

## Production of Thermal Camouflage Fabric by Blade Deposition Method with Company Particles

Safa Khazai\*, Mohammad Davoudabadi Farahani 

\*Associate Professor, Imam Hossein (AS) University, Tehran, Iran

(Received: 18/06/2023, Revised: 01/08/2024, Accepted: 28/01/2024, Published: 15/12/2024)

DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.4.1.4

### ABSTRACT

*In this study, in order to produce thermal camouflage clothing and reduce the emission of thermal infrared waves, aluminum metal has been used as a coating on the fabric due to its low thermal emissivity, light weight, lack of oxidation in the short term, and also its cost-effectiveness. Aluminum coating on the fabric has been done through the blade deposition method. In addition to reducing thermal contrast, the desired fabric should also provide suitable breathability, high flexibility, low thickness, and high abrasion and washing stability. In this regard, the physical textile properties of the samples were tested and their thermal camouflage efficiency on the human forehead was evaluated. Based on the experimental results, the physical textile properties of the samples coated with aluminum are in accordance with the standard and the thermal contrast of the sample compared to the background is 42 percent. Also, by sewing a spacer fabric on the back of the produced sample, the thermal contrast has been improved by 57 percent.*

**Keywords:** Aluminium, Thermal Camouflage, Coating, Fabric

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

**Publisher:** Imam Hussein University

 Authors



\* Corresponding Author Email: skhazai @ihu.ac.ir




پژوهش‌های غیرعالم

سال پانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، (پیاپی ۶۰): صص ۱-۱۰

شاپای چاپی: ۶۹۴۹-۲۰۰۸ | شاپای الکترونیکی: ۸۰۳۰-۲۹۸۰

علمی - پژوهشی

# تولید پارچه استتار حرارتی به روش لایه‌نشانی تیغه‌ای با ذرات آلومینیوم

صفا خزائی<sup>۱\*</sup>، محمد داودآبادی فراهانی<sup>۲</sup> 

DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.4.1.4

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱

## چکیده

در این پژوهش، جهت تولید لباس استتار حرارتی و کاهش انتشار امواج مادون قرمز حرارتی، از فلز آلومینیوم به دلیل ضریب گسیل حرارتی کم، وزن سبک، عدم اکسیدشدن در کوتاه‌مدت و همچنین به صرفه‌بودن قیمت به‌عنوان پوشش بر روی پارچه استفاده شده است. پوشش-دهی آلومینیوم بر روی پارچه از طریق روش لایه‌نشانی تیغه‌ای انجام شده است. پارچه موردنظر علاوه بر کاهش تباین حرارتی باید قابلیت تنفس‌پذیری مناسب، انعطاف‌پذیری بالا، ضخامت کم و ثبات سایشی و شستشویی بالا را نیز فراهم نماید. در این راستا، خصوصیات فیزیکی نساجی نمونه‌ها مورد آزمون قرار گرفت و همچنین کارایی استتار حرارتی آنها بر روی پیشانی انسان ارزیابی شده است. بر اساس نتایج تجربی، خصوصیات فیزیکی نساجی نمونه‌های پوشش داده شده با آلومینیوم مطابق استاندارد بوده و تباین حرارتی نمونه نسبت به پس‌زمینه به میزان ۴۲ درصد است. همچنین با دوختن یک پارچه اسپیسر در پشت نمونه تولید شده، تباین حرارتی به میزان ۵۷ درصد بهبود یافته است.

**کلیدواژه‌ها:** استتار حرارتی، آلومینیوم، پارچه، پوشش‌دهی

<sup>۱</sup>دانشیار دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران (skhazai @ihu.ac.ir) - نویسنده مسئول

<sup>۲</sup>دکترای تخصصی دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران



\* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

نویسندگان ©

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

## ۱- مقدمه

بی تردید اساسی‌ترین اقدامات پدافند غیرعامل، جلوگیری از کشف و شناسایی نیروهای عملیاتی توسط سامانه‌های شناسایی دشمن است که موجب ارتقای قابلیت بقا و افزایش توان رزم می‌گردد. نیروهای نظامی از تورهای استتار متداول، شرایط طبیعی زمین و نیز شاخ‌وبرگ درختان برای استتار خود و تجهیزات بهره می‌گیرند، اما با توسعه فناوری سنجش‌از‌دور، استتار یک هدف در محدوده‌های مختلف طیف الکترومغناطیس بسیار ضروری گردیده است. در شب و شرایط روشنایی کم، نیروهای عملیاتی با استفاده از دوربین‌های تصویربرداری حرارتی غیر سرد شونده که محدوده مادون قرمز موج‌بلند (LWIR، ۸ تا ۱۴ میکرومتر) را پوشش می‌دهند، به آسانی قابل شناسایی هستند؛ لذا علاوه بر استتار در ناحیه طیف مرئی، امروزه استتار حرارتی نیروهای عملیاتی جهت جلوگیری از شناسایی آن‌ها توسط دوربین‌های تصویربرداری حرارتی حیاتی است. برای اجتناب از کشف و شناسایی نیروهای عملیاتی توسط دوربین‌های حرارتی، می‌بایست اختلاف حرارتی بین پوشش بدن و محیط اطراف به حداقل ممکن برسد. روش‌های گوناگونی برای کاهش تباین حرارتی هدف و پس‌زمینه وجود دارد که یکی از کارآمدترین آن‌ها، استفاده از لباس‌های استتار حرارتی است.

برای تولید منسوجات استتاری، تحقیقات زیادی در جهان توسط شرکت‌های معروفی مانند نانو تکس، کریپتون و... و در داخل کشور توسط شرکت‌های نانوسان، نانو تکنیکال، بسپار سازان ایرانیان، نانو پوشش فلز، پیشران نساجی آینده، تهران زر نخ، نانو نسج چلیپا و... انجام شده است؛ ولی در خصوص منسوجات در جهت کاربرد برای استتار حرارتی، فعالیت‌ها در کشور در سطح تحقیقاتی و آزمایشگاهی بوده و جای فعالیت بیشتر به‌ویژه در زمینه سنجش و تحلیل کارایی منسوجات رسانا برای اطمینان از عملکرد مناسب آن در صحنه نبرد وجود دارد و باتوجه‌به اقلیم‌های متفاوت در کشور از نظر دما و رطوبت، عرصه‌های نوین برای ارائه روش‌های ارزیابی کارایی استتار حرارتی منسوجات رسانا در حوزه دفاعی و رزمی در شرایط آب‌وهوایی مختلف است. در خصوص شیوه سنجش و تحلیل استتار حرارتی، در جهان تحقیقات محدودی منتشر شده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

سیکی<sup>۱</sup> و تگک<sup>۲</sup> با استفاده از منسوج رسانای تولید شده، به میزان ۲۰ درصد احتمال کشف حرارتی را کاهش داده‌اند [۱].

