

پیش‌بینی خطر اشاعه سلاح‌های بیولوژیکی مبتنی بر فناوری نانو: چالش‌های رژیم

بین‌المللی کنترل تسلیحات*

ترجمه: علی قاسمی فرد^۱، احمدرضا آذرپندار^۲

چکیده

این بخش به چالش‌هایی در فناوری نانو می‌پردازد که هم در حوزه فنی و هم در حیطه قوانین و رژیم‌های بین‌المللی کنترل تسلیحات مشاهده می‌شوند. علت اشاره به اینگونه مسائل و موضوعات، نقطه اشتراکشان با مسئله گسترش تسلیحات بیولوژیکی است. فناوری نانو در محیط‌های آکادمیک، بخش‌های خصوصی، برنامه‌های دولتی و فناوری‌های مرتبط با دولت در حال پیشرفت بوده است. در مقایسه با سایر پیشرفت‌های تکنولوژی، مفاهیم امنیتی به رژیم‌های سنتی عدم گسترش تسلیحات و همچنین به سوء استفاده بازیگران غیردولتی توجه لازم را نداشته است. بدین ترتیب سیاست‌گذاران و دانشمندان داخلی و بین‌المللی درصدد ارائه روش‌هایی برای کنترل خطرات مرتبط با بیوتکنولوژی و حتی ژنوم ترکیبی (Synthetic Genomics) هستند. اگرچه تهدیدات بالقوه پژوهش‌های فناوری نانو در دوره‌ای که تروریسم و یا گسترش تسلیحات دولت‌محور در آن وجود داشته ممکن است مانند تهدیدات بیوتکنولوژی ساده به نظر رسند، اما از آنجایی که فناوری نانو از محیط آزمایشگاهی خارج شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد این احتمالات در حال تبدیل به واقعیت هستند. برخی از این پیشرفت‌های اخیر در فناوری نانو، زمینه سوءاستفاده متخاصمان از آن را فراهم کرده است.

واژگان کلیدی: خطر اشاعه، سلاح‌های بیولوژیکی، فناوری نانو، تسلیحات.

*Book: "New Technologies and the Law of Armed Conflict", Editors: Hitoshi Nasu & Robert McLaughlin. Part IV Nanotechnology: No.10 "Anticipating the Biological Proliferation Threat of Nanotechnology: Challenges for International Arms Control Regimes." By: Margaret E. Kosal. P 159-174.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته دیپلماسی و سازمان‌های بین‌المللی، دانشکده روابط بین‌الملل (نویسنده مسئول)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته دیپلماسی و سازمان‌های بین‌المللی، دانشکده روابط بین‌الملل

مقدمه

شمار می‌روند. فناوری نانو را که طیف گسترده‌ای از علوم و مهندسی را در سطح نانو شامل می‌شود می‌توان به عنوان مجموعه‌ای از دانش‌های بنیادین و فناوری‌های مؤثری شناخت که نتیجه‌ی تلاش برای درک و کنترل خواص و کاربردهای مواد در مقیاس نانو قلمداد می‌شوند (National Research Council, 2006: 20).

پیشرفت‌های تکنولوژی که مایه تعجب همگان گشته است در آینده نیز به شکل‌های مختلف تعجب همگان را برخواهد انگیخت. بسیاری از فناوری‌های جدید برای استفاده‌ی صلح‌آمیز در حال توسعه هستند اما ممکن است دارای عواقب ناخواسته‌ی امنیتی باشند که این مسئله قطعاً مستلزم ابتکار جدیدی در اقدامات متقابل خواهد شد. این عواقب غیرمنتظره در بعضی شرایط خاص سودمند هستند و پیامدهای آن‌ها غیرقابل پیش‌بینی است. برای نمونه، از زمان کشف اسید بازترکیب‌شده دئوکسی ریبونوکلیک (همان DNA) و فرآیندهای مبتنی بر کشت بافت در دهه ۱۹۷۰، حرکت رو به رشدی در زمینه‌ی بیوتکنولوژی به وجود آمده است. اگر سازمان‌های دولتی، جوامع دانشگاهی و سازمان‌های دفاعی ایالات متحده آمریکا بیست سال پیش توان بیوتکنولوژی در تأثیرگذاری‌اش بر امنیت و دکتربین-های جنگی را جدی می‌گرفتند و آن را درک می‌کردند اکنون وضعیت به گونه‌ای دیگر رقم می‌خورد. دفاع در برابر سلاح‌های بیولوژیکی از طرف دولت‌ها و بازیگران غیردولتی، اکنون چالش بزرگی است و به‌عنوان تهدیدی مطرح شده که پیش‌بینی آن در گذشته بسیار دشوار بود و در حال حاضر راه‌حل‌های سنتی نیز تأثیر چندانی از خود نشان نمی‌دهند.

فناوری نانو به عنوان یک علم و تکنولوژی بزرگ در قرن بیستم مورد توجه قرار گرفته است. ادبیاتی در مطالعات امنیتی وجود دارد که به نقطه اشتراک علم و تکنولوژی و همچنین درک تأثیر آن‌ها بر درگیری‌های مسلحانه می‌پردازد. ارتباط بین تکنولوژی و امور نظامی از نظر صاحب‌نظران و پژوهشگران امور جنگی، انقلابی و جنگ‌های نسل چهارم و پنجم در حد فکر و خیال نیست و جنبه‌ی واقعیت نیز دارد. این ارتباط بر تمایل به جنگ‌افروزی و نتایج آن و همچنین بر درجه تأثیر همکاری‌های امنیتی و کشورداری هم تأثیر مستقیم دارد. ابهام راهبردی در فناوری‌های نو و در حال ظهور در تعدادی از اسناد سیاسی سطح بالا نظیر مقاله مفهوم استراتژیک جدید سازمان پیمان آتلانتیک شمالی (۲۰۱۰) بیان شده است (Nano, 2010: 11). این مقاله به تأثیر ترکیب فناوری‌های در حال ظهور نانو (که نیروهای رزمی معمولی، اقدامات حفاظتی مدرن و یا قابلیت‌های مدرن غیرمعمولی) بر توسعه تسلیحات بیولوژیکی می‌پردازد.

تکنولوژی‌های نوین با سرعت بی‌سابقه‌ای در حال ظهور هستند. اکتشافات جدید سریع‌تر از همیشه مخابره می‌شوند؛ بدین معنی که داشتن انحصاری یک تکنولوژی البته در صورتی که غیرممکن نباشد به هیچ‌وجه کافی نیست. در دنیای امروزی بهره‌برداری هدفمند از یک تکنولوژی بسیار مهم‌تر از دسترسی صرف به آن است. اگرچه پیشرفت‌های تکنولوژی که دانش نانو در احقاق آن نقش زیادی داشته نسبت به علم اطلاعات و بیوتکنولوژی شناخته‌شده‌تر نیستند، اما عامل اصلی پیشرفت علوم در حال ظهور به



