در دسترس بصورت الکترونیک @ www.jscw.icrc.ac.ir

نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۵، شماره ۱، (۱۳۹۴) ۱۸-۳

نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

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

مروری بر استتار منسوجات در ناحیه زیر قرمز نزدیک

سمیرا قلی زاده[۱]، محمدعلی توانایی*[۱]، نیما اسماعیلیان عمروآبادی[۲]، محسن هادی‌زاده[۱]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، مجتمع فنی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، صندوق پستی: ۷۴۱- ۸۹۱۹۵

۱- استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، مجتمع فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، صندوق پستی: ۷۴۱- ۸۹۱۹۵

۲- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

۱- استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، مجتمع فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، صندوق پستی: ۷۴۱- ۸۹۱۹۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۱۱ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۳/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۸ در دسترس به‌صورت الکترونیک: ۹۳/۱۱/۲۵

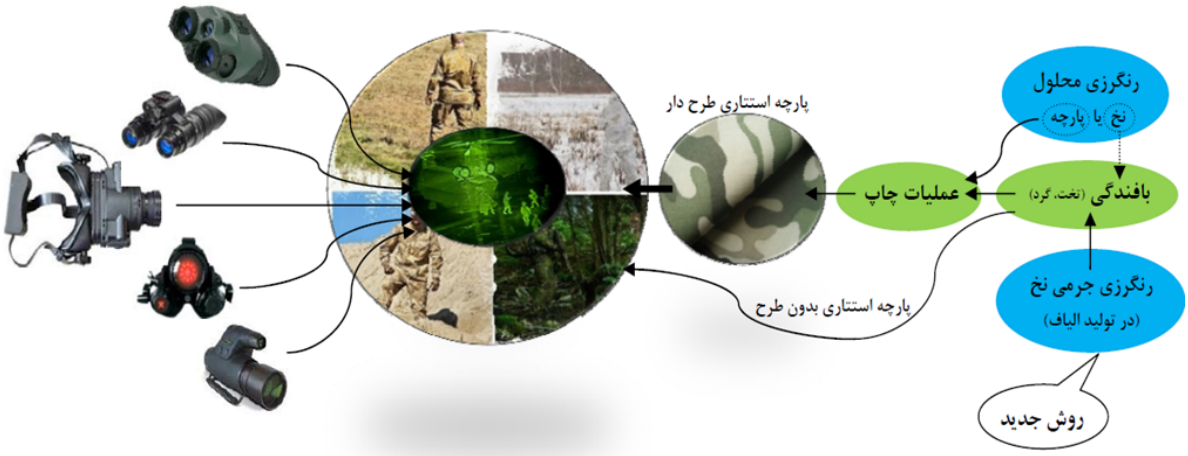
چکیده

اختراع دستگاه‌های تشخیص امواج زیر قرمز در محدوده وسیعی از طیف امواج الکترومغناطیس (به ویژه در ناحیه غیرمرئی زیر قرمز نزدیک) انجام عملیات نظامی در شب را بسیار مشکل ساخته است. به این منظور منسوجات استتاری باید با مواد رنگزا و رنگدانه‌هایی که دارای مقادیر انعکاسی در ناحیه زیر قرمز نزدیک، مشابه محیط اطراف می‌باشند، چاپ، رنگرزی یا رنگرزی جرمی شوند. رنگ‌هایی که در اغلب الگوهای استتاری وجود دارد سبز، قهوه‌ای، زیتونی، خاکی و مشکی می‌باشد، بنابراین باید مقادیر انعکاسی حاصل از فرمولاسیون به‌کار گرفته شده در ترکیب مواد رنگزا و رنگدانه‌های مورد استفاده در منسوج مطابق با مقادیر انعکاسی شیدهای طبیعی آنها در ناحیه زیر قرمز نزدیک طیف امواج الکترومغناطیس باشد. مطالعات زیادی در خصوص استتار منسوجات در ناحیه زیر قرمز نزدیک بر روی الیاف مصنوعی و طبیعی انجام گرفته که در آنها نقش رنگدانه‌ها و مواد رنگزا و غلظت آنها بر خواص انعکاسی و ویژگی‌های منسوجات تعیین شده است. همچنین این مطالعات توانسته‌اند روش‌های مناسب تولید منسوجات استتاری و استفاده از آنها برای اهداف مورد نظر در ناحیه غیرمرئی طیف امواج الکترومغناطیس را نشان دهد. در این مقاله، پس از تعریف مفاهیم استتار و تشریح مواد رنگزا و رنگدانه‌های مناسب برای استتار منسوجات در ناحیه زیر قرمز نزدیک، روش‌های مختلف استتار منسوجات در ناحیه زیر قرمز، مرور گردیده است.

واژه‌های کلیدی

استتار، ناحیه زیر قرمز، منسوجات، مواد رنگزا، رنگدانه.

چکیده تصویری



*نویسنده مسئول: ma.tavanaie@yazd.ac.ir

Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science and Technology

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir

Journal of Studies in Color World, Vol. 5, No. 1, (2015) 3-18

نشریه علمی ترویجی
مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

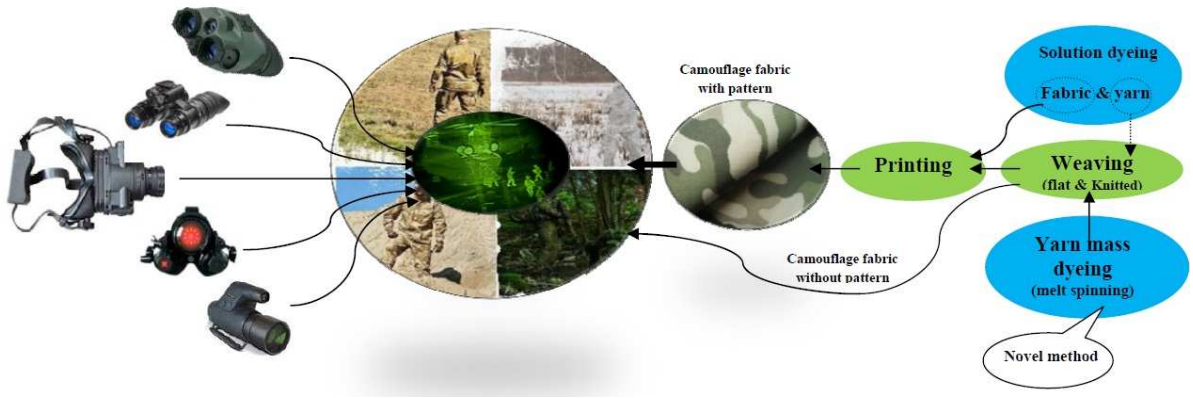
Camouflage of Textiles in Near Infrared Region: A Review

Samira Gholizadeh[1], Mohammad Ali Tavanaie[1*], Nima Esmailian[2], Mohsen Hadizadeh[1]
1. Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, University of Yazd, Yazd, Iran, P. O. Box: 89195-741
2- Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, P. O. Box: 15875-4413

Abstract
Night military operations are so difficult since the invention of infrared detection devices for wide range of the electromagnetic waves' spectrum (specially in the invisible near infrared region (NIR)). Hence, camouflage textiles must be printed, solution dyed or mass dyed with appropriate dyes and/or pigments having NIR reflectance according to their applied environment. Colors existing in most camouflage patterns are green, brown, olive, khaki and black. So, reflectance values of pigments and/or dyes formulations must be color matched with the reflectance values of these colors in the NIR band. NIR camouflage studies conducted on natural and synthetic fibers have determined the role of pigments and dyes and their concentrations on the reflectance values and properties of textiles. Also they could show acceptable methods for production of the camouflage textiles and their uses in the invisible range of the electromagnetic waves' spectrum. In this paper camouflage concepts and useful NIR camouflage dyes and pigments have been introduced, and then different methods of the textiles camouflage in NIR region have been reviewed.

Keywords
Camouflage, Near infrared region, Textiles, Dyes, Pigment.

Graphical abstract



*Corresponding author: ma.tavanaie@yazd.ac.ir

۱- مقدمه

استتار[1] به معنی فریب دادن به وسیله تغییر قیافه و یا پنهان شدن به منظور به حداقل رساندن امکان تشخیص می‌باشد [۱]. در واقع تلاش برای پنهان کردن یک هدف و مطابقت هدف با محیطی که در درون آن قرار دارد را استتار می‌نامند [۵-۲]. کلمه استتار از کلمه فرانسوی تغییر قیافه[2] گرفته شده است و اولین بار توسط فرانسه به واسطه جنگ جهانی اول، به منظور پنهان کردن مردم و اشیاء با تقلید از محیط اطراف آنها، معرفی شد [۹-۶]. استتار، استفاده از مواد طبیعی یا مصنوعی بر روی اشخاص، اشیاء و یا موقعیت تاکتیکی با هدف گیج کردن و گمراه کردن می‌باشد [۱۰]. ساکنان کره زمین از دیرباز تا به امروز در هنگام شکار از استتار 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 [۷, ۱۱]. لباس‌های استتاری سال‌های زیادی است که برای خدمات نظامی، به منظور به حداقل رساندن خطر دیده شدن توسط دشمن، ارائه شده‌اند [۱۲]. این لباس‌ها بخش مهمی از تجهیزات نظامی هستند و نه تنها به عنوان وسیله‌ای برای تغییر قیافه یک شیء در محیطی خاص، بلکه به عنوان یک نماد ملی خدمت نیز می‌باشند [۱۱]. استتار از اصول و عوامل پدافند غیرعامل[3] می‌باشد و از مهم‌ترین حیله‌های جنگی است که باید برای فریب دشمن به کار رود [۱۳, ۱۴]. بنابراین استتار، پنهان‌سازی و فریب یکی از مباحث مهم در مجامع نظامی کشورها می‌باشد. در ابتدا برای پنهان‌سازی، استتار تنها در ناحیه مرئی صورت می‌گرفت [۱۳]. اما در سال‌های اخیر با پیشرفت تجهیزات ردیابی در میدان‌های رزم، که در محدوده‌های متفاوتی از طیف امواج الکترومغناطیس عمل می‌کنند، سربازان و تجهیزات آنها نه تنها در محدوده مرئی، بلکه باید در محدوده‌های وسیعی از طیف امواج الکترومغناطیس، مانند فرابنفش (UV)، زیر قرمز، رادار و غیره استتار شود [۱۵]. در مقایسه با استتار شهری[4]، استار نظامی نیازمند استتار هم در نور روز و هم در نور شب می‌باشد، به گونه‌ای که هنگام شب توسط تجهیزات دید در شب قابل تشخیص نباشند [۱۶]. برای پرسنل نظامی، پوشیدن لباس نظامی مناسب که تلاش می‌کند تضاد میان اشیاء و محیط اطراف را در دو ناحیه زیر قرمز نزدیک (NIR)[5] و مرئی امواج الکترومغناطیس به حداقل برساند ضرورت دارد [۱۹-۱۷, ۵]. از تشخیص جسم، خواه با چشم یا هر وسیله تشخیص پیچیده‌ای، می‌توان توسط ایجاد انطباق هدف با محیط اطراف اجتناب کرد. عموماً این مهم توسط استفاده از برخی رنگ‌ها، منسوجات و یا پوشش‌های مناسب، که دارای خواص مناسب برای مطابقت با محیط اطراف به منظور پنهان کردن یا تغییر قیافه می‌باشد، به دست می‌آید. این رنگ‌ها و پوشش‌ها ممکن است تنها در ناحیه مرئی موثر باشند یا ممکن است خواص دیگری داشته باشند که در نواحی غیرمرئی نیز موثر می‌باشند، یعنی، قدرت استتار در برابر دوربین‌های امواج زیر قرمز، آشکارسازهای حرارتی و وسایل تشخیص رادار را دارا باشند. بنابراین برای به دست آوردن منسوجات با خاصیت استتاری در ناحیه زیر قرمز، منسوجات باید به گونه‌ای رنگ، چاپ و یا پوشش داده شوند که طیف انعکاسی هدف مورد نظر، مطابق با طیف انعکاسی محیط قرار گرفته در آن باشد [۲۰, ۱۹]. از این رو برای الگوهای استتاری ضرورت چاپ یا رنگرزی با رنگدانه‌ها یا رنگزاهایی که دارای انعکاس مناسب زیر قرمز نزدیک مطابق با توپوگرافی محیط اطراف هستند انتظار می‌رود [۲۳- ۲۱, ۱۸, ۱۷].

