بررسی تاثیر غلظت‌دهنده‌های طبیعی بر ثباتِ رنگ ترموکرومیک در هوشمندسازی پارچه پنبه‌ای

ویدا عابدی طامه[۱]، فریده طالب پور[۲]، کمال الدین قرنجیگ[۳]
[۱]کارشناس ارشد طراحی پارچه و لباس، دانشکده هنر، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران
[۲] استاد، گروه طراحی پارچه و لباس، دانشکده هنر، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران
[۳]استاد و عضو هیت علمی پژوهشگاه رنگ- گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی
talebpour@alzahra.ac.ir
تارخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

چکیده:

مواد رنگزای ترموکرومیک تجاری، تحت تأثیر محرک دما با سرعت و به‌صورت برگشت‌پذیر از حالت بی‌رنگ به رنگی تغییر می‌کنند. استفاده از این رنگ‌ها در حوزه‌های مختلفی از جمله ترموگرافی پزشکی، دماسنج‌های نواری پلاستیکی، لنزهای فتوکرومیک، بسته‌بندی مواد غذایی و آزمایش‌های غیرمخرب در پژوهش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که استفاده از مواد ترموکرومیک در چاپ منسوجات نیز به‌طور چشمگیری افزایش یافته است، به نحوی که قابلیت‌های بسیاری را برای محصولات نساجی فراهم می‌کند. مواد رنگزای ترموکرومیک بیشتر به‌صورت رنگ‌دانه در دسترس هستند. هدف از این تحقیق بررسی ثبات رنگ ترموکرومیک در پارچه پنبه‌ای چاپ‌شده در حضور سه غلظت‌دهنده طبیعی است. داده‌های حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که نمونه‌های چاپ شده از ثبات مالشی خوبی برخوردارند. همچنین، ثبات شستشویی و لکه‌گذاری پارچه‌های چاپ شده با معیار خاکستری اندازه‌گیری شد که نتایج مطلوبی را نشان داد. از نظر ثبات نوری نیز، نتایج نشان می‌دهد که رنگ‌دانه‌های ترموکرومیک، مقاومت کمی در مقابل تابش نور خورشید دارند.

کلیدواژه‌ها: ترموکرومیک، پارچه پنبه‌ای، چاپ، غلظت‌دهنده، اندازه‌گیری ثبات.

Investigating the effect of natural thickeners on the Fastness of Thermochromic color in the smartening of cotton fabric

Vida Abedi Tameh[1], Farideh Talebpour[2], Kamaluddin Koranjig[3]
[1]Master of textile and clothing design, Faculty of Arts, Al-Zahra University, Tehran, Iran
[2]Department of Textile and Fashion Design, Faculty of Art, Alzahra University, Tehran, Iran
[3]Professor and member of the scientific team of Rang Research Institute - Research Group of Organic Dyes
talebpour@alzahra.ac.ir

Abstract:

Commercial thermochromic colorants, responsive to temperature changes by reversibly transitioning from colorless to colored states, had found widespread applications in various fields, including medical thermography, plastic strip thermometers, photochromic lenses, food packaging, and non-destructive testing in diverse research areas. Recent research indicates a significant increase in the use of thermochromic materials in textile printing, providing numerous capabilities for innovative commercial products. Thermochromic colorants are mostly available in the form of pigments. This study aims to investigate the color fastness of thermochromic prints on cotton fabric in the presence of three natural thickeners. The obtained data demonstrates that the printed samples exhibit good rubbing fastness. Furthermore, the wash fastness and stain resistance of the printed fabrics were measured with satisfactory results based on the gray scale. light stability was measured with a blue scale. Regarding light stability, the results indicate that commercial thermochromic colorants exhibit relatively poor light fastness to UV light exposure.

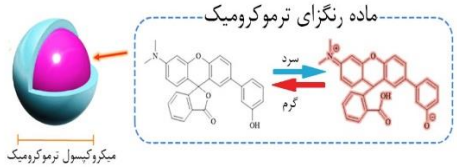
Keywords: Thermochromic, Cotton Fabric, Printing, Thickener, Fastness test.

۱. مقدمه

مواد هوشمند می‌توانند توسط محرک‌های فیزیکی، شیمیایی یا مکانیکی محیطی فعال شوند و به‌صورت پیش‌بینی شده به این محرک‌ها واکنش نشان دهند[۱]. منسوجات هوشمند از ترکیب مواد هوشمند، با الیاف تشکیل می‌شوند. منسوجات هوشمند قابلیت حس و درک محیط و محرک‌های خارجی را دارند و اگر واقعاً هوشمند باشند، به محرک‌های خارجی پاسخ می‌دهند. منسوجات فعال هوشمند محرک‌های محیط را حس می‌کنند و به آن‌ها واکنش نشان می‌دهند. کرومیسم فرآیندی است که باعث تغییر رنگ برگشت‌پذیر اجزای متشکل از یک ترکیب شیمیایی می‌شود. این ترکیب شامل تغییرات در سطح مولکولی مانند شکست پیوندهای شیمیایی یا تغییراتی است که در داخل مولکول و الکترون‌ها رخ می‌دهد [۲] با رنگ‌های ترموکرومیک می‌توان منسوجات هوشمند فعال تهیه کرد، زیرا این منسوجات فقط به تغییر محیط واکنش نشان می‌دهند و با حذف شدن عامل محرک(گرما) به حالت اولیه خود باز می‌گردند [۳].

