



## ارتقاء و بهبود منسوجات حفاظتی هوشمند نظامی و پلیسی؛ ص ۵۹-۸۳

علی روستایی<sup>۱</sup>، حجت اله هادی<sup>۲</sup>، رضا حداد<sup>۳</sup>، حمید عابدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳

### چکیده

تروریسم در دهه گذشته رو به افزایش بوده و زندگی روزمره در بسیاری از نقاط جهان را مختل نموده است. بنابراین حفاظت در برابر چنین تهدیداتی برای حفظ ثبات و امنیت جهان حیاتی می‌باشد. به‌خصوص حفظ امنیت کارکنان بخش دفاع که در مواجهه و پاسخ‌دهی به چنین تهدیداتی شرکت می‌کنند. از آنجایی که لباس و منسوجات معمولاً همراه شخص هستند، بنابراین منسوجات می‌توانند به‌عنوان زیربنایی عالی برای چنین سامانه‌های حفاظت فردی محسوب شوند. در این مقاله، چارچوب طراحی مهندسی برای بهبود و ارتقای ساختارها و منسوجات حفاظتی هوشمند ارائه می‌شود. در ابتدا تهدیدات مختلفی که افراد باید در مقابلشان حفاظت شوند مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس طرح‌های کاربردی بر پایه منسوجات هوشمند در جهت بهبود حفاظت در برابر تهدیدات معرفی می‌گردد. همچنین تفسیری از این ملزومات در جهت شناخت ساختارهای مورد نیاز برای گزینش مواد، فن‌آوری‌های حسی و ساختاری ارائه می‌شود. در نهایت، مشخص می‌شود که حفاظت‌های هوشمند فردی نیاز به رویکردی بین‌رشته‌ای داشته و درکی از هدف نهایی حفاظت که حفاظتی مقرون‌به‌صرفه در هر زمان، هر مکان و برای هر شخص است به دست می‌آید.

**واژگان کلیدی:** تروریسم، منسوجات هوشمند، چارچوب طراحی مهندسی، سامانه حفاظت فردی هوشمند،

مادر برد قابل پوشش

- ۱- دکتری تخصصی شیمی تجزیه، عضو هیات علمی پژوهشکده صنعت و فناوری، پژوهشگاه علوم انتظامی و مطالعات اجتماعی ناجا
- ۲- کارشناسی ارشد و رئیس پژوهشکده مدیریت فناوری، پژوهشگاه علوم انتظامی و مطالعات اجتماعی ناجا
- ۳- دکتری شیمی معدنی و عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم انتظامی و مطالعات اجتماعی ناجا
- ۴- دکتری شیمی تجزیه و عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم انتظامی و مطالعات اجتماعی ناجا

## مقدمه و بیان مسئله

امروزه باور مردم از اینکه یک حمله تروریستی اگر اتفاق بیفتد به اینکه چه وقت و کجا صورت خواهد پذیرفت، تغییر یافته است. در نتیجه، کیفیت زندگی افراد به طور قابل ملاحظه‌ای به یک وضعیت نرمال جدید<sup>۱</sup> تغییر یافته است. پاسخ به سؤال چگونگی محافظت از افراد، شهروندان معمولی، خط مقدم، کارکنان پلیس و سربازان در فن‌آوری نهفته است. پیشرفت‌های سریع در فن‌آوری مواد، شیوه تولید، حسگرها، محاسبات و ارتباطات باعث ایجاد راه‌حلهایی برای ارتقای حفاظت از زندگی مردم شده است. نخستین مرحله حیاتی برای طراحی و ارتقای راه‌حل‌ها، برآوردی دقیق از خطر ایجاد شده توسط تهدیدات مختلف است. میزان خطر تهدید وابسته به سمیت آن و مدت‌زمان تماس می‌باشد که از طریق معادله زیر تعیین می‌گردد:

$$\text{سمیت} \times \text{میزان در معرض بودن} = \text{خطر پیشامد}$$

بنابراین، تهدیدهای به‌شدت سمی، حتی اگر مدت‌زمان در معرض بودن آن کوتاه باشد، ممکن است به یک خطر قابل توجه تبدیل شود. متأسفانه حفاظت از شهروندان و حفظ امنیت ملی برای سربازان درگیر با دشمنان یا خط مقدم که جان شهروندان بی‌گناه را از حملات تروریستی حفظ می‌نماید، معمولاً با تلفات همراه است. سربازی را در یک صحنه جنگی در نظر بگیرید که در ارتباط دائمی با مرکز کنترل و فرماندهی از راه دور است. یک سرباز باید در یک‌زمان بسیار کوتاه به محیطی با خطر بالا که هیچ‌گونه اطلاعی در خصوص آن ندارد اعزام شود. در مرحله دوم، کشف و شناسایی تهدیدهایی از قبیل انفجاری، شیمیایی، بیولوژی، هسته‌ای و غیره می‌باشد که باید با دقت صورت پذیرد. ارزیابی تهدیدات باید جامع بوده و به تشخیص دقیق و مؤثر افرادی که در معرض خطر قرار می‌گیرند بیان جامد (پارک، ۲۰۰۶: ۴۹).

در مرحله بعدی باید تهدید را کنترل نمود و از گسترش آن جلوگیری کرد تا خسارات به حداقل برسد. سپس افراد و محیط باید به‌طور مؤثری از آلاینده‌های پاک‌شده و هیچ‌گونه باقیمانده‌ای در صحنه به‌جا نماند. مرحله نهایی به دست آوردن نظم دوباره در سناریوی پاسخ به حادثه می‌باشد. بسته به کیفیت آمادگی برای یک حادثه می‌توان پاسخ موفقی به آن داد. مثالی از این نوع در دسترس بودن منابع کافی، از جمله کارکنان آموزش دیده، سامانه ارتباطی مؤثر و قابل اتکا، تجهیزات نوین و سامانه لجستیک مطلوب برای حمایت از عملیات می‌باشد (پارک، ۲۰۰۶: ۴۹).

1. New Normal Life

2. Park S, Jayaraman S (2006)

دسترسی به اطلاعات در مورد یک محیط بسیار متحرک (دینامیک) در مقیاس زمانی کوتاه حائز اهمیت است. این آگاهی از موقعیت و یا آگاهی محیطی هم برای خط مقدم/سربازان درگیر در عملیات و هم برای فرماندهان که باید اطلاعات را حس و استخراج نمایند و به تهدید بالقوه تسلط یافته و به آن پاسخ گویند دارای اهمیت می‌باشد. چنین پاسخی می‌تواند شامل فرستادن نیروی تقویتی، درخواست از خط مقدم/سربازان برای تغییر مسیر و یا بازگشت به مبدأ و در نتیجه کاهش خطر باشد. به‌عنوان مثال، اگر خط مقدم/سرباز ناگهان در معرض گازهای مخاطره‌آمیز قرار گیرد، اطلاع از نوع خطر اهمیت داشته تا اینکه حفاظت مناسب صورت پذیرد (استفاده از ماسک‌های مناسب، دستگاه‌های تنفسی و یا پادزهر مناسب). در سانحه‌ای که خط مقدم/سرباز مورد شلیک قرار می‌گیرند، اطلاع از موقعیت مکانی فرد، شرایط فیزیکی (ضربان قلب و نوار قلب) و محل زخم در بدن جهت مکان‌یابی و دسترسی به سرباز در طول ساعات طلایی به‌منظور جلوگیری از مرگش ضروری می‌باشد (پارک، ۲۰۰۹: ۵۰). بنابراین برای کاهش تلفات، به دست آوردن اطلاعات در زمان مناسب اهمیت حیاتی دارد.

### انواع حملات تروریستی و تهدیدها

جدول شماره یک پایگاهی از عملیات تروریستی مهم در سال‌های اخیر به همراه عوامل تهدید درگیر در آن حملات را نشان می‌دهد. مطابق آنچه قبلاً ذکر گردید، نخستین مرحله ضروری در طراحی و ارتقای سامانه حفاظتی فردی هوشمند<sup>۱</sup> (IIPS)، شناخت انواع تهدیدهای مهم و برآوردی از آسیب‌شناسی سامانه یا فرد در مقابل تهدید و خطر می‌باشد. علاوه بر سه نوع تهدید ذکرشده در جدول شماره یک از قبیل عوامل شیمیایی، بیولوژیکی و متداول، تهدید چهارمی تحت عنوان عوامل هسته‌ای نیز وجود دارد که در ادامه بررسی می‌گردد.

سلاح‌های متداول معمولاً انفجاری بوده که به شکل بمب پرتاب می‌شوند. مطابق جدول شماره دو، وقتی چنین سلاح‌هایی استفاده می‌شوند، اجسام تیز و پودری منجر به جراحت افراد می‌شود و بلافاصله می‌توان آسیب را کشف نمود. انفجار عمدتاً باعث آسیب ساختاری شده و در نهایت منجر به ازهم‌پاشیدگی ساختاری می‌شود. انجام یک حمله مسلحانه تقریباً امری آسان است.