در محیط پسا جنگ سردی که دائم در حال تحول است قدرت نظامی بسیار پیشرفته به هیچ وجه نمی تواند امنیت ملی را تضمین کند. جهانی شدن و سیر تحولات در زمینه اطلاعات، مسیر پیشرفت فناوری را برای بیشتر ملت ها ممکن و تا حدودی ارزان تر کرده و حتی در اختیار افراد یا گروهی قرار داده که هدفشان سوء استفاده از این فناوری- هاست. فناوری های پیشرفته دیگر در اختیار عده معدودی نیست (National Intelligence Estimate, 2007: 12). در قرن بیست و یکم دولت- ملت ها و بازیگران غیردولتی ممکن است به تکنولوژی جدید و با پتانسیل ویران کنندگی با کاربرد دوگانه دست پیدا کنند (National Research Council, 2006: 221). فناوری نانو نیز از جمله تکنولوژی هایی است که می تواند کاربرد دوگانه ای داشته باشد.^۱

تبدیل عوامل و محرک ها به محیط تهدید

پیشرفت های اخیر در بیوتکنولوژی به دلیل نیاز به محصولات پزشکی مناسب، بهداشت عمومی و یا کاربرد صنعتی بوده است. در برخی موارد نتایج منفی یا نامطلوب داده های تجربی ممکن است به منظور توسعه سلاح های بالقوه مورد استفاده قرار گیرند. به عنوان مثال، زمانی که تست سم شناسی انجام می گیرد موفقیت این طرح آزمایشی بر حسب توانایی از بین بردن سلول های خاص سنجیده می- شود. «داده های منفی» یا اثرات نامطلوبی که سلول های سالم را از بین می برند ممکن است زمینه را برای رقبا فراهم

فناوری نانو به عنوان رشته ای علمی که از لحاظ مالی به خوبی تأمین می شود مانند بیوتکنولوژی ظرفیت لازم را برای برنامه های کاربردی نوآورانه و همچنین تحمیل خسارت های غیرقابل پیش بینی داراست. اکنون جهان به احتمال زیاد چند سالی را به دور از تأثیر کامل فناوری نانو بر توانایی های نظامی به سر می برد. لذا زمان مناسبی است تا پتانسیل های علوم جدید و پیشرفت های غیرمنتظره آن را مورد بررسی قرار داده و تدابیر راهبردی لازم را به منظور دستیابی به این پیشرفت ها، بهره برداری از آنها و حتی ایستادگی در برابر این اکتشافات اتخاذ کنیم.

دهه گذشته نقطه ای اشتراک دو محرک و عامل اصلی بوده است و به همین دلیل مستلزم دیدگاهی جدید به مسئله دفاع بیولوژیکی و چالش گسترش سلاح های بیولوژیکی است. اولی ماهیت متغیر تهدیدات نسبت به ایالات متحده آمریکا و متحدان آن است که با فروپاشی شوروی آغاز گردید و با وقایع یازده سپتامبر نیز شدت بیشتری به خود گرفت. دومین عامل، ماهیت متغیر پیشرفت های فناوری است و قابلیت های تازه ای را به وجود می آورد که بسیاری از آنها دیگر در انحصار آمریکا نیستند. این عوامل که عمق تحقیقات بیولوژیکی را در اتحاد جماهیر شوروی تا پیدایش حملات نامتقارن (حمله به دشمنی که قدرت نابرابر دارد) در بر می گیرد فرصت ها و چالش های جدیدی برای پیش- بینی تهدیدات بیولوژیکی آینده از فناوری های بنیادین و درک مفاهیم استراتژیک از آن فناوری ها به وجود آورده اند.

^۱ کاربرد دوگانه و معمای مربوط به آن به این واقعیت اشاره می کند که تقریباً تمام تجهیزات و مواد مورد نیاز برای توسعه عوامل خطرناک، به ویژه عوامل بیولوژیکی و شیمیایی در طیف گسترده ای از تحقیقات علمی و فعالیت های صنعتی از جمله استفاده دفاعی- نظامی کاربردهای قانونی و مشروعی دارند.

گروه‌های تروریستی داخلی در ایالات متحده آمریکا از جمله گروه‌های جناح راست ضددولتی و اعضای وابسته به آزمایشگاه‌های دولتی به دنبال برنامه‌ریزی برای دستیابی به عوامل شیمیایی و بیولوژیکی و استفاده از آنها بوده‌اند. استفاده از مواد بیولوژیکی مانند باکتری سالمونلا توسط طرفداران راجنیش در شهر دالاس ایالت اورگن در سال ۱۹۸۴ و باسیلوس آنتراسیس که از طریق سیستم پستی ایالات متحده در سال ۲۰۰۱ (معروف به حادثه آمریتراکس) ارسال شد، دو نمونه از تروریسم داخلی هستند که در آنها فناوری‌های توسعه‌نیافته توسط خود ایالات متحده به منظور استقرار و گسترش عوامل بیولوژیکی، هرچند بدون ایجاد پیش‌زمینه‌های مناسب- مورد استفاده قرار گرفتند. طرفداران راجنیش (که متأثر از اوشو، عارف هندی هستند) از روش ساده‌ای استفاده می‌کردند؛ آنها روی میز مخصوص سالاد موادی را می‌پاشیدند. اگرچه مواد باسیلوس آنتراسیس معروف به «آمریتراکس» دستخوش یک سری فرآیند می- شد اما توزیع آن از طریق پاکت‌های پستی کاری نابه‌خردانه و در عین حال بدون برنامه‌ریزی قبلی بود.

آگاهی از تهدیدات و چالش‌های گسترش سلاح هسته‌ای که ممکن است از طریق استفاده از این فناوری‌ها بدست آید حائز اهمیت است. اندیشیدن تدابیری برای این تهدیدات موضوعی است که دغدغه ملی به‌شمار می‌رود و توان قوی دفاعی نیز به‌عنوان یک عامل بازدارنده بسیار مهم تلقی می‌شود. لذا، توانایی مدیریت افکار عمومی در برابر کارهای شگرفی که تکنولوژی باعث و بانی آن بوده هدفی مهم است. به‌هرحال، پیش‌بینی دقیق به‌هیچ وجه کار آسانی نیست و حتی در مواقعی بسیار دشوار است. به

آورد تا سلاح‌های جدیدی را به وجود آورند. این امر برای داده‌های به دست آمده از آزمایش مواد نانو نیز صادق است. نتایجی که آمیزه‌ای از اطلاعات گسترده اینترنتی هستند، باعث گسترش عوامل بیولوژیکی و شیمیایی شده و همچنین در شکل‌گیری عوامل غیرسنستی و نوین تأثیر بسزایی داشته‌اند (Ibid, 2004: 54). به‌طور هم‌زمان تروریست‌های داخلی و بین‌المللی درصدد دستیابی به مواد شیمیایی و بیولوژیکی و استفاده از آنها برای ساخت سلاح بوده‌اند. رهبر یکی از جنبش‌های اسلامی افراطی به‌نام القاعده خواستار استفاده از اقدامات تروریستی برای شکست اقتصادی در ایالات متحده آمریکا و جهان غرب شده است. سوءاستفاده‌های القاعده در افغانستان در آزمایش عوامل نامشخص شیمیایی کشنده بر روی حیوانات، به‌طور گسترده در رسانه‌ها پوشش داده شده است. شواهد بیشتر و بررسی تمایل القاعده به عوامل شیمیایی در گزارش سال ۲۰۰۵ کمیسیون اطلاعاتی آمریکا ذکر شده است (Commission on the Intelligence, 2005).

یکی دیگر از گروه‌های اسلامی افراطی به‌نام انصارالاسلام در شمال عراق، بنا به گزارش‌ها، به توسعه عوامل شیمیایی مبتنی بر سیانید در سال ۲۰۰۲ پرداخته است (Ibid, 2006: 93-94). در دهه ۱۹۹۰ اعضای یک فرقه ژاپنی به- نام آوم شینریکیو، سیانید هیدروژن، عامل اعصاب وی ایکس (نوعی گاز اعصاب کشنده) و عامل اعصاب سارین (نوعی گاز اعصاب) را علیه غیرنظامیان به‌کار گرفتند و می- خواستند از سم بوتولینوم و باسیلوس آنتراسیس که عامل سیاه زخم است استفاده کنند و آن را گسترش دهند اما موفق به انجام این کار نشدند.



و اقتصادهای نوظهور نظیر امریکا، ژاپن، چین، روسیه، رژیم صهیونیستی، تایوان، هند، ایران و دولت‌هایی در اروپا با حمایت‌های مالی خود به شدت به دنبال پیشرفت در زمینه فناوری نانو هستند. باتوجه به سطح گسترده این تحقیقات و پیشرفت‌های اخیر در این زمینه، انتظار می‌رود فناوری نانو در اختیار متحدان و کشورهای رقیب قرار گیرد.

از آنجایی که دانش فناوری نانو و بیوتکنولوژی در خیلی از مناطق دنیا وجود دارد بنابراین استفاده از آن‌ها در سطح وسیعی صورت می‌گیرد. نقطه اشتراک فناوری نانو و سلاح-های بیولوژیکی حوزه‌های گسترده‌ای را با مفاهیم راهبردی مشخص می‌کند. این حوزه‌ها عبارتند از: شیوه‌های انتقالی ارائه شده توسط فناوری نانو، سلاح‌های بیولوژیکی مبتنی بر فناوری نانو، نانوذرات و نانومواد با خواص سمی و مضر و شیوه‌های گریز از مصرف داروهای پزشکی که فناوری نانو آن‌ها را فراهم آورده است (Kosal, 2009). در دسته اول عوامل‌های عادی جای دارند که ممکن است در درون محفظه‌ای قرار داشته باشند، به صورت مخلوط گاز و هوا ثابت باشند و یا هر شکل دیگری که باعث می‌شود عامل ناشناخته بماند و اقدامات حفاظت فیزیکی همچون لباس محافظ، از قبیل ماسک‌های ضد گاز تأثیری نداشته باشند. گسترده‌شدن پژوهش‌های فناوری و علم نانو به بالا رفتن آگاهی‌ها کمک می‌کند و رویکرد یا دیدگاه‌هایی را ارائه می‌دهد که می‌تواند برای توسعه سلاح‌های بیولوژیکی و سلاح‌های زیستی- شیمیایی مبتنی بر فناوری نانو در عصر جدید مورد استفاده قرار گیرد. گرچه تهدیدات احتمالی پژوهش‌های فناوری نانو ممکن است مانند تهدیدات بیوتکنولوژی ساده به نظر نرسند اما این احتمالات از

همین دلیل هرگونه تلاش برای ترسیم چشم‌اندازی بیست-ساله باید با ملاحظات راهبردی و همچنین اطلاعات گسترده، تدابیر منطقی و اصول دقیق آمیخته باشد. از روش‌های اصولی برنامه‌ریزی بلند مدت در مواردی که ابهامات زیادی در عوامل بیرونی یک اصل مهم وجود دارد برای تحقیقات گسترده در موضوعات امنیتی استفاده شده است (Schwartz, 1996; Wack, 1985: 185; Kahn, 196). هدف از چنین برنامه‌ریزی‌های دارای چارچوب، کسب دانش برای انتقال به نسل‌های آینده است و این امر از طریق درک عوامل نامشخص و مهمی صورت می‌گیرد که تأثیر زیادی بر دستاورد احتمالی دارند.

فناوری نانو برای استفاده در عوامل زیان‌بار بیولوژیکی

از جمله اولویت‌های اصلی انجمن امنیت ملی و بین‌المللی ایالات متحده امریکا در قرن بیست و یکم جلوگیری از دستیابی به سلاح‌های کشتار جمعی و استفاده از آن توسط دولت‌های مختلف، بازیگران دولتی و یا بازیگران غیردولتی می‌باشد (White House, 2006). پیش‌بینی انواع تهدیداتی که ممکن است با پیشرفت علم و تکنولوژی بوجود آید و همچنین پیامدهای احتمالی این تهدیدات و پیش‌بینی احتمال تحقق این مسئله که متخصصان، آن‌ها را بدست آورده و یا به دنبال آن خواهند بود برای آمادگی در جهت تأمین امنیت آینده‌ی مردم و جامعه‌ی بین‌المللی امری ضروری به نظر می‌رسد. فناوری نانو نمونه بارزی از فناوری‌هایی است که ویژگی قدرتمند کردن و تغییر موازنه یک معادله را دارد. امروزه تقریباً تمامی کشورهای پیشرفته

بنابراین عامل کشنده و ادم نمی‌توانند وارد سلول شوند و در نتیجه سم بی‌اثری را بوجود می‌آورند (Mourez, 2001: 961; Pannifer, 2001: 223-229; Abrami, 2003: 739). وقتی آنتی‌ژن محافظ وجود نداشته باشد واکسن تأثیر خود را از دست می‌دهد و در نهایت بیماری یا مرگ، حاصل کار عامل‌های کشنده و ادم در داخل سلول خواهد بود. دوز یا مقداری که برای چنین سلاحی به کار می‌رود احتمالاً به مقدار قابل توجهی بالاتر از باسیلوس آنتراسیس است زیرا هیچ راهی برای تکرار عامل ادم و عامل کشنده تنها وجود ندارد.

دوم اینکه، فناوری نانو می‌تواند برای ایجاد اختلال در سیستم ایمنی بدن از طریق سرکوب یا تحریک بیش از حد به کار رود و از عملکرد مناسب آن پیشگیری کند. برای مثال، فناوری نانو دستگاه تنظیم‌کننده زیستی را در قالب مکانیسمی ارائه می‌دهد که علاوه بر سایر تأثیراتش، می‌تواند عامل بسیاری از پاسخ‌های ایمنی شود. نانوذرات خاصی نیز قادر به ایجاد پاسخ ایمنی هستند (Look, 2009: 379). اتخاذ تدابیر سودمند درباره سلاحی که هدف از ساخت آن ایجاد اختلال در سیستم ایمنی بدن است موثر به نظر نمی‌رسد. انتقال ریبونوکلیک اسید (RNA) به منظور اعمال تغییر، آماده‌سازی، از کار انداختن و یا سرکوب ژن‌ها با بهره‌گیری از روش‌های قدیمی، موفقیت چندانی نداشته است (Hannon, 2002: 244). این شیوه انتقالی مبتنی بر فناوری نانو به‌عنوان یکی از روش‌های ممکن برای غلبه بر مشکل موردنظر محسوب می‌شود (Pirollo, 2007: 2942). نانوکپسول‌ها و نانوحامل‌ها برای انتقال مولکول‌ها به غشای سلولی نفوذناپذیر و یا سد

