

## نانو تکنولوژی نظامی

روح اله عبداللهی<sup>۱</sup>، مهدی ابراهیمیان<sup>۲</sup>، نیما رستمی<sup>۳</sup>

پذیرش مقاله: ۹۹/۰۲/۱۲

دریافت مقاله: ۹۹/۰۱/۰۸

### چکیده

فناوری نانو واژه‌ای است کلی که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرضه کار با مقیاس نانو اطلاق می‌شود. طراحی سیستم‌های مورد استفاده در مانیورینگ موشکی بهتر شده و ترکیب نانو تکنولوژی و میکروالکترومکانیکال کنترل سیستم‌های دفاع موشکی را به صورت پیشرفته فراهم می‌کند. استفاده در ماهواره، کشتی، زیردریایی، ماشین‌های آتش‌بار، آشکارسازی عوامل جنگ‌نوبین، بیونابزار، رایانه‌ها و ربات‌های بسیار کوچک، نانو کاتالیزورها، نانولوله‌های کربنی، گرافن، اسمبلرها و خود همانندسازها، نانو کامپوزیت‌ها، نانو ذرات مغناطیسی، مواد منفجره قدرتمند نانو ساختار (فناوری آیروزل)، نانو ربات‌ها در سلول‌ها و غیره از دیگر کاربردهای نانو تکنولوژی نظامی می‌باشد. خطرات نانو تکنولوژی گسترده وسیعی از جمله آلودگی محیط‌زیست و افزایش عدم تعادل و جابجایی نیروی کار، ریزگردها، مخاطرات ثانویه نانو اسمبلرها و خود همانندسازها، هوش مصنوعی با قابلیت انسانی، صنایع رباتیک از نانو مقیاس تا ماکرو مقیاس، محصولات ابر خودکار و نانو ابزارهایی که در بدن انسان بکار می‌روند، را در بردارد. از دیدگاه امنیت بین‌المللی، در نظر گرفتن خطرات جدیدی که برای کنترل تسلیحات و قوانین بین‌المللی جنگی به وجود می‌آید، به خطر افتادن ثبات با انجام مسابقات تسلیحاتی و گسترش آن و خطراتی که این فناوری برای انسان و محیط‌زیست دارد، نیز قابل ذکر می‌باشد. در این مقاله ابتدا فناوری نانو معرفی شده و سپس تحقیقات علمی برای به خدمت گرفتن آن در عرصه نظامی، کاربردهای بالقوه نظامی، تسلیحات شیمیایی، میکروبی و هسته‌ای، نانو تکنولوژی، قابلیت‌های حفاظتی نانو تکنولوژی مولکولی، رویکرد سیستم بین‌المللی در رابطه با محدودیت‌های فناوری نانو در بخش نظامی به همراه پیشنهادهایی جهت کنترل تسلیحات نانو فناوری نظامی ارائه گردیده است.

**واژگان کلیدی:** نانو تکنولوژی، مانیورینگ، میکروالکترومکانیکال، نانولوله‌های کربنی، نانو مغناطیس.

۱. مدرس دانشگاه حضرت امیرالمومنین (ع)، اصفهان (نویسنده مسئول) rabdolahi1313@gmail.com

۲. مدرس دانشگاه حضرت امیرالمومنین (ع)، اصفهان.

۳. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، مرنند، ایران louipasteur3003@gmail.com

## مقدمه

فناوری نانو یکی از رشته‌های نوین است که با کمک علمی مانند مهندسی، علوم پایه، پزشکی و حصول بهره‌وری بیشتر و صرف انرژی کمتر، موجب توسعه پایدار نظام اقتصادی کشورها شده است. طبق برآورد دانشگاه صنعتی سلطنتی مهندسی انگلستان، فناوری نانو از توان ایجاد تغییر بنیادین در بسیاری از زمینه‌ها از جمله صنایع نظامی، فناوری اطلاعات، پزشکی و مسائل مربوط به پزشکی برخوردار است (تدینی، ۱۳۹۵: ۲۵۸).

فناوری نانو یک مبحث میان‌رشته‌ای است که با استفاده از ویژگی‌هایی با کیفیت‌های متفاوت در مقیاس نانو، کوچک‌سازی مؤثر قطعات و استفاده از پردازش‌های مولکولی، مانند آنچه در زندگی هست، پیش به سوی تولید اجسامی مستحکم‌تر ولی سبک‌تر، سلول‌های خورشیدی تک‌وین یافته، رایانه‌های کوچک‌تر با سرعت فزاینده و با قدرت نمایش هوش مصنوعی، نانو ابزار، ربات‌های کوچک و بزرگ مستقل همراه است (آلمن، ۱۳۹۰: ۴).

نانوتکنولوژی نظامی، یکی از انواع حضور فناوری‌های نو در فضای مخاصمات مسلحانه با تأثیر فزاینده آن بر تمامی جنبه‌های علوم و صنایع نظامی تلقی می‌شود. کاربرد نانوتکنولوژی به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوین به حدی در حوزه‌های امنیتی - دفاعی در حال گسترش است که از آن به‌عنوان انقلاب صنعتی نوین در عرصه بازدارندگی نام‌برده می‌شود.

گسترش نانو الکترونیک امکانی ایجاد می‌کند که بشر بیشتر بر اطلاعات احاطه داشته باشد و در نتیجه مانورهای نظامی قدرت و دقت بیشتری پیدا می‌کند. افزایش استفاده از سیستم اتوماسیون روبات‌ها ضعف بشر را در امور نظامی جبران می‌کند و از خطرات احتمالی می‌کاهد و عملکرد ماشین‌های نظامی را بهتر می‌کند. سیستم‌های نانو تکنولوژی به میزان زیادی از وزن هواپیماهای بدون سرنشین کم می‌کند، در نتیجه هواپیماها می‌توانند مأموریت‌های طولانی‌تری انجام دهند و چابکی هواپیماهای جنگی در مانورها بیشتر می‌شود. هواپیماهای جنگی آینده به خلبان متکی نیستند و این باعث می‌شود اثربخشی مأموریت‌ها افزایش یابد. در واقع نانوفناوری نظامی به معنی وزن سبک، قدرت بالا و عملکرد بهتر برای ماشین‌های جنگی و مأموریت‌های نظامی است، توسعه فناوری نانو، سیستم‌های نظامی را کمتر به استفاده از نیروی جسمانی بشر نیازمند می‌سازد همین موضوع احتمال شکست و ریسک را پایین می‌آورد (تدینی، ۱۳۹۵: ۳۱).

کاربردهای فناوری نظامی نانو عمدتاً در کاربردهای پشتیبانی و لجستیکی این فناوری مشهود است به گونه‌ای که این کاربردها جنبه آفندی ندارند بلکه بیشتر برای حفاظت از سربازان خودی، تحرک پذیری بیشتر وسایل نقلیه نظامی یا مقاومت بیشتر ادوات زرهی در برابر حرارت استفاده می‌شوند. از جمله می‌توان به کاربرد فناوری نانو در تولید مواد و عناصر پرتوزا که از قابلیت بالاتری در احتراق، پیش‌رانش و انفجار نسبت به مواد و عناصر عادی پرتوزا برخوردارند یا در پودرهای فلزات مانند آلومینیوم که به‌عنوان عایق برای تجهیزات نظامی به کار می‌روند، اشاره کرد (هیتوشی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴: ۱۴۶).

از دیگر کاربردهای نانو تکنولوژی در عرصه‌های نظامی؛ بهبود حسگرها که حساسیت در مقابل حملات موشکی، بیولوژیکی و شیمیایی را افزایش می‌دهد. همچنین طراحی سیستم‌های مورد استفاده در مانیتورینگ موشکی بهتر شده و ترکیب نانو تکنولوژی و میکروالکترومکانیکال کنترل سیستم‌های دفاع موشکی را به‌صورت پیشرفته فراهم می‌کند، استفاده در ماهواره، کشتی، زیردریایی، ماشین‌های آتش‌بار، آشکارسازی عوامل جنگ نوین، بیو نانو ابزار، رایانه‌ها و ربات‌های بسیار کوچک، نانو کاتالیزورها، نانولوله‌های کربنی، گرافن، اسمبلرها و خود همانندسازها، نانو کامپوزیت‌ها، نانو ذرات مغناطیسی، مواد منفجره قدرتمند نانو ساختار (فناوری آیروزل)، نانو ربات‌ها در سلول‌ها برای عمل بر روی DNA، ترکیب پروتئین و غیره از دیگر کاربردهای نانو تکنولوژی نظامی می‌باشد (کریشنا<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰: ۱۱۰).

نانو حسگرها که اندازه‌شان از ۱۰۰ نانومتر فراتر نمی‌رود بر مبنای نانو مواد و نانو سیستم‌ها، انقلابی نوین در عرصه امنیت فضای مخصصاتی برای طرف استفاده‌کننده از آن ایجاد کرده‌اند، به گونه‌ای که قابلیت شناسایی و ردیابی عناصر و تجهیزات نظامی دشمن را به طرز مطمئن و سریع برای طرف به‌کارگیرنده آن فراهم ساخته است (بونکا<sup>۳</sup>، ۲۰۱۵: ۲۳۲).

از نانو حسگرها عمدتاً در سامانه‌های راداری برای بهبود پوشش دادن مناطقی که در شعاع عملکرد آن‌ها قرار دارند، کشف و ره‌گیری مواد رادیواکتیو یا شیمیایی، فراهم کردن امکان ارتباط در زنجیره ارتباطی، مشخص کردن اهداف موردنظر برای سایر یگان‌ها و واحدها برای آتشباری و کمک به کنترل جمعیت‌ها با هدایت آن‌ها به سوی مسیری مشخص استفاده می‌شود (افتخاری، ۱۳۸۷: ۱۹۷).

- 
1. Hitoshi
  2. Krishna
  3. Bonča

اگرچه فناوری نانو امکانات بسیار خوب و کاربردی در بسیاری از زمینه‌ها فراهم می‌نماید و تردیدی وجود ندارد که نانو فناوری باعث بهبود قابلیت‌ها در بسیاری از کاربردهای نظامی می‌گردد، با این حال به‌طور تصادفی یا عمدی خطرات بالقوه‌ای نیز به وجود می‌آورد. خطرات نانو تکنولوژی گستره وسیعی از جمله آلودگی محیط‌زیست و افزایش عدم تعادل و جابجایی نیروی کار، ریزگردها، مخاطرات ثانویه نانو اسمبلرها و خود همانندسازها، هوش مصنوعی با قابلیت انسانی، صنایع رباتیک از نانو مقیاس تا ماکرو مقیاس، محصولات ابر خودکار و نانو ابزارهایی که در بدن انسان بکار می‌روند را در بردارد، حتی اگر تنها پیشرفت‌های تدریجی حاصل از تحقیقات آزمایشگاهی اخیر را در نظر بگیریم همچنان این خطرات وجود دارد. از دیدگاه امنیت بین‌المللی، در نظر گرفتن خطرات جدیدی که برای کنترل تسلیحات و قوانین بین‌المللی جنگی به وجود می‌آید، به خطر افتادن ثبات با انجام مسابقات تسلیحاتی و گسترش آن و خطراتی که این فناوری برای انسان و محیط‌زیست دارد، نیز قابل ذکر می‌باشد (تدینی، ۱۳۹۵: ۲۶۶).

## مبانی نظری

### تعریف نانو فناوری:

فناوری نانو واژه‌ای است کلی که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرضه کار با مقیاس نانو اطلاق می‌شود که اولین بار توسط نوریو تاینگوچی استاد دانشگاه توکیو در سال ۱۹۷۴ بر زبان‌ها جاری شد. معمولاً منظور از مقیاس نانو، ابعادی در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. (رامسدن، ۲۰۰۹: ۴)

اندازه ذرات در فناوری نانو بسیار مهم است، چراکه در مقیاس نانویی، ابعاد ماده در خصوصیات آن بسیار تأثیرگذار است و خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تک‌تک اتم‌ها و مولکول‌ها با خواص توده ماده متفاوت است. فناوری نانو فرایند دست‌کاری مواد در مقیاس اتمی و تولید مواد و ابزار، به‌وسیله کنترل آن‌ها در سطح اتم‌ها و مولکول‌هاست. در واقع اگر همه مواد و سیستم‌ها ساختار زیربنایی خود را در مقیاس نانو ترتیب دهند؛ آنگاه تمام واکنش‌ها سریع‌تر و بهینه‌تر صورت می‌گیرد و توسعه پایدار پیش‌گرفته می‌شود. از جمله دستاوردهای فراوان این فناوری کاربرد آن در تولید، انتقال، مصرف و ذخیره‌سازی انرژی با کارایی بالاست که تحول شگرف را در این زمینه ایجاد می‌کند. از این‌رو متصدیان و محققان علوم نانو در تلاش‌اند تا با استفاده از این فناوری به آسایش و رفاه بیشتر در درون و برون ساختمان با یافتن طبقه جدیدی از مصالح ساختمانی با عملکرد بالا و صرفه‌جویی در هزینه‌ها بخصوص در مصرف منابع انرژی و در نهایت

به توسعه پایدار دست یابند. فناوری نانو منجر به تغییرات شگرف در استفاده از منابع طبیعی، انرژی و آب خواهد شد و پساب و آلودگی را کاهش خواهد داد (عابدینی، ۱۳۹۲: ۲). هدف نهایی نانو فناوری، کنترل تک تک اتم‌ها و مولکول‌ها می‌باشد تا بتوان به کمک آن، تراشه‌های رایانه‌ای سایر ادوات را تولید کرد که هزاران بار کوچک‌تر از ادوات فعلی باشند. از طرفی نانو تکنولوژی تولید کارآمد مواد و دستگاه‌ها و سیستم‌ها با کنترل ماده در مقیاس طولی نانومتر و بهره‌برداری از خواص و پدیده‌های نوظهوری است که در مقیاس نانو توسعه یافته‌اند (شجاع، ۱۳۸۸: ۲۳۷).

