

تأثیر کربن مشکی و کربن فعال بر خواص رنگی و فیزیکی پارچه پنبه-نایلونی

محمد خواجه مهریزی^{۱*}، سید مجید مرتضوی^۲، شادپور ملک پور^۳، سید منصور بیدکی^۴

۱- استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، ایران، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

۳- استاد، دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

۴- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۶ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۳/۶/۲۰

چکیده

امروزه پنهان کردن البسه و تجهیزات در صنایع نظامی در کشورهای مختلف از اهمیت خاصی برخوردار است. در این کار تحقیقاتی تلاش شده است تا با بهره‌گیری از نانوذرات کربن مشکی و میکروذرات کربن فعال در خمیر چاپ فام خاکی پارچه‌های پنبه/نایلونی مورد استفاده در منسوجات نیروهای نظامی در مناطق بیابانی، میزان انعکاس استاندارد مورد نیاز آنها در نواحی مرئی و زیر قرمز نزدیک (Vis-NIR) شبیه‌سازی شود. رفتار انعکاسی نمونه‌ها نشان داد که با استفاده از مقدار جزئی کربن مشکی در فام خاکی می‌توان به نحو مطلوبی انعکاس نمونه استاندارد را در نواحی Vis-NIR همانند نمود. نفوذپذیری هوا در نمونه‌ها با افزایش غلظت ذرات کربن در خمیر چاپ، افزایش یافت. ارزیابی زاویه تماس نمونه‌ها با آب نشان می‌دهد که هرچه غلظت رنگدانه‌های جاذب کربنی در خمیر چاپ افزایش می‌یابد زاویه تماس سطحی بیشتر می‌شود و در زمان‌های طولانی‌تر آب کاملاً روی سطح پخش می‌شود. همچنین نتایج ثبات‌های شستشویی، نوری و مالشی در همه نمونه‌های چاپ شده خوب حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: پنهان کردن، نانو ذرات کربن مشکی، میکرو ذرات کربن فعال، پارچه پنبه/نایلونی، انعکاس مرئی و زیر قرمز نزدیک.

Effect of Carbon Black and Carbon Active on Color and Physical Properties of Cotton/Nylon Fabric

M. Khajeh Mehrizi^{1*}, S. M. Mortazavi², S. Mallakpour³, S. M Bidoki¹

¹Textile Engineering Department, Yazd University, P.O. Box: 89195-741, Yazd, Iran

²Textile Engineering Department, Isfahan University of Technology, P.O. Box: 84156-83111- Isfahan, Iran

³Chemistry Department, Isfahan University of Technology, P.O. Box: 84156-83111- Isfahan, Iran

Received: 22-03-2013

Accepted: 27-11-2013

Available online: 11-09-2014

Abstract

Nowadays, concealment of textile and equipments in military industries has received specific interest in various countries. In this research, by application of nano- Carbon Black (CB) and micro- Carbon Active (CA) in a specific print formulation on cotton/nylon (Co/PA) fabric to produce khaki color, the required standard Vis-NIR reflectance for a successful obscure for desert environment was matched. Reflectance behavior of samples showed that by application of CB rare value in khaki printing formulations could tune spectral level in order to match the reference khaki reflectance in Vis-NIR range. Air permeability of sample was increased by adding CB particles to the printing paste. Evaluation of contact angle with water depicted that when concentration of carbon absorbing pigments raise, surface contact angle increase and the water entirely absorb at the long time. Also, color fastness of printed samples against washing, light and rubbing were good achieved. J. Color Sci. Tech. 8(2014), 93-100©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Concealment, Nano carbon black, Micro carbon active, Co/PA fabric, Vis-NIR reflectance.

۱- مقدمه

NIR به کار گرفته شده‌اند و ثبت اختراع‌های زیادی در این زمینه ارائه شده است. این رنگزها بر پایه سیستم‌های چند حلقه‌ای آکریدین-بنزانترون - آنتراکینون^۱ دارای ثبات نوری بالا بوده و به سهولت بر روی مواد سلولزی به کار می‌روند، علاوه بر این از ثبات شستشویی و مقاومت در برابر مواد شیمیایی بالایی برخوردار می‌باشد. همچنین بعضی از رنگزهای گوگردی نیز استتار NIR خوبی را بر روی کالای سلولزی نشان می‌دهند اما ثبات شستشویی و نوری کمی دارند. این مواد به دلیل خواص خوردگی که با مواد استفاده شده در تفنگ‌ها، روکش‌ها و مواد منفجره دارند، از مصارف نظامی کنار گذاشته شده‌اند [۲، ۳].

در تحقیقاتی که توسط زانگ و همکارانش صورت گرفت منحنی‌های انعکاسی برگ‌های سبز رنگ در ابتدا اندازه‌گیری و سپس پارچه‌های پنبه‌ای و پنبه/پلی‌استر با استفاده از چهار رنگز خمی و همچنین پارچه‌های پلی‌استری با استفاده از رنگزهای دیسپرس برای همانند کردن خصوصیات انعکاسی برگ‌های سبز، رنگرزی شدند. همچنین در این تحقیق اثر غلظت رنگزها، بافت و نوع پارچه روی انعکاس نمونه‌ها مورد بررسی واقع شد [۶، ۷]. همچنین در مطالعه گودرزی و همکارانش، استتار منسوج پنبه‌ای با استفاده از رنگزهای خمی برای دستیابی به فام‌های سبز نانو و سبز جنگلی در ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک مورد ارزیابی قرار گرفت [۸].