۲- امواج الکترومغناطیس

امواج الکترومغناطیسی نوعی موج عرضی پیش‌رونده هستند که از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ساخته شده‌اند که میدان الکتریکی در صفحه عمودی و میدان مغناطیسی در صفحه افقی می‌باشند. این میدان‌ها در حال انتشار بر یکدیگر و بر جهت پیشروی موج عمود هستند. نور، محدوده مرئی گستره امواج الکترومغناطیس است. امواج الکترومغناطیسی بر حسب بسامد[6] به امواج رادیویی، زیر موج، زیر قرمز، نور مرئی، فرابنفش، پرتو ایکس و پرتوگاما که به ترتیب افزایش بسامد مرتب شده‌اند، تقسیم‌بندی می‌گردند [۲۴].

۲-۱- ناحیه زیر قرمز امواج الکترومغناطیس

انرژی نور خورشید شامل طیف وسیعی از طول موج‌ها می‌باشد. بخش عمده‌ای از کل انرژی در اتمسفر جذب می‌شود و به سطح زمین نمی‌رسد. نوری که به سطح زمین می‌رسد از محدوده ۲۹۵ nm الی ۲۵۰۰ می‌باشد. انرژی خورشید که به سطح زمین می‌رسد به سه قسمت فرابنفش (۴۰۰-۲۹۵ nm)، مرئی (۷۰۰-۴۰۰ nm) و زیر قرمز تقسیم می‌شود. ناحیه زیر قرمز به سه ناحیه زیر قرمز نزدیک (۱۵۰۰-۷۰۰ نانومر)، زیر قرمز میانی (۳۰۰۰-۱۴۰۰ nm) و زیر قرمز دور (بالاتر از ۳۰۰۰ nm) تقسیم می‌شود [۲۵]. ۴۵٪ از کل انرژی خورشید در ناحیه غیرمرئی زیر قرمز می‌باشد [۲۶]. ناحیه تولید گرمای پرتوهای زیر قرمز از ۷۰۰ nm تا ۱۱۰۰ می‌باشد. این پرتوها در صورت جذب، باعث گرم شدن زمین می‌شوند [۲۷, ۲۸]. تابش زیرقرمز به قسمتی از طیف امواج الکترومغناطیس گفته می‌شود که طول موج آنها بلندتر از دامنه نور مرئی و کوتاه‌تر از دامنه امواج رادیویی باشند [۱]. این امواج در نمودار بعد از رنگ قرمز در امواج مرئی که کمترین شکست را نسبت به بقیه رنگ‌ها دارد قرار می‌گیرد. به همین سبب به آنها امواج زیر قرمز می‌گویند [۲۹]. منطقه زیر قرمز نزدیک قابل توجه در رابطه با استتار ۷۰۰ تا ۹۰۰ nm است [۳۰, ۲۰]. این ناحیه به این دلیل مهم است که ویژگی‌های طیفی کلروفیل در این منطقه قابل توجه می‌باشد. این در صورتی می‌باشد که در برخی از تحقیقات، محدوده طول موج موثر برای استتار زیر قرمز ۷۰۰

[1] Camouflage
[2] Camoufler
[3] Passive defense
[4] Civilian camouflage
[5] Near infrared
[6] Frequency

تا nm ۱۲۰۰ گزارش شده است [۲۰]. با توجه به سهم امواج زیر قرمز از طیف امواج الکترومغناطیس، استفاده‌های کاربردی زیادی را می‌توان برای این امواج نام برد. کاربرد در تلفن همراه، فیزیوتراپی، طیف‌بینی زیر قرمز[1] و ابزارهای دید در شب[2] از جمله این کاربردها می‌باشد [۲۹]. کاربرد امواج زیر قرمز در ابزارهای دید در شب در زیر شرح داده شده است.

۲-۱-۱- تجهیزات دید در شب و عملکرد آنها

این ابزارها بر اساس سنجش تابش زیر قرمز که از حوزه دید انسان پنهان است، طراحی شده‌اند. از جمله تجهیزات دید در شب عینک‌های دید در شب[3]، دوربین‌های دید در شب[4] و دوربین‌های حرارتی می‌باشند. تمامی سیستم‌های دوربین مدار بسته دید شبانه، تصویر بهبود یافته الکترونیکی تهیه می‌کنند. یک سیستم مدار بسته دید در شب مانند سایر سیستم‌های روزانه، دارای اجزای نوری[5] مانند لنز، منشور و آیینه می‌باشد که در کنار هم با در نظرگرفتن اصول اپتیکی خاص خود طراحی و به کار گرفته شده‌اند [۳۱]. تمامی سیستم‌های دید شبانه، تک رنگ هستند. به عبارت دیگر رنگ‌های گوناگون را نشان نمی‌دهند و تصاویر را به رنگ سبز تیره نشان می‌دهند. علت انتخاب این رنگ به دلیل این است که چشم انسان نسبت به این رنگ حساسیت بیشتری دارد [۳۱].

۲-۱-۱-۱- عینک‌های دید در شب

عینک‌های دید در شب، نور ضعیف محیط را که عملاً برای چشم غیرمسلح قابل رویت نیست، تقویت نموده و پس از تبدیل به طیف قابل رویت، آن را در یک صفحه دو بعدی در مقابل هر یک از چشمان فرد قرار می‌دهد [۲۹, ۳۲].

۲-۱-۱-۲- دوربین‌های دید در شب

دوربین‌های دید در شب معمولاً برای نشان دادن اشیایی که به طور طبیعی برای چشم انسان غیرقابل مشاهده است استفاده می‌شوند [۲۲]. در دوربین‌های دید در شب، فیلم یا عکس حساس به نور زیر قرمز استفاده می‌شود. برای تشخیص نور زیر قرمز نزدیک از طیف‌سنج[6] استفاده می‌شود. طیف‌سنج دستگاهی برای تشخیص امواج الکترومغناطیس می‌باشد. طول موجی که برای عکاسی استفاده می‌شود nm ۷۰۰ تا ۹۰۰ است. معمولا از فیلترهای[7] زیر قرمز (شیشه‌ای کاملاً تیره که چشم انسان پشت آن را نمی‌بیند، این فیلتر نور مرئی را حذف می‌کند و فقط نور زیر قرمز را از خود عبور می‌دهد) استفاده می‌شود که اجازه می‌دهد نور زیر قرمز در طول دوربین طی شود، اما از انتشار تمام نور یا بیشتر نور مرئی جلوگیری می‌شود [۳۳]. طرز کار دوربین‌های دید در شب به دو صورت فعال و غیرفعال می‌باشد [۱۹, ۳۱]. در حالت فعال، دوربین با استفاده از نور زیر قرمز کار می‌کند [۳۱]. در حالت غیرفعال، کار سیستم دوربین، تشدید نور حاصل از ستارگان یا ماه می‌باشد. در واقع دوربین‌های دید در شب با این نوع سیستم کاری، با تقویت نوری که از هدف باز تابیده می‌شود و رساندن آن به اندازه‌ای که به وسیله چشم انسان قابل تشخیص باشد، امکان دید در شب را بوجود می‌آورند [۳۱]. دوربین‌های دید در شب به دو نوع تقسیم می‌شوند، نوع اول با نور کار می‌کند و نحوه عملکرد آن به این صورت است که تمامی نورهای رسیده از اجسام را جذب کرده و به چشم بیننده منتقل می‌کند. البته این روش برای فواصل کوتاه مفید است. نوع دوم حرارتی هستند. هر چیزی در ارتباط با محیط پیرامون خودش دارای دمای خاصی هست و به گونه‌ای منبع حرارت و پرتو از خود با عنوان زیر قرمز ساطع می‌کند. نحوه عملکرد این نوع از دوربین‌ها به این صورت می‌باشد که با استفاده از یک فیلتر جداکننده، اشعه زیر قرمز را جذب کرده و با یک تفکیک‌کننده آن را برای بیننده در یک رنگ آبی، سبز یا قرمز قابل رویت می‌کند [۳۴]. دوربین‌های حرارتی نسبت به دوربین‌های دید در شب مزیت‌های مختلفی دارند و می‌توانند در شرایط نامساعد جوی مانند مه، دود، گرد و غبار و در مجموع تمام شرایط آب و هوایی مورد استفاده قرار گیرند. این دوربین‌ها کاملاً غیرفعال بوده و یکی از قابلیت‌های این دوربین‌های حرارتی امکان به کارگیری آن در تاریکی مطلق می‌باشد [۳۴].

۲-۱-۲- استتار ناحیه غیرمرئی زیر قرمز

برای 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 معمولاً 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 در شب 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 اجزای محیط اطرافش داشته باشد، قابل شناسایی توسط این دستگاه‌ها نبوده و در مقابل آنها استتار می‌شود [۱۳]. بنابراین در ناحیه زیر قرمز نزدیک، طیف انعکاسی دارای اهمیت می‌باشد و طیف انعکاسی هدف، باید با طیف انعکاسی اجزای محیط اطراف آن همانند باشد [۳۵]. بنابراین ارزیابی استتار در این ناحیه از طریق اندازه‌گیری طیف انعکاسی منسوج استتار شده و مقایسه این طیف با طیف انعکاسی اجزای محیط انجام می‌شود [۱۳].

۲-۱-۳- ویژگی‌های انعکاس زیر قرمز محیط اطراف (درک محیط)

همانطور که اشاره شد به منظور ایجاد استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک باید طیف انعکاسی هدف با طیف انعکاسی اجزای محیط اطراف آن

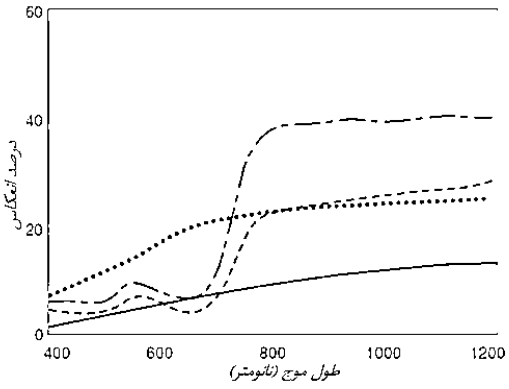
[1] Infrared spectroscopy
[2] Night vision devices
[3] Night vision goggles
[4] Night vision camera
[5] Optical elements
[6] Spectrum
[7] Infrared cut-off filter