از همین تعریف ساده برمی‌آید که نانو تکنولوژی یک رشته جدید نیست، بلکه رویکردی جدید در تمام رشته‌هاست. برای نانو تکنولوژی کاربردهایی را در حوزه‌های مختلف از غذا، دارو، تشخیص پزشکی و بیوتکنولوژی تا الکترونیک، کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، انرژی، محیط زیست، مواد، هوافضا و امنیت ملی برشمرده‌اند. کاربردهای وسیع این عرصه به همراه پیامدهای اجتماعی، سیاسی و حقوقی آن، این فناوری را به عنوان یک زمینه فرا رشته‌ای و فرا بخش مطرح نموده است (پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، ۱۳۸۷: ۲۶۸).

به طور کلی می‌توان سه تعریف را برای نانو فناوری بیان نمود:

۱- توسعه فناوری و تحقیقات در سطوح اتمی، مولکولی و یا ماکرو مولکولی در مقیاس اندازه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر.

۲- خلق و استفاده از ساختارها و ابزار و سیستم‌هایی که به خاطر اندازه کوچک یا حد میانه آن‌ها، خواص و عملکرد نوینی دارند.

۳- توانایی کنترل یا دست‌کاری در سطوح اتمی (کنعانی، ۱۳۸۶: ۶۸).

### تاریخچه نانو تکنولوژی نظامی

شصت سال پیش ریچارد فاینمن<sup>۱</sup>، متخصص کوانتوم نظری و دارنده جایزه نوبل، در سخنرانی معروف خود در سال ۱۹۵۹ با عنوان "آن پایین فضای بسیاری هست"<sup>۲</sup> به بررسی بعد رشدنیافته علم مواد پرداخت. وی در آن زمان اظهار داشت: "اصول فیزیک تا آنجایی که من توانایی فهمش را دارم، برخلاف امکان ساختن اتم به اتم مواد، حرفی نمی‌زنند." او فرض را بر این قرار داد که اگر

1. Richard Feynman

2. There is plenty of room in the bottom

دانشمندان فراگرفته‌اند که چگونه ترانزیستورها و دیگر سازه‌ها را با مقیاس‌های کوچک بسازند، پس ما خواهیم توانست که آن‌ها را کوچک و کوچک‌تر کنیم. در واقع آن‌ها به مرزهای حقیقی‌شان در لبه‌های نامعلوم کوانتوم نزدیک خواهند بود به طوری که یک اتم را در مقابل دیگری به گونه‌ای قرار دهیم که بتوانیم کوچک‌ترین محصول مصنوعی و ساختگی ممکن را ایجاد کنیم. (تهمتن، ۱۳۹۵: ۸۰-۸۱)

فناوری نانو موج چهارم انقلاب صنعتی و پدیده‌ای عظیم می‌باشد که در تمامی گرایش‌های علمی راه یافته است تا جایی که در آینده برتری نظامی، وابسته به این تحول خواهد بود. آمریکا مانند دیگر زمینه‌های نظامی بیشترین تلاش را در این راستا انجام داده است. این کشور در سال‌های اخیر تحقیق و توسعه نظامی خود را روی این فناوری به میزان چشمگیری افزایش داده است. سرمایه‌گذاری وزارت دفاع آمریکا در سال مالی ۱۹۹۹ روی علوم و فناوری نانو به ۷۰ میلیون دلار رسید که ۵۰ میلیون دلار آن به نانو الکترونیک تعلق داشت.

گرچه فلسفه اولیه توسعه فناوری نانو در صنایع نظامی برای استفاده در نبردهای شهری تنظیم شده بود اما با تأثیر فزاینده آن بر تمامی جنبه‌های علوم و صنایع نظامی، اینک در تمامی انواع مخاصمات مسلحانه به کار می‌رود. بدون شک، کاربرد فناوری نانو نظامی در سالیان گذشته، موجب تلفات عمده غیرنظامیان و اهداف غیرنظامی شده است (تدینی، ۱۳۹۵: ۲۵۷).

تقریباً نیمی از محصولات دارویی در ۱۰ تا ۱۵ سال آینده متکی به نانوتکنولوژی خواهد بود و کاتالیست‌های نانو ساختاری در صنایع پتروشیمی استفاده می‌شوند. همچنین نانوتکنولوژی موجب توسعه محصولات کشاورزی در آینده نزدیک خواهد شد (حسینی نسب، ۱۳۹۵: ۲۰ و ۴۰).

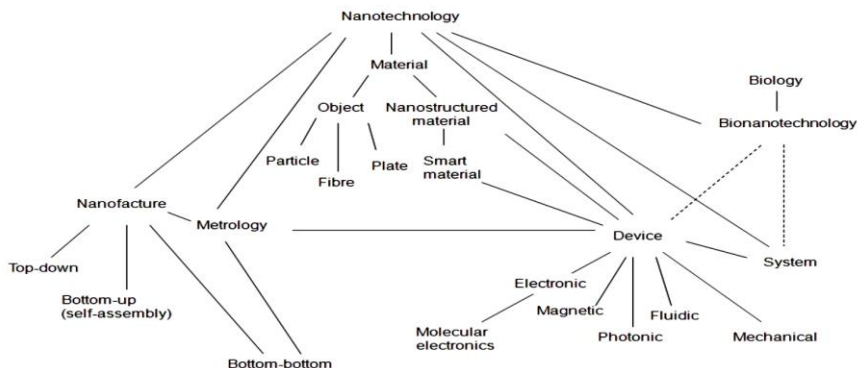
در شکل ۱ طرح کلی یک سیستم مفهومی برای فناوری نانو و کاربردهای نانوتکنولوژی آمده است. بخشی از این تأثیرات و کاربردهای نانوتکنولوژی به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- تولید مواد و محصولات صنعتی
- ۲- نانوتکنولوژی در پزشکی و بدن انسان
- ۳- دوام‌پذیری منابع کشاورزی، آب، انرژی، مواد و محیط‌زیست پاک
- ۴- فناوری نانو در هوا و فضا
- ۵- کاربرد نانوتکنولوژی در صنعت الکترونیک (ترانزیستورهای تک الکترونی نانو، پروپ‌های در مقیاس نانو، حافظه فرو الکتریکی و ...)

۶- کاربرد ریز ذره‌ها در صنایع نظامی و امنیت ملی

۷- نانو فناوری مولکولی

۸- بیو نانو تکنولوژی (آلتمن، ۱۳۹۰: ۳۵ و ۴۴).



شکل ۱: طرح کلی یک سیستم مفهومی برای فناوری نانو (رافی، ۲۰۱۰: ۱۸۱)

### کاربردهای نظامی نانو فناوری:

تحقیق و توسعه نظامی در زمینه نانو فناوری به مدت سه دهه با سرعتی آرام و کم‌ویش همگام با فعالیت‌های غیرنظامی پیش رفته است. اولین تلاش‌ها برای دسترسی به مقیاس نانو سه دهه پیش در زمینه میکروالکترونیک توسط آمریکا شروع شد. با اختراع اولین سری میکروسکوپ‌های پروبی روبشی، تحقیق و توسعه نظامی در اواخر سال‌های ۱۹۸۰ مورد توجه زیاد قرار گرفت و با به خدمت گرفتن علوم پایه، مکانیک، اپتیک و الکترونیک پیشرفت‌های زیادی در این زمینه صورت گرفت (آقایی، ۲: ۱۳۸۸ و ۳) که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- لباس‌های مقاوم به تغییر دما
- روکش‌های مقاوم با استفاده از نانو ذرات
- دوربین‌های کوچک
- سلاح‌های ارزان، کوچک و مؤثر
- مواد فوتونیک
- تهیه شیشه‌های مقاوم به ضربه
- تغییر شکل اشیاء، به‌عنوان مثال پارچه زره‌پوش
- پوشش‌هایی که نابود نمی‌شوند (نیازی به رنگ‌آمیزی ندارند)

- پوشش‌های نامرئی
- کمک‌های فوری پزشکی
- هواپیمای سبک‌تر و سریع‌تر که از سوخت کمتر استفاده می‌کنند
- زیردریایی‌ها و هواپیماها که توسط رادار شناسایی نمی‌شوند
- نانو کامپوزیت‌ها
- نانو ذرات مغناطیسی
- مواد منفجره

### - الکترونیک، فوتونیک و مغناطیسی:

در نانوفناوری تغییر در فاصله بین اتم‌های ذرات و هندسه ذرات روی خواص الکترونیکی ماده هم تأثیرگذار است. وقتی اندازه ذرات کاهش می‌یابد، پیوندهای الکتریکی در فلزات ظریف‌تر می‌شوند. کمیت الکترونیکی که راحت‌تر در دسترس می‌باشد، پتانسیل یونیزاسیون است. مطالعات نشان داده‌اند که پتانسیل یونیزاسیون در اندازه دانه‌های کوچک (ذرات ریزتر) بیشتر است، یعنی با افزایش اندازه ذرات پتانسیل یونیزاسیون آن‌ها کاهش می‌یابد. افزایش نسبت سطح به حجم و تغییرات در هندسه و ساختار الکترونیکی تأثیر شدیدی روی فعل‌وانفعالات شیمیایی ماده می‌گذارد و برای مثال فعالیت ذرات کوچک با تغییر در تعداد اتم‌ها (و در نتیجه اندازه ذرات) تغییر می‌کند (غلامعلی قمشه زاده، ۱۳۸۷: ۵).

در میکروالکترونیک نانو فناوری به کاهش اندازه قطعات و سپس از اصول جدیدی چون نانولوله‌ها و مولکول‌های زیستی استفاده می‌کند. وسایل الکترونیکی جدید، مدارهای کوچک‌تر و سریع‌تر با مصرف خیلی کمتر می‌توانند با کنترل واکنش‌ها در نانو ساختار به‌طور هم‌زمان به دست آیند.

صنعت الکترونیک در تجاری‌سازی فناوری نانو پیشگام است. نانو الکترونیک شامل نیمه‌هادی‌های کمتر از ۹۰ نانومتر، اشکال جدیدی از حافظه‌های دارای نیمه‌هادی، حافظه‌های اطلاعاتی نانو الکترومکانیکی، نمایشگرهای آلی، نمایشگرهای نشر میدانی، نانولوله‌های کربنی، حسگرهای مختلف و پاره‌ای از ادواتی که اکنون در حال ساخت برای به‌کارگیری در ابزارآلات الکترونیکی است، می‌باشد. بازار نانو مواد و نانو ابزار مورد استفاده در تولید این تجهیزات ۱۰۸ میلیارد دلار



بوده که از این رقم ۱۰ درصد آن مربوط به نانو مواد، ابزارها، تجهیزاتی مانند لیتوگرافی ماوراءبنفش دور، لیتوگرافی چاپ نانو، کاتالیست‌ها و نانوسیم‌ها است (آلمن، ۱۳۹۰: ۱۱۵). وجود یک سری مختصات ویژه نانولوله‌های کربنی، آن‌ها را به انتخاب ایده آلی برای بسیاری از کاربردها تبدیل کرده است. تقریباً تمام مقالات به‌طور ضمنی به کاربرد نانولوله‌ها و بهره‌برداری تجاری از آن‌ها در آینده اشاره دارند. آینده کاربرد نانولوله‌ها در بخش الکترونیک روشن است؛ خواص الکتریکی و پایداری شیمیایی بی‌بدیل نانولوله‌ها به‌طور قاطع ما را به سمت استفاده از این خواص سوق خواهد داد. نانولوله‌ها در آستانه کاربرد در ترانزیستورهای سریع هستند، اما آن‌ها هنوز هم در اتصالات داخلی استفاده می‌شوند. بسیاری از طراحان دستگاه‌ها تمایل دارند به پیشرفت‌هایی دست یابند که آن‌ها را به افزایش تعداد اتصالات داخلی دستگاه‌ها در فضای کوچک‌تر، قادر نماید. ترانزیستورهای ساخته‌شده از نانولوله‌ها دارای آستانه می‌باشند (یعنی سیگنال باید از یک حداقل توان برخوردار باشد تا ترانزیستور بتواند آن را آشکار کند) که می‌توانند سیگنال‌های الکتریکی زیر آستانه را در شرایط اختلال الکتریکی یا نویز آشکار و ردیابی نمایند. همچنین از آنجایی که ضریب تحرک، شاخص حساسیت یک ترانزیستور برای کشف بار یا شناسایی مولکول مجاور می‌باشد، لذا ضریب تحرک مشخص می‌کند که قطعه تا چه حد می‌تواند خوب کار کند. ضریب تحرک تعیین می‌کند که بارها در یک قطعه چقدر سریع حرکت می‌کنند و این نیز سرعت نهایی یک ترانزیستور را تعیین می‌نماید.

