کاربردهای حفاظتی نانوفناوری در پدافند غیرعامل

سوسن رسولی[1]، فاطمه اوشنی[2]

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۹/۰۲
تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۲۶

چکیده

یکی از مسائل مهم درتمامی جنگ‌ها حفاظت از تأسیسات حیاتی و جان مردم و کمک‌رسانی سریع می‌باشد. محورهای مهم تحقیقات و توسعه در این زمینه شامل تحقیقات مربوط به حفاظت در مقابل انواع بمب‌های شیمیایی و بیولوژیکی تا سیستم‌های حفاظتی بهتر و کارآمدتر در مقابل انواع مواد منفجره، ترکش‌ها، آتش و به خصوص کمک‌رسانی می‌باشد.

مسئله حفاظت در پدافند غیرعامل را می‌توان در چهار محور حفاظت شخصی، استحکامات، اختفا و استتار و رفع آلودگی از محل‌های مورد آسیب تحت بررسی قرار داد. در این مقاله به کاربرد نانوفناوری در این محورها پرداخته شده است. این کاربردها شامل کاهش وزن تجهیزات حفاظت شخصی، تهیه ساختارهای انعطاف‌پذیر و یا هوشمند و هم‌چنین افزایش قدرت مکانیکی و استحکام سازه‌ها با استفاده از نانومواد در تجهیزات است. استفاده از نانولوله‌های کربنی و یا نانوذرات کلوئیدی سیلیکا در ساختار بتن برای افزایش استحکام و کارآیی آن به منظور ساخت سنگرها و پناهگاه‌های محکم‌تر، از دیگر مواردی است که مورد بررسی قرار گرفته است. برای رفع آلودگی هوا و یا برای خالص‌سازی آب آشامیدنی پس از حمله‌های شیمیایی یا هسته‌ای از فیلترهای پلیمری کاتالیستی خود پاک شونده استفاده می‌شود که با استفاده از نانوپوشش‌های چند منظوره گسترش یافته‌اند. برای تمیز کردن خون افرادی که در معرض حملات شیمیایی یا هسته‌ای قرار می‌گیرند یک فناوری دارویی جدید بر پایه نانومواد توسعه یافته است که از یافته‌های جدید در مورد فیلتر کردن توسط نانوذرات مغناطیسی استفاده می‌کند.

کلیدواژه‌ها: نانوفناوری، پدافند غیر عامل، حفاظت

۱- دکترا، استادیار، عضو هیأت علمی گروه نانو مواد و نانوفناوری پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ Email: rasouli@icrc.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، کارشناس آزمایشگاه گروه نانو مواد و نانوفناوری Email: fatemeh_oshani@yahoo.com

۱- مقدمه

در طول تاریخ بشر همواره جنگ‌های بی‌شماری رخ داده است که نتیجه آن‌ها بدون در نظر گرفتن برنده یا بازنده بودن یک جبهه، ویرانی شهرها و کشته و زخمی شدن افراد زیادی از سربازان و مردم عادی بوده است. از قرن بیستم به بعد با ظهور ابزار جنگی کارآمدتر در خرابی و کشتار مردم، مسئله حفاظت اهمیت بیشتری پیدا کرده و دامنه آن به حفاظت از تأسیسات حیاتی و جان مردم عادی سرایت کرده است. در این چارچوب بحث پدافند غیر عامل مطرح شده است که به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌گردد که مستلزم به‌کارگیری جنگ افزار نیست و با اجرای آن می‌توان از وارد شدن خسارات مالی به تجهیزات و تأسیسات حیاتی و حساس نظامی و غیرنظامی و تلفات انسانی جلوگیری نمود و یا میزان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن کاهش داد. در واقع، اکنون کشورهایی در میدان جنگ موفق‌تر هستند که پدافند غیر عامل پیشرفته‌تر و کارآمدتری دارند و به همین دلیل در اکثر کشورهای جهان بودجه‌های هنگفتی به گسترش این امر اختصاص یافته است.

در این راستا، استفاده از برخی فناوری‌های نوین که در چند ده سال اخیر تولد و رشد یافته‌اند در صدر مباحث تحقیقاتی قرار گرفته و سؤال اساسی این است که چگونه می‌توان با به‌کارگیری این فناوری‌ها استحکامات محکم‌تری در مقابل بمباران داشت و یا اینکه بهتر بتوان تأسیسات کلیدی و حساس کشور را اختفا کرد؟

یکی از این فناوری‌ها نانوفناوری است که در بیست سال گذشته توجه زیادی را به خود جلب کرده است. تعاریف گوناگونی را برای نانوفناوری ارائه داده‌اند که یکی از آن‌ها فناوری در سطح اتمی یا نزدیک به آن می‌باشد؛ زیرا در این مقیاس مواد خواصی را به‌دست می‌آورند و با کنترل آرایش مولکولی در مقیاس نانو امکان ایجاد مواد جدیدی که دارای خواص فیزیکی جدیدی هستند به‌وجود می‌آید. اگر پارامترهای طول و زمان با پارامترهای ساختاری مواد، قابل مقایسه تصور شوند چنین نتیجه می‌شود که یکی از دلایل عمده پیدایش خواص جدید در نانو ذرات در مقایسه با مواد حجیم این است که اندازهٔ بسیار کوچک ذرات زمان انجام پدیده‌ها را بسیار کوتاه می‌کند.

نانوفناوری نمودی از دانش میان‌رشته‌ای است که اصول شیمی و فیزیک مولکولی را با اصول طراحی مکانیکی، تجزیه و تحلیل ساختاری، علم کامپیوتر، مهندسی الکترونیک و مهندسی سیستم درهم می‌آمیزد. این علم، درصورت توسعه، دارای توانایی‌های فوق‌العاده‌ای می‌باشد. نانو فناوری چهره دنیا را در قرن بیست و یکم بکلی عوض خواهد کرد و تقریباً هیچ صنعت یا زمینه‌ای، از آثار گستردهٔ آن بی‌نصیب نخواهد ماند. این فناوری با افزایش توان فیزیکی، فکری و حسی افراد، ایجاد منابع ارزان و قابل حصول انرژی، ایجاد بالاترین حد همگرایی رایانه‌ها، شبکه‌ها و بیوفناوری و ساخت محصولات پیشرفته‌ای با هزینه اندک و منابع ابتدایی که تا قبل از آن غیرقابل تصور بوده‌اند موجب ایجاد انتخاب‌های جدیدی برای بشر خواهد شد و در نهایت، تحولات بنیادی در زندگی انسان‌ها را رقم خواهد زد. با این تفاسیر، کشورهایی در آینده نزدیک حرف اول را در برتری فناوری خواهند زد که با درک عمیق از قابلیت‌ها و پتانسیل‌های این فناوری برنامه‌های بنیادی-کاربردی گسترده‌ای را با اختصاص بودجه‌های مناسب از هم اکنون به اجرا بگذارند.