هال<sup>۳</sup> ضمن مرور فیزیک انتشار حرارتی، به بحث استتار تطبیق‌پذیر، مواد جاذب انتشار حرارتی، پوشش‌دهی با مواد ضریب انعکاس پایین و آزمون آن پرداخته است [۲]. روبزین<sup>۴</sup> و همکاران [۳] از پوشش‌های آلومینیوم و الیاف فلزی برای استتار حرارتی استفاده کردند و از طریق آزمون با استفاده از دوربین حرارتی، نتایج قابل‌قبولی در یک دمای ثابت، به دست آوردند. شوارتز<sup>۵</sup> ضمن بیان و تشریح مؤلفه‌های تصویربرداری حرارتی مانند کیفیت، پاسخ، نویز، قدرت تفکیک، دقت و... به تشریح تجهیزات و روش‌های تست و آزمون استتار حرارتی پرداخته است؛ اما در این اثر به شیوه‌های تست منسوجات استتار حرارتی رسانا پرداخته نشده است [۴]. وو<sup>۶</sup> و یو<sup>۷</sup> [۵] یک پوشش با انتشار مادون قرمز کم با استفاده از پودر آلومینیوم (Al) اصلاح شده و پلی‌اورتان به‌عنوان رنگ‌دانه فلزی و چسب تهیه نمود. پودر آلومینیوم با موم پلی‌اتیلن برای کاهش انتشار و براقیت پوشش داده شد. تأثیرات محتوای پودر Al اصلاح شده، مواد بستر، ضخامت پوشش و زمان پیری بر انتشار مادون قرمز روشنند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که پودر Al اصلاح‌شده نه تنها براقیت پوشش، بلکه انتشار آن را در محدوده طول موج ۸-۱۴ میکرومتر کاهش می‌دهد. وانگ<sup>۸</sup> و همکاران [۶] پارچه پنبه‌ای کم تابش با انتشار مادون قرمز حرارتی در محدوده طیفی ۸-۱۴ میکرومتر با استفاده از پوشش‌های اکسید روی و آلومینیم آلی شده با کربن (C-AZO) تهیه نمود. محتوای کامپوزیت C-AZO، ضخامت پوشش و زبری پارچه بر انتشار مادون قرمز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش محتوای کامپوزیت‌های C-AZO و ضخامت پوشش، میزان انتشار ابتدا کاهش یافته و سپس به تدریج به پایداری و کمترین مقدار رسیده است. کمترین میزان انتشار مادون قرمز پارچه پوشش داده شده زمانی به دست آمد که محتوای کامپوزیت‌های C-AZO حدود ۴۰ درصد وزنی با ضخامت پوشش بیش از ۳۰۰ میکرومتر بود. بنت<sup>۹</sup> و پولسن<sup>۱۰</sup> [۷] با تصویربرداری حرارتی در محدوده‌های طیفی ۳ تا ۵ و ۸ تا ۱۳ میکرومتر، خواص استتار حرارتی نمونه‌هایی از فلزات را مورد بررسی و سنجش قرار داده‌اند. آنها برای اعمال تغییرات حرارتی، از گرم‌کننده برقی برای افزایش دمای سطح خارجی شیء استفاده کردند و در فواصل زمانی مشخص، اقدام به تصویربرداری حرارتی نمودند؛ ولی به بررسی منسوجات و روش‌های تست و آزمون آن

<sup>3</sup> Hall

<sup>4</sup> Rubežienė

<sup>5</sup> Schwarz

<sup>6</sup> Wu

<sup>7</sup> Yu

<sup>8</sup> Wang

<sup>9</sup> Bennett

<sup>10</sup> Polsen

<sup>1</sup> Seki

<sup>2</sup> Tagac

نپرداخته‌اند. هاپینگ<sup>۱</sup> راهکارهایی برای جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها برای ارزیابی کارآمدی استتار در طیف مرئی ارائه نمود. اساس این کار بر تجربه گروهی از سازمان تحقیقات و فناوری ناتو بود. در این تحقیق، کارآمدی اهداف استتار در موقعیت‌های تاکتیکی توسط عده‌ای از دیده‌بان‌ها در میدان و در شبیه‌سازی‌های تصویری ارزیابی شد [۸]. گرتزماخر<sup>۲</sup> یک رویکرد امیدبخش و مقرون‌به‌صرفه برای ارزیابی استتار اهداف با استفاده از شبیه‌سازی متحرک ارائه نمود. این شیوه بخش‌بندی شده پیش‌ازاین در کنفرانس‌های سنجش هوایی ارائه شده است. ظاهراً شیوه تصویر ساکن در ارزیابی جدید از سکانس‌های ویدئویی صحنه‌های دینامیکی بسیار وقت‌گیر است [۹].

در سطح دانشگاه‌های نیروهای مسلح و همچنین دانشگاه‌های غیرنظامی کشور، در خصوص ارزیابی استتار حرارتی و نیز تولید منسوجات رسانا تحقیقات محدودی انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره نمود. توکل و همکاران [۱۰] یک تکنیک سازگار با محیط‌زیست و مقرون‌به‌صرفه برای تولید صنعتی منسوجات مدیریت حرارتی شخصی از طریق ریسندگی مذاب ترکیبات پلی‌پروپیلن/آلومینیوم (PP/Al) را ارائه دادند. بررسی خواص نوری، حرارتی و مکانیکی پارچه‌های PP/Al نشان داد که این پارچه‌ها دارای خواص پوشیدنی و دوام مناسبی به‌عنوان لباس گرمایش تابشی غیرفعال هستند. بر اساس نتایج این تحقیق، گذردهی مادون قرمز میانی و میانگین انتشار مؤثرترین نمونه پارچه به ترتیب ۲۰٪ و ۱۶٪ است. در تحقیقی دیگر، معتمدی [۱۱] به تولید و بررسی خواص ریخت‌شناسی و رسانایی الکتریکی نانوذرات نقره برای کاربرد در منسوجات هوشمند پرداخت. وی با اشاره به کاربردهای نظامی این تحقیق در استتار، آزمون‌های خود را بر پراش اشعه ایکس، رسانایی الکتریکی، ارتعاشات کششی، ترشوندگی، اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب و نفوذپذیری هوا انجام داد. همچنین از روش ارزیابی ناظران که یک روش ارزیابی بصری برای بررسی روش‌های ارزیابی کارایی استتار استفاده نمود. با مشاهده تصاویر حرارتی تهیه شده از لباس استتاری، امکان شناسایی این پوشش با استفاده از دوربین حرارتی غیر سرد شونده با انجام ۲۴ طرح در شرایط مختلف (منطقه کوهستانی بوته‌زار، فصل زمستان، دو حالت ایستاده و نشسته، دو وقت روز روشن با وجود خورشید در آسمان و هوای تاریک، فواصل ۱۰۰ تا ۴۰۰ متر و با لحاظ نمودن شرایط جوی) مورد ارزیابی تجربی و تجزیه و تحلیل قرار دادند [۱۲]. از میان شیوه‌های ارزیابی استتار، شیوه ارزیابی بصری توسط ناظران را انتخاب نمود. همچنین با توجه به اهمیت لباس برای