(ملائی، ۱۳۹۵: ۱۱۷)

اثرات کوانتومی بر مقیاس‌های پایین حاکم خواهد بود ولی می‌توان به‌صورت هدفمند از آن‌ها استفاده نمود. ابزارهایی که از اسپین الکترون استفاده می‌کنند، می‌توانند با صرف نیروی کمتر، سرعت بیشتری داشته باشند. در راستای کاهش ابعاد، به کمک نانو فناوری نه تنها می‌توان قطعات کوچک‌تری چون ترانزیستورها را ساخت، بلکه تشدیدکننده‌های مکانیکی برای پالایه‌ها در فرکانس‌های گیگاهرتز نیز فراهم می‌سازد.

برخی از کاربردهای دیگر نانو فناوری در صنعت الکترونیک عبارت‌اند از:

- تسلط اطلاعاتی از طریق نانو الکترونیک پیشرفته به‌عنوان یک قابلیت مهم نظامی.
- امکان آموزش مؤثرتر نیرو به کمک سیستم‌های واقعیت مجازی پیچیده‌تر حاصله از الکترونیک نانو ساختاری.

- استفاده بیشتر از اتوماسیون و رباتیک پیشرفته برای جبران کاهش نیروی انسانی نظامی.
- کاهش خطر برای سربازان و بهبود کارایی خودروهای نظامی.
- دستیابی به کارایی بالاتر (وزن کمتر و قدرت بیشتر).
- تعداد دفعات نقص فنی کمتر و هزینه کمتر در عمر کاری تجهیزات نظامی.
- الکترونیک پیشرفته برای مهمات هوشمند (پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، ۱۳۸۷: ۲۶۹)

بر مبنای تقسیم‌بندی آلتمن، عمده استفاده از نانو فناوری در صنایع نظامی هسته‌ای شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- سامانه‌های کمکی: سلاح‌های هسته‌ای، امکانات پیچیده‌ای برای هدایت، ایمنی، امنیت و ترکیب شدن دارند که شامل؛ حسگرها، قفل‌های مکانیکی، مدارهای الکترونیکی و الکتریکی و غیره می‌شود. فناوری نانو، کوچک‌سازی بیشتر و یکپارچگی بهتر چنین حسگرهایی را با عوامل قفل نوری و الکترونیکی تسهیل می‌کند. (شجاع، ۱۳۸۸: ۲۴۳)

۲- مدل‌سازی رایانه‌ای سلاح‌های هسته‌ای: در عصر حاضر و با توجه به توسعه ابررایانه‌ها، از این ابزار در فرآیندهای مختلف نظامی هسته‌ای به‌ویژه شبیه‌سازی‌های سلاح‌ها و فرآیندهای هسته‌ای استفاده می‌شود. مدل‌سازی رایانه‌ای سلاح‌های هسته‌ای به معنای به‌کارگیری ابررایانه‌ها که در آن از تراشه‌های نانو استفاده شده و به‌منظور شبیه‌سازی استفاده از سلاح‌های هسته‌ای در رخدادهای هسته‌ای مانند زمستان هسته‌ای، از زمان انبار تا اصابت آن به هدف است.

۳. سلاح‌های هسته‌ای بسیار کوچک: مخرب‌ترین نوع کاربرد نانو فناوری در صنایع نظامی هسته‌ای در تولید و توسعه سلاح‌های هسته‌ای کوچک است (تدینی، ۱۳۹۵: ۲۶۵).

نانو ذرات مغناطیسی از اهمیت زیادی برای محققان در دامنه وسیعی از علوم مختلف از جمله؛ سیالات مغناطیسی، زیست پزشکی، تصویربرداری رزونانس مغناطیسی، خازن‌ها و ذخیره اطلاعاتی برخوردار می‌باشد. کاربردهای نانو ذرات مغناطیسی در زمینه‌های عنوان شده به‌طور خیلی زیاد وابسته به پایداری ذرات تحت شرایط مختلف است. نانو ذرات مغناطیسی به دلیل ویژگی‌هایی مانند سطح ویژه بزرگ و جداسازی ساده با میدان مغناطیسی خارجی، کاربردهای متنوعی پیدا کرده‌اند. به‌طور خلاصه، عموماً نانو ذرات مغناطیسی حاوی عناصر مغناطیسی مانند آهن، کبالت، نیکل و ترکیبات شیمیایی آن‌ها هستند (بلداگرد، ۱۳۹۱: ۴۱).

در نانوفناوری پیچیده‌ترین تأثیر اندازه ذرات، تأثیر بر خواص مغناطیسی ماده است. یک ماده توده‌ای فرو مغناطیس با حوزه‌های مغناطیسی که هرکدام حاوی هزاران اتم هستند، شناخته می‌شود. در یک حوزه مغناطیسی جهت چرخش الکترون‌ها یکسان است، اما حوزه‌های مغناطیسی متفاوت، جهات چرخش متفاوتی دارند. تغییر فاز مغناطیسی وقتی رخ می‌دهد که یک میدان مغناطیسی بزرگ، تمام حوزه‌های مغناطیسی را یک جهت کند. به‌عنوان مثال در مورد نانو ذرات، حوزه‌های مغناطیسی مشخصی دیده نمی‌شود. بنابراین تصور می‌شود که در این مواد سیستم‌های ساده‌تری وجود خواهد داشت اما در حقیقت چیزی برعکس این موضوع وجود دارد. ذرات مغناطیسی کوچک و حتی جامدات غیر مغناطیسی با اندازه دانه کوچک، نوع جدیدی از خواص مغناطیسی را نشان می‌دهند. این خواص متأثر از خاصیت کوانتومی اندازه ذرات است که برای فهمیدن آن، نیاز به مطالعه بسیار است. اندازه ذرات مورد بحث ما، معمولاً کمتر از اندازه حوزه‌های مغناطیسی در جامدات است، بنابراین یک ذره مثل یک اتم مجزا رفتار می‌کند که گشتاور مغناطیسی بزرگی دارد (غلامعلی قمشه زاده، ۱۳۸۷: ۱۷).

فوتونیک واژه‌ای است که در مقابل الکترونیک ارائه شده است و در حقیقت در برگیرنده شاخه‌های مشترک بین اپتیک و الکترونیک می‌باشد. فوتونیک شاخه‌ای از علم است که به گسیل، عبور، تقویت و ثبت نور به‌وسیله ابزار نوری می‌پردازد. در زمینه تولید، انتقال، تبدیل و پردازش فوتونیک، نانو فناوری امکاناتی برای منابع، ردیاب‌ها و ابزاری مانند موج‌برها، فیلترها، اتصال‌دهنده‌ها و تلفیق‌کننده‌ها و امثال آن فراهم می‌سازد. بلورهای فوتونیک دارای تغییرات دوره‌ای در فهرست انکسار هستند؛ مانند الکترون‌ها در یک بلور، نور در فرکانس‌ها و جهات معینی نمی‌تواند، افزایش یابد. از این حالت می‌توان در موج‌برها و تبدیل‌ها استفاده کرد. مدارهای یکپارچه میکروالکترونیک و نانو فوتونیک می‌توانند باعث سرعت داده‌ها در اندازه کوچک و نیروی پایین گردند که امکان انتقال فرکانس و پهنای باند بالاتر ارتباطی را فراهم می‌سازد (آلتمن، ۱۳۹۰: ۱۲۷).

یکی از کاربردهای بسیار راهبردی لیزر و فوتونیک در حوزه دفاع و صنایع نظامی است. لیزر و فوتونیک در زمینه تجهیزات و سامانه‌های دفاعی امکانات و راه‌حلهایی ارائه می‌دهد که از طریق هیچ فناوری دیگری قابل دسترس نیست و به‌صورت مداوم نیز بر کاربردها و ظرفیت‌های آن در صنایع نظامی افزوده می‌شود. این کاربردها در گذشته بیشتر در سامانه‌های ناوبری، اخلاص‌گرها و

کورکننده‌ها، پدافند غیرعامل، سامانه‌های هدایت و ره‌گیری لیزر، جنگ الکترونیک و ... متمرکز بوده است؛ اما امروزه حرکت رو به رشدی برای به‌کارگیری لیزر به‌عنوان یک جنگ‌افزار تخریبی وجود دارد و به نظر می‌رسد تخیلات بشر در دهه‌های گذشته مبنی بر به‌کارگیری سلاح‌های لیزر در حال محقق شدن است و با آنکه نتایج این تحولات اغلب به دلیل محرمانه بودن منتشر نمی‌گردد، اما توسعه روزافزون آن در نمایشگاه‌ها و همچنین به‌کارگیری این دسته از جنگ‌افزارها در نقاط مختلف دنیا قابل مشاهده است (ویژه‌نامه دانش‌بنیان، ۲: ۱۳۹۶).

### – نانو فناوری نظامی و تسلیحات بیولوژیک:

سلاح‌های بیولوژیک مانند ویروس‌های مولد کوری و مننژیت و اوربون و باکتری‌های مولد دیفتری، ذات‌الریه و سل و عفونت‌های قارچی مانند کریپتوکوکوز و آمیب مولد اسهال و مالاریا، علاوه بر اینکه تهدیدی برای افراد غیرنظامی است و می‌تواند موجب گرفتاری غیرعمدی آنان شود، چنان شدتی دارد که منابع و تجهیزات بهداشتی را اشباع می‌کند و باعث تغییرات پایا و غیرقابل پیش‌بینی در محیط انسان می‌شود و اثرات احتمالی آن به خاطر تأثیر عوامل پیچیده و شدیداً متغیر هواشناسی، فیزیولوژیک و زیست‌محیطی تا حد زیادی ناشناخته است (ممتاز، ۱۳۹۰: ۲۲).

ارتباط نانو فناوری نظامی و زیست‌فناوری در تولید وسایل، شیوه‌های مبتنی بر نانو فناوری، سلاح‌های بیوشیمیایی جدید مبتنی بر نانو فناوری، نانو ذرات و نانو مواد با خاصیت سمی بودن به نحو چشمگیری ملاحظه می‌شود (کوسال، ۲۰۰۹: ۱۶۳). می‌توان نانو زیست‌فناوری را اصلی‌ترین حوزه‌ای دانست که نانو فناوری نظامی در آن به پیشرفت فراوانی دست‌یافته است. نانو زیست‌فناوری به دو شکل عمده مشروع و غیر مشروع بر تجهیزات نظامی اثر گذاشته است. در زمینه مشروع، بارزترین برنامه بین‌المللی نظامی موجود، برنامه دانش نانو برای صلح و امنیت است که در آن، از نانو زیست‌فناوری برای تولید و توسعه ابزار نظامی، تشخیص و سم‌زدایی عوامل تهدیدکننده بیولوژیک، همچون تولارمیا و باسیلوس آنتراسیس استفاده می‌شود. همچنین از نانو زیست‌فناوری برای پاک‌سازی آلودگی محیط‌زیست صحنه مخاصمات از طریق نانو ذرات استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال؛ استفاده از نانو کاتالیست‌هایی برای تبدیل مولکول‌های آلی، به مواد بی‌ضرر برای طبیعت می‌باشد. (پلوس، ۲۰۰۸: ۱۳۸).

### – مواد منفجره و پیشراندها:

استفاده از مواد پرانرژی نانو سایز و کامپوزیت‌های حاوی آن‌ها در سر جنگی‌های پیشرفته، پیشراندهای با برد بلند و سلاح‌های ترموباریک نتایج قابل توجهی داده‌اند، به همین دلیل تولید مواد پرانرژی نانو سایز با توزیع اندازه ذره باریک، به یکی از محورهای اصلی صنایع نظامی کشورهای پیشرفته تبدیل شده است. در سال‌های اخیر محققان دریافته‌اند که مواد پرانرژی نانو سایز از نظر حساسیت، مقاومت، آزادسازی انرژی و خواص مکانیکی، خواص جالب و عملکردهای متفاوتی دارند. مواد پرانرژی در مقیاس نانو، نسبت به مواد پرانرژی میکرون انرژی ذخیره‌ای بیشتری دارند (بیات، ۱۳۸۵: ۵).