یکی از پتانسیل‌های مهم نانوفناوری در مسائل نظامی است که کشورهای غربی و پیشرفته از هم اکنون در حال انجام تحقیقات در این زمینه هستند. در این مقاله توانمندی‌های نانوفناوری در مسئله حفاظت در پدافند غیر عامل و بهبود کارایی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- حفاظت در پدافند غیر عامل

بخش مهمی از خسارات و صدمات وارده در حملات هوایی-موشکی مربوط به اصابت بمب و ایجاد انفجار توسط آن‌ها می‌باشد که در اغلب موارد، پیامدهای بعدی این حملات از خسارات ناشی از انفجارهای اولیه بیشتر می‌باشد. مثلاً در هنگام استفاده از بمب‌های شیمیایی اثرات مخرب آن‌ها تا مدت‌های زیادی باقی مانده و محل مورد اصابت را غیر قابل سکونت می‌سازد. اگر چه با رعایت اصول پدافند غیرعامل و اجرای طرح‌های مربوطه می‌توان خسارات اولیه و صدمات بعدی را کاهش داد اما با استفاده از نانوفناوری می‌توان تاثیر این تمهیدات را به مراتب افزایش داد.

در موضوع حفاظت در پدافند غیر عامل، بخشی از محورهای مهم شامل حفاظت شخصی، استحکامات، اختفا و استتار و در نهایت، رفع آلودگی از محل‌های مورد آسیب است که به کاربرد نانوفناوری در بهبود عملکرد وکارآیی آن‌ها می‌پردازیم.

۲-۱- حفاظت شخصی

تحقیقات اساسی در این مورد عموماً به سیستم‌های حفاظت در مقابل انفجار، گلوله و آتش و هم‌چنین در مقابل عوامل بیولوژیکی و شیمیایی در جنگ مربوط می‌باشد. در واقع توسعه سیستم‌های حفاظت شخصی/پارچه (لباس) برای ایجاد حفاظت بهتر در مقابل مواد مضر مانند ماده منفجره هسته‌ای رادیویی، بیولوژی، شیمیایی، مواد منفجره، ترکش‌ها و توسعه پارچه‌هایی با خواص میکروب‌کش، ویروس‌کش و هم‌چنین توسعه تحقیقات درکاهش وزن سیستم‌های حفاظتی بالیستیکی (نظیر جلیقه‌های ضدگلوله) و لباس‌های ضدحریق با استفاده از نانو مواد جدید امکان‌پذیر شده است. در این زمینه نانو فناوری می‌تواند موادی با خواص جدید را پیشنهاد دهد و یا اینکه افزایش خواص فیزیکی موجود و یا دوام بیشتر آن‌ها را فراهم آورد. در مبحث حفاظت، عوامل زیر مهم‌ترین تأثیر را درکاربردهای حفاظت شخصی دارند:

- کاهش وزن: نانوکامپوزیت‌هایی با استحکام بالا و وزن کم سبب بهبود طراحی و استفاده از وسایل حفاظتی شخصی شده است.

- اجزای هوشمند: اجزایی با حساسیت مخصوص و ترکیبات واکنش‌پذیر هستند که عملکرد آن‌ها با کنترل نفوذ و انتقال جرم فعال می‌باشد. نانو ذرات هوشمند می‌توانند اجزای متهاجم را شناسایی و جدا کند.
- ساختارهای انعطاف‌پذیر: این ساختارها، ساختارهای فعالی هستند که با تغییر شرایط خود نظیر مواد معلق، مواد انعطاف‌پذیر یا سخت خود را وفق می‌دهند.
- حفاظت از تداخل الکترومغناطیسی: برای حفاظت از امواج الکترومغناطیس (پالس الکترومغناطیس، میکروویو، اشعه گاما، UV) از پوشش‌ها یا مواد جذب تشعشع الکترومغناطیس استفاده می‌شود.
- افزایش قدرت مکانیکی و استحکام: نانو ذرات و نانو فیبرها می‌توانند ساختارهای ضدبالیستیک و یا پارچه‌های انعطاف‌پذیر ضدبالیستیک را تقویت کنند. هم‌چنین نانولوله‌ها، نانوفیبرها و نانوپوشش‌ها برای از بین بردن آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی مفید می‌باشند. به‌علاوه از نانو ذرات برای بهبود کنترل حرارتی و حفاظت در مقابل آتش استفاده می‌شود.

لباس‌های نظامی هوشمند

سربازان در دریا، خشکی و هوا با خطرات زیادی مواجه‌اند که ممکن است به مرگ یا نقص عضو آن‌ها بیانجامد. بنابراین برای آن‌ها پوشیدن لباس‌های محافظ در برابر مواد منفجره، شیمیایی و بیولوژیکی امری حیاتی می‌باشد. در حال حاضر الیاف‌هایی نظیرکولار[1]، نامکس[2] و نایلون[3]، کاربردهای متداول و فراوانی در انواع جلیقه‌های نجات دارند که خواص استحکامی، ضد بالیستیک و مقاومت مناسبی در برابر شعله آتش دارند. اخیراً رشد زیادی در استفاده از نانو الیاف‌ها در این البسه وجود داشته است و جلیقه‌های نجات ساخته شده از این الیاف‌ها و کامپوزیت‌های آن‌ها دارای عملکرد بالا و عمر بیشتر بوده و به‌علاوه وزن کمتری دارند. در این راستا، از یک ماده جدید بر پایه نانوفناوری برای تهیه نسل جدیدی از جلیقه‌های نجات استفاده شده است. این ماده از اشباع‌سازی کولار در سیال‌های برش سخت[4] تولید می‌شود. این سیال متشکل از نانو ذرات کروی سیلیکا به اندازهٔ در حدود ۴۵۰ نانومتر در محلول پلیمری پلی‌اتیلن گلایکول می‌باشد. هنگامی که این سیال در کولار اشباع شود، توانایی آن برای جذب انرژی بهبود یافته و در نتیجه عملکرد بالیستیکی آن در مورد انرژی جذب شده بیش از دو برابر می‌شود. نتایج نشان داده‌اند که ۴ لایه از کولار اشباع شده با سیال ضخیم‌شونده می‌تواند مقدار زیادی انرژی به اندازه ۱۰ لایه بدون این سیال را جذب کند. در این مورد، مکانیسم پیشنهادی به این قرار است که در جزء حجمی بالا، تنش برشی بالا سبب می‌شود ذرات کلوییدی معلق به شکل هیدروکلاستر در آیند. ترکیب هیدروکلاستر منجر به افزایش ویسکوزیته تا حد امکان می‌شود و در نتیجه، مانند یک جامد رفتار می‌کند و سبب می‌شود گلوله یا ترکش نتواند به داخل نفوذ کند [۱-۳].