همانند باشد [۱۳]. معمولاً چهار محیط برفی، جنگلی، شهری و بیابانی را می‌توان به عنوان مهم‌ترین زمینه‌های استتار برای پنهان‌سازی نیروها و تجهیزات نظامی عنوان کرد [۱۴]. اجزای 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 این اجزا در شکل ۱ (الف) نشان داده شده است [۱۳]. همانطور که در شکل ۱ (الف) مشاهده می‌شود، میزان انعکاس شن و خاک با شیب ملایم از ناحیه مرئی به سمت زیر قرمز زیاد می‌شود. همچنین مقدار کمی رطوبت، انعکاس را در ناحیه مرئی و زیر قرمز کاهش می‌دهد. بنابراین شن نم‌دار مانند خاک یک شکل انعکاسی زیر قرمز دارد [۱۹]. 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 [۳۰]. برگ گیاهان سبز در ساختار خود دارای رنگدانه‌ای می‌باشند که باعث انعکاس در ۵۵۰ nm می‌شود و باعث ظهور رنگ سبز می‌گردد، انعکاس گیاهان سبز با شیب ملایمی در ناحیه قرمز کاهش پیدا می‌کند و با شیب کمی در ۶۸۰ و ۷۱۰ nm بالا می‌رود و در ۷۲۰ صاف می‌شود و در طول موج ۱۳۰۰ nm دوباره کاهش پیدا می‌کند [۱۹, ۲۵]. مشاهده شده است که منحنی انعکاس پوشش‌های گیاهی مختلف در باند مرئی و زیر قرمز نزدیک کمی متفاوت است [۱۷]. مثلاً برگ درختان برگ‌ریز[1] انعکاس بالای زیر قرمز دارند، در حالی که برگ درختان کاج سوزنی[2] درناحیه زیر قرمز نزدیک جذب قوی دارند. از این‌رو، نوعی شکل انعکاس شاخ و برگ سبز (کلروفیل) به عنوان مرجع استاندارد انتخاب شده که منحنی انعکاس استاندارد نامیده می‌شود [۱۹]. در مراجع ذکر شده است که منحنی انعکاسی سه نوع برگ سبز تازه درخت، برگ درختان برگ ریز (حد بیشینه انعکاس برگ سبز)، برگ درختان سوزنی برگ (حد کمینه انعکاس برگ سبز) و سایر برگ‌هایی که میزان انعکاس آنها بین این دو نوع برگ قرار دارد، به عنوان مرجع استاندارد اندازه‌گیری‌ها در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر انعکاس اجزای طبیعی در ناحیه زیر قرمز نزدیک، به این صورت می‌باشد که برگ درختان ٪۹۰-۵۰، خاک ٪۲۰-۱۵ و ماسه: ٪۴۰-۳۰ می‌باشند [۱۳]. لذا با توجه به اجزای غالب موجود در طبیعت، رنگ‌های سبز، زیتونی، قهوه‌ای، خاکی و مشکی رنگ‌هایی هستند که در اغلب الگوهای استتاری یافت می‌شود [۱۳, ۱۹]. این رنگ‌ها می‌توانند در غالب مشخصات رنگی در فضا رنگ CIE[3] (در ناحیه مرئی) و یا در غالب طیف انعکاسی (در ناحیه زیر قرمز نزدیک) اندازه‌گیری شوند [۲۲]. هر رنگ خاص یک مشخصه زیر قرمز خاص خود را دارد. همانگونه که در شکل ۱ (ب) مشاهده می‌شود، رنگ استتاری سیاه، انعکاس کمی در ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک دارد و منحنی انعکاسی رنگ استتاری قهوه‌ای به تدریج در ناحیه زیر قرمز زیاد می‌شود [۱۹].

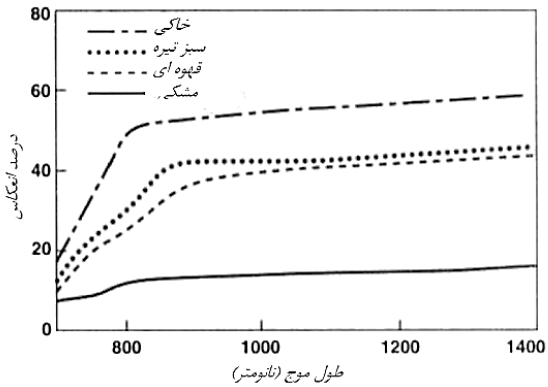
۳- انعکاس و جذب نور

وقتی نور یا پرتوهای الکترومغناطیس روی شیء می‌افتد سه حالت رخ می‌دهد: می‌تواند منعکس، منتقل یا جذب شود. هر سه می‌تواند به طور کامل یا انتخابی برای پرتوهای طیف الکترومغناطیس رخ دهد. یعنی ماده می‌تواند در ناحیه مرئی منعکس، در ناحیه UV جذب و در ناحیه زیر قرمز منتقل شود یا هر ترکیب دیگری از این سه می‌تواند اتفاق بیفتد [۲۷].

[1] Deciduous tree leaf
[2] Coniferous needle
[3] Comission international del Eclairage



(الف)



(ب)

شکل ۱- الف - منحنی انعکاسی اجزای طبیعی محیط (— - — برگ درخت لیمو، ..... شن خشک، ------ برگ درخت صنوبر، — خاک (soil))، ب- انعکاس مورد نیاز برای برخی رنگ‌های استتاری [۶, ۱۳, ۱۹].

مثلاً در صورتی که اگر نمونه به اندازه کافی ضخیم باشد، نور منتقل شده ناچیز خواهد بود [۲۸]. هنگامی که نور در مقطع لیف می‌افتد، در زوایای مختلف منعکس شده و برای تضمین این انعکاس، لازم است لیف در طولش یکنواخت باشد. بنابراین، شکل الیاف یک فاکتور مهم در انعکاس می‌باشد. به عنوان مثال، لیف نایلون سطح مقطع عرضی دایره‌ای دارد و در شکل طولی‌اش استوانه‌ای می‌باشد، بر این اساس نوعی درخشش به واسطه سطح مقطع عرضی دایره‌ای شکل در نایلون وجود دارد. یا در مورد لیف پنبه، که در سطح مقطع عرضی بیضوی است و نسبت a/b یک پارامتر مهم برای براقیت الیاف پنبه می‌باشد. اگر این نسبت کاهش یابد براقیت پنبه افزایش می‌یابد [۱]. از آنجایی که انعکاس مواد رنگزایی که برای رنگرزی منسوج و استتار آن به کار می‌رود بسیار حائز اهمیت بوده و ارتباط مستقیمی با ساختار شیمیایی آن مواد رنگزا دارد [۱۳] و همچنین رنگدانه‌ها تاثیر عمده‌ای روی خواص نوری و پوشش زیر قرمز نزدیک دارند [۱, ۳۰]. در این بخش رنگزاها، رنگدانه‌ها و روش‌های مورد استفاده به منظور دست‌یابی به استتار موثر شرح داده می‌شود.

۴- استتار با رنگدانه‌ها

خواص نوری فیلم رنگی و سطوح پارچه چاپ شده را تا حد زیادی می‌توان به نوع رنگدانه مورد استفاده نسبت داد. بنابراین، کاربرد تکنیک‌های پوشش سطحی در زمینه استتار نیاز به اطلاعاتی در مورد خواص انعکاسی رنگدانه‌ها در ناحیه زیر قرمز می‌باشد [۱, ۳۰]. در استفاده از رنگدانه برای استتار، اشیاء با توجه به ویژگی‌های طبیعی انعکاسی خود و با توجه به پرتوهای خاصی که در برابر شناساگر حساس است، اصلاح می‌شوند [۱]. اصلاح انعکاس اشیاء به منظور شبیه‌سازی با محیط اطراف آن صورت می‌گیرد، در نتیجه اشیایی که از محیط اطراف خود قابل تشخیص می‌باشند، غیرقابل تشخیص می‌شوند [۱].

۴-۱- رنگدانه‌ها

رنگدانه‌ها ذرات جامد ریزی هستند که به طور قابل توجهی در رنگ یا پوشش‌های تجهیزات نظامی غیرقابل حل هستند [۱]. رنگدانه‌ها مواد آلی یا معدنی هستند که برای ویژگی‌های خاص مانند رنگ، پشت‌پوشی[1]، مهارکننده خوردگی[2] و سختی مکانیکی[3] استفاده می‌شوند [۱, ۳۶]. رنگدانه‌ها رنگی، سیاه، سفید، فلورسنت آلی و جامد غیرآلی هستند که معمولاً در آب یا مواد آلی که برای پراکنده کردن آنها استفاده می‌شوند غیرقابل حل می‌باشند و از نظر فیزیکی و شیمیایی از بستری که در آن قرار می‌گیرند تاثیر می‌پذیرند. آنها ظاهر را توسط جذب انتخابی و یا انتشار نور تغییر می‌دهند [۱, ۲۷, ۳۶]. خواص فیزیکی و نوری مهم رنگدانه‌ها، خواص جذب و پخش نور می‌باشند. اگر جذب در مقایسه با پخش خیلی کم باشد، رنگدانه، رنگدانه سفید و اگر جذب بیشتر از پخش در کل منطقه طیفی باشد، رنگدانه سیاه است [۲۸].

۴-۱-۱- رنگدانه‌های غیرآلی یا معدنی

رنگدانه‌های معدنی از ترکیب مواد معدنی ساخته شده‌اند و این مواد به طور عمده اکسیدها، سولفیدها از یک یا چند فلز می‌باشند [۳۷]. تعداد کمی از ترکیبات غیرآلی یا معدنی مانند اکسید کروم، اکسید آهن زرد و قرمز، کربن سیاه و کرومات سرب رفتار انعکاسی را نه تنها در ناحیه مرئی طیف، بلکه در ناحیه زیر قرمز نزدیک طیف به همان شیوه‌ای که اشیاء طبیعی واکنش می‌دهند، نشان می‌دهند. برخی از رنگدانه‌ها در شیدهای مختلف به منظور مطابقت با محیط اطراف تهیه می‌شوند [۱].

۴-۱-۲- رنگدانه‌های آلی

رنگدانه‌های آلی، از مولکول‌هایی با اتم‌های کربن به همراه اتم‌های هیدروژن، نیتروژن و اکسیژن ساخته شده‌اند. معمولاً در طبیعت وجود ندارند. بسیاری از رنگدانه‌های رنگ روشن، کمپلکس‌های آلی هستند و به صورت مصنوعی تولید شده‌اند. تعداد خیلی کمی از این رنگدانه‌ها از منابع طبیعی به‌دست آمده‌اند. از مهمترین رنگدانه‌های آلی می‌توان به گروه فتالوسیانین‌ها اشاره کرد که طیف رنگ‌های آبی و سبز را در بر می‌گیرند [۱].

۴-۲- پوشش‌دهی سطحی[4] با استفاده از رنگدانه در ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک

امواج الکترومغناطیس که در منطقه مرئی و زیر قرمز نزدیک بر روی سطح پوشش داده شده می‌افتد، یا وارد فیلم رنگی می‌شود و یا به صورت آینه‌وار توسط سطح منعکس می‌شود. امواج الکترومغناطیسی که وارد فیلم شده است، به صورت پراکنده توسط ذرات رنگدانه منعکس شده یا توسط رنگدانه‌ها جذب شده و یا از میان فیلم به منظور رسیدن به زمینه ماده بستر پوشش رنگی منتقل می‌شود. نور وقتی که به ماده بستر می‌رسد دوباره از طریق فیلم منعکس یا جذب می‌شود. پرتوهایی که نه منعکس شده و نه منتشر می‌شوند توسط مواد جذب شده و تبدیل به حرارت و انرژی شیمیایی می‌شوند [۱, ۳۸].

۴-۳- اثر رنگدانه‌ها در فرمولاسیون پوشش‌های انعکاسی خورشیدی و انتشاری ناحیه زیر قرمز

باند زیر قرمز مورد توجه برای خورشید و پوشش جذبی ساطعی[5] زیر قرمز در محدوده طول موج ۷۰۰ الی ۱۵۰۰ nm واقع شده است. پوشش مورد نیاز به منظور کنترل پرتوهای ساطع شده توسط یک جسم در دو دسته قرار دارد [۱, ۳۸].

۱- پوششی که از طریق جذب یا انعکاس یک پرتو خورشیدی عمل می‌کند. این پوشش، عمدتاً در ناحیه زیر قرمز نزدیک به کار گرفته می‌شود.