جدول ۱: حوادث تروریستی عمده و عوامل تهدید

روش اقدام	نوع	موقعیت جغرافیایی	تاریخ
بمب‌گذاری انتحاری	انفجاری	سامانه مترو مسکو	مارس ۲۰۱۰
بمب‌گذاری	انفجاری	قطار رفت و برگشتی مومیانی	جولای ۲۰۰۶
کلروین به همراه مواد انفجاری تعبیه‌شده در خودرو	شیمیایی	عراق	۲۰۰۶
بمب‌گذاری	انفجاری	زیر شهر لندن	جولای ۲۰۰۵
بمب‌گذاری	انفجاری	قطار رفت و برگشتی مادرید	مارس ۲۰۰۴
هوایپما	انفجاری	مرکز تجارت جهانی - نیویورک	سپتامبر ۲۰۰۱
ارسال (هاگ) دانه تاول سیاه‌زخم	موشکی	ایالات‌متحده	۲۰۰۱
گاز سارین <sup>۱</sup> (GB) آزادشده از خودرو	بیولوژیکی	سامانه مترو توکیو	۱۹۹۵
آلودگی سالمونلا <sup>۲</sup> ظرف‌های سالاد در رستوران‌ها	بیولوژیکی	ایالات‌متحده	۱۹۸۴

جدول ۲: خصوصیات عوامل تهدید

شیمیایی	بیولوژیکی	هسته‌ای	معمول	
عوامل اعصاب، تاول، خون، خفگی، ناتوان‌کننده	پاتوژن‌ها، عوامل سمی	بمب‌های رادیواکتیو	انفجاری، موشکی (هوایپما)	سازوکار پرتاب
پوست، چشم، گوارش و تزریق (تیزی)	پوست، تنفس، گوارش	تماس با پوست، تنفس	پودر خاک، تیزی	نحوه آسیب‌رسانی
بلافاصله	بلافاصله / بافاصله	بلافاصله	بلافاصله	زمان آشکارسازی
شیمیایی	بیماری (آبله، ذات‌الریه)	تابش: اشعه آلف، بتا و گاما	ساختاری	نوع آسیب
متوسط	متوسط	مشکل	آسان	سطح دشواری پرتاب
کوتاه‌مدت و بلندمدت	کوتاه‌مدت و بلندمدت	کوتاه‌مدت و بلندمدت	کوتاه‌مدت	مدت‌زمان ریسک
مشکل	مشکل	مشکل	آسان	آلایندگی
ساختمان‌ها، سامانه سامانه‌های HVAC، پل‌ها و تونل‌ها، مسیرهای ترابری، سامانه‌های انتقال آب، مکان‌های عمومی (استادیوم‌های ورزشی و ...)				
اهداف بالقوه				

سلاح‌های متداول استفاده‌شده در بمب‌گذاری شهر اکلوهاما در ۱۹۹۵ مرسوم بود، اما در حملات ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ در نیویورک برای نخستین بار از یک هوایپما به‌عنوان سلاح استفاده شد. زمان خطر آسیب‌رسانی حاصل از سلاح‌های متداول کوتاه‌مدت است. از آنجاکه محدوده تهدید قابل‌محل‌یابی می‌باشد، بنابراین حفظ و نگهداری تهدید نسبت به آن آسان می‌باشد.

1. Sarin gas  
2. Salmonella

سلاح‌های هسته‌ای، بمب‌های رادیواکتیو هستند. آسیب به افراد از طریق تنفس و تماس پوستی به پسماند آلوده به مواد رادیواکتیو اتفاق می‌افتد. پرتوافکنی به شکل اشعه  $\alpha$  و  $\beta$  می‌تواند اثرات بلندمدت و کوتاه‌مدتی بر روی افراد و محیط داشته باشد. از آنجایی که تابش‌ها بدون رنگ و بو می‌باشد، تنها با آشکارساز رادیواکتیو قابل‌شناسایی هستند. نگهداری و حفظ تهدید نیز دشوار خواهد بود. با این وجود به دلیل اینکه دسترسی به مواد و سلاح‌های رادیواکتیو آسان نیست، انجام یک حمله هسته‌ای دشوار است.

سلاح‌های بیولوژیکی، پاتوژن می‌باشند. پاتوژن‌ها، ارگانیسم‌هایی بوده که منجر به بیماری می‌شوند. برخی از آن‌ها می‌توانند بازتولید شده و پس از حمله به مدت طولانی آسیب‌زا باشند. پاتوژن‌ها ممکن است باکتری‌هایی از قبیل آنتراکس یا ویروس‌هایی مانند آبله و تب استخوان‌شکن یا میکروپلاسمایی باشند که به ذات‌الریه منجر شوند. سم‌ها نیز می‌تواند سلاح‌های بیولوژیکی در نظر گرفته شوند. سلاح‌های بیولوژیکی می‌توانند از طریق پوست، تنفس و گوارش منتقل شوند و بسته به طبیعت سلاح، واکنش می‌تواند بلافاصله یا با تأخیر صورت پذیرد. بنابراین، آشکارسازی نیز می‌تواند بلافاصله یا با تأخیر انجام شود. مدت‌زمان خطر کوتاه‌مدت و بلندمدت بوده زیرا برخی از پاتوژن‌ها ممکن است جهش نموده و در بلندمدت آسیب‌زا باشند. با این وجود، انجام یک حمله بیولوژیک تا حدودی دشوار می‌باشد زیرا دسترسی به چنین موادی محدود است. به علاوه، نگهداری و حفظ تهدید آسان نخواهد بود.

سلاح‌های شیمیایی، عوامل شیمیایی هستند که با توجه به گروه عاملی ویژه موجود در ساختار خود می‌توانند آسیب‌های متفاوتی ایجاد نمایند. عوامل اعصاب به سامانه اعصاب فرد حمله‌ور شده؛ عوامل تاول‌زا به پوست حمله می‌کنند؛ عوامل ناتوان‌کننده غشاهای مخاطی چشم، بینی و دهان را تحریک نموده و به ناتوانی فرد می‌انجامند. این عوامل شیمیایی از طریق پوست، چشم و گوارش نفوذ نموده و یا از تزریق یک جسم نوک‌تیز (مانند سرنگ) ناشی می‌شوند. آشکارسازی می‌تواند بلافاصله باشد و مدت‌زمان خطر حاصل از سلاح‌های شیمیایی ممکن است کوتاه‌مدت یا بلندمدت باشد. از آنجاکه روش رهایش عوامل شیمیایی به شکل گاز بوده بنابراین می‌تواند به سرعت در مساحت سطح زیادی پخش شوند. در نتیجه نگهداری و حفاظت تهدید سلاح‌های شیمیایی می‌تواند مشکل باشد.

**سامانه حفاظت فردی هوشمند (IIPS)**

کارکنان محیط‌های پرمخاطره از قبیل کارکنان بخش دفاع هیچ‌گونه شانس دومی برای زندگی نخواهند داشت. بنابراین، برای یک IIPS شکست<sup>۱</sup> گزینه مقدوری نخواهد بود. شکست می‌تواند باعث مرگ شود که نتیجه‌ای نامطلوب است. انجام دادن درست آن به الگوی عاری از خطا<sup>۲</sup> انجامیده که رویکردی برای فهم IIPS می‌باشد. در طراحی فرآیند، نیاز به رویکردی ساختاری وجود دارد و باید به عملکرد میدانی بدون نقص دست‌یافت. یونیفرم سرباز همواره بر تن آن پوشیده است و بنابراین یک انتخاب منطقی به‌عنوان زیربنا و یا سکویی برای IIPS می‌باشد.