یکی از روش‌های دیگر برای استتار منسوجات، استفاده از روش چاپ با رنگدانه‌های مختلف می‌باشد. از جمله رنگدانه‌هایی که برای چاپ‌های استتاری منسوجات به کار می‌رود رنگدانه‌های کربن مشکی، فتالوسیانین سبز، دی اکسید تیتانیم، دی اکسید روی و قرمز سیگنال می‌باشد. کربن مشکی، مقدار انعکاس را در ناحیه زیر قرمز نزدیک تا حد زیادی کاهش می‌دهد و بالعکس رنگدانه‌های اکسید فلزی مانند دی اکسید تیتانیم و دی اکسید روی مقدار انعکاس را در ناحیه مذکور افزایش می‌دهند [۹]. افزودن رنگدانه‌های کربنی در خمیر چاپ فام‌های رنگی روشن مانند رنگ خاکی برای پایین آوردن انعکاس می‌تواند بسیار موثر باشد. یکی از رنگدانه‌های کربنی دیگری که می‌تواند در چاپ استتاری مورد استفاده قرار گیرد کربن فعال می‌باشد. یک گرم کربن فعال به علت منافذ بسیار ریز، دارای سطح جانبی بسیار زیاد (بیش از ۵۰۰ متر مربع) بوده و جهت جذب گاز و ناخالصی‌ها به کار می‌رود و اغلب از آن به عنوان عامل جدایی ناخالصی‌ها از مایعات یا گاز استفاده می‌گردد.

در تحقیقی که توسط روبیزین و همکارانش صورت گرفت موثر بودن ویژگی استتار پارچه‌های چاپ شده در طول موج‌های Vis-NIR مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق، نمونه پارچه پنبه/پلی‌استری دارای چهار رنگ استتاری در نواحی جنگلی لیتوانی به عنوان نمونه استاندارد انتخاب شد و روش‌های مختلف چاپ بر روی پارچه‌های

استتار از اصول و عوامل پدافند غیرعامل است و از مهم‌ترین حیل‌های جنگی است که برای فریب دشمن به کار می‌رود. استتار یکی از روش‌های محافظت در برابر عوامل خارجی می‌باشد [۱]. با الهام گرفتن از رفتارهای استتاری مخلوقات در طبیعت اثبات شده است که سه عامل اساسی در میزان موفقیت یک طرح استتاری دخیل می‌باشند. عامل نخست، شباهت رنگی طرح و زمینه است. عامل دوم، مسئله تباین رنگ‌های موجود در طرح و نهایتاً شکست تقارن جسم استتار شده می‌باشد.

معمولاً چهار محیط برفی، جنگلی، بیابانی و شهری را می‌توان مهم‌ترین زمینه‌های استتار برای پنهان‌سازی نیروها و تجهیزات نظامی عنوان کرد. هر یک از عناصر تشکیل دهنده محیط‌های مختلف، دارای مقادیر انعکاسی متفاوتی می‌باشند [۲]. به طور کلی شیده‌های ناحیه‌های بیابانی و جنگلی برای هدف استتار را می‌توان سبز زیتونی، قهوه‌ای، برنز تیره، سبز روشن، به رنگ سنگی تیره و به رنگ سنگی روشن ذکر کرد. همچنین لازم است که انعکاس در ناحیه زیر قرمز رنگ منسوج مطابق با انعکاس در ناحیه زیر قرمز زمینه جنگلی یا بیابانی باشد [۳]. متوسط مقادیر انعکاس در ناحیه زیر قرمز نزدیک (NIR) بعضی از مواد طبیعی عبارت‌اند از: سبزیجات سبز ۷۰٪-۵۰، شن ۴۰٪-۳۰، بتن ۵۰٪-۴۰، آجرهای ساختمان ۴۰٪-۳۰ و آب ۱۵٪-۱۰ [۴].

برای ایجاد استتار در ناحیه زیر قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس (۱۵۰۰-۷۰۰ نانومتر) و جلوگیری از تشخیص توسط تجهیزات مربوطه، پوشش‌های استتاری مورد استفاده می‌بایست دارای خصوصیات جذب و بازتابش زیر قرمز نزدیک مشابه محیط پیرامون خود باشند. منسوجات از الیاف تشکیل شده و ذاتاً الیاف دارای مقادیر انعکاسی بالایی در نواحی مرئی و زیر قرمز نزدیک (Vis-NIR) می‌باشند. بنابراین استفاده مستقیم آنها بدون افزودن هیچ ماده‌ای به داخل الیاف، یا بدون عملیات پوشش‌دهی و یا استفاده از لایه‌های محافظ بر روی آنها نمی‌تواند منسوج را در نواحی Vis-NIR مخفی نماید.

مطالعات نشان می‌دهد که خواص استتاری در ناحیه زیر قرمز نزدیک پارچه رنگرزی شده به مقدار زیادی به رنگزهای به کار رفته بر روی آنها بستگی دارد. پارچه‌های مختلف می‌توانند با استفاده از رنگزهای متنوع در راستای هدف استتار NIR رنگرزی شوند [۵].

در حالی که الیاف سلولزی به صورت موفقیت‌آمیزی برای اهداف استتار با بعضی از رنگزهای خمی به کار گرفته شده است ولی به کارگیری پشم و بعضی از الیاف مصنوعی برای هدف استتار با مشکلات زیادی مواجه بوده چرا که بسیاری از رنگزهای متداول برای رنگرزی این الیاف هیچ جذبی را در ناحیه NIR از خود بروز نمی‌دهند [۳]. بسیاری از رنگزهای خمی به طور خاص برای استتار در ناحیه

1- Anthraquinone-benzanthrone-acridine polycyclic ring system

غلظت دهنده امولسیون مورد استفاده در کارخانه نقشین یزد، پیونده^۱ Imperon MTB محصول شرکت رزین فام و رنگدانه‌های ذکر شده در جدول ۱ استفاده شد.

جدول ۱: رنگدانه‌های مورد استفاده در فرآیند چاپ.

