمز نزدیک استفاده می‌شود و دارای خواص انعکاسی مناسب در ناحیه زیرقرمز نزدیک است. اگر این رنگزا با مواد رنگزای استتاری دیگر، مانند خمی زرد ۳۳ و خمی مشکی ۲۷ ترکیب شود، می‌تواند سایه رنگ استاندارد را روی منسوج مدنظر ایجاد کرده و استتار در هر دو ناحیه مرئی و زیرقرمز نزدیک را به‌طور هم‌زمان ایجاد کند [۹].

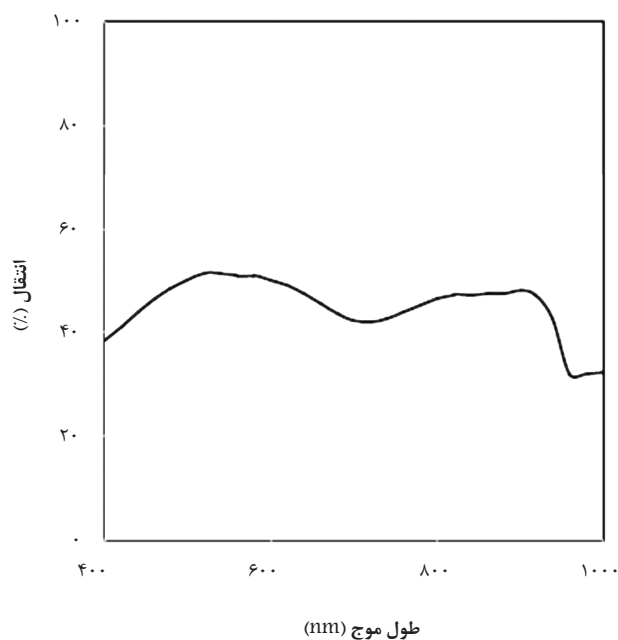
همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در طیف انتقالی رنگزای خمی آبی ۱۳ دو پیک مهم وجود دارد. اولین پیک، پیک جذبی پهن در  $640\text{ nm}$  است که این پیک متناسب با پیک موجود در طیف انعکاسی برگ سبز در محدوده  $550\text{ nm}$  است. در طول موج  $700\text{ nm}$ – $820\text{ nm}$  مقدار انتقال ماده رنگزا افزایش یافت که این افزایش را نیز می‌توان متناسب با افزایش در طیف انعکاسی برگ سبز دانست. همچنین مشاهده می‌شود، محلول رنگزا در طول موج  $976\text{ nm}$  نیز دارای جذب است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خواص انتقالی ماده رنگزا در محلول، بسیار مشابه با خواص انعکاسی آن روی منسوج است. در طیف انتقالی رنگزای خمی آبی ۶ در شکل ۳ نیز یک پیک جذبی پهن در محدوده  $640\text{ nm}$  و همین‌طور جذب در طول موج  $976\text{ nm}$  وجود دارد. همچنین مشاهده می‌شود، در طول موج  $700\text{ nm}$ – $820\text{ nm}$  مقدار انتقال محلول رنگزا افزایش یافته است. این پیک‌ها نیز مانند پیک‌های رنگزای خمی آبی ۱۳ متناسب با پیک‌های موجود در طیف انعکاسی برگ سبز است.

با توجه به شکل ۶ و این موضوع که رنگزای خمی آبی ۱۳ از جمله رنگزاهای مورد استفاده برای استتار در ناحیه زیرقرمز نزدیک است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، رنگزای خمی آبی ۶ نیز با توجه به شباهت طیف انتقالی آن با رنگزای خمی آبی ۱۳ و شباهت طیف انعکاسی آن با طیف انعکاسی برگ سبز و منسوج رنگرزی شده با خمی آبی ۱۳، می‌تواند برای استتار در ناحیه زیرقرمز نزدیک استفاده شود. همچنین، با توجه به وجود اختلاف بین طیف انتقالی و طیف انعکاسی رنگزای خمی آبی ۱۳ و خمی آبی ۶ با رنگزای خمی آبی ۱، می‌توان صحت این موضوع را تأیید کرد.