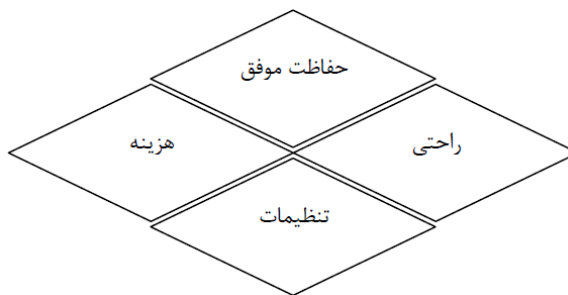
سامانه حفاظت فردی هوشمند یا IIPS باید کاربر- محور<sup>۳</sup> بوده و حفاظتی آسان، سریع و مؤثر فراهم کند تا در برابر گستره وسیعی از تهدیدها بر مبنای آگاهی از موقعیت و برآورد زمان واقعی<sup>۴</sup> مؤثر شود. این هدف بسیار شبیه به پروپوزال مؤسسه پزشکی سامانه سلامتی (JOM، ۲۰۰۱) بوده و با آن باید مانند یک اقدام طی تماس<sup>۵</sup> برخورد شود تا به IIPS ای منجر شده که حفاظتی مقرون‌به‌صرفه در هر زمان، مکان و برای هر شخص فراهم آورد. همچنین جنبه‌های مختلف یک IIPS که لحاظ نمودنش در طراحی ضروری است را شناسایی می‌نماید. یک IIPS باید به‌طور مجزا توانایی حس کردن، فکر کردن، ارتباط برقرار کردن و عمل کردن جهت حفاظت از افراد را داشته باشد. باید اثر عملیات فردی را از طریق به‌کارگیری فرم و تابع ایده‌آل ارتقا بخشد. باید معماری‌ای فراهم آورده و آخرین فن‌آوری‌های حسگری، مواد و ساخت، پردازش اطلاعات و ارتباطات را با انرژی خودش به کارگیرد. باید خودبسنده<sup>۶</sup> و دارای کاربری آسان، دارای قابلیت ارتقا یافتن و پیکربندی مجدد باشد. درحالی‌که نمی‌توان هیچ‌گونه قیمتی برای یک IIPS متصور شد (چراکه زندگی فرد یا افرادی را حفظ می‌نماید)، باین‌وجود باید از لحاظ قیمتی مناسب بوده تا بتواند گسترش یابد. در نهایت IIPS باید منجر به خروجی‌های میدانی بهتر و جراحات‌ها و مرگ‌های جانی کمتر شود.

1. Failure
2. Zero Defects
3. User-Centric
4. Real Time
5. Call to Action
6. Intuitive

## انواع سطوح حفاظتی استاندارد

برآورد خطر منجر به تعریف سامانه حفاظتی پلکانی شده که آن می‌تواند در لباس محافظ شیمیایی اتحادیه حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده یافت شود. اتحادیه حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده چهار سطح حفاظتی (سطح A، B، C و D) برای لباس‌های محافظ تعریف نموده است که تخمین اثر تهدید از عامل‌هایی مانند حجم، ترکیب و سمیت عامل تهدید، مدت در معرض تماس بودن و محیط فیزیکی امکان‌پذیر است (OSHA Technical Manual، ۱۹۹۹). سطح A بالاترین درجه حفاظت تنفسی، پوست، چشم و غشاهای مخاطی را از مواد شیمیایی جامد، مایع و گاز فراهم آورده و به‌عنوان یک لباس محافظ مقاوم شیمیایی کاملاً کیپسوله یک‌تکه‌ای با مسیرهای مسدودشده جهت جلوگیری از نفوذ گاز از مرزهایی بین شلوار، پوتین، و آستین‌ها و دستکش‌ها می‌باشد. سطح B بالاترین سطح حفاظت تنفسی (همانند سطح A)، ولی سطح پایین‌تری از حفاظت چشم و پوست را فراهم می‌آورد؛ در حالی که سطح C سطح قابل‌اغماضی از حفاظت تنفسی و حفاظت پوستی مطابق با سطح B فراهم می‌کند. نهایتاً سطح D هیچ‌گونه حفاظت تنفسی ایجاد نمی‌کند و کمی حفاظت پوستی دارد.

بنابراین چالش اساسی در فهم و نظارت IIPS در ایجاد تعادلی بین خطر، عملکرد، کاربری راحت و هزینه می‌باشد. میزان خطر باعث به وجود آوردن ملزومات عملکردی و خصوصیات ویژه می‌شود به طوری که آن‌ها نیز انتخاب مواد، ساختارها و فن‌آوری‌ها را تعیین می‌نماید. نهایتاً جهت درک عملکرد مطلوب IIPS در میدان، این پارامترها باید به صورت بهینه در تعادل قرار گیرند (شکل شماره یک)



شکل ۱: تعادلی ظریف در طراحی سامانه محافظت فردی هوشمند

### سامانه حفاظتی فردی هوشمند

هدف، حفاظت در برابر تهدیدها و به حداقل رساندن زمان تماس با تهدیدها می‌باشد، زیرا کاربر در حوزه خطر حضور دارد. نخستین مرحله حفاظت کاربر، شناسایی، مکان‌یابی و ردیابی افراد در تمامی حوزه نظارتی می‌باشد. حفاظت باید بر مبنای نوع تهدید و یا حالات بالقوه و مسیرهای آسیب به کاربر طراحی شود. انواع تهدیدها شامل نوع انفجاری، هسته‌ای، رادیولوژیکی، بیولوژیکی و شیمیایی می‌باشند. مسیرهای آسیب شامل پوستی، تنفسی، چشم‌ها و گوارشی و تزریقی (پارک، ۲۰۰۶: ۵۶) می‌باشند. کارکنانی از قبیل خط مقدم، سربازان، کارگران صنعتی و کارکنان ایمنی عمومی که برای آن‌ها IIPS در نظر گرفته می‌شود باید بسته به نوع حرفه، خصوصیات حفاظتی متغیری برای آن‌ها طراحی گردد.

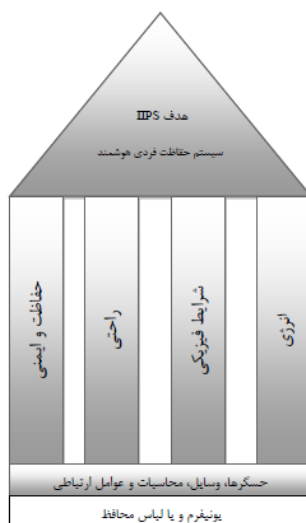
سامانه حفاظتی فردی هوشمند باید شرایط فیزیکی کاربر را در هنگام عملیات شناسایی کرده و بتواند اعمال لازم جهت حفاظت فردی را انجام دهد. این امر شامل پارامترهای فیزیولوژیکی (مانند ضربان قلب، ضربان تنفس، نوار قلب، حرارت، غلظت اکسیژن خون، سطح هیدرات و درجه تنش حرارتی به دلیل شرایط محیطی و لباس محافظ می‌باشد. علاوه بر این، وضعیت قرار گرفتن کاربر باید ذکر شود تا هرگونه تغییر ناگهانی شناسایی شود. به‌طوری‌که افتادن ناگهانی سیگنال نشان دهنده آسیب دیدن بدن باشد و درنهایت اگر کاربر به‌طور فیزیکی توسط قطعه‌ای تیز، گلوله و ... آسیب ببیند باید توسط آن آشکار گردد. تمامی پارامترهای شناسایی شده باید به نقاط دوردست منتقل شده تا هرگونه اقدام لازم از قبیل مراقبت‌های پزشکی جهت آن صورت پذیرد.

به‌علاوه، معمولاً وزنی که توسط یک سرباز جنگی حمل می‌شود بین ۳۵ تا ۴۵ کیلوگرم می‌باشد. این اضافه‌بار می‌تواند مشکلات زیادی برای سرباز ایجاد کند و باعث خستگی او شود. درنتیجه بر روی بازده جنگاوری سرباز اثر مستقیم دارد. بنابراین یکی از اهداف مطرح‌شده در این سامانه، احساس راحتی کاربر در لباس می‌باشد. این امر می‌تواند با کاهش وزن محموله صورت پذیرد. به‌علاوه، کاهش تأثیر شرایط بد آب و هوایی با کاهش گرم‌زدگی از طریق هیدراسیون و سامانه تهویه مطلوب، کاهش هیپوترمی (کم‌گرمایی) به‌واسطه گرم نگه‌داشتن کاربر و اطمینان از اینکه لباس محافظ اندازه بدن کاربر بوده، از دیگر مواردی است که باید مدنظر قرار گیرد.

همچنین، IIPS نیاز به تلفیق تعداد زیادی سنسور، وسایل محاسباتی و ارتباطی داشته تا حفاظت اولیه فراهم شود. این وسایل نیاز به برق یا انرژی داشته و این انرژی باید قابل حمل و بخشی از IIPS باشد. بنابراین با تلفیق الگوی طراحی مهندسی، IIPS مطلوب می‌تواند با توسعه فناوری‌های مواد، ساخت حسگرها، وسایل محاسباتی و ارتباطی ساخته شود. مطابق شکل شماره



دو، یونیفرم یا لباس محافظ زیرساختی بوده که مجهز به حسگرها، وسایل، فناوری‌های ارتباطی و محاسباتی می‌باشد. عامل‌هایی از قبیل حفاظت و ایمنی، کاربری آسان و شرایط فیزیکی به کاربری IIPS معنا می‌بخشند.