نیروهای عملیاتی، در این تحقیق به ارزیابی لباس‌های کارکنان عملیاتی یکی از سازمان‌های نظامی در منطقه شمال غرب کشور پرداخته شد. ارزیابی لباس‌های دیجیتال جنگلی و کویری و لباس خاکی پلنگی در ناحیه مرئی و در ناحیه حرارتی در فواصل ۵۰ تا ۵۰۰ متری، در دو حالت ایستاده و نشسته، و در شرایط آب‌وهوایی آفتابی و ابری صورت گرفته است. نتایج حاصله نشان داد، لباس دیجیتالی کویری و لباس خاکی پلنگی در مناطق عملیاتی شمال غرب در سه‌ماهه نخست سال به‌خاطر وجود پوشش گیاهی و بوته‌زارهای سرسبز کارایی لازم را نداشته و به‌راحتی با دوربین‌های مرئی و دیده‌بان‌های بصری در چند ثانیه کشف و شناسایی می‌شوند. لباس دیجیتالی جنگلی که ویژه مناطق جنگلی است در سه‌ماهه اول سال کارایی بهتری در مناطق شمال غرب داشت [۱۳]. خزایی و میرعظیمی [۱۴] در گزارش طرح تحقیقاتی خود، نوعی سامانه برای استتار حرارتی تطبیقی ارائه نموده‌اند که با گرمایش الکتریکی، دوربین‌های تصویربرداری حرارتی را فریب داده و با محیط اطرافش تطبیق می‌دهد. سامانه استتار حرارتی شامل یک لایه VGC<sup>۳</sup> با ساختاری ساندویچی شکل بود که خواصی فوق‌العاده مانند تغییر ظاهر سریع، انرژی مصرفی بسیار کم و مقرون‌به‌صرفه بودن را نشان داد. تغییرات سریع در ضریب شکست لایه VO<sub>2</sub> در حوالی تحول فازی، موجب می‌شود لایه VGC تباین نوری بالا، به‌ویژه در ناحیه مادون قرمز، برای کاربردهای استتار حرارتی نشان دهد.

منسوجاتی که خاصیت استتار در برابر دوربین‌های حرارتی دارند می‌توانند حرارت سطح جسم یا فرد موردنظر را با کمترین اختلاف نسبت به محیط پس زمینه در دوربین‌های حرارتی نشان دهند. همچنین به دلیل وزن کم، انعطاف پذیری بالا، در دسترس بودن و ... کارآرایی بالایی را در شرایط حساس از خود نشان می‌دهند. هدف اصلی این تحقیق ایجاد خاصیت استتار در مقابل دوربین‌های مادون قرمز حرارتی بر روی پارچه‌های پلی استری با بافت تار پودی، به وسیله پوشش‌دهی پارچه با ذرات فلزی آلومینیوم است. آلومینیوم به دلیل دارا بودن کمترین ضریب گسیل حرارتی در بین فلزات [۱۵] عدم اکسید شدن در کوتاه مدت و همچنین صرفه‌بودن قیمت جهت تولید پارچه استتار حرارتی مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش تحقیق

### ۲-۱- تهیه پارچه

یک موضوع مهم در تولید منسوجات استتار حرارتی این است که وزن منسوجات تولید شده نباید موجب کاهش انعطاف و

در سطح دانشگاه‌های نیروهای مسلح و همچنین دانشگاه‌های غیرنظامی کشور، در خصوص ارزیابی استتار حرارتی و نیز تولید منسوجات رسانا تحقیقات محدودی انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره نمود. توکل و همکاران [۱۰] یک تکنیک سازگار با محیط‌زیست و مقرون‌به‌صرفه برای تولید صنعتی منسوجات مدیریت حرارتی شخصی از طریق ریسندگی مذاب ترکیبات پلی‌پروپیلن/آلومینیوم (PP/Al) را ارائه دادند. بررسی خواص نوری، حرارتی و مکانیکی پارچه‌های PP/Al نشان داد که این پارچه‌ها دارای خواص پوشیدنی و دوام مناسبی به‌عنوان لباس گرمایش تابشی غیرفعال هستند. بر اساس نتایج این تحقیق، گذردهی مادون قرمز میانی و میانگین انتشار مؤثرترین نمونه پارچه به ترتیب ۲۰٪ و ۱۶٪ است. در تحقیقی دیگر، معتمدی [۱۱] به تولید و بررسی خواص ریخت‌شناسی و رسانایی الکتریکی نانوذرات نقره برای کاربرد در منسوجات هوشمند پرداخت. وی با اشاره به کاربردهای نظامی این تحقیق در استتار، آزمون‌های خود را بر پراش اشعه ایکس، رسانایی الکتریکی، ارتعاشات کششی، ترشوندگی، اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب و نفوذپذیری هوا انجام داد. همچنین از روش ارزیابی ناظران که یک روش ارزیابی بصری برای بررسی روش‌های ارزیابی کارایی استتار استفاده نمود. با مشاهده تصاویر حرارتی تهیه شده از لباس استتاری، امکان شناسایی این پوشش با استفاده از دوربین حرارتی غیر سرد شونده با انجام ۲۴ طرح در شرایط مختلف (منطقه کوهستانی بوته‌زار، فصل زمستان، دو حالت ایستاده و نشسته، دو وقت روز روشن با وجود خورشید در آسمان و هوای تاریک، فواصل ۱۰۰ تا ۴۰۰ متر و با لحاظ نمودن شرایط جوی) مورد ارزیابی تجربی و تجزیه و تحلیل قرار دادند [۱۲]. از میان شیوه‌های ارزیابی استتار، شیوه ارزیابی بصری توسط ناظران را انتخاب نمود. همچنین با توجه به اهمیت لباس برای

<sup>۱</sup> Hopping

<sup>۲</sup> Gretzmacher

<sup>۳</sup> Vent Gas Cooler

جدول (۱): دستگاه های مورد استفاده

دستگاه	مدل	کمپانی/کشور سازنده
دستگاه لباس شویی خانگی	PWT-9659AJ	Pakshoma / ایران
همزن مکانیکی	Greaves Mixer Model B	Joshua Greaves & sons
ترازوی دیجیتال	EB- Libror: 3305	Shimadzu / ژاپن
استنتر آزمایشگاهی	LTF 41375	Mathis / سوئیس
دستگاه فیلم کش آزمایشگاهی	---	سپنتا پلیمر شریف/ایران
آون آزمایشگاهی	Shimaz co	LTD
دستگاه لایه نشانی فلز با تبخیر در خلأ	Vacuum evaporation	هزاره سوم/ایران
میکروسکوپ استریو	2CE-MU	HP/آمریکا
دستگاه نفوذپذیری هوا	SDL MO 215	انگلیس
دستگاه اندازه گیری طول خمشی پارچه	---	دانشگاه امیرکبیر
دستگاه مقاومت سایش پارچه	Martin Dale 1440	James Heal / انگلیس
دستگاه ضخامت سنج	Hans bear AG	انگلیس
دوربین حرارتی	M_7	---