مطالعات نشان داد (بیات، ۱۳۸۵: ۴) که رفتار دیگر مواد نانو سایز با مواد میکرو سایز متفاوت می‌باشد. پودرهای نانو سایز مواد منفجره و فلزات در پیشراندهای جامد و فرمولاسیون‌های انفجاری به کار رفته‌اند و عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده‌اند. در مورد مواد منفجره جامد در پیشراندها، اندازه ذرات و توزیع دانه‌بندی آن‌ها نقش اساسی در تثبیت فرآیند احتراق بر عهده دارد. در واقع دستیابی به بالاترین عملکرد یک ماده منفجره جامد قویاً به اندازه ذرات آن‌ها وابسته است. یکی از محورهای اصلی صنایع نظامی کشورهای پیشرفته، تولید مواد پرانرژی نانو سایز در مقیاس زیاد و با اندازه و توزیع اندازه ذره کنترل شده می‌باشد. یکی دیگر از پروژه‌های جاری در مراکز نظامی پیشرفته، پوشش دادن مواد نانو سایز تولید شده با مواد غیرفعال و یا پوشش دادن به منظور افزایش دانسیته انرژی می‌باشد. بسته به نوع ماده از روش مختلفی مثل خرد کردن (آسیاب کردن)، تبلور با سیال فوق بحرانی، تبلور به روش اسپری، تبلور خارج از محلول، ته‌نشینی با نیروی الکتریکی، پیرو لیز پخش‌کننده، تبلور امولسیون و سل-ژل برای تولید مواد نانو سایز استفاده می‌شود. خواص این مواد به پارامترهای زیر بستگی دارد:

۱. متوسط ابعاد ذره و توزیع اندازه ذره
۲. مورفولوژی و شکل ذره
۳. خواص کریستال‌های کم نقص یا بدون نقص
۴. خلوص مواد.

نانو ذرات امکان بسیار بهتری را برای ترکیب سوخت و اکسیدکننده فراهم می‌سازد و واکنش بسیار سریع‌تر مواد ترکیبی را نوید می‌دهد. خطر اشتعال ناخواسته هنگام ترکیب را می‌توان با

پیروی از روش‌های سُل ژل<sup>۱</sup> کاهش داد. نانو ذرات در محلول به دست می‌آیند و پس از تبخیر حلال سُل‌ها یک اسکلت سه‌بعدی با سوراخ‌های ریز تشکیل می‌دهند. مواد منفجره آر-دی-ایکس و پتن به این ترتیب در ماتریس سیلیکا تعبیه می‌شوند. طبق نظریه ماتریس سُل - ژل به‌خودی‌خود شدیداً فعال است و حاوی نانو ساختاری می‌باشد که طبق آن سوخت و اکسیدکننده طبق استوکیومتری دقیق توزیع می‌گردد. در این حالت چگالی ترکیب را می‌توان با تغییر ترکیب برنامه‌ریزی کرد (آلتمن، ۱۳۹۰: ۱۳۰ و ۱۲۹).

همچنین با قابلیت‌های بهتری که برای طراحی مواد منفجره توسط نانو فناوری وجود دارد می‌توان از نانو کامپوزیت‌ها به‌عنوان خرج چاشنی استفاده کرد.

### - استتار:

به کمک نانو ساختار می‌توان رنگ‌های ظاهری سطح را تغییر داد. بنا به انتخاب ساختارهای سطحی، طول‌موج‌های فرعی زیرین می‌توانند در دوره‌های زمانی، پدیده‌های رنگی به مقیاسی که روی بال پروانه‌ها وجود دارد، ایجاد کنند. چنین استتار فعالی را می‌توان در مورد لباس‌های رزمی، خودروهایی زمینی، هواپیماها و کشتی‌ها مورد استفاده قرار داد. با تغییر رنگ و بافت مطابق محیط، انسان و شیء در آن محو می‌شود. هرچند این موضوع شامل یک سمت دید از سمت دیگر می‌گردد. زمینه یا محیط معمولاً متفاوت است و دیده نشدن همزمان از تمام سمت‌ها عملی نیست. یک راه‌حل، استفاده از مواد جاذب نور شبیه لایه‌های جذب رادار در پهپادها می‌باشد. مواد نانو فوتونیک را می‌توان طوری طراحی کرد که از مشخصات جذب خاصی برای رادار و اشعه ماوراء قرمز برخوردار گردد. در حال حاضر مواد فوتونیک چندلایه‌ای در لباس رزم سربازان مورد استفاده قرار می‌گیرد. انعکاس‌پذیری برای طول‌موج‌های مشخص باید بر اساس زمان واقعی تنظیم گردد. علاوه بر عمل جذب، در نور قابل دید می‌توان شیوه‌های انعکاس را در ماوراء قرمز ایجاد کرد و از آن به‌عنوان یک علامت رمز چشمی با استفاده از عینک‌های مخصوص، سرباز خودی را شناسایی کرد (آلتمن، ۱۳۹۰: ۱۳۱).

محققان در تلاش‌اند تا لباس‌هایی تولید کنند که خود را با شرایط محیطی وفق دهد، لباس‌هایی که بتوانند مثل آفتاب‌پرست تغییر رنگ دهند (آفتاب‌پرست خزنده‌ای جاذب برای طراحان منسوجات

نظامی است، رنگ آفتاب‌پرست بر اساس شرایط محیطی تغییر می‌کند) یا بادگیرهایی که با برخورد آب، ضد آب شوند. آن‌ها در تلاش‌اند این کار را با الیاف پلی‌استر رسانا که از افزودنی‌هایی مانند اسید کامفورسولفونیک استفاده کرده، انجام دهند. باران رسانایی پارچه را تغییر می‌دهد و منجر به جمع شدن محتویات و بستن حفره‌های لباس می‌شود. چنین لباس‌هایی تا به حال تولید شده ولی مواد آن هیچ مقاومتی در برابر شستشو و ماشین لباسشویی ندارند. اگر پلیمرهای مقاوم رسانا تولید شوند، می‌توان لباسی ساخت که اگر کسی روی آن سایه بی‌اندازد، از رنگ سبز به رنگ آبی تغییر شکل دهد. انرژی نور خورشید می‌تواند جریان داخل پلیمر رسانا را تغییر دهد و باعث تغییر آرایش مولکولی مواد افزودنی شود، طوری که رنگ نوری که لباس جذب و نشر می‌کند را تغییر دهد. این روش برای استتار در کاربردهای نظامی مطرح است. رنگی که در این پارچه‌ها استفاده می‌شود، می‌تواند با حرارت تغییر کند (نایب مراد، ۱۳۹۶: ۷۲).

#### – نانو حسگرها:

اندازه‌گیری دقیق پارامترها در مقیاس بسیار ریز (نانو)، از قبیل تغییرات فیزیکی یا حضور گونه‌های شیمیایی مستلزم استفاده از حسگرهایی در مقیاس نانو است. نانو حسگرها از عناصر حسگری در مقیاس نانو استفاده می‌کنند که حساسیت این نوع از نانو مواد به حد کافی بالا است. همچنین موادی که در بعد نظامی از نانو حسگرها ساخته می‌شوند، بایستی دوام و استحکام بالا و خواص الکتریکی خوبی داشته باشند. به‌طور کلی، ویژگی‌های مهم نانو حسگرها؛ انتخاب‌گری بالاتر، حساسیت زیادت، ابعاد کوچک‌تر و قیمت ارزان‌تر هستند. نانو حسگرها به‌طور ذاتی کوچک‌تر و حساس‌تر از سایر حسگرها می‌باشند و این ظرفیت را دارند که قیمت تمام‌شده آن‌ها کمتر از قیمت تمام‌شده حسگرهای موجود در بازار باشد (خضری، ۱۳۹۶: ۷).

نانو فناوری امکان ساخت انواع حسگرهای بسیار کوچک را در کمیت‌های مختلف فراهم می‌سازد. نانو حسگر وسیله‌ای است بسیار ظریف و درعین‌حال دقیق و حساس که قادر به شناسایی و ارائه پاسخ به محرک‌های فیزیکی است. حساسیت می‌تواند در حد بالا باشد؛ در اصل، تک مولکول‌های یک عنصر شیمیایی یا یک موجود ذره‌بینی را می‌توان مثلاً با یک میکروکانتیلور (حامل) با روکش مناسب حساس کرد. به همین دلیل از دقت و واکنش‌پذیری بسیار بالایی برخوردارند؛ به طوری که حتی نسبت به حضور چند اتم از یک گاز هم عکس‌العمل نشان می‌دهند. از نانولوله‌ها، نانو ذرات فلزی و نانو ذرات مغناطیسی بیشتر برای ساخت حسگر استفاده می‌شود.

نانو حسگرها و حسگرهای توانمند شده با فناوری نانو کاربردهای مختلفی در صنایع گوناگون مانند حمل و نقل، ارتباطات، ساخت و ساز و تسهیلات رفاهی، پزشکی، سلامتی، دفاعی و نظامی دارند (کانگ، ۲۰۰۰: ۶۲۴).

تشخیص عوامل بمب‌های شیمیایی و تروریسم زیستی از اساسی‌ترین فعالیت‌ها در عرصه پدافند جنگ‌های نوین می‌باشد. از این رو، توسعه ابزار جدیدی که قادر به آنالیز مستقیم، حساس و سریع این عوامل باشد، می‌تواند جهشی در روش‌های تشخیص ایجاد نماید. بسیاری از مسائلی که در طراحی نانو حسگرهای زیستی باید مورد توجه قرار گیرند (مانند مسائل مربوط به سطوح تماس، پخش گرما و حل مشکلات مربوط به پارازیت‌های الکتریکی و مکانیکی) مشابه مسائل میکرو حسگرهای زیستی می‌باشد. هر سطح تماسی در یک میکرو سیستم به مفهوم انتقال ناخواسته سیگنال‌های الکتریکی، مکانیکی، حرارتی، شیمیایی، صوتی و نوری است. برای حل مشکلات مربوط به سیگنال‌های ناخواسته در سیستم‌های بسیار کوچک و همچنین برای کاهش پارازیت‌ها نیاز به تجهیزات فرعی می‌باشد. در نانو حسگرهای شیمیایی و زیستی که گاز یا مایع وارد سیستم و سپس از آن خارج می‌شود، کنترل میزان جریان بسیار حیاتی است. به علاوه سطوح حساس و مناسب این حسگرها مستعد تجزیه توسط مواد خارجی، گرما و سرما می‌باشند؛ اما امکان نصب تعداد بسیار زیادی از این نانو حسگرها در یک فضای کوچک موجب می‌شود که بتوانیم از عملکرد نامناسب برخی از این حسگرها صرف نظر کرده و اطلاعاتی با صحت بیشتر دریافت نماییم (قراتپه، ۱۳۸۷: ۳۸).

حسگرهایی که در یکدیگر قرار می‌گیرند ارتباط سیستم بزرگ‌تر (مانند تفنگ، سکوی حمل بار، ساختار هواپیما و ...) با مرکز را برقرار کرده و می‌توان آن را در لجستیک یا برای کنترل وضعیت تجهیزات، مورد استفاده قرار داد. این وضعیت در رابطه با حسگرهای توزیع شده برای میدان نبرد متفاوت است. در میدان نبرد سیستم‌های حسگر باید به طور مستقل عمل کنند و در مواضع دلخواه نصب گردند (آلتمن، ۱۳۹۰: ۱۳۳).

به طور سنتی، لباس‌ها به عنوان لایه‌ای محافظ عمل نموده و آسایش خاطر و آراستگی ظاهری را به ارمغان می‌آورند ولی می‌توان از لباس به عنوان سکوی برای بنا نهادن حسگرها درون آن‌ها استفاده نمود (دیاموند، ۲۰۰۸: ۶۵۲).



### – نانو حسگرهای گازی برای آشکارسازی مواد منفجره

آشکارسازی مواد منفجره همواره به دلایلی مانند فشار بخار کم، استفاده از ترکیبات انفجاری جدید، پنهان بودن مواد منفجره و شیوه‌های جدید به‌کارگیری با چالش‌هایی روبرو است. نانو حسگرها با افزایش حساسیت و گزینش پذیری و توانایی عمل در حالت‌های مختلف، پتانسیل گسترش تعداد زیادی حسگر برای آشکارسازی را در اختیار می‌گذارند. با توجه به اینکه اغلب مواد منفجره دارای فشار بخارهای بسیار پایین هستند، مولکول‌های آن‌ها نمی‌توانند در زمانی معقول در یک مکان مشخص جمع شده و اثراتی قابل‌کشف و ردیابی داشته باشد، این مطلب مشکل آشکارسازی مواد منفجره را بسیار جدی‌تر می‌سازد (سینگ، ۲۰۰۷: ۲۱).