شکل ۲: خانه IIPS

### طراحی و ارتقای سامانه حفاظتی فردی هوشمند

ازنقطه‌نظر طراحی باقابلیت استفاده<sup>۱</sup> (کاربری)، باید سامانه به‌گونه‌ای طراحی شود تا تداخلی در مؤثر بودن و یا حرکت کاربر در شرایط کنترل محیطی ایجاد ننماید؛ آسانی کاربری سامانه باید رضایت<sup>۲</sup> را ارتقا دهد که این امر برای حفاظت از کاربر حیاتی می‌باشد. زیرا در عمل وقتی که استفاده نمودن از آن دشوار باشد، احتمالاً مورد استفاده قرار نخواهد گرفت. طراحی برای کاربری آسان باید به‌طور مشابه عامل‌هایی مانند تنفس‌پذیری، وزن، پایداری ابعادی و محدوده عامل‌های حرکتی<sup>۳</sup> را فراگیرد تا راحتی کاربر در شرایط استرس بالا فراهم گردد. در طراحی دوام یا جنبه نظارتی عامل‌های مربوط به عمر سرویس‌دهی سامانه، استفاده مکرر آن، آموزش موردنیاز برای کاربری سامانه و ذخیره‌سازی بین مراحل استفاده باید مدنظر قرار گیرد. همان طوری که قبلاً ذکر گردید، کاربر شانس دومی نخواهد داشت و بنابراین طراحی سامانه ایمنی کاملاً حیاتی می‌باشد.

1. Usability
2. Compliance
3. Motion Factors

روش FMEA (حالت‌های شکست<sup>۱</sup> و آنالیز تأثیرات<sup>۲</sup>) باید برای پیش‌بینی حالت‌های بالقوه شکست و شناسایی عکس‌العمل مناسب در طراحی وفق داده شود. درنهایت در تلفیق<sup>۳</sup> طراحی، اجزای متفاوتی که سامانه را تشکیل می‌دهند باید طراحی‌شده تا تلفیقی بدون عیب را فراهم آورند. به‌علاوه، عامل‌هایی از قبیل نشت‌دهی در بین سطوح، مدولاریتی اینتروپرابیلیتی<sup>۴</sup> (برای تسهیل جایگزینی اجزای آسیب‌دیده یا ارتقای اجزا) مدنظر قرار گیرند. بنابراین DFX الگوی مؤثری جهت اندازه‌گیری و فراهم آوردن نیازهای عملکردی موردنظر طراحی و ساخت محصول نهایی می‌باشد.

### واحدهای سازنده حفاظت، شرایط و کاربری راحت: مورد اصلی قابل پوشش

یکی از نخستین تلاش‌ها برای ارتقای IIPS تحقیقی بود که در تگ گرگیا<sup>۵</sup> توسط دارا<sup>۶</sup> تحت حمایت مالی دپارتمان نیروی دریایی ایالات‌متحده انجام گرفت و منجر به شناخت نخستین مورد اصلی قابل پوشش یا پیراهن هوشمند در جهان شد (پارک، ۱۹۹۹: ۶۳).

مدل‌های مختلف پیراهن هوشمند تولیدشده است. از خصوصیات آن‌ها می‌توان به کاربری آسان و زیبایی اشاره کرد. چنین IIPS ای که جنبه‌های حفاظتی، راحتی و شرایط مختلفی دارند. آن‌ها به‌طور ویژه می‌توانند رسوخ یک پرتابه (گلوله یا جسم تیز) را آشکار نموده و برای نخستین بار یک روش بسیار نظام‌مند و آسان برای شناسایی علائم حیاتی سربازان را فراهم آورند و همه این‌ها با روشی صورت می‌پذیرد که جلب توجه ننماید (گوپالسامی، ۱۹۹۹: ۷۲).

پیراهن هوشمند، از الیاف نوری<sup>۸</sup> برای آشکارسازی زخم‌های گلوله‌ها بهره می‌جوید. همچنین از حسگرهای مخصوص و اتصال‌های پیوسته برای شناسایی کردن علائم حیاتی بدن<sup>۹</sup> (ضربان قلب، ضربان تنفسی، نوار قلب، حرارت بدن، اگزیمتری نبض<sup>۱۰</sup> یا SpO<sub>2</sub>) در حین شرایط جنگی بهره می‌برند.

1. Failure Modes
2. Effects Analysis
3. Integration
4. Modularity Intropability
5. Georgia Tech
6. DARA
7. Gopalsamy
8. Optical Fibers
9. Body Vital Signs
10. Pulse Oxymetry

همان طوری که پردازشگرها و تراشه‌های با اهداف خاص<sup>۱</sup> می‌توانند به بورد اصلی کامپیوتر وصل شوند و توانایی‌های پردازش اطلاعات مطلوب را به دست آورند، پیراهن هوشمند نیز چارچوبی برای تلفیق وسایل حس کردن، شناسایی و پردازش اطلاعات فراهم آورده است. حسگرها می‌توانند در موقعیت مورد نظر روی بدن قرار گرفته و به پیراهن هوشمند متصل شوند. حامل داده انعطاف‌پذیر<sup>۲</sup> که در داخل ساختار تعبیه شده است، اطلاعات را از حسگرها به پردازشگر چندکاره منتقل نموده که به‌عنوان کنترل‌کننده و یا گیرنده پیراهن هوشمند عمل می‌نمایند. سپس این کنترل‌کننده، سیگنال‌ها را پردازش نموده و به‌صورت بی‌سیم<sup>۳</sup> به موقعیت مناسب از قبیل درمانگاه میدان جنگی و بیمارستان میدانی مخابره می‌نماید. حامل داده همچنین اطلاعات را از منابع خارجی به حسگرها مخابره نموده و در نتیجه پیراهن هوشمند اطلاعاتی مناسبی را فراهم می‌آورد (پارک ۲۰۰۱-۲۰۰۳). مفهوم بورد اصلی یا وصل و پخش<sup>۴</sup> بدین معناست که دیگر حسگرها می‌توانند به‌آسانی در داخل ساختار تعبیه شوند. به‌عنوان مثال برای آشکارسازی سطح اکسیژن و یا گازهای خطرناک، یک حسگر می‌تواند در پیراهن هوشمند تعبیه شده و این اطلاعات را به همراه علائم حیاتی (بدن) به مرکز فرماندهی حوادث غیر متقرب<sup>۵</sup> مخابره نماید که در نتیجه آن فرمانده می‌تواند به‌طور پیوسته شرایط خط مقدم را دنبال نموده و دستورالعمل‌های مناسب، همانند دستور تخلیه را صادر نماید. بنابراین پیراهن هوشمند مثال دیگری از شناخت IIPS با استفاده از الگوی طراحی مهندسی است.

### تعامل منسوجات هوشمند

منسوجات هوشمند با انسان‌ها و محیط تعامل دارند. منسوج هوشمند می‌تواند در زمینه‌های مختلفی فعال باشند. آن‌ها می‌توانند اثرهای پارامترهای مختلفی از قبیل: دما، تغییرات حرارت، میدان‌های الکترواستاتیک و الکترومغناطیسی، رطوبت هوا، مواد شیمیایی موجود در مرحله‌های مایع و گازی، تشعشعات، حرکات، نیروها، بوها و فعالیت‌های بیولوژیکی از طریق جذب، تولید، انعکاس و کاهش اندازه‌گیری کنند.

پارامترهای بسیاری از بدن انسان توانایی ارائه اطلاعات مفیدی در مورد وضعیت سلامت یک

1. Special Purpose Chips
2. Flexible Data Bus
3. Wireless
4. Plug and Play
5. Incident Command Center

فرد رادارند؛ بعضی از این پارامترها عبارت‌اند از: دما، پتانسیل زیستی<sup>۱</sup>، صداها، حرکات، مواد شیمیایی، پارامترهای مکانیکی و غیره. پروژه‌های تحقیقاتی زیادی برای اندازه‌گیری پارامترهای بدن انسان در حال انجام است که در آن‌ها از منسوجات به‌عنوان حسگرها و یا حامل سامانه‌های حسگری استفاده می‌شود. چنین لباس‌هایی معمولاً ضربان قلب، دما، تنفس و حالات بدن را اندازه‌گیری می‌کنند. نظارت همیشگی همراه با راهبردهای پردازش داده هوشمند، تشخیص زودهنگام شرایط مشکوک را ممکن می‌سازند.

حفاظت چارچوب دوم است؛ به این صورت که منسوج می‌تواند به‌خوبی و به‌درستی در شرایط خطرناک عکس‌العمل دهد و شناسایی صورت گیرد. این عکس‌العمل می‌تواند شامل هشدار دادن، پیشگیری و یا مراقبت و محافظت فعال باشد. بعد از به وقوع پیوستن یک اتفاق، منسوج هوشمند قادر به تحلیل موقعیت و ارائه کمک‌های اولیه می‌باشند.