### ۲-۳- پوشش دهی پارچه

پوشش دهی پارچه با استفاده از روش لایه نشانی تیغه ای، یکی از روش های متداول لایه نشانی است. لازم به توضیح است این روش، یک شیوه جدید، سریع و کم هزینه است که می توان به مقدار دلخواه لایه نشانی را انجام داد و قابلیت تکرارپذیری بالایی دارد. در این تحقیق، جهت تهیه خمیر لایه نشانی، ذرات آلومینیوم با قطر بیش از ۲۰ میکرون انتخاب شد [۱۲]. درصد وزنی مواد مورد نیاز در جدول (۲) نشان داده شده است. جهت تهیه خمیر لایه نشانی آلومینیوم، در ابتدا ۳۵ درصد وزنی پیونددهنده را به ۶۰ درصد وزنی آلومینیوم اضافه کرده و سپس ۵ درصد وزنی پیونددهنده باقی مانده اضافه گردید. خمیر به دست آمده به مدت ۱۵ تا ۲۵ دقیقه به وسیله همزن مکانیکی به خوبی مخلوط شد. سپس فرایند لایه نشانی تیغه ای به مقدار کمتر از ۰/۲۵ درصد وزنی خمیر، غلظت دهنده مصنوعی چاپ به خمیر اضافه شده و به مدت ۱۵ دقیق دیگر با همزن مکانیکی مخلوط گردید.

مانورپذیری نیروهای عملیاتی شود. علاوه بر آن می بایست ثبات سایشی و شستشو را نیز حفظ کند. به همین دلیل در این پژوهش از پارچه پلی استر تار پودی با طرح بافت تافته استفاده شد. شکل (۱) پارچه پلی استر خام به عنوان نمونه شاهد را نشان می دهد.



شکل (۱): پارچه پلی استر (نمونه شاهد)

جهت کاهش آلودگی ها و ناخالصی های سطحی پارچه و افزایش پوشش دهی باثبات بالاتر ابتدا پارچه های پلی استر تار پودی در حمام با درجنت غیر یونی با میزان ۱g/L به مدت ۱ ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس شستشو داده شد. سپس به وسیله آب لوله کشی دو بار آبکشی شده و در دمای اتاق به صورت کاملاً آزاد قرار داده شد تا خشک شود. بدیهی است چنانچه در به کارگیری منسوجات استتار حرارتی رسانا عامل مذکور مورد بررسی قرار نگیرند، نمی توان در خصوص استفاده عملیاتی مؤثر از منسوجات در شرایط مختلف صحنه نبرد مطمئن بود و همچنین نمی توان در خصوص بهینه سازی کارایی منسوجات و مقایسه آنها با یکدیگر در شرایط محیطی مختلف اقدام نمود. اصولاً یکی از روش های تهیه منسوجات استتار حرارتی، استفاده از مواد با تشعشع (گسیلندگی) حرارتی پایین، نظیر فلزات است.

### ۲-۲- انتخاب نوع افزودنی فلزی

با توجه بررسی های انجام شده، کمترین ضریب گسیل حرارتی در بین فلزات مربوط به فلز آلومینیوم است؛ بنابراین راهکار منطقی ساخت لباس استتار حرارتی، پوشش دهی پارچه های مورد نظر با استفاده از فلز آلومینیوم است. در ادامه به معرفی مواد اولیه، وسایل و تجهیزات آزمایشگاهی، کارگاهی و یا صنعتی به کاررفته و چگونگی آزمایش های انجام شده پرداخته می شود. دستگاه ها و تجهیزات مورد استفاده در این پژوهش جهت ارزیابی پارچه پلی استر خام و پوشش داده شده در جدول (۱) آورده شده است.

ضخامت نمونه بر حسب میلی‌متر و c طول خمشی نمونه بر حسب سانتی‌متر است.

#### ۲-۴-۲- تصویربرداری با میکروسکوپ استریو

به‌منظور مشاهده تراکم و پیوستگی پارچه‌ها و ساختار آن‌ها از میکروسکوپ استریو استفاده شده است. این میکروسکوپ حاوی عدسی‌های چشمی و شیئی با مجموع بزرگ‌نمایی ۱۰X الی ۴۰X است. همچنین نور برخوردی به نمونه به سه صورت عبوری، انعکاسی و ادغام هر دو قابل‌انتخاب است. به کمک این دستگاه سطح پارچه و منافذ آن مشاهده و عکس‌برداری شده است.

#### ۲-۴-۳- آزمون نفوذپذیری هوا

برای محاسبه میزان نفوذپذیری هوا از استاندارد BS EN ISO 9237 : 1995 استفاده شده است. در این آزمون پارچه روی دستگاه قرار داده می‌شود و سپس هوا عبور داده می‌شود. با عبور هوا میزان حجم هوای عبور کرده مشخص می‌گردد که با استفاده از رابطه ۲ می‌توان میزان نفوذپذیری هوا را برای نمونه‌ها محاسبه نمود. در هر نمونه قسمت‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفته و سپس میانگین آن‌ها محاسبه و گزارش می‌شود.

$$R = \frac{q_v}{A} \quad (2)$$

در رابطه بالا، R میزان نفوذپذیری هوا بر حسب  $\text{mL/sec.cm}^2$ ،  $q_v$  میزان حجم هوای عبوری بر حسب mL در هر Sec و A سطح مقطع مورد آزمون قرار گرفته از پارچه بر حسب  $\text{cm}^2$  می‌باشد.

#### ۲-۴-۴- آزمون ثبات شستشو

به‌منظور بررسی اثر ثبات شستشویی نمونه‌ها، طبق استاندارد ISO 105-C10:2006، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در حمام حاوی ۵ g/L درجنت غیریونی و ۲ g/L کربنات سدیم و نسبت مایع به کالا ۵۰:۱ تحت عملیات شستشو قرار گرفتند. وزن خشک منسوج قبل از شستشو و پس از شستشو اندازه‌گیری و میزان کاهش وزن به عنوان معیاری جهت ثبات شستشویی گزارش شد.

#### ۲-۴-۵- آزمون ثبات سایشی

جهت بررسی ثبات سایشی نمونه‌ها از دستگاه مارتیندل و به کمک استاندارد BS 12947-2:1999 استفاده شد. بدین منظور نمونه‌ها با فشار ۹ کیلو پاسکال تحت ۳۰۰۰ دور مورد سایش قرار گرفت. کاهش وزن نمونه‌ها پس از سایش به‌عنوان ثبات سایشی مطرح می‌گردد. تعداد آزمون برای هر نمونه مطابق استاندارد انجام شد. سپس بعد از انجام آزمون برای هر نمونه، نتایج میانگین‌گیری شده و میزان کاهش وزن گزارش شد.