از مهم‌ترین ویژگی‌های آشکارساز، استفاده از مقادیر کم مواد منفجره در کاربردهای میدانی، حد تشخیص، حساسیت، گزینش پذیری و پایین بودن هزینه آن می‌باشد. حساسیت و گزینش پذیری بالا همراه با قابلیت تولید انبوه به دلیل هزینه پایین از جمله ویژگی‌هایی قابل‌انتظار از نانو حسگرها است. برای اجرای مداوم و پیوسته عملیات آشکارسازی، حسگر باید در دمای معمول دارای پاسخ سریع و برگشت‌پذیر باشد. حسگرهای مبتنی بر نانو علم چشم‌انداز روشنی را برای دستیابی به این موارد مهم ارائه می‌دهند. (نجفی، ۱۳۹۰: ۴)

### – نانو فناوری و پوش حفاظتی

تأثیر نانو فناوری روی پوشش زرهی برحسب نوع متفاوت است؛ در زره سنگین جلوی نفوذ به‌وسیله یک لایه ضخیم مواد پرتراکم که بیشتر از نوع فولاد می‌باشد، گرفته می‌شود. به نظر می‌رسد نانو فناوری در این نوع از ادوات و تسلیحات سنگین کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. وضعیت در رابطه با حفاظت در مقابل گلوله‌های کوچک‌تر که برای سوراخ کردن بدنه زره طراحی شده تفاوت دارد. در زره سبک مواد متکی به نانو فناوری مانند ترکیبات نانو فیبر دارای ساختار مخصوصی هستند که منتج به حفاظت بهتر و یا وزن سبک‌تر می‌گردد. لایه‌های حاوی نانو ساختارهای ویژه می‌توانند قابلیت جذب ویژه و انعکاس امواج الکترومغناطیسی ایجاد کنند تا بتوانند در مقابل لیزر قوی و اشعه ماکروویو حفاظت ایجاد کنند. (آلتمان، ۱۳۹۰: ۱۳۴ و ۱۳۵)

یکی از مهم‌ترین اقدامات در جهت حفظ جان افراد در مناطق جنگی، می‌تواند مقاوم کردن لباس آن‌ها در مقابل برخورد با گلوله باشد. از آنجاکه یک لباس ضدگلوله سنگین عملاً کارایی افراد را کاهش می‌دهد و حتی ممکن است با کاهش سرعت، جان سربازان را بیشتر به خطر بیناندازد،

بنابراین لباس تولیدشده باید تا حد ممکن سبک باشد. از نانو فیبرها می‌توان برای ساخت لباس‌های ضدگلوله مستحکم‌تر و سبک‌تر استفاده کرد.

محققان زیادی در مورد الیاف نانولوله کربنی تحقیق می‌کنند. از ویژگی‌های الیاف نانولوله کربنی این است که دارای هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، ساختار فیبری شگفت‌انگیز، مقاومت مکانیکی بالا (استحکام کششی در حدود ۵۳-۱۳ گیگا پاسکال) و غیره می‌باشد. الیاف نانولوله کربنی حتی از تار عنکبوت و کولار ۱ هم محکم‌تر است. استحکام الیاف نانولوله کربنی ۱۷ برابر استحکام الیاف کولار (که در جلیقه‌های ضدگلوله مورد استفاده قرار می‌گیرد) می‌باشد و ۲۰ برابر استحکام سیم فولادی با وزن مشابه است. البته خواص فیزیکی آن‌ها با توجه به ساختارشان به چینش شش ضلعی‌ها و تعداد دیواره‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها بستگی دارد (اسماعیلی، ۱۳۸۹: ۱۲) و (چوو، ۲۰۱۲: ۱۹۷).

بر اساس نظریه پروفیسور لیانگ چی ژانگ ۲ اگر از کلیه خواص نانو لوله‌های کربنی در طراحی و ساخت مواد و ساختارهای ضدگلوله استفاده شود، مقاومت بالستیک جلیقه‌ها پیشرفت زیادی خواهد کرد (صمیمی فرد، ۱۳۹۲: ۲).

استفاده از پوشش‌هایی در اندازه نانو و یا چند اتم، امکانات ویژه‌ای را به وجود آورده است. به‌تازگی شیشه‌هایی ساخته‌شده که با دی‌اکسید تیتانیم بسیار فعال پوشش داده شده است. این شیشه‌ها ضد باکتری، دفع‌کننده آب و از بین برنده مواد شیمیایی بوده و به‌طور خودکار خود را تمیز می‌کنند. کاربرد دیگر مواد نانو، ساختن پوشش‌های بسیار مقاوم در مقابل خش، به‌صورت یک یا چندلایه بر روی لایه اصلی است (محمود خواه، ۱۳۹۷: ۸).

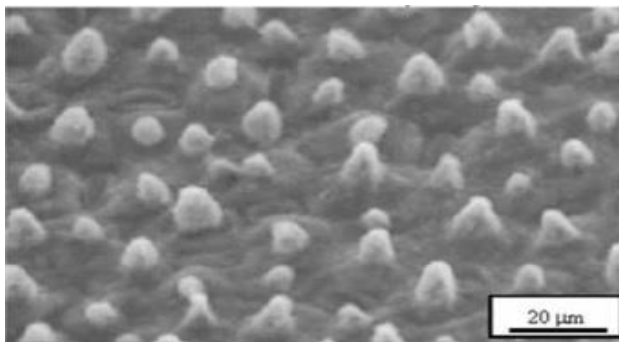
### – استفاده از نانو فناوری در پارچه‌ها

خیس شدن لباس افراد در هنگام عبور از یک منطقه و خشک شدن دیر هنگام آن ممکن است برای آن‌ها آزاردهنده باشد و در زمان انجام عملیات باعث کاهش تمرکز و در نتیجه کاهش بازدهی آنان گردد. بنابراین اگر بتوان لباس‌های سربازان را به گونه‌ای ساخت که در تماس با آب نه تنها آب به داخل آن نفوذ نکند بلکه با سرخوردن از روی لباس آلودگی‌های آن را هم با خود ببرد، آنگاه می‌توان انتظار داشت که کارایی سربازان افزایش یابد. بر اساس گفته دانشمندان آکادمی علوم چین

- 
1. Kevlar
  3. Liangchi Zhang

می‌توان به کمک نانو تکنولوژی خاصیت ضد آب و ضد چربی را در الیاف‌های ابریشم، پشم و کتان به وجود آورد. البسه ضد آب تولید شده بر اساس روش‌های مرسوم ضد آب سازی، زبر بوده‌اند؛ اما با به‌کارگیری این روش جدید، دیگر ابریشم خاصیت نرم بودن خود را از دست نمی‌دهد (صمیمی فرد، ۱۳۹۲: ۲).

درواقع برای تولید پارچه‌های ضد آب و چربی، با الگو گیری از برگ گیاه نیلوفر آبی و ایجاد پرزهای کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر بر روی لباس و جذب لایه‌نازکی از هوا توسط آن پرزها، آب و روغن توانایی نفوذ در لباس را نخواهند داشت. همان‌طور که در شکل ۲ تصویر میکروسکوپی از برگ گیاه نیلوفر آبی نشان داده شده است، برجستگی‌های زیادی بر روی سطح برگ این گیاه وجود دارد. در تولید پارچه‌های ضد آب و روغن (که به پارچه‌های خود تمیز شونده هم معروف هستند) از این ویژگی استفاده می‌کنند. در تولید پارچه‌های خود تمیز شونده به‌منظور تثبیت مکان نانو ذرات بر روی سطح الیاف از پلیمرهای خاصی استفاده می‌شود و در انتها یک لایه آب‌گریز بر روی سطح قرار می‌گیرد. (توانایی، ۱۳۸۶: ۵۳۲)



شکل ۲. تصویر SEM از برگ گیاه نیلوفر آبی (صمیمی فرد، ۱۳۹۲: ۳)

از جمله اقداماتی که برای تولید پارچه مقاوم در برابر عوامل شیمیایی می‌توان انجام داد، استفاده از نانو ذرات در پارچه و یا تبدیل پارچه به یک غشا به کمک نانو لوله‌های کربنی می‌باشد. محققین آزمایشگاه ملی زندگی طولانی لورنس<sup>۱</sup> تلاش می‌کنند تا به کمک نانو لوله‌های کربنی، لباسی برای محافظت از افراد در برابر عوامل شیمیایی و میکروبی تهیه کنند. آن‌ها می‌خواهند روش عملکرد لباس به‌گونه‌ای باشد که نانولوله‌ها به‌محض قرار گرفتن در محیط آلوده به عوامل شیمیایی، بسته شوند و یا اینکه پوششی در ورودی آن‌ها به وجود بیاید (شبهه عمل پوست انداختن) و البته پس

از اعمال این تغییرات لباس همچنان بتواند هوا را از خود عبور دهد. از آنجاکه قطر نانولوله‌ها کوچک‌تر از اندازه عوامل میکروبی است، لباس موردنظر آنان به‌طور خودکار در مقابل عوامل میکروبی مقاوم است. شاید بتوان گفت که این کار در واقع ایجاد یک غشای انتخابی نفوذپذیر<sup>۱</sup> است. غشای انتخابی نفوذپذیر یعنی غشایی که وقتی در مقابل یک محلول قرار می‌گیرد، تنها به ماده یا مواد خاصی اجازه عبور می‌دهد.

روکش‌ها به‌طور اجتناب‌ناپذیری کاربردهایی همچون حفاظت وسایل الکترونیکی سفینه‌های فضایی در برابر تشعشع و حفاظت حرارتی برای ورود مجدد به جو را خواهند داشت. روکش‌های سرامیکی نانوذره‌ای، موجب پایداری حرارتی و مقاومت فرسایشی در قطعات موتور می‌شوند. روکش‌های حاوی نانو ذرات فلزی که کاربردهای مشخصی در کامپیوترها و تجهیزات الکترونیکی دارند، در مقابل تداخل الکترومغناطیسی ممانعت خوبی نشان می‌دهند. (استارک<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲: ۶۱ و ۷۰) اخیراً لباس‌هایی تولید شده است که به شرایط مختلف آب و هوایی حساس‌اند و به سیستم‌های اطلاعاتی متصل می‌شوند تا علائم حیاتی را کنترل کنند، همچنین این لباس‌ها قادر به ترشح مواد دارویی هستند و جراحات را محافظت می‌کنند. گونه‌ای دیگر از این مواد برای کشف آسیب‌های وارده به بدن به‌صورت خودکار عمل خواهد کرد. برای مثال به کمک این مواد شکستگی استخوان‌ها را به‌سرعت شناخته و گچ‌گیری متداول امروزه را انجام می‌دهند. به‌طورکلی گروه بی‌شماری پارچه‌های قابل‌تنفس، ضد آب و لکه با کنترل منافذ و ناهمواری‌های سطح آن در حد اندازه‌های نانو از مواد پلیمری و غیرآلی ساخته شده‌اند (محمودخواه، ۱۳۹۷: ۷).

### – تسلیحات متعارف

مواد مستحکم‌تر و سبک‌تر امکان ساخت انواع تسلیحات متعارف لوله دار را با وزن کمتر فراهم می‌سازد. با برخورداری از خرج پرتاب پیشرفته، سرعت پرتاب و افزایش برد، عملی به نظر می‌رسد. در مورد موشک‌های بالستیک و هوا دم، کاهش وزن باعث افزایش چشم‌گیر سرعت، برد و حداکثر بار و کاهش اندازه حمل‌کننده می‌گردد. می‌توان تصور کرد سلاح‌های کوچک (برای استفاده انفرادی) و تسلیحات سبک (برای استفاده خدمه) از لوله، قفل گنگدن و قطعاتی استفاده کنند که از ترکیب نانو فیبر ساخته شود و به این ترتیب وزن سلاح را به طرز چشمگیری کاهش و

2. Selectively Permeable Membranes

3. Stark

حتی به صفر برسانند. همچنین می‌توان مهمات بدون فلز ساخت، به این صورت که گلوله‌های درازتر، نازک‌تر و دارای چگالی کمتر، احتمالاً جایگزین مواد دارای تراکم زیاد چون سرب خواهند شد. تپانچه‌های سبک، تفنگ‌های تهاجمی، مسلسل‌ها، خمپاره‌اندازها، راکت‌ها و امثال آن‌ها می‌توانند با این ماد ساخته شوند. این تسلیحات بدون فلز با اشعه ایکس ردیابی نمی‌شوند و از رادارهای کنترلی فرار می‌کنند و مسائل جدی برای کنترل حفاظتی به وجود می‌آورند.

موشک‌های متعارف زمین به زمین با برد صدها کیلومتر، بالای ده متر طول دارند و قابلیت حمل ۱۰۰۰ کیلوگرم بار مینا که معمولاً مواد منفجره است را دارا می‌باشند. اگر بار مینا مشکل‌ساز باشد می‌توان از خرج پرتاب و مواد ساختاری که بر پایه نانو فناوری قرار دارند استفاده کرد که خود باعث کاهش اندازه و وزن کلی می‌گردد. به نظر می‌رسد نانو فناوری در انواع تسلیحات جدید نیز نقش خواهد داشت. برای مثال، سرعت دادن الکترومغناطیسی گلوله به مدت چند دهه است که در چندین کشور در دست مطالعه می‌باشد (آلتمن، ۱۳۹۰: ۱۳۷ و ۱۳۸).

لزوم توجه به استفاده از فناوری‌های نانو در صنایع نظامی، آن‌چنان واجد اهمیت است که در صحنه مخاصمات، طرف متخاصم می‌تواند با تولید پالس‌های الکترومغناطیسی با عرض کوتاه و توان گذرای بسیار زیاد در صورت عدم حفاظت ابزارهای نظامی در مقابل این حملات، موجب تخریب دائمی یا موقت آن‌ها شود (ابراهیم نژاد شلمانی، ۲: ۱۳۸۶).