هم‌چنین صفحاتی از کائولن با قطر در حدود ۵۰۰ نانومتر بر پایه عملکرد STF ارائه شده‌اند که در این مورد انعطاف‌پذیرتر بوده و با خواص حفاظت بالیستیکی مطلوبتر سبب کاهش وزن نیز شده است [۴].

در سال‌های اخیر بر روی استفاده از سیال‌های مغناطیسی رئولوژیکی برای تهیه لباس‌های نظامی یا جلیقه‌های جنگی حفاظتی جدید برای ارتش امریکا کار کرده‌اند. در واقع، نانو

1- Kevlar
2- Nomex
3- Nylon
4- Shear Thickening Fluids (STF)

سیال‌ها شامل نانوذرات آهن معلق در روغن غلیظ یا سیال می‌باشند و هنگامی که در یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند، نانوذرات آهن ردیف شده و موجب سفت شدن سیال می‌شود (شکل ۱). تنوع درجه سفتی بستگی به قدرت میدان به‌کار برده شده دارد و تغییر بسیار سریع در حدود ۲۰ میلی ثانیه اتفاق می‌افتد. محققان امیدوارند که ترکیبات بر پایه الیاف-سیال بتوانند در مقابل گلوله نارنجک یا ترکش مقاومت بهتری داشته باشند [۵].

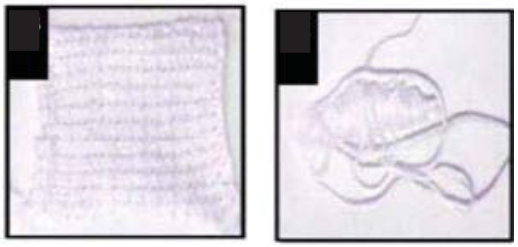
(الف)

(ب)

شکل ۱- سیال روغن همراه با نانوذرات مغناطیسی.
الف) قبل از به‌کار بردن میدان مغناطیسی
ب) بعد از به‌کار بردن میدان مغناطیسی

مسئله پوشش‌های هوشمند برای سربازان با ورود نانوفناوری به دنیای تحقیقات نظامی مطرح شد. در ابتدا فرض شد که با استفاده از نانو مواد ترکیب شده با الیاف میکرو یا ماکرو می‌توان لباس‌های مناسبی که مقاوم در مقابل گلوله، نارنجک، عوامل شیمیایی و بیولوژیکی وابسته به شرایط فیزیکی بدن باشند را طراحی کرد. در این مورد تلاش‌هایی برای تولید جلیقه‌های نجات با حس‌گر شیمیایی و بیولوژیکی و شبکه‌های نانوفیبری با ظرفیت جذب، خنثی‌سازی و ضد عفونی به عمل آمده است. به‌علاوه، تلاش‌هایی نیز در حال انجام است که با استفاده از فیبر کربن و کامپوزیت پلیمر، یک لباس سبک و کلاه برای حفاظت بالیستیک ایجاد گردد.

یک مثال مهم برای پیشرفت منسوجات حفاظتی، توسعه مواد پوششی نازک خود گندزدا در مرکز تحقیقات دریایی آمریکا است. این پارچه که عملکرد آن در شکل (۲) نشان داده شده است به صورت فعال عوامل آفت‌زا و مواد شیمیایی مضر را خنثی می‌کند. این پوشش شامل تعدادی لایه به ضخامت ۵۰۰nm از پوشش کامپوزیتی با ترکیب آنزیم‌ها در لایه‌های پلیمر پلی‌کاتیونیک / پلی‌آنیونیک می‌باشد. لایه‌های انفعالی، پایداری بالایی دارند و می‌توانند مواد شیمیایی مضر را برای مدت زمان زیادی از بین ببرند. تست‌های آفت‌کش بر روی الیاف‌های پارچه‌های طبیعی و سنتزی پوشش داده با آنزیم کاتالیستی ساخته شده انجام شده است که نتیجه آن ظرفیت خنثی‌سازی بالا و استحکام در مقایسه با سیستم‌های گندزدای شیمیایی پیشین می‌باشد [۶].



(الف) (ب)

(ج)

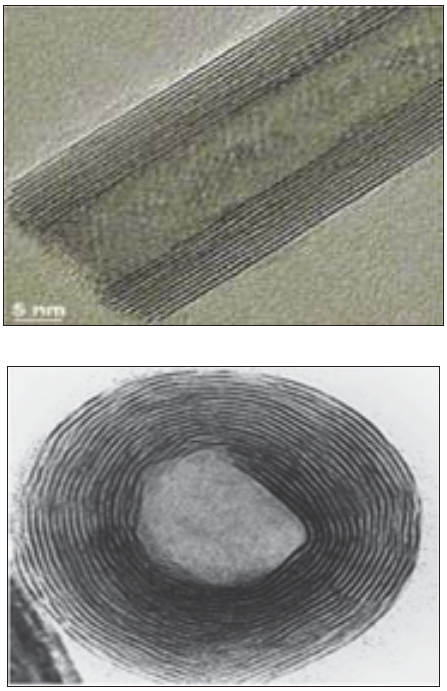
شکل ۲- یک نخ کتان پوشش داده شده با سیستم کاتالیست آنزیم. الف) در الیاف پارچه‌ای بافته شده ب) به دنبال تماس با محلول ضدآفت، پارچه زرد رنگ می‌شود ج) فرایند گندزدایی به طور کامل انجام شده است.