آنجایی که فناوری نانو از محیط آزمایشگاهی خارج شده و کاربرد دارد در حال تبدیل شدن به واقعیت هستند. بعضی از پیشرفت‌های اخیر در فناوری نانو پتانسیل سوءاستفاده متخصصان از آن را قوت بخشیده است. به‌عنوان مثال، مواد و ابزارهای بدست آمده از فناوری نانو به منظور عدم استعمال داروهای پزشکی کنونی به کار می‌روند. واکسن‌ها، آنتی‌ویروس‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها در حال حاضر در زمره ابتدایی‌ترین شیوه‌های مقابله با بسیاری از سلاح‌های بیولوژیکی به شمار می‌روند. فناوری نانو به دو صورت برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اول اینکه فناوری نانو به‌عنوان یک ابزار برای تولید سلاحی به کار می‌رود که درمان خاصی نمی‌تواند بر آن تأثیری بگذارد. فناوری نانو ممکن است از مواد معدنی به گونه‌ای برای پنهان کردن مواد بیولوژیکی استفاده کند که بسیاری از سیستم‌ها توان شناسایی آن را نداشته باشند. نمونه‌ای از این کاربرد را در یک روش ساده‌ای می‌توان مشاهده کرد که به منظور غلبه بر واکسن موجود برای باسیلوس آنتراسیس مورد استفاده قرار می‌گیرد. سم سیاه‌زخم سه پروتئین دارد: عامل ادم یا ورم، عامل کشنده، و پادتن یا آنتی‌ژن محافظ. آنتی‌ژن محافظ سطح سلولی را پوشش می‌دهد و باعث ورود عامل ادم و کشنده به سلول می‌شود که در آنجا سموم تأثیر خود را می‌گذارند. عامل ادم نوعی آنزیم است که با عنوان آدنیلیت سایکلین شناخته می‌شود؛ و عامل کشنده پروتئازی (نوعی آنزیم برای تجزیه‌ی پروتئین‌ها و پپتیدها) نیز بر کینازهای خاصی تأثیر می‌گذارد و از آن طریق سلول‌های ماکروفاژ را از بین می‌برد. اگر آنتی‌ژن محافظ فعال نباشد یا اصلاً وجود نداشته باشد



ذرات در مقیاس نانو، محققان به نوع جدیدی از سلول‌های خورشیدی دست یافته‌اند (Ding, 2003: 1585). توسعه «نانوسیستم‌های مصنوعی با قابلیت‌های زیستی-تقلیدی اما ظرافت‌های بیولوژیکی» به عنوان یک هدف بزرگ و درازمدت پژوهشی وابسته به جامعه‌ی علوم دفاعی شناخته می‌شود (Williams, 2002).

علوم زیستی و فناوری نانو دائم در حال پیشرفت هستند و این امکان را به وجود می‌آورند تا به شیوه‌های گوناگونی در شرایط زندگی تأثیر گذارند و آن‌ها را بهبود ببخشند. رویکردهای مورد بررسی در حال حاضر عبارتند از: انتقال مداوم و محدود دارو از طریق نانوپوسته‌ها، نانولوله‌ها، نانوبلورها و درخت‌پارها یا همان مولکول‌های شاخه‌دار؛ نانوذرات چندکاره که عامل‌های حمله‌کننده را با عامل‌های درمانی ترکیب می‌کنند؛ نانوذراتی که مورد هدف قرار می‌گیرند و در بافت زنده (محیط طبیعی) بوسیله‌ی زیرواحدهایی نظیر دارو به هم می‌پیوندند؛ و نانوذراتی که عوامل بیرونی آن‌ها را به حرکت در می‌آورند. نانو و فناوری‌های میکروکپسولاسیون (ریزپوشانی) بیشتر به دلیل تحقیقات و پژوهش در صنایع داروسازی و بیوتکنولوژی به سرعت گسترش و تنوع می‌یابد. صنایع کشاورزی، فرآورده‌های غذایی و صنایع شیمیایی نیز به این روند کنونی کمک می‌کنند. این همکاری‌ها بین فناوری نانو و بیوتکنولوژی در بعضی حوزه‌ها بسیار امیدوارکننده بوده و در مواقعی باعث بروز نگرانی‌هایی شده است. به‌عنوان نمونه، در تحقیقات مربوط به فناوری نانو پیشرفت‌های زیادی حاصل شده که تا حدودی با پیشرفت‌های علم بیوتکنولوژی قابل مقایسه است و نگرانی‌هایی نیز در زمینه‌هایی نظیر مهندسی ژنتیک و

خونی مغزی به کار می‌روند. نانو موادی که در کپسول قرار دارند ممکن است انواع اندام یا بافت خاصی را هدف قرار دهند (Kim, 2010: 2348). نانوذرات برای اتصال به گیرنده‌های سلولی و داخل کردن یا آزاد کردن یک ماده شیمیایی، پروتئین، مقداری DNA یا RNA و یا هر ماده بیولوژیکی دیگر به سلول‌ها طراحی شده‌اند (Giljohann, 2010: 3294). توجه به این نکته بسیار مهم است که به‌طور کلی خود عامل نیز باید در اندازه‌ی نانو باشد مگر اینکه از نظر شیمیایی به سطح بیرونی متصل باشد. بسیاری از میکرورها از نظر اندازه بسیار بزرگ هستند اما سموم کوچکی نظیر ریسین یا میکروها بسیار ریزی که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به عامل کشنده باسیلیوس آنتراسیس اشاره کرد ممکن است به شکل کپسول باشند. انتقال عامل‌های زیستی با نانوذرات احتمالاً از لحاظ تئوریک باعث افزایش تأثیر حملات سمی شود و نسبت به شرایط عادی آن به مقادیر کمتری از عامل نیاز باشد. در کل چنین شیوه‌هایی می‌توانند باعث توسعه جنگ‌افزارهای زیستی قوی‌تری شوند.

فناوری نانو و بیوتکنولوژی در بسیاری از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی دارای حوزه‌های مشترک پژوهشی هستند. کانون تمرکز کنونی تحقیقات در این زمینه مشترک در مورد کاربرد ویروس‌های مهندسی ژنتیک شده، پروتئین‌ها، DNA و سایر بخش‌های بیولوژیکی می‌باشد تا به عنوان قالب‌هایی برای ترکیب کردن نانوساختارها و فهم ساختار یا فعل و انفعالات بیولوژیکی تابع، مورد استفاده قرار گیرند (National Research Council, Ibid: 184-185). به عنوان مثال، با ترکیب پروتئین مهندسی ژنتیک شده با

موجودات اصلاح‌شده ژنتیکی بوجود آمده است. در هر حال، علت این امر معلوم نیست که چرا عواقب احتمالی فناوری نانو به همان اندازه مورد توجه قرار نگرفته است. برای مثال، پیامدهای فناوری نانو که بر شدت، مقاومت، توان مقابله، قابلیت و سایر ویژگی‌های عوامل بیولوژیکی تأثیر فراوان می‌گذارند ظاهراً زیاد حائز اهمیت نیستند. برای نمونه، فناوری‌های کپسولاسیون در حال حاضر در حیطه کنترل تجارت سلاح و یا رژیم‌های بین‌المللی تجارت سلاح نیستند.¹

