

## نانوفناوری ایمن و اخلاقی، نیاز امروز محققان نانو در ایران

فتانه سادات بطحایی<sup>۱\*</sup>، باقر لاریجانی<sup>۲</sup>، رسول دیناروند<sup>۳</sup>، کیارش آرامش<sup>۴</sup>، حسن افتخار اردبیلی<sup>۵</sup>

### چکیده

در حالی که حمایت‌های ستاد ویژه‌ی توسعه‌ی فناوری نانو در چند سال گذشته، نتایج چشم‌گیری در زمینه‌ی تحقیقات نانوفناوری به‌دنبال داشته است اما مسیر خاصی برای پژوهش در زمینه‌های ایمنی و اخلاقی آن در ایران تعیین نشده‌است. این مقاله تلاش می‌کند اهمیت جنبه‌های ایمنی و اخلاقی نانوفناوری را که به‌نظر می‌رسد به اندازه‌ی کافی در ایران مورد توجه قرار نگرفته‌اند، بررسی کند. جهت بررسی جنبه‌های ایمنی و اخلاقی نانوفناوری، جست‌وجوهای میدانی در پایگاه‌های اطلاعاتی اینترنتی و نشریات و سندهای کشوری نانوفناوری انجام شده است. نتایج حاصل از این بررسی در قالب دو بخش اصلی بررسی توجه به مسائل ایمنی و اخلاقی نانوفناوری در جهان و ارائه‌ی سه نمونه کار انجام شده با بررسی اولویت‌ها و فعالیت‌های انجام شده در کشور در زمینه‌ی نانوفناوری ارائه شده است.

از جمله تلاش‌های مؤثر در حوزه‌ی مسائل ایمنی و اخلاقی نانوفناوری در جهان می‌توان به گزارش شورای بین‌المللی نظارت و مدیریت بر احتمال خطر (IRGC)، گزارش مرکز جهانی کنترل و پیشگیری از بیماری‌ها (CDC) اشاره کرد. در بخش منابع رسمی کشور، در سند راهبرد ده‌ساله و سند تکمیلی دوم راهبرد آینده‌ی فناوری نانو تنها در دو قسمت، به توجهات ایمنی و اخلاقی نانوفناوری اشاره شده است. بررسی مقالات ایرانی در مورد اولویت‌بندی‌های نانوفناوری در ایران، نشان می‌دهد که اولویت‌های مورد نظر صاحب نظران بیش‌تر در محدوده‌ی انتقال فناوری، توسعه و تجهیز زیرساخت‌های نانوفناوری و امکان‌سنجی عملی اجرای تحقیقات نانو در ایران است.

اگرچه توجه به مسأله‌ی نانوفناوری و پیشرفت آن در کشور، بسیار مطلوب بوده است اما توجه به مسائل ایمنی و اخلاقی، به همین اندازه مطلوب نبوده است؛ لذا انجام پژوهش‌های مختلف در این زمینه‌ها و توجه سیاست‌گذاران به این مقوله ضروری به‌نظر می‌رسد.

**واژگان کلیدی:** نانوفناوری، اخلاق، استانداردسازی

<sup>۱</sup> کارشناس مسؤل انتشارات آموزش، اداره‌ی روابط بین‌الملل دانشگاه علوم پزشکی تهران

<sup>۲</sup> استاد دانشگاه علوم پزشکی تهران، مرکز تحقیقات غدد درون ریز و متابولیسم، مرکز تحقیقات اخلاق و تاریخ پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران

<sup>۳</sup> استاد دانشکده‌ی داروسازی گروه فارماسیوتیکس

<sup>۴</sup> استادیار مرکز تحقیقات اخلاق و تاریخ پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران

<sup>۵</sup> استاد دانشگاه علوم پزشکی تهران - دانشکده‌ی بهداشت - گروه آموزش و ارتقاء سلامت

\* نشانی: اداره‌ی روابط بین‌الملل دانشگاه علوم پزشکی تهران، تلفن ۶۶۹۱۶۹۴۱، Email: Bathaeif@tums.ac.ir

## مقدمه

بررسی توجه به مسائل ایمنی و اخلاقی نانوفناوری در جهان و بررسی اولویت‌ها و فعالیت‌های انجام شده در کشور در زمینه‌ی نانوفناوری ارائه شده است. در بررسی اولویت‌ها و فعالیت‌های انجام شده در حوزه‌ی نانوفناوری در کشور از منابع زیر استفاده شده است:

- (۱) سند راهبرد ده‌ساله‌ی توسعه‌ی فناوری نانو در ایران
- (۲) مقالات ایرانی در مورد اولویت‌بندی‌های نانوفناوری در ایران مندرج در پایگاه اطلاعاتی ستاد نانوفناوری ایران
- (۳) سند تکمیلی دوم راهبرد ده‌ساله‌ی توسعه‌ی فناوری نانو در ایران
- (۴) گزارش فعالیت‌های ستاد ویژه‌ی توسعه‌ی فناوری نانو در سال ۸۶

## نتایج

(۱) توجه به مسائل ایمنی و اخلاقی نانوفناوری در

## جهان

(۱-۱) تاریخچه: ظهور نانوفناوری به سال ۱۹۵۹ بر می‌گردد. زمانی که فیزیکدان معروف و دارنده‌ی جایزه‌ی نوبل ریچارد فینمن (Richard Feynman) سخنرانی خود را درباره‌ی آینده‌ی علم ارائه داد. او فرض کرد که اتم‌ها و ملکول‌ها را همانند آجرهای ساختمانی می‌توان دستکاری کرد (۱). مسائل ایمنی و اخلاقی نانوفناوری از همان آغاز، زمینه‌ساز بحث‌های زیادی بوده است. مسائل مربوط به ایمنی نانوفناوری در سال‌های آغازین بحث‌ها (دهه‌ی ۸۰ میلادی) جزء مسائل اخلاقی مطرح می‌شد، چرا که خطرات مرتبط با ایمنی نانوفناوری و محصولات آن، بیش‌تر به‌صورت مسائل و اتفاقات آخرالزمانی نظیر سناریوی لجن خاکستری (Grey Goo) و ملاحظات اخلاقی نیز با فرضیه‌هایی شبیه به داستان‌های علمی - تخیلی مثل فرضیه‌ی ماشین‌های خلقت (engines of creation) مطرح می‌شد. اریک درکسلر (Eric Drexler) مبدع این نظریه‌ها کتابی با همین عنوان

