

ایمنی در محصولات مبتنی بر فناوری نانو: هست و نیست‌ها، باید‌ها و نباید‌ها

نویسندگان: امین چوخابی‌زاده مقدم، الهه اسلامی پور^۱

۱. کارشناس ستاد توسعه فناوری نانو

و کشفیات و اختراعات جدیدی که در این حوزه رخ می‌دهد، سخن می‌گویند. اما بخشی از مطالب ارائه شده در رسانه‌ها، نشریات و گزارش‌های علمی وجود دارد که به خطرات و عوارض فناوری نانو می‌پردازد و در این زمینه ابراز نگرانی می‌کند. شاید بتوان گفت مبنای عمده نگرانی‌ها این فرضیه است که با کوچک‌تر شدن و تبدیل مواد مختلف به ذرات بسیار ریز و در ابعاد نانو، فعالیت شیمیایی و قابلیت نفوذ و پخش در سلول‌ها و اندام موجودات زنده برای این مواد افزایش می‌یابد. لذا ریسک استفاده از مواد در ابعاد نانو بالاتر از حد معمول خواهد

در آینده‌ای نزدیک تخمین‌های گوناگونی زده شده است. حجم و شدت تبلیغات رسانه‌ای و توجه عمومی به فناوری نانو به حدی است که می‌توان ادعا کرد بخش قابل توجهی از مردم (به ویژه در کشورهای توسعه یافته) با واژه نانو و فناوری نانو آشنایی نسبی پیدا کرده‌اند و حتی در برخی از کشورها آن را مترادف با کیفیت بهتر می‌دانند.

بخش عمده‌ای از رسانه‌های عمومی و حتی نشریات علمی و تخصصی بیشتر توجه خود را بر روی اثرات مفید و سازنده فناوری نانو متمرکز کرده‌اند و پیوسته از تحولات شگرف

از زمان مطرح شدن فناوری نانو و صحبت از مزایا و قابلیت‌های آن در مجامع و رسانه‌های مختلف، دو دهه گذشته است و روز به روز بر تنوع و تعدد محصولات مبتنی بر این فناوری افزوده می‌شود. در آینده‌ای نه چندان دور، شاید کم‌تر حوزه‌ای از محصولات را بتوان یافت که از این فناوری متأثر نشده باشد و کم‌تر فردی را بتوان یافت که مصرف‌کننده محصولی نانویی نباشد. تاکنون درباره جنبه‌های مثبت و منافع شگفت‌آور این فناوری برای جامعه بشری پیش‌بینی‌های متعددی شده و از رشد چشمگیر بازار مصرف این محصولات

بود و احتمال ایجاد خطر و آسیب برای انسان و محیط زیست به وجود می‌آید. شکی نیست وجود چنین نگرانی‌هایی برای فناوری نانو (به عنوان یک فناوری نوظهور) منطقی، به‌جا و ضروری است. اما باید توجه داشت که:

□ اولاً: اغلب فناوری‌های جدید که عمدتاً در قرن بیستم ظهور و توسعه یافته‌اند، دارای خطرات، جنبه‌های منفی و عوارض نامطلوب جانبی هستند. از جمله جنبه‌های منفی و خطرات موجود در فناوری‌های جدید می‌توان نقض حریم خصوصی و احتمال سوء استفاده از اطلاعات فردی در حوزه فناوری مخابرات و اطلاعات، تولید انبوه انسان‌های شبیه‌سازی شده در حوزه فناوری شبیه‌سازی و سلول‌های بنیادی، تولید محصولات تراریخته با احتمال ایجاد خطرات برای مصرف‌کننده در حوزه زیست‌فناوری و مهندسی ژنتیک و... را به عنوان نمونه ذکر کرد. در فناوری نانو نیز نگرانی‌هایی از خطرات احتمالی ناشی از توسعه این فناوری مطرح گردیده است که عمده آن‌ها به اثرات فناوری نانو بر سلامت انسان و محیط‌زیست (به اصطلاح ایمنی نانو) مربوط می‌گردد. لذا وجود عوارض و تبعات منفی در توسعه فناوری‌های جدید، پدیده جدیدی نیست و جامعه بشری تجربه مواجهه و مدیریت ریسک‌های فناوری‌های نوظهور را دارد.