#### جدول (۲): تهیه خمیر لایه نشانی آلومینیوم

نوع مواد	مقادیر (درصد)
پودر آلومینیوم	۶۰٪
پیوند دهنده	۴۰٪
غلظت دهنده در صورت نیاز	کمتر از ۰/۲۵٪
جمع کل	۱۰۰٪

خمیر به‌دست‌آمده در مرحله قبل مطابق شکل (۲) به‌وسیله دستگاه فیلم کش روی پارچه مورد نظر در نهایت با انتخاب ضخامت ۰/۴ میلی‌متر به صورت آزمایشات تجربی و با سرعت پیشروی تیغه ۲۵ لایه نشانی گردید. پارچه لایه نشانی شده به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه استنتر آزمایشگاهی در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس جهت پخت نمونه و تثبیت پیوند دهنده بر روی پارچه قرار گرفت.



شکل (۲): فرآیند لایه نشانی توسط دستگاه فیلم کش (چپ)، پارچه پوشش داده شده به‌وسیله آلومینیوم (راست)

#### ۲-۴-۲- آزمون‌های ارزیابی کارایی پارچه

##### ۲-۴-۲-۱- آزمون خمش

جهت محاسبه مدول خمشی پارچه‌ها بر اساس استاندارد<sup>۱</sup> (BS)، پارچه را با عرض ۲/۵ سانتی‌متر و طول ۱۵ سانتی‌متر برش زده شد و در زیر خط کش دستگاه اندازه‌گیری طول خمشی پارچه قرار داده می‌شود. هنگامی که لبه عرضی پارچه با لبه عرضی سکوی دستگاه منطبق باشد، صفر خط کش در مقابل خط قرمز سکو قرار می‌گیرد. خط کش را به آرامی جلو برده تار در آینه دستگاه خمیدگی پارچه بر روی انعکاس خط نارنجی رنگ دستگاه در آینه مماس گردد. نصف عدد نشان داده شده بر روی خط کش در این نقطه طول خمشی نمونه می‌باشد که با داشتن ضخامت و وزن یک سانتی‌متر مربع نمونه، بر اساس رابطه ۱ می‌توان مدول خمشی نمونه را محاسبه نمود.

$$q = \frac{12wc^3 \times 10^{-4}}{g^3} \quad (1)$$

در رابطه بالا، q مدول خمشی نمونه بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، w وزن نمونه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مربع، g

<sup>1</sup> British Standards Institution

## ۲-۵- دوربین تصویربرداری حرارتی

در تحقیق حاضر جهت تصویربرداری از دوربین حرارتی غیر سرد شونده با مشخصات فنی جدول (۳) در ناحیه ۸ تا ۱۴ میکرومتر (مادون قرمز موج بلند) در فاصله ۲ متری از نمونه‌ها استفاده شده است. پس از روشن نمودن دستگاه و برقراری ارتباط داده بین دوربین و دستگاه ضبط تصویر باید به منظور دستیابی به تصویری واضح و باکیفیت به وسیله کلیدهای کنترلی دوربین نویزهای تصویر کاهش داده شود. علاوه بر آن، جهت دستیابی به تصویر باکیفیت‌تر، اقدام به فعال نمودن فیلتر داخلی سامانه تصویربردار حرارتی برای حذف نویزهای سامانه تصویربردار شد. منبع حرارتی در این تحقیق سطح پیشانی انسان است که با ۱۵ دقیقه تصویربرداری حرارتی از هدف و منبع حرارتی مشخص شد تا ۵ دقیقه اول به دلیل به تعادل نرسیدن حرارت منبع و منسوج، شاهد افزایش دما و افزایش میانگین روشنایی منسوج در تصاویر حرارتی بوده که پس از ۵ دقیقه، ثبات نسبی در روشنایی حرارتی منسوج نسبت به منبع و پس‌زمینه انجام شد.

جدول (۳): مشخصات فنی دوربین حرارتی غیر سرد شونده

مشخصات آشکارساز	نوع آشکارساز	
	جنس آشکارساز	غیر سرد شونده
مشخصات آشکارساز	رزولوشن	۳۸۴×۲۸۸
	فاصله مرکز تا مرکز دو پیکسل مجاور	۳۵ μm × ۳۵ μm
	محدوده طیفی عملکرد	۸~۱۴ μm
	اختلاف دمای نویز برابر (NETD)	کمتر از ۶۰ mk در ۳۰ °C
مشخصات دوربین	میدان دید	۸/۵° × ۶/۴° ± ۵٪
	فاصله کانونی	۹۰ mm
	اختلاف دمای نویز برابر	کمتر از ۷۲ mk
	حداقل اختلاف دمای قابل تفکیک (MRTD)	کمتر از ۴۵۰ mk
توابع	نرخ تصویربرداری (فرکانس فریم)	۲۵ فریم بر ثانیه
	تنظیم بهره و نور	دستی - خودکار
	قطبش تصویر	سیاه گرم - سفید گرم
	زوم دیجیتال	۲×
	فیلتر الکترونیکی	دارد
	کالیبراسیون داخلی	دستی - خودکار
	اصلاح پیکسل مات	دستی - خودکار
	عملکرد فوکوس	دستی و خودکار
شرایط محیطی	دمای عملکرد	-۴۰ °C ~ +۶۰ °C
	دمای نگهداری	-۴۵ °C ~ +۶۵ °C
مشخصات فیزیکی	وزن	۰/۹ Kg
	ابعاد فیزیکی	۱۶۲×۹۶×۹۱ mm

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- نتایج بررسی پارامترهای ساختاری

جهت بررسی خواص نمونه‌های تهیه شده برای استفاده به عنوان منسوجات پوششی، بررسی پارامترهای ساختاری پارچه‌های عمل شده نسبت به پارچه شاهد ضروری می‌باشد. برای این منظور جدول (۴) پارامترهای ساختاری نمونه‌های بدست آمده (بر اساس استاندارد BS) را با نمونه شاهد مقایسه می‌کند.

جدول (۴): پارامترهای ساختاری پارچه‌ها

نمونه	وزن متر مربع (نمونه (g))	ضخامت نمونه (mm)	طول خمشی (cm)	مدول خمشی ( $\frac{kg}{cm^2}$ )
نمونه شاهد	۲۳۵/۴	۰/۳۸	۴	۰/۰۳۲۹۴
پارچه با پوشش آلومینیوم	۳۴۶/۰۵	۰/۵۹	۵	۰/۰۰۰۷۷

همانگونه که در جدول (۴) مشاهده می‌شود روش لایه‌نشانی تیغه‌ای خمیر حاوی ذرات آلومینیوم نیز اگرچه باعث تغییراتی در خواص فیزیکی پارچه شده است ولی با این حال این روش نیز به دلیل ضخامت کم خمیر لایه نشانی شده، در خواص فیزیکی پارچه تغییر چندانی ایجاد نمی‌کند. با مقایسه مدول خمشی این نمونه نسبت به نمونه شاهد می‌توان گفت برای خمش این نمونه پارچه نسبت به نمونه شاهد تنها اندکی نیروی بیشتر لازم است.