سناریوی تهدید احتمالی معمولاً عامل‌های عادی (غیر- اتمی) هستند که به صورت نانوذرات بسته‌بندی شده‌اند؛ مثلاً نانوذرات قابل استنشاق ممکن است به یک عامل خطر و یا به علت اصلی انتقال این عامل تبدیل شوند. به هر حال باید به این نکته توجه داشت که بسیاری از این تهدیدات اغلب از طریق تنفس یا استنشاق اثر می‌گذارند؛ بنابراین روش‌های محافظت متناسب با آن‌ها باید به کار برود. درمان اصلی عامل خطر بوجود آمده از فناوری نانو و درمان عامل خطر هوازی تا حدودی شبیه هم هستند. ممکن است اصلاً بین درمان ویروس ابولا که از یک ویروس نانوذره انتقال می‌یابد و ویروسی که از راه‌های معمولی منتقل می‌شوند تفاوتی وجود نداشته باشد. با وجود این، یک نانوذره امکان دارد با هدف افزایش میزان تسلیحات، افزایش تأثیر انتقال و یا تغییر روش انتقال بیماری، ثبات یک عامل خطر را

افزایش دهد. برای نمونه، یک نانوذره ممکن است برای هدف قرار دادن عامل در اندام‌های مختلف بدن مورد استفاده قرار گیرد که باعث می‌شود این بیماری به اشکال جدیدی نمود پیدا کند و یا اثرگذاری آن را افزایش دهد. یکی دیگر از تهدیدات احتمالی آینده در بین سلاح‌های بیوشیمیایی حاصل از فناوری نانو، پخش نانوذراتی است که شامل پروتئین، پپتید، پرویون، RNA یا DNA می‌باشد. این تهدید ناشی از استفاده احتمالی از نانوذرات به منظور انتقال عامل‌های درمانی به سلول‌هاست. انتقال مواد، پروتئین‌ها و پپتیدهای ژنتیکی به داخل سلول‌ها در آینده فرصت فوق‌العاده‌ای را برای ایجاد درمان و واکسن بوجود می‌آورد (Medina, 2007: 558). باتوجه به طیف گسترده‌ای از محموله‌های دارویی و شیمی‌درمانی و بسیاری از انواع مختلف بافت‌ها و سلول‌هایی که برای اعمال گوناگون به کار می‌روند شیوه‌های انتقال و حتی خود نانوذرات نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند. این پژوهش، اطلاعات و رویکردهای گسترده‌ای را ارائه می‌دهد که برای توسعه سلاح‌های جدید مبتنی بر فناوری نانو کاربرد دارد. برخی از جنبه‌های توسعه‌ی سلاح باید مورد تجدیدنظر قرار گیرد و در ضمن پژوهش‌های زیادی در رابطه با شیوه انتقال نیز ممکن است مورد نیاز باشد. به‌عنوان مثال، تأثیرگذاری و ثبات یک ذره پخش شده در هوا احتمالاً در منبعی ذکر نشده باشد در صورتی که داروی موردنظر به‌عنوان یک ماده دهانی و یا

¹ For example: International Traffic in Arms Regulations, 22 Code of Federal Regulations 120, Part 121 (The United States Munitions List), available via: http://pmdmtc.state.gov/regulations_laws/itar_official.html, accessed 2 April 2013; Common Military List of the European Union: equipment covered by Council Common Position 2008/944/CFSP defining common rules governing control of exports of military technology and equipment, adopted by the Council on 27 February 2012, OJ C 85 (22 March 2012); Defence and Strategic Goods List Amendment 2011 (No 1) (Cth).



نمی‌شود. بلکه موانع غیرتخصصی نیز وجود دارند که باید برطرف شوند. فناوری نانو اولین پیشرفت علمی نیست که از پیامدهای ناخواسته آن نگرانی‌هایی ایجاد شود. در طول ۳۵ سال گذشته بیوتکنولوژی با اقدامات نظارتی و اختیاری درصدد کنترل خطرات امنیتی تحقیقات علمی پیشرفته و انتشار یافته‌های مربوط به آن‌ها بوده است (Dunworth, 2006: 118). در حال حاضر جوامع علمی روش‌هایی را بوجود می‌آورند که از آن طریق بتوانند خطرات امنیتی را کنترل کنند (National Research Council, Ibid). از مهندسی ژنتیک نوعی بیماری ویروسی به نام آبله‌موش تا ترکیب ویروس ساختگی بیماری فلج اطفال، سوءاستفاده از بیولوژی مولکولی برای توسعه سلاح‌های بیولوژیکی توجه زیادی را در رسانه‌های عمومی و محیط‌های دانشگاهی به خود جلب کرده است (Kuzma & Tanji, 2010: 112). با توجه به این‌که فناوری نانو باعث بروز نگرانی‌هایی شده اما با موفقیت‌های حاصل شده در خصوص عدم سوءاستفاده از دانش بیوتکنولوژی - که احتمالاً کم‌اهمیت پنداشته شود - کار بسیار ارزشمندی انجام داده است.

دفاع در برابر سلاح‌های بیولوژیکی بدون شک به علوم طبیعی، علوم زیستی، علوم پزشکی و دیگر جوامع مهندسی وابسته است. محدود ساختن حوزه‌ی تحقیقات و پژوهش‌ها به رشته‌های قدیمی‌تر که به معنی واقعی کلمه به «تفکر سنتی» معروف است، کمتر احتمال می‌رود فناوری‌های نوینی را ارائه دهد. فناوری نانو به عنوان یک علم میان-رشته‌ای بوجود آمده است. نمونه‌های قابل توجهی از آن را می‌توان در طراحی حس‌گرهایی مشاهده کرد که با استفاده از ترکیب‌های فعال، DNA را به نانولوله‌های کربنی متصل

قابل تزریق مورد استفاده قرار گیرد. اگر یک سلاح مبتنی بر فناوری نانو از طریق هوا پخش شود نانوذراتی که برای تولید سلاح به کار رفته‌اند می‌توانند بر بافت‌های خاصی تأثیر گذارند و سموم را به داخل سلول‌های ریه، سلول‌های مغز و یا سلول‌های خون هدایت کنند که در نهایت باعث انتقال مولکول‌ها به تمام قسمت‌های بدن می‌شود. تغییرات حاصل از مواد ژنتیکی و پخش شدن سموم در جریان خون یا مغز می‌تواند منجر به بیماری و حتی مرگ شود. محتمل‌ترین خطر، پخش شدن از طریق هواست زیرا می‌تواند افراد زیادی را آلوده کند. انواع دیگری از این شیوه‌های انتقال عبارتند از: انتقال از طریق غذا، آب و تماس سطحی. ملاحظاتی که از جنبه‌های امنیتی و تکنولوژیکی نسبت به این تهدیدات وجود دارد شامل محدودیت استفاده از این‌گونه تکنولوژی‌ها، پیامدهای کلی امنیت ملی این تهدید و تأثیرات احتمالی این تهدید بر عملیات نظامی است. قابلیت‌های تکنولوژی و علوم طبیعی که در دهه‌های آتی برای شناخت تهدیدات ناشی از فناوری نانو لازم است می‌توان از وضعیت کنونی پژوهش‌ها و تبیین مسائل بسیار مهمی استنباط کرد که برای دستیابی به آن احتمالات نیاز است.

بررسی تهدیدات خارج از محدوده تخصصی

چالش‌های تخصصی استفاده از فناوری نانو برای تحقق قابلیت‌های دفاعی بیولوژیکی و شیمیایی قوی و عدم سوءاستفاده از توسعه با اهداف صلح‌آمیز، تنها موانع پرداختن به مسئله گسترش احتمالی سلاح‌های شیمیایی و بیولوژیکی بدست آمده از فناوری نانو و حل آن محسوب

گیرد. رویکردهای مبتکرانه جدید و رویکردهای قدیمی‌تر نسبت به مسئله عدم اشاعه و ضدتوسعه‌ای چنین سلاح-هایی، سیاست مهمی برای کاهش خطر برنامه سوءاستفاده از فناوری نانو محسوب می‌شود. توافقنامه‌های قاطع بین-المللی این خطر را با از بین بردن راه‌های قانونی برای تروریست‌ها کاهش می‌دهند تا آن‌ها بتوانند مواد سازنده و عامل‌های شیمیایی یا مواد سازنده سلاح را بدست آورند؛ این توافقنامه‌ها همچنین با به حداقل رساندن انتقال غیرمجاز این مواد از دولت‌ها به دست بازیگران غیردولتی با سرقت و یا هر طریق دیگری باعث کاهش این خطرات می‌شوند. تعداد محدودی از مطالعات امنیتی که به فناوری نانو پرداخته‌اند تا حد زیادی به الگوهای موجود، نظیر اجرای یک «پیمان کنترل تسلیحات» جدید برای فناوری نانو، گرایش داشته‌اند (Howard,2002; Altmann,2004: 79; Pardo,2005: 61).

دیگران نیز گسترش الگوهای کنونی امنیت زیستی فدرال، مانند «کد رفتاری» برای دانشمندان را پیشنهاد داده‌اند (Workshop on Ethical Aspects of Nanotechnology, 2007). برخی از سازمان‌های غیردولتی نیز اعمال اصولی احتیاطی را در بسیاری از جنبه‌های فناوری نانو الزامی دانسته‌اند (Raffensberger & Tickner,1999: 78). کنترل، همکاری‌های مشترک و درک بهتر قابلیت‌های فنی و تخصصی در این زمینه نیز کمک خواهد کرد.

می‌کنند. این کار حاصل تلاش مهندسان برق و متخصصان علوم کامپیوتر (Dwyer,2002: 604) و نمونه‌های دیگر نیز نتیجه‌ی تلاش یک تیم تحقیقاتی مرکز فیزیک و نجوم بوده است (Staii,2005: 1778).

در حال حاضر مشاهدات علمی عمدتاً برای تأیید قوانین مربوط به فناوری نانو در ایالات متحده امریکا کاربرد دارد و این امر با هدف پیشگیری از عواقب ناخواسته محیطی، امنیتی و بهداشتی صورت می‌پذیرد. برای مثال، قوانینی که از طرف سازمان حفاظت محیط زیست^۱، سازمان ملی ایمنی و بهداشت شغلی^۲، یا مدیریت غذا و دارو^۳ ارائه می‌شوند با این حال، خطرات را مستقیماً متوجه امنیت ملی نمی‌کنند. در صورتی که این اهداف با هم نقاط اشتراکی داشته باشند مشکلات دیگری نیز پدید می‌آید؛ برای مثال می‌توان انجمن امنیت ملی را نام برد که برای تأیید درمان-های پزشکی به مدیریت غذا و دارو استناد می‌کند.

۴- کنترل تسلیحات بین‌المللی و همکاری‌های مشترک

ویژگی فراملی بودن توسعه و تحقیقات فناوری نانو عامل مهمی در کاهش خطرات سوءاستفاده دولت‌ها از این فناوری برای سلاح‌های بیولوژیکی یا شیمیایی به شمار می‌رود. هرگونه تلاش برای محدود ساختن گسترش و سوءاستفاده احتمالی از عامل‌های بدست آمده از فناوری نانو توسط بازیگران غیردولتی باید در سطح جهانی شکل

¹ US Environmental Protection Agency, 2007

² National Institute for Occupational Safety and Health, 2012

³ US Food and Drug Administration, 2007

مخاطره بیفتد. علاوه بر این، فهرست مواد شیمیایی سمی و مواد اولیه آن‌ها از زمانی که این معاهده در سال ۱۹۹۷ به اجرا گذاشته شد توسط کنوانسیون سلاح‌های شیمیایی به-روز نشده است (VERTIC, 2002: 142). اضافه کردن مواد شیمیایی و سایر مواد اولیه به این فهرست باعث واکنش بهتر نسبت به عامل‌های موجود و در حال توسعه خواهد شد که شامل عوامل شیمیایی و بیوتکنولوژی (Dando, 2002: 44)، و مشترکات آن‌ها با عوامل فناوری نانو می‌باشد.

بسیاری از موضوعات، دغدغه‌ها و انتقاداتی از این قبیل که در ارتباط با پرتکل‌های الحاقی بوجود آمده و به کنوانسیون سلاح‌های بیولوژیکی در تأیید برنامه‌های مشکوک سلاح-های تهاجمی ارائه شده‌اند ممکن است در مورد فناوری نانو و مقررات آن تحت کنوانسیون سلاح‌های شیمیایی نیز بوجود بیایند (Stimson Center, 2002: 48). تشخیص تفاوت بین فعالیت‌های دفاعی و برنامه‌های تهاجمی این فناوری باتوجه به قابلیت‌های دوگانه آن ممکن است در مقایسه با بیوتکنولوژی، مسائل به مراتب پیچیده‌تری را بوجود آورد. رویکردهای متناسب با قوانین عدم اشاعه و ضدتوسعه‌ای، برای کاهش خطر سوءاستفاده از فناوری نانو دارای اهمیت است. شیوه‌ها و سیاست‌های گذشته‌ای که به ماهیت بین‌المللی تحقیقات و توسعه فناوری نانو و بخش مهم تجاری این فناوری توجهی ندارند بسیار نامطلوب به-نظر می‌رسند.

تلاش برای تقویت نظام پیمان بین‌المللی که با هدف کنترل قاچاق و انتقال مواد شیمیایی برای برنامه‌های صلح-آمیز و نظامی کاربرد دارد بسیار حائز اهمیت است. در سطح بین‌المللی دو معاهده اصلی کنترل تسلیحات مربوط به گسترش سلاح‌های بیولوژیکی و شیمیایی متأثر از فناوری نانو وجود دارد: کنوانسیون سلاح‌های بیولوژیکی و کنوانسیون سلاح‌های شیمیایی.^۱ این توافقنامه‌های بین-المللی به‌طور مستقیم به سلاح‌های بیولوژیکی و شیمیایی سنتی اطلاق می‌شوند. کنوانسیون سلاح‌های شیمیایی، تسلیحات متأثر از فناوری نانو را نیز شامل می‌شود. خصوصاً ماده اول کنوانسیون سلاح‌های شیمیایی شامل معیاری است که هرگونه استفاده، توسعه، تولید، ذخیره و انتقال مواد شیمیایی و مواد اولیه آن‌ها و همچنین مهمات و تجهیزات را منع می‌کند که بطور خاص برای کشتار یا آسیب زدن از طریق خواص سمی عامل‌های شیمیایی طراحی شده‌اند. هدف معیار کاربردی باتوجه به پیشرفت-های روزافزون فناوری این است که به کنوانسیون سلاح-های شیمیایی اجازه دهد تا در خصوص این‌گونه مسائل و موضوعات مطلوب‌تر رفتار کند و در خصوص مواد شیمیایی با کاربرد دوگانه، با کاربرد صلح‌آمیز، ممنوعیت‌ها را از آن‌ها بردارد (Trapp & Krutzsch, 1994: 23).