حمایت‌های ستاد ویژه‌ی توسعه‌ی فناوری نانو در طول چند سال گذشته، نتایج چشم‌گیر و قابل توجهی را در زمینه‌ی تحقیقات نانوفناوری به‌دنبال داشته است، به‌طوری که فناوری نانو به گفتمان مشترک و بعضاً گفتمان غالب مجامع علمی و حتی صنعتی کشور تبدیل شده است. در این میان توجهات خاص اخلاقی و ایمنی در کنار تحقیقات فنی نانو، در دنیا گسترش زیادی یافته است. در چند سال گذشته، مسیر خاصی برای پژوهش در زمینه‌های ایمنی و اخلاقی فناوری نانو در ایران تعیین نشده است. البته این امر با توجه به سن کم نانوفناوری در ایران طبیعی است و کامل نبودن اولویت‌ها در بعضی حیطه‌ها لازمه‌ی آغاز حرکت است؛ طبیعتاً برای شروع هر جریانی، به زمانی نیاز است که اجزای آن جریان به حرکت درآیند، و سال‌های گذشته حکم چنین زمانی را برای جریان فناوری نانو در ایران داشته است.

در شرایط فعلی لازم است ضمن مطالعه‌ی قابلیت‌هایی که در طول چند سال گذشته برای کشور به‌وجود آمده است، و بررسی شرایط کنونی و برنامه‌های کشورهای دیگر، محورهای اولویت‌دار برای تمرکز فعالیت‌های پژوهشی کشور تعیین شود. توجه به همه‌ی جنبه‌های نانوفناوری لازمه‌ی چنین حرکتی است. این مقاله تلاش می‌کند اهمیت جنبه‌های ایمنی و اخلاقی نانوفناوری را که به‌نظر می‌رسد به اندازه‌ی کافی در ایران مورد توجه قرار نگرفته‌اند، بررسی کند.

## روش کار

جهت بررسی جنبه‌های ایمنی و اخلاقی نانوفناوری، جست‌وجوهای میدانی در پایگاه‌های اطلاعاتی اینترنتی و نشریات و سندهای کشوری نانوفناوری مرتبط با موضوع انجام شده است. مقالات و داده‌های به‌دست آمده جهت پاسخ‌گویی به سؤالات مد نظر نویسندگان مقاله، در رابطه با نانوفناوری ایمن و نانوفناوری اخلاقی دسته‌بندی و مطالعه شده‌اند. نتایج حاصل از این بررسی در قالب دو بخش اصلی

رفتار و عملکرد نانومواد هنوز کامل نیستند و ناآگاهی‌های جدی‌ای در این زمینه وجود دارد. تأثیر عدم بلوغ ابزارها و تکنیک‌های سنجش و کنترل نانومواد بر آینده‌ی نانوفناوری نامعلوم است.

### ۳) ساختار مدیریتی پیچیده

یکی از مشکلات ساختاری در کنترل و نظارت بر نانوفناوری، وسعت زیاد حوزه‌های درگیر در آن است. نانوفناوری تنها بیولوژی، شیمی، فیزیک یا مهندسی نیست. در عین حال، وسعت زیاد حوزه‌های کاربرد نانوفناوری هم مزید بر علت است. هیچ کشوری در دنیا یا هیچ ساختار بین‌المللی واحدی در حال حاضر وجود ندارد که کنترل محصولات غذایی، مواد شیمیایی، حوزه‌های امنیت فردی، کیفیت وسایل پزشکی، دارو و سلامت آب را به عهده داشته باشد.

در این گزارش مفصل حوزه‌های مخاطرات نانوفناوری با توجه به نسل‌های مختلف نانومواد - از آنچه که امروز در بازار تجاری وجود دارد تا آنهایی که می‌توانند تا ۱۰ سال آینده تولید شوند - شرح داده شده و پیشنهادات عمومی و خاص موضوعی برای رفع چالش‌ها مطرح شده‌اند. در حوزه‌ی خطرات ناشی از نانومواد فعلی بر محیط زیست و انسان پیشنهاد شده است که:

«از آنجایی که به‌رغم معرفی محصولات نسل اول نانوفناوری به بازار، هنوز داده‌ها در مورد خطرات بالقوه‌ی سلامت، محیط زیستی و ایمنی این مواد ناکافی است انجام پژوهش‌های زیر از اولویت بالایی برخوردار است:

- پژوهش در مورد خصوصیات ماده‌ی خطرزا: جمع‌آوری اطلاعات در مورد سمیت، سمیت محیط زیستی، سرطان‌زایی، پایایی و تجمع ماده در سلول‌ها و محیط زیست
- پژوهش در مورد خصوصیات مواجهه: محاسبه‌ی میزان احتمال ورود ماده‌ی خطرزا، از راه‌های پوستی، گوارشی و استنشاقی، طی مراحل تولید و انتقال ماده و همچنین میزان ورود آن به آب، هوا و

(ماشین‌های خلقت) دارد (۲). هرچند این نظریه‌ها امروزه چندان جدی گرفته نمی‌شوند ولی اولین جرقه‌ها در زمینه‌ی چالش‌های بالقوه‌ی نانوفناوری بوده‌اند (۳).

چالش‌های عمده‌ی نانوفناوری امروزه در حوزه‌های ایمنی (سلامت انسان و محیط زیست) و اخلاقی بررسی می‌شوند. هرچند نظراتی در زمینه‌ی چالش‌های احتمالی نانوفناوری در حوزه‌ی اقتصاد و اجتماع هم وجود دارد که مورد بحث این مقاله نیستند.