شماره ساختاری	نام کالراندکس	نام تجاری
21090	C.I.Pigment Yellow 12	Pigment Yellow FG
-	-	Imperon Black P-NG
10006	C.I.Pigment Green 8	Pigment Green B
77266	C.I.Pigment Black 7	Carbon Black

از دستگاه‌های مورد استفاده می‌توان به اسپکتروفوتومترهای انعکاسی JASCO ARN-570 UV/Vis/NIR جهت اندازه‌گیری میزان انعکاس نمونه‌ها در نواحی Vis-NIR و اسپکتروفوتومتر Color Eye-7000A ساخت شرکت Gretage Macbeth جهت اندازه‌گیری مولفه‌های رنگی نمونه‌های چاپ شده تحت منبع نوری D65 و زاویه مشاهده‌کننده ۱۰ درجه، دستگاه FX 3300 Air Permeability Tester III جهت اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری هوای نمونه‌ها، استنتر PS 20A، خشک‌کن HS 62A، دستگاه اتوماتیک رنگرزی Linitest و دستگاه ثبات نوری SDL-Atlas اشاره کرد. میزان اختلاف رنگی نمونه‌ها طبق رابطه ۱ ارزیابی شد.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

در رابطه ۱، L^* میزان روشنایی، a^* میزان قرمزی-سبزی و b^* میزان زردی-آبی نمونه‌های رنگی را نشان می‌دهد. (اگرچه در این تحقیق از تئوری کیوبلکا-مانک یک ثابتی برای یافتن غلظت رنگدانه‌ها برای رنگ همانندی رنگ‌های مورد نظر استفاده شد ولی با توجه به استفاده از رنگدانه در این سیستم بهتر است از تئوری کیوبلکا-مانک دو ثابتی استفاده شود. با استفاده از برنامه‌نویسی متلب، غلظت‌های مناسب رنگدانه‌ها برای رنگ همانندی محاسبه شد و در این مطالعه به کار گرفته شد). جدول ۲، درصد مناسب رنگدانه را از روی نتایج رنگ همانندی ارائه می‌کند.

جدول ۲: درصد مناسب رنگدانه نسبت به وزن کالا با توجه به نتایج رنگ همانندی اسپکتروفوتومتری نمونه‌های چاپ شده.

Impron Black P-NG	Pigment Green B	Pigment Yellow FG
۰,۱۵	۰,۰۷	۱,۸۹

1- Binder

پلی‌استری و پنبه/پلی‌استری با استفاده از رنگزاهای خمی و دیسپرس مورد استفاده قرار گرفت [۱۰].

در مطالعه انجام شده توسط خواجه مهریزی و همکارانش، تاثیر نانو و میکروذرات دی اکسید تیتانیوم بر روی خواص انعکاسی منسوجات مورد بررسی قرار گرفت و ارزیابی‌های انجام شده حاکی از موثرتر بودن نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در مقادیر کمتر نسبت به میکروذرات دی اکسید در پنهان‌سازی منسوجات در نواحی Vis-NIR بود [۱۱]. همچنین عباسی پور و خواجه مهریزی از تاثیر مثبت و محسوس نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و کربن مشکی در مخفی‌سازی منسوج پنبه/پلی‌استری با رنگزاهای خمی و رنگدانه در طول موج زیر قرمز نزدیک گزارش دادند [۱۲].

بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اغلب تحقیقات در زمینه استتار هم‌زمان در ناحیه مرئی و NIR صورت نگرفته است و بیشتر مقالات در این دو ناحیه به صورت مجزا موضوع استتار را بررسی کرده‌اند. یکی از اهداف اصلی این تحقیق، بررسی هم‌زمان استتار منسوج پنبه/نایلونی در نواحی Vis-NIR یا به عبارتی استتار در روز و شب می‌باشد. در تحقیق حاضر، پارچه استتاری طرح بیابانی نیروهای نظامی ایران از مراکز تحقیقاتی صنایع دفاعی تهیه و منحنی انعکاسی و خواص رنگی و ثباتی رنگ خاکی آن به عنوان نمونه استاندارد انتخاب شد. سپس برای تقلید خواص انعکاسی نمونه استاندارد در ناحیه مرئی و زیر قرمز نزدیک (از ۴۰۰ تا ۱۵۰۰ نانومتر)، نانو ذرات کربن مشکی و میکرو ذرات کربن فعال در خمیر چاپ فام خاکی پارچه‌های پنبه/نایلونی (با انعکاس متوسط $5 \pm 60\%$ در ناحیه زیر قرمز نزدیک)، افزوده شد. طیف انعکاسی منسوج چاپ شده در ناحیه NIR و همچنین میزان اختلاف رنگ و مقادیر مولفه‌های رنگی آنها در مقایسه با نمونه استاندارد نیروهای نظامی، به ترتیب برای بررسی استتار در محدوده NIR و استتار در ناحیه مرئی مورد توجه قرار گرفت. همچنین در ادامه نفوذپذیری هوای نمونه‌ها، زاویه تماس نمونه‌ها با آب و همچنین خواص ثبات رنگی نمونه‌ها در برابر عملیات شستشوئی، نوری و مالشی مورد ارزیابی قرار گرفت. از نوآوری‌های این تحقیق می‌توان به استتار منسوجات در نواحی Vis-NIR و مناطق بیابانی ایران، شناسایی رنگدانه‌های مناسب در چاپ منسوجات برای ایجاد خاصیت استتار و بررسی تاثیر مواد جاذب کربنی برای اصلاح منحنی انعکاسی منسوج چاپ شده اشاره کرد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

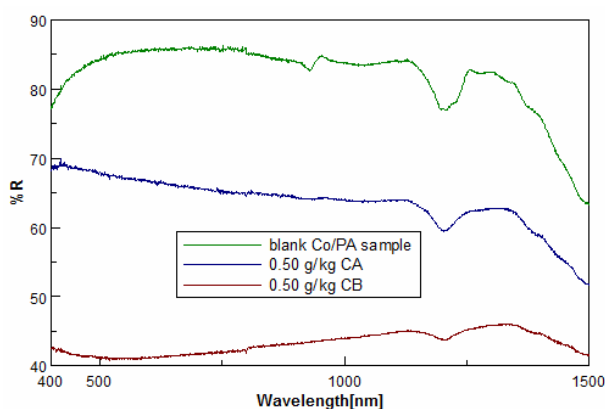
در این تحقیق، از پارچه پنبه/نایلونی (۵۰/۵۰) با وزن ۱۸۰ گرم/مترمربع، تراکم تار ۳۵ و تراکم پودی ۱۷ در سانتی‌متر استفاده شد. نانوذرات کربن مشکی با نام تجاری Printex V و کربن فعال صنعتی به ترتیب با اندازه متوسط ذرات ۵۰ و ۱۵۰۰ نانومتر،