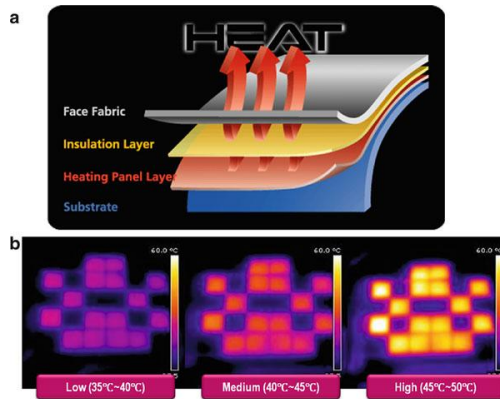
### منسوجات ارتقادهنده راحتی و آسودگی

تاریخ بارها نشان داده است که هوای سرد می‌تواند تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر روی عملکرد و آسایش سربازان در جنگ گذارد. به عنوان مثال ۹۰ درصد تلفات ارتش ۲۶ ام چین<sup>۲</sup> در سال ۱۹۵۰ در کره به علت سرمازدگی گزارش گردید (مونتروس،<sup>۳</sup> ۱۹۵۶: ۹۳). در مطالعه‌ای دیگر، خصوصیات جنگ در هوای سرد در ۲۰ درجه فارنهایت زیر صفر و پایین‌تر از آن و تجمع برف سنگین را با جنگ در محیط‌های شیمیایی مقایسه نموده است (آپکر و همکاران،<sup>۴</sup> ۱۹۸۵: ۷۴). مطالعه مذکور بیانگر نقش لباس، پوشش، نگهداری تجهیزات، حرکت‌پذیری و زمان موردنیاز برای انجام وظیفه در هوای سرد می‌باشد. در نتیجه هم مانند محیط شیمیایی، محیط سرد خودش می‌تواند سرباز محافظت نشده را از پای درآورد. معمولاً، بخش دفاع از خطر محیط شیمیایی آگاه بوده ولی از تأثیر تخریبی بالقوه هوای سرد در جنگ شناخت ندارد. بنابراین، محافظت سربازان در مقابل هوای بسیار سرد به‌اندازه محافظت از آن‌ها در مقابل تهدید عوامل شیمیایی، بیولوژیکی، پرتوزا و هسته‌ای اهمیت دارد.

یکی از راه‌های متداول گرم نگاه‌داشتن افراد در هوای سرد، استفاده از چندلایه لباس می‌باشد. هوای بین لایه‌ها مانند یک عایق مؤثر عمل می‌نماید. اگرچه این امر وزن بار سرباز را زیاد نموده و

1. Biopotentials
3. Chinese 26th army
3. Montross L, Canzona N (1956)
4. Apker D, Hammerman G, Martell P, Petterson L (1985)

باعث ایجاد ناراحتی می‌شود. روش دیگر، تعبیه المنت‌های فلزی گرمایشی در داخل لباس بوده که این نیز به نوبه خود گستره حرکتی سرباز را محدود نموده، زیرا المنت‌ها صلب و سنگین‌اند. یکی از پیشرفت‌های اخیر، همگرایی منسوجات<sup>۱</sup> با مواد هادی، فناوری چاپ و فناوری اطلاعات برای ساخت الکترونیک انعطاف‌پذیر هوشمند بر پایه پارچه می‌باشد (پرین ترونیکس، ۲۰۱۰: ۶۹). روش پرین ترونیکس الگوی سنتی پرینت برای طراحی را به پرینت برای کاربری تبدیل می‌نماید. مدارهای الکتریکی هادی کار گذاشته شده<sup>۲</sup> می‌توانند برای گستره متنوعی از کاربردها از قبیل گرمایش، انتقال سیگنال، پردازش اطلاعات، حس کردن هوشمند با حسگرهای تعبیه شده و متصل‌کننده‌ها استفاده شوند. پوشش هی تکس<sup>۳</sup> پارچه گرماده تجاری شده از فناوری پرین ترونیکس<sup>۴</sup> می‌باشد. این پوشش از ترکیب چندین لایه با گستره متفاوت از مواد هادی مطابق شکل شماره سه تشکیل شده است.



شکل ۳: واحدهای سازنده کاربری راحت: الف) ساختار ب) پخش یکنواخت گرما در دماهای مختلف

پیکربندی<sup>۵</sup> پارچه از قبیل اندازه، شکل و محدوده دمای گرمادهی می‌تواند متناسب با نوع کاربرد تنظیم شود؛ زیرا هیچ‌گونه وزن و یا حجم قابل توجهی به پارچه معمول اضافه نمی‌کند. به‌علاوه، خواص ذاتی مواد پایه برای لباس موجود در شکل شماره چهار تغییر نمی‌کند. همچنین هی تکس می‌تواند در یک ماشین معمول لباسشویی شستشو شود بدون اینکه عملکردش را از

1. Convergence of Textile
2. Embedded Conductive Electrical Circuits
3. HeaTex
4. PrinTronix
5. Configuration

دست بدهد. علاوه بر این، مطالعات نشان می‌دهد که تابش فروسرخ از المنت‌های گرمایشی در هی تکس باعث افزایش جریان خون پوشنده لباس می‌شود (پیرین ترونیکس، ۲۰۱۰: ۹۹)؛ همچنین خواص ضدباکتری با سرعت کاهش باکتریواستاتیک<sup>۱</sup> ۹۹/۹ درصد فراهم می‌آورد. این توانمندی‌های اضافی در نهایت به راحتی سرباز در جنگ کمک می‌کند.



شکل ۴: ژاکت *HeaTex*

بنابراین، یک IIPS که هی تکس در آن تعبیه شده است می‌تواند سرباز را در هوای سرد راحت نگاه داشته و تأثیر عملیاتی‌اش در میدان را حفظ نماید. این واحدهای سازنده راحت می‌توانند ارزش مازاد برای حفاظت و شرایط واحدهای سازنده‌ای باشد که قبلاً بحث گردید. در کار دیگر، کیبورد سنتی در یک IIPS توسط سطوح لمسی جایگزین شده است. این سطوح برای عمل و انجام دستورات مختلف بر پایه هدایت از طریق دستان کاربر عمل می‌نماید. وقتی کاربر برای حفاظت در برابر سرما، و مواد خطرناک دستکش پوشیده است صفحه لمسی عمل نخواهند کرد زیرا دستکش مانند عایق الکتریکی عمل می‌نماید. در آوردن دستکش‌ها برای استفاده از وسیله انتخاب معقولی نمی‌باشد زیرا ممکن است به دستان کاربر آسیب رسد. یک راه‌حل، تلفیق مواد هادی بر روی سرانگشتان دستکش بوده تا لایه‌ای هادی بین انگشتان و وسیله فراهم آورد. بنابراین حفاظت دستان سرباز و کار با صفحه لمسی به‌طور همزمان فراهم می‌گردد. مثال تجاری، دستکش *exip™* از شرکت *The North Face* بوده که در شکل شماره پنج آمده است.



شکل ۵: شمای کلی از دستکش exip™

### حسگرهای منسوجات هادی

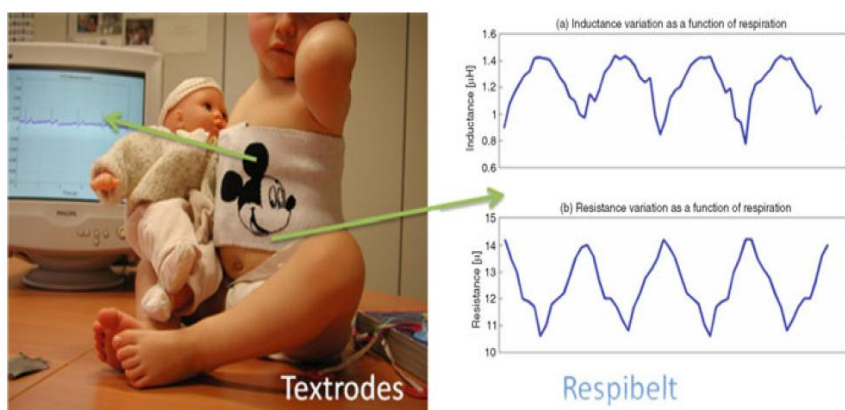
یکی از اولین کاربردهایی ساختار منسوجات هوشمند به عنوان حسگر، استفاده در ثبت ضربان قلب می‌باشد. چنین ساختارهایی به عنوان تکستروُد<sup>۱</sup> معرفی شدند و در ساختار آن‌ها ۱۰۰ درصد از الیاف منسوجات استفاده گردید. جایگزین کردن الکترودهای متداول با تکسترودها منجر به ایجاد سامانه منسوج هوشمند می‌شود. به طوری که کیفیت سیگنال‌ها به طور چشمگیری بهبود می‌یابد (اسکوارز، ۲۰۱۰<sup>۲</sup>: ۸۷).

کاربرد دوم آن‌ها ردیابی کردن و نظارت بر فرآیند تنفس می‌باشد. در این زمینه دو اصل می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. هر دو بر پایه نخ‌های<sup>۳</sup> رسانا می‌باشند که در کمربندی به نام رسپیلت<sup>۴</sup> که به دور سینه پیچیده می‌شود باهم یکپارچه شده‌اند. زمانی که از یک نوار لیف نخ‌ی استفاده می‌شود، جریان باید از یک نوار لیف رسانا به نوار لیف رسانای دیگر انتقال یابد. علاوه بر مقاومت الیاف، مقاومت کلی از طریق مقاومت تماسی در سطح مشترک الیاف با یکدیگر تعیین

1. Textrodes
2. Schwarz A (2010)
3. Yarns
4. Respibelt

می‌گردد. وقتی که نخ در معرض فشار قرار می‌گیرند (به‌عنوان مثال به دلیل کشیده شدن) فشرده‌تر می‌شوند و در نتیجه تعداد نقاط تماسشان افزایش می‌یابد و مقاومت تماس کاهش می‌یابد. این منجر به کاهش مقاومت کلی ساختار نخ می‌شود. تنفس موجب یک چرخه از انبساط و انقباض سینه می‌شود که این منجر به افزایش/کاهش طول رسیپبلت می‌شود.

مکانیزم دوم، نخ‌های رسانا در کمر بند را به‌عنوان یک کویل الکترومغناطیس در نظر می‌گیرند که ضریب خودالقایی‌اش بر اثر تنفس تغییر می‌کند. شکل شماره شش سیگنال‌های دریافت شده توسط چنین حسگری را نشان می‌دهد.

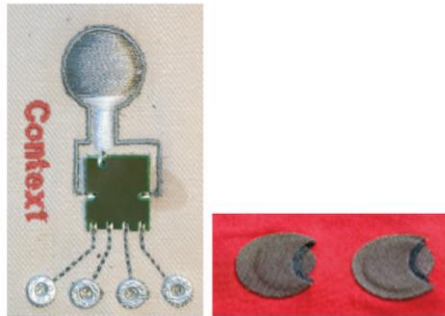


شکل ۶: حسگرهای تنفسی و قلبی بر پایه منسوجات هوشمند

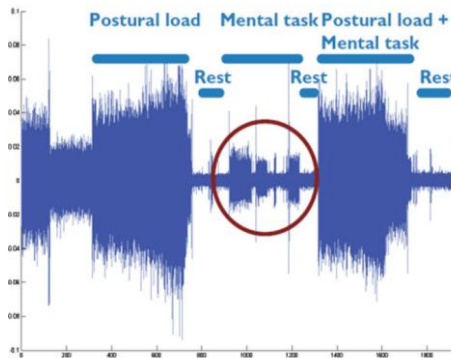
اساساً تکسترودها پتانسیل بیولوژیکی لازم برای انقباض عضلات قلب را اندازه‌گیری می‌کنند. هر ماهیچه‌ای در بدن توسط یک پتانسیل بیولوژیکی هدایت می‌شود. بنابراین تکسترودها می‌توانند جهت اندازه‌گیری فعالیت عضلات نیز به‌کاربرده شوند. با این وجود، هدایت رسانایی پوست بسیار ضعیف می‌باشد و به دلیل فشردگی مواد منسوجات و همچنین حرکات زیاد میزان نوسانات مقاومت تماس افزایش می‌یابد به طوری که باعث ایجاد نویز زیاد می‌گردد. از جوهره بعضی پروژه‌های اروپایی، حسگر بدون تماس توسعه‌یافته است. آن‌ها از فناوری لعاب دادن و ورقه کردن برای ایجاد حسگرهای EMG استفاده کردند تا استرس در موقعیت‌های حرفه‌ای ردیابی گردد (شکل شماره هفت). هدایت رسانایی مواد هادی غالباً تحت تأثیر چندین پارامتر قرار دارد که بر



مکانیزم هایی قابل استفاده به عنوان یک حسگر اثرگذار است. قانون پویل<sup>۱</sup> اولین مثال می باشد. این قانون چگونگی کاهش هدایت از طریق افزایش انبساط مواد را توصیف می کند. گرم کردن، خیس کردن و جذب ترکیبات شیمیایی عموماً منجر به افزایش یا کاهش هدایت رسانایی می گردد. افزودن کربن نانوتیوب ها در الیاف باعث افزایش هدایت آن ها می شود. هر مکانیزمی که منجر به بلند و کوتاه شدن الیاف شود، فاصله بین نانو ذرات را تغییر می دهد و در نتیجه منجر به تغییر در رسانایی می شود. انبساط گرمایی در این زمینه، اساس الیاف حساس به حرارت می باشد (شکل شماره هشت) (لانگنهو،<sup>۲</sup> ۲۰۰۲: ۹۱).



شکل ۷: حسگر لعاب شده یا ورقه ای برای میوگرافی<sup>۳</sup>



شکل ۸: ثبت نتایج میوگرافی از طریق منسوجات هوشمند

1. Pouillet's Law
2. Van Langenhove L (2002)
3. Myography

## منسوجات و تنظیم حرارت

مواد هادی در اثر عبور جریان از آن‌ها گرم می‌شوند. پولارتک<sup>۱</sup> یک پشم گرم‌کننده ارائه داده است (پولارفلیس، ۲۰۱۱: ۶۹). آن از الیاف استیل ضدزنگ که با باتری‌های معمولی تقویت می‌شود استفاده می‌کند. همچنین سفار<sup>۳</sup> عنصرهای گرم‌کننده بافته‌شده‌ای را تجاری‌سازی می‌کند.

خنک کردن به مراتب چالش‌برانگیزتر از گرم کردن می‌باشد. پروژه اتحادیه اروپا به نام پروسپی<sup>۴</sup> چندین روش سرد کردن را بررسی کرده است. در ابتدا تهویه انجام می‌شود و در ادامه مواد تغییر مرحله مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای اغلب مواد، رطوبت پذیری یک فرآیند گرمازا می‌باشد. همچنین نمک‌های قرار داده‌شده در ساختارهای منسوج می‌تواند اثر سرمای اولیه را به وسیله رطوبت پذیری (تعریق) ایجاد کند.

شرکت ایتالیایی گرادو زیرو<sup>۵</sup> لوله‌های بسیار نازکی که مایع خنک‌کننده می‌تواند در آن گردش کند را در ساختارهای منسوج قرارداد. نمونه لباس مسابقه‌ای FI ساخته شده است. مایع توسط یک عنصر پلتیر<sup>۶</sup> کوچک که در پشت لباس قرار داده شده مطابق شکل شماره نه سرد می‌گردد.

با تغییر شرایط از جمله دما و شدت فعالیت ممکن است نیاز برای عایق‌کاری نیز تغییر کند. عایق‌کاری قابل تنظیم به وسیله پارچه چندلایه که فاصله بین لایه‌ها قابل تغییر است به دست می‌آید. یک مثال از چنین محصولی یک کت قابل باد کردن است که هوا باید در آن دمیده شود تا لایه‌ها از هم جدا شوند. محصول دیگر حاوی لایه درونی پنبه‌ای راحت و لایه خارجی ضد حرارت آرامید<sup>۷</sup> می‌باشد. هنگامی که حرارت از یک حد مجاز می‌گذرد لایه‌ها توسط فنرهای نواری حافظه از یکدیگر جدا می‌شوند. این محصول در دمای بسیار پایین بسیار نازک و راحت است، درحالی‌که در دماهای بالاتر به صورت خودکار محافظ حرارتی ایجاد می‌شود.

1. Polartec
2. Polarfleece
3. Sefar
4. Prospie
5. Grado Zero
6. Peltier
7. Aramid



شکل ۹: لباس خنک‌کننده پایوت F1

تهویه قابل تنظیم و تعدیل که مناسب شرایط باشد بر پایه ساختار میوه آناناس است. این میوه از چندین لایه با ضریب بسط هیگرال<sup>۱</sup> بسیار متفاوت تشکیل شده است. در شرایط مرطوب، برگ‌های آناناس بسته می‌باشند. زمانی که به ویژه در بهار شرجی بودن هوا کاهش می‌یابد، برگ‌ها به بیرون و دور از هم خم می‌شوند و آناناس باز می‌شود تا دانه‌ها بتوانند به بیرون راه پیدا کنند. به همین شکل، لایه‌های مختلفی از پوشش برای پارچه به کار برده شده است. سوراخ‌های U شکل بر روی پارچه و پوشش ایجاد می‌گردد. هنگامی که مواد مرطوب می‌شوند، تیغه‌های سوراخ‌ها خم می‌شوند و تأثیر بسیار زیادی بر روی تهویه دارند. این سامانه به‌طور کامل برگشت‌پذیر می‌باشد.

مواد تغییر مرحله در دهه ۱۹۹۰ توسط ناسا<sup>۲</sup> برای مقابله با تغییرات وسیع و سریع حرارت در کابین‌های فضایی توسعه یافتند. این مواد از کپسول‌های بسیار ریز با پوسته‌ای سخت که از واکس‌های پارافین متفاوتی پر شده تشکیل شده‌اند. این مواد از حرارت ذوب<sup>۳</sup> که بسیار بالاتر از اندازه گرمایی<sup>۴</sup> است بهره می‌گیرند. در نتیجه این مواد ظرفیت محافظ گرمایی بسیار بالایی دارند. دمای ذوب میزان گستره دمایی قابل استفاده را تعیین می‌کند.

1. Hygral
2. NASA
3. Melting Heat
4. Caloric Value

کنترل رطوبت و شرجی بودن هوا در آسودگی گرمایی بسیار مهم می‌باشد. عرق کردن یک مکانیزم طبیعی برای کنترل گرماست. تبخیر عرق یک فرآیند کاهش دماست. اما درعین حال عرق همچنین حس بدی از خیسگی و سردی نیز می‌دهد. در لباس‌های آتش‌نشانان عرق نمی‌تواند خارج شود و در خود لباس نفوذ می‌کند. تراکم محلی ممکن است باعث کاهش عایق گردد و تبخیر ممکن است منجر به شکل گرفتن بخار شود. هردوی این تأثیرات می‌تواند منجر به جراحتهای سوختگی شود. با استفاده از یک طراحی مناسب که از انتخاب و تلفیق مواد مناسب تشکیل شده باشد، می‌توان رطوبت را به اندازه کافی خارج کرد. برای مثال می‌توان رطوبت را به محلی خاص انتقال داد تا به وسیله هیدروژل<sup>۱</sup> جذب شود.

از طرفی دیگر عرق نشان‌دهنده سلامت بدن است. در پروژه بیوتکس<sup>۲</sup>، ابزارهایی برای اندازه‌گیری پارامترهای عرق از قبیل PH، هدایت، سرعت تعریق، غلظت یون‌های پتاسیم، کلرید و سدیم توسعه داده شده است. در میان این پارامترها، پارامتر آخر اطلاعات بسیار خوبی در مورد دی هیدراسیون<sup>۳</sup> بدن می‌دهد که بسیار مرتبط با آتش‌نشانان و ورزشکاران می‌باشد. به‌غیر از عرق، PH هم اطلاعات بسیار مناسبی در مورد فرآیند بهبود یک زخم می‌دهد. حسگر منسوج سازگار در پروژه بیوتکس طراحی شد. آسودگی گرمایی بسیار مهم می‌باشد زیرا دمای بالا منجر به خستگی شده و در شرایط بسیار بحرانی منجر به غش کردن فرد می‌شود. باوجوداین، منسوجاتی که تمام حرارت را تنظیم کنند در حال حاضر در دسترس نیستند. این مثال مناسبی است از آنچه نیاز است انجام شود تا بتوان کاملاً از منسوجات هوشمند بهره برد.

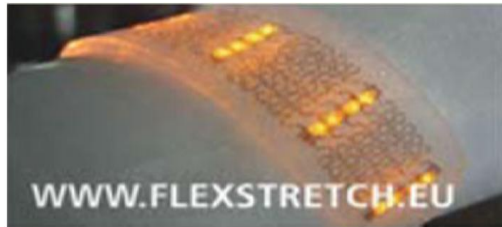
سؤال اول در مورد اندازه‌گیری سطح دمایی است که منجر به آسودگی شود. تعدادی از پارامترهای بدن از قبیل حرارت پوست، رطوبت و هدایت می‌توانند اندازه‌گیری شوند، اما حسگرهای منسوج واقعی همچنان در حال توسعه یافتن هستند. تلاش‌های بیشتر باید برای تفسیر داده‌ها برای کمی کردن سطح گرمای آسودگی انجام گردد. ثانیاً محرک‌های کافی برای حرارت دادن، خنک کردن، عایق کردن، تهویه کردن و تنظیم کردن رطوبت لازم است. در حال حاضر جز برای حرارت دادن هیچ محرک مؤثری برای منسوج وجود ندارد. ثالثاً، احساس آسودگی گرمایی ناشی از دما امری بسیار شخصی می‌باشد. بنابراین مدل‌های خودآموز پیشرفته و راهبردهای کنترل موردنیاز می‌باشد. با این وجود، کار بسیار زیادی باید انجام شود تا منسوج تنظیم‌کننده دما به حقیقت بپیوندد.

1. Hydrogels
2. Biotex
3. Dehydration

## منسوجات نوری<sup>۱</sup>

الیاف نوری می‌توانند به‌عنوان حسگرها و محرک‌ها به‌کاربرده شوند. در کاربرد منسوجات سه مکانیزم تغییر رنگ مواد، قانون اسنیل<sup>۲</sup> و قانون براگ<sup>۳</sup> می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. تغییر رنگ موادی که بر روی لیف نوری پوشش داده شده‌اند می‌تواند توسط ابزارهایی خوانده شوند. چالش اصلی ثابت کردن چنین رنگ‌دانه‌ها در مواد پلیمری است. به‌علاوه پیوند رنگ‌دانه‌ها با برخی از گروه‌های موجود در پلیمر باعث تداخل در مکانسیم تغییر رنگ می‌شود به‌طوری‌که تغییر رنگ ناپدید می‌گردد. الکسندر<sup>۴</sup> از رنگ‌دانه گرفته‌شده از حلزون‌ها استفاده کرد که در زیر نور UV تغییر رنگ می‌دهد. در یوجنت<sup>۵</sup>، محققان رنگ‌دانه‌های حساس به PH را مورد بررسی قرار دادند. هدف استفاده از آن‌ها در پوشش‌های زخم، سرعت بخشیدن به بهبودشان می‌باشد. در اینجا هم چالش اصلی چسباندن این رنگ‌ها به منسوجات بدون این‌که تغییر رنگ از بین برود. محرک‌های لیف نوری می‌توانند به‌آسانی از طریق آسیب به پوشش لایه الیاف نوری شناسایی شوند باعث خارج شدن نور می‌شود. تلکوم فرانس<sup>۶</sup> لباسی توسعه داد که الیاف نوری در ماتریس ۸×۸ جاگذاری می‌شود. هر لیف نوری به‌وسیله LED کوچک روشن می‌شود. این پیراهن به‌عنوان وسیله ارتباطی تصویری در زمانی که سروصدا در محیط اجازه برقراری ارتباط با صدا را نمی‌دهد به کار می‌رود (کاتریس، ۲۰۰۴: ۸۵).

در پروژه لومالیو<sup>۷</sup> در فیلیپس، LED های کوچک‌شده به‌طور مستقیم در داخل منسوج ساخته می‌شود. در پروژه استیلا<sup>۸</sup>، LED های کوچک‌شده در منسوجات کشی قرار داده شده‌اند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: پرینت کشی با ساختار LED

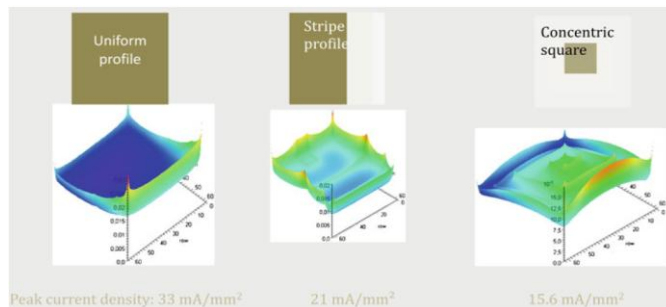
1. Optical
2. Snell
3. Bragg
4. Alexander
5. UGent
6. France Telecom
7. Lumalive
8. Stella

پیشرفت‌های بیشتر می‌تواند در زمینه چاپ مستقیم LED ها در بستر منسوج انجام شود. بازده کم لایه‌ها فعال الی و حساسیت بالای آن‌ها به اکسایش از جمله مشکلات عمده آن‌ها می‌باشد.

### محرك‌های منسوجات هوشمند

همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، پلیمرهای هادی می‌توانند در حسگرهای منسوجات مورد استفاده قرار گیرند. تکسترودهایی طراحی شده برای ردیابی پتانسیل‌های بیولوژیکی می‌توانند همچنین به‌عنوان محرك‌های الکتریکی نیز به‌کاربرده شوند. تحریک الکتریکی برای اهداف زیادی مؤثر می‌باشند. متناسب با کاربرد، نیروی محرکه می‌تواند از ضعیف به قوی تغییر می‌کند. به‌عنوان مثال، محرك لمسی به‌شدت جریان بالایی نیاز ندارد. سطح بالای از تحریک جهت مقاوم‌سازی بافت و جلوگیری از زخم بستر برای تحریک پوست مورد نیاز است. کاربرد دیگر آن‌ها افزایش قابلیت نفوذپذیری پوست برای بهبود انتقال دارو می‌باشد. در میدان الکتریکی بالا می‌توان عبور داروهای زیادی را از طریق پوست انجام داد. فعال‌سازی واقعی ماهیچه‌ها بالاترین سطح تحریک را می‌طلبد. اثرات موردنظر گرم شدن یا تمرین ماهیچه‌ها می‌باشد.

تحریک واقعی تنها می‌تواند به‌وسیله دانسیته جریانی بالا به دست آید. توزیع جریان در الکترودهای هادی غیریکنواخت می‌باشد و باعث تولید پیک‌های محلی می‌شود. تولید حرارت با مجذور شدت جریان متناسب است، بنابراین تراکم پیک‌های جریان به نقاط داغ محلی مرتبط است. این ممکن است منجر به جراحت‌های سوختگی شود. تمرکز جریان در لبه‌های یک الکتروود و مخصوصاً در گوشه‌ها رخ می‌دهد. پروفایل دانسیته جریان هموزن می‌تواند از طریق تغییر هدایت محلی الکتروودها به دست آید. مدل‌هایی برای اندازه‌گیری توزیع تراکم جریان برای الکتروودها با پروفایل‌های هدایت متنوع بنانهاده شده است. مطابق شکل شماره ۱۱، شدت جریان پیک با تغییر الکتروود از هموزن (زیاد در میانه و کم در بیرون) به منطقه‌ای (محلی) به بیش از نصف کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱: توزیع دانسیته جریان در طراحی الکتروود مختلف

چندین نمونه اصلی تولیدشده است. آن‌ها از چندین الیاف هادی (استیل ضدزنگ، پوشش داده‌شده با مس، پوشش داده‌شده با طلا) و روش‌های تولید (جا دادن کامل نخ رسانا، لعاب دادن، ورقه کردن) استفاده کرده‌اند. در چارچوب پروژه اروپایی Lidwine، با استفاده از این الکترودها تست‌های کلینیکی انجام‌شده است.



شکل ۱۲: برخی از محصولات منسوجات هوشمند

### آینده حفاظت هوشمند

امروزه، نیاز به رویکردی بین‌رشته‌ای برای حفاظت فردی هوشمند بسیار ضروری می‌باشد. این بدین معناست که باید به‌عنوان زمینه‌ای جدید و دانشی که هم بنیادی و هم کاربردی است لحاظ گردد؛ زمینه‌ای که دیگر رشته‌ها: مواد / نساجی / مهندسی، الکترونیک، ساخت و مهندسی سامانه؛ ارتباطات و محاسبات را به هم پیوند می‌دهد. رویکردی بین‌رشته‌ای جنبه‌های جدید از پیشرفت‌های انقلابی در IIPS را گرد هم می‌آورد. این امر برای تمرکز بین‌رشته‌ای بر روی موضوع حفاظت فردی هوشمند می‌باشد که در مقایسه با آنچه هرکدام از دیگر زمینه‌ها می‌توانند در موضوع IIPS داشته باشند اهمیت بیشتری دارد.

در خاتمه باید اذعان نمود که پیشرفت‌های فناورانه به‌طور مؤثری در ارتقای کیفیت زندگی سربازان شرکت جسته است و سرعت پیشرفت بسیار بالا می‌باشد. زمینه لباس و منسوجات مرتبط دفاعی به‌خوبی این پیشرفت‌ها را برای تبدیل حفاظت و ایمنی فردی و درک هدف نهایی از حفاظت مقرون‌به‌صرفه در هر زمان و هر مکان و برای هر شخص پدید می‌آورد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ازجمله تهدیدهای مهم می‌توان به عوامل شیمیایی، بیولوژیکی، متداول و هسته‌ای اشاره کرد. نخستین مرحله ضروری در طراحی و ارتقای سامانه حفاظتی فردی هوشمند (IIPS)، شناخت انواع تهدیدهای مهم و برآوردی از آسیب‌شناسی سامانه یا فرد در مقابل تهدید و خطر می‌باشد.

پیشرفت‌های سریع در فناوری مواد، شیوه تولید، حسگرها، محاسبات و ارتباطات باعث ایجاد راه‌حل‌هایی برای ارتقای حفاظت از زندگی مردم شده است. سامانه حفاظت فردی هوشمند کاربر-محور<sup>۱</sup> می‌باشد و حفاظتی آسان، سریع و مؤثر فراهم می‌کند تا در برابر گستره وسیعی از تهدیدها بر مبنای آگاهی از موقعیت و برآورد زمان واقعی<sup>۲</sup> مؤثر شود. از آنجایی که یونیفرم سرباز همواره بر تن آن پوشیده است بنابراین یک انتخاب منطقی به‌عنوان زیربنا و یا سکویی برای سامانه حفاظتی فردی هوشمند می‌باشد. بنابراین، لباس و منسوجات هوشمند به‌طور شگفت‌انگیزی در بهبود حفاظت و ایمنی فردی و درک هدف نهایی مؤثر واقع می‌شوند تا حفاظت مقرون‌به‌صرفه در هر زمان و هر مکان و برای هر شخص را پدیدآورند. درنهایت، منسوج هوشمند می‌تواند فرآیند بهبود را پشتیبانی و پیگیری کند. پشتیبانی برای بهبود و بازتوانی می‌تواند به‌صورت دارویی، شیمیایی و یا فیزیکی باشد. مواد منسوجات می‌توانند به بهبود و بازتوانی کمک‌های بسیاری بکنند. آن‌ها می‌توانند به‌صورت فعال کمبودهای بدن را جبران کنند و یا فعالیت‌های خاصی را بر عهده بگیرند.

## منابع

- Apker D, Hammerman G, Martell P, Petterson L (1985) Cold-weather combat: analogies to chemical combat. Institute for Defense Analyses, Alexandria, VA, USA, pp 1
- Catrysse M, Puers R, Hertleer C et al (2004) Towards the integration of textile sensors in a wireless monitoring suit. *Sensor Actuat A Phys* 114(2-3):302-311.
- Gopalsamy C, Park S, Rajamanickam R, Jayaraman S (1999) The wearable motherboard™: the first generation of adaptive and responsive textile structures (ARTS) for medical applications. *J Virtual Real* 4:152-168
- IOM (2001) Crossing the quality chasm: A new health system for the 21st Century. Committee on Quality of Healthcare in America. Institute of Medicine, Washington DC, 2001
- Montross L, Canzona N (1956) The Chosin Reservoir campaign. In: U.S. Marine Operations in Korea, vol 3. The Battery Press, Nashville, p 354
- OSHA Technical Manual TED 01-00-015 [TED 1-0.15A] (1999) Chemical protective clothing, section VIII, Chapter 1, [http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm\\_viii/otm\\_viii\\_1.html](http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_viii/otm_viii_1.html) Last Accessed May 2010
- paraaramid yarns through electroless deposition. *Surf Coat Tech* 204(9-10):1412-1418.
- Park S, Gopalsamy C, Rajamanickam R, Jayaraman S (1999) The wearable

1. User-centric  
2. Real time



motherboard™: an information infrastructure or sensate liner for medical applications. In: *Studies in health technology and informatics*, vol 62. IOS Press, Amsterdam, pp 252–258

Park S, Jayaraman S (2001) Adaptive and responsive textile structures. In: Tao X (ed) *Smart fibers, fabrics and clothing: fundamentals and applications*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp 226–245

Park S, Jayaraman S (2003) Smart textiles: a platform for sensing and personalized mobile information processing. *J Text Inst* 94(3):87–98

Park S, Jayaraman S (2003) Smart textiles: wearable electronics systems. *MRS Bull* 28(8):585–591

Park S, Jayaraman S (2006) Intelligent textiles for personal protection and safety: the emerging discipline. In: Jayaraman S, Kiekens P, Grancaric A (eds) *Intelligent textiles for personal protection and safety*. IOS Press, Amsterdam, pp 5–19

Park S, Jayaraman S (2009) Wearable sensor networks: a framework for harnessing ambient intelligence. *J Ambient Intell Smart Environ* 1(2):117–128

Polarfleece, <http://www.polartec.com/warmth/polarfleece/>, Accessed 22 November 2011.

PrinTronix (2010) Kolon Glotech, Inc., Seoul, South Korea, [http://www.kolonheatex.com/english/technical01.aspx?fp\\_name=technical01&pn=1&sn=1](http://www.kolonheatex.com/english/technical01.aspx?fp_name=technical01&pn=1&sn=1), Last Accessed Mar 2010.

Schwarz A, Hakuzimana J, Kaczynska A, Banaszczyk J, Westbroek P, McAdams E, Moody G, Chronis Y, Priniotakis G, De Mey G, Tseles D, Van Langenhove L (2010) Gold coated

Van Langenhove L, Hertleer C, Catrysse M, Puers R, Van Egmond H, Matthys D (2002) Intelligent textiles for children in a hospital environment, 2nd AUTEX conference, Brugge 1-3/7/2002, pp 44–48.