### ۲-۱) بررسی تلاش‌های انجام شده جهت ایمن‌سازی

#### نانوفناوری در جهان

۱-۲-۱) گزارش شورای بین‌المللی نظارت و مدیریت بر احتمال خطر (IRGC)<sup>۱</sup>

شورای مدیریت خطر، یک سازمان بین‌المللی و در عین حال مستقل در سوئیس است که هدفش کمک به فهم و مدیریت مخاطرات در سطح جهانی است. یکی از موضوعات مورد توجه این شورا، تمرکز و مطالعه روی فناوری‌ها و اختراعات جدیدی است که به‌خاطر کنترل ناکافی یا نادرست، امکان ایجاد خطر و مشکل در سرتاسر جهان داشته باشند. این شورا در سال ۲۰۰۵ بررسی کاملی روی نانوفناوری و مخاطرات بالقوه‌ی آن انجام داد و نتایج آن را به همراه پیشنهاداتی برای مدیریت این خطرات بالقوه در گزارشی ارائه کرد. در این گزارش نگرانی‌ها و مخاطرات عمده‌ی نانوفناوری در حوزه‌ی مسائل ایمنی به شرح زیر دسته‌بندی شد (۴):

#### ۱) خصوصیات نانومواد

باید در نظر داشت که همان خصوصیات بدیع ماده در مقیاس نانو که می‌تواند سرمنشأ تحولات بسیاری در صنعت و اجتماع شود می‌تواند باعث ایجاد نگرانی و مشکلات بسیار در مورد نحوه‌ی کنش نانومواد با بدن انسان و سیستم‌های زنده نیز بشود.

#### ۲) اهمیت روش‌های سنجش در نانوفناوری

روش‌ها، ابزارها و تکنیک‌های سنجش و ارزیابی و کنترل

<sup>۱</sup> IRGC: International Risk Governance Council

- ۱) مطالعات سم‌شناسی روی نانومواد؛
  - ۲) مطالعات اپیدمیولوژیک در موارد مصرف نانومواد و اثرات آنها؛
  - ۳) مطالعات ارزیابی خطر نانوفناوری و نانومواد روی حیوان‌ها؛
  - ۴) گسترش مطالعات و تولید روش‌های جدید اندازه‌گیری در نانوفناوری؛
  - ۵) مطالعه روی چرخه‌ی عمر نانومواد و فاکتورهای مؤثر بر آن مانند دوز، مواجهه و ...؛
  - ۶) مطالعه بر روی روش‌های اعمال کنترل و محافظت از کسانی که در حوزه‌ی نانوفناوری و محصولات آن کار می‌کنند؛
  - ۷) مطالعه بر روی روش‌های ایجاد ایمنی در محل کار برای کسانی که در حوزه‌ی نانوفناوری و محصولات آن کار می‌کنند؛
  - ۸) ایجاد زمینه برای گسترش ارتباطات و آموزش در زمینه‌ی نانوفناوری سالم و ایمن؛
  - ۹) تحقیق برای تولید دستورالعمل‌ها و راهنماهای کاربردی برای کارکنان در حوزه‌ی نانو؛
  - ۱۰) ایجاد روش‌ها و مطالعه در زمینه‌ی ارزیابی دستورالعمل‌های موجود برای نانوفناوری سالم و ایمن در محیط کار (۵).
- ۱-۳) تلاش‌های انجام شده در زمینه‌ی مدون کردن قواعد و کدهای اخلاقی نانوفناوری
- ۱-۳-۱) روند: تلاش برای توجه به جنبه‌های اخلاقی نانوفناوری عمدتاً با Drexler و فرضیه‌های او شروع شده است. همان‌طور که اشاره شد فرضیه‌های او و کتاب معروفش، ماشین‌های خلقت، امروزه چندان جدی گرفته نمی‌شوند، چرا که شواهد موجود در حوزه‌های فنی نانوفناوری، نشان می‌دهند که در حال حاضر شواهدی در دست نیست که کنترل اتم‌ها و مولکول‌ها به این سادگی صورت بگیرد و متخصصان فنی نانوفناوری تولید چنین ماشین‌هایی را غیر عملی می‌دانند

بیوسیستم‌ها، روش‌های رفع آلودگی و یا بی‌اثر کردن آن‌ها» (۴).

دسته‌بندی خطرات و پیشنهادات در این گزارش به صورت تفصیلی نیز وجود دارد. به طور خلاصه حوزه‌های زیر در نظر گرفته شده‌اند:

مخاطرات سلامت انسانی، خطرات زیست‌محیطی، مشکلات ایمنی شغلی، مشکلات سیاسی و امنیتی، خطر ایجاد شکاف اطلاعاتی، خطرات ساختار اجتماعی، مسائل برون مرزی و کنترل‌های فراملیتی و...

بررسی کامل گزارش IRGC و راه‌حل‌های پیشنهادی آن در پروژه‌ی تحقیقاتی دیگری از نگارنده برای تهیه‌ی پروتکل پیشنهادی نانو اخلاق در ایران در حال انجام است.

۱-۲-۲) گزارش مرکز جهانی کنترل و پیشگیری از بیماری‌ها (CDC) و انستیتو ملی سلامت و ایمنی شغلی آمریکا (NIOSH)

مرکز جهانی کنترل و پیشگیری از بیماری‌ها (CDC)<sup>۱</sup> و انستیتو ملی سلامت و ایمنی شغلی آمریکا (NIOSH)<sup>۲</sup> در گزارشی با عنوان رهیافت به نانوفناوری ایمن در سال ۲۰۰۶، به بررسی مخاطرات شناخته‌شده نانوفناوری تا به امروز و پیشنهادات ممکن برای کاهش خطرات با تأکید بر مخاطرات سلامت انسانی و شغلی پرداخته است (۵).