۲-۲- استحکامات

توانایی ایجاد سنگرها یا پناهگاه‌های محکم و مقاوم در برابر حملات موشکی و شیمیایی یکی از مسائل بسیار مورد توجه در مبحث پدافند غیر عامل است. در این رابطه استفاده از مواد پلیمری مانند لاتکس و پلی‌یورتان از دیر باز برای استحکام بخشیدن به این سازه‌ها متداول بوده است. اخیراً، مواد بسیار محکم و سبکی ارائه شده‌اند که در آن‌ها از چندین لایه یک میلی‌متری از نانولوله کربن چند دیواره استفاده می‌کنند. در طی آزمایش‌های به عمل آمده در فشار ۱۵ مگا پاسکال محققان ثابت کردند که نانولوله‌ها در اثر فشار وارده به حالت چندین لایه زیگزاگ برگشت‌پذیر شکل می‌گیرند (شکل ۳). نانولوله‌ها بعد از اینکه چندین هزار تست فشاری را متحمل می‌شوند نمی‌توانند به ابعاد اولیه برگردند و معمولاً ابعاد آن‌ها در حدود ۸-۷ درصد نسبت به مقدار اولیه کاهش خواهد داشت. بنابراین مواد با چندین لایه تراکم بالاتر، مقاومت بیشتری در برابر فشار در مقایسه با فوم‌های ساخته شده از مواد پلیمری نظیر لاتکس یا پلی‌اورتان دارند. این ترکیب دارای خواص منحصر به فردی است که توانایی توسعه در آینده برای لایه‌های محکم و کم وزن را دارد که می‌توانند برای کاربردهای حفاظتی نظیر ساختمان‌های مقاوم در مقابل زلزله و انفجار و حتی حفاظت سیستم‌های حساس الکترونیکی استفاده شود [۷].

شکل ۳- لایه‌های پیچ خورده نانولوله کربن چند دیواره (MWCNT) در فشار ۱۵ مگاپاسکال

در سال‌های اخیر یک سری مواد جدید برای جایگزین کردن نانولوله‌های کربن در سیستم‌های حفاظتی ارائه شده‌اند. این مواد به شکل نانوذرات با ساختار فولرین غیر آلی بر پایه سولفیدهای تنگستن (WS_2)، مولیبدن (MoS_2)، تیتانیم (TiS_2) و نیوبیم (NbS_2) توسعه یافته‌اند. این مجموعه از مواد که سطح مقطع و برش طولی این مواد در شکل (۴) نشان داده شده است دارای استحکام و قدرت مکانیکی و مقاومت در برابر ضربه بالایی هستند [۸].



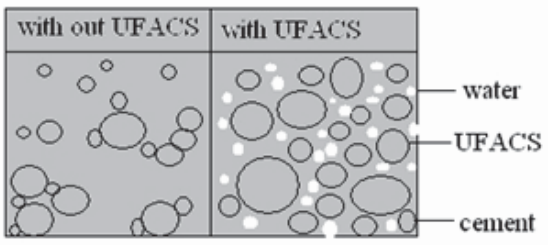
شکل ۴- سطح متقاطع و برش طولی نانوذرات شبیه فولرین غیر آلی

یکی دیگر از کاربردهای نانو فناوری در تقویت استحکامات نظامی و غیر نظامی شامل افزایش مقاومت در بتن می‌باشد. بتن مخلوطی از چند ماده است و اغلب با مقدار زیادی هوا کنترل شده و با آب و سیمان که ترکیبی از آهک، سیلیکا، اکسید آهن و آلومینا می‌باشد شکل می‌گیرد. مواد افزودنی بی‌اثر (معمولاً سنگ و شن یا ماسه) بین ۶۰ تا ۸۰ درصد حجم بتن را تشکیل داده و یک واکنش شیمیایی هیدراتاسیون بین سیمان و آب سبب می‌شود که بتن مانند سنگ سفت شود. مواد افزودنی برای تسریع بخشیدن یا کند کردن واکنش هیدراتاسیون، بهبود کارآیی، کاهش مقدار آب مورد نیاز، افزایش استحکام، یا برای تغییر خواص بتن به آن افزوده می‌شوند [۹-۱۰].

از آن‌جا که سطح فعال بالای نانو ذرات سبب فعالیت شیمیایی زیاد آنها می‌شود افزودن آن‌ها به ساختار بتن می‌تواند اثر خوبی بر روی خواص آن داشته باشد. نانوذرات افزودنی عمدتاً شامل نانوذرات سیلیکا یا سیلیکا فیومی است که بیش از ۸۵٪ آن

شامل SiO_2 بی شکل یا ذرات کروی در حدود ۱۰۰ نانومتر (یعنی ۱۰۰ برابر ریزتر از ذرات سیمان) تشکیل شده است. مساحت زیاد سطح ذرات سبب واکنش سریع سیلیکا فیوم با هیدروکسید کلسیم در یک محیط قلیایی می‌شود. سیلیکا فیوم حجم درون شبکه‌ای را در خمیر سفت سیمان پر می‌کند و باعث می‌شود یک پیوستگی موثر با محصولات واکنش ایجاد گردد. هم‌چنین واکنش فوم سیلیکا با مواد قلیایی حل شده در مواد خمیر سیمان مانند واکنش سریع سیلیکای بی‌شکل می‌باشد. سیلیکای حل شده با هیدروکسید کلسیم سیمان واکنش داده، در فضای بین ذرات خمیر سیمان یک ماده کلوییدی شکل می‌گیرد، و مساحت زیاد سطح ذرات سبب می‌شود که مولکول‌های آب جذب شوند و حرکت خود را از دست بدهند [۱۱].

سیلیکای کلوییدی بی‌شکل بسیار ریز[1] (نانوسیلیکا) برپایه ذرات سیلیکا با اندازه ذره ۵۰-۵ نانومتر می‌باشد و ذرات نانوسیلیکا بسیار کوچک‌تر از سیلیکا فیوم (میکروسیلیکا) شامل ذرات به بزرگی ۰/۱ تا ۱ میکرون می‌باشند. سیلیکای کلوییدی بی‌شکل به صورت محلول مایع شیری رنگ (شامل ۱۵-۱۰٪ جامد) قابل دسترس می‌باشد. در غلظت ۳ تا ۵ درصد وزنی این ماده می‌تواند برای کاهش سیالیت و افزایش مقاومت در برابر جداسازی مواد استفاده شود. به دلیل سطح مخصوص بسیار زیاد (m^2/gr ۱۰۰-۸۰) و شکل کروی، ذرات سیلیکا کلوییدی استحکام بتن را مخصوصاً هنگامی که مقدار مواد پر کننده کم باشد بسیار افزایش می‌دهد. به‌علاوه، سیلیکای کلوییدی بی‌شکل خطای مجاز (رواداری)[2] در بتن را که به دلیل خطاهایی در آب اضافی در هنگام مخلوط کردن ایجاد می‌شود افزایش می‌دهد. (شکل ۵) [۱۲].



شکل ۵- UFACS موجب بهبود استحکام و خطای مجاز بتن در مقابل خطاهای مربوط به افزایش آب می‌شود

1- Ultra Fine Amorphous Colloidal Silica (UFACS)
2- Tolerance

۲-۳- اختفا و استتار

پنهان نگه‌داشتن تأسیسات حیاتی و یا ابزار جنگی از دید دشمن، یکی از مسائل مهم جنگ‌های امروزی است که البته با پیشرفت تجهیزات ردیابی بر اساس انواع رادار کاری بسیار دشوار می‌باشد. برای این امر از پوشش‌های رادار گریز می‌توان استفاده کرد که نوعی پوشش هوشمند هستند. پوشش‌های هوشمندی که در صنایع نظامی کاربرد دارند دارای قابلیت‌های متفاوتی هستند. برخی از آن‌ها هنگامی که در وسایل نقلیه خراش یا پوسیدگی ایجاد شود آن خراشها را یافته و تعمیر می‌کنند، یا اینکه می‌توانند رنگ خود را بسته به شرایط محیطی تغییر داده و یا خود را پنهان کنند که به این رنگ‌ها، رنگ‌های آفتاب‌پرست نیز می‌گویند.

ترکیبات فریک از دیر باز به طرز گسترده‌ای برای جذب امواج الکترومغناطیس مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در بین این ترکیبات، ساختارهای اسپینل NiZn و MnZn برای جذب امواج تا یک گیگا هرتز نیز به کار رفته‌اند. باریم هگزا فریت یکی از مواد بسیار ارزشمندی است که کریستال‌های آن قادر به جذب امواج الکترومغناطیس در محدوده ۱ تا ۱۰۰ گیگا هرتز هستند و کاربردهای زیادی در پوشش‌های رادار گریز پیدا کرده‌اند. تهیه این ماده در مقیاس نانومتری انجام شده و نتایج نشان داده‌اند که خواص الکترومغناطیسی ذرات نانو ساختار باریم هگزا فریت به مراتب بهبود پیدا کرده است. این امر می‌تواند دامنه کاربرد این مواد را در تهیه پوشش‌های رادار گریز توسعه داده و بهبود بخشد [۱۳-۱۵].

موادی که می‌توانند اثرات بیرونی حضور خود را کاهش دهند که به نام مواد کاهش‌دهنده حضور[3] نیز شناخته می‌شوند در بخش استتار در پدافند غیر عامل کاربرد دارند. با استفاده از این مواد اشخاص یا تجهیزات بسته به موقعیتشان یا کاملاً دیده می‌شوند و یا استتار می‌شوند. مواد الکتروکرومیک این خاصیت را دارا می‌باشند. در این راستا، یک ماده نانو کامپوزیت الکتروکرومیک بر پایه پلی‌اتیلن‌آمین و نانوذرات آبی پروسی ارائه شده است که قابلیت تغییر به سه رنگ مختلف، بسته به رنگ پوشش محیط اطرافش را دارد [۱۶].

۲-۴- رفع آلودگی

معمولاً پس از حملات شیمیایی محل‌های مورد آسیب تا

3- Signature Reduction

مدت‌ها قابل سکونت نبوده و منابع آب دیگر قادر به تـأمین آب آشامیدنی سربازان و ساکنین نخواهند بـود. از ایـن جهـت رفـع الودگی‌های محیطی محیط‌های آلوده شـده از اهمیـت ویـژه‌ای برخوردار است.

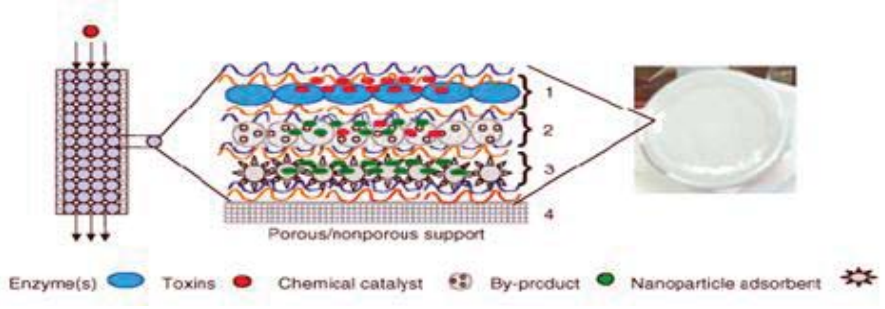
در چند سال گذشته همگام با ورود پوشش‌های مخصوص رفـع آلودگی، تمیزکننده‌های فعال، عوامل رفع آلودگی و سیستم‌های فیلتر کاتالیستی با استفاده از نانو پوشش‌های خود پاک شـونده، نانوذرات کاتالیستی فعال و سیستم‌های پوششی چنـد منظـوره کاربرد نانوفناوری در رفـع آلـودگی‌هـا پیـشرفت زیـادی نمـوده است.

کاربردهای دیگر نانو مواد در رفع آلودگی مربوط به سیستم‌های فوتوکاتالیستی (با استفاده از دی اکسید تیتانیم یا اکسید روی) نـانوذرات بـا قـدرت اکـسیدکنندگی و جـذب بـالا یـا نـانو کامپوزیت‌های هیدروفوبیک / هیدروژل می‌باشند.