[1] Opacity
[2] Corrosion inhibitor
[3] Mechanical rigidity
[4] Coating
[5] Absorbing/emitting coating

۲- پوششی که انتشارهای ناشی از پرتوهای ترکیبات و تابش‌های خورشیدی و پرتوهای خود ساطع حرارتی[1] را کنترل می‌کند. این پوشش‌ها در ناحیه مرئی، زیر قرمز نزدیک و زیر قرمز حرارتی[2] به کار گرفته می‌شوند.
فرمولاسیون رنگ، جذب و انعکاس پرتوهای مرئی و زیر قرمز را تحت تاثیر قرار می‌دهد و بدین وسیله حرارت خورشیدی ایجاد شده و پرتوهای ساطع شده در منطقه طیفی خاص را کنترل می‌کند [۱, ۳۸].

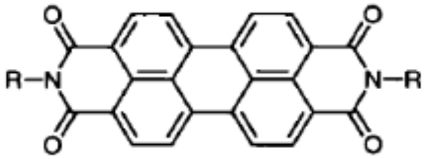
۴-۴- رنگدانه‌های مورد استفاده برای استتار در ناحیه زیر قرمز

اغلب رنگدانه‌های آبی و سیاه پرتوهای زیر قرمز را به شدت جذب می‌کنند وحتی مقادیر کم آنها در کاهش انعکاس زیر قرمز موثرند [۳۰]. رنگدانه‌های مورد استفاده برای استتار زیر قرمز در جدول ۱ آورده شده است [۲۵].

جدول ۱- رنگدانه‌های مورد استفاده برای استتار زیر قرمز [۲۵].

رنگدانه‌های غیر آلی		رنگدانه‌های آلی
اکسید آهن زرد و قرمز	کرومیوم اکسید	پریلن سیاه
کربن سیاه	اکسید فریک	فتالوسیانین آبی
رنگدانه‌های فلزی	کرومات سرب	فتالوسیانین سبز
ایزواندولینون	ایزواندولین	کربازول دی اکسازین
-	دی کتو پیرول پیرول	کوئین اکریدین

در شکل ۲ نمونه‌ای از رنگدانه استتاری نشان داده شده است. در این شکل در صورتی که (R= n-C_3H_7, C_2H_4OH, C_2H_4PH, n-C_4H_8OH) باشد، رنگدانه‌های سیاهی هستند که همراه با دیگر رنگ‌ها ویژگی‌های انعکاسی مفیدی را برای پلی اتیلن و پلی وینیل کلرید رنگرزی جرمی[3] شده و چاپ منسوجات در شیدهای استتاری زیتونی و خاکستری، ایجاد می‌کنند [۱۹].



شکل ۲- نمونه‌ای از رنگدانه استتاری [۱۹].

رنگدانه معدنی سیاه (دوده یا کربن سیاه) که از فرآورده‌های جانبی نفت به شمار می‌رود، یکی از انواع اصلاح‌کننده‌های خواص انعکاسی و رنگدانه‌های پر کاربرد در صنایع رنگ مواد پلاستیکی و الیاف مصنوعی به شمار می‌رود [۳۹]. در خصوص به کارگیری این ماده به عنوان یک اصلاح‌کننده خواص انعکاسی، محققین مختلفی به تاثیر دوده بر خواص انعکاسی الیاف در ناحیه زیر قرمز نزدیک اشاره داشته‌اند [۱, ۱۳, ۱۴, ۲۰, ۲۱, ۳۶, ۴۰]. کربن سیاه مقدار انعکاس در ناحیه زیر قرمز را تا مقدار زیادی کاهش می‌دهد، زیرا انعکاس آن در زیر قرمز بسیار کم است (در حدود ۲٪) [۱]. این رنگدانه‌ها برای ایجاد فام سبز زیتونی مناسب می‌باشند [۲۰]. زرد سودارشان[4] و قرمز سیگنال[5] نیز از جمله رنگدانه‌هایی هستند که نقش مهمی را در میزان نهایی انعکاس زیر قرمز بازی می‌کنند. قرمز سیگنال و زرد سودارشان که ترکیبات کادمیومی می‌باشند, دارای میزان انعکاس بالایی هستند [۱۳]. نوع دیگر رنگدانه‌های منعکس‌کننده زیر قرمز، اکسیدهای فلزی مانند دی‌اکسید تیتانیم و دی‌اکسید سیلیسیم می‌باشد که در ناحیه زیر قرمز میزان انعکاس بالایی دارد [۱, ۴۱, ۴۲].

۵- رنگزاهای استتاری

به منظور ایجاد استتار مناسب در هر دو محدوده مرئی و زیر قرمز بر روی منسوجات پوشش‌دهنده تجهیزات و سربازها ملزم به استفاده از رنگ‌های استتاری مناسبی هستیم که علاوه بر شبیه‌سازی رنگ محیط اطراف بتواند خصوصیات انعکاسی یکسانی را در محدوده‌ی زیر قرمز با محیط اطراف خود در میادین رزم ایجاد کنند [۱۳]. غالب رنگزاهای مناسب استتار و جاذب امواج زیر قرمز را رنگ‌های سیانینی، کمپلکس‌های فلزی و رنگزاهای با کروموژن‌های‌دهنده و گیرنده[6] الکترون تشکیل می‌دهند این رنگ‌ها نیز هرکدام به کلاس‌های رنگی دیگری می‌توانند تقسیم شوند. از جمله کروموژن‌های‌دهنده و گیرنده الکترون می‌توان به رنگ‌هایی با ساختار آزویی و کینونی اشاره نمود و رنگ‌های فتالوسیانین از جمله رنگ‌های متال کمپلکسی می‌باشند [۴۳]. یکی از دسته مواد رنگزا که خواص ثباتی خوبی روی الیاف سلولزی داشته و اخیراً استفاده از آنها برای مقاصد استتاری افزایش یافته است، مواد رنگزای خمی می‌باشد [۶, ۷, ۱۳]. رنگ‌های سولفوری با وجود انعکاس پایین در ناحیه زیر قرمز به دلیل ثبات‌های نامناسب‌تر و نوری در مواد استتاری استفاده نمی‌گردد [۶, ۲۵, ۴۴-۴۸]. در جدول ۲ تعدادی از پرکاربردترین رنگزاهای خمی در زمینه استتار منسوج پنبه‌ای نشان داده شده است [۱۷]. در جدول ۳ نیز می توان رنگزاهای خمی کاربردی برای ایجاد فام های استتاری متفاوت را مشاهده کرد [۲۵].

[1] Thermal self-emitted radiation
[2] Thermal infrared radiation
[3] Mass dyeing
[4] Sudarshan yellow
[5] Signal red
[6] Donor-acceptor chromogens

جدول ۲- رنگزاهای پرکاربرد خمی برای استتار پارچه پنبه‌ای [۱۷، ۱۳]

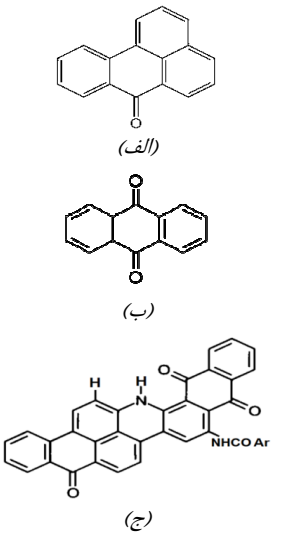
کلاس شیمیایی	بیشینه طول موج جذب (nm)	شماره رنگ
کوئینون	۴۳۰	C.I. Vat Orange 1
آنتراکینون	۴۲۰	C.I. Vat Yellow 33
آنتراکینون	۴۲۲	C.I. Vat Yellow 2
آنتراکینون	۶۴۰	C.I. Vat Blue 13
آنتراکینون	۶۶۰	C.I. Vat Blue 6
آنتراکینون	۵۲۰	C.I. Vat Red 13

جدول ۳- فام ایجاد شده توسط مواد رنگزای خمی استتاری [۲۵].

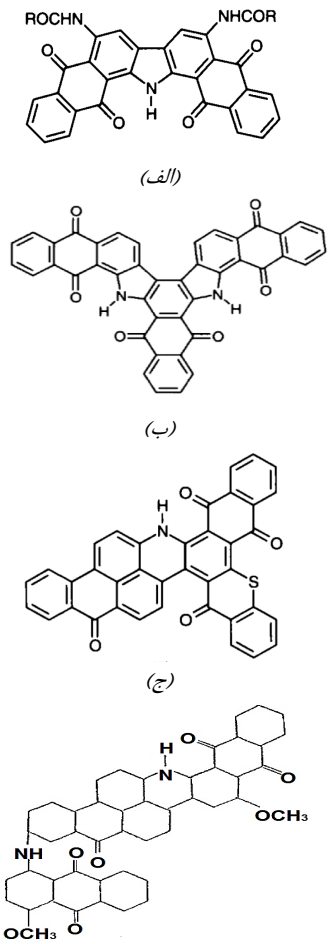
فام	رنگ
قهوه‌ای روشن	C.I. Vat Brown 6
قهوه‌ای روشن	C.I. Vat Brown 1
قهوه‌ای روشن - سبز روشن	C.I. Vat Orange 15
قهوه‌ای تیره - خاکستری	C.I. Vat Brown 35
قهوه‌ای تیره - خاکستری - سبز روشن - سبز تیره	C.I. Vat Black 27
قهوه‌ای تیره	C.I. Vat Red 24
سبز روشن - سبز تیره	C.I. Vat Green 28
خاکستری	C.I. Vat Black 30

شکل ۳ (الف و ب) ساختارهای آنتراکینون و بنزانترون را نشان می‌دهد. رنگ‌های خمی که برای استتار ناحیه زیر قرمز استفاده می‌شوند، باید دارای ساختارهای آنتراکینون، بنزانترون[1] یا حلقه‌های پلی سیکلیک آکریدین[2] باشند تا بتوانند طیف انعکاسی مورد نظر در ناحیه زیر قرمز نزدیک و خاصیت استتاری را بر روی منسوج پنبه‌ای ایجاد نمایند [۶، ۱۳، ۲۵]. به عنوان مثال، شکل ۳ (ج) نمونه‌ای از رنگزای مناسب استتاری را نشان می‌دهد که علاوه بر انعکاس پایین زیر قرمز دارای خصوصیات ثباتی مناسبی نیز می‌باشد. مشخص شده است هنگامی که در ساختار رنگ یک گروه آمینو بنزوئیل وجود داشته باشد و همچنین یک گروه سولفونوآمید به حلقه بنزنی گروه بنزوئیل متصل شده باشد، رنگزای خمی نه تنها دارای انعکاس زیر قرمز پایینی می‌باشد، بلکه از ویژگی‌های دیگری مانند ثبات نوری و شست و شویی خوبی برخوردار بوده و شید زیتونی مناسبی را برای استفاده نظامی فراهم می‌کند [۴۵]. شکل ۴ مثال‌های دیگری از این رنگزاها را نشان می‌دهد [۱۹، ۴۹، ۵۰]. به عنوان مثال، ساختار رنگزای موجود در شکل ۴ (د) بر روی پنبه شید خاکستری ایجاد می‌کند. انعکاس زیر قرمز پایینی دارد و دارای ثبات نوری عالی می‌باشد [۴۹].

[1] Benzanthrone
[2] Acridine polycyclic ring



شکل ۳- ساختارهای بنزانترون و آنتراکینون و نمونه‌ای از ماده رنگزای استتاری
الف- ساختار بنزانترون ب- ساختار آنتراکینون ج- رنگزای مناسب استتار [۴۵].