### – نانو فناوری نظامی از منظر حقوق بین‌الملل

طبق قواعد حقوق بین‌الملل میزان صدمات و خسارات سلاح باید با منفعت نظامی آن، تناسب داشته باشد (زمانی، ۱۳۹۲: ۴). در کنار تناسب، کمیته بین‌المللی صلیب سرخ، ضرورت نظامی را نیز یکی دیگر از معیارهای تبعیت یک نوع خاص از تسلیحات اعلام کرده است. باین‌حال، همان‌گونه که برخی اظهار کرده‌اند، ممنوعیت تسلیحات، بر این مینا مبهم بوده و اساساً دولت‌ها را در تصمیم‌گیری نسبت به اینکه آیا از سلاحی بخصوص، بدین سبب که بنا به صلاحدید آنان، فاقد یا صاحب آن اثر ممنوع است، آزاد می‌گذارد (ساعد، ۱۳۸۸: ۶). از این‌رو صاحب‌نظران و کمیته بین‌المللی صلیب سرخ بیان کرده‌اند؛ باید میزان آسیب یا صدمه‌ای که با به‌کارگیری آن بر طرف متخاصم متقابل (خواه در حین یا پس‌از آن) تحمیل می‌شود با ضرورت نظامی که متضمن استفاده از آن در موقعیت خاص است متعادل باشد. با استفاده از همین نکته در اینجا باید تمایز ظریفی میان آسیب با صدمه در اسناد حقوق بین‌الملل بشردوستانه قائل بود؛ بدین معنا که صدمه، تنها

شامل خسارت‌های فیزیکی کوتاه‌مدت به محیط‌زیست یا انسان است، درحالی‌که آسیب، متضمن خسارت طولانی‌مدت است و آنچه در تمامی متون بین‌المللی بشردوستانه نیز منع شده است آسیب غیرضروری یا زائد است و نه صدمه ضروری یا زیاد. با دانستن این نکته می‌توان پی برد که بسیاری از تسلیحات نوین، فناوری‌هایی دارد که تأثیرات سوء آن را محدود به زمان جنگ نکرده و بالعکس، عمده این تأثیرات، پس از پایان جنگ رخ می‌دهد. در کنار این موضوع، از لحاظ عملی نیز برخی نهادها به‌ویژه کمیته بین‌المللی صلیب سرخ، معیارهایی پیشنهاد کرده‌اند.

در باب دیدگاه‌های مطرح‌شده می‌توان کاربرد تسلیحات حاوی فناوری نانو را از منظر قواعد بین‌المللی بشردوستانه این‌گونه ارزیابی کرد؛ با توجه به کاربردهای فزاینده و متعدد فناوری نانو در تولید و توسعه تجهیزات نظامی، نمی‌توان همه آن‌ها را بر مبنای اصل منع آسیب غیرضروری و زائد، ممنوع کرد و بلکه در هر مورد با توجه به شرایط موجود در صحنه مخاصمات، تناسب و اصل ضرورت به ارزیابی آن نوع خاص از تسلیحات حاوی فناوری نانو پرداخت، اما تقریباً شواهد کافی و مستدل وجود دارد که کاربرد برخی از انواع فناوری نانو در تجهیزات نظامی برای انسان با اصل منع آسیب غیرضروری و زائد در تضاد است. برای نمونه می‌توان به نانو مواد غیر ارگانیک در ساخت فیبرهای پنبه نسوز که به ریه انسان آسیب می‌رساند اشاره کرد (پاتریک، ۲۰۰۷: ۱۰۶). یا به برخی از اجزای نانو مواد از جمله تیتانیوم دی‌اکسید که کاربرد بسیار متنوعی در ساخت تجهیزات و ادوات نظامی دارد اشاره کرد که ثابت شده است خاصیت سرطان‌زایی دارد (لانسدون<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳: ۳۳۸). اثرات سمی برخی از نانو مواد، همچون تیتانیوم دی‌اکسید برای انسان در صورت قرار گرفتن در معرض تابش شدید نور آفتاب، تشدید هم می‌شود (دانا، ۲۰۱۱: ۲۸۶)؛ و یا سیلیکای نانومقیاس، اکسید فلز و مواد فلزی که بر سلول‌های ریوی انسان اثر سوء گذاشته و سرطان ریه را در افراد در معرض تماس با آن، تشدید کرده است (هسون، ۲۰۰۸: ۳۹).

رویکردهای عملی در زمینه کاربرد نظامی نانو مواد غیر ارگانیک در تولید و توسعه و کاربرد بمب‌های تنگستن و دائم توسط رژیم صهیونیستی در باریکه غزه نیز اثبات‌کننده این ادعا است، به‌طوری‌که گزارش‌ها نشانگر آن است که بین کاربرد بمب‌های تنگستن توسط رژیم صهیونیستی و افزایش سرطان و همچنین، زایش نارس نوزادان در باریکه غزه، ارتباط مستقیم وجود دارد.

---

1. Lansdown

مجموع این بحث‌ها نشانگر آن است که باید کاربرد نظامی نانو مواد غیر ارگانیک که در تولید و توسعه ادوات و تجهیزات نظامی در کشورها به دلایل اثبات آثار سوء آن بر انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد، به حداقل برسد و سرمایه‌گذاری صنایع نظامی بر نانو مواد ارگانیک افزایش یابد تا تلفات غیرنظامی و حتی نظامی کاهش یابد و به تبع آن، اصل منع آسیب غیرضروری و زائد در حقوق بین‌الملل بشردوستانه، بهتر اجرا شود.

### – کاربردهای فناوری نانو در طب نظامی

نانو فناوری را می‌توان با روش‌های مختلف در سیستم‌های نزدیک بدن سرباز ولی خارج از آن مورد استفاده قرار داد تا با اثر متقابل روی بدن وظایف آن را بهبود بخشد. حسگرها می‌توانند اقدامات مختلف در زمینه درجه حرارت، تعداد ضربان قلب و تنفس و ترشح و تعرق، انجام دهند. حسگرهای شیمیایی که برای مثال مولکول‌های نشان‌دهنده هیجان مانند نیتروژن مونواکسید را در عمل بازدم ره‌گیری می‌کنند، از آن جمله‌اند (آلتمن، ۱۳۹۰: ۱۳۹).

امروزه اکثر جراحات و صدمات در عملیات نظامی به وسیله قطعات و ترکش‌های مهمات انفجاری ایجاد می‌شود. این نوع از صدمات و جراحات چالش جدیدی را برای کارکنان پزشکی که خدمات را چه در میدان جنگ و چه در زمینه مراقبت‌های بعدی ارائه می‌دهند، به وجود می‌آورد. فناوری نانو در این حوزه به کمک طب نظامی آمده است، بدین‌صورت که امروزه می‌توان از نانو ذرات نقره و مس و همچنین از نانو ذرات کیتوزان در ساخت باندهای پزشکی که باعث افزایش سرعت ترمیم و بسته شدن این‌گونه زخم‌ها می‌شوند، استفاده کرد. همچنین با استفاده از نانو ذرات کیتوزان می‌توان باعث کاهش عفونت باکتریایی در محل زخم‌های ناشی از جراحات جنگی شد (دووتا، ۲۰۱۳: ۱۹۹) و (چوو، ۲۰۱۴: ۲۷). پودر نانو فلکس محصول مجاز دیگری برای درمان این‌گونه جراحات است که ترکیبی از دو نانو ماده می‌باشد که برای زخم‌های تازه و باز استفاده می‌شود و باعث پر شدن فضای زخم و چسباندن حاشیه‌های زخم به یکدیگر و افزایش سرعت التیام می‌گردد (فیتگرالد، ۲۰۰۹: ۱۳۵).

یکی از مهم‌ترین علل مرگ در عملیات‌های نظامی خونریزی شدید و غیرقابل کنترل در اثر شدت جراحات وارده می‌باشد که گاهی تا ۸۳ درصد موارد مرگ سربازان در میدان جنگ را

- 
1. Dutta
  2. Fitzgerald

شامل می‌شود. امروزه می‌توان با استفاده از دانش نانو شبه پلاکتی از نانو ذرات پلی استیلن و آلومین سرم گاوی تهیه کرد که باعث ایجاد لخته‌های سریع در مسیر خونریزی و به دنبال آن بند آمدن خونریزی شود. همچنین آزمایش‌های متعدد در مدل‌های حیوانی نشان داده که نانو پلاکت‌ها در قطع و بند آمدن خونریزی مؤثر می‌باشند (آنسلمو<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴: ۵۰).

آسیب سلول‌های عصبی در جراحات جنگی یکی از پایدارترین عوارض جنگ محسوب می‌گردد که همواره یکی از چالش‌های طب نظامی بوده است که با استفاده از فناوری نانو می‌توان نانو پروتئین‌های ابریشمی را در یک چهارچوب هیدرو ژلی به‌منظور ترمیم آسیب‌های عصبی محیطی به وجود آورد که در طولانی‌مدت باعث بهبود سلول‌های عصبی می‌گردد (وانگ، ۲۰۱۳: ۱۷). همچنین شکستگی‌ها و جراحات و صدمات وارده به استخوان در طی جنگ که یکی از بدترین عوارض محسوب می‌گردد را می‌توان با استفاده از نانو تیوب‌های کربن که دارای استحکام بسیار زیادی در بافت استخوانی‌اند تا حد زیادی مرتفع کرد (مارتینز، ۲۰۱۳: ۱۲۲).

#### **- رفع آلودگی، حفاظت و شناسایی عوامل شیمیایی و میکروبی به کمک نانو فناوری:**

رفع آلودگی و سمیت زدایی عوامل شیمیایی از اماکن، محیط و کارکنان در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به‌علاوه افزایش حملات تروریستی، رهاسازی مخازن شیمیایی و احتمالات مشابه اهمیت موضوع را افزون نموده است. آلودگی حاصل از عوامل شیمیایی و بیولوژیک تأثیر بسیار زیان‌آوری بر روی موجودات زنده، مواد غذایی و تجهیزات وارد می‌کند. افرادی که در معرض این عوامل قرار دارند، با گستره وسیعی از تأثیرات آن‌ها از جمله، سوزش، سستی، بیماری، ناتوانی شدید و حتی مرگ مواجه هستند (استوت<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷: ۸۱).

عوامل شیمیایی سمی به دو کلاس پایدار و ناپایدار تقسیم می‌شوند. در کلاس ناپایدار عوامل خون و عوامل خفه‌کننده که دارای نقطه‌جوش پایین و فشار بخار بالا هستند قرار می‌گیرند و عوامل اعصاب، تاول‌زا و آرسنیک‌ها که نقطه‌جوش بالا و فراریت پایین دارند در کلاس پایدار قرار می‌گیرند. تنها راه سلامت ماندن در محیط آلوده عوامل شیمیایی و میکروبی جنگی حفاظت مناسب از سیستم تنفسی و بدن می‌باشد.

- 
1. Anselmo
  2. Stout



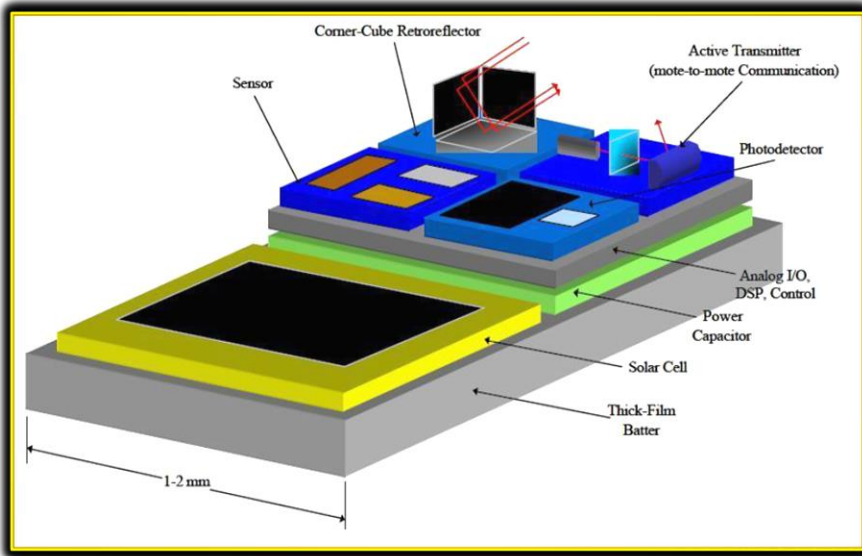
موضوع حفاظت گسترده است و در یک نگاه به دو طبقه حفاظتی فنی و حفاظت تاکتیکی تقسیم می‌شود. حفاظت فنی به منظرهای مختلف مواد، تجهیزات و شیوه‌های به‌کارگیری آن‌ها برای حفاظت انفرادی و یا گروهی توجه دارد، در صورتی‌که حفاظت تاکتیکی به حرکت و عملیات نظامی وابسته است، که بتواند به سربازان کمک کند تا کمترین آسیب را متحمل گردند. تأمین هوای پاک توسط جاذب‌ها با سطح ویژه بالا و غشاهای مکانیکی مانند نمد و هپا انجام می‌شود. تصفیه هوا با فرایند فیزیکی و شیمیایی، شامل: جذب فیزیکی و شیمیایی، جداسازی، آئروسول‌های آلوده و ذرات به‌صورت یکپارچه انجام می‌شود. هرچند کربن فعال داری سطح جذب بالا است اما در مقابل عوامل شیمیایی ناپایدار ضعف دارد، علاوه بر این انهدام آن‌ها بعد از استفاده مشکلات زیادی به وجود می‌آورد. می‌توان توسط مواد نانو کامپوزیت موجود بر کربن فعال فیلتر تنفسی، آلاینده‌ها و گازهای شیمیایی بسیار ناپایدار را جذب و خنثی نماییم (خوشرو، ۱۳۹۴: ۲۸). به‌طورکلی سه نوع حفاظت در برابر عوامل شیمیایی و میکروبی بر اساس نانو فناوری می‌توان فراهم کرد که شامل:

- ۱- آشکارسازی سریع‌تر و دقیق‌تر.
  - ۲- استفاده از لباس‌های حفاظتی با منافذ ریزتر.
  - ۳- خنثی‌کننده‌ها و جاذب‌های قوی‌تر.
- دو نوع آخر را می‌توان به‌عنوان فیلتر برای ماسک و یا روی لباس بکار برد. در نواحی که حسگرها برای عناصر جنگی (شیمیایی و میکروبی) وجود دارند، چندین رهیافت متکی به نانو فناوری مورد نظر است. نیاز به پادتن را می‌توان به‌وسیله فلورسنت و یا نانو ذرات مغناطیسی یا از روی تغییرات حاصله در ارتعاش کانتیلورها، ردیابی نمود و به موارد زیر دست یافت:
- ۱- اندازه‌گیری واکنش سلول‌های زنده روی تراشه‌ها.
  - ۲- شناسایی سریع عفونت در نمونه‌های بالینی و یا در بدن.
  - ۳- بهبود زیست حسگرها با استفاده از پادتن‌های پیشرفته.
  - ۴- توالی ژنومیکی در پاتوژن‌ها.
  - ۵- حفاظت از غشاهای متخلخل با مسدودسازی راه عبور مولکول‌ها.
  - ۶- استفاده از نانو مواد تحریک‌کننده جهت جذب و یا از بین بردن عناصر شیمیایی و میکروبی (آلمن، ۱۳۹۰: ۱۶۴).

۷- استفاده از کو پلیمرهای پر شاخه (دندریمر) به عنوان حسگر و همچنین جهت جذب و یا از بین بردن عناصر شیمیایی و میکروبی.

نانو حسگرهای شیمیایی و زیستی ابزار بسیار ریزی هستند که قادر به شناسایی و پاسخ به محرک‌های فیزیکی در مقیاس نانو از قبیل محرک‌های بیولوژیکی، شیمیایی، جابجایی‌های بسیار جزئی، نیرو، صوت، جرم، حرارت و الکترومغناطیس می‌باشند. این حسگرها می‌توانند از نوع سیلیکون‌های متخلخل بوده و برای شناسایی واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی یا نوری بکار روند، همچنین این حسگرها می‌توانند از نوع نانوپروب بوده و به عنوان گیرنده نوری- بیولوژیکی، نوری - شیمیایی و یا حسگرهای تصویری فضایی بکار روند و هم می‌توانند از نوع حسگرهای الکتریکی - مکانیکی بوده و برای اندازه‌گیری تغییرات جرم مواد جذب‌شده روی ساختارهای رزونانسی استفاده شوند. با توجه به این موارد دو نمونه از نانو حسگرهای ساخته‌شده با خواص جالب، غبارهای هوشمند<sup>۱</sup> و نانو حسگرهای گازی می‌باشند.

غبار هوشمند در واقع حسگر (سنسور) بسیار پیشرفته‌ای است که در سال ۱۹۹۹ در آمریکا ساخته شده است. عموماً این غبارها از پنج بخش اصلی تشکیل شده‌اند که شامل کنترلر، گیرنده و فرستنده، حافظه خارجی، منبع تغذیه و حسگر هستند. این حسگرها را می‌توان نانو کامپیوترهای بسیار کوچک و سبکی دانست که قادرند ساعت‌ها در هوا معلق مانده و داده‌های حاصل از پردازش خود روی دما، فشار، رطوبت، میزان مواد شیمیایی موجود، نور و صدای محیط اطراف خود را تا فاصله ۲۰ کیلومتری مخابره کنند و امکان پایش مستمر وضعیت آلودگی هوا را در یک منطقه خاص فراهم آورند. این حسگرها در صورت نزدیک شدن به هم قادرند یک شبکه موقت محلی ایجاد کرده و باهم تبادل اطلاعات نمایند و امکان تحلیل دقیق‌تر وضعیت آلودگی هوا را فراهم کنند. اندازه این حسگرها در حد میلی‌متر مکعب است و در حجم زیاد با هزینه معقولی قابل ساخت است. انرژی آن‌ها از نور خورشید تأمین می‌شود و لذا تنها در روزهای آفتابی قابل استفاده هستند، اما کار روی آن‌ها برای تعبیه باطری با ظرفیت و حجم مناسب که بتواند آن را در تاریکی یا هوای ابری نیز قابل استفاده نماید، همچنان ادامه دارد.



شکل ۳: نمونه‌ای از غبار هوشمند به همراه حسگر (سونگ، ۲۰۰۲: ۴)

در سال ۲۰۰۰ میلادی نخستین نانو حسگرهای گازی برای شناسایی دیوکسین با غلظت  $\text{ppb}$  ساخته شد. این حسگر گازی شامل یک نانو تیوب چند دیواره می‌باشد که قادر است تا  $۱۰۳۴$  برابر بیشتر از جاذب‌هایی مثل کربن فعال، دیوکسین را به خود جذب کند و آن را شناسایی نماید. یک سال بعد، نانو حسگرهای گازی از همین نوع برای شناسایی دی‌اکسید گوگرد، اکسید نیتروژن و دی‌اکسید کربن نیز ساخته شدند. به‌طور همزمان در آمریکا هم یک نوع نانو حسگر گازی که در آن از نانو تیوب تک لایه استفاده می‌شد، ساخته شد که قادر به تشخیص آنی آمونیاک و دی‌اکسید کربن در غلظت  $۲۰ \text{ ppm}$  بود (قراتپه، ۱۳۸۷: ۳۸ و ۳۷).

مطابق با هدف ذره، طراح حسگرهای مختلفی را از قبیل نور، درجه حرارت، لرزش، میدان مغناطیسی، آکوستیک و باد را بر روی ذره مجتمع می‌کند. جدول زیر انواع مختلف حسگرها که می‌توان روی ذرات بکار برد را نشان می‌دهد.

جدول ۱: انواع حسگرهای بکار رفته در غبار هوشمند (سونگ، ۲۰۰۲: ۶)

	Current consumption	Voltage range	Min range/Max range	Accuracy	Temperature dependence
Magnetometer	650 $\mu$ A	2.7-5.25V	-/+0.5 Gauss	2 mGauss	1.4mG / °C
Accelerometer	600 $\mu$ A	3- 5.25V	-/+2g	25 mg	negligible
Light sensor	200 $\mu$ A	2.7-5.5V	0 mW/m <sup>2</sup> /26mW/m <sup>2</sup>	6 mW/m <sup>2</sup>	negligible
Temperature Sensor	600 $\mu$ A	2.7-5.5V	-20°C/100°C	0.25°C	not applicable
Pressure sensor	650 $\mu$ A	2.7-5.5V	0.6 PSI gauge range @ 14.4 PSI absolute	2.4 mPSI	10 mPSI/°C
Humidity sensor	200 $\mu$ A @5V	4-9V	0-100% relative humidity	+/-2% RH	negligible

## بحث و نتیجه‌گیری

کاربرد نظامی فناوری نانو در تولید و توسعه ادوات و تجهیزات نظامی در زمره کاربردهای دوگانه نظامی است که هم می‌توان از آن، در کاربردهای مشروع چون مقاوم کردن پوشش نظامی رزمندگان یا حسگرهای نانو که قابلیت تفکیک میان رزمندگان و غیر رزمندگان را افزایش می‌دهند، استفاده کرد و هم در کاربردهای غیر مشروع، چون استفاده در ساخت تسلیحات بیولوژیک و هسته‌ای بهره برد. عمده‌ترین عرصه کاربرد نظامی فناوری نانو، در تولید و توسعه تجهیزات و ادوات نظامی بیولوژیک است، به‌گونه‌ای که علم نوینی به نام نانو زیست‌فناوری، مسئول پرداختن به آن است. قابلیت دسترسی انواع وسایل به فناوری نانو، تهدیدات نظامی را به‌عنوان خطر عمده بالقوه نسبت به صلح و امنیت بین‌المللی در آینده افزایش داده است. این در حالی است که عدم آموزش کافی و مؤثر بسیاری از نیروهای نظامی کشورها برای مقابله با این تهدیدات، خارج شدن انحصار فناوری‌های نانو از توان دولتی و انتقال آن به شرکت‌های چندملیتی و ظهور و توسعه گروه‌های غیردولتی چون عملکرد بین‌المللی تروریسم، موجب شده که تلفات و خسارت‌های احتمالی ناشی از استفاده از فناوری مخرب نانو چند برابر شود. امکان به‌کارگیری فناوری نانو در سال‌های گذشته به‌ویژه در قالب نانو ذرات سبک برای استفاده در سلاح‌های نظامی با قدرت تخریب زیاد یا نانو کامپوزیت‌ها برای به‌کارگیری در صنایع هوایی و

صنایع دفاعی، جهان را به‌ویژه در بخش هوایی نظامی با تحولات شگرف مواجه کرده است. از طرف دیگر، با سرمایه‌گذاری گسترده کشورهای توسعه‌یافته در بخش فناوری نانو در مخابرات و افزایش قابلیت‌هایی مانند افزایش سرعت و پهنای باند وسیع شبکه‌های مخابراتی و غفلت از آن در کشورهای در حال توسعه، اینک جنگ‌های نوین سایبری رخ می‌دهد. یکی از علل بروز حملات بدافزار استارکس نت و فلیم به صنایع هسته‌ای و نفتی ایران در سالیان گذشته، همین غفلت از سرمایه‌گذاری بر روی فناوری نانو بوده است.

عرصه‌هایی که این رشد می‌تواند تأثیرگذار باشد، شامل یکپارچه‌سازی نانو ساختارهای عامل دار با ابزارهای معمول همچون مدارات مجتمع نیمه‌هادی یا توسعه مواد کامپوزیتی و ابزارهای جدید با عملکرد بهبودیافته می‌باشد. مثال‌های فعلی این کاربرد شامل نانولوله‌های کربنی اضافه‌شده به رنگ برای کاهش بار استاتیکی و یا نانو ساختارهای عامل داری هستند که به‌عنوان روکش برای لنت‌ها و الیاف مورد استفاده قرار گرفته و موجب ایجاد ویژگی آب‌گریزی و مقاومت در برابر سایش می‌گردند. احتمالاً با ظهور ویژگی‌های جدید، مواد نانو ساختار به‌طور فزاینده به ابزارها و قطعات ماکروسکوپی اضافه خواهند شد تا عملکرد یا ویژگی‌های بهتری ایجاد کنند.

در بعد پزشکی فناوری نانو می‌تواند باعث شتاب در پیشرفت پزشکی ترمیمی شده، رزمنده را هر چه سریع‌تر به صحنه عملیات نظامی برگرداند.

با توجه به پژوهش انجام‌شده، می‌توان با استفاده از فناوری نانو در فرایند تولید پارچه آن را در مقابل گلوله، آب، روغن و نفوذ عوامل شیمیایی مقاوم کرد. در واقع به کمک نانو لوله‌ها و بافتن آن‌ها به هم می‌توان یکپارچه ضدگلوله سبک تولید کرد که با تسهیل حرکت سربازها، بازدهی آن‌ها را افزایش خواهد داد، همچنین با ایجاد یک سری پرزهای نانومتری در سطح پارچه می‌توان مانع نفوذ آب و روغن به داخل لباس شد و یا به کمک اکسیدهای نانومتری فلزات منیزیم، کلسیم، آلومینیوم و تیتانیوم می‌توان پارچه را در مقابل نفوذ عوامل شیمیایی خردل، سومان و وی ایکس مقاوم کرد.