خطرات بالقوه‌ی سلامت انسانی و ایمنی شغلی، مسائل مرتبط با اصول کار با نانومواد صنعتی، ارزیابی میزان مواجهه<sup>۳</sup> با نانومواد و معیارها و اصول ایمنی و احتیاطی عنوان‌های اصلی این گزارش هستند. این گزارش در انتها دستورالعمل‌ها و راهنمای کاربردی برای کار با نانومواد پیشنهاد می‌کند. ده اولویت در زمینه‌های تحقیقاتی که به نظر نویسندگان این گزارش، انجام پژوهش در آن‌ها - به دلیل کمبود دانشی که در این حوزه‌ها وجود دارد - ضروری به نظر می‌رسد، از این قرارند:

<sup>1</sup> Centers for Disease Control and Prevention

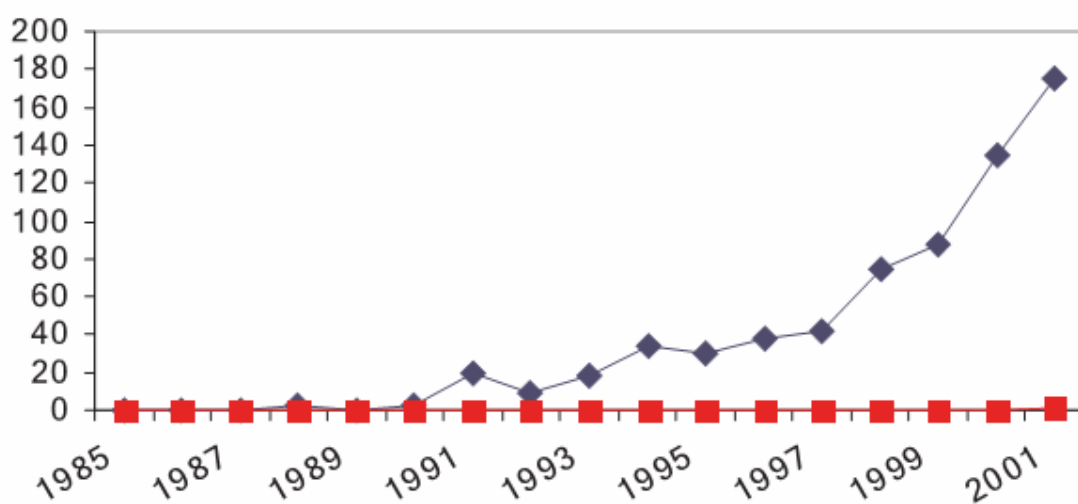
<sup>2</sup> National Institute for Occupational Safety and Health

<sup>3</sup> exposure

زودی‌ها شاهد باشیم.

نگاهی به تعداد مقالات چاپ شده در حوزه‌ی نواناخلاق نشان می‌دهد که تلاش برای تعیین حوزه‌های چالش و مسائل مربوط به اخلاقیات در نانوفناوری بسیار دیر شروع شده و علی‌رغم وجود مقالات علمی متعدد در حوزه‌های فنی نانو، مقالات مرتبط با اخلاق تا سال ۲۰۰۱ میلادی درصد کمی را تشکیل می‌دهند (۷) (شکل شماره ۱).

(۳). به نظر می‌رسد که Drexler در تئوری خود به سادگی از روش کپی‌سازی DNA در موجودات زنده الهام گرفته است (۶) و در عین حال در تئوری او ماشین‌های خلقت نه تنها قادر به کپی‌سازی بلکه قادر به ساخت همه چیز از مواد اولیه هستند (۶، ۳). از طرف دیگر، نانوفناوری در حال حاضر و تخمین پیشرفت‌های آن در ۲۰ سال آینده، مسائل و چالش‌های مهمی ایجاد می‌کند که پرداختن به آن‌ها فعلاً مهم‌تر به نظر می‌رسد تا احتمالاتی که به نظر نمی‌رسد به این



شکل ۱- نمودار تعداد مقالات در شبکه‌ی ISI، لوزی: مقالات مربوط به نانوفناوری، مربع: مقالات مربوط به نواناخلاق

اما بعد از سال ۲۰۰۲ تعداد گزارش‌ها در زمینه‌ی نوانوفناوری اخلاقی گسترش بسیاری یافته است. تأسیس بانک اینترنتی نواناخلاق<sup>۱</sup> (۸) که مشخصاً به‌عنوان کتابخانه و منبعی برای پژوهشگران و افراد عادی که علاقه‌مند به دانستن چالش‌های اخلاقی - اجتماعی نانوفناوری هستند، ایجاد شده است. گزارش‌های متعدد و تلاش‌هایی که برای نگاشتن کدهای اخلاقی ویژه‌ی نانوفناوری صورت گرفته نشانگر اهمیت موضوع می‌باشد (۹، ۱۰).

کدهای اخلاقی نانوفناوری است. این دستورالعمل در فوریه سال ۲۰۰۸ منتشر شده است (۱۱).

در مورد کدهای اخلاقی نانوفناوری

این دستورالعمل پیشنهادی برای مقام‌های سیاسی، کارفرمایان، تأمین‌کنندگان هزینه‌های تحقیقاتی، محققان و به‌طور عام، تمامی افراد و سازمان‌ها و انجمن‌های مدنی درگیر یا علاقه‌مند به تحقیق در زمینه‌ی نانو علم و نانوفناوری (به بیان دیگر تمامی افراد ذینفع)، راهنما و دستورالعملی برای هدایت تحقیقات و رهیافت به نانوفناوری خواهد بود (۱۱).

در این دستورالعمل ۷ اصل مهم اخلاقی که رعایت کردن آن‌ها برای تمامی افراد درگیر در حوزه‌ی نانوفناوری الزامی

اما بعد از سال ۲۰۰۲ تعداد گزارش‌ها در زمینه‌ی نوانوفناوری اخلاقی گسترش بسیاری یافته است. تأسیس بانک اینترنتی نواناخلاق<sup>۱</sup> (۸) که مشخصاً به‌عنوان کتابخانه و منبعی برای پژوهشگران و افراد عادی که علاقه‌مند به دانستن چالش‌های اخلاقی - اجتماعی نانوفناوری هستند، ایجاد شده است. گزارش‌های متعدد و تلاش‌هایی که برای نگاشتن کدهای اخلاقی ویژه‌ی نانوفناوری صورت گرفته نشانگر اهمیت موضوع می‌باشد (۹، ۱۰).