### ۳-۲- نتایج بررسی تصویری سطوح

همان‌طور که قبل اشاره شد، پوشش‌دهی به روش لایه نشانی تیغه‌ای با خمیر حاوی ذرات آلومینیوم بر روی پارچه شاهد انجام پذیرفت. شکل (۳) تصاویر گرفته شده به کمک میکروسکوپ استریو در حالت انعکاسی از پارچه‌های پوشش‌دهی شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌شود امکان مقایسه پوشش‌دهی این روش با نمونه شاهد با توجه به تصاویر سطح پارچه‌ها فراهم آمده است.

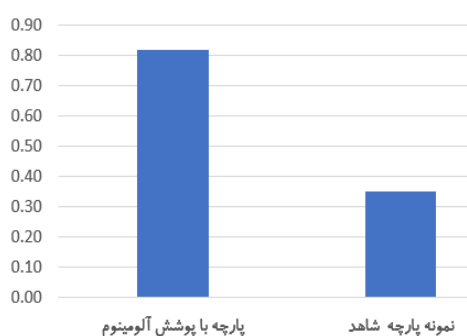


شکل (۳): تصویر میکروسکوپ استریو: نمونه شاهد (سمت راست) و پارچه با پوشش آلومینیوم (سمت چپ)

پوشاک مناسب می‌باشد. استاندارد BS EN ISO 9237:1995 جهت استفاده به عنوان این حال میزان نفوذ پذیری هوا نسبت به نمونه قبل است. با کاهش نفوذ پذیری تیغه‌ای باعث بسته شدن منافذ پارچه شده است که نتیجه آن کاهش نفوذ پذیری هوا برای همه نمونه‌ها با توجه به تستشویی است. در این پژوهش، به منظور گزارش ثبات تستشویی درصد کاهش وزن نمونه نسبت به قبل و بعد از تستشوو در شکل (۵) گزارش شده است.

#### ۴-۳- نتایج بررسی میزان ثبات شستشویی

میزان هوای عبوری از پارچه مشخص کننده مقاومت پارچه در مقابل نفوذ هوا است. نفوذ پذیری هوا عاملی مهم و تأثیرگذار در منسوجات است که در واقع مؤلفه‌ای جهت بیان راحتی پوشاک است. از آنجاکه پارچه‌های مورد استفاده نسبت به پارچه شاهد دچار تغییر در ساختار نخ و عملیات تکمیلی و پوشش‌دهی شده‌اند، می‌توانند مؤلفه نفوذ پذیری هوا را تحت تأثیر قرار دهند. به همین دلیل آزمون نفوذ پذیری هوا صورت گرفته است. شکل (۴) میزان نفوذ پذیری هوا برای نمونه پوشش داده شده و شاهد را نشان می‌دهد.



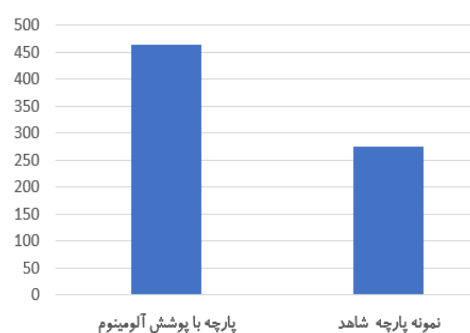
شکل (۵): میزان درصد کاهش وزن پارچه‌ها پس از شستشو

همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است با مقایسه درصد کاهش وزن نمونه‌ها در اثر شستشو، میزان درصد کاهش وزن نمونه شاهد ۳۵٪ و نمونه لایه‌نشانی تیغه‌ای میزان ۸۲٪ کاهش وزن در اثر شستشو از خود نشان داده است. حضور پیونددهنده و غلظت‌دهنده در ساختار خمیر لایه‌نشانی و اتصالات شبکه‌ای و مستحکم پیوند دهنده و ذرات با الیاف باعث شد تا تمامی ذرات از سطح جدا نشود. شکل (۶) تصویر نمونه لایه‌نشانی تیغه‌ای قبل و بعد از شستشو را نشان می‌دهد.

با توجه به عکس برداری با میکروسکوپ استریو در حالت انعکاسی مشخص شد که نور برخوردی به سطح انعکاس یافته و نشان دهنده حضور فلزات روی سطح می‌باشد. در شکل (۳) نمونه عمل شده به روش لایه‌نشانی تیغه‌ای سطح پارچه با خمیر حاوی ذرات آلومینیوم به خوبی پوشش داده شده و ذرات آلومینیوم روی سطح قابل مشاهده می‌باشند.

#### ۳-۳- نتایج بررسی میزان نفوذ پذیری هوا

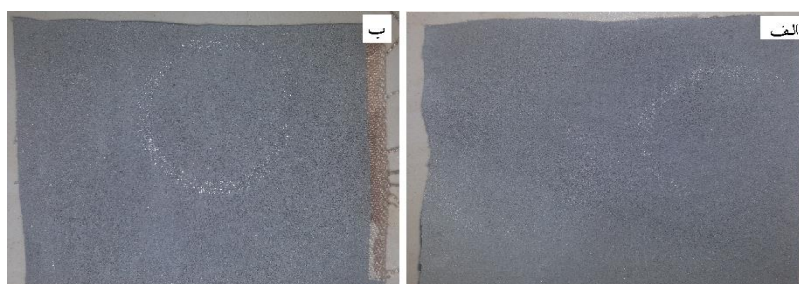
میزان هوای عبوری از پارچه مشخص کننده مقاومت پارچه در مقابل نفوذ هوا است. نفوذ پذیری هوا عاملی مهم و تأثیرگذار در منسوجات است که در واقع مؤلفه‌ای جهت بیان راحتی پوشاک است. از آنجاکه پارچه‌های مورد استفاده نسبت به پارچه شاهد دچار تغییر در ساختار نخ و عملیات تکمیلی و پوشش‌دهی شده‌اند، می‌توانند مؤلفه نفوذ پذیری هوا را تحت تأثیر قرار دهند. به همین دلیل آزمون نفوذ پذیری هوا صورت گرفته است. شکل (۴) میزان نفوذ پذیری هوا برای نمونه پوشش داده شده و شاهد را نشان می‌دهد.