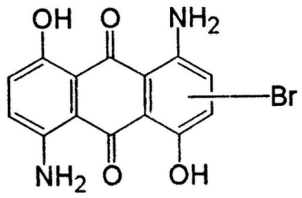


شکل ۴- رنگزاهای مناسب استتارالیاف سلولزی
الف- C.I. Vat Black 27 [۱۹]، ب- C.I. Vat Brown 1 [۱۹]، ج- رنگ استتاری هالوژن‌دار[۵۰]، د- C.I. Vat Black 25 [۴۹].

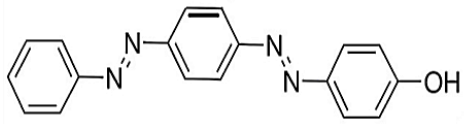
رنگزاهای خمی عموماً محدود به پارچه‌های سلولزی می‌باشند، بنابراین تکنیک‌ها و رنگزاهای دیگری برای ایجاد استتار زیر قرمز برای الیاف غیرسلولزی و مصنوعی مورد نیاز است [۱۹, ۵۱].

۵-۱- رنگزاهای استتاری مناسب برای الیاف غیرسلولزی در روش رنگرزی

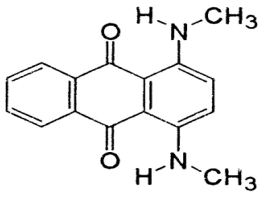
یکی از پرکاربردترین رنگزاهای پراکنده در منسوجات نظامی C.I. Disperse Blue 56 است، که با ترکیب این رنگزا با C.I. Disperse Black 27، C.I. Disperse Yellow 23 و C.I. Disperse Blue 14 فام‌های استتاری مناسب را می‌توان ایجاد کرد [۱۸]. ساختار این رنگزاها در شکل ۵ نشان داده شده است. رنگزای C.I. Disperse Yellow 23 یک ماده رنگزای پراکنده با ساختار دی آزوی می‌باشد.



(الف)



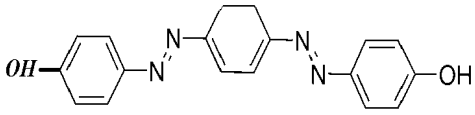
(ب)



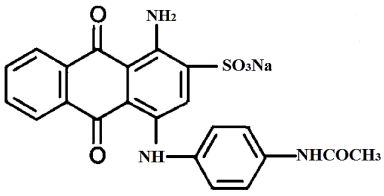
(ج)

شکل ۵- ساختار رنگزاهای پراکنده برای ایجاد استتار سبز روی پارچه پلی استر
الف- C.I. Disperse Blue 56 ب- C.I. Disperse Yellow 23 ج- C.I. Disperse Blue 14

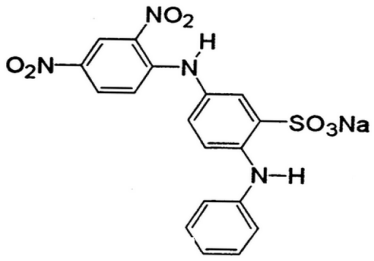
اگرچه رنگزاهای کمی جذب کافی زیر قرمز را برای الیاف مصنوعی و غیرسلولزی نشان می‌دهند، رنگدانه‌هایی مانند کربن سیاه به شدت زیر قرمز را جذب می‌کنند. این رنگدانه‌ها می‌توانند در حین تولید به پلیمر الیاف اضافه شوند و یا بر روی پلیمر چاپ شوند تا جذب زیر قرمز را افزایش دهند [۱۹]. شکل ۶ مثال‌هایی از این رنگ‌های استتاری را نشان می‌دهد. الیاف پلی استر با کربن سیاه رنگرزی جرمی شده و سپس با رنگرزی توسط ترکیب رنگ‌های زیر، شید زیتونی مورد نیاز برای استتار را ارائه می‌کند [۵۱]. در مورد منسوجات نایلونی می‌توان (رنگ‌های اسیدی و رنگ‌های کمپلکس فلزی)، سلولز استات (رنگ‌های پراکنده) و منسوجات ویسکوزی (رنگ‌های راکتیو) برای ایجاد فام‌های استتاری استفاده کرد [۲۵, ۵۱]. برخی از این رنگزاها در شکل ۷ و ۸ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۸ (الف) مشاهده می‌شود، رنگزای C.I. Acid Blue 40 دارای ساختار آنتراکینون می‌باشد. ترکیب این رنگزا با رنگزا C.I. Acid Orange 3. بر روی الیاف نایلون ۶ رنگرزی جرمی شده با کربن سیاه، شید زیتونی مناسب برای استتار را ایجاد می‌کنند [۵۱].



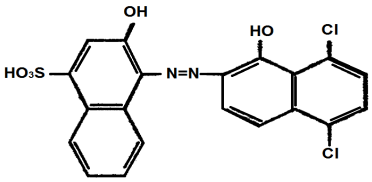
شکل ۶- رنگزای مناسب استتاری الیاف پلی استر رنگرزی جرمی شده با کربن سیاه [۵۱].



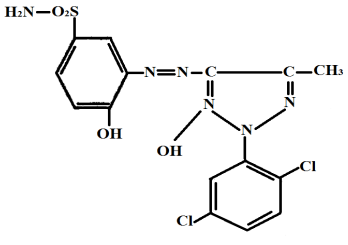
(الف)



(ب)



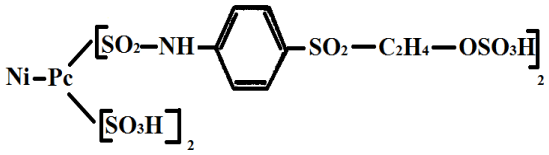
(ج)



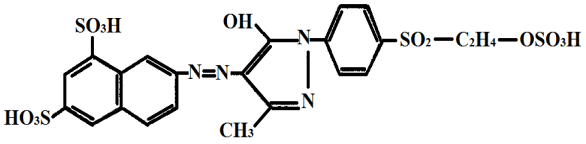
(د)

شکل ۷- رنگزاهای اسیدی برای ایجاد استتار خاکی و سبز زیتونی: الف و ب- برای الیاف نایلون ۶ رنگرزی جرمی شده با CB، ج و د- برای الیاف نایلون۶۶ رنگرزی جرمی شده با CB [۵۱].

الف - Acid Blue 40 ب- Acid Orange 3



(الف)

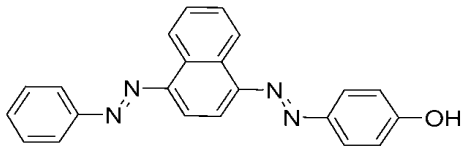


(ب)

شکل ۸- رنگ‌های راکتیو مناسب استتار برای الیاف ویسکوز ریون رنگرزی جرمی شده با CB [۵۱].

۵-۲- رنگزاهای استتاری مناسب برای الیاف غیرسلولزی و مصنوعی در روش رنگرزی جرمی

می‌توان از رنگزاهای پراکنده دیگری با فام مناسب استفاده نمود و خواص انعکاسی منسوج رنگ شده را به وسیله کربن سیاه به حد مطلوب رسانید. رنگدانه‌ها و رنگزاهای مورد استفاده در این روش باید دارای مقاومت حرارتی بالایی باشند. C.I. Pigment Green 7، C.I. Pigment Yellow 184 و C.I. Pigment Yellow 62 از جمله این رنگدانه‌ها می‌باشند [۲۰]. شکل ۹ یک نمونه ماده رنگزای مورد استفاده در این روش را نشان می‌دهد.

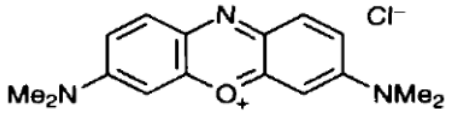


شکل ۹- رنگ (C.I. Disperse Orange 149) مناسب استتار نخ PET در حضور CB و C.I. Pigment Green 7 [۲۰].

۵-۳- رنگزاهای فلورسنتی[1]

نوع دیگری از رنگزاها که به منظور ایجاد خواص استتاری در مقابل آشکارسازهای زیر قرمز بر روی منسوجات مورد استفاده قرار می‌گیرد، رنگ‌های فلورسنتی می‌باشد. مشخص شده است که بیشتر رنگ‌های اکسازینی[2] برای این منظور مناسب می‌باشند. ساختار برخی از این رنگ‌ها در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است [۱۹].

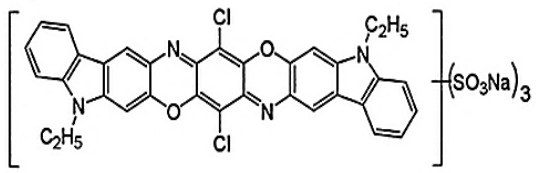
[1] Fluorescent dyes
[2] Oxazine dyes



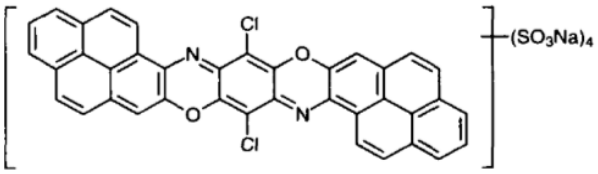
(الف)

(ب)

شکل ۱۰- رنگزاهای فلورسنتی استتاری مناسب برای الیاف اکریلیک [۱۹].
الف- C.I. Basic Blue 3 ب- C.I. Direct Blue 106



(الف)



(ب)

شکل ۱۱- رنگزاهای فلورسنتی استتاری مناسب برای الیاف پلی آمید [۱۹].
الف- C.I. Direct Blue 108 ب- C.I. Direct Blue 109

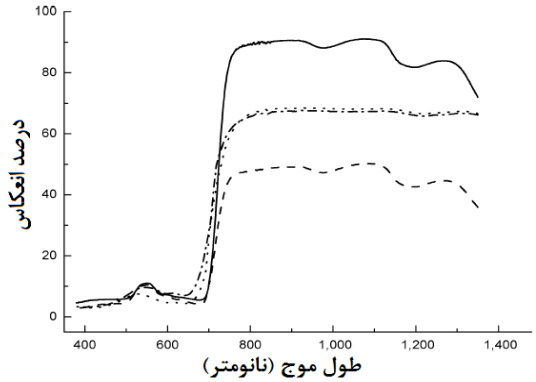
۶- تهیه منسوجات ویژه استتار

روش‌هایی که برای ایجاد خاصیت استتار بر روی منسوجات به کار گرفته می‌شود رنگرزی، چاپ و رنگرزی جرمی می‌باشد. گزارش‌های زیادی در متون در مورد آماده‌سازی الیاف استتاری با رنگ یا چاپ وجود دارد. با این حال تحقیقات کمی در مورد تولید الیاف استتاری با فرآیند ریسندگی شیمیایی ارائه شده است [۲۰]. در این بخش به شرح این روش‌ها و برخی کارهایی که در این زمینه صورت گرفته است، پرداخته می‌شود.

۶-۱- ایجاد خاصیت استتار به روش رنگرزی

متداول‌ترین روش برای ایجاد خاصیت استتار بر روی منسوجات، رنگرزی آنها می‌باشد. الیاف مختلف می‌توانند با محدوده وسیعی از رنگ‌ها که در

بخش‌های قبل شرح داده شد، رنگرزی شوند. زانگ[1] و همکارانش به منظور مطابقت شکل انعکاس برگ سبز در ناحیه زیر قرمز نزدیک، چهار رنگ خمی تجاری را برای پارچه پنبه استفاده کرده‌اند. در این مطالعه، اثر ترکیب رنگ‌ها، غلظت رنگ‌ها (owf٪) و بافت پارچه روی انعکاس بررسی شده است. شکل ۱۲ منحنی انعکاسی پارچه پنبه‌ای با فام سبز تیره و روشن رنگرزی شده را با استفاده از رنگ‌های C.I. Vat Blue 13، C.I. Vat Orange 1 و C.I. Vat Yellow 33 را نشان می‌دهد. انعکاس‌ها به هم خیلی نزدیک هستند و تقریباً با برگ سبز در ناحیه (۷۸۰-۶۷۰ nm) مطابقت دارند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که انعکاس ترکیب رنگ‌ها، توسط رنگی که منحنی انعکاسی آن در طول موج‌های بلندتر ظاهر می‌شود تعیین خواهد شد. رنگ C.I. Vat Blue 13 نقش مهمی را در استتار فام سبز بازی می‌کند. هنگامی که غلظت این رنگ ۲-۱٪ وزنی گزارش شده است، طیف انعکاسی پارچه رنگ شده با طیف انعکاسی برگ سبز در ۷۸۰-۶۷۰ nm (ناحیه انتقال قرمز) مطابقت دارد. همچنین در این تحقیق، اثر بافت پارچه بر روی طیف انعکاسی سه پارچه پنبه‌ای با بافت‌های ساده[2]، ساتن[3] و لانه زنبوری[4] بررسی شده است که نتایج حاکی از آن است، بافت پارچه اثر کمی در استتار مرئی و زیر قرمز دارد [۱۷].



شکل ۱۲- منحنی انعکاسی پارچه پنبه‌ای سبز روشن و تیره رنگرزی شده با استفاده از سه ماده رنگزای خمی C.I. Vat Blue 13، C.I. Vat Orange 1 و C.I. Vat Yellow 33 (—) برگ درخت برگ ریز، (- -) کاج سوزنی، (. . .) پارچه پنبه‌ای سبز تیره 2% C.I. Vat Blue 13، 1% C.I. Vat Orange 1 و 3% C.I. Vat Yellow 33 و (- . -) پارچه پنبه‌ای سبز روشن 1% C.I. Vat Blue 13، 1% C.I. Vat Orange 1 و 3% C.I. Vat Yellow 33 [۱۷].

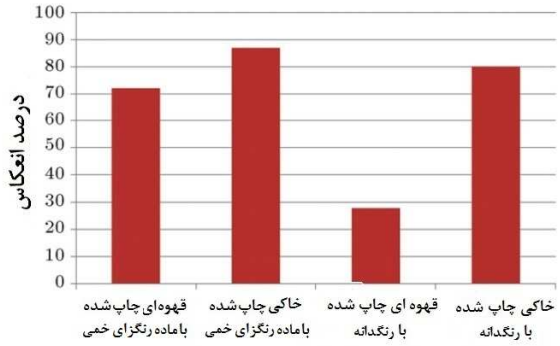
۶-۲- ایجاد استتار به روش چاپ

از دیگر روش‌های استتار منسوجات، روش چاپ می‌باشد. برای چاپ‌های استتاری بر روی منسوجات از رنگدانه‌های مختلفی استفاده می‌شود. رنگدانه‌ها در خمیر چاپ به همراه یک بیندر (چسب) مناسب به کار می‌روند. در این روش، برای رسیدن به طیف انعکاسی مورد نظر در ناحیه زیر قرمز نزدیک، رنگ‌های خاص و مواد افزودنی جاذب زیر قرمز در خمیر چاپ به کار می‌روند. تحقیقات زیادی در زمینه ایجاد استتار با استفاده از چاپ صورت گرفته است. در یک تحقیقی تلاش شده است تا استتار بر روی پارچه‌های پنبه / نایلون مورد استفاده در منسوجات نظامی در مناطق بیابانی، با بهره‌گیری از نانوذرات کربن سیاه و کربن فعال در خمیر چاپ فام خاکی ایجاد شود که به این منظور میزان انعکاس استاندارد مورد نیاز آنها در نواحی مرئی و زیر قرمز شبیه‌سازی می‌شود. نتایج رفتار انعکاسی نمونه‌ها در هر دو ناحیه مرئی و زیر قرمز نشان می‌دهد که استفاده از مقادیر معینی از نانوذرات کربن سیاه و کربن اکتیو، میزان انعکاس نمونه چاپ شده را به انعکاس نمونه استاندارد نزدیک می‌کند و این رفتار نشان از موثر بودن استفاده از این ذرات در رسیدن به انعکاس نمونه استاندارد منسوجات نظامی در مناطق بیابانی می‌باشد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که ذرات نانوکربن به عنوان یک ماده جاذب قوی‌تری نسبت به کربن اکتیو عمل می‌کنند [۱۴]. در یک پژوهش، رنگزاها و رنگدانه‌های مناسب برای استتار جنگلی برای الگوهای چاپی ارتش لیتوانی مورد بررسی قرار گرفته است. در این کار پژوهشی، پارچه‌هایی از مخلوط پنبه/ پلی استر و پلی استر خالص چاپ شده در چهار رنگ (سبز روشن، سبز، قهوه‌ای و سیاه)، به منظور ارزیابی اثر استتاری آنها بررسی شده شده‌اند. با توجه به اطلاعات به دست آمده، حداقل و حداکثر محدوده مقادیر طیف انعکاسی در ناحیه زیر قرمز نزدیک برای رنگ‌های مختلف از پارچه استتاری جنگلی برای اطمینان از خواص استتاری مطلوب در طول شب تعیین شده‌اند، که مقادیر طیف انعکاسی رنگ سبز اصلی ۵۵-۴۰٪، رنگ قهوه‌ای کمتر از ۲۵٪ و رنگ سیاه کمتر از ۱۰٪ گزارش شده است [۱۵]. در پژوهشی دیگر، استتار بر روی پارچه‌های پنبه/ نایلون در مناطق بیابانی، با بهره‌گیری از نانوذرات کربن سیاه و رنگدانه‌های مخصوص در خمیر چاپ به منظور تقلید شکل انعکاسی در ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک انجام گرفته است. نتایج نشان می‌دهد اگرچه افزودن مقدار معینی از نانوذرات کربن سیاه به خمیر چاپ می‌تواند انعکاس زیر قرمز نزدیک نمونه‌های چاپ شده را کاهش دهد، اما جذب ذرات در ناحیه مرئی می‌تواند باعث اختلاف رنگ بصری شود که در استتار مرئی - زیر قرمز نزدیک باید نظر گرفته شود. بنابراین برای رسیدن به استتار مناسب در ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک استفاده از غلظت ۰/۰۵ g/kg از کربن سیاه در خمیر چاپ پیشنهاد شده است [۲۱].

در یک کار تحقیقاتی دیگر، سه فناوری مختلف چاپ (با استفاده از رنگدانه‌ها، رنگ‌های راکتیو و رنگ‌های خمی) به منظور ایجاد ویژگی‌های استتار در ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک بر روی پارچه‌های پنبه/ پلی استر به کار گرفته شده است. همچنین ویژگی‌های طیفی رنگ سطحی در محدوده مرئی و زیر قرمز نزدیک طیف امواج الکترومغناطیس و تاثیر پارامترهای مختلف از قبیل شست و شو، سایش، تکرار خمش و در معرض نور قرار گرفتن روی تغییر رنگ منسوجات چاپ شده گزارش شده است. نتایج حاکی از آن است که سایش و تکرار خمش بر روی نمونه‌ها بی تاثیر است و با توجه به پارامترهای ثباتی نوری و شست و

[1] Zhang
[2] Plain weave
[3] Satin weave
[4] Honeycomb weave

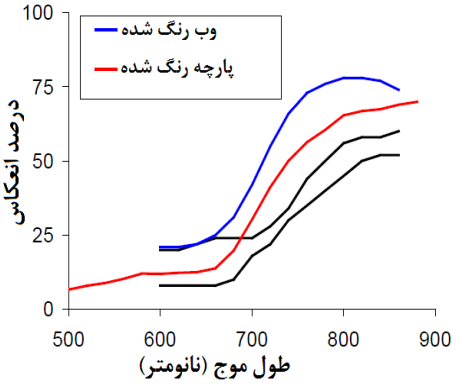
شویی بهترین ماده رنگزا برای چاپ، رنگ راکتیو گزارش شده است [۲۳]. همچنین در مطالعه‌ای دیگر، تغییر رفتار انعکاسی پارچه پنبه/ پلی استر چاپ شده با رنگدانه و رنگ‌های خمی با خمیر چاپ حاوی مقادیر مختلف نانوذرات کربن سیاه (CB) و دی اکسید تیتانیم (TiO_2) به منظور دستیابی به شید خاکی و قهوه‌ای، در ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک مورد بررسی قرار گرفته است. همانگونه که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، درصد میزان انعکاس نمونه‌های چاپ شده با رنگدانه‌ها نسبت به رنگزاها کمتر می‌باشد که نشان‌دهنده کاهش میزان انعکاس نمونه‌ها توسط نانوذرات CB و TiO_2 می‌باشد [۳۶].



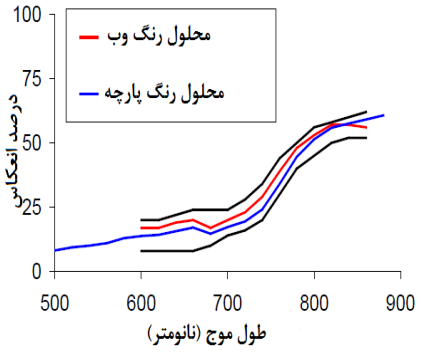
شکل ۱۳- وابستگی طیف انعکاسی زیر قرمز نزدیک رنگ سیاه به نوع رنگ [۳۶].

۶-۳- ایجاد استتار به روش رنگرزی جرمی

یکی دیگر از روش‌های ایجاد استتار بر روی منسوجات، تولید الیاف با خواص استتاری با اضافه کردن افزودنی‌های مناسب به ساختار الیاف می‌باشد [۱۳, ۲۰, ۵۲]. در این روش، برای اعمال خواص انعکاسی مناسب در ناحیه زیر قرمز نزدیک باید هنگام تولید الیاف به پلیمر الیاف، مواد جاذب زیر قرمز مناسب اضافه شود که با اضافه کردن غلظت مناسب از این مواد می‌توان به خواص انعکاسی مورد نظر دست یافت. در روش ذوب ریسی مواد جاذب زیر قرمز علاوه بر خواص جذب زیر قرمز باید دارای مقاومت حرارتی بالایی باشند که در هنگام ذوب‌ریسی الیاف، خواص خود را از دست ندهند، که بهترین ماده شناخته شده برای این کار کربن سیاه[1] می‌باشد [۲۰]. الیاف نایلون ۶۶ دارای انعکاس بالایی در ناحیه زیر قرمز نزدیک می‌باشد و رنگ‌های متداولی که برای رنگرزی و چاپ استفاده می‌شوند، در زمان مشاهده با عینک‌های دید در شب غیرفعال، تاثیر کمی بر کاهش این انعکاس بالا دارند. این مساله سبب ایجاد انعکاس بالا در محدوده ۶۰۰ تا ۹۰۰ nm، جایی که دستگاه‌های دید در 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 [۷, ۱۳, ۵۲]. فرانکل[2] و همکارانش استتار الیاف نایلون ۶۶ را در برابر زیر قرمز نزدیک بررسی کرده‌اند. برای این منظور پارچه و وب[3] نایلون را با رنگ‌های اسیدی رنگرزی کرده‌اند، اگرچه این رنگ‌ها مطابقت رنگی خوبی نشان داده‌اند، اما قادر نبودند انعکاس زیر قرمز نزدیک را برای مطابقت کافی با انعکاس زیر قرمز نزدیک محیط اصلاح کنند. همانطور که در شکل ۱۴ (الف) نشان داده شده است، کالای رنگرزی شده انعکاس بالایی را در ناحیه ۶۰۰ تا ۸۶۰ nm نشان می‌دهد، در نتیجه به مشاهده‌کننده اجازه می‌دهد تا هدف مورد نظر را هنگام استفاده از تجهیزات دید در شب به راحتی تشخیص دهد. شکل ۱۴ (ب) نشان می‌دهد که چطور افزودن ذرات با اندازه نانو می‌تواند انعکاس زیر قرمز نزدیک را کاهش دهد. ذرات با ابعاد نانو قبل از اکستروژن، در فرآیند تولید الیاف، اضافه می‌شوند. بنابراین، مطابقت رنگ و انعکاس زیر قرمز نزدیک در لیف ایجاد شده است و فرآیند بیشتری برای همانندی رنگ و انعکاس لازم نیست [۵۲].