۳- نتایج و بحث

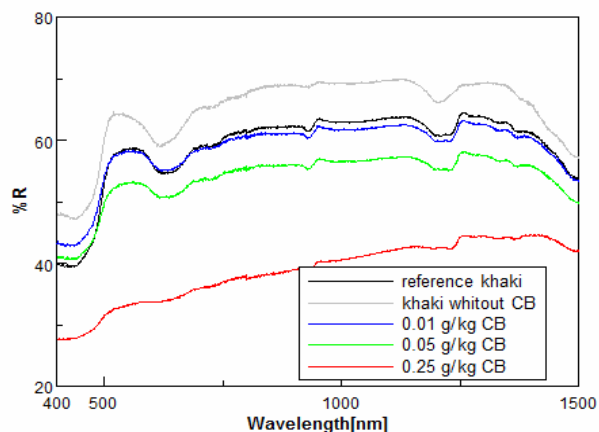
۳-۱- بررسی نتایج انعکاسی نمونه‌ها در نواحی Vis-NIR

منحنی انعکاسی نمونه خام پنبه/نایلونی و نمونه پنبه/نایلونی چاپ شده با خمیر چاپ محتوی کربن مشکی و کربن فعال در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل مذکور مشاهده می‌شود متوسط انعکاس نمونه خام در نواحی Vis-NIR حدود ۸۵٪ بوده ولی هنگامی که نمونه با رنگدانه‌های معدنی سیاه کربن مشکی و کربن فعال عمل می‌شوند به ترتیب حدود ۱۵٪ و ۴۰٪ کاهش انتشار را نشان می‌دهد که علت این امر جذب بسیار بالای رنگدانه‌های مذکور در نواحی Vis-NIR می‌باشد [۱۳].

رفتار انعکاسی نمونه‌های چاپ شده رنگ خاکی با تغییر غلظت نانوکربن مشکی در طول موج‌های Vis-NIR در شکل ۲ نشان داده شده است (خاکی مرجع، نمونه خاکی استاندارد با انعکاس مورد نیاز برای استتار در مناطق بیابانی ایران می‌باشد). نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که افزودن ذرات نانو کربن مشکی به فام بسیار روشن خاکی، به شدت انعکاس بالای ۶۰٪ نمونه خاکی استاندارد را در ناحیه NIR تحت تاثیر قرار داده و باعث جذب بالای نور در نمونه شده و نهایتاً انعکاس نمونه را در غلظت کم (۰,۲۵ g/kg) به حداکثر ۴۰٪ در ناحیه NIR می‌رساند.



شکل ۱: منحنی انعکاسی نمونه خام و نمونه چاپ شده محتوی نانو کربن مشکی و میکرو کربن فعال در نواحی Vis-NIR.



شکل ۲: منحنی انعکاسی نمونه‌های چاپ شده فام خاکی محتوی نانو کربن مشکی در نواحی Vis-NIR.

برای ارزیابی زاویه تماس مایع با سطح نمونه‌ها از دستگاه Advex instrument ساخت کشور چک استفاده شد. زاویه تماس نمونه‌ها تا زمان نفوذ کامل قطره آب بر سطح پارچه‌ها اندازه‌گیری گردید. از هر نمونه، سه مرتبه اندازه‌گیری و سپس میانگین حاصله به عنوان زاویه واقعی تماس گزارش شد.

در این تحقیق از نرم‌افزارهای Spectra manager جهت ترسیم نمودارهای انعکاسی، نرم‌افزار Matlab نسخه ۶,۵ جهت محاسبه مساحت زیر منحنی انعکاسی نمونه‌ها در ناحیه NIR و نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۰۳-۹۷ برای رسم بعضی از نمودارها استفاده شده است.

۲-۲- روش کار

برای انجام عملیات چاپ، ابتدا پارچه‌های پنبه/نایلونی با استفاده از خمیر محتوی رنگدانه‌های اشاره شده در جدول ۱ و غلظت‌دهنده امولسیون، پیونده و همچنین نانو ذرات کربن مشکی (۰,۲۵-۰,۱۰ g/kg) و کربن فعال (۰,۵۰-۰,۱۵ g/kg) به مدت ۱۵ دقیقه توسط هم‌زن مکانیکی با سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه به خوبی مخلوط گردید. سپس توسط شابلون به روش چاپ دستی بر پارچه‌های پنبه/نایلونی چاپ گردید و در خشک‌کن به مدت ۳ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس در استنتر در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه تحت عملیات تثبیت قرار گرفتند. در خاتمه نمونه‌ها به وسیله آب سرد شستشو داده شد و در هوای آزاد خشک شدند.