اخیراً تلاش‌هایی برای نوشتن یک سیستم یا کد اخلاقی برای نانوفناوری آغاز شده که شاید بهترین نمونه‌ی آن دستورالعمل هدایت<sup>۲</sup> اتحادیه‌ی اروپا برای نوشتن مجموعه

<sup>۱</sup> Nanoethics Bank

<sup>۲</sup> Code of Conduct

شمرده شده است، شرح داده شده و موارد با تبصره‌های متعددی توضیح داده شده‌اند.

این ۷ اصل اخلاقی (با توضیح مختصر) عبارتند از:

#### (۱) مفهوم پذیری

تمامی فعالیت‌های تحقیقاتی در نانوعلم و نانوفناوری باید برای عموم مردم قابل ادراک و پذیرش باشند. این فعالیت‌ها باید با احترام به حقوق اساسی و با در نظر گرفتن علاقه‌ی مردم به زندگی بهینه‌ی تمامی افراد و جامعه، طراحی، مورد کاربرد، انتشار و استفاده قرار گیرند.

#### (۲) قابل تحمل بودن

تحقیقات نانوعلم و نانوفناوری باید ایمن و اخلاقی باشند و در توسعه‌ی پایداری که در خدمت اهداف جامعه و اهداف مشخص شده در «اهداف توسعه‌ی هزاره ملت‌های متحد»<sup>۱</sup> می‌باشد، شرکت کنند. این تحقیقات نباید باعث ایجاد خطر شوند یا مشکلات زیست‌شناختی، فیزیکی یا اخلاقی برای مردم، حیوانات، گیاهان یا محیط زیست، در حال یا آینده، ایجاد کنند.

#### (۳) حزم اندیشی

فعالیت‌های تحقیقاتی در نانوعلم و نانوفناوری، باید بر مبنای اصول پیشگیرانه هدایت شوند تا بدین‌وسیله آثار تخریبی بالقوه‌ی نتایج تحقیقاتی بر محیط زیست، سلامتی و ایمنی افراد پیش‌بینی شده و از وقوع آن‌ها جلوگیری شود. انجام این احتیاط‌ها باید متناسب با سطح حفاظتی لازم صورت گیرد و در عین حال، پیشرفت تحقیقات برای سود بردن جامعه و محیط زیست از نتایج آن‌ها، مورد تشویق قرار بگیرد.

#### (۴) جامعیت داشتن

نظارت بر فعالیت‌های تحقیقاتی در نانوعلم و نانوفناوری باید به‌گونه‌ای صورت گیرد تا اصل آزادی و برابری تمامی افراد ذینفع، شفافیت و احترام به حق قانونی دسترسی به اطلاعات، رعایت شود. این نظارت اجازه خواهد داد تا تمامی

افراد ذینفع درگیر یا علاقه‌مند به فعالیت‌های تحقیقاتی در نانوعلم و نانوفناوری در روند تصمیم‌گیری‌ها، شرکت داشته باشند.

#### (۵) عملکرد بهینه

فعالیت‌های تحقیقاتی در نانوعلم و نانوفناوری، باید براساس بهترین استانداردهای علمی، شامل استانداردهای پشتیبان بی‌عیب بودن انجام تحقیقات و استانداردهای مرتبط با عملکرد بهینه در آزمایشگاه تحقیقاتی انجام شوند.

#### (۶) نوآوری

نظارت و هدایت فعالیت‌های تحقیقاتی در نانوعلم و نانوفناوری باید با تشویق و ترغیب به حداکثر خلاقیت، انعطاف‌پذیری و قابلیت طرح‌ریزی برای نوآوری و رشد همراه باشد.

#### (۷) پاسخ‌گو بودن

محققان و سازمان‌های تحقیقاتی، باید نسبت به عوارض تحقیقاتشان در حال و آینده بر اجتماع، سلامتی محیط زیست و انسان پاسخ‌گو باشند (۱۱).

در قسمت‌های دیگر این سند راهبردها و سیاست‌گذاری‌های لازم برای اجرای بهینه‌ی این دستورالعمل مورد بررسی قرار گرفته است.

قابل ذکر است که ترجمه و تحلیل این سند و سند‌های مشابه در زمینه‌ی کدهای اخلاقی نانوفناوری در پروژه‌ی تحقیقاتی دیگری از نگارنده برای تهیه‌ی پروتکل پیشنهادی نانو اخلاق در ایران در حال انجام است.

#### (۲) بررسی منابع رسمی در مورد اولویت‌های

#### نانوفناوری در کشور

۱-۲) بررسی سند راهبرد ده ساله‌ی توسعه‌ی فناوری نانو در ایران

سند راهبرد ده‌ساله‌ی توسعه‌ی فناوری نانو در ایران (۱۳۸۴-۱۳۹۳)، که در تیر ماه سال ۱۳۸۴ منتشر شد، رسمی‌ترین سند در مورد اولویت‌ها و برنامه‌های کشور در مورد فناوری نانو است (۱۲). همان‌گونه که در این سند اشاره شده

<sup>1</sup> United Nations Millennium Development Goals

گرفتن اولویت‌های کلان ملی و رفع مشکلات اساسی است. به‌عنوان نمونه، سلطانی (مدیر دبیرخانه‌ی ستاد ویژه‌ی توسعه‌ی فناوری نانو) و صاحبی‌نژاد در مقاله‌ای با عنوان «اولویت‌گذاری علم و فناوری نانو در کشور»، منتشر شده در ماهنامه‌ی فناوری نانو (۱۳) بعد از ملاحظه‌ای که بر سند راهبردی دارند، در بررسی «رویکرد جدید اولویت‌گذاری فناوری نانو» برای تعیین اولویت‌ها، ملاحظاتی را برمی‌شمرند که از بین آن‌ها می‌توان به اهداف و اولویت‌های کلان ملی، نیازها، معضلات و مزیت‌های مهم کشور، میزان تأثیر کاربرد فناوری نانو در موضوعات مورد بررسی و توانمندی‌ها و منابع (انسانی و مالی و...) مورد نیاز برای موفقیت در حوزه‌ی مورد بررسی اشاره کرد. با این حال در هیچ‌جا اشاره‌ای به مسائل و ملاحظات زیست محیطی-ایمنی و اخلاقی نانو وجود ندارد.