شکل ۷ نمودار طیف انعکاسی منسوج پنبه‌ای رنگرزی شده با رنگزاهای خمی آبی ۱۳ و خمی آبی ۶ را در کنار طیف انعکاسی برگ سبز نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود، طیف انعکاسی منسوج رنگرزی شده با رنگزای خمی آبی ۶ بسیار مشابه با طیف انعکاسی رنگزای خمی آبی ۱۳ و در نتیجه طیف انعکاسی برگ سبز است، اگر طیف انعکاسی منسوج رنگرزی شده با رنگزای خمی آبی ۱ کاملاً متفاوت با طیف انعکاسی برگ سبز باشد. بنابراین، رنگزای خمی آبی ۶ در صورت ترکیب شدن با سایر رنگزاهای استتاری به نسبت مناسب و ایجاد سایه‌رنگ استاندارد، کاملاً با محیط اطراف خود همانند شده، با دوربین‌های دید در شب قابلیت استتار دارد و در برابر این دوربین‌ها شناسایی نمی‌شود. بنابراین، با توجه به اینکه طیف انتقالی محلول یک رنگزا یا طیف انعکاسی آن روی یک منسوج از ساختار آن رنگزا متأثر می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت، شباهت بین طیف‌های انتقالی دو ماده رنگزا نشان‌دهنده شباهت ساختاری آنهاست و با توجه به این شباهت می‌توان رنگزای مناسب را برای استتار انتخاب کرد. به عنوان مثال در صورت اختلاط رنگزای خمی آبی ۶ (۰/۸۵٪ OWF)،



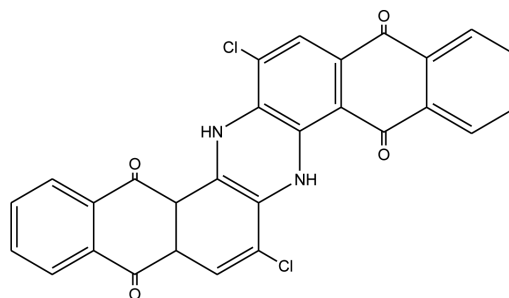
شکل ۶- درصد انعکاس منسوج رنگرزی شده با رنگزاهای خمی آبی ۱۳، خمی آبی ۶ و خمی آبی ۱.



شکل ۴- درصد انتقال محلول رنگزای خمی آبی ۱.

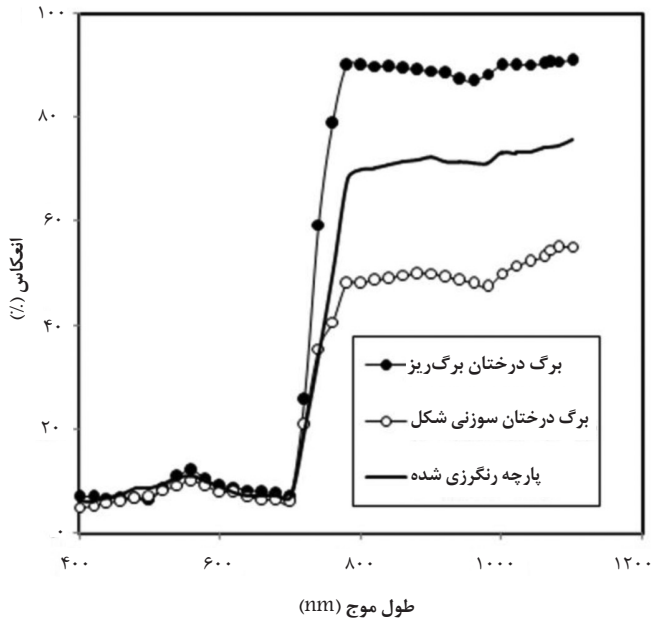
نتیجه‌گیری کرد، رنگزای خمی آبی ۶ مانند رنگزای خمی آبی ۱۳ رنگزای استتاری است.

برای اثبات این مسئله، پس از اندازه‌گیری طیف انتقالی محلول مواد رنگزا، پارچه پنبه‌ای به شکل تک‌رنگ با هر یک از این سه ماده رنگزا رنگرزی شده و سپس طیف انعکاسی آن در ناحیه زیرقرمز نزدیک اندازه‌گیری شد. در شکل ۶، طیف انعکاسی این سه رنگزا روی منسوج رنگرزی شده نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود، طیف انعکاسی منسوج رنگرزی شده با رنگزای خمی آبی ۶ مشابه با طیف انعکاسی منسوج رنگرزی شده با رنگزای خمی آبی ۱۳ است. طیف انعکاسی هر دو ماده رنگزا در طول موج ۴۵۰ nm دارای پیک ملایمی است که همانند پیک کلروفیل است. افزون بر این، طیف انعکاسی هر دو ماده رنگزا در محدوده ۶۰۰-۸۰۰ nm حالت افزایشی شدید دارد. بنابراین، طیف انعکاسی این دو رنگزا شباهت بسیار زیادی به طیف انعکاسی برگ سبز دارد و در صورت ترکیب شدن با سایر رنگزاهای استتاری، به نسبت مناسب، می‌تواند طیف انعکاسی آن را به‌طور کامل همانند کند.