آزمون‌های انجام شده

برای اندازه‌گیری نفوذپذیری هوا از روش استاندارد EN ISO 9,237، ثبات مالشی از طریق ISO 105 X12 1993 (در این روش نمونه‌ها در روش خشک و مرطوب در جهت طولی در دستگاه مورد نظر به اندازه ۱۰ دور رفت و برگشت تحت مالش قرار گرفتند)، ثبات نوری نمونه‌ها از روش ISO 105 BO2 1989 (طبق این روش نمونه‌ها در اندازه‌های یکسان و مساوی به ابعاد ۶ × ۴ تهیه شده و در دستگاه ارزیابی ثبات SDL-Atlas به مدت ۷۲ ساعت جهت دستیابی به مقدار ۴ معیار آبی قرار داده شدند) و نهایتاً ثبات شستشویی نمونه‌ها نیز از آزمون ISO 105 C10 2006 انجام گرفت. در این روش، نمونه‌ها به ابعاد ۱۰ × ۴ سانتی‌متر آماده شده و با قرار دادن پارچه‌های پلی‌استر و پنبه‌ای به عنوان پارچه‌های همراه در طرفین نمونه‌های رنگی و دوختن آنها از هر چهار طرف به یکدیگر درون حمام محتوی ۴ gr/l شوینده آنیونی استاندارد در اسیدیته ۱۰,۵ به همراه تعداد ۲۰ گوی فلزی در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه رنگرزی اتوماتیک linitest قرار گرفت. سپس نمونه‌ها آبکشی شده و پس از خشک شدن و با استفاده از معیار خاکستری تغییر رنگ نمونه‌ها و لکه‌گذاری بر روی پارچه‌های همراه مورد ارزیابی قرار گرفت.

با توجه به اینکه اختلاف نمونه‌های چاپ شده در ناحیه مرئی با نمونه خاکی استاندارد که به عنوان نمونه هدف مطرح می‌باشد را می‌توان از روی اختلاف مولفه‌های رنگی آنها نشان داد تصمیم گرفته شد برای بیان بهتر اختلاف رفتار انعکاسی نمونه‌های چاپ شده به صورت کمی در ناحیه زیر قرمز نزدیک، سطح زیر منحنی انعکاسی آنها محاسبه شود. نتایج حاصل از ارزیابی سطح زیر منحنی انعکاسی نمونه‌ها در حضور مواد جاذب کربن مشکی و کربن فعال با غلظت‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است این نتایج از منحنی‌های انعکاسی نمونه‌ها در شکل ۲ و ۳ مستخرج شده است (این نتایج برای درک بهتر کمی اختلاف نمونه‌های چاپ شده با نمونه استاندارد در ناحیه زیر قرمز نزدیک بیان شده و این نتایج در کنار منحنی انعکاسی نمونه‌ها می‌تواند مکمل هم باشند). نتایج حاصله در راستای نتایج انعکاسی نمونه‌ها در نواحی Vis-NIR می‌باشد با توجه به اینکه دو ماده جاذب مذکور، کاهش شدید انعکاس در غلظت‌های بالا مخصوصاً برای فام‌های روشن را به دنبال دارند ناحیه سطحی این نمونه‌ها هم متعاقباً نسبت به نمونه فاقد این مواد جاذب کاهش می‌یابد اما کاهش مساحت سطحی در غلظت‌های خیلی کم مواد جاذب کربن مشکی و کربن فعال اندک می‌باشد.

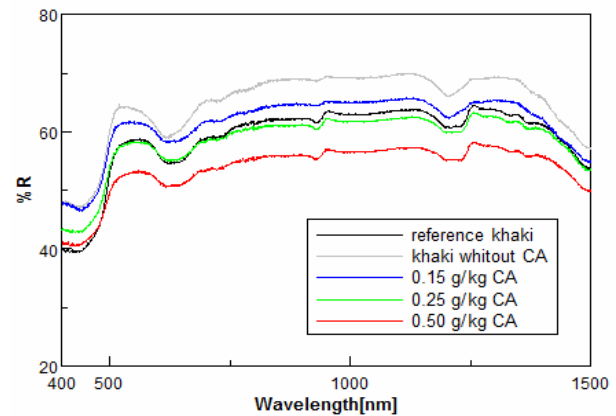
جدول ۳: سطح زیر منحنی نمونه‌های خاکی چاپ شده محتوی کربن مشکی و کربن فعال.

ناحیه سطحی در ناحیه زیر قرمز نزدیک	کربن فعال (g/kg)	کربن مشکی (g/kg)	نمونه عمل شده
۴,۹۳۴	-	-	خاکی استاندارد
۵,۸۷۹	-	-	
۵,۵۸۹	-	۰,۰۱	
۴,۷۹۶	-	۰,۰۵	
۳,۲۹۹	-	۰,۲۵	خاکی
۵,۵۵۸	۰,۱۵	-	
۴,۸۵۸	۰,۲۵	-	
۴,۱۶۴	۰,۵۰	-	

۲-۲- ارزیابی مولفه‌های رنگی نمونه‌های چاپ شده

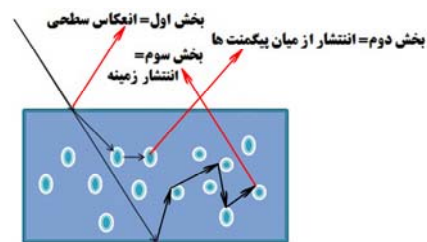
نتایج حاصل از اندازه‌گیری مولفه‌های رنگی نمونه خاکی چاپ شده با غلظت‌های مختلف نانو کربن مشکی و کربن فعال در جدول ۴ ارائه شده است (اختلاف رنگ نمونه‌ها نسبت به نمونه استاندارد خاکی محاسبه شده است).

منحنی انعکاسی نمونه‌های چاپ شده فام خاکی با تغییر غلظت کربن فعال در نواحی Vis-NIR در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج شکل ۳ نشان می‌دهد استفاده از کربن فعال باعث کاهش انعکاس در نمونه چاپ شده می‌شود به صورتی که انعکاس نمونه چاپ شده با غلظت بالای ۰,۵۰ g/kg، کاهش انعکاس ۱۵٪ را نسبت به نمونه فاقد کربن فعال باعث شده است.



شکل ۳: منحنی انعکاسی نمونه‌های چاپ شده فام خاکی محتوی کربن فعال در نواحی Vis-NIR.

انعکاس کلی یک نمونه چاپ شده را می‌توان به سه بخش تقسیم‌بندی کرد: بخش اول مربوط به انعکاس سطحی است که از روی زمینه اتفاق می‌افتد. بخش دوم مربوط به جزئی از نور است که به داخل نمونه نفوذ کرده و پس از برخورد به ذرات رنگدانه موجود در داخل نمونه منتشر شده و از سطح خارج می‌شود. بخش سوم، جزئی از نور می‌باشد که پس از برخورد به سطح الیاف پارچه منتشر شده و نهایتاً در برگشت، نور از سطحی که وارد شده از همان سطح هم خارج می‌شود (شکل ۴). نمونه‌های چاپ شده با هر دو رنگدانه کربن مشکی و کربن فعال، به علت جاذب نور بودن رنگدانه‌های معدنی به کار رفته در خمیر چاپ آنها، انعکاس بخش دوم و سوم آنها به شدت کاهش یافته و با افزایش غلظت آنها، انعکاس کلی به طور محسوس‌تری کاهش می‌یابد. این شدت کاهش به علت جاذب نور قوی بودن کربن مشکی بیشتر از نمونه‌های چاپ شده با کربن فعال می‌باشد (فرض شده است که اثر انعکاس سطحی کربن مشکی و کربن فعال هنگام به کارگیری آنها در خمیر چاپ محتوی رنگدانه‌های رنگی نامحسوس می‌باشد).

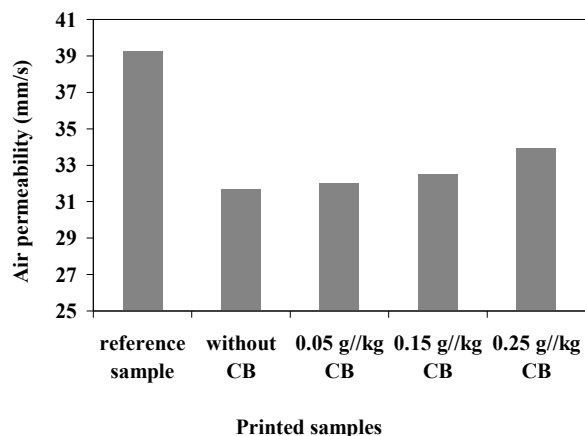


شکل ۴: لایه چاپ شده حاوی رنگدانه.

جدول ۴: مولفه‌های رنگی و اختلاف رنگ نمونه‌های خاکی چاپ شده محتوی کربن مشکی و کربن فعال.

اختلاف رنگ	مولفه‌های رنگی			کربن فعال (g/kg)	کربن مشکی (g/kg)	نمونه رنگی
	ΔE	b*	a*			
۰	۱۷,۶۵۰	-۵,۲۲۴	۸۰,۶۵	-	-	خاکی استاندارد
۲,۲۷۵	۱۹,۲۳۸	-۵,۵۵۹	۸۲,۲۴۵	-	-	
۰,۳۸۵	۱۷,۳۲۸	-۵,۱۷۶	۸۰,۸۵۶	-	۰,۰۱	
۱,۹۴۳	۱۶,۰۶۷	-۴,۴۹۸	۷۹,۷۸۷	-	۰,۰۵	
۱۶,۶۸۳	۶,۷۴۸	-۰,۵۹۱	۶۹,۰۲۳	-	۰,۲۵	خاکی
۱,۷۳۷	۱۸,۸۷۶	-۵,۳۸۶	۸۱,۸۷۱	۰,۱۵	-	
۰,۶۰۳	۱۷,۳۵۷	-۴,۴۸۷	۸۰,۲۸	۰,۲۵	-	
۲,۹۸	۱۶,۵۱۳	-۴,۵۱۶	۷۷,۹۷۷	۰,۵۰	-	

نتایج آزمون نفوذپذیری هوا در نمونه‌های چاپ شده با غلظت‌های مختلف کربن مشکی و کربن فعال در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که نفوذپذیری هوای نمونه‌ها با افزایش غلظت نانو کربن مشکی و میکرو کربن فعال، روند رو به رشدی دارد (هر چند مقدار آنها از نمونه خاکی استاندارد که $39,25 \text{ mm/s}$ می‌باشد کمتر است). به هر حال چون کربن مشکی دارای منافذ بسیار ریزی بوده و از اندازه کوچک‌تری نسبت به ذرات کربن فعال برخوردار می‌باشند عبوردهی هوای بیشتری در نمونه‌های چاپ شده محتوی آنها صورت گرفته است. حضور نانوذرات در فیلم روی پارچه، فشردگی ساختار پیونده را به هم می‌ریزد و بنابراین تغییر نظم ساختاری در سطح مشترک نانوذرات و رزین بیندر منجر به تغییرات حجمی آزاد می‌شود و باعث افزایش نفوذپذیری هوا در نمونه‌ها می‌شود [۱۷، ۱۶].



شکل ۵: نتایج آزمون نفوذپذیری هوای نمونه‌های چاپ شده محتوی نانو کربن مشکی.

جدول ۴ نشان می‌دهد که اختلاف مولفه‌های رنگی نمونه‌های چاپ شده محتوی کربن مشکی و کربن فعال با افزایش غلظت این رنگدانه در هر خمیر چاپ خاکی، تغییر زیادی پیدا می‌کند و این تغییر برای نمونه‌های چاپ شده محتوی کربن مشکی در خمیر بیشتر از نمونه‌های چاپ شده محتوی کربن فعال می‌باشد. با توجه به اینکه احتمال تجمع نانوذرات کربن مشکی در خمیر چاپ وجود دارد ولی احتمالاً یکی از دلایل نتایج حاصله در جدول ۴ به دلیل ضعیف‌تر بودن کربن فعال به عنوان جاذب، در مقایسه با کربن مشکی در ناحیه مرئی می‌باشد. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که با استفاده از نانو ذرات کربن مشکی در غلظت $0,01 \text{ g/kg}$ و کربن فعال در غلظت $0,25 \text{ g/kg}$ می‌توان بهتر به رنگ همانندی مرئی با نمونه‌های استاندارد خاکی رسید زیرا اختلاف رنگ نمونه‌ها کمتر از ۱ می‌باشد.