شکل (۴): میزان نفوذ پذیری هوای پارچه‌ها بر حسب  $\frac{ml}{cm^2s}$

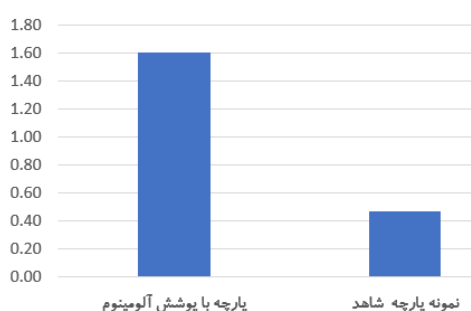
منافذ جهت عبور هوا در پارچه‌ها به دو دسته منافذ بین الیاف و منافذ بین نخ‌ها تبدیل می‌شوند. در شکل (۴) مشاهده می‌شود، پارچه شاهد  $275 \frac{ml}{cm^2s}$  و پارچه پوشش داده شده به روش لایه‌نشانی تیغه‌ای با خمیر حاوی ذرات فلزی نیز نفوذ پذیری،





شکل (۶): تصویر پارچه با پوشش آلومینیوم به روش تیغهای الف) قبل از شستشو ب) بعد از شستشو

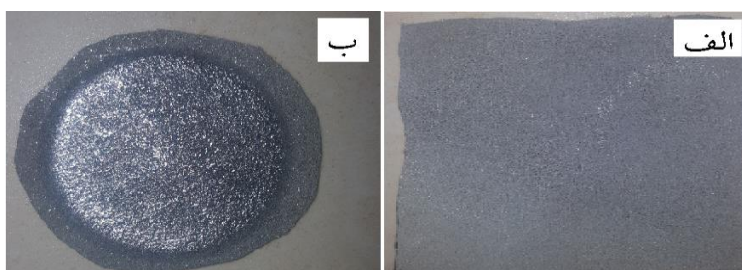
می‌باید. در شکل ۸(۸) تصویر نمونه لایه‌نشانی تیغهای قبل و بعد از آزمون ثبات سایشی نشان داده شده است.



شکل (۷): میزان درصد کاهش وزن نمونه‌ها پس از سایش

### ۳-۵- نتایج بررسی میزان سایشی

ثبات سایشی از مؤلفه‌های مهم کارایی منسوجات است. شکل (۷) میزان درصد کاهش وزن نمونه‌ها پس از آزمون سایش را نشان می‌دهد. در این شکل مقایسه نمونه‌های تولید شده با پارچه شاهد مشاهده می‌شود که میزان ثبات سایشی نمونه پوشش‌دهی شده به روش لایه‌نشانی تیغهای با خمیر حاوی ذرات فلزی با ۱/۶۱٪ کاهش وزن در اثر سایش است که به نظر می‌رسد با توجه به نوع عملیات انجام شده روی نمونه و حضور مقدار پیوند دهنده روی سطح علت این درصد کاهش وزن باشد. همچنین در اثر سایش و تراکم ذرات آلومینیوم میزان درخشندگی نمونه افزایش



شکل (۸): تصویر پارچه با پوشش آلومینیوم به روش تیغهای الف) قبل از سایش ب) بعد از سایش

بهبود تصویر دوربین و پس از تصویربرداری از فیلتر Sharpen که باعث برجسته‌شدن جزئیات تصویر می‌شود، استفاده شد تا از طریق یک تصویر باکیفیت، پردازش و استخراج داده‌ها به شکل مناسبی صورت پذیرد. به این منظور، از نمودار فراوانی شدت (هیستوگرام) که وابسته به میزان تباین پیکسل‌های تصویر است استفاده شد. استفاده از نمودار فراوانی شدت دارای مزایای متعددی نسبت به انتخاب چند نقطه از هدف برای نمونه‌برداری و سنجش کارایی استتار است.

جهت بررسی میزان استتار در برابر دوربین حرارتی با طول موج امواج مادون قرمز نمونه‌های به‌دست‌آمده روی پیشانی انسان در حالت ایستاده و دارای ثبات حرارتی بدن قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده برای نمونه لایه‌نشانی شده با خمیر حاوی ذرات آلومینیوم به روش تیغ‌کشی در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود میزان استتار

### ۳-۶- نتایج بررسی کارایی استتار حرارتی

در این پژوهش بر اساس میزان تباین (اختلاف نشر حرارتی هدف با پس‌زمینه)، کارایی استتار حرارتی پارچه تولید شده بررسی شده است. شبیه‌سازی شرایط جوی در محیط کنترل شده آزمایشگاه و محفظه آزمون صورت می‌گیرد. با قراردادن پوشش‌های استتاری در تماس با سطحی با دمای مشابه دمای بدن انسان، ایجاد فرصت برای هم‌دمایی پوشش با سطح گرم و ثبت دمای ظاهری سطوح به کمک دوربین تصویربرداری حرارتی، داده‌های موردنظر برای سنجش کارایی استتار حرارتی به دست می‌آید. با سنجش و مقایسه دمای پس‌زمینه، دمای سطح نمونه (دمای سطح بدن انسان) و دمای پوشش استتاری از طریق دوربین حرارتی، می‌توان کارایی استتار حرارتی را سنجش و تحلیل نمود. برای به‌دست‌آوردن تصویر مناسب، در زمان تصویربرداری از فیلتر

ایجاد شود. برای این منظور از پارچه اسپیسر از جنس اکریلیک با ضخامت بیت ۱/۵ الی ۲ میلی‌متر استفاده شد. پارچه مذکور به پشت پارچه لایه نشانی شده با روش تیغه‌کشی دوخته شد. نمونه به‌دست‌آمده در مقابل دوربین حرارتی با طول‌موج امواج مادون قرمز قرار داده و خواص استتار حرارتی آن بررسی گردید. جدول (۶) خواص استتار در برابر دوربین مادون قرمز حرارتی را برای نمونه حوله‌ای نشان می‌دهد.

حرارتی نمونه لایه نشانی شده با خمیر حاوی ذرات آلومینیوم به روش تیغه‌کشی مناسب است (۴۲ درصد) که این امر می‌تواند به دلیل پوشش‌دهی مناسب بر روی سطح پارچه است، با این حال این نمونه نیز با گذشت زمان قرارگیری نمونه بر روی سطح پوست با کاهش خاصیت استتار نمونه مواجه می‌شود. جهت رفع این مشکل باید بین سطح پارچه دارای خاصیت استتار حرارتی و پوست که تشعشعات حرارتی بدن از آن ساطع می‌گردد فاصله

جدول (۵): آزمون استتار حرارتی پارچه با پوشش آلومینیوم به روش تیغه‌کشی با منبع حرارتی پیشانی

میزان تابان روشنائی منسوج با پس‌زمینه ساده (درصد)	میزان کاهش روشنائی منبع (درصد)	اختلاف روشنائی با منبع BT	اختلاف روشنائی با پس‌زمینه BT	میانگین روشنائی در حالت روشنائی ۲۰۰ منبع BT	میانگین روشنائی BT	نمودار هیستوگرام	تصویر حرارتی	تصویر بصری	نمونه منسوج
-	-	-	۲۱۴	-	۲۴۳			منبع	
-	-	-	-	-	۲۷			پس زمینه	
۴۲٪	۴۶٪	۱۰۹	۱۰۷	۱۱۰	۱۳۴			منسوج	