یکی از کاربردهای مهم مواد ترموکرومیک در تولید محصولات نساجی است. در حال حاضر از مواد ترموکرومیک در حوزه مد و ساخت اثاثیه منزل استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، لباس‌های اسکی، رومیزی‌هایی که رنگ آن‌ها در تماس با ظرف داغ تغییر می‌کند، صندلی‌هایی که تغییر رنگ آن‌ها نشان می‌دهد که فرد در کجا نشسته است و غیره[۴] از کاربردهای مهم مواد ترموکرومیک است. منسوجات هوشمند امکانات کاربردی مهمی نظیر امنیت، استتار و همچنین کاربردهای زیبایی‌شناختی در مد را ارائه می‌دهند. منسوجات ترموکرومیک در امور تحقیقاتی زیادی، استفاده می‌شوند و کاربردهای بالقوه مختلفی مانند حسگرهای دمایی انعطاف‌پذیر [۵]، حسگر بصری[۶و۷]، استتار نظامی[۸] ، نمایشگرهای پوشیدنی، تی‌شرت‌هایی با طراحی خاص که می‌توانند دمای بدن پوشنده را نشان دهند[۹] به‌کار می‌روند. به فرآیند برگشت‌پذیر رنگ ناشی از تغییر دما ترموکرومیسم می‌گویند [۱۰]. با توجه به نوع ماده ترموکرومیکی که استفاده می‌شود، تغییر رنگ در دمای خاصی رخ می‌دهد که به آن «دمای انتقال ترموکرومیک» می‌گویند. هنگامی که ماده به دمای انتقال می‌رسد، تغییر رنگ آن بسیار سریع اتفاق می‌افتد [۱۱]. اولین توصیف از پدیده ترموکرومیک در سال ۱۹۲۹ میلادی انجام شد که در آن محلول بی‌رنگ دی-β-نفتواسپیران تحت حرارت به فام آبی- بنفش تبدیل شد. این ترکیب زمانی که سرد شد، دوباره رنگ خود را از دست داد [۱۲]. لذا این تغییرات رنگ با تغییرات دمای محیط به وقوع پیوست. برای محافظت این مواد از تخریب عوامل محیطی، از روش میکروکپسول‌سازی استفاده می‌شود، میکروکپسول‌هایی تا قطر ۲۰ میکرومتر تهیه می‌شود که برای این کار از مواد پلیمری مختلف استفاده می‌شود [۱۳]. میکروکپسول‌های ترموکرومیک در ابتدا برای کاربردهای نساجی ساخته نشدند زیرا آن‌ها فاقد میل ترکیبی با منسوج بوده و در آب نامحلول هستند. بنابراین به شکل پودر و معمولاً

به‌عنوان رنگدانه‌های مخلوط شده با بیندرهای مناسب، از طریق فرآیندهای چاپ روی کالای نساجی اعمال می‌شوند (شکل ۱) [۲].



شکل۱: میکرومپسول ترموکرومیک و فرمول تغییر رنگ آن درحالت رنگی و بی‌رنگی[۱].

با توجه به بررسی‌های انجام شده ترموکرومیسم بر اساس سازوکارهای مختلفی رخ می‌دهد که در آن‌ها از ترکیبات آلی یا غیرآلی استفاده می‌شود. به عبارتی دیگر، سامانه‌های ترموکرومیک بیشتر به هر دو گروه شیمیایی معدنی و آلی تعلق دارند [۱۴]. طبقه‌بندی شیمیایی، اجزای ترموکرومیک مواد آلی و غیرآلی را از یکدیگر متمایز می‌سازد. دمای انتقال اکثر مواد غیرآلی ترموکروم بسیار بالا است، بنابراین برای استفاده در بسترهای نساجی مناسب نیستند. بنابراین مواد آلی ترموکرومیک بیشترین کاربرد را در نساجی دارند و تغییر رنگ آن‌ها می‌تواند به طور مستقیم یا غیر مستقیم رخ دهد [۱۵]. دمای فعال‌سازی برای تعیین دمایی که در آن فرآیند رنگ‌دهی/تغییر رنگ رخ می‌دهد، استفاده می‌شود. [۲] مواد رنگزای ترموکرومیک برگشت‌پذیر به صورت تجاری با دماهای فعال‌سازی مختلف، از ۱۵ تا ۶۵ درجه سانتی‌گراد در دسترس هستند، اما بیشتر کاربردها به سه محدوده دمایی استاندارد محدود می‌شوند، یعنی دمای سرد (حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد)، فعال‌شده با حرارت بدن (حدود ۳۱ درجه سانتی‌گراد) (شکل ۲) و دمای گرم (حدود ۴۳ درجه سانتی-گراد)، برخی از مواد ترموکرومیک در دماهای دیگر فعال می‌شوند که این مواد بیشتر مصرف غیر تجاری دارند [۱۶-۲ و ۱۷].

شکل۲: تغییر رنگ مواد ترموکرومیک در دماهای مختلف[۱۸].

در سال‌های اخیر مطالعه در زمینه تولید منسوجات هوشمند از طریق کاربرد ترکیبات ترموکرومیک، یعنی موادی که به محیط پیرامون خود پاسخ می‌دهند، اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده است. این منسوجات هوشمند ترموکرومیک، مانند هر ماده ترموکرومیکی دیگر، به تغییر دما با تغییر رنگ پاسخ می‌دهند [۱۲]. مطالعات نشان می‌دهد که مواد ترموکرومیک نسبت به عوامل محیطی حساس هستند و در معرض هوا و شرایط جوی تخریب می‌شوند، به طوری که ویژگی ترموکروم بودن خود را از دست می‌دهند و یا عملکردشان به‌شدت کاهش می‌یابد. کولچار[1] و همکاران [۱۶] پس از انجام آزمایش‌هایی روی نمونه‌های کاغذ چاپ شده، به این نتیجه رسیدند که فرآیند تغییر رنگ در بالاترین دما، حتی بسیار

[1] Kulčar

فراتر از دمای فعال‌سازی، به‌طورکامل به بی‌رنگی نمی‌رسد و هر چه ضخامت لایه چاپ‌شده بیشتر باشد، زمان فعال‌شدن رنگ بیشتر می‌شود. عملکرد نمونه‌های ترموکرومیک تنها به دما بستگی ندارد، بلکه تاریخچه حرارتی نیز بسیار مهم است [۱۷]. بنابراین رفتار مواد ترموکرومیک به‌طور همزمان به چندین عامل فیزیکی وابسته است.