(الف)



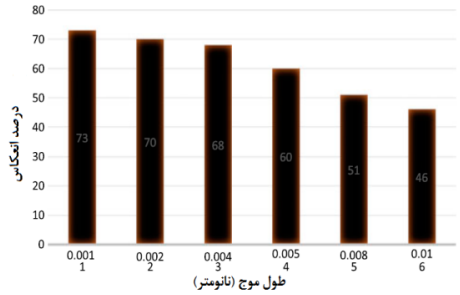
(ب)

شکل ۱۴- الف- منحنی انعکاسی پارچه و وب نایلون رنگ شده با رنگ اسیدی، ب- منحنی انعکاسی وب و پارچه نایلون تولید شده با ذرات اندازه نانو (خطهای سیاه حداقل و حداکثر انعکاس مورد نیاز هستند) [۵۲].

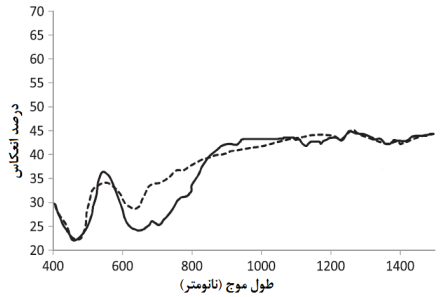
[1] Carbon black

[2] Frankel
[3] Web

در این مورد همچنین، گزارشی مبنی بر تولید الیاف نایلون ۶ ریسیده شده با کربن سیاه وجود دارد. نتایج نشان داده است که علاوه بر غلظت کربن سیاه در میزان انعکاس در ناحیه زیر قرمز نزدیک، سطح مقطع الیاف تولیدی و تعداد فیلامنت‌ها در نخ نیز بر انعکاس موثر می‌باشد. این فیلامنت‌های ذوب ریسی شده به ویژه در تجهیزات و لباس‌های نظامی به کار می‌روند. نتایج این کار تحقیقاتی نشان داده است که پارچه‌های بافته شده از این نخ‌ها، قابلیت استتار در محیط‌های خاکی، شنی و محیط‌های شهری را دارند [۴۰]. اسماعیلیان و همکارانش تولید الیاف پلی استر استتاری به روش رنگرزی جرمی در سرعت‌های پایین را بررسی کرده‌اند. در این کار تحقیقاتی به منظور تولید فام استتاری سبز زیتونی استفاده از C.I. Pigment Green 7، C.I. Disperse Orange 149 و کربن سیاه گزارش شده است. شکل ۱۵ (الف)، به خوبی تاثیر CB را روی خواص انعکاسی PET نشان می‌دهد [۲۰]. همانطور که در شکل دیده می‌شود افزایش غلظت کربن سیاه باعث کاهش انعکاس می‌شود. این موضوع توسط محققین دیگر نیز نشان داده شده است [۲۰, ۴۰, ۱, ۱۳]. این کاهش انعکاس با ذرات کربن سیاه به دو دلیل اساسی رخ می‌دهد: دلیل اول قدرت ذاتی ذرات کربن سیاه در جذب امواج زیر قرمز و دیگری اینکه، غلظت بالای ۰/۰۰۴٪ هم‌گرایی ذرات را نشان داده است که باعث افزایش قطر ذرات درون نخ‌ها شده و در نتیجه جذب در ناحیه زیر قرمز نزدیک، زیاد می‌شود. نتایج نشان می‌دهد رنگدانه فتالوسیانین سبز برای مطابقت با شکل انعکاسی برگ سبز مناسب می‌باشد. رنگ نارنجی جذب‌کننده امواج زیر قرمز نیست اما در ۴۰۰ الی ۵۰۰ nm نور را شدیداً جذب می‌کند و رنگ مناسبی برای رنگ همانندی با سبز زیتونی است. شکل ۱۵ (ب)، منحنی انعکاسی نمونه بهینه استتاری نخ فیلامنتی پلی اتیلن ترفتالات[1] (PET) و سبز زیتونی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان گفت نمونه بهینه برای ایجاد سبز زیتونی استفاده از ۰/۱٪ رنگدانه سبز، ۰/۰۵٪ رنگ نارنجی و ۰/۰۱٪ کربن سیاه گزارش شده است. همچنین، نتایجی از قبیل خواص مکانیکی و حرارتی قابل قبول همراه با ثبات شست و شویی و نوری عالی برای نمونه‌های نخ فیلامنتی پلی اتیلن ترفتالات (PET) استتاری گزارش شده است [۲۰]. همچنین توانایی و همکارانش، ایجاد استتار سبز (رنگ سبز زیتونی) توسط رنگرزی جرمی بر روی نخ چند فیلامنتی پلی اتیلن ترفتالات (PET) که در روش ذوب‌ریسی (نیمه صنعتی) با سرعت زیاد تولید شده‌اند را با موفقیت گزارش نموده‌اند. نتایج آنها نشان می‌دهد، هندسه نخ در ساختار پارچه، تاثیر قابل توجهی بر انعکاس NIR دارد. به‌طوریکه در حالت نخ چند فیلامنتی صاف با آرایش یافتگی نسبی POY، نسبت به نخ کشیده شده و نخ تکسچره شده از آن، انعکاس افزایش یافته است در حالیکه پس از بافت این نخ‌ها، مکان قرارگیری منحنی انعکاسی نمونه‌ها تغییر یافته و بر خلاف حالت نخ، پارچه بافته شده از نخ تکسچره شده، کمترین میزان انعکاس و بیشترین مطابقت با طیف مرجع سبز زیتونی را ایجاد نموده است (شکل ۱۶ الف و ب). همچنین رنگدانه‌های استفاده شده در تولید این نخ چند فیلامنتی در سرعت زیاد ذوب ریسی، بر خواص کشش و خواص حرارتی نمونه‌ها اثر تخریبی ندارد [۵۳].

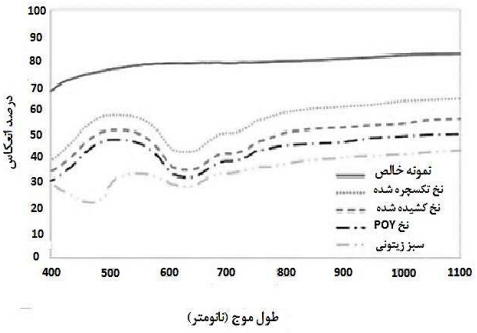


(الف)

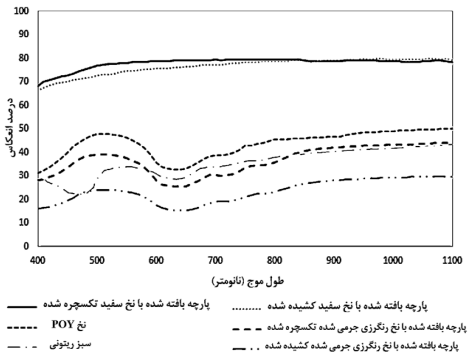


(ب)

شکل ۱۵- الف- اثر کربن سیاه روی مقادیر انعکاس نخ‌های فیلامنتی پلی اتیلن ترفتالات (PET)، ب- منحنی انعکاسی سبز زیتونی (----) و منحنی انعکاسی PET تولید شده با ۰/۱٪ C.I. Pigment Green 7 ،۰/۰۵٪ C.I. Disperse Orange 149 و ۰/۰۱٪ CB (—) [۲۰].



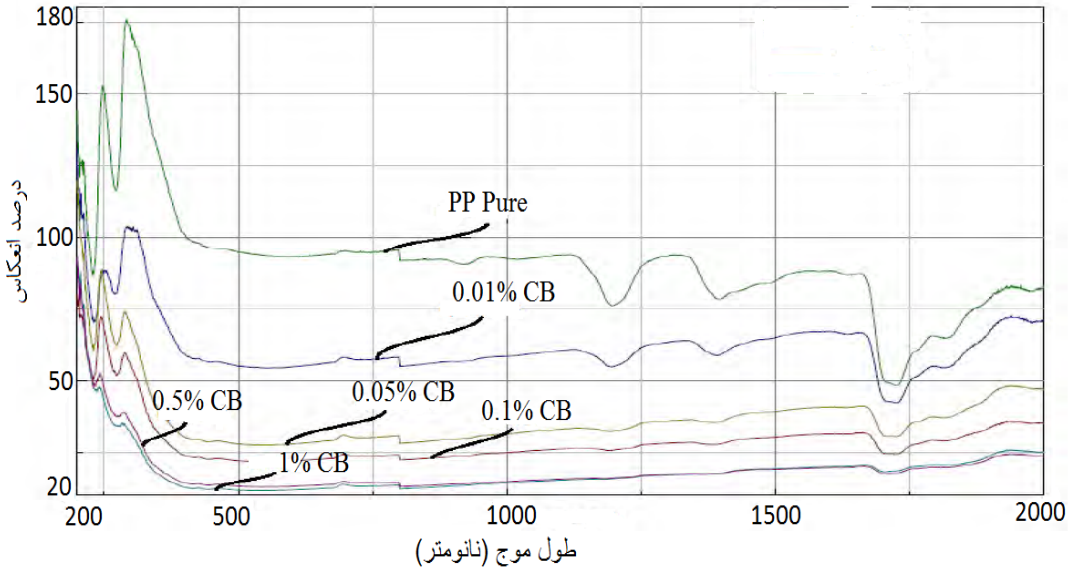
(الف)



(ب)

شکل ۱۶- طیف‌های انعکاسی نخ‌های چندفیلامنتی PET تولید شده در سرعت زیاد و پارچه کشباف حاصل از آن [۵۳].
الف) طیف‌های نخ ب) طیف‌های پارچه

[1] Polyethylene terephthalate



شکل ۱۷- طیف‌های انعکاسی نخ فیلامنتی خالص و اصلاح شده پلی پروپیلن با استفاده از کربن سیاه با ابعاد ذره نانو با مقادیر متفاوت [۳۹].

در پژوهشی دیگر نوروزی و همکارانش، امکان تولید و بهینه‌سازی شرایط تولید الیاف پلی پروپیلن اصلاح شده با استفاده از افزودنی دوده سیاه با ابعاد نانو (۳۰-۴۰ nm) در حین فرآیند ذوب ریسی، جهت استفاده در پارچه‌های استتاری در برابر دوربین‌های دید در شب (زیر قرمز) مورد بررسی قرار داده‌اند [۳۹]. ملاحظه گردید که با افزایش درصد دوده (کربن سیاه)، به دلیل افزایش گرانروی مخلوط پلیمر و افزودنی، چگالی خطی الیاف حاصل نیز افزایش می‌یابد. دلیل این امر بیشتر بودن چگالی کربن سیاه از ماده بستر مورد استفاده است. همچنین درصد انعکاس در ناحیه زیر قرمز نزدیک، کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد. با توجه به شکل ۱۷ مشاهده می‌شود که با افزایش CB در الیاف، به این دلیل که ماده جاذب نور است، باعث افزایش جذب نور و کاهش انعکاس نور می‌شود. ابعاد نانوی ذرات کربن سیاه نقش خیلی مهمی در کاهش میزان انعکاس دارد، هر چه ابعاد ذرات کوچک‌تر باشند، میزان انعکاس به دلیل افزایش سطح مخصوص ذرات، کاهش می‌یابد [۳۹].