شکل ۵- ساختار رنگزای خمی آبی ۶.





شکل ۸- طیف انعکاسی رنگ سبز استاندارد حاصل از اختلاط رنگزای خمی آبی ۶ با رنگزاهای خمی زرد ۲ و خمی قرمز ۱۳.

برگ سبز قرار گرفته و مقدار انعکاس آن در محدوده ۵۰ تا ۹۰٪ است که به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار انعکاس برگ سبز در ناحیه زیرقرمز نزدیک است.

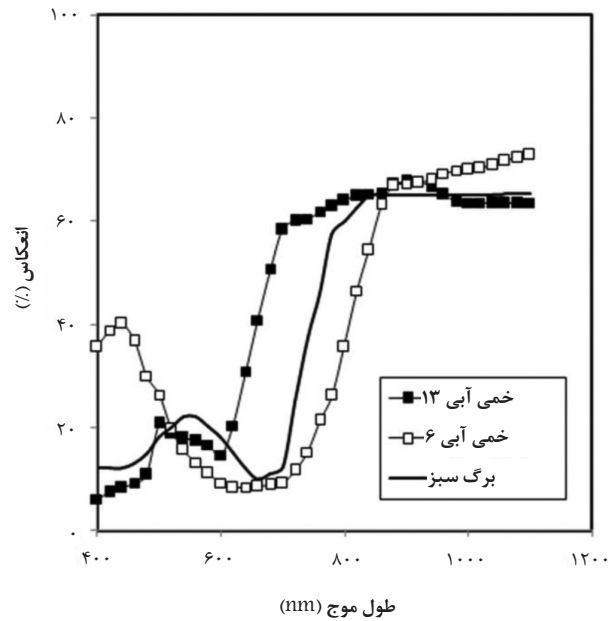
بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، منسوج رنگریزی شده با این ماده رنگزا، دارای قابلیت استتار در برابر تجهیزات IR و دوربین‌های دید شب است.

### نتیجه‌گیری

انجام فرایند رنگریزی هزینه‌بر و زمان‌بر است. اگر ابتدا پارچه با رنگزاهای مختلف رنگریزی شود و سپس با استفاده از طیف‌نورسنج انعکاسی در ناحیه زیرقرمز از صحت کاربرد رنگزا برای استتار در زیرقرمز نزدیک اطمینان حاصل شود، زمان، انرژی و هزینه زیادی هدر می‌رود.

همچنین با توجه به اینکه به کارگیری طیف‌نورسنج انعکاسی، به‌ویژه در ناحیه زیرقرمز، بسیار هزینه‌بر است و دسترسی به آن همواره امکان‌پذیر نیست، با استفاده از طیف‌نورسنج انتقالی یا جذبی ساده می‌توان این آزمون را انجام داد و به نتایج سودمندی دست یافت.

خواص استتار منسوجات، به‌ویژه استتار در ناحیه زیرقرمز نزدیک، ارتباط فراوانی با ساختار رنگزاها دارد، بنابراین با توجه به شباهت طیف انتقالی و انعکاسی ماده رنگزای خمی آبی ۶ با رنگزای خمی آبی ۱۳ می‌توان نتیجه گرفت، رنگزای پیش‌نهادی خمی آبی ۶ نیز می‌تواند به عنوان رنگزای جدید برای استتار در ناحیه زیرقرمز نزدیک به کار برده شود. همچنین می‌توان گفت، هر رنگزای خمی که طیف انتقالی و انتقالی شبیه به رنگزای خمی آبی ۱۳ داشته باشد، می‌تواند به عنوان رنگزای قابل کاربرد در استتار محسوب شود و برعکس.



شکل ۷- طیف انعکاسی برگ سبز و رنگزاهای خمی آبی ۱۳ و خمی آبی ۶.

با رنگزاهای استتاری دیگر مانند خمی زرد ۲ (۱/۱۵٪ owf) و خمی قرمز ۱۳ (۱/۶٪ owf) می‌توان سایه‌رنگ استاندارد مربوط به الگوی نظامی ارتش آمریکا در سال ۱۹۴۸ یعنی سبز ناتو را با اختلاف رنگ کمتر از ۲ واحد ایجاد کرد که کاملاً با طیف انعکاسی برگ سبز، هم از نظر سایه‌رنگ و هم از نظر طیف انعکاسی، همانند باشد.