آزمایش‌های مختلفی بر روی پارچه‌های رنگ شده با مواد ترموکرومیک صورت گرفته است که می‌توان به پارچه لاکرا و نایلون که با مواد رنگزای ترموکرومیک در حضور رزین CX100 و ICI Resins BV چاپ شدند اشاره نمود که برای تهیه لباس شنا استفاده می‌شوند [۱۹]. آزمایشات مختلفی روی پارچه‌های ابریشمی، پشمی، پنبه‌ای [۲۰]، پلی استر [۲۱]، پنبه/ پلی‌استر [۲۲] و پلی‌پروپیلن نیز صورت گرفته است. نتایج این آزمایشات نشان می‌دهد که این مواد بعد از اعمال روی منسوج، دارای ثبات شستشویی قابل‌قبول، استحکام بالا و ثبات نوری کم هستند. لذا برای افزایش ثبات نوری کالای چاپ شده، یک کوپلیمر[۲] جذب‌کننده اشعه ماوراء بنفش[۳] تهیه و در منسوجات هوشمند ترموکرومیک به‌منظور بهبود خواص کاربردی آن استفاده شده است. نتایج بررسی نشان داد که ثبات نوری پارچه ترموکرومیک به میزان حدود ۶۰٪ افزایش یافته است. ضمن اینکه این پارچه‌ها ثبات رنگی بسیار خوبی در برابر شستشو و مالش مرطوب داشتند. به‌علاوه پارچه‌های ترموکرومیک تهیه شده در برابر حرارت دارای قابلیت برگشت رنگ مناسبی هم هستند. به‌نظر می‌رسد که این رویکرد یک طرح بهینه‌سازی کاربردی برای بهبود مقاومت نوری منسوجات ترموکرومیک ارائه می‌دهد [۲۳].

در مطالعه دیگری رنگدانه‌های ترموکرومیک در رزین‌های پلی‌یورتان پخش و به‌عنوان یک پوشش بر روی پارچه اعمال شد. خواص رنگ‌سنجی سه رنگ‌دانه ترموکرومیک مبتنی بر رنگدانه‌های لکوی برگشت‌پذیر تجاری با دمای فعال‌سازی ۳۸، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. تغییر رنگ به‌عنوان تابعی از دما ارزیابی شد و مقادیر رنگ با توجه به تغییرات دما به‌دست آمد. براساس نتایج به‌دست آمده این مواد دارای پایداری نوری مناسبی در حضور مواد جاذب ماورابنفش بودند [۲۴]

به‌منظور حل مشکل محدوده تغییر رنگ کم برای مواد ترموکرومیک رایج، میکروکپسول‌های ترموکرومیک و ذخیره انرژی جدید طراحی و با پلیمریزاسیون درجا سنتز شدند. این میکروکپسول‌ها، حاوی اجزای ترموکرومیک بهینه و مواد تغییر فاز بودند و عملکرد دوگانه ترموکرومیک و ذخیره انرژی را به نمایش می‌گذاشتند. میکروکپسول‌ها در پلی‌یورتان پایه آبی و با فرآیند پوشش بر روی پارچه پلی‌استر/پنبه استفاده شدند. در این آزمایش مورفولوژی بیرونی، اثر تغییر رنگ، رفتار قابل تنظیم دما و فعالیت حرارتی میکروکپسول‌ها و پارچه‌های مورد آزمایش بررسی شدند. نتایج نشان داد که

[2] copolymer

[3] UV

پارچه‌های اصلاح شده، اثر ذخیره‌سازی انرژی خوب و خاصیت ترموکرومیک قابل‌توجهی دارند. پارچه‌های مورد آزمایش در اثر تغییر دما از ۱۵ درجه سانتی‌گراد به ۴۵ درجه سانتی‌گراد، از رنگ سرد (آبی) به رنگ گرم (قرمز) تغییر رنگ دادند که به طور قابل توجهی محدوده تغییر رنگ مواد ترموکرومیک را بهبود بخشید و تغییرات رنگ پارچه‌ها از رنگی به بیرنگی و از رنگی به رنگ دیگر بود [۲۵].

برخی از پژوهش‌های انجام شده در حوزه مواد ترموکرومیک، با هدف اصلاح آن‌ها به‌منظور افزایش خواص ثباتی به‌ویژه ثبات در برابر شستشو و عملیات تر بوده است. لذا ایجاد پیوند کووالانسی بین ماده ترموکرومیک و یا کپسول‌های حاوی آن‌ها با پارچه مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا کپسول-های حاوی مواد ترموکرومیک با رزین‌های اپوکسی اصلاح شده با چند گروه سیلوکسان سه گلیسیدوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان با گروه‌های هیدروکسی تهیه شدند. سپس کپسول‌های ترموکرومیک تهیه شده بر روی پارچه پنبه‌ای اعمال شدند و کالایی ترموکرومیک با دمای انتقال ۵۳ درجه سانتی گراد به دست آمد. گروه‌های اپوکسی روی سطح کپسول‌های ترموکرومیک با گروه‌های هیدروکسی پارچه پنبه‌ای واکنش دادند که منجر به تشکیل پیوند کووالانسی شد. این پیوند منجر به پایداری عالی مواد ترموکرومیک در برابر شستشو و مالش (به ترتیب ۳-۴ و ۴) گردید [۲۶]

رنگ‌های ترموکرومیکی که در تهیه لباس به‌کار می‌روند معمولاً با رنگ‌های معمولی ترکیب می‌شوند تا با گرم‌تر شدن لباس، تغییر رنگی به رنگ دیگر را نمایش دهد. لباس‌هایی که به این روش رنگ می‌شوند صرفاً جالب توجه بودند، زیرا رنگ‌ها خاصیت پایداری بسیار ضعیفی دارند. از این رو در زمینه رنگرزی منسوجات، به غیر از بازار خاص لباس‌های مد جدید، بهره‌برداری از جلوه‌های رنگی زودگذر مورد توجه زیادی قرار نمی‌گیرد. از موارد مورد توجه در آینده، کاربرد رنگ‌های فتوکرومیک در تهیه منسوجات هوشمند است، زمینه‌ای که تحقیقات و علاقه تجاری زیادی را به خود جلب کرده است [۲۷].