بنابراین فناوری نانو نظامی می‌تواند ابعاد مختلف امنیتی، پدافندی، راهبردی و توسعه‌ای را برای یک کشور به همراه داشته باشد که در صورت فقدان آن، خسارات وسیع و جبران‌ناپذیری به بار می‌آید. عمده نگرانی‌ها راجع به استفاده از سلاح‌های نانو فناوری در صحنه مخاصمات، قابلیت آن برای تأثیرات سوء بر انسان و محیط‌زیست است. در این زمینه باید استفاده از نانو مواد غیر

ارگانیک و مهندسی شده همچون تیتانیوم دی‌اکسید در تولید و توسعه ادوات و تجهیزات نظامی را که در بسیاری از موارد، سمی بودن آن‌ها برای انسان و محیط‌زیست آشکار شده است، به حداقل رساند و به جای آن بر نانو مواد ارگانیک تکیه کرد.

در پایان با توجه به گستردگی نانو تکنولوژی و کمترین استفاده از آن در نیروهای مسلح جمهوری اسلامی پیشنهاد می‌گردد در نیروهای مسلح و به‌خصوص در مراکز علمی و دانشگاهی آن‌ها، به جذب دانشجو در این رشته و ایجاد مراکز نانو تکنولوژی نظامی نیز اهتمام کافی شود تا انشا الله حاصل آن تقویت هرچه بیشتر نیروهای مسلح چه در آفند و چه در پدافند باشد.

## فهرست منابع:

### الف - منابع فارسی

- آقایی، حسین، بنی مهدکیوانی، محمد، آقایی خضری، مهران، زارع، کریم، انصاری، رضا، (۱۳۸۸). سنتز نانو پلیمر و نانو کامپوزیت‌های الکترواکتیو بر پایه پلی آنیلین بررسی خواص مکانیکی، هدایت الکتریکی و پایداری حرارتی. نشریه علوم پایه (دانشگاه آزاد اسلامی - JSIAU)، دوره ۱۹، شماره ۷۲ ویژه‌نامه شیمی، صص ۱-۱۶.
- ابراهیم‌نژاد شلمانی، محمد، (۱۳۸۶). آشنایی با تسلیحات غیر کشنده. انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، پژوهشکده مهندسی پدافند غیرعامل، مدیریت پژوهش و آموزش.
- اسماعیلی، الهه، (۱۳۸۹). الیاف نانو لوله‌های کربنی، معرفی، سنتز و کاربرد. ماهنامه فناوری نانو، سال نهم، شماره ۴، صص ۱۱-۱۵.
- افتخاری، اصغر، کامکار، مهدی، (۱۳۸۷). جنگ‌های آینده و فناوری پیشرفته اولویت‌بندی نسل بعدی توانمندی‌ها. فصلنامه نگرش راهبردی، شماره ۸۹ و ۹۰، صص ۲۲۶-۱۹۱.
- بیات، یدالله، دهقانی، حسین، ذکری، نگار، ابریشمی، فاطمه، (۱۳۸۵). مواد منفجره نانو سایز (بررسی خواص و روش‌های تولید). تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر.
- پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، (۱۳۸۷). نقد و تحلیل کتاب نانو فناوری و جنگ‌های مدرن، ظرفیت‌ها و موانع. ماهنامه نگرش راهبردی شماره ۸۹ و ۹۰، صص ۲۸۶-۲۶۱.
- تدینی، عباس، کازرونی، سید مصطفی، (۱۳۹۵). کاربردهای نظامی فناوری نانو از منظر حقوق بین‌الملل بشردوستانه. مجله حقوقی بین‌المللی، شماره ۵۴، صص ۳۰۶-۲۵۷.
- توانایی، حسین، نداف، غزال، (۱۳۸۶). کاربردهای فناوری نانو در نساجی. ماهنامه فناوری نانو، سال ششم، شماره ۱۲۲، صص ۵۲۹-۵۳۴.
- تهمتن، علیرضا، چاراستاد، جواد، بهبودی، عماد، حسینی شکوه، سید جواد، براتی، محمد، (۱۳۹۵). کاربردهای فناوری نانو در پزشکی. فصلنامه پرستار و پزشک در رزم، شماره دهم و یازدهم، سال چهارم، صص ۸۰-۹۰.
- حسینی نسب، فرزاد، افسری ولایتی، محسن، قاسمی نژاد، معصومه، (۱۳۹۵). علوم و فناوری نانو، مباحث عمومی. تهران، انتشارات کوچک آموز.
- خضری، محسن، (۱۳۹۶). نانو حسگرهای شیمیایی و کاربردهای آن. سال دوم شماره ۴۱ مجله دانش‌بنیان، صص ۱۴-۶.

- خوشرو، محمدرضا، حسینی منفرد، حسن، (۱۳۹۴). مکانیسم حذف آلاینده‌های شیمیایی ناپایدار توسط مواد نانو کامپوزیت موجود بر کربن فعال فیلتر تنفسی. فصلنامه پرستار و پزشک در رزم ۹ شماره نهم ۹ سال سوم ۹، صص ۲۷-۳۲.
- دیرین صمیمی فرد، محمدرضا، بیگی، حسین، (۱۳۹۲). کاربرد فناوری نانو در لباس‌های نظامی. دومین همایش ملی فناوری نانو از تئوری تا کاربرد، اصفهان، موسسه آموزش عالی جامی.
- زمانی، سیدقاسم و سیدرضا رفیع، (۱۳۹۲). کاربرد سلاح‌های حاوی اورانیوم ضعیف شده از منظر حقوق بشردوستانه بین‌المللی. مجله حقوقی بین‌المللی، شماره ۴۹.
- ساعد، نادر، (۱۳۸۸). حقوق خلع سلاح و حاکمیت دولت‌ها. تهران، انتشارات خرسندی.
- ستاد توسعه فناوری‌های لیزر و فوتونیک، (۱۳۹۶). تهران، ویژه‌نامه دانش‌بنیان، فناوری لیزر و فوتونیک. شماره پنجم.
- شجاع، جواد، (۱۳۸۸). درآمدی بر کاربردهای نظامی فناوری نانو از نگاه حق بر زندگی در صلح. مجله حقوقی بین‌المللی، شماره ۴۰، صص ۲۵۷-۲۳۱.
- غلامعلی قمشه زاده، پیمان، ساقی، امیرحسین، (۱۳۸۷). فناوری نانو. مجله نانو فناوری، شماره ۶، صص ۸۳-۱.
- قراتپه، علی‌رضا و همکاران، (۱۳۸۷). تشخیص زودهنگام عوامل بیوتروریسم به‌وسیله نانو سنسورها. مجله علمی ابن‌سینا، تهران، اداره بهداشت و درمان نهجا، دوره یازدهم، شماره اول، صص ۴۱-۳۴.
- عابدینی، فیض‌الله، اسدپور، فائزه، عاقل پسند، ابوالفضل، (۱۳۹۲)، بررسی و تحلیل چگونگی بهره‌گیری از فناوری نانو در توسعه معماری پایدار. بوکان، همایش ملی معماری پایدار و توسعه شهری.
- کنعانی، محمد هاشم، (۱۳۸۶)، نانوتکنولوژی: کاربردها و چالش‌ها. مجله اطلاع‌یابی و اطلاع‌رسانی، شماره ۴، صص ۶۱-۷۳.
- محمود خواه، ملیحه، (۱۳۹۷)، نانو و تجهیزات نظامی. مجله دانش‌بنیان سبزین، سال سوم، شماره ۵۵۰، ص ۷.
- ملائی، معصومه، (۱۳۹۵)، مروری بر نانو لوله‌های کربنی و کاربرد آن در الکترونیک. شیراز، اولین همایش ملی مهندسی برق باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، صص ۱۱۸-۱۱۵.
- ممتاز، جمشید، (۱۳۹۰)، حقوق بین‌الملل سلاح‌های کشتار جمعی. مترجم: امیرحسین رنجبریان، تهران، انتشارات میزان.
- نایب مراد، فرناز، (۱۳۹۶)، فناوری نانو در تولید لباس‌های ورزشی. مجله نساجی امروز، شماره ۱۷۳، صص ۷۲-۷۰.



- یلداگرد، مریم، جهانبخش محسن، احمدپور علی، (۱۳۹۱)، نانو ذرات مغناطیسی: حفاظت، عامل دار کردن و کاربرد. مجله دنیای نانو، شماره ۲۹، سال ۹، صص ۴۱-۵۱.
- یورگن آلتمان، (۱۳۹۰)، نانوتکنولوژی نظامی. مترجمین: هدایت، فرزین. منتظری، سعید، انتشارات مرکز آموزشی و پژوهشی شهید سپهبد صیاد شیرازی.
- نجفی، مصطفی، باغبانیان، امین اعظم، (۱۳۹۰)، نانو حسگرهای گازی برای آشکارسازی مواد منفجره. مجله تحقیق و توسعه مواد پرانرژی، سال هفتم، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۵، صص ۱۲-۳.

#### ب - منابع انگلیسی

- Anselmo AC, Modery - Pawlowski CL, Menegatti S, Kumar S, Vogus DR, Tian LL, et al, (2014). Platelet - like nanoparticles: mimicking shape, flexibility, and surface biology of platelets to target vascular injuries. *Acs Nano*; 8(11): 11243 - 53.
- Archana D, Dutta J, Dutta P, (2013). Evaluation of chitosan nano dressing for wound healing: Characterization, in vitro and in vivo studies. *International journal of biological macromolecules*; 57:193-203.
- Bai MY, Chou TC, Tsai JC, Yu WC, (2014). The effect of active ingredient-containing chitosan/polycaprolactone nonwoven mat on wound healing: In vitro and in vivo studies. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*; 102(7):2324-33.
- Bonča, Janez; Kruchinin, Sergei, (2015). *Nanotechnology in the Security Systems*. Springer
- Choo, H. Jung, Y., Jeong, Y., Kim, H. and Ku, B, (2012). Fabrication and Application of Carbon Nanotube Fiber ., *Carbon Letters*, 13(4), September, pp. 191-204.
- Chou, Hsun-Wen, (2008). *Nanotoxicology: From Nano Titanium Dioxide Particle Size Effect on Ceriodaphnia Dubia to Death Mechanism* . ProQuest, p. 39.
- Dana, David A, (2011). *The Nanotechnology Challenge: Creating Legal Institutions for Uncertain Risks* . Cambridge University Press, p. 286.
- Diamond D, Coyle S, Scarmagnani S et al, (2008). *Wireless sensor networks and chemo-/ biosensing*. *Chem. Rev* 108(2):652-679
- Fitzgerald RH, Bharara M, Mills JL, Armstrong DG, (2009). Use of a Nanoflex powder dressing for wound management following debridement for necrotising fasciitis in the diabetic foot. *International Wound Journal*; 6 (2): 133 - 139
- Kong, J., Franklin, N.R., Zhou, C., Chapline, M.G., Peng, S., Cho, K., Dai, H, (2000). *Nanotubes Molecular Wires as Chemical Sensors*. *Science*. Vol.287 (5453), pp.622-625.
- Kosal, E, Margaret, (2009). *Anticipating the Biological Proliferation Threat of Nanotechnology: Challenges for International Arms Control Regimes*.
- Krishna, Kant, (2010). *Computer-Based Industrial Control* .2/e, PHI Learning Pvt. Ltd.
- Lansdown, Alan B. G. *The Carcinogenicity of Metals: Human Risk through Occupational and Environmental Exposure* . Royal Society of Chemistry, 2013, p. 338.
- Lin, Patrick, (2007). *Nanotechnology Bound: Evaluating the Case for More Regulation*. in *NanoEthics*, Springer Publication, p. 106.

- Martins- Júnior P, Alcântara C, Resende R, Ferreira A, (2013). Carbon nanotubes directions and perspectives in oral regenerative medicine. *Journal of dental research*.
- Nasu, Hitoshi, (2014). *Nanotechnology and the Law of Armed Conflict*. in *New Technologies and the Law of Armed Conflict*, Springer Publication.
- Plows, Alexandra and Reinsborough, Michael, (2008). *Nanobiotechnology and Ethics: Converging Civil Society Discourses*.
- Ramsden, J.J. and Freeman, J, (2009). The nanoscale. *Nanotechnol. Perceptions* (5) 3–25
- Rafiee, M.A. et al, (2010). Fracture and fatigue in graphene nanocomposites. *Small* (6) 179–183
- Singh, S, (2007). Sensors an Effective Approach for the Detection of Explosives. *J. Hazard. Materials*, 144, 15-28
- Stark, A, (2012). New military apparel repels chemical and biological agents. On the WWW, at [http:// 2Twww.llnl.gov/news/newsreleases.Oct/NR-12-10-06.html2T](http://2Twww.llnl.gov/news/newsreleases.Oct/NR-12-10-06.html2T).
- Stout SC, Larsen SC, Grassian VH, (2007). Adsorption, desorption and thermal oxidation of 2-CEES on nanocrystalline zeolites. *Microporous Mesoporous Mater.* 100(1–3):77–86.
- Wei G - J, Yao M, Wang Y - S, Zhou C-W, Wan D - Y, Lei P – Z, (2013). Promotion of peripheral nerve regeneration of a peptide compound hydrogel scaffold. *International journal of nanomedicine*; 8: 3217
- Yunbin Song; (2002). *Optical Communication Systems for Smart Dust*. Virginia Polytechnic Institute and State University.