۳-۲) بررسی سند تکمیلی دوم راهبرد ده ساله توسعه‌ی فناوری نانو در ایران

در خرداد ماه سال ۸۷، سند تکمیلی دوم (۱۳۸۷-۱۳۸۹) که دنباله‌ای بازبینی شده بر سند راهبرد آینده‌ی فناوری نانو است منتشر گردید. در سند تکمیلی دوم دبیرخانه‌ی ستاد فناوری نانو «با تجربه‌ی اجرای سند [راهبرد آینده] در چند سال گذشته و ارزیابی فعالیت‌های اجرایی آن و بهره‌مندی از نظرات خبرگان در این حوزه»، سند تکمیلی دوم را که افق سه ساله ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ را تبیین می‌کند ارائه داده است (۱۴).

برنامه‌های اشاره شده در این سند شامل شش سرفصل اصلی و ۳۳ برنامه‌ی موضوعی است. سرفصل‌های برنامه عبارتند از: ترویج و فرهنگ‌سازی، زیرساخت‌های علم و فناوری، پیشران علم و فناوری، انتقال و انتشار فناوری، تولید و بازار، سیاست‌گذاری و ارزیابی و در قسمت آخر اولویت‌های کلان کشور در حوزه‌ی نانوفناوری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نگاهی به جزئیات برنامه‌ها در این سند نشان می‌دهد که تنها در دو قسمت توجهات ویژه‌ای به مسأله‌ی نانوفناوری ایمن و ملزومات آن شده است و در هیچ برنامه‌ای اشاره به مسائل اخلاقی فناوری نانو نشده است. جزئیات

است، به‌دنبال «اجرای برنامه‌های ترویجی متعدد و اقبال متخصصان و دستگاه‌های اجرایی کشور به فناوری نانو به‌عنوان یکی از اولویت‌های فناوری کشور و تدوین برنامه‌های آن در دستگاه‌های مختلف، ستاد ویژه‌ی توسعه‌ی فناوری نانو در شهریور ماه ۱۳۸۲ به دستور رئیس جمهور تشکیل شد». اولویت‌های برنامه‌ی کوتاه‌مدت ستاد در زمان تدوین سند راهبردی، چهار حوزه‌ی ترویج، توسعه‌ی منابع انسانی، شبکه‌ی زیرساخت آزمایشگاهی و طرح‌های کوتاه مدت بوده است. دوره ده‌ساله‌ی مد نظر برنامه‌ریزان، به سه افق دو ساله (کوتاه‌مدت)، پنج ساله (میان‌مدت) و ده‌ساله (بلندمدت) تقسیم شده که هر دوره به‌عنوان زمینه‌ساز و پیش نیاز دوره‌ی بعدی تصور شده است (۱۲).

ارکان اصلی برنامه به بخش‌های چشم‌انداز، مأموریت، اهداف و سیاست‌های حاکم بر تمام سطوح برنامه تقسیم شده است. نگاهی به ارکان اصلی برنامه نشان می‌دهد که ملاحظات مربوط به موضوع این مقاله یعنی توجهات ایمنی و اخلاقی نانوفناوری در دو قسمت، مورد اشاره قرار گرفته است:

الف) قسمت اهداف: هدف شماره دو:

«ایجاد زمینه‌ی مناسب برای بهره‌مندی از مزایای فناوری نانو در جهت ارتقای کیفیت زندگی مردم»

ب) قسمت سیاست‌های حاکم بر تمام سطوح برنامه، سیاست‌های اقتصادی، اجتماعی، هدف ششم:

«رعایت ارزش‌ها و اصول اخلاقی و ملاحظات زیست محیطی در اجرای برنامه»

۲-۲) بررسی مقالات ایرانی در مورد اولویت‌بندی‌های نانوفناوری در ایران

بررسی مقالات ایرانی در مورد اولویت‌بندی‌های نانوفناوری در ایران، نشان می‌دهد که اولویت‌های مورد نظر صاحب‌نظران در نانوفناوری بیش‌تر در محدوده‌ی انتقال فناوری، توسعه و تجهیز زیرساخت‌های نانوفناوری و امکان سنجی عملی اجرای تحقیقات نانو در ایران در کنار در نظر

برنامه‌های مرتبط در جدول شماره ۱ خلاصه شده‌اند (۱۴).

جدول ۱ - قسمت‌های مرتبط با نانوفناوری ایمن در سند تکمیلی دوم

سرفصل برنامه	برنامه موضوعی	عنوان برنامه	کارکرد مرتبط با نانوفناوری ایمن
زیرساخت‌های علم و فناوری	نانومترولوژی	ایجاد و توانمندسازی مرکز «نانومترولوژی و توسعه‌ی تجهیزات آزمایشگاهی فناوری نانو»	تولید روش‌های بهتر اندازه‌گیری، مؤثر در استاندارد سازی و دارای کاربرد در تحقیقات مربوط به سلامت و ایمنی
زیرساخت‌های علم و فناوری	استاندارد و ایمنی	تدوین و اعمال استانداردهای ایمنی و کنترل کیفی و مکانیزم‌های نظارت بر آنها	تهیه و تدوین استاندارد داخلی برای محصولات تولیدی، مواجهه‌ی درست و هوشمندانه با ایمنی نانو

۲-۴) بررسی گزارش فعالیت‌های ستاد ویژه‌ی توسعه‌ی

فناوری نانو در سال ۸۶

گزارش فعالیت‌های ستاد ویژه‌ی توسعه‌ی فناوری نانو در سال ۸۶، نیز با محوریت همان شش سرفصل ارائه شده در سند تکمیلی دوم به تبیین فعالیت‌های انجام شده می‌پردازد (۱۵). در این گزارش مفصل که به جزئیات تمامی برنامه‌های اجرا شده در سال ۸۶ در حوزه‌ی نانو فناوری پرداخته شده است. به ذکر چند نمونه اکتفا می‌کنیم:

۱) در محور ترویج و تقویت بستر فرهنگی، قسمت حمایت از سمینارهای ترویجی در آموزش و پرورش و دانشگاه‌ها لیست شده‌اند. در موضوع هیچ کدام از سمینارها، نانوفناوری ایمن و یا مسائل مربوط به نانو اخلاق دیده نمی‌شود (۱۵).