تاکنون پژوهش‌هایی در خصوص کاربرد ترکیبات ترموکرومیک بر روی منسوجات انجام شده است که غالباً بر روی افزایش خواص ثباتی و عملکرد ماده ترموکروم در اثر تغییرات دمایی متمرکز بوده‌اند. آنچه در این مقاله به آن پرداخته شده، بررسی ثبات‌های رنگ ترموکرومیک بر روی پارچه پنبه‌ای با کاربرد غلظت‌دهنده‌های طبیعی مانند کربوکسی متیل سلولز، ایندالکا و آلژینات سدیم به‌عنوان ماده‌ای زیست‌پلیمر است [۲۸]. برای چاپ پارچه پنبه‌ای با مواد ترموکرومیک از وسیله‌ای به نام بارکوتر[4](اپلیکاتور فیلم‌کش الکومتر میله‌ای) استفاده شد. از این طریق می‌توان منسوج هوشمندی تهیه نمود که نسبت به تغییرات دمایی بدن و محیط واکنش نشان دهد.

[4] Bar Coaters

۲- تجربیات

۲-۱- مواد مورد استفاده

۲-۱-۱- پارچه

پارچه پنبه‌ای خالص با تراکم ۱۲۱ نخ تار و ۱۰۸ نخ پود در هر سانتی‌متر از شرکت ایران پوپلین تهیه شد.

۲-۱-۲- مواد شیمیایی

سه غلظت‌دهنده کربوکسی متیل سلولز، ایندالکا و آلژینات سدیم از منابع تجارتی تهیه شدند. رزین مصرفی نیز از شرکت سیماب رزین تهیه شد. سیماکریل U-96 دارای چگالی ۱/۰۵ (پلیمر مرطوب، گرم بر سانتی‌متر مکعب)، گرانروی ۱۰۰-۲۰۰، درصد جامد ۴۰ و pH ۲-۳ است.

ماده رنگزای ترموکرومیک مصرفی در این مطالعه از شرکت هالی[5] ازکشور چین با کد HLY-310 با فام زرد با دمای فعال‌سازی ۳۱ درجه سانتی‌گراد تهیه شد. بر اساس اطلاعات شرکت سازنده، نام رنگ Chameleon TP-Yellow 25 E می‌باشد که میکروکپسول ترموکرومیک است و شامل ترکیبات Polyoxymethylenemelamine و Ethyl stearateاست. دیسپرس‌کننده مصرفی نیز در این آزمایشات بر پایه پلی‌کربوکسیلات می‌باشد [۳۱].

۲-۲- تجهیزات

در این پژوهش از دستگاه ثبات نوری نساج صنعت یزد، دستگاه ثبات شستشویی آوومتر[6]، اندازه‌گیری ثبات رنگ برابر سایش EQ-OC2-2و دستگاه کراکومتر برای اندازه‌گیری خواص ثباتی کالاهای چاپ شده مطابق استاندارد استفاده شد. پارچه مولتی فایبر SDC برای بررسی اثر لکه‌گذاری و از بارکوتر برای چاپ روی پارچه پنبه‌ای با خمیر چاپ ترموکرومیک استفاده شد.

۲-۳-آماده‌سازی خمیرچاپ

برای تهیه خمیر چاپ ابتدا غلظت‌دهنده‌های مصرفی آماده‌سازی شدند. برای این کار، ۲ گرم غلظت‌دهنده کربوکسی متیل‌سلولز با ۹۸ میلی‌لیتر آب دیونیزه در دمای محیط به مدت ۱۰ دقیقه همزده شد تا ژل یکنواختی با غلظت ٪۲ به‌دست آید. از این ژل برای تهیه خمیر چاپ استفاده شد. برای آماده‌سازی ایندالکا، ۱ گرم از آن با ۹۹ میلی‌لیتر آب دیونیزه در دمای محیط به مدت ۱۰ دقیقه همزده شد تا ماده‌ای ویسکوز با غلظت ٪۱ به‌دست آید. برای تهیه غلظت‌دهنده آلژینات سدیم، ۹۶ میلی‌لیتر آب دیونیزه و ۴ گرم آلژینات سدیم در دمای محیط به مدت ۱۰ دقیقه همزده شد و آلژینات سدیم ٪۴ به‌دست آمد. ۳ خمیر چاپ مجزا از طریق مخلوط‌کردن ۱ گرم ماده رنگزای ترموکرومیک با ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه و ۰/۱ گرم دیسپرس‌کننده، ۱۲ گرم غلظت‌دهنده و ۰/۱گرم رزین به‌دست آمد. در خمیرهای چاپ شده نوع رزین ثابت و غلظت‌دهنده‌های مصرفی متفاوت است. در جدول ۱ میزان مواد استفاده شده در هر خمیر نشان داده شده است

[5] Hali

[6] Launder-o-Meter

جدول ۱: میزان استفاده از ماده ترموکرومیک، غلظت‌دهنده، دیسپرس کننده و رزین در خمیر چاپ

غلظت‌دهنده	ماده‌ترموکرومیک (گرم)	دیسپرس کننده(گرم)	غلظت‌دهنده(گرم)	رزین U-96 (گرم)
آلژینات 4%	1	0.1	12	0.1
کربوکسی متیل سلولز2%	1	0.1	12	0.1
ایندالکا 1%	1	0.1	12	0.1

۲-۴- چاپ پارچه با رنگ ترموکرومیک

پس از آماده‌سازی خمیرهای چاپ، روی نمونه پارچه‌های پنبه‌ای با ابعاد ۱۵ در ۲۰ سانتی‌متر، توسط بارکوتر اعمال شد (شکل ۳). به‌علت حساس بودن پیگمنت‌های ترموکرومیک به گرمای بالا و امکان تثبیت رزین مصرفی در دمای اتاق، نمونه‌ها در فضای آزاد به مدت ۲ ساعت خشک شد و برای آزمایشات خواص فیزیکی آماده گردید.

شکل ۳. بارکوتر و خمیر چاپ روی پارچه

۲-۵- اندازه‌گیری خواص ثبات پارچه‌های چاپ شده

ثبات شستشویی پارچه‌های چاپ شده با مواد ترموکرومیک مطابق با استاندارد ISO 105- C10 : 2006 که مناسب اندازه گیری ثبات رنگ در برابر شستشوی لباس‌ها است، انجام شد.

در این آزمایش ثبات شستشویی پارچه‌های رنگ شده در برابر شستشو و لکه گذاری آن روی پارچه‌های متفاوت بررسی می‌شود.