□ ثانیاً: وجود این گونه نگرانی‌ها درباره فناوری‌های مصنوع بشر هیچ‌گاه باعث نشده است که چرخ تولید علم، فناوری و صنایع متوقف شود. بلکه نهادهای دولتی و غیردولتی وارد عمل شده‌اند و با تعیین چارچوب‌ها و تنظیم مقرراتی برای کنترل، به دنبال مدیریت و پیشگیری از تبعات منفی این فناوری‌ها بوده‌اند. مثلاً درباره فناوری هسته‌ای همواره این نگرانی وجود دارد که حادثه‌ای مانند حادثه چرنوبیل در نیروگاه‌های هسته‌ای رخ دهد. اما این مساله موجب نشده است که از ساخت نیروگاه و تولید برق هسته‌ای جلوگیری شود، بلکه استانداردهای طراحی، ساخت و نگهداری نیروگاه‌ها به صورت سخت‌گیرانه‌تری تنظیم و اعمال می‌گردد.

□ ثالثاً: عمده نگرانی‌ها درباره خطرات و تبعات فناوری نانو مبنای علمی صحیحی ندارد و به‌وسیله‌ی متخصصان و دانشمندان حوزه ایمنی، سلامت و محیط‌زیست اثبات نشده است. در حال حاضر شناخت جامعه بشری از نحوه و میزان مواجهه با نانومواد در محل کار، آزمایشگاه، خانه و محیط‌زیست بسیار گسترده‌تر از قبل شده است. اما تا به امروز هیچ نوع بیماری خاص انسانی یا رویداد ناگوار زیست‌محیطی تأیید شده که ناشی از این مواد باشد، گزارش نشده است. شناخت و آگاهی از خطرات نانومواد، از ابتدای طرح آن تاکنون، به تدریج تغییر پیدا کرده است. درک جامعه

بشری از مفهوم کلی «ریز خطرناک است» به این واقعیت رسیده است که ایمنی نانومواد بایستی با توجه به مصرف خاص، کاربردها، نوع و شدت مواجهه‌ها و ویژگی‌های خاص هر نانوماده بررسی شود.

دانشگاه‌ها، صنایع و دولت‌ها با واقعیت‌های موجود درباره خطرات فناوری نانو (و هر حوزه و پدیده جدید دیگری) روبه‌رو هستند و در مواجهه با آن‌ها دیدگاهی واقع‌گرایانه دارند. اما رسانه‌های عمومی و مردم پتانسیل بالایی را برای دور شدن از واقع‌بینی، بزرگ‌نمایی مسائل و واکنش ناسنجیده به این خطرات اثبات نشده، دارند. در حال حاضر نظرات مردم اغلب بر اساس گزارش‌های اثبات نشده‌ای است که از رسانه‌های خبری و سازمان‌های غیردولتی دریافت می‌کنند. تا زمانی که عدم شفافیت اطلاعات و فقدان نتایج اثبات شده در ایمنی نانو وجود داشته باشد، پدیده‌ها پابرجا خواهد بود و این مساله عملاً مانع بزرگی در برابر توسعه بازار و فناوری نانو می‌گردد. یک راهبرد کلیدی برای دانشگاه، صنعت و دولت برقراری ارتباط، اطلاع‌رسانی و درگیر کردن موثر مردم در گفت‌وگو در مورد پیامدهای مفید فناوری نانو، پتانسیل خطرات، و اقداماتی که برای اطمینان از پیاده‌سازی ایمن فناوری نانو در حال انجام است، می‌باشد. هم‌چنین باید در محصولات مبتنی بر فناوری نانو، شفافیت بیشتری ایجاد شود، اعم از مشخصات فنی خاص، ترکیب و فرمولاسیون نانومواد و این‌که چرا افزودن و استفاده از آن‌ها کیفیت محصول را بهبود می‌بخشد. تولیدکنندگان و عرضه‌کنندگان، برخی از اطلاعات در مورد محصولات بر پایه فناوری نانو را به طور عمدی مخفی نگه می‌دارند که در دراز مدت می‌تواند موجب تنزل اعتبار و تیره شدن تصویر ذهنی مردم درباره فناوری نانو شود. یک راه‌حل برای این مساله درج بسته‌بندی یا برچسب‌زنی محصول است. هم‌چنین لازم است به مردم توضیح داده شود که فناوری نانو می‌تواند نقش مهمی در ارتقای ایمنی مواد غذایی، حفظ و بازسازی محیط‌زیست، بهبود روش‌های درمانی و پزشکی، و ارتقای محصولات ایفا نماید.