جدول (۶): آزمون استتار حرارتی نمونه حوله‌ای با منبع حرارتی پیشانی

میزان تابان روشنائی منسوج با پس‌زمینه ساده (درصد)	میزان کاهش روشنائی منبع (درصد)	اختلاف روشنائی با منبع BT	اختلاف روشنائی با پس‌زمینه BT	میانگین روشنائی در حالت روشنائی ۲۰۰ منبع BT	میانگین روشنائی BT	نمودار هیستوگرام	تصویر حرارتی	تصویر بصری	نمونه حوله‌ای
-	-	-	۲۰۴	-	۲۲۹			منبع	
-	-	-	-	-	۲۵			پس زمینه	
۲۴٪	۶۲٪	۱۴۲	۶۲	۷۶	۸۷			منسوج	

حرارتی بدن جلوگیری می‌کند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، پوشش‌دهی آلومینیوم بر روی پارچه با روش لایه‌نشانی تیغه‌ای جهت تولید پارچه استتار حرارتی انجام شده است. بر اساس نتایج تجربی، از آنجایی که پارچه‌های تکمیلی و

مطابق با جدول (۶)، پارچه با پوشش آلومینیوم که پشت آن به پارچه اسپیسر دوخته شده است میزان استتار حرارتی بهتری (حدود ۵۷ درصد) نسبت به نمونه قبلی دارد که این امر می‌تواند به دلیل فاصله ایجاد شده بین پارچه تکمیلی با پوست بدن انسان باشد. در این نمونه خاصیت استتار حرارتی با گذشت زمان از بین رفته و نمونه مذکور با گذشت زمان نیز از ساطع شدن تشعشعات

[۱۱] معتمدی، فرشته، تولید و بررسی خواص مورفولوژیک و رسانایی الکتریکی نانو ذرات نقره برای کاربرد در منسوجات هوشمند، پایان نامه منتشر نشده کارشناسی ارشد، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی نساجی، ۱۳۹۵.

[۱۲] خزائی، صفا، نیکزاد، فرهاد، ارزیابی کارایی پوشش های استتار حرارتی. فصلنامه پدافند غیرعامل، دوره ۶، شماره ۴، ص ۶۳-۷۵، ۱۳۹۴.

[۱۳] آپیریان دوگاهه، ابودر، خزائی، صفا، ارزیابی، تحلیل و ارائه الگوی پیشنهادی استتار مرئی لباس پرسنل عملیاتی سپاه در منطقه شمال غرب ایران. فصلنامه پدافند غیرعامل، دوره ۸، شماره ۳، ص ۱-۱۱، ۱۳۹۶.

Dor: 20.1001.1.20086849.1396.8.3.1.3

[۱۴] خزائی، صفا، میرعظیمی، جعفر، بررسی و مطالعه مواد و روشهای استتاری مرئی و حرارتی تطبیقی، پروژه تحقیقاتی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، دانشکده و پژوهشکده پدافند غیرعامل، ۱۳۹۴.

[۱۵] موسوی، سیدیاسر، بررسی روش های مقابله با حسگرهای حرارتی و تعیین قدرت استتاری آن ها در برابر دوربین حرارتی و ارائه یک نمونه عملی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، دانشکده و پژوهشکده پدافند غیرعامل، ۱۳۹۱.

پوشش دهی شده نسبت به پارچه شاهد دچار تغییر در ساختار نخ و پارچه شده اند، می توانند مؤلفه نفوذپذیری هوا را تا حدود زیادی تحت تأثیر قرار دهند. با این حال میزان نفوذپذیری هوا برای همه نمونه ها با توجه به استاندارد BS جهت استفاده به عنوان پوشاک مناسب است. همچنین با مقایسه درصد کاهش وزن نمونه ها در اثر شستشو و سایش، میزان درصد کاهش وزن نمونه لایه نشانی تیغه ای میزان قابل توجهی را نشان نداد که به دلیل حضور مقدار پیونددهنده روی سطح پارچه است. همچنین در اثر سایش، میزان درخشندگی نمونه افزایش می یابد.

نتایج تجربی به دست آمده در خصوص آزمون ارزیابی کارایی استتار حرارتی نشان داد، تباین حرارتی نمونه تولید شده نسبت به پس زمینه به میزان ۴۲ درصد می باشد. همچنین با دوختن یک پارچه اسپیسر در پشت نمونه تولید شده، تباین حرارتی به میزان ۵۷ درصد بهبود یافته است.

مطابق با آزمایش های صورت گرفته در این پژوهش مشخص گردید که روش لایه نشانی تیغه ای حاوی ذرات فلزی آلومینیوم روی سطح پارچه به دلیل پوشش دهی کامل تر سطح پارچه و ثبات سایشی و شستشویی، به دلیل وجود پیونددهنده نگهدارنده ذرات فلزی روی سطح پارچه، می تواند روشی مناسب جهت ایجاد خاصیت استتار حرارتی بر روی منسوجات پوششی باشد.

## ۵- مراجع

- [1] Y. Seki and A. A. Tagac, "Surface resistivity, surface wettability and thermal stability of the 1-ethyl-2, 3-dimethylimidazolium ethyl sulfate and methyl-tri-n-butylammonium methyl sulfate modified polyethylene," *Polymer-Plastics Technology and Materials*, vol. 59 (7), pp. 722-732, 2020.
- [2] M. S. Hall, "Thermal Signature Management," MSc thesis, Faculty of North Carolina State University, 2017.
- [3] V. Rubežienė, I. Padleckienė, S. V. Žuravliova, and J. Baltušnikaitė, "Reduction of thermal signature using fabrics with conductive additives," *Materials Science*, vol. 19 (4), pp. 409-414, 2013.
- [4] R. Schwarz, *Camouflage suit*, US 7832018 B2, 2010.
- [5] G. Wu and D. Yu, "Preparation and characterization of a new low infrared-emissivity coating based on modified aluminum," *Progress in Organic Coatings*, vol. 76(1), pp. 107-112, 2013.
- [6] W. Wang, S. Fang, L. Zhang, and Z. Mao, "Infrared stealth property study of mesoporous carbon-aluminum doped zinc oxide coated cotton fabrics," *Textile Research Journal*, vol. 85(10), pp. 1065-1075, 2015.
- [7] J. G. Bennett and E. S. Polsen, "Analysis of the Thermal Shielding Properties of Camouflage Materials," Tacom research development and engineering center warren MI2007, 2007.
- [8] J. A. Hopping, "Development of rapidly deployable structures for military applications: a system based approach to command post facilities," Massachusetts Institute of Technology, 2006.
- [9] F. M. Gretzmacher and G. S. Ruppert, "Cost-effective and promising approach for camouflage assessment of Mustafa targets in motion imagery," in *Targets and Backgrounds IX: Characterization and Representation*, vol. 5075, pp. 169-179, 2003.
- [10] E. Tavakkol, S. Borhani, A. Z. Nezhad, M. Shanbeh, and M. A. Alsharif, "Passive radiative personal heating by woven fabrics containing aluminum particles," *Materials Today Energy*, vol. 31, 101226, 2023.