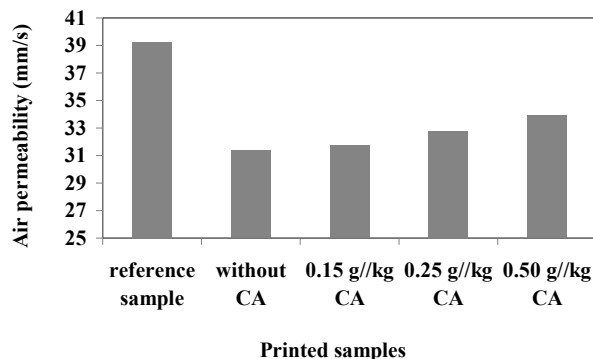
۳-۳- نفوذپذیری هوای نمونه‌های چاپ شده

با توجه به اینکه یک منسوج نظامی برای مدت زمان طولانی در شبانه روز توسط سرباز پوشیده می‌شود بنابراین بدن سرباز باید بتواند دفع آب و عرق را به راحتی انجام دهد تا مشکلی برای سلامتی‌اش حادث نشود. یکی دیگر از عوامل مهم در راحتی منسوج، نفوذپذیری هوا در آن می‌باشد. نفوذپذیری هوا، عامل مهمی برای منسوجات نظامی محسوب می‌شود و عملکرد کلی مواد نساجی مانند پوشاک، چتر نجات، بادبان، جوراب، تی شرت و غیره را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۱۴]. این عامل عمدتاً به وزن و ساختار (ضخامت و منافذ) پارچه بستگی دارد. نفوذپذیری هوا یک ویژگی بیوفیزیکی منسوج می‌باشد که توانایی پارچه را برای خروج مواد گازی که به طور قابل توجهی راحتی حرارتی بدن انسان و حفظ دمای مطلوب بدن را تحت تاثیر قرار می‌دهد را تعیین می‌کند [۱۵].

سطحی بیشتر می‌شود و در زمان‌های طولانی‌تر آب کاملاً روی سطح پخش می‌شود. در واقع در این حالت، خاصیت آب‌گریزی نمونه‌های چاپ شده بیشتر و بنابراین افزایش خاصیت آب‌گریزی در نمونه‌ها مشاهده می‌شود. همچنین زاویه تماس نمونه‌های چاپ شده با نانوذرات کربن مشکی به علت ناحیه سطحی بیشتر، از نمونه‌های چاپ شده با میکرو ذرات کربن فعال کمتر می‌باشد.

۳-۵- ارزیابی ثبات رنگی نمونه‌ها

ثبات رنگی نمونه‌های چاپ شده محتوی نانوذرات کربن مشکی و میکرو کربن فعال در جدول ۶ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد استفاده از رنگدانه‌های کربنی در خمیر نمونه‌های چاپ شده، تأثیر منفی بر ثبات شستشویی و نوری نمونه‌ها را به همراه نداشته است. همچنین با افزایش این رنگدانه‌های معدنی، ثبات‌های شستشویی و نوری نمونه‌ها به صورت جزئی کاهش می‌یابد. چون در عملیات چاپ، اتصال بین رنگدانه‌ها و الیاف تنها توسط پیوندها به وجود می‌آید معمولاً تغییر جزئی ثبات شستشویی با افزایش سهم رنگدانه‌های مصرفی امری طبیعی به نظر می‌رسد. همچنین نتایج ارائه شده در جدول نشان می‌دهد که ثبات مالشی خشک نمونه‌های چاپ شده بهتر از ثبات مالشی مرطوب نمونه‌ها می‌باشد. در غلظت‌های بالای کربن فعال و کربن مشکی در خمیر چاپ نمونه‌ها، احتمال حضور این رنگدانه‌های معدنی در روی سطح کالا بیشتر است و نمی‌توانند پیوند محکمی با سطح کالا ایجاد کنند بنابراین در معرض شستشو و مالش زیاد می‌توانند از سطح کالا به راحتی حذف شوند.



شکل ۶: نتایج آزمون نفوذپذیری هوای نمونه‌های چاپ شده محتوی میکرو کربن فعال.

۳-۴- ارزیابی زاویه تماس نمونه‌ها

یکی از خصوصیات مهم برای منسوجات، قابلیت نفوذپذیری بالای آب می‌باشد و این میزان نفوذپذیری آب به خصوصیات فیزیکی لیف تشکیل‌دهنده منسوج مربوط می‌گردد. به عبارتی هر چه لیف آب‌دوست‌تر باشد میزان نفوذ آب در آن سریع‌تر و بیشتر می‌باشد و برای استفاده به عنوان منسوج مطلوب‌تر می‌باشد. برای ارزیابی میزان نفوذپذیری آب در درون کالا، زاویه تماس مایع با سطح کالا اندازه‌گیری شد. جدول ۵، زاویه تماس قطره آب با نمونه‌های چاپ شده با فام خاکی در حضور کربن مشکی و کربن فعال را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که هرچه غلظت رنگدانه‌های جاذب کربنی در خمیر چاپ افزایش می‌یابد زاویه تماس

جدول ۵: زاویه تماس مایع با نمونه‌های چاپ شده با فام‌های رنگی محتوی کربن مشکی و کربن فعال در زمان‌های مختلف.

نمونه رنگی	رنگدانه افزودنی		زاویه تماس (درجه)		
	کربن مشکی (g/kg)	کربن فعال (g/kg)	صفر (ثانیه)	۲ (ثانیه)	۴ (ثانیه)
خاکی	-	-	۱۰۸,۳	۹۰,۲	۵۶
	۰,۰۱	-	۹۲	۶۵,۴	۲۴,۲
	۰,۰۵	-	۹۴,۷	۷۸,۷	۴۳
	۰,۲۵	-	۱۰۲,۸	۱۰۵,۱	۸۹,۷
	-	۰,۱۵	۱۰۵,۱	۸۲,۵	۳۲,۶
	-	۰,۲۵	۱۰۶,۳	۸۷,۷	۴۱,۷
	-	۰,۵۰	۱۰۹	۹۰,۶	۵۶

جدول ۶: نتایج حاصل از اندازه‌گیری ثابت شستشویی، نوری و مالشی نمونه‌های حاکی چاپ شده محتوی کربن مشکی و کربن فعال.

نمونه رنگی	ثبات شستشویی			ثبات مالشی	
	تغییر رنگ	لکه‌گذاری بر پلی‌استر	لکه‌گذاری بر پنبه	ثبات نوری	ثبات خشک / مرطوب
خاکی	۵	۴-۵	۴-۵	۷	۴ / ۵
۰,۰۵ g/kg CB	۵	۵	۵	۷	۴-۵ / ۵
۰,۱۵ g/kg CB	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۷	۴-۵ / ۵
۰,۲۵ g/kg CB	۴	۴-۵	۴	۶	۴ / ۵
۰,۱۵ g/kg CA	۵	۵	۵	۷	۴-۵ / ۵
۰,۲۵ g/kg CA	۴-۵	۵	۵	۷	۴ / ۵
۰,۵۰ g/kg CA	۴-۵	۵	۵	۶	۴ / ۴-۵

کرده و چون ذرات در سطح نانو بوده است با توجه به سطح تماس بالای این ذرات، جذب نور را بیشتر می‌کند و کاهش انعکاس را شدیدتر نشان می‌دهد. نفوذپذیری هوا در نمونه‌ها با افزایش غلظت رنگدانه‌های کربنی مورد استفاده، کاهش یافت. نتایج نفوذپذیری آب روی نمونه‌ها نشان می‌دهد که هنگام استفاده از نانوذرات کربن مشکی نسبت به میکرو ذرات کربن فعال در خمیر چاپ نمونه‌ها به علت دارا بودن منافذ بسیار ریز، آب سریع‌تر روی سطح لیف پخش می‌شود. در ادامه، خواص ثابت شستشویی، نوری، سایشی نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج بیانگر ثبات بالا و رضایت بخش نمونه‌ها در برابر آزمایشات مذکور بود.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج رفتار انعکاسی نمونه‌ها در هر دو ناحیه Vis-NIR نشان می‌دهد که استفاده از ۰,۰۱ g/kg نانوذرات کربن مشکی و ۰,۲۵ g/kg کربن فعال، 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 نیروهای نظامی در مناطق بیابانی می‌باشد. همچنین، نتایج مولفه‌های رنگی نمونه‌ها نشان می‌دهد که کاربرد مقدار جزئی کربن در خمیر چاپ باعث کاهش شدید مقادیر رنگی در ناحیه مرئی نسبت به نمونه فاقد کربن مشکی و کربن فعال می‌شود. نتایج حاصله نشان می‌دهد که ذرات نانوکربن، به عنوان یک ماده جاذب قوی‌تری نسبت به ذرات کربن فعال عمل

۵- مراجع

- H. Goodden, Camouflage and art: design for deception in world war 2. Unicorm Press, ISBN 978-0-906290-87-3, 2007.
- A. R. Horrocks, S. C. Anand, Hand book of technical textiles. Cambridge, CRC Press. 2000. 439-441.
- S. M. Burkinshaw, G. Hallas, A. D. Towns, Infrared camouflage. *Rev. Prog. Color*, 26(1996), 47-52.
- A. Nishkam, K. K. Gupta, M. S. Subbulakshmi, Textile & camouflage. *Indian Text. J.* 109(1999), 40-44.
- Y. Zh. Wang, Modern military optical technology. Science Press, Beijing, 2003.
- H. Zhang, J. Ch. Zhang, Near-infrared green camouflage of cotton fabrics using vat dyes. *J. Text. Inst.* 99(2008), 83-88.
- H. Zhang, J.Ch. Zhang, Near-infrared green camouflage of PET fabrics using disperse dyes. *Sen' Gakkaiishi*. 63(2007), 223-229.
- U. Goudarzi, J. Mokhtari, M. Nouri, Camouflage of cotton fabrics in visible and near infrared region using vat dyes. *J. Color Sci. Tech.* 7(2013), 25-35.
- K. K. Gupta, A. Nishkam, N. Kasturiya, Camouflage in the non-visible region. *J. Ind. Text.* 31(2001), 27-42.
- V. Rubeziene, I. Padleckieene, J. Baltusnikaite, S. Varnaite, Evaluation of camouflage effectiveness of printed fabrics in visible and near infrared radiation spectral ranges. *Mater. Sci.* 14(2008), 361-365.
- M. Khajeh Mehrizi, S. M. Mortazavi, Sh. Mallakpour, S. M. Bidoki, The effect of nano and micro-TiO₂ particles on reflective behavior of printed cotton/nylon fabrics in Vis-NIR regions. *Color Res. Appl.* 37(2012), 199-205.
- M. Abbasipour, M. Khajeh Mehrizi, Investigation of changes of reflective behavior of cotton/polyester fabric by TiO₂ and carbon black nanoparticles. *Sci. Iranica F.* 19(2012), 954-957.
- G. Buxbaum, Industrial inorganic pigments. Wiley-VCH, 1998.
- R. Ciukas, J. Abramaviciute, Investigation of the air permeability of socks knitted from yarns with peculiar properties. *Fiber Text. East. Europe.* 18(2010), 84-88.
- R. T. Ogulata, Air permeability of woven. *J. Text. App. Tech. Manag.* 5(2006), 1-6.
- S. S. Ugur, M. Sarusik, H. Aktas, The fabrication of nanocomposite thin films with TiO₂ nanoparticles by the layer-by-layer deposition method for multifunctional cotton fabrics. *Nanotech.* 21(2010), 1-8.
- M. Khajeh Mehrizi, S. M. Mortazavi, Sh. 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. *Fiber Polym.* 13(2012), 501-506.