۲) در محور زیرساخت‌های توسعه‌ی فناوری، قسمت موضوعی استانداردسازی فناوری نانو، وقایع مرتبط با نانوفناوری ایمن شامل موارد عضویت ایران در کمیته‌ی بین‌المللی استانداردسازی فناوری نانو (ISO/TC229) و تشکیل کمیته‌ی فنی متناظر استانداردسازی فناوری نانو در کشور (ISIRI/TC229) می‌باشد. این کمیته‌ی

استانداردسازی تاکنون فعالیت‌های زیر را انجام داده

است:

- تشکیل یک تیم توانمند دانشگاهی برای فعالیت در حوزه‌ی استانداردهای ایمنی و محیط زیست نانوفناوری؛

- تعامل با مراکز پژوهشی و تولیدی کشور و وزارت بهداشت جهت فعال سازی آنها در استانداردسازی؛

- شروع به تدوین پنج استاندارد ملی؛

- تهیه چهار گزارش در مورد اثرات زیست محیطی،

سمیت و ایمنی نانوذرات (۱۵)

۳) در محور انتشار فناوری، لیست گزارش‌های تهیه شده در سال ۸۶ نشان می‌دهد که از بین ۳۵ مورد

گزارش تهیه شده و یا در دست تهیه تنها یک مورد (۲/۸۵٪) به نانوفناوری ایمن اختصاص دارد و باز در

زمینه‌ی نانو اخلاق گزارشی وجود ندارد (۱۵) (شکل شماره‌ی ۲).

به‌نظر می‌رسد توجه به اثرات زیست‌محیطی نانومواد و جنبه‌های اخلاقی پژوهش و عمل در حوزه‌ی فناوری نانو، از جمله مسائلی هستند که در مسیر اولویت‌های نانوفناوری کشور ما جایگاه مناسب خود را هنوز به‌دست نیاورده‌اند.

گزارش‌های مختلف تهیه شده در سال ۱۳۸۶	
۱۹. نمودارهای فناوری -نمایشگرهای توانمندشده با نانو	۱. نقشه راه اروپا در زمینه مواد نانوحفرای
۲۰. نمودارهای فناوری -سیستم‌های داروسازی توانمندشده با نانو	۲. نقشه راه اروپا در زمینه نانوذرات و نانو کامپوزیت‌ها
۲۱. نمودارهای فناوری -حافظه‌های توانمندشده با نانو	۳. نقشه راه اروپا در زمینه نانوروشک‌ها و فیلم‌های نازک
۲۲. نمودارهای فناوری -پیل‌های خورشیدی توانمندشده با نانو	۴. نقشه راه اروپا در زمینه درخت‌سان‌ها
۲۳. نمودارهای فناوری -نانوحسگرها	۵. نقشه راه اروپا در زمینه سنتز مواد نانو ساختار
۲۴. نمودارهای فناوری -عوامل درمانی نانو	۶. نقشه راه اروپا در زمینه کاربردهای فناوری نانو در صنعت انرژی
۲۵. بررسی چند نمونه از محصولات مهم توانمندشده با نانو	۷. نقشه راه اروپا در زمینه کاربردهای فناوری نانو در پزشکی و بهداشت
۲۶. نانو ابزارها (ابزارهای بررسی، ساخت، و مدل سازی)	۸. نمودارهای فناوری -نانولوله‌های کربنی
۲۷. سرمایه‌گذاری (دولتی، شرکتی، و خطرپذیر) در زمینه فناوری نانو و نام‌های تجاری ثبت شده نانو	۹. نمودارهای فناوری -نانوذرات سرمایی
۲۸. چشم‌انداز اختراعات ثبت شده فناوری نانو	۱۰. نمودارهای فناوری -درخت‌سان‌ها
۲۹. اثرات زیست‌محیطی، سلامتی، و ایمنی فناوری نانو	۱۱. نمودارهای فناوری -فولرین‌ها
۳۰. نمودارهای فناوری -ابزارهای تشخیصی توانمندشده با نانو	۱۲. نمودارهای فناوری -نانوذرات فلزی
۳۱. گزارش کاربرد های نانو در لوازم خانگی	۱۳. نمودارهای فناوری -مواد نانوحفره‌ای
	۱۴. نمودارهای فناوری -فلزات نانو ساختار
	۱۵. نمودارهای فناوری -نانوسیم‌ها
	۱۶. نمودارهای فناوری -نقاط کوانتومی
	۱۷. نمودارهای فناوری -نانوروشک‌ها
	۱۸. نمودارهای فناوری -نانو کامپوزیت‌ها
گزارش‌های در حال تهیه	
۳. نانوروشک‌ها	۱. کاربردهای فناوری نانو در صنعت نساجی
۴. عضویت در خبرنامه نانوذرات مربوط به موسسه Research BCC	۲. نانو کامپوزیت‌ها