با این حال، تلاش‌های بین‌المللی با کشورهای عضو کمیسیون سلاح‌های شیمیایی که قانون داخلی نظارت بر صادرات را وضع نکرده‌اند و همچنین کشورهای غیرعضوی که نظارت ضعیفی بر صادرات خود داشته‌اند ممکن است به

¹ Convention on the Prohibition of the Development, Production and Stockpiling of Bacteriological (Biological) and Toxin Weapons and on Their Destruction, 10 April 1972, 1015 UNTS 163 (entered into force 26 March 1975) (Biological Weapons Convention); Convention on the Prohibition of the Development, Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on Their Destruction, 13 January 1993, 1974 UNTS 45 (entered into force 29 April 1997) (Chemical Weapons Convention).

نتیجه‌گیری

چه گروه‌های تروریستی از تسلیحات پیشرفته استفاده کنند یا کشورها در درگیری‌های منطقه‌ای خود به‌خاطر منافع استراتژیکی عامل‌های سنتی را به‌کار گیرند، باتوجه به این-که جامعه بین‌الملل در انتظار آینده‌ای برای خود است، لذا انتظار می‌رود رقیبان بیشتر و علم و فناوری‌های جدیدتری پدید آیند. مواردی از قبیل فناوری نانو که امروزه مطرح هستند بر علم و فناوری‌های پیشرفته نوین در عصر حاضر تأثیر می‌گذارند و این مسئله نشان می‌دهد که چگونه جامعه داخلی و بین‌المللی تحت تأثیر این عوامل می‌توانند به نحو احسن به آن‌ها بپردازند. در جهان چند رشته‌ای کنونی گام بعدی در تعیین محدوده‌ها پیدا کردن راه‌هایی-ست که از طریق آن می‌توان علوم اجتماعی، زیستی و فیزیکی را به هم پیوند داد. جدا ساختن مردم از بازیگران مخرب به معنی برقراری ارتباط بین دانشمندان و سیاست-گذاران و ایجاد ارتباط بین بخش‌های اطلاعاتی، اداری و تجاری است. تلاش‌هایی از این قبیل با تمرکز بر پیش‌بینی خطرات تکثیر بیولوژیکی از فناوری نانو، نشان می‌دهد قدرت و ارزش یک رویکرد چندرشته‌ای واقعی برای برنامه-ریزی استراتژیک است و در ضمن به‌عنوان یک الگو نیز می‌تواند برای برنامه‌های دیگر در سایر حوزه‌های علم و فناوری کاربرد داشته باشد.

جلب کرده و دنیا را در آستانه‌ی اکتشافات جدیدی قرار داده است که ممکن است قابلیت‌های نظامی را به‌طور کلی تغییر داده و خطرات جدیدی را برای بخش‌های نظامی و غیرنظامی ایجاد نماید.

برخی پیش‌بینی‌ها برای تأثیرات فناوری نانو ممکن است باورنکردنی و خارق‌العاده جلوه کند؛ در مواقعی، تشخیص مرز بین حرف و سخن با حقیقت غیرممکن است. مسئله حائز اهمیت در رابطه با پیامدهای امنیت ملی و بین‌المللی فناوری نانو و همچنین سایر علوم نوظهوری نظیر بیو-تکنولوژی و علوم شناختی این است که برنامه‌های مدنظر در بازه زمانی محدود و در حیطه قابلیت‌های نهادی امکان تحقق داشته باشد. برای پیش‌بینی تهدید فناوری نانو که برای سلاح‌های بیولوژیکی تهاجمی کاربرد دارد اقداماتی باید صورت گیرد. اکنون زمان مناسبی برای سیاست‌گذاری با هدف خنثی کردن کاربردهای تروریستی آن است و اگر استفاده از آن گسترده‌تر شود دیگر راه چاره‌ای برای هیچ اقدامی باقی نمی‌ماند. تنظیم اولویت‌های تحقیقاتی و برنامه‌ریزی برای فناوری نانو با هدف نوآوری و حفاظت از آن‌ها در مقابل تهدیدات فزاینده جدید، از امور ضروری هستند.

در معمای کاربرد دوگانه فناوری نانو درک این مسئله نهفته است که تقریباً تمام تجهیزات، روش‌ها و موادی که برای توسعه‌ی عوامل خطرناک شیمیایی و بیولوژیکی لازم هستند در طیف گسترده‌ای از پژوهش‌های علمی و فعالیت‌های صنعتی کاربرد و استفاده قانونی دارند (Atlas & Dando, 2006: 276). تکنولوژی می‌تواند به هر منبعی قابلیت‌های مخربی بدهد و قابلیت‌های جدید می-

اطلاعاتی در این مباحثات که مربوط به سی سال گذشته است امروزه بسیار سودمند بوده است. بدین صورت چالش-هایی که تخصص چند رشته‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد بسیار زودتر مورد توجه قرار می‌گیرد تا بتواند سوالات دشوار امنیتی را در مورد چشم‌اندازهای فناوری نانو مطرح سازد.

فهرست منابع

- 1- Abrami L et al (2003). Sensitivity of polarized epithelial cells to the pore-forming toxin aerolysin. *Infect Immun*.
- 2- Abrami L et al (2003). Anthrax toxin triggers endocytosis of its receptor via a lipid raft-mediated clathrin-dependent process.
- 3- Altmann J (2004). Military uses of nanotechnology: perspectives and concerns. *Secur Dialogue*.
- 4- Atlas RM, Dando M (2006). The dual-use dilemma for the life sciences: perspectives, conundrums, and global solutions. *Biosecur Bioterror Biodef Strat Pract Sci* 4(3).
- 5- Berg P et al (1975). Summary statement of the Asilomar conference on recombinant DNA. *Mol Proc Natl Acad Sci* 72.
- 6- Commission on the Intelligence Capabilities of the United States Regarding Weapons of Mass Destruction (2005). Report to the President (unclassified). <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/GPO-WMD/pdf/GPO-WMD.pdf>. Accessed 15 April 2013.
- 7- Dando M (2002). Scientific and technological change and the future of the CWC: the problem of non-lethal weapons disarmament forum. *CWC Rev Conf* 4:33-44. <http://www.unidir.org/files/publications/pdfs/the-cwc-review-conference-en-355.pdf>. Accessed 15 April 2013.

توانند باعث ایجاد نوآوری شوند. آگاهی بیشتر از فناوری-های مخرب برای برنامه‌های تجاری می‌تواند در پیش‌بینی استفاده از فناوری‌های جدید به عنوان سلاح یا ابزارهای تدافعی کمک‌کننده باشد. اجتماع امنیتی همواره باعث پیشرفت تحقیقات و پژوهش‌ها شده است تا از این طریق بتواند ماهیت تکنولوژی را بهتر درک کند؛ برای این که این امر را به فناوری نانو نیز تسری دهیم لازم است از قابلیت-های جدید استفاده کرده و در مقابل تهدیدات نوظهور دفاع کنیم.