استفاده از غشاءها به‌عنوان فیلتـر بـرای دفـع مـواد شـیمیایی و بیولـوژیکی مخـصوصاً بـرای تـصفیه هـوا و تهیـه کـردن آب آشامیدنی متداول شده است. در واقع، یکی از مهم‌تـرین نتـایج استفاده از نانوحفرات و ترکیب بیوکاتالیست‌ها و کاتالیست‌هـای آنزیمی در سطح مولکـولی، پیـشرفت در تکنولـوژی غـشاءهـای آنزیمی در سطح مولکولی می‌باشد.

یکی دیگر از کاربردهای نانوفناوری در رفع آلودگی‌ها فیلترهـای پلیمری کاتالیستی خود پاک شونده اسـت کـه در سـال ۲۰۰۴ برای اولین بـار ارائـه شـده اسـت. ایـن سیـستم بـا اسـتفاده از نانوپوشش‌های چندمنظوره گسترش یافته است و برای اسـتفاده در رفع آلودگی هوا و برای خالص‌سازی آب آشـامیدنی اسـتفاده می‌شود. در این پوشـش‌هـا ترکیبـی از یـک فعـال شـیمیایی و بیولوژیکی و یک کاتالیست برای خنثی کردن سم‌های شیمیایی مختلف نظیر عامل آفت‌زا یـا گازهـای مخـرب اعـصاب بـه کـار می‌رود. اتصال مستقیم کاتالیست‌های شیمیایی و بیولوژیکی در این سیستم بـا اسـتفاده از اسـپری کـردن یـک لایـه جـذبی از نانوذرات باردار شده برروی لایـه‌هـای پایـه بـه‌دسـت مـی‌آیـد. هم‌چنین می‌توان یک ساختار فیلتر ساندویچ ماننـد، (شـکل ۶) شامل کمپلکس‌هـای کاتالیـست شـیمیایی و آنـزیم‌هـای فعـال کاتالیستی بر بالای لایه بلوک ایجاد کـرد. آزمـایش‌هـای انجـام شده بر روی سیستم کاتالیستی با دانه‌های فیلتـر پوشـش داده شده بـا پلـی‌اتـیلن نـشان مـی‌دهـد کـه عوامـل آفـت‌زا در آب آشامیدنی می‌تواند در کمتر از ۲ دقیقه تا ۹۹٪ در جریان مداوم کاهش یابند. به‌علاوه، آزمایش‌ها نشان داده‌اند کـه کـارایی ایـن فیلترها برای مدت ۶۰ روز پایدار مانده است [۱۷].

برای رفع آلودگی از ساختمان‌ها و تأسیسات آلوده، یک سیستم جدید با استفاده از ژل جذبی توسعه یافته اسـت کـه مـی‌توانـد بـاقی مانـده مـواد رادیواکتیـو را خنثـی و از سـطوح متخلخـل ساختمان‌ها پس از حمله هسته‌ای خارج کند. به این ترتیب کـه پس از حمله شیمیایی یا هسته‌ای ژل پلیمری با جاذبیت بالا به شکل سوسپانسیون محلول با استفاده از اسپری‌های مخـصوصی به سطوح آلوده پاشیده می‌شـود. کـف ایجـاد شـده بـه سـطوح حفره‌دار نفوذ می‌کند و ذرات رادیواکتیو را بـا سـاختار پلیمـری خود به دام می‌اندازد. مکانیسم به‌دام‌اندازی به این ترتیب اسـت که نانوذراتی که در ژل هستند به ماده آلاینده متصل می‌شـوند و سپس ژل آلوده شده می‌تواند جدا و یا با اسـتفاده از سیـستم خلأ برگشت داده شود. بررسی آزمایش‌هایی با اجزاء رادیواکتیـو مختلف بر روی سطوح سـاختمان (سـیمان و آجـر) نـشان داده است که با استفاده از جـاذب (ژل پلیمـر) بـیش از ۹۸٪ اجـزاء رادیواکتیو از سیمان و بـیش از ۸۰٪ اجـزاء رادیواکتیـو از همـه سطوح ساختمان خارج می‌شوند [۱۸].



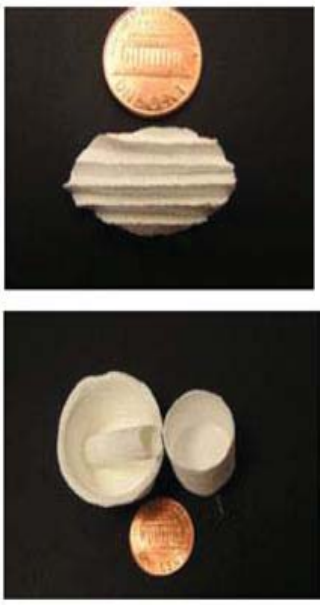
شکل ۶- سیستم فیلتر خود پاک شونده با استفاده از کاتالیست شیمیایی و آنزیم

مورد دیگر برای رفع آلودگی از محیط‌های آلوده بر پایه استفاده از نانوذرات اکسید فلزی می‌باشد که این تکنیک در حال توسعه می‌باشد. به‌عنوان مثال، با استفاده از پودر اکسید منیزیم تخم میکروب نظیر آنتراکس حتی در دمای محیط از بین می‌رود و یا مخلوط اکسید منیزیم و نانو ذرات فعال فوتوکاتالیستی مانند دی اکسید تیتانیم برای دفع مواد مضرشیمیایی استفاده می‌گردند که سیستم حاصله قابلیت خنثی کردن موثر و سریع حتی سم‌های شیمیایی نظیر گاز عصب VX را دارد [۱۹].

یک مثال دیگر از کاربردهای نانوفناوری در رفع آلودگی، استفاده از فوتوکاتالیست‌های نیمه‌هادی دی‌اکسیدتیتانیم می‌باشد. معمولاً خاصیت فتوکاتالیستی ذرات دی‌اکسیدتیتانیم فقط در نور UV قابل استفاده است که درحدود ۲ تا ۳ درصد نور خورشید می‌باشد. به منظور فعال کردن دی‌اکسید تیتانیم برای طیف نور مریی بیشتر می‌توان ماده فوتوکاتالیست را با جزیی نظیر کربن دوپ کرد که موجب بهتر شدن اثر فتوکاتالیستی به مقدار زیادی می‌شود. آزمایش‌ها نشان داده‌اند که مواد پوشش داده با فوتوکاتالیست دوپ شده توانایی حذف کردن مواد سمی محلول نظیر کلروفنول و رنگ‌های آزو و یا گازهای سمی نظیر استالدهید، بنزن و مونوکسید کربن را حتی در روشنی روز و در فضاهای داخلی ساختمان دارند.

تحقیقات جالب دیگر در ارتباط با نانو مواد فوتوکاتالیستی برای رفع آلودگی استفاده از نانولوله‌هایی از مواد با فعالیت فوتوکاتالیستی است که کاربردهایی در تهیه فیلتر برای حذف باکتری‌ها یا تجزیه آلودگی‌ها وعوامل شیمیایی در جنگ را نشان می‌دهند. از نانو لوله‌های طویل که با دی‌اکسید تیتانیم ساخته شده‌اند می‌توان غشاءهایی تهیه کرد که شبیه یک تکه کاغذ صاف و دارای انعطاف‌پذیری فویل‌های پلیمری باشند. این مواد هنگامی که با فیبرهای پلیمری تقویت شوند یک نانو کاغذ ارزان و دوستدار محیط را به دست می‌دهند که می‌توانند به آسانی به صورت سه بعدی تغییر شکل بدهد (شکل ۷). به دلیل ترکیبات آن، ورق حاصل از نانولوله‌ها از نظر شیمیایی بی‌اثر و با استحکام است و می‌تواند تا دمای بالاتر از $700^{o}C$ حرارت داده شود. استحکام آن سبب می‌شود که استفاده از آن برای گندزدایی کاغذ با نور فرابنفش یا برای استفاده قابل تجدید در فیلتر غشایی در ماسک‌های گاز امکان‌پذیر شود [۲۰].

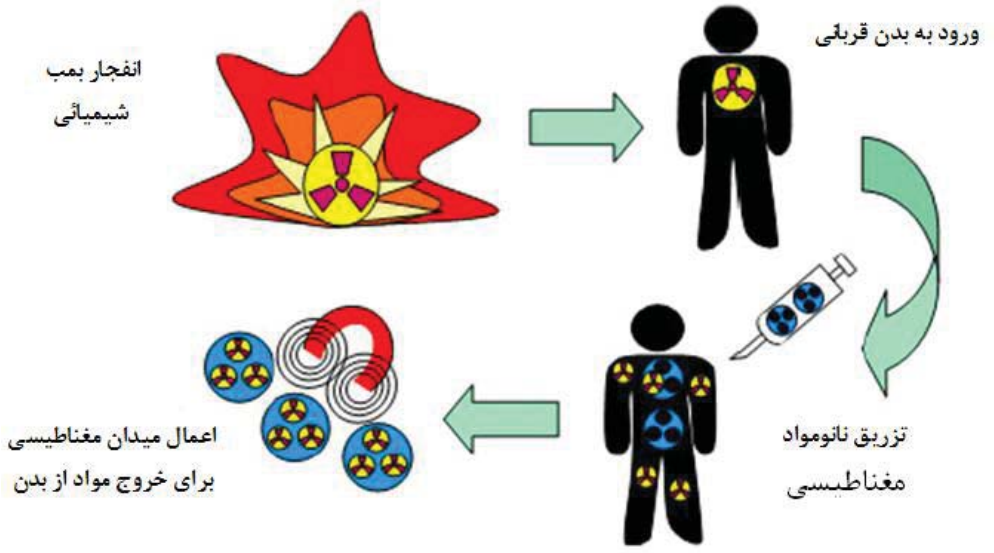
برای تمیز کردن خون افرادی که در معرض حملات شیمیایی یا هسته‌ای قرار می‌گیرند یک فناوری دارویی جدید بر پایه



شکل ۷- نانوکاغذ فوتوکاتالیستی ساخته شده از نانولوله‌های دی‌اکسید تیتانیم

نانومواد توسعه یافته است. این فناوری از یافته‌های جدید در مورد فیلتر کردن مغناطیسی استفاده می‌کند. ماده مهم این فناوری نانو کرات قابل تجزیه پلی دی، ال، لاکتاید[1] به قطر ۱۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر است که به جریان خون بیمار تزریق می‌شود. این کرات به اندازه کافی کوچک هستند تا از میان کوچکترین رگ‌های خونی بگذرند و بزرگ‌تر از آنند که توسط کلیه‌ها از جریان خون فیلتر شوند. نانو ذرات شامل یک ترکیب آهن مغناطیسی است که با مشتقات پلی اتیلن گلایکولی که از حمله مواد شیمیایی و بیولوژیکی به سلول‌های سفید خون جلوگیری می‌کند پوشانده شده است. در حالت تزریق معمولی، این داروها قادرند مقدار کمی از سم‌ها را از خون قربانی خارج کنند و معمولاً بیش از چندین ساعت طول می‌کشد تا بتوانند تمامی سم‌ها را از بدن خارج کنند که در این فاصله زمانی، اثرات مخرب و زیان‌بار این مواد بر سیستم بدن، اثر و ضررهای جبران‌ناپذیری به بدن وارد می‌کند. بنابراین کم کردن زمان اثربخشی این داروها و در نتیجه، کم کردن زمان ماندن مواد آلاینده در بدن بسیار مهم است. در این راستا، استفاده از فناوری پیشنهاد شده که شمای آن در شکل (۸) نشان داده شده است استفاده می‌گردد.

1- D,L-lactide



شکل ۸- عملکرد نانو کره‌های قابل تجزیه در بدن شخص مسموم

این کرات در میان جریان خون گردش کرده، به نحوی که پروتیین‌های موجود در سطح آن‌ها به آلاینده‌های مورد نظر متصل می‌شود و سپس با یک جداکننده مغناطیسی خارجی با دو کانال کوچک انحراف می‌یابند و از جریان خون خارج و وارد رگ‌های بازو و ساق پا می‌شوند. خاصیت مغناطیسی قوی سبب می‌شود تا تمام ذرات برپایه آهن تحت میدان اعمال شده در یک جا جمع شوند و به این ترتیب جریان خون تمیز شود [۲۱].

۳- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این مقاله، به حفاظت در پدافند غیر عامل و کاربردهای نانوفناوری درآن پرداخته شده و نشان داده شد که با استفاده از فناوری نانو می‌توان، توان دفاعی کشور در بحث حفاظت از تأسیسات و جان انسان‌ها را افزایش داد. این کاربردها در زمینه تحقیقات مربوط به حفاظت در مقابل انواع بمب‌های شیمیایی و بیولوژیکی و سیستم‌های حفاظتی بهتر و کارآمدتر در مقابل انواع مواد منفجره، ترکش‌ها، آتش و به خصوص کمک رسانی به مصدومین مطرح می‌باشند. امروزه فعالیت‌های تحقیقاتی بسیار خوبی در کشور انجام می‌شود که می‌توان نتایج آن‌ها را کاربردی نمود. در این راستا، می‌توان با ارائه یک طرح جامع در رابطه با کاربرد فناوری نانو در بحث پدافند غیر عامل کلیه فعالیت‌های تحقیقاتی انجام شده در کشور را در این چارچوب متمرکز نموده و از مجموعه این فعالیت‌ها به یک سری نتایج کاربردی رسید.

مراجع

1. Lee Y. S, Wetzel E. D, Wanger, N. J; The ballistic impact characteristics of Kevlar® woven fabrics impregnated with a colloidal shear thickening fluid; journal of materials science; (38), 2825-2833, (**2003**).
2. http://www.sciencentral.com/articles/view.php3?language=english&type=&article_id=21 8392807; Liquid Armor.
3. Marsh G; Composites fight for share of military applications; Reinforced Plastics; (49), 18.-22, (**2005**).
4. Brian A, Caroline.H; Laufer N, Dennis P, Kalman E, Wetzel D,Wagner N. J; Multi-threat performance of Kaolinbased shear thickening fluid (STF)-treated fabrics; In Proceedings of Society of Advancement of Material and Process Engineering (SAMPE) University of Delaware, Baltimore; (**2007**).
5. http://www.sciencentral.com/articles/view.php3?language=English&type=&article_id=18392121; InstantArmor.

6. http://www.nrl.navy.mil/pressRelease.php?Y=2005 &R=27-05r, NRL Develops Self-cleaning Smart Fabrics Capable of Environmental Toxin Remediation.
7. Cao A, Dickrell P.L, Sawyer W.G, Ghasemi-Nejhad M.N, Ajayan.P.M; Super-Compressible Foamlike Carbon Nanotube Films; Science; (310), 1307-1310, (**2005**).
8. http://pubs.acs.org/cen/coverstory/83/8335inorganic.html; Inorganic Menagerie.
9. Collepardi M; Rheoplastic Concrete; Cemento; (4), 195-204, (**1975**).
10. Collepradi M; Assessment of the Rheoplasticity of Concretes; Cement and Concrete Research; (6), 401-408, (**1976**).
11. Sellevold E.J, Nilsen T; Condensed Silica fume in concrete:a wold Review applementary cementing materials for concrete ; CANMET, SP 86-8E , 166, (**1987**).
12. Khayat K. H, Guizani Z; Use of viscosity – modifying admixtures to enhance stability of fluid concrete; ACI materials Journal; (94), 332-340, (**1997**).
13. Jianxun Q, Le L, Mingyuan G; Nanocrystalline structure and magnetic properties of barium ferrite particles prepared via glycine as a fuel; Materials Science and Engineering A; (393), 361–365, (**2005**).
14. Dubrunfaut O, Zouhdi S; Fourrier-Lamer A, Brando E, Vincent H; Study of microwave absorptions in M-hexaferrites for anti-radar Applications; European Physical Journal A: Hadrons and Nuclei; (8), 159-162, (**1999**).
15. Lebourgeois R, Le C. F, Labeyrie M, Pat M,. Ganne J.P; Permeability mechanisms in high frequency polycrystalline ferrites; Journal of Magnetism and Magnetic Materials; (160), 329-332, (**1996**).
16. DeLongChamp D.M, Hammond P. T; High Contrast electrochromism and controllable dissolution of assembled Prussian blue /polymer nanocomposites; *Advanced Functional* Materials (14), 224-232, (**2004**).
17. http://www.nrl.navy.mil/Content.phb?p=04REVIEW121; Selfcleaning catalytic filter against pesticides and chemical agent.
18. http://www.anl.gov/Media_center/News/2004/new040702.htm; Nanoparticle super-absorbent gel clean radioactivity from porous structures.
19. http://www.nanoscalecorp.com/chemdecon/Fast_act; Nanoscale materials Inc:FAST-ACT Technical Report.
20. http://dailyheadlines.urak.edu/9049.htm; Nano wire-paper offers strength, Flexibility.
21. http://www.anl.gov/Media_Center/News/2006/CMT061020.html, Bio degradable nanospheres offer novel approach for treatment of toxin exposure, drug delivery.

Protection Applications of Nanotechnology in Civil Security

Sousan Rasouli[1]

Fatemeh Oshani[2]

Abstract

One of the most important tasks for civil security in any war is the physical protection of critical infrastructures, rapid response and rescue teams, and civilians. The main research and application topics for improved protection solutions are developing in relation to risks from the proliferation of chemical and biological warfare agents and from the need for better protective systems against explosives, projectiles, and fire, especially in personal equipment for rescue forces. Against this background and the specific security demands, the interdisciplinary field of nanotechnology plays an important role for the development of new passive and active protective applications. Nanotechnology offers novel materials with enhanced or new physical properties and functionalities including higher strength, durability, embedded sensory capabilities and active materials. Protection in civil security can be investigated in four main categories; Personal protective equipment, mechanical strength and robustness, electromagnetic shielding and decontamination and filter Applications. In this paper, application of nanotechnology has been investigated in the above categories. In terms of protection, civil security applications will mainly benefit from the material functionalities: lightweight, smart components, adaptive structures, Electromagnetic shielding and mechanical strength and robustness. Using carbon nano tubes or nano silica in the concrete formulation can lead to the strength structures for civil applications. The use and development of decontamination and filter technologies for the protection of critical infrastructures and technical equipment are closely linked to the protection of people and natural resources. These challenges are relevant when developing decontaminating coatings, active cleaning and decontamination agents, and catalytic filter systems. A new medical technology, based on nanoparticles containing a magnetic iron compound, has been developed to clean the blood of victims of radiological, chemical and biological terrorist attacks.

Key Words: *Nanotechnology, Civil Security, Protection*

1- PhD, Assistant professor, Department of nanomaterials and nano technology, Institute for Color Science and Technology
2- MSc, Department of nanomaterials and nano technology, Institute for Color Science and Technology