در راستای رفع این ابهامات و نگرانی‌ها، هم‌اکنون فعالیت‌های اجرایی و برنامه‌های تحقیقاتی متعددی در زمینه ایمنی نانو در کشورهای مختلف انجام شده و بخش عمده‌ای از آن‌ها نیز در دست اجرا است یا در آینده اجرا خواهد شد. کشورهای متعددی سند راهبردی و برنامه اجرایی برای توسعه فناوری نانو تدوین و منتشر کرده‌اند و در بخشی از سند و برنامه خود، با شدت و ضعف متفاوت به ایمنی و سلامت فناوری نانو پرداخته‌اند. حتی برخی از کشورها (مانند ایالات متحده و تایلند) به طور ویژه و مجزا برای ایمنی نانو،

سند و برنامه تدوین و منتشر نموده‌اند. در متن این سندها و برنامه‌ها، راهبردها و برنامه‌های آینده کشورها در زمینه‌های مختلف به ویژه: اطلاع‌رسانی و آگاهی‌بخشی به عموم مردم و ذی‌نفعان، قانونگذاری و تنظیم مقررات، انجام تحقیق و توسعه، آموزش و توانمندسازی منابع انسانی، تقویت زیرساخت‌ها، ارزیابی و مدیریت ریسک محصولات نانویی و... مشخص شده است. بخش مهمی از اقدامات انجام شده در سطح جهان برای ارتقای ایمنی محصولات نانویی عبارت است از:

□ تحقیق و بررسی اثرات نانوذرات بر موجودات زنده (اعم از انسان، حیوانات، گیاهان، میکرو ارگانیسم‌ها) و اکوسیستم؛

□ تدوین استانداردها و آیین‌نامه‌های مورد نیاز برای رعایت ایمنی و حفظ محیط‌زیست؛

□ ایجاد نظام‌شناسایی، ثبت و اعطای مجوزهای ویژه برای تولید، فروش و واردات محصولات نانویی؛

□ بررسی کمبودها و نیازمندی‌ها در حوزه قوانین و مقررات و تصویب قوانین و مقررات جدید برای کنترل و ساماندهی محصولات نانویی؛

□ ایجاد پایگاه‌های داده و اطلاعات از محصولات نانویی؛

□ آگاه‌سازی جامعه و عموم مردم درباره مزایا و تبعات فناوری نانو.

متعاقب تجربیات به دست آمده در حوزه زیست‌فناوری و شناخت ضرورت ملاحظه جنبه‌های اخلاقی در این فناوری، محث مهمی با عنوان اخلاق نانو مورد توجه نهادهای دولتی و غیردولتی قرار گرفته است، که یکی از اهداف آن تدوین آیین‌نامه‌ها و مقرراتی برای جلوگیری از سوء استفاده از فناوری نانو و تبیین مسئولیت‌های اخلاقی توسعه‌دهندگان و کاربران این فناوری در قبال جامعه است.

آن‌چه تاکنون در حوزه ایمنی و سلامت و محیط‌زیست فناوری نانو انجام شده، نسبت به آنچه باید انجام شود، ناکافی بوده است. اگر کشور ایالات متحده را به عنوان نمونه و یکی از پیشگامان این حوزه در نظر بگیریم، اولین اقدامات و فعالیت‌ها در زمینه ایمنی نانو در سال ۲۰۰۰، با سازماندهی چند کارگاه آموزشی انجام شد. اما عملاً از پایان سال ۲۰۰۸، سرعت انجام پژوهش‌ها و تنظیم سیاست‌های نظارتی در حوزه ایمنی نانو افزایش یافت که منجر به افزایش چشمگیر در تعداد مقالات منتشر شده در زمینه ایمنی نانو گردید.

در نتیجه اقدامات و فعالیت‌های صورت گرفته، تاکنون پیشرفت‌هایی در زمینه سم‌شناسی برای نانومواد پرمصرف (به ویژه نانولوله‌های کربنی و نانوذرات: نقره، اکسید تیتانیوم، اکسید روی، و اکسید سیلیسیوم) و تعیین مشخصات نانومواد و اثرات آن‌ها بر روی سمیت نانومواد

انجام گرفته است. اما سیاست‌گذاران در سراسر جهان اظهار کرده‌اند که برای انجام تغییرات در مقررات و چارچوب‌های موجود در راستای مدیریت ریسک مواد شیمیایی و نانومواد، