Military Caring Sciences

Technical Note/Developmental Study

OPEN ACCESS

Design and Development of Biodefense Helmet Covers: An Innovative Approach to Strengthening Biological Resilience in the Armed Forces

Fattahipour. R[1]
*Sharififar. S[2,3]
Padidar. K[4]
Abbasiyan. K[5]

1- Health in Disasters and Emergencies Department, Nursing School, Aja University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Trauma Research Center, Aja University of Medical Sciences, Tehran, Iran

*3- Associate Professor, Health in Disasters and Emergencies Department, Nursing School, Aja University of Medical Sciences, Tehran, Iran (*Corresponding Author), Email: s_sharififar@yahoo.com*

4- Deputy for Health, Relief and Treatment, Tehran Greater Police Command, Tehran, Iran.

5- Department of Management, Faculty of Medicine, Aja University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ABSTRACT

Introduction: A key measure for mitigating the effects of biological threats is the development of appropriate protective equipment in advance of a crisis.

Objective: This study aimed to design and develop two prototypes of protective helmet covers: one for protection against mosquitoes and the other against dust. Designed for use with military helmets and uniforms, these products were developed to address bioterrorism threats and strengthen the armed forces' biodefense capabilities

Materials and Methods: This applied developmental study was conducted in 2024 through a review of scientific and technological literature using specialized keywords in reputable databases, followed by conceptual design and prototype fabrication. Two biodefense helmet-cover prototypes were designed and developed. They were assessed for functional performance, including ventilation and particle penetration, and evaluated at Technology Readiness Level 8 (TRL 8).

Results: Two protective helmet-cover prototypes—one mosquito-resistant and one dust-resistant—were designed and developed, and are ready for production. The mosquito-resistant cover prevents insect ingress without the use of chemicals, weighs 14 g, and can be easily attached and removed. The dust-resistant cover reduces the ingress of biological aerosols and particles smaller than 10 µm by 95%. It is made of multilayer spunbond and meltblown materials, incorporates a PVC shield, weighs 20 g, and offers adequate breathability. Both products are cost-effective to manufacture, can be rapidly produced at scale, and are fully compatible with the helmets and uniforms used by the armed forces.

Conclusion: Through the indigenous design of two protective helmet covers, this study addresses the shortage of personal protective equipment for emerging biological threats, with potential for use by large numbers of personnel. The products could be incorporated into the range of response options for biological threats. Both are ready for further quantitative and field studies to evaluate their effectiveness in the target population.

Keywords: Biodefense, Disasters, Helmet Covers, Military Uniform Design, Resilience

Cite this article:Fattahipour R, Sharififar S, Padidar K , Abbasiyan K. Design and Development of Biodefense Helmet Covers: An Innovative Approach to Strengthening Biological Resilience in the Armed Forces. Military Caring Sciences. 2026; 13(2):161-172.

Received: 2025/04/26 Received in revised form: 2025/12/10 Accepted: 2025/12/13 Published: 2026/06/30

©The Author(s)

Publisher: Aja University of Medical Sciences

علوم مراقبتی نظامی

یادداشت فنی / مطالعه توسعه‌ای

طراحی و ساخت کلاه پوش‌های پدافند زیستی؛ راهکاری نوآورانه در افزایش تاب‌آوری زیستی نیروهای مسلح

رسول فتاحی پور[1]
***سیمین تاج شریفی فر**[2,3]
کورش پدیدار[4]
کورش عباسیان[5]

۱- گروه سلامت در بلایا و فوریت ها، دانشکده پرستاری، دانشگاه علوم پزشکی آجا، تهران، ایران

۲- مرکز تحقیقات تروما، دانشگاه علوم پزشکی آجا، تهران، ایران

۳- دانشیار، گروه سلامت در بلایا و فوریت ها، دانشکده پرستاری دانشگاه علوم پزشکی آجا، تهران، ایران (* نویسنده مسئول)، آدرس الکترونیک:

s_sharififar@yahoo.com

۴- معاون بهداشت، امداد و درمان فرماندهی انتظامی تهران بزرگ، تهران، ایران

۵- گروه مدیریت دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی آجا، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: یکی از اصول اولیه برای کاهش آسیب‌های ناشی از تهدیدات زیستی، طراحی و ساخت تجهیزات دفاعی مناسب است که باید قبل از وقوع بحران آماده شوند.

هدف: این مطالعه با هدف طراحی و ساخت دو نمونه کلاه‌پوش دفاعی ضدپشه و ضدغبار انجام شد. محصولات طراحی شده برای استفاده همراه با کلاه و لباس نظامی و با تمرکز بر مقابله با تهدیدات بیوتروریسم و ارتقای توان پدافندی نیروهای مسلح توسعه یافتند.

مواد و روش‌ها: این پژوهش از نوع توسعه‌ای–کاربردی بر پایه مطالعه منابع علمی و فناورانه و فرایند طراحی مفهومی و ساخت نمونه‌محور با کلیدواژه‌های تخصصی در پایگاه‌های معتبر در سال ۱۴۰۳ انجام شد. دو نمونه کلاه‌پوش پدافند زیستی طراحی و ساخته شدند که از نظر شاخص‌های عملکردی مانند تهویه و نفوذ ذرات ارزیابی شده و به سطح آمادگی فناوری (TRL=8) مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: دو نمونه کلاه‌پوش دفاعی ضد پشه و ضد غبار طراحی، نمونه‌سازی و آماده تولید شامل محصول اول کلاه‌پوش ضد پشه با جلوگیری از نفوذ ۱۰۰ درصدی حشرات بدون مواد شیمیایی، وزن ۱۴ گرم و قابلیت نصب و جداسازی آسان؛ محصول دوم کلاه پوش ضد غبار با کاهش ۹۵ درصد ورود آئروسل‌های زیستی، ذرات <۱۰ میکرومتر، چندلایه اسپان‌باند، ملت‌بلون با شیلد PVC، وزن ۲۰ گرم با نفس پذیری مناسب است. هر دو محصول با هزینه تولید به صرفه، تولید سریع در مقیاس وسیع و سازگاری کامل با کلاه و لباس فرم نیروهای مسلح در کمترین زمان را دارند.

نتیجه‌گیری: این مطالعه، با تمرکز بر طراحی بومی دو کلاه‌پوش پدافندی، خلأ تجهیزات حفاظت فردی در برابر تهدیدات زیستی نوظهور را در مقیاس وسیع برای تعداد بالای نیروها پر می‌کند و در سبد گزینه‌های پاسخ به تهدیدات زیستی قرار می‌گیرند. دو محصول آماده ورود به فازهای تحقیقات کمی و میدانی بیشتری در زمینه اثربخشی در گروه هدف هستند.