ثبات نوری پارچه‌های چاپ شده با مواد ترموکرومیک مطابق با استاندارد ISO 105-B02: 2013 انجام شد. برای این کار پارچه چاپ شده تحت نور لامپ زنون در داخل کابین قرار داده شد. نیمی از نمونه مورد آزمایش به گونه‌ای پوشانده شد که نور به آن نتابد و نیمی دیگر آن در معرض نور قرار گرفت. پس از ۱۰۰ ساعت نوردهی، میزان تغییر رنگ با معیار آبی بررسی شد.

ثبات مالشی پارچه‌های چاپ شده با مواد ترموکرومیک مطابق با استاندارد2016 : ISO 105-X12 انجام شد. پارچه چاپ شده بر روی دستگاه کراکومتر نصب شده و به تعداد ده مرتبه رفت و برگشت و به مدت ۱۰ ثانیه با ساینده عمل شد. برای اندازه‌گیری از پارچه پنبه‌ای خالص خشک و مرطوب برای بررسی اثر لکه‌گذاری استفاده شد. اختلاف تغییر رنگ بین قسمت‌های تحت مالش و قسمت‌های دیگر با معیار خاکستری مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳-۱- تهیه مرکب چاپ

برای تهیه کالای پنبه‌ای ترموکرومیک، ابتدا خمیری از رنگدانه ترموکرومیک، دیسپرس کننده، بیندر، غلظت دهنده و آب تهیه شد تا بتوان آن را با بارکوتر بر روی پارچه اعمال کرد. آنچه در این فرمولاسیون مهم است ویسکوزیته و اندازه ذرات رنگدانه در خمیر چاپ به‌کار برده شده است که بر روی کیفیت کالای چاپ شده و در نهایت بر روی عملکرد ماده ترموکرومیک تاثیر می‌گذارد. برای دیسپرس کردن رنگدانه در آب حاوی بیندر از دیسپرس کننده کربوکسیلاتی استفاده شد. این دیسپرس کننده دارای بار منفی COO^- است، بنابراین از گروه دیسپرس‌کننده‌های آنیونی محسوب می‌شود. این ترکیب مورد استفاده دارای زنجیرهای جانبی غیرآب‌دوست نیز است. مکانیزم اصلی دیسپرس‌کنندگی پلی‌کربوکسیلات استفاده شده، براساس پایدارسازی دافعه-های الکترواستاتیک و ممانعت فضایی به‌طور همزمان است. حضور گروه‌های COO^- در ساختار شیمیایی دیسپرس‌کننده منجر به ایجاد دافعه‌های الکترواستاتیک شده و زنجیرهای جانبی غیرآب‌دوست سبب ممانعت فضایی بین ذرات می‌شود . عملکرد دوگانه دیسپرس‌کننده مصرفی و اثر هم‌افزایی آن موجب می‌شود تا ذرات رنگدانه ترموکروم به‌طور یک‌نواخت در خمیر چاپ پخش شود [۳۰]. لازم به‌ذکر است که پلی-کربوکسیلات مصرفی دارای وزن مولکولی حدود کیلودالتون[1] ۲۰۰۰۰ است. وزن مولکولی زیاد دیسپرس‌کننده سبب می-شود تا یک سد ضخیمی برای جلوگیری از تجمعات رنگدانه و غلبه بر نیروهای جاذبه واندروالس بین ذرات رنگدانه ایجاد شود [۳۱].

۳-۲- عملکرد ماده ترموکروم در حضور غلظت‌دهنده

غلظت‌دهنده‌ها بر خواص رئولوژیکی رنگ تأثیر می‌گذارند. کاربرد رنگ‌هایی با پایه آب که به درستی فرموله نشده‌اند، منجر به جریان و خاصیت یکنواختی کم شده و باعث ایجاد رنگ خشک با خواص ثباتی ضعیف می‌شوند. علاوه بر این، ویسکوزیته رنگ ممکن است برای جلوگیری از ته‌نشین شدن ذرات رنگدانه سنگین مناسب نباشد [۳۲و ۳۳].

برای منسوجات سلولزی استفاده از غلظت‌دهنده طبیعی و افزودنی‌های سازگار با محیط زیست از اهمیت بالایی برخوردار است [۳۴].

مخلوط سه غلظت‌دهنده ایندالکا، کربوکسی متیل سلولز و آلژینات همراه با رزین سیماکریل U-96 علاوه بر این که ویسکوزیته مناسبی برای رنگ ایجاد کردند، بعد از اعمال روی پارچه نیز مانع از خشکی و سفتی آن شدند و زیردست مناسبی ایجاد کردند.

۳-۳- بررسی خواص ثباتی پارچه پنبه‌ای

۳-۳-۱- آزمایش ثبات شستشویی

ثبات شستشویی پارچه‌های چاپ‌شده مطابق با استاندارد ISO 105- C10 : 2006 انجام گرفت. در این آزمایش، ثبات

[1] *KD*

شستشویی پارچه‌های چاپ‌شده در برابر شستشو و لکه گذاری بر روی پارچه‌های متفاوت بررسی می‌شود. برای انجام آزمایش از هر نمونه پارچه یک قطعه به اندازه ۲/۵ در ۵ سانتی‌متر برش زده شد و سپس بین پارچه مولتی‌فایبر قرار گرفت(شکل۴). نسبت وزن کالا به حجم محلول مطابق استاندارد L:R، ۱:۵۰ در نظر گرفته شد. به این معنا که برای هر ۱ گرم پارچه، ۵۰ میلی‌لیتر محلول شوینده به‌کار برده شد. میزان صابون مصرفی در فرایند شستشو ۵ گرم بر لیتر بود. سپس نمونه‌های توزین شده داخل کپسول شستشو قرار شد و در دستگاه تعیین ثبات شستشو هر ۸ عدد کپسول درون دستگاه گذاشته شد(شکل ۵) و دمای آب دستگاه از ۳۰ به ۴۰ درجه سانتیگراد افزایش یافت. دستگاه به‌گونه‌ای تنظیم شد که نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد شستشو داده شوند. بعد از اتمام کار دستگاه، نمونه‌ها خارج شده و آبکشی گردید. میزان تغییر رنگ و اثر لکه‌گذاری به‌وسیله معیار خاکستری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از شستشوی نمونه‌ها در جدول ۲ و نتایج لکه‌گذاری در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده نمونه‌ها دارای ثبات شستشوسیی بالایی هستند به‌نحوی که نمونه‌های که با غلظت‌دهنده‌های آلژینات و ایندالکا آماده شده‌اند درجه ۵ و نمونه‌ای که با CMC آماده شده ثبات درجه ۴ نشان می‌هد که نسبتاً نمونه‌ها از ثبات شستشویی خوبی برخوردارند. در خصوص میزان لکه‌گذاری نیز می‌توان اذعان نمود که نمونه‌ها از ثبات خوبی برخوردارند و به‌نظر می‌رسد که فقط در حضور غلظت‌دهنده آلژینات عدد لکه‌گذاری پایین‌تر است و در دو نمونه دیگر غلظت‌دهنده وضعیت بهتری به‌دست آمده است.

شکل ۴. آماده‌سازی نمونه‌ها برای آزمایش ثبات شستشویی(نمونه‌های رنگ شده درمیان پارچه مولتی فایبر قرار گرفته‌اند.)

شکل ۵. تصویر دستگاه اندازه‌گیری ثبات شستشویی

جدول۲: میزان ثبات شستشویی نمونه‌های چاپی با غلظت‌دهنده‌های مختلف

نوع غلظت‌دهنده	تغییر رنگ
آلژینات 4%	5
کربوکسی متیل سلولز2%	4
ایندالکا 1%	5

جدول ۳: میزان لکه‌گذاری نمونه‌های چاپی با غلظت‌دهنده‌های مختلف

نوع غلظت‌دهنده	پشم	اکریلیک	پلی‌استر	نایلون	پنبه	استات
آلژینات 4%	5	5	5	5	5	5
کربوکسی متیل سلولز2%	5	5	5	5	5	5
ایندالکا 1%	4	5	5	5	4	5

۳-۳-۲- آزمایش ثبات سایشی

رنگ‌ها در تماس با عوامل مختلف می‌توانند رفتار متفاوتی داشته باشند، به‌عنوان مثال رنگ‌هایی که سریع خشک می‌شوند، ممکن است برای شستشو در آب مناسب نباشند. بنابراین مهم است که هر محصول رنگ‌شده یا چاپ‌شده از نظر ثبات رنگ آزمایش شود. برخی از لباس‌های رنگی یا چاپ‌شده در حین استفاده به‌طور قابل توجهی تغییر رنگ می‌دهند. این اثر ممکن است در اثر سایش، مالش، شرایط جوی مانند اشعه ماوراء بنفش، اکسیدهای نیتروژن یا ازن، مواد اسیدی یا قلیایی، شستشو یا خشکشویی، اتوکردن، تعریق، آب باران، آب کلردار یا آب دریا یا سایر عوامل ایجاد شود. قرارگرفتن لباس در معرض نور مستقیم یا غیرمستقیم خورشید ممکن است باعث تغییر رنگ و در نتیجه محوشدن رنگ شود، زیرا اشعه ماوراء بنفش در نور خورشید باعث آسیب به ساختار رنگ می‌شود [۳۵].

نمونه پارچه‌ها با استاندارد ISO 105-X12: 2016 X12 تحت سایش خشک و تر قرار گرفتند. این روش آزمایشی برای ارزیابی سطح رنگی منسوجات است. ممکن است در طول دوره عادی استفاده از منسوجات رنگی، در اثر سایش رنگ آنها به سایر سطوح مثل لوازم منزل، فرش و یا سایر لباس‌ها نیز نفوذ کند. نمونه مورد نظر بر طبق ابعاد استاندارد آماده‌سازی شده و در محل تعبیه شده در دستگاه (شکل۶) قرار می‌گیرد. صفحات اسفنجی در زیر صفحه متحرک قرار می‌گیرد و بر روی آن‌ها وزنه‌ها یا اعمال‌کننده نیرو قرار می‌گیرد. پارچه چاپ شده بر روی دستگاه کراکومتر نصب شده و به تعداد ده مرتبه رفت و برگشت و به مدت ۱۰ ثانیه با ساینده عمل می‌شود. نتایج آزمایشات در جدول ۴ آورده شده است.

شکل ۶. تصویر دستگاه تعیین ثبات رنگ در برابر سایش

جدول ۴: میزان ثبات سایشی نمونه‌های چاپی با غلظت‌دهنده‌های مختلف

نوع غلظت‌دهنده	ثبات مالشی در حالت خشک	ثبات مالشی در حالت تر
آلژینات 4%	4-5	4
کربوکسی متیل سلولز2%	4-5	4-5
ایندالکا 1%	4	4-5

همانطور که در جدول۴ دیده می‌شود نمونه‌ها از ثبات سایشی نسبتاً خوبی برخوردارند. غلظت‌دهنده ایندالکا بهترین ثبات سایشی تر و خشک را در بین سه غلظت‌دهنده به‌کار رفته نشان می‌دهد. اگرچه ثبات مالشی خشک در نمونه حاوی آلژینات کمترین است اما در محدوده قابل قبولی قرار دارد.

۳-۳-۳- آزمایش ثبات نوری رنگ

برای آزمایش تعیین ثبات نوری، نمونه پارچه‌های چاپ‌شده به مدت ۱۰۰ ساعت تحت نوردهی با دستگاه ثبات نوری با استاندارد بین المللی مطابق با استاندارد ایزو :ISO 105-B02 2013 قرار گرفتند. نتایج آزمایشات در جدول ۵ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌ها دارای ثبات نوری بسیار ضعیفی هستند. از نقطه نظر ثبات نور، نتایج دیگر مقالات هم تأیید می‌کند که رنگدانه‌های ترموکرومیک تجاری در برابر تابش خورشیدی مقاومت کمتری دارند و پایداری نور حاصل بین ۱ تا ۲ در مقیاس آبی است [۳۶و۳]. ثبات رنگ ضعیف از مهم‌ترین عوامل موثر در تعیین خواص رنگی کالای نساجی است. ماندگاری یک رنگ می‌تواند بسته به نوع رنگ، شید رنگی، عمق و چگونگی انجام فرآیند رنگرزی متفاوت باشد.

جدول ۵: نتایج حاصل از آزمایشات ثبات نوری در نمونه‌ها

نوع غلظت‌دهنده	ثبات نوری
آلژینات 4%	1
کربوکسی متیل سلولز2%	1
ایندالکا 1%	1

۴. نتیجه‌گیری

با انجام تحقیقات در زمینه تولید خمیرهای چاپ پارچه با رنگ‌های ترموکرومیک با استفاده از غلظت‌دهنده‌های طبیعی از جمله آلژینات، کربوکسی متیل سلولز و ایندالکا نتایج مهمی به‌دست آمد که می‌تواند در حوزه تولید منسوجات هوشمند و فناوری پوشاک تأثیرگذار باشد. رنگ‌های ترموکرومیک به تغییرات دمایی حساس هستند و واکنش آنها از رنگی به بیرنگی و از رنگی به رنگ دیگر اتفاق می‌افتد و لذا از دسته رنگ‌های هوشمند محسوب می‌شوند. آزمایشاتی برای هوشمندسازی پارچه پنبه‌ای با رنگ فتوکرومیک طراحی کردید. در این آزمایشات رزین ثابت و نوع غلظت‌دهنده متغیر در نظر گرفته شد تا حاصل این تغییرات بر ثبات پارچه پنبه‌ای که با رنگ فتوکرومیک چاپ شده است، مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج به‌دست آمده به شرح زیر است:

- ثبات سایشی: استفاده از غلظت‌دهنده‌های مختلف منجر به تولید خمیرهای ترموکرومیک با ثبات سایشی قابل قبولی شد که ثبات سایشی نمونه‌هایی که با ماده آلژینات و کربوکسی متیل سلولز چاپ شده بودند، در حالت خشک رضایت‌بخش تر از ماده ایندالکا بود و در حال تر نیز غلظت‌دهنده آلژینات نتایج پایین‌تری از دو ماده دیگر نشان داد.
- ثبات شستشو: نتایج آزمایش‌ها نشان داد که خمیرهای چاپ ترموکرومیک تهیه شده از آلژینات و کربوکسی متیل سلولز در غلظت‌های خاص، دارای ثبات شستشویی بهتری از ماده ایندالکا هستند.
- ثبات لکه‌گذاری: خمیرهای چاپ ترموکرومیک در هر سه نوع غلظت‌دهنده، ثبات لکه‌گذاری قابل قبولی دارند. این ویژگی مهم است، زیرا در اثر استفاده از این مواد در چاپ پارچه، ثبات لکه‌گذاری از اهمیت بسیاری برخوردار خواهند بود.
- ثبات نوری: نتایج حاصل از اندازه گیری ثبات نوری با هر سه نوع غلظت‌دهنده، بسیار پایین است. ثبات رنگ ضعیف از عوامل موثر در تعیین خواص رنگی محصولات نساجی است. پایداری رنگ می‌تواند بسته به نوع آن، شید رنگی، عمق و چگونگی انجام فرآیند رنگرزی متفاوت باشد.

رنگ‌ها در تماس با عوامل مختلف می‌توانند رفتار متفاوتی داشته باشند. در این آزمایشات، با استفاده از خمیر رنگ ترموکرومیک در حضور رزین و سه نوع غلظت‌دهنده طبیعی برای چاپ پارچه پنبه‌ای نتایج بسیار خوبی در ثبات‌های شستشویی و سایشی منسوجات حاصل شد. همانگونه که برخی از مطالعات دیگر هم نشان داده‌اند، ثبات نوری رنگ‌های فتوکرومیک پایین است. اگرچه ثبات نوری نمونه‌های این پژوهش در حد قابل قبولی نبود، اما قدم مهمی

در جهت تهیه یک خمیر رنگ ترموکرومیک قابل دسترس برای پژوهشگران در حوزه طراحی پارچه و لباس فراهم شد. با توجه به این‌که بیشترین دستاوردهای علمی از همین گام‌های کوچک اما مهم حاصل می‌شود، با این پژوهش، زمینه مطالعاتی عملیاتی ارزشمندی برای پژوهشگران علاقمند به این موضوع فراهم گردید.

۵. قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم ویدا عابدی طامه است که به راهنمای دکتر فریده طالب‌پور و دکتر کمال‌الدین قرنجیگ در دانشگاه الزهرا به انجام رسیده است. نگارندگان از پژوهشگاه رنگ که با حمایت‌های مالی و معنوی خود زمینه را برای انجام این تحقیق هموار کردند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۶. مراجع

[1] Abedi Tame, V., Talebpour, F., Gharanjig, K., & Jalili, M. (2023). Review of the Application of Thermochromic Materials in the Preparation of Smart Textiles. *Journal of Studies in Color World*, *13*(2), 185-200.

[2] Nemati, A. (2018). Design Issues in Smart Functional Clothing. *Journal of Textile Science and Technology, 6*(4), 29-37.

[3] abedi tame, vida; talbpour, farideh, Gharanjig, Kamal e Din and jalili, mjtba. (2022). *Preparation of smart textiles with thermochromic materials*, Master's thesis, Al-Zahra University, Tehran.

[4] Ferrara, M., & Bengisu, M. (2014). Intelligent design with chromogenic materials. *JAIC-Journal of the International Colour Association*, 13, 55-56.

[5] Bamfield, P. (2010). *Chromic phenomena: technological applications of colour chemistry*. Royal Society of Chemistry.

[6] LeSar, J. D., Rao, N. M., Williams, N. M., Pantano, J. P., Ricci, M. L., Osher, L. S., ... & Kawalec, J. S. (2017). A novel thermochromic liquid crystal fabric design for the early detection of high-risk foot complications: A proof-of-concept study. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *107*(3), 200-207.

[7] Cai, G., Yang, M., Pan, J., Cheng, D., Xia, Z., Wang, X., & Tang, B. (2018). Large-scale production of highly stretchable CNT/cotton/spandex composite yarn for wearable applications. *ACS applied materials & interfaces*, *10*(38), 32726-32735.

[8] Karpagam, K. R., Saranya, K. S., Gopinathan, J., & Bhattacharyya, A. (2017). Development of smart clothing for military applications using thermochromic colorants. *The Journal of The Textile Institute*, *108*(7), 1122-1127.

[9] Cheng, Y., Zhang, X., Fang, C., Chen, J., & Wang, Z. (2018). Discoloration mechanism, structures and recent applications of thermochromic materials via different methods: A review. *Journal of Materials Science & Technology*, *34*(12), 2225-2234. https://doi.org/10.1016/j.jmst.2018.05.016

[10] Sun, B. (2015). Smart materials and structures. *Lecture at Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH), Zurich. Published by Cape Peninsula Univeresity of Technology, Cape Town, South Afica*.

[11] Lam Po Tang, S., & Stylios, G. K. (2006). An overview of smart technologies for clothing design and engineering. *International Journal of Clothing Science and Technology*, *18*(2), 108-128. https://doi.org/10.1108/09556220610645766

[12] Day, J. H. (1963). Thermochromism. *Chemical* Reviews, 63(1), 65-80.

[13] Christie, R. (2013). Chromic materials for technical textile applications. In Elsevier eBooks, 3–36.

[14] Chowdhury, M. A., Joshi, M., & Butola, B. S. (2014). Photochromic and thermochromic colorants in textile applications. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, *9*(1), 155892501400900113. https://doi.org/10.1177/155892501400900113

[15] Talvenmaa, P. (2006). Introduction to chromic materials. In *Intelligent textiles and clothing. Woodhed Puhlishing in Textiles*, 193-205.

[16] Kulčar, R., Friškovec, M., Hauptman, N., Vesel, A., & Gunde, M. K. (2010). Colorimetric properties of reversible thermochromic printing inks. *Dyes and pigments*, *86*(3), 271-277. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2010.01.014

[17] Kulčar, R., Friškovec, M., Gunde, M. K., & Knešaurek, N. (2011). Dynamic colorimetric properties of mixed thermochromic printing inks. *Coloration Technology*, *127*(6), 411-417. *https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2011.00338.x*

[18] Featured Manufacturers , Suppliers - China Featured Factory. (2023, December). https://www.topwelldyes.com/featured/

[19] Christie, R. M., & Bryant, I. D. (2005). An evaluation of thermochromic prints based on microencapsulated liquid crystals using variable temperature colour measurement. *Coloration technology*, *121*(4), 187-192.

[20] Ramig, K., Lavinda, O., Szalda, D. J., Mironova, I., Karimi, S., Pozzi, F., ... & Cooksey, C. (2015). The nature of thermochromic effects in dyeings with indigo, 6-bromoindigo, and 6, 6′-dibromoindigo, components of Tyrian purple. *Dyes and Pigments*, *117*, 37-48.

[21] Zhang, W., Ji, X., Zeng, C., Chen, K., Yin, Y., & Wang, C. (2017). A new approach for the preparation of durable and reversible color changing polyester fabrics using thermochromic leuco dye-loaded silica nanocapsules. *Journal of materials chemistry C*, *5*(32), 8169-8178.

[22] Huang, G., Liu, L., Wang, R., Zhang, J., Sun, X., & Peng, H. (2016). Smart color-changing textile with high contrast based on a single-sided conductive fabric. *Journal of Materials Chemistry C*, *4*(32), 7589-7594. https://doi.org/10.1039/C6TC02051H

[23] Zhang, Y., Hu, Z., Xiang, H., Zhai, G., & Zhu, M. (2019). Fabrication of visual textile temperature indicators based on reversible thermochromic fibers. *Dyes and Pigments*, *162*, 705-711.

[24] Štaffová, M., Kučera, F., Tocháček, J., Dzik, P., Ondreáš, F., & Jančář, J. (2021). Insight into color change of reversible thermochromic systems and their incorporation into textile coating. *Journal of Applied Polymer Science*, *138*(4), 49724.

[25] Ma, X., Wang, L., Li, L., Bian, L., Yang, W., & Meng, Q. (2019). The novel thermochromic and energy-storage microcapsules with significant extension of color change range to different tones. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, *56*(6), 588-596.

[26] Zhang, W., Ji, X., Yin, Y., & Wang, C. (2019). Temperature induced color changing cotton fabricated via grafting epoxy modified thermochromic capsules. *Cellulose*, *26*, 5745-5756. .

[27] Dawson, T. L. (2010). Changing colours: now you see them, now you don't. *Coloration Technology*, *126*(4), 177-188. https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2010.00247.x

[28] Gharanjig, H., Gharanjig, K., & Khosravi, A. (2019). Effects of the side chain density of polycar-

boxylate dispersants on dye dispersion properties. *Coloration Technology*, *135*(2), 160-168. https://doi.org/10.1111/cote.12391

[29] Zare Mehrjardi, A., Rahimnezhad, H., & Rahimnezhad, S. (2020). Investigation of bagging behavior of cellulosic fabrics printed with madder and sodium alginate. *Journal of Textile Science and Technology*, *9*(3), 37-44.

[30] Gharanjig, H., Gharanjig, K., Sarli, M. A., Ozguney, A. T., Jalili, M., Gharanjik, A., & Jahankaran, S. (2022). Effect of molecular composition of comb-like polycarboxylate dispersants on hydrophobic dye dispersion properties. *Journal of Molecular Liquids*, *350*, 118615. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.118615

[31] Farrokhpay, S. (2009). A review of polymeric dispersant stabilisation of titania pigment. *Advances in Colloid and Interface Science*, *151*(1-2), 24-32. https://doi.org/10.1016/j.cis.2009.07.004

[32] Murray, H. H. (2000). Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Applied clay science*, *17*(5-6), 207-221. https://doi.org/10.1016/S0169-1317(00)00016-8

[33] Davison, G., Lane, B., & Brown, R. F. G. (2003). Additives in coatings - a necessary evil? In *Additives in Water-Borne Coatings*, 1–6. https://doi.org/10.1039/9781847550057-00001

[34] Holme, I. (2007). Innovative technologies for high performance textiles. *Coloration Technology*, *123*(2), 59-73. https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2007.00064.x

[35] Saville, B. P. (1999). *Physical testing of textiles*. Elsevier.

[36] Viková, M., & Pechová, M. (2020). Study of adaptive thermochromic camouflage for combat uniform. *Textile Research Journal*, *90*(17-18), 2070-2084. https://doi.org/10.1177/0040517520910217