مقادیر رنگی (CIE 1976 و  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ) مربوط به پارچه رنگریزی شده با طیف‌نورسنج انعکاسی اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که  $L^*$  محور روشنایی،  $a^*$  محور قرمز- سبز و  $b^*$  محور زرد- آبی است. اختلاف رنگ پارچه مدنظر با نمونه استاندارد آن (سبز ناتو) با استفاده از سامانه CIECMC،  $\Delta E^*_{cmc}(2:1)$ ، محاسبه شد [۱۸]. در جدول ۱ مقادیر رنگی استاندارد سایه‌رنگ سبز ناتو و سایه‌رنگ سبز به‌دست آمده روی منسوج نشان داده شده است.

در این جدول مشاهده می‌شود، اختلاف رنگ بین نمونه رنگریزی شده و نمونه استاندارد کمتر از ۲ واحد است. در شکل ۸ طیف انعکاسی منسوج رنگریزی شده با رنگزای خمی آبی ۶ که با رنگزای دیگر ترکیب و یک سایه سبز استاندارد ناتو ایجاد شده، نشان داده شده است.

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، طیف انعکاسی سایه سبز ناتو حاصل از اختلاط رنگزای خمی آبی ۶ با رنگزاهای استتاری خمی زرد ۲ و خمی قرمز ۱۳، در محدوده استاندارد طیف انعکاسی

جدول ۱- مقادیر رنگی نمونه استاندارد [۱۸] و نمونه رنگریزی شده و اختلاف رنگ نمونه‌ها.

نمونه	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$
استاندارد ناتو [۱۸]	۳۶/۹۸	-۲/۱۱	۸/۰۴	۰
رنگریزی شده	۳۷/۱۷	-۲/۳۵	۸/۳۸	۰/۴۷

## مراجع

1. Nishkam A., Textile and camouflage, *J. Ind. Text.*, 109, 40-44, 1999.
2. Burkinshaw S.M., Infra-red camouflage, *Rev. Prog. Coloration*, 26, 47-53, 1996.
3. Gupta K.K., Camouflage in the non-visible region, *J. Indust. Text.*, 31, 27-42, 2001.
4. Zama Y., Near-Infrared transmitting black azo pigments, *US Pat.*, 6623556 B2, 2003.
5. Sanada K., Infrared reflecting black pigment, paint and resin composition, *US Pat.*, 2008/0134941 A1, 2008.
6. Hallberg T., Development of low-emissive camouflage paint, FOI-Swedish Defence Research Agency, FOI-R-1592-SE, 2005.
7. Horrocks A.R. and Anand S.C., *Handbook of Technical Textiles: Textile in Defence*, Woodhead, 16, England, 425-460, 2000.
8. Puzikova N.P., Principles of an approach for coloring military camouflage, *J. Fiber Chem.*, 40, 53-56, 2008.
9. Zhang H., Near-infrared green camouflage of cotton fabrics using vat dyes, *J. Text. Inst.*, 99, 83-88, 2008.
10. Zhang H., Near-infrared green camouflage of PET fabrics using disperse dyes, *Sen-i Gakkaishi*, 63, 223-229, 2007.
11. Hogervorst M.A., Fast natural color mapping for night-time imagery, *Information Fusion*, 11, 69-77, 2010.
12. Jeevanandam P., Near Infrared reflectance properties of metal oxide nanoparticles, *J. Phys. Chem.*, 111, 1912-1918, 2007.
13. Liu J., Investigation of near infrared reflectance by tuning the shape of SnO<sub>2</sub> nanoparticles, *J. Alloy. Compd.*, 496, 261-264, 2010.
14. Levinson R., Solar spectral optical properties of pigments- part II: survey of common colorants, *Sol. Engery. Mat. Sol. C.*, 89, 351-389, 2005.
15. Rubeziene V., Evaluation of camouflage effectiveness of printed fabrics in visible and near infrared radiation spectral ranges, *J. Mater. Sci.*, 14, 361-365, 2008.
16. Rubeziene V., Development of visible and near infrared camouflage textile materials, *J. Mater. Sci.*, 15, 173-177, 2009.
17. Frankel K., Sousa S., Cowan R., and King M., Concealment of the warfighter's equipment through enhanced polymer technology, *The Proceeding of Army Science Conferance 24*, Orlando, USA, 13-16.
18. Ramsley A.O., Development of the US woodland battle dress uniform, Technical Report, NATICK/TR-81/008, Clothing, Equipment and Materials Engineering Laboratory, 1981.
19. McDonald R., *Colour Physics for Industry*, Woodhead, Bradford, England, 23-30, 1987.