کلمات کلیدی: بلایا، پدافند زیستی، تاب‌آوری، طراحی لباس نظامی، کلاه‌پوش

استناد: رسول فتاحی پور، سیمین تاج شریفی فر، کورش پدیدار، کورش عباسیان. طراحی و ساخت کلاه پوش‌های پدافند زیستی؛ راهکاری نوآورانه در افزایش تاب‌آوری زیستی نیروهای مسلح. علوم مراقبتی نظامی. ۱۴۰۵؛ ۱۳(۲): ۱۷۲- ۱۶۱.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

ناشر: دانشگاه علوم پزشکی آجا

©نویسندگان

CC BY NC

مقدمه

یکی از اصول اولیه جهت کاهش آسیب‌پذیری هنگام بروز تغییرات اقلیمی و تهدیدات زیستی، برنامه‌ریزی برای اقدامات پدافندی با استفاده از تجهیزات مناسب است که باید قبل از وقوع بحران تدابیر آن اندیشیده شود (۱). دفاع در برابر تهدیدات زیستی ناشی از جنگ‌های مدرن، نیاز به طراحی تجهیزات مناسب با زمان خود است و بدون این اقدامات نمی‌توان چارچوب مطمئنی برای تحکیم مبانی دفاعی تصور نمود. با توجه به اینکه تروریست‌ها دارای حرکت‌های غافلگیرانه هستند بهره گیری از خلاقیت و نوآوری و بازطراحی بومی و کاربردی در تولید تجهیزات ضد تروریستی اجتناب ناپذیر است (۲–۷). طراحی کاربردی تجهیزات مراقبتی و پدافندی یک نماد قابل مشاهده از آمادگی و مسئولیت‌پذیری دولت‌ها نسبت به مردم برای کاهش خطر و مقابله با تهدیدات می‌باشد (۸، ۹).

یکی از تهدیدات زیستی ناقلان عوامل بیماری‌زا هستند که نقش اصلی در انتقال بیماری‌های تهدیدکننده زندگی انسان‌ها دارند. در این میان، پشه‌ها و پشه خاکی‌ها به عنوان ناقلان اصلی بیماری‌های خطرناکی همچون زیکا، مالاریا، تب زرد، دنگی و سالک شناخته می‌شوند (۱۶–۱۰).

کنترل بیماری‌های منتقله از پشه‌ها از طریق تغییر رفتار، افزایش آگاهی عمومی و مدیریت بهینه محیط‌زیست تحقق می‌یابد (۱۷، ۱۸). تب دنگی (Dengue Fever) منتقله از طریق پشه آئدس (Aedes Mosquito) بیماری است که در حال حاضر به یکی از بزرگ‌ترین مشکلات بهداشت جهانی تبدیل شده است. این بیماری حدود ۴ میلیارد نفر را در معرض خطر ابتلا به عفونت قرار داده است (۱۹، ۲۰). از سویی دیگر تغییرات شدید آب‌وهوایی در سال‌های اخیر باعث افزایش ناگهانی جمعیت ناقلین بیماری شده است که منجر به اپیدمی‌های دوره‌ای بیماری‌های منتقله از پشه می‌شود (۱۷، ۱۹).

از سوی دیگر، ایران بر روی کمربند بیابانی و نیمه بیابانی کره زمین قرار دارد و حدود ۶۳ درصد از مساحت آن را مناطق خشک تشکیل می‌دهد که بستر بسیار مناسب برای تولید گرد و غبار می‌باشد (۲۱). تشدید اثرات بهداشتی کوتاه‌مدت، ممکن است اثرات بهداشتی طولانی مدت از پیامدها، شامل مشکلات سلامتی برای مادران باردار، جنین و نوزادان، عملکرد شناختی کودکان و افزایش برخی از بیماری‌های عفونی ایجاد نماید. تأثیر تغییرات اقلیم در ایجاد گرد و غبار، موجب انتشار ذرات حدود ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ تن در سال شده است (۲۲). گذشته از بیماری‌های ریوی و قلبی اثرات سرطان‌زای گرد و غبار ریز، در حال حاضر به خوبی ثابت شده است (۲۵–۲۲).

همچنین ذرات خاک و میکروارگانیسم‌های همراه آن از جمله قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها می‌توانند از طریق طوفان‌های گرد و غبار منتشر شده و با ورود ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرون به دستگاه تنفسی، موجب بروز بیماری‌های جدی در انسان شوند (۲۶–۲۹). در این وضعیت تروریست‌ها می‌توانند ذرات عوامل زیستی را از طریق رها سازی در طوفان‌های گرد و غبار انتقال دهند و در این شرایط نیاز به افزایش برنامه‌های تاب‌آوری زیستی است. تهدید بیوتروریسم یک نگرانی رو به رشد در سراسر جهان است. در نتیجه، نیاز به حفاظت فیزیکی مناسب در صورت بروز خطر زیستی وجود دارد (۳۲–۳۰).

با توجه به تغییرات آب و هوایی و تهدیدات زیستی، صنایع دفاعی و نظامی نیازمند توسعه روش‌های نوین برای افزایش تاب‌آوری زیستی کارکنان در مناطق تحت تأثیر هستند (۳۴). از آنجا که پیش‌بینی دقیق بلایای طبیعی و انسان‌ساخت ممکن نیست، تمرکز اصلی باید بر پیشگیری و توسعه تجهیزات حفاظت فردی مناسب باشد.

با وجود توسعه تجهیزات مختلف حفاظت فردی، طراحی و توسعه کلاه‌پوش‌های پدافندی بومی با قابلیت تولید انبوه و پاسخ سریع به تهدیدات زیستی و اقلیمی همچنان یک نیاز فناورانه محسوب می‌شود. علاوه بر این، تأکید بر پیامدهای بهداشتی تهدیدات زیستی و محیطی بوده و راه‌حل‌های محصول محور و مبتنی بر طراحی صنعتی دفاعی کمتر موردتوجه قرار گرفته‌اند. بر این اساس، شکاف مطالعاتی اصلی در نبود یک راهکار طراحی شده، کاربردی و استاندارد پذیری برای حفاظت از نیروهای عملیاتی در برابر پشه‌های ناقل و ذرات گرد و غبار قابل‌انتقال نهفته است؛ شکافی که ضرورت انجام پژوهش حاضر را برجسته می‌کند. هدف این مطالعه، طراحی و ساخت دو نمونه کلاه‌پوش پدافندی جدید و بومی برای افزایش تاب‌آوری زیستی و واکنش سریع نیروهای مسلح در برابر تهدیدات زیستی بود. این نمونه‌ها توسط تیم تحقیقاتی با تعیین داده‌های آماری مناسب و با در نظر گرفتن قابلیت تولید سریع، هزینه بهینه و سازگاری با کلاه و لباس کارکنان نیروهای مسلح طراحی و ساخته شدند.

مواد و روش‌ها

این مطالعه یک پژوهش توسعه‌ای-کاربردی است که با هدف طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد دو نمونه کلاه‌پوش پدافند زیستی نوآورانه و متناسب با الزامات عملیاتی نیروهای مسلح انجام شد. فرایند پژوهش شامل سه مرحله اصلی بررسی و تحلیل شواهد و منابع علمی و فناورانه، طراحی و توسعه نمونه‌های اولیه و ارزیابی عملکرد فنی محصولات توسعه یافته بود.

۱. بررسی و تحلیل شواهد و منابع علمی و فناورانه: در مرحله نخست، منابع داخلی و خارجی مرتبط با تجهیزات حفاظت فردی، پدافند زیستی، تاب‌آوری عملیاتی و منسوجات نظامی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ بررسی و تحلیل شدند. جست‌وجوی منابع با استفاده از کلیدواژه‌های «پدافند زیستی»، «کلاه‌پوش»، «طراحی لباس نظامی» و «تاب‌آوری زیستی» در پایگاه‌های Magiran، SID، Scopus، PubMed و Web of Science و همچنین موتورهای جست‌وجوی Google Scholar و Google Patents انجام گرفت. یافته‌های حاصل از این بررسی برای شناسایی نیازمندی‌ها، محدودیت‌های موجود و ویژگی‌های مورد انتظار محصول به کار گرفته شد و بر اساس آن، الزامات طراحی در چهار محور اصلی شامل ارگونومی، مقاومت در برابر تهدیدات زیستی و محیطی، تهویه و قابلیت تولید انبوه تعیین و در تدوین ایده اولیه محصول توسط محقق مورد استفاده قرار گرفت.

۲. طراحی مفهومی و توسعه‌ی نمونه‌های اولیه: با استفاده از یافته‌های مرحله نخست، دو نمونه مفهومی از کلاه پوش پدافند زیستی؛ نمونه اول برای مقابله با عوامل منتقله از حشرات و نمونه دوم برای حفاظت در برابر گرد و غبار و ذرات معلق طراحی گردید. مواد اولیه بر اساس الزامات استانداردهای بین‌المللی انتخاب شد (۳۵-۴۱). در طراحی مدل‌ها به شاخص‌های وزن کم، تهویه مطلوب، سازگاری با کلاه و لباس فرم نیروهای نظامی و امکان تولید انبوه توجه گردید.

۳. ساخت، آزمون و ارزیابی عملکرد: نمونه‌های اولیه مطابق با ایده محقق، طراحی و ساخته شدند و در شرایط کنترل شده از نظر شاخص‌های فنی مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای کلاه پوش ضد پشه، شاخص‌های حذف تماس مستقیم با ناقل پشه و حفظ جریان هوای عبوری و در نمونه ضد گرد و غبار، میزان نفوذ ذرات زیر ۲/۵ میکرون، مقاومت مکانیکی و دوام بافت مطابق با استانداردهای مربوط به الیاف مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمونه‌های ساخته‌شده بر اساس شاخص‌های میزان پوشش حفاظتی، راحتی استفاده، سهولت نصب و جداسازی و قابلیت تولید انبوه توسط تیم تحقیق مورد بررسی اولیه کیفی و مطابقت با استاندارد الیاف قرار گرفتند.

در نهایت، سطح آمادگی فناوری محصولات بر اساس مدل Technology Readiness Level (TRL) هر دو نمونه به سطح آمادگی فناوری TRL 8 دست یافتند. به‌عبارت‌دیگر، TRL در سطح ۸ بیانگر گذر موفقیت‌آمیز از مراحل توسعه آزمایشگاهی و نمونه‌سازی بوده و نشان می‌دهد که فناوری قابلیت انتقال به خط تولید صنعتی و بهره‌برداری توسط نیروهای مسلح را دارد.

مرحله حاضر این پژوهش که شامل طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد آزمایشگاهی نمونه‌های اولیه کلاه‌پوش با ارائه مشخصات فنی و تعیین داده‌های آماری مرتبط با مواد استفاده شده، در چارچوب الزامات اخلاقی پژوهش و با رویکرد انطباق محور، بر مبنای داده‌های کتابخانه‌ای، طراحی نمونه و ارزیابی فنی تجهیزات انجام شده بود و فاقد هرگونه مداخله مستقیم بر روی انسان یا حیوان بوده و در نتیجه، نیازمند اخذ مجوز از کمیته اخلاق در پژوهش برای این بخش نبود.

یافته‌ها

یافته‌های پژوهش منجر به طراحی و ساخت دو محصول جدید با ارائه داده‌های آماری مشخصات مواد مورد استفاده، توسط تیم تحقیقاتی شد که با هدف ارتقای تاب‌آوری زیستی نیروهای مسلح در برابر تهدیدات زیستی توسعه یافتند. یکی از محصولات برای کاهش مواجهه با بیماری‌های منتقله از طریق پشه و دیگری برای محافظت در برابر عوامل زیستی موجود در گرد و غبار طراحی شد. هر دو محصول متناسب با کلاه و لباس فرم کارکنان توسعه یافتند و با توجه به الزامات شناسایی‌شده در فرایند پژوهش، از نظر سادگی ساخت، هزینه بهینه و سازگاری با تجهیزات موجود، قابلیت بهره‌برداری عملیاتی داشتند.

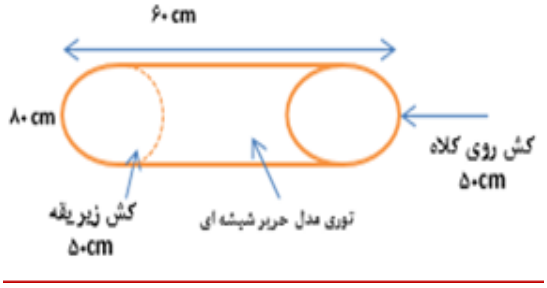
۱- کلاه پوش پدافند زیستی ضد پشه: نیروهای نظامی به دلایل متعددی مانند زندگی در شرایط محیطی متفاوت، بهداشت آب و مواد غذایی، احتمال قرار گرفتن در معرض تغییرات دمایی

شـــدید و بیماری‌های ناشناخته نســـبت به محل سکونت، در معرض خطر بیماری‌های عفونی قرار دارند (۴۲).

در مطالعات اولیه مشخص شـــد تعدادی از محصولات شیمیایی فرموله شـــده برای ایمنی بالا مانند دورکننده‌ها و حشـــره‌کش‌ها به‌صورت تجاری در دســـترس هستند، اما سمی بودن آن‌ها برای پوست انسان و سیســـتم عصبی می‌تواند منجر به بروز مشکلات جـــدی مانند بثـــورات، تورم و تحریک چشـــم شـــود. مهم‌ترین اشـــکال این محصولات بروز مقاومت به حشره‌کش‌ها است که در سال‌های اخیر به ســـرعت افزایش‌یافته است (۴۳، ۴۴). از سوی دیگر اســـتفاده از منســـوجاتی که ضد باکتری و دافع حشرات هســـتند به‌ویژه زمانـــی که مواد دافع منشـــأ طبیعی و بی‌ضرر برای ســـلامت انسان داشته باشـــند در اولویت استفاده هستند (۴۵) که باید در مراحل طراحی در نظر گرفته شـــود.

شکل ۱- وضعیت نیروهای نظامی در شرایط تغییرات اقلیمی و زیستی: یک سرباز به دلیل حجم بالای پشه ها صورت خود را پوشانده که باعث عدم شناسایی چهره توسط فرماندهان، کاهش توان عملیاتی در دید سرباز، عفونت چشمی و افزایش احتمال بیماری سالک می شود.

در فرایند پژوهش طراحی و ساخت کلاه ضد پشه، ابتدا سه مدل از ایده کلاه ضد پشه طراحی و اجرا شد. در نهایت، مدلی که مطابق با شاخص‌های بهداشت حرفه‌ای و پیشگیری کامل از تماس پشه با صورت را بدون اســـتفاده از ســـموم و مواد حساسیت‌زا فراهم می‌کرد، به عنوان مدل نهایی انتخاب شـــد. این مدل با هزینه‌ای بسیار پایین، طراحی منحصربه‌فردی داشته و به کارکنان نیروهای مســـلح امکان اســـتفاده، بدون تغییر در ساختار کلاه و لباس فرم می‌دهد. این کلاه به‌راحتی قابل جداســـازی و نصب مجدد بوده و استفاده از آن بسیار ساده است. همچنین، این مدل بدون پوشش چهره و منع حفاظتی است و توانایی تولید انبوه و سریع در زمان شیوع پشه‌های سفید بالک، ســـالک، آئدس و... را دارد. در شکل شماره ۲ الگوی طراحی کلاه ضد پشه ارائه شده است.



شکل ۲- الگوی طراحی کلاه ضد پشه

از تورهای مناســـب برای این طرح، توری حشـــره گیر با مش ۵۰ (توری با مش ۵۰ به این معنی است که در هر اینچ از طول یا عرض توری، ۵۰ ســـوراخ وجود دارد) یک نـــوع توری از جنس پلیمری اســـت که در بافتی نسبتاً متراکم می‌باشد (۴۶). این نوع توری را به طور کامل از پلیمر سبک پلی‌اتیلن (Polyethylene) می‌سازند که به نسبت وزن از مقاومت فیزیکی بالایی برخوردار است (۳۵). پلیمر پلی‌اتیلن الیاف ســـبک‌وزن با استحکام بالا است که همراه با روکش‌های ضد فرابنفش (Ultraviolet; UV) ســـاخته شده تا تحمل کافی برای ماندن طولانی‌مدت در مقابل نور خورشـــید را داشته باشد. مقدار مهارکننده پرتو فرابنفش این توری‌ها ۳ درصد اســـت. انواع توری ضد حشرات ریز مش ۵۰، درصد تأثیری ناچیز در جریـــان هوا دارند. کل ممانعت آن‌هـــا از جریان هوا فقط ۲۰ درصد است و عملاً تأثیر ناچیزی در راحتی تنفس دارند. انتخاب رنگ این فیلتر با توجه به بیشـــترین میزان دافع حشـــرات، رنگ کرم انتخاب شـــده است (۲۳، ۲۶). در شـــکل‌های شماره ۴ و ۵ نمونه‌هایی از ویژگی‌های محصول اول ارائه شده است.

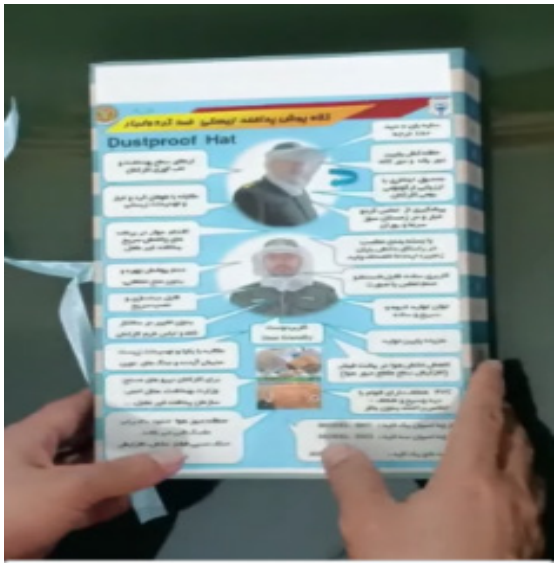
ردیف	موضوع	مزیت + عیب -	H1	H2	H3
۱	محکم و بادوام		+	+	+
۲	قابلیت تنظیم		-	-	+
۳	چهره قابل تشخیص		+	-	+
۴	جلوگیری از ورود پشه ۱۰۰٪		-	-	+
۵	وزن سبک		-	-	+
۶	ارائه همراه کلاه		-	-	+
۷	قیمت		-	-	+
۸	ارائه بدون عینک		-	-	+
۹	قابلیت تکثیرپذیری در یگانها (مستقل)		-	-	+
۱۰	نصب سریع		-	-	+
۱۲	رنگ مناسب (عدم جذب پشه) و همرنگ لباس		+	+	+

شکل ۳- نمونه نهایی کلاه پوش تولید شده پس از بررسی سه نمونه آزمایشی از کلاه پوش

۲- کلاه پوش پدافند زیستی ضد غبار: گرد و غبار بر اساس اندازه ذرات کمتر از ۱۰ میکرون تا ذرات درشت‌تر طبقه‌بندی می‌شود و اثرات آن بر سلامت انسان به دفعه وقوع و تناوب طوفان‌ها و ذرات بیولوژیکی درون آن‌ها بستگی دارد (۴۶). با توجه به قابلیت انتقال پاتوژن‌ها از طریق ذرات ریز و نفوذ آن‌ها به عمق سیستم تنفسی، طراحی ماسک و فیلترها بر اساس اندازه ذرات از اهمیت حیاتی در طراحی تجهیزات حفاظت فردی برخوردار است (۴۷، ۴۸).

مطالعات نشان می‌دهد ماسک‌های جراحی در مقایسه با ماسک‌های پارچه‌ای، محافظت مؤثرتری در برابر ذرات ریز و درشت ایجاد کرده و در کاهش خطر عفونت کارایی دارند (۴۹، ۵۰). همچنین رفتار آئروسل‌ها بر اساس اندازه ذرات، قوانین رسوب گرانشی برای ذرات درشت و حرکت براونی برای ذرات ریزتر، در طراحی استاندارد محافظهای تنفسی مورد توجه قرار گرفته است (۵۱) که تیم تحقیق در این طراحی در نظر داشته است. از عوامل مهم دیگر که در طراحی کلاه ضد غبار تأثیر دارد، میزان جریان هوا است که می‌تواند سهم هر یک از مکانیسم‌های فیلتراسیون را تغییر دهد (۵۲). بر اساس مطالعات انجام شده، در طراحی ماسک کلاه‌پوش ضد گرد و غبار از پارچه اسپان‌باند پلی‌پروپیلن چند لایه به عنوان ماده اصلی فیلتر استفاده شد. این انتخاب مبتنی بر ارزیابی عملکرد مواد مختلف صورت گرفت که برتری الیاف پلی‌پروپیلن را در کارایی فیلتراسیون و خصوصیات

شکل ۴- مشخصات کلاه پوش اول: کلاه پوش ضد پشه به همراه ویدئو معرفی



شکل ۵- بسته بندی کلاه پوش پدافندی ضد گرد و غبار

شکل ۶- مشخصات کلاه پوش دوم: کلاه پوش ضد غبار به همراه ویدئو معرفی

مطلوب اسپان‌باند از نظر نرمی، یکنواختی و قابلیت تولید چندلایه تأیید می‌کند (۵۳).

به منظور حل مشکل کاهش عملکرد فیلترها در شرایط رطوبتی بالا (۵۴) و جلوگیری از تراکم رطوبت ناشی از بازدم (۲۹)، در طراحی این ماسک، افزایش سطح مقطع و ایجاد فاصله مناسب بین فیلتر و دهان به وسیله نقاب کلاه به عنوان یک راهکار مهندسی در نظر گرفته شد. این طراحی ضمن حفظ کارایی فیلتراسیون با افزایش سطح مقطع و فاصله از دهان، به راحتی تنفسی کاربر کمک می‌کند.

ماسک سه لایه طبی ظاهری مستطیلی شکل دارد و ابعاد استاندارد این ماسک‌ها ۱۰×۱۷ سانتیمتر است و در طراحی مدل کلاه پوش ضد گرد و غبار این ابعاد ۶۰×۸۰ در نظر گرفته شده که سطح مقطع بسیار بیشتر و فاصله نسبی از دهان در آن لحاظ شده است. نوع پارچه استفاده شده به دلیل دارا بودن ویژگی‌های کلیدی از جمله نرمی و لطافت، خاصیت آب‌گریزی، یکنواختی ساختار، قابلیت تولید چندلایه، قیمت اقتصادی و همچنین سازگاری با استانداردهای مصارف پزشکی، به عنوان گزینه بهینه برای دستیابی به توازن مطلوب بین کارایی فیلتراسیون، راحتی کاربر و مقرون به صرفه بودن در نظر گرفته شد.

با توجه به طراحی و فرایند تولید بسیار ساده، خدمات آماد و پشتیبانی نیروهای مسلح با توجه به پیمانکاران تولید البسه قادر به تولید انبوه محصول می‌باشند. شکل ظاهری و برخی از ویژگی‌های کلاه ضد گرد و غبار در تصاویر شماره ۵ و ۶ نشان داده شده است.

در جمع بندی یافته‌های دو محصول، معیارها و ویژگی‌های در نظر گرفته شده در جدول شماره ۱ با هم مقایسه شدند.

جدول ۱- داده‌های آماری تعیین شده توسط تیم تحقیقاتی و معیارهای دو محصول

ردیف	ویژگی/معیار ارزیابی	کلاه پوش ضد حشره	کلاه پوش ضد غبار
۱	**وزن**	۱۲ گرم	۴۲ گرم
۲	**رنگ**	کرم	منطبق با لباس نظامی
۳	**هزینه تولید (انبوه)**	۳۰ هزار تومان	۵۰ هزار تومان
۴	**وضعیت محصول**	تولید نسخه تجاری	تولید نسخه تجاری
۵	**سازگاری کامل با کلاه‌های نظامی استاندارد**	دارد	دارد
۶	**استفاده مجدد پس از شستشو**	دارد	دارد
۷	**TRL**	۸	۸
۸	**سازگاری با پوست**	بدون تماس با پوست	بدون تماس با پوست
۹	**بازدارندگی حشرات**	دارد	ندارد
۱۰	**بازدارندگی غبار**	ندارد	دارد
۱۱	**قابلیت تنفس پذیری**	بالا	بالا
۱۲	**قابلیت ضد حساسیت**	دارد	دارد
۱۳	**قابلیت ضد باکتری**	دارد	دارد
۱۴	**قابلیت شناسایی چهره**	دارد	دارد
۱۵	**قابلیت تولید انبوه**	دارد	دارد

بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف طراحی و ساخت تجهیزات دفاعی بومی شامل کلاه پوش ضد پشه و ضد غبار و معرفی آن‌ها برای استفاده بر روی کلاه و لباس نظامی، با ارائه داده‌های آماری مشخصات محصول، به‌منظور افزایش توان پدافندی و ارتقای تاب‌آوری زیستی نیروهای مسلح در برابر تهدیدات نوظهور زیستی و بیوتروریستی انجام شد.

یافته‌های این مطالعه نشان داد محصولات حاضر با طراحی ساده

اما کاربردی با اســـتفاده از مواد ســـبک، ارزان‌قیمت و قابل تولید داخلی، قابلیت استفاده در ســـناریوهای زیستی را دارا هستند و می‌توانند در ســـبد محصولات دفاعی در زمان رویداد حوادث در جلسات کمیته بحران مورد بررســـی و تصمیم‌گیری قرار گیرند. محصولات طراحی شـــده با استفاده از فناوری‌های زیستی (۴۴)، نانو ســـاختارها (۲۴) و الزامات نظامی (۳۳)، می‌تواند گامی عملی در جهت پر کردن خلأ تجهیزات حفاظت فردی در برابر تهدیدات زیســـتی نوظهور برای تعداد بالای نیروها و پاســـخ مناســـبی به نیازهای عملیاتی نیروهای مســـلح در مواجهه با تهدیدات زیستی طبیعی یا انســـان ساخت ناشی از ناقلین بیماری‌زا و ذرات آلاینده طوفان‌های گرد و غبار باشد.

داده‌های آماری انطباق دو نمونه طراحی شده با معیارهای اصلی شامل حفاظت در برابر پشه، حفاظت در برابر گرد و غبار، قابلیت تنفـــس، تولید انبوه و ســـازگاری با تجهیزات موجـــود، در قالب ماتریس طراحی–معیار در جدول شـــماره ۲ ارائه شده است. در حالی که تفاوت اصلی آن‌هـــا در معیارهای حفاظت اختصاصی و قابلیت تنفس مشاهده شد.

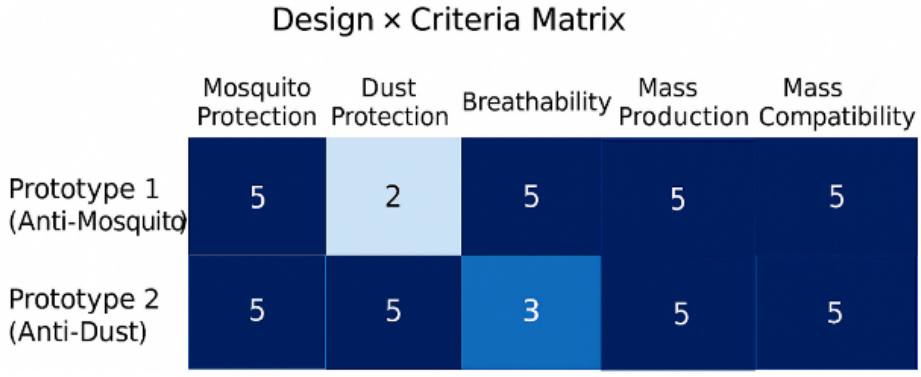
نمونه‌های طراحی شـــده در این پژوهـــش از چندین جنبه حائز اهمیت هستند:

- کلاه پوش ضد پشه، بر اساس داده آماری تعیین شده توسط تیم تحقیقاتی بر اســـاس استانداردها، با بهره‌گیری از تور پلی‌اتیلن مش ۵۰ بدون نیاز به مواد شـــیمیایی، نه تنها تماس با ناقلین بیماری مانند پشه‌های آئدس، آنوفل، عامل سالک را جلوگیری می‌کند، بلکه مقاومت حشرات را کاهش داده و عوارض پوستی و زیست‌محیطی روش‌های سنتی مانند حشره‌کش‌ها را حذف می‌نماید و با اصول بهداشت حرفه‌ای و ایمنی زیستی هم‌راستا اســـت (۳۱، ۵۵). این ویژگی، تاب‌آوری زیستی نیروهای مسلح را در محیط‌های عملیاتی مرطـــوب و بیابانی افزایش می‌دهد، جایی که شیوع بیماری‌های منتقله از پشه چالش جدی است و نیاز به تجهیزات پدافند زیستی با قابلیت واکنش سریع و تولید انبوه یک ضرورت برای امنیت محسوب می‌شود (۳۳، ۵۶–۵۹). این ویژگی‌ها در مطالعات پیشین نیز به‌عنوان مزیت منسوجات پلیمری سبک در کنترل ناقلین تائید شده‌اند (۱۰–۱۲).
- در کلاه پوش ضد غبار، استفاده از لایه‌های اسپان‌باند/ملت‌بلون و شـــیلد شـــفاف PVC، ضمن حفظ میدان دید، امکان کاهش نفـــوذ ذرات معلق در بازه‌های بحرانی را فراهم می‌ســـازد. این طراحی با اصول فیلتراســـیون غیرفعال و افزایش فاصله مؤثر از منبع تنفسی هم‌خوانی دارد و در مطالعات مرتبط با ماسک‌های نیمه‌صنعتی و تجهیزات پدافند غیرعامل نیز توصیه شده است (۱۷، ۳۳).

از دیدگاه عملیاتی، مهم‌ترین دســـتاورد این پژوهش، ســـازگاری کامل محصولات با البســـه فرم موجود بـــدون نیاز به ایجاد تغییر در ســـاختار پایه کلاه لباس‌های نظامی است. این ویژگی، ضمن قرار گرفتن محصول در سبد گزینه‌های پاسخ به تهدیدات، امکان به‌کارگیری ســـریع و گســـترده محصولات در شرایط اضطراری و بحرانی را فراهم می‌آورد.

با بررسی محصولات طراحی شده در جدول شماره ۱، می‌توان به مزیت‌های رقابتی این محصولات از جمله پوشـــش کامل صورت، قابلیت اســـتفاده در محیط‌های باز، کارایـــی در برابر ذرات ریز و هزینه تولید پایین اشاره نمود.

روش TRL (Technology Readiness Levels) روشـــی است که در آن مراحل ســـطوح بلوغ یک فناوری ســـنجیده می‌شود (۶۰، ۶۱). در این مطالعه، محصول بر اســـاس استانداردهای بین‌المللی ISO۹۲۳۷ در تعیین نفوذپذیری هوا در منســـوجات (۳۵، ۳۶)،



جدول ۲- ماتریس عملکرد دو محصول دفاع زیستی

EN ISO۱۳۶۸ در ارزیابی مقاومت در برابر سایش و کشش (۳۷، ۳۸)، EN ۱۴۶۸۳ در مشخصات ماسک‌های پزشکی از نظر فیلتراسیون و تنفس‌پذیری (۳۹، ۴۰)، ISO۱۸۰۶ در ارزیابی مقاومت در برابر پارگی (۴۱) و ISO۹۰۴۴ در تعیین اندازه‌ی مش و ابعاد منافذ در توری‌ها مطابقت داده شده است. این استانداردها به عنوان معیارهای جایگزین برای آزمایش محصول انتخاب شدند و تطابق محصول با الزامات آن‌ها صورت گرفت. بر این اساس، سطح آمادگی فناوری (TRL) محصول تا سطح TRL عدد ۸ تعیین شده است که نشان‌دهنده آمادگی محصول برای ورود به مرحله نهایی تجاری‌سازی می‌باشد. استفاده از این داده‌های استانداردها اطمینان لازم را در مورد عملکرد، دوام و کیفیت محصول فراهم کرده است. در صورت وقوع یک رویداد زیستی گسترده آماده تولید انبوه و توزیع در منطقه به‌منظور ارزیابی استفاده جمعی و کارایی محصول می‌باشیم تا مرحله ۹ نیز ارتقاء یابد.

اگرچه نمونه‌های تولید شده مراحل ارزیابی اولیه را با موفقیت گذرانده‌اند، با این حال، محدودیت اصلی مطالعه، فقدان داده‌های کمی استاندارد در زمینه مطالعات میدانی با نمونه‌های انسانی در شرایط عملیاتی واقعی است که انجام تست‌های استاندارد آزمایشگاهی برای سنجش کمی عملکرد فیلتراسیون و آزمون‌های میدانی برای ارزیابی کارایی در شرایط عملیاتی واقعی به‌عنوان گام بعدی این پژوهش پیشنهاد می‌شود.

این پژوهش با رویکرد توسعه‌ای–کاربردی به طراحی و ساخت تجهیزات دفاعی بومی با هدف افزایش تاب‌آوری زیستی نیروهای مسلح در برابر تهدیدات زیستی و بیوتروریسم پرداخته است. از ویژگی‌های برجسته این محصولات می‌توان به افزایش توان عملیاتی با تولید سریع، ساده، اقتصادی و سازگار با لباس فرم کارکنان در زمان بروز رویداد زیستی اشاره کرد. این ویژگی‌ها به نیروهای مسلح این امکان را می‌دهد که در شرایط بحرانی به‌سرعت و به طور مؤثر واکنش نشان دهند. به‌کارگیری چنین راهکارهای نوآورانه و بومی می‌تواند سهم مؤثری در ارتقای تاب‌آوری و حفظ آمادگی عملیاتی نیروهای مسلح در منطقه رویداد داشته باشد.

با توجه به تغییرات اقلیمی و افزایش تنوع تهدیدات بیولوژیکی، این تحقیق بر لزوم توسعه و بهبود مستمر تجهیزات دفاعی تأکید دارد. پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتری در زمینه بهینه‌سازی کمی عملکرد این تجهیزات انجام شود تا پاسخ به بحران‌های زیستی هر چه بیشتر بهینه شود. در نهایت، این پژوهش کاربردی نشان می‌دهد که طراحی و ساخت تجهیزات دفاعی بومی می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای کاربردی در افزایش تاب‌آوری و آمادگی نیروهای مسلح در برابر تهدیدات زیستی عمل کند و در برخی موارد نقش حیاتی در حفظ امنیت ملی ایفا نماید.

تشکر و قدردانی

از کلیه کارکنان و محققان گرامی در دانشگاه علوم پزشکی آجا و فرماندهی انتظامی تهران بزرگ همکاری نموده اند تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

بدین وسیله نویسندگان تصریح می‌نمایند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با پژوهش حاضر وجود ندارد.

References

1. Mohammadi SB, Amirheidari B, Dehesh T, Moghadam MN, Yazdi-Feyzabadi V, Hassani E, et al. Identification and analysis of parameters and global experiences of hospital preparedness against chemical, biological, radiological and nuclear disasters: A scoping review. Journal of Clinical Research in Paramedical Sciences. 2022; 11(1). e123626. DOI: 10.5812/jcrps-123626
2. Gill P, Horgan J, Hunter ST, Cushenbery L. Malevolent creativity in terrorist organizations. The Journal of Creative Behavior. 2013; 47(2): 125-51. DOI:10.1002/jocb.28
3. Cropley DH. Malevolent innovation: Opposing the dark side of creativity: Cambridge University Press; 2010: 339 –59. DOI: 10.1017/CBO9780511761225.019
4. Koblentz GD. Emerging technologies and the future of CBRN terrorism. The Washington Quarterly. 2020; 43(2): 177-96. DOI:10.1080/0163660X.2020.1770969
5. Ashitiani M. Lessons learned from the sacred defense in science and technology policy-making. Journal of Defense Studies. 2023; 9(2): 9-30. (Persian) URL: https://www.sid.ir/paper/1536844/en
6. Mirzapour Aramki A. Investigation of priority and typology of challenges affecting technology acquisition in defense industries. Technology Development Management. 2022; 9(4):

101-27. (Persian) DOI:10.22104/jtdm.2022.4471.2730

7. Rahemi M, Bayat Tork A, Haghighat Manafarad J. Developing a technology transfer model from the defense level to the national level using grounded theory. Improvement Management. 2024; 18(1): 145-68. (Persian) DOI:10.22034/jmi.2024.454298.3088

8. Eftekhari A, Shamani M. National security in the thought of the supreme leader (May his nobel presence endure). 2024; 1 (1): 9-36. (Persian) URL: https://sdq.sndu.ac.ir/article_3098.html?lang=en

9. Girard JP, McIntyre S. Knowledge management modeling in public sector organizations: A case study. International Journal of Public Sector Management. 2010; 23(1): 71–7. DOI: 10.1108/09513551011012330

10. Prudêncio M. In fairness to mosquitoes. Trends Parasitol. 2020; 36(11): 876-7. DOI:10.1016/j.pt.2020.08.003

11. Ghoneim K, Bakr RF. Entomopathogenic nematodes and their symbiotic bacteria as bioagents to combat the mosquito vectors of human diseases in the world: A comprehensive review. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, E Medical Entomology & Parasitology. 2024; 16(1): 41-126. DOI:10.21608/eajbse.2024.340637

12. Chandra G, Bhattacharjee I. Mosquito-borne human diseases. Mosquitoes: Biology, pathogenicity and management: Springer; 2024. 257-86.

13. Jonckers Nieboer L, Fischer E, Braks M. Available evidence for mosquito-borne Francisella tularensis transmission is inconclusive. Frontiers in Tropical Diseases. 2023; 4: 1230903. DOI:10.3389/fitd.2023.1230903

14. Volk KM, Gering TJ. Predicting biosecurity threats: Deployment and detection of biological weapons. Emerging threats of synthetic biology and biotechnology: Addressing Security and Resilience Issues. 2021:195-207. DOI: 10.1007/978-94-024-2086-9_13

15. Zhao M, Lei L, Jiang Y, Tian Y, Huang Y, Yang M. Unveiling the threat of disease X: Preparing for the next global pandemic. J Med Virol. 2025; 97(2): e70227. DOI: 10.1002/jmv.70227

16. Mertens JE. A history of malaria and conflict. Parasitology Research. 2024; 123(3): 165. DOI: 10.1007/s00436-024-08167-4

17. Huynh LN, Tran LB, Nguyen HS, Ho VH, Parola P, Nguyen XQ. Mosquitoes and mosquito-borne diseases in vietnam. Insects. 2022; 13(12): 1076. DOI:10.3390/insects13121076

18. Zhang Y, Wang M, Huang M, Zhao J. Innovative strategies and challenges mosquito-borne disease control amidst climate change. Frontiers in Microbiology. 2024; 15: 1488106. DOI:10.3389/fmicb.2024.1488106.

19. Sarker R, Roknuzzaman A, Haque MA, Islam MR, Kabir ER. Upsurge of dengue outbreaks in several WHO regions: Public awareness, vector control activities, and international collaborations are key to prevent spread. Health Sci Rep. 2024; 7(4): e2034. DOI:10.1002/hsr2.2034

20. Fox T, Sguassero Y, Chaplin M, Rose W, Doum D, Arevalo-Rodriguez I, et al. Wolbachia-carrying aedes mosquitoes for preventing dengue infection. Cochrane Database Sys Rev. 4(4): CD015636. DOI:10.1002/14651858.CD015636.pub2

21. Mahmoodimahpash N, Souri B. Detecting origin of dust-fall using ions ratio and morphology of the particles in western Iran. Journal of Natural Environment. 2020; 73(2): 355-67. (Persian) DOI: 10.22059/jne.2020.294726.1874

22. Ritz B, Hoffmann B, Peters A. The effects of fine dust, ozone, and nitrogen dioxide on health. Deutsch Arztebl Int. 2019; 116(51-52): 881-6. DOI:10.3238/arztebl.2019.0881

23. Sharma R, Kurmi O, Hariprasad P, Tyagi S. Health implications due to exposure to fine and ultra-fine particulate matters: A short review. International Journal of Ambient Energy. 2024; 45(1): 2314256. DOI:10.1080/01430750.2024.2314256

24. Le L-T, Quang K-BV, Vo T-V, Nguyen T-MT, Dao T-V-H, Bui X-T. Environmental and health impacts of air pollution: A mini-review. Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering. 2024; 66(1): 120-8. DOI:10.31276/VJSTE.66(1).120-128

25. Pirsaheb M, Sharafi K, Hopke PK, Hadei M, Shahsavani A. Carcinogenic risks of particulate matter during middle eastern dust events and normal days. Atmospheric Pollution Research. 2020; 11(9): 1566-71. DOI: 10.1016/j.apr.2020.06.012

26. Myung H, Joung YS. Contribution of particulates to airborne disease transmission and severity: A review. Environ Sci Technol. 2024; 58(16): 6846-67. DOI:10.1021/acs.est.3c08835

27. Spirkoska B, Risteski T, Spirkoska A. Pathogenic microorganisms and biotoxins as biological combat agents for terrorict aims. Knowledge-International Journal. 2024; 64(1): 179-84. URL: https://ojs.ikm.mk/index.php/kij/article/view/6799

28. Al-Hemoud A, Al-Dousari A, Al-Shatti A, Al-Khayat A, Behbehani W, Malak M. Health impact assessment associated with exposure to PM10 and dust storms in Kuwait. Atmosphere. 2018; 9(1): 6. DOI:10.3390/atmos9010006

29. Mahdavi A. Efficiency measurement of N95 filtering facepiece respirators against ultrafine particles under cyclic and constant flows. [MSc thesis]. Canada: Concordia University; 2013.

30. Shuvo II, Dolez PI. Design of a military protective suit against biological agents. Functional and Technical Textiles. 2023: 141-76. DOI:10.1016/B978-0-323-91593-9.00009-2

31. Valdes JJ, Valdes ER. Biological agents: Threat and response. Handbook of Security Science: Springer; 2022. 739-69

32. Antunes JC, Moreira IP, Gomes F, Cunha F, Henriques M, Fangueiro R. Recent trends in protective textiles against biological threats: A focus on biological warfare agents. Polymers (Basel). 2022; 14(8): 1599. DOI: 10.3390/polym14081599

33. Krueger G. Psychological issues in military uniform design. Advances in military textiles and personal equipment: Elsevier; 2012: 64-78. DOI:10.1533/9780857095572.1.64

34. Obayori OS, Salam LB. Control of bioaerosols, biosafety, and biosecurity. Aeromicrobiology: Elsevier; 2023. 243-66.

35. Gunawan A, Putra N, Sofia E, Sukamo R. Determining the thermal conductivity of natural fibres with axial flow method. AIP Conference Proceedings; 2024: 2836(1): 080001 AIP Publishing. DOI:10.1063/5.0188599

36. Neznakomova MP, Gospodinova DN. Express evaluation of

the thermal insulation properties of bulk non-woven textile. 2024 59th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST); 2024: 1-4. DOI: 10.1109/ICEST62335.2024.10639807

37. Asfand N, Daukantienė V. Evaluation of the moisture management and air permeability of cotton/antistatic polyester knitted fabrics. Journal of Industrial Textiles. 2023; 53: 15280837231194369. DOI:10.1177/15280837231194369
38. Zhang L-Y, Song W-M, Wang B-H, Li P, Ni Y-P, Liu Y. Multifunctional polyester-cotton fabrics with excellent flame retardancy, superhydrophobicity, antibacterial property and UV resistance. Polymer Degradation and Stability. 2024; 228: 110897. DOI:10.1016/j.polymdegradstab.2024.110897
39. Ayse A. A study on multi-layered surgical masks performance: Permeability, filtration efficiency and breathability. Industria Textila. 2024; 75(1): 57-65. DOI:10.35530/it.075.01.202356
40. Dubinskaite K, Rubeziene V, Sankauskaitė A, Skurkytė-Papievienė V. Development of technology for providing antimicrobial properties to medical disposable masks. Polymers. 2024; 16(21): 3005. DOI: 10.3390/polym16213005
41. He R, Sun X, Wu Y, Fu J. Nonlinear tearing residual strength characteristics of architectural fabric membranes: A numerical and theoretical investigation. Construction and Building Materials. 2024; 416: 135212. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2024.135212
42. Biselli R, Nisini R, Lista F, Autore A, Lastilla M, De Lorenzo G, et al. A historical review of military medical strategies for fighting infectious diseases: From battlefields to global health. Biomedicines. 2022; 10(8): 2050. DOI:10.3390/biomedicines10082050
43. Dahmana H, Mediannikov O. Mosquito-borne diseases emergence/resurgence and how to effectively control it biologically. Pathogens. 2020; 9(4): 310. DOI:10.3390/pathogens9040310
44. Agarwal A, Sarma DK, Chaurasia D, Maan HS. Novel molecular approaches to combat vectors and vector-borne viruses: Special focus on RNA interference (RNAi) mechanisms. Acta Tropica. 2022; 233: 106539. DOI:10.1016/j.actatropica.2022.106539
45. Grancaric AM, Migani V, Plutino MR, Rosace G, Trovato V. Recent progress in silica-based organic/inorganic hybrid treatments as anti-mosquito textile finishing. Bio-Mathematics, Statistics, and Nano-Technologies. 2023: 237-44. URL:https://hdl.handle.net/10446/249769
46. Igathinathane C, Melin S, Sokhansanj S, Bi X, Lim C, Pordesimo L, et al. Machine vision based particle size and size distribution determination of airborne dust particles of wood and bark pellets. Powder Technology. 2009; 196(2): 202- 12. DOI:10.1016/j.powtec.2009.07.024
47. Kok JF. A scaling theory for the size distribution of emitted dust aerosols suggests climate models underestimate the size of the global dust cycle. Proc Natl Acad Sci U S A. 2011; 108(3): 1016-21. DOI:10.1073/pnas.1014798108
48. Drewnick F, Pikmann J, Fachinger F, Moormann L, Sprang F, Borrmann S. Aerosol filtration efficiency of household materials for homemade face masks: Influence of material properties, particle size, particle electrical charge, face velocity, and leaks. Aerosol Science and Technology. 2021; 55(1): 63-79. DOI:10.1080/02786826.2020.1817846
49. Shakya KM, Noyes A, Kallin R, Peltier RE. Evaluating the efficacy of cloth facemasks in reducing particulate matter exposure. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2017; 27(3): 352-7. DOI:10.1038/jes.2016.42
50. Cowling BJ, Zhou Y, Ip D, Leung G, Aiello A. Face masks to prevent transmission of influenza virus: A systematic review. Epidemiol Infect. 2010; 138(4): 449-56. DOI: 10.1017/S0950268809991658
51. Tcharkhtchi A, Abbasnezhad N, Seydani MZ, Zirak N, Farzaneh S, Shirinbayan M. An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration. Bioact Mater. 2021; 6(1): 106-22. DOI:10.1016/j.bioactmat.2020.08.002
52. Konda A, Prakash A, Moss GA, Schmoldt M, Grant GD, Guha S. Aerosol filtration efficiency of common fabrics used in respiratory cloth masks. ACS Nano. 2020; 14(5): 6339-47. DOI: 10.1021/acsnano.0c03252
53. Maduna L, Patnaik A, Mvubu M, Hunter L. Optimization of air permeability of spunlaced filter fabrics using the box–behnken experimental design. Journal of Industrial Textiles. 2020; 50(5): 675-91. DOI:10.1177/1528083719836946
54. Givehchi R, Tan Z. The effect of capillary force on airborne nanoparticle filtration. Journal of Aerosol Science. 2015; 83: 12-24. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2015.02.001
55. Dahmani M. Environmental quality and sustainability: Exploring the role of environmental taxes, environment-related technologies, and R&D expenditure. Environmental Economics and Policy Studies. 2024; 26(2): 449-77. DOI:10.1007/s10018-023-00387-9
56. Wang X. A retrospective on the intellectual adventures of think tanks in biosecurity before and after the COVID-19 pandemic outbreak. J Biosaf Biosecur. 2021; 3(2): 155-62. DOI: 10.1016/j.jobb.2021.10.002
58. Dutta S, Das D. Bioprocess: Control, management, and biosafety issues. Basic biotechniques for bioprocess and bioentrepreneurship: Elsevier; 2023. 355-64.
58. Yeh K, Du E, Olinger G, Boston D. Biotechnology and biodefense enterprise: An industry perspective on defence acquisition. Global Security: Health, Science and Policy. 2022; 7(1): 37-43. DOI:10.1080/23779497.2022.2102527
59. Martinez B, Reaser JK, Dehgan A, Zamft B, Baisch D, McCormick C, et al. Technology innovation: Advancing capacities for the early detection of and rapid response to invasive species. Biological Invasions. 2020; 22(1): 75-100. DOI:10.1007/s10530-019-02146-y
60. Koo J-I, Jeong S-J. Improved technology readiness assessment framework for system-of-systems from a system integration perspective. IEEE Access. 2024; 12: 238275-53. DOI:10.1109/ACCESS.2024.3362229
61. Kimmel WM, Beauchamp PM, Frerking MA, Kline TR, Vassigh KK, Willard DE, et al. Technology readiness assessment best practices guide. 2020.