۷- نتیجه‌گیری

از آنجایی که فناوری‌های نظارت در محدوده وسیعی از طیف امواج الکترومغناطیس، به ویژه در ناحیه زیر قرمز نزدیک توسعه یافته است، مجامع نظامی مدرن خواستار منسوجاتی هستند که ویژگی‌های انعکاسی را نه تنها در ناحیه مرئی طیف امواج الکترومغناطیس بلکه در ناحیه زیر قرمز نزدیک طیف فراهم کند. بنابراین برآورده ساختن چنین نیازی، با مواد بستر و مواد استتاری مختلف، متفاوت می‌باشد. رنگدانه‌ها و رنگزاها از جمله مواد استتاری هستند که برای ایجاد خاصیت استتار بر روی الیاف به روش‌های چاپ، رنگرزی و رنگرزی جرمی به کار می‌روند. فاکتورهای مختلفی می‌توانند ثبات رنگی و خواص طیف‌سنجی نوری نمونه‌های استتاری را تحت تاثیر قرار دهند. مواد استتاری باید خواص پنهان‌سازی را در تمام دوره پوشش فراهم کنند، در نتیجه، رنگ‌هایی که در استتار استفاده می‌شود باید دارای ثبات نوری و شست و شویی مناسبی باشند. به طور کلی رفتار انعکاسی رنگ‌های استتاری که برای رنگرزی منسوجات به کار گرفته می‌شوند بسیار حائز اهمیت بوده و ارتباط مستقیمی با ساختار شیمیایی آن رنگ دارد. برای ایجاد خواص استتاری بر روی پارچه‌های سلولزی به طور معمول از رنگ‌های خمی استفاده می‌شود. در مورد الیاف مصنوعی و غیرسلولزی، اگر چه رنگ‌های کمی جذب کافی زیر قرمز را نشان می‌دهند، اما رنگدانه‌هایی مانند کربن سیاه می‌توانند در حین فرآیند تولید به پلیمر الیاف اضافه شوند و یا بر روی پلیمر چاپ شوند تا جذب زیر قرمز را افزایش دهند. در روش ذوب ریسی مواد جاذب زیر قرمز علاوه بر خواص جذب زیر قرمز باید دارای مقاومت حرارتی بالایی باشند که در هنگام ذوب‌ریسی الیاف، خواص خود را از دست ندهند، که بهترین ماده شناخته شده برای این کار کربن سیاه می‌باشد.

۸- مراجع

1. K. K. Gupta, A. Nishkam & N. Kasturiya, "Camouflage in the Non-visible Region", J. Ind. Text. 31, 27-42, **2001**.
2. A. Tankus, Y. A. Yeshorun, "Model for visual camouflage breaking. biologically motivated computer vision", Springer Berlin Heidelberg. 1811, 139-149, **2000**.

3. A. C. Copeland, M. M. Trivedi, "Models and metrics for signature strength evaluation of camouflaged targets", Int. Soc. Opt. Photonic. 3070, 194-199, **1997**.
4. J. Ch. Woon, A. Wonmi, Sh. K. Myung, P. Jeeyea, K. Seungduk, H. H. Kwang, "Making pixel patterns automatically for camouflage – using color information from their background", HCI International 2011–posters' extended abstracts. Springer berlin Heidelberg. 174, 98-101, **2011**.
5. E. Wilusz, "Military textiles", Cambridge, **2008**.
6. R. A. Scott, "Textiles in defence. Woodhead Publishing", Cambridge, UK. 425-460, **2000**.
7. U. Goudarzi, J. Mokhtari, M. Nouri, "Feasibility study on application of a dye to impart camouflage effect at near infrared region using UV-vis spectrophotometer", J. Text. Sci. Technol. (in Persian), 141-135, **2012**.
8. R. A. Scott, "Textiles for protection", **2000**.
9. A. R. Horrocks, S. C. Anand, "Handbook of technical textiles", Cambridge, CRC Press, 439-441, **2000**.
10. H. H. Conley, "A history of camouflage, concealment and deception", **1988**.
11. M. Friskovec, H. Gabrijelcic, "Development of a procedure for camouflage pattern design", Fibres & Textiles in Eastern Europe.18, 68-76, **2010**.
12. G. M. Clarkson, "Camouflage fabric", US Patent No. 5798304, **1998**.
13. U. Goudarzi, J. Mokhtari, M. Nouri, "Camouflage of cotton fabrics in visible and NIR region using three selected vat dyes", J. Ind. Chem. 39, 200-207, **2012**.
14. M. Khajeh Mehrizi, S. M. Mortazavi, S. Mallakpour, S. M. Bidoki, "Effect of carbon black and carbon active on color and physical properties of cotton/nylon fabric", J. Color. Sci. Tech. JCST-22- 03-2013-1440, **2013**.
15. 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, 361-365, **2008**.
16. N. P. Puzikova, E. V. Uvarova, I. M. Filyaev, L. A. Yarovaya, "Principles of an approach for coloring military camouflage", Fiber chemistry. 40, 53-56, **2008**.
17. H. Zhang, J. Ch. Zhang, "Near-infrared green camouflage of cotton fabrics using vat dyes", The Journal of the Textile Institute. 99, 83-88, **2007**.
18. H. Zhang, J. Ch. Zhang, "Near-Infrared green camouflage of PET fabrics using disperse dyes", Sen'I Gakkaishi. 63, 223-229, **2007**.
19. S. M Burkinshaw, G. Hallas, A. D. Towns, "Infrared camouflage", J. Ind. Chem., 26, 47-53, **1996**.
20. N. Esmaeilian, M. A. Tavanaie, S. M. Bidoki, M. Khajeh Mehrizi, "Production and characterization of camouflage poly (ethylene terephthalate) filament yarns during the melt spinning process", J. Text. Inst. 105, 406-413, **2013**.
21. M. Khajeh Mehrizi, S. M. Mortazavi, S. Mallakpour, S. M. Bidoki, M. Vik, M. Vikova, "Effect of carbon black nanoparticles on reflective behavior of printed cotton/ nylon fabrics in visible/near infrared regions", Fibers Polym. 13, 501-506, **2012**.
22. M. Khajeh Mehrizi, F. Bokaei, N. Jamshidi, "Visible-near infrared concealment of cotton/nylon fabrics using colored pigments and multiwalled carbon nanotube particles (MWCNTs)", Color Res Appl. 40, 93-98, **2015**.
23. V. Rubeziene, G. Minkuviene, J. Baltusnikaite, I. Padleckiene, "Development of visible and near infrared camouflage textile materials", Material Science. 15, 173-177, **2009**.
24. David. J. Griffiths, "Introduction to electrodynamics", 2nd Edition, Prentice Hall, **1989**.
25. M. L. Gulrajani, "Camouflage colours in military applications", Indian Institute of Technology, http:// www.slideshare.net/ Arkatextile/military-camouflage-colours, (Last visited 5 may **2014**).
26. R. Levinson, P. Berdahl, H. Akbari, "Solar spectral optical properties of pigments—Part II: survey of common colorants, Solar Energy Materials & Solar Cells", 89, 351-389, **2005**.
27. K. Ashwini, Bendiganavale, C. Vinod, & Malshe, "Infrared reflective inorganic pigments", Recent Pat. Chem. Eng. 1, 67-79, **2008**.
28. V. Fang, J. Kennedy, J. Futter, J. Manning, "A review of near infrared reflectance properties of metal oxide nanostructures", GNS Science Report 2013/39. 23p. **2013**.
29. http://en. wikipedia. org/wiki/ infrared, (Last visited 14 June 2014).
30. L. V. Wake, R. F Brady, Formulating infrared coatings for defence applications, Mater. Res. lab., **1993**.
31. تجهیزات دید در شب. دانشنامه مرجع مهندسی ایران، مشاهده شده در ۱۵ می **۲۰۱۴**.
32. عینک‌های دید در شب. باشگاه مهندسان ایران، مشاهده شده در ۱۵ می **۲۰۱۴**.
33. http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared photography, viewed 15 May **2014**.
34. دوربین‌های دید در شب. Irartesh.ir/post/829، مشاهده شده در ۱۵ می **۲۰۱۴**.
35. K. Frankel, "Dyed fabric with visible and near infrared differential yarn fiber signature", US Patent No. 8, 236,714 B2, **2012**.
36. M. Abbasipour, M. Khajeh Mehrizi, "Investigation of changes of reflective behavior of cotton / polyester fabric by TiO2 and carbon black nanoparticles", Scientia Iranica. 19, 954-957, **2012**.
37. G. Buxbaum, "Industrial inorganic pigments", Wiley-VCH, **1998**.
38. L. V. Wke, "Principles and formulation of solar reflecting and low infrared emitting coatings for defence use", Mater. Res. Lab. (Australia). **1989**.
39. M. Norouzi, M. A. Tavanaie, S. M. Bidoki, "A study on the effects of carbon black particle with nano scale size on reflection spectrum of polypropylene fiber", Paper presented at the 1st conference of nano science and technology, Yazd. **2010**.
40. K. Frankel, "Polymer fibers, fabrics and equipment with a modified near infrared reflectance signature", US Patent No.7, 008, 694 B1, **2006**.
41. P. Jeevanandam, R. S. Mulukutla, M. Phillips, S. Chaudhuri, L. E. Erickson, K. J. Klabunde, "Near infrared reflectance properties of metal oxide nano particles", J. Phys. Chem. C. 111, 1912-1918, **2007**.
42. U. Goudarzi, J. Mokhtari, M. Nouri, "Investigation on the effect of titanium dioxide nano particles on camouflage properties of cotton fabrics", Fibers Polym. 15, 241-247, **2014**.
43. S. N. Corns, "Novel near- infrared absorbing dyes", Department of Colour Chemistry and Dyeing, University of Leeds. October **1990**.
44. B. H. William, I. Von, "Benzanthrone anthraquinone acridines as dyestuffs", US Patent No. 2, 993, 901, **1961**.
45. B. H. William, B. Brook, "Derivatives 0f bz-1'-(alphaanthraquinonylamino)-benzanthrone-2, 2'-acridine", US patent No. 3, 027, 369, **1962**.
46. B. H. William, E. H. Robert, "New vat dyes", US patent No. 3, 027, 376, **1962**.
47. B. H. William, S. T. Andrew, "New vat dyes", US patent No. 3, 027, 373, **1962**.
48. B. H. William, I. Von, S. T. Andrew, "New vat dyes", US patent No. 3, 027,374, **1962**.

49. A. S. Deutsch, "Alkyl thio ethier-substttuted benzanthrone acridine dyestuffs", US patent No. 3, 879, 397, **1975**.
50. B. H. William, E. H. Robert, "New vat dyes", US patent No. 3, 027, 375, **1962**.
51. R. Weingarten, "Process for the production of camouflage dyeings and prints", US Patent No. 4, 095, 940, **1978**.
52. K. Frankel, S. Sousa, R. Cowan, M. King, "Concealment of the warfighters equipment through enhanced polymer technology", In: Proceedings of Army Science Conference 24. 13-16, U.S. Army, Orlando, FL, USA, **2004**.
53. M. A. Tavanaie, N. Esmaeilian, M. R. M. Mojtahedi, "Olive hue visible-near infrared camouflage properties of high speed melt spun poly (ethylene terephthalate) multifilament yarn", Dyes Pigm., 114, 267-272, **2014**.