یکی از مهم‌ترین راه‌های افزایش کارایی نهادها، ایجاد پل-های ارتباطی بین افراد فنی و تخصصی است، به‌خصوص آنهایی که در پژوهش‌های مدرن مجرب هستند و افرادی که به توسعه و اجرای سیاست کمک می‌کنند. از آنجایی که فناوری نانو تمایل بیشتری به توسعه و تحقیقات دارد هر سیاست‌سازنده‌ای باید با بخش‌های خصوصی و عمومی در سطح ملی و بین‌المللی در ارتباط باشد. شرکت‌های پیشرفته‌ای که در کنار مراکز تحقیقاتی بزرگ توسعه می‌یابند سهم عمده‌ای در این روند دارند. برای افزایش کارایی، متخصصان صنعتی و دانشمندان باید تمایل بیشتری به ایجاد ارتباط سازنده نشان دهند و سیاست و پروتکل‌های مربوط را برای افراد هم سطح خود به اجرا درآورند.

با توجه به رویدادهای گذشته، واضح است که جامعه بین‌المللی از این نوع چشم‌انداز استراتژیک در مراحل اولیه تحقیق و توسعه بیوتکنولوژی نهایت بهره را برده است. در صورتی که جامعه علمی متعهد شده و برخی از خطرات امنیتی را مطرح کرده است (Berg, 1975: 1984)، اما تصمیم استراتژیک برای درگیر کردن جوامع نظامی و



- 19- Medina C et al (2007). Nanoparticles: pharmacological and toxicological significance. *Br J Pharmacol* 150.
- 20- Mourez M et al (2001). Designing a polyvalent inhibitor of anthrax toxin. *Nat Biotechnol* 19.
- 21- National Intelligence Estimate (2007). Prospects for Iraq's stability: some security progress but political reconciliation elusive—unclassified key judgments.
<http://www.cfr.org/iraqnationalintelligence-estimate-prospects-iraqs-stabilityunclassified-keyjudgments/p12540>. Accessed 28 June 2013
- 22- National Research Council (2004). *Biotechnology research in an age of terrorism*. National Academies Press, Washington DC
- 23- National Research Council (2006a). *A matter of size: triennial review of the national nanotechnology initiative*. National Academies Press, Washington DC
- 24- National Research Council (2006b). *Globalization, biosecurity, and the future of the life sciences*. National Academies Press, Washington DC
- 25- NATO (2010). Strategic concept for the defence and security of the members of the North Atlantic Treaty Organization, adopted at the NATO Summit, Lisbon, 19–20 November 2010.
http://www.nato.int/strategic-concept/pdf/Strat_Concept_web_en.pdf. Accessed 14 April 2013
- 26- Pannifer AD et al (2001). Crystal structure of the anthrax lethal factor.
- 27- Pardo-Guerra JP, Aguayo FA (2005). Nanotechnology and the international regime on chemical and biological weapons. *Nanotechnol Law Business* 2(1).
- 28- Pirolo KF et al (2007). Materialising the potential of small interfering RNA via a tumor-targeting nano-delivery system. *Am Assoc Cancer Res* 67.
- 8- Ding SY et al (2003). Quantum dot molecules assembled with genetically engineered proteins. *Nano Lett* 3.
- 9- Dunworth T et al (2006). National implementation of the biological weapons convention. *J Confl Secur Law* 11.
- 10- Dwyer C et al (2002). DNA functionalized single-walled carbon nanotubes. *Nanotechnology* 13.
- 11- Giljohann DA et al (2010). Gold nanoparticles for biology and medicine. *Angew Chem Int Ed Engl* 49.
- 12- Hannon GJ (2002). RNA interference. *Nature* 418. Howard S (2002) *Nanotechnology and mass destruction: the need for an inner space treaty*, 65 *Disarm Dipl.* <http://www.acronym.org.uk/dd/dd65/65op1.html>. Accessed 15 April 2013
- 13- Intelligence Science Board (2006). *The intelligence community and science and technology: the challenge of the new S&T landscape*. Intelligence Science Board Task Force Report for Office of the Director of National Defense. <http://www.fas.org/irp/dni/isb/landscape.pdf>. Accessed 28 June 2013
- 14- Kahn H (1960). *On thermonuclear war*. Greenwood Press, West Port
- 15- Kim BYS et al (2010). Current concepts: nanomedicine. *N Engl J Med* 363.
- 16- Kosal ME (2009). *Nanotechnology for chemical and biological defense*. Springer Academic Publishers, New York
- 17- Kuzma J, Tanji T (2010). Unpackaging synthetic biology: identification of oversight policy problems and options. *Regul Govern* 4.
- 18- Look M et al (2009). Application of nanotechnologies for improved immune response against infectious diseases in the developing world. *Adv Drug Deliv Rev* 62.



- 38- White House (2006). Prevent our enemies from threatening us, our allies, and our friends with weapons of mass destruction. <http://www.georgewbush-whitehouse.archives.gov/nsc/nss/2002/nss5.html>. Accessed 15 April 2013
- 39- Williams E et al (2002). Opportunities at the intersection of nanoscience, biology and computation. The MITRE Corporation, McLean, Virginia. <http://www.fas.org/irp/agency/dod/jason/nanoint.pdf>. Accessed 2 April 2013
- 40- Workshop on Ethical Aspects of Nanotechnology (2007). Break-out group discussion on the potential for misuses of nanotechnology. Arizona State University, Tempe, 11–12 Jan 2007
- 29- Raffensberger C, Tickner J (eds) (1999). Protecting public health and the environment: implementing the precautionary principle. Island Press, Washington DC
- 30- Schwartz P (1996). The art of the long view: planning for the future in an uncertain world. Doubleday Business, New York Select Committee on Intelligence (2006) US Senate report on pre-war intelligence on Iraq. <http://intelligence.senate.gov/phaseiiaccuracy.pdf>. Accessed 2 April 2013
- 31- Staii C et al (2005). DNA-decorated carbon nanotubes for chemical sensing. Nano Lett 5.
- 32- Stimson Center (2002). Compliance through science: US pharmaceutical industry experts on a strengthened bioweapons nonproliferation regime, Report No. 48. http://www.stimson.org/images/uploads/research-pdfs/ComplianceThroughScience_Complete.pdf. Accessed 16 April 2013
- 33- Trapp R, Krutzch W (1994). A commentary on the chemical weapons convention. Martinus Nijhoff, Dordrecht.
- 34- US Environmental Protection Agency (2007). Nanotechnology white paper. <http://www.epa.gov/osa>. Accessed 13 June 2011
- 35- US Food and Drug Administration (2007). Nanotechnology: a report of the U.S. Food and Drug Administration, Nanotechnology Task Force. <http://www.fda.gov/downloads/ScienceResearch/SpecialTopics/Nanotechnology/ucm110856.pdf>. Accessed 25 Sept 2011
- 36- VERTIC (2002). Getting verification right: proposals for enhancing implementation of the chemical weapons convention. <http://www.vertic.org/media/assets/Getting20verification%20right.pdf>. Accessed 14 April 2013
- 37- Wack P (1985). The gentle art of re-perceiving. Harv Business Rev 63(5). 10 Anticipating the Biological Proliferation Threat 173