شکل ۲ - لیست گزارش‌های تهیه شده توسط ستاد فناوری نانو در سال ۸۶

### بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به مرور انجام شده، به نظر می‌رسد که اگرچه توجه به مسأله‌ی نانوفناوری و پیشرفت آن در کشور، بسیار مطلوب بوده است اما توجه به مسائل ایمنی و اخلاقی آن از سوی دیگر، به همین اندازه مطلوب نبوده است. فعالیت‌های انجام شده در کمیته‌ی استانداردسازی فناوری نانو، گرچه شروعی به هنگام داشته، اما مجموعه فعالیت‌های انجام شده در آن، هنوز برای پوشش دادن به همه‌ی مخاطرات ایمنی و سلامت انسانی و محیط زیستی نانو کافی به نظر نمی‌رسد. با توجه به جست‌وجوی مؤلفین مقاله هنوز مطالعه‌ی جامعی

روی ضوابط اخلاقی در پژوهش‌های نانوفناوری و در کاربردها و محصول‌های آن در ایران انجام نشده و این موضوع در اولویت‌های مورد توجه نانوفناوری کشور قرار نگرفته است. با توجه به اهمیت چالش‌های نانوفناوری در حوزه‌های مخاطرات بالقوه‌ی آن بر سلامت انسان و محیط زیستی و اخلاقی، انجام پژوهش‌های مختلف در این زمینه‌ها و توجه سیاست‌گذاران به این مقوله ضروری به نظر می‌رسد. در عین حال، وجود پژوهش‌ها و دستورالعمل‌های جهانی در این زمینه که می‌توانند به‌عنوان نمونه‌ای برای شروع این پژوهش‌ها به‌کار روند و وجود توان بالقوه در راهنماها و

## منابع

- 1- Miller J. Beyond biotechnology: FDA regulation of nanomedicine. *Columbia Sci Technol Law Rev* 2003; 4: E5.
- 2- Drexler KE. *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. New York: Anchor Press; 1986. [http://e-drexler.com/d/06/00/EOC/EOC\\_Table\\_of\\_Contents.html](http://e-drexler.com/d/06/00/EOC/EOC_Table_of_Contents.html) (accessed on 2008)
- 3- Anonymous. UNESCO, *The Ethics and Politics of Nanotechnology*, Division of ethics of science and technology, 2006. <http://www.unesco.org/shs/ethics> (accessed on 2008)
- 4- Anonymous. *Nanotechnology Risk Governance Recommendations for a Global Coordinated Approach to the Governance of Potential Risks* 2007. [http://www.irgc.org/IMG/pdf/PB\\_nanoFINAL2\\_2\\_.pdf](http://www.irgc.org/IMG/pdf/PB_nanoFINAL2_2_.pdf) (accessed on 2009)
- 5- Anonymous. *Approaches to Safe Nanotechnology: An Information Exchange with NIOSH*. [http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/safenano/pdfs/approaches\\_to\\_safe\\_nanotechnology\\_28november2006\\_updated.pdf](http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/safenano/pdfs/approaches_to_safe_nanotechnology_28november2006_updated.pdf) (accessed on 2009)
- 6- Shew A. *Codifying the Ethics of Nanotechnology*, Science & Technology Studies, Philosophy Virginia Polytechnic Institute & State University. <http://hum.iit.edu/~csep/NanoEthicsBank/docs/Codifying.pdf> (accessed on 2008)
- 7- Mnyusiwalla A, Daar AS, Singer PA. Mind the gap, science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology* 2003; 14: R9-R13.
- 8- Clarence DJ. *Managing the effects of Nanotechnology*. Nanoethics Bank 2006; <http://hum.iit.edu/~csep/NanoEthicsBank> (accessed on 2009)
- 9- Anonymous. *Towards a Code of Conduct for Responsible Nanosciences and Nanotechnologies Research*. [http://ec.europa.eu/research/consultations/pdf/nano-consultation\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/consultations/pdf/nano-consultation_en.pdf) (accessed on 2009)
- 10- Anonymous. *Responsible Nano Code for Business to be developed*. <http://www.royalsoc.ac.uk/news.asp?id=6841&printer=1> (accessed on 2009)

دستورالعمل‌های اخلاق اسلامی، تسهیل‌کننده‌ی روند اجرایی پژوهش‌ها برای به‌دست آوردن و تولید دستورالعمل‌های اخلاقی بومی با توجه به فرهنگ اسلامی ایرانی در کشور خواهد بود. امید است در آینده‌ی نزدیک شاهد گسترش پژوهش‌ها و تولید پروتکل‌های اخلاقی مناسب و بومی در زمینه‌ی نانوفناوری در ایران باشیم.

۱۳- سلطانی ع م، صاحبی نژاد م. اولویت‌گذاری علم و

فناوری نانو در کشور. ماهنامه فناوری نانو ۱۳۸۶؛

شماره ۱۲۰، ص ۸-۳۹۵.

۱۴- بدون نام، سند تکمیلی دوم، برگرفته از سایت ستاد

فناوری نانو ایران.

[http://nano-atu.ir/images/newsimage/  
File/870515-047\(1\).pdf](http://nano-atu.ir/images/newsimage/File/870515-047(1).pdf) (accessed on  
2009)

۱۵- بدون نام. گزارش فعالیت‌های ستاد ویژه‌ی

توسعه‌ی فناوری نانو در سال ۸۶.

[http://nano-atu.ir/images/newsimage/File/870515-  
046.rar](http://nano-atu.ir/images/newsimage/File/870515-046.rar) (accessed on 2009)

11- Anonymous. European Commission adopts Code of Conduct for Responsible Nanosciences and Nanotechnologies.

[http://europa.eu/rapid/pressReleasesActio  
n.do?reference=IP/08/193&format=PDF&  
aged=1&language=EN&guiLanguage=en](http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/193&format=PDF&aged=1&language=EN&guiLanguage=en)  
(accessed on 2009)

۱۲- بدون نام. سند راهبرد ده ساله توسعه‌ی فناوری نانو

در ایران.

[www.nano.ir/en/images/newsimage/File/  
The\\_Future\\_Strategy.pdf](http://www.nano.ir/en/images/newsimage/File/The_Future_Strategy.pdf) (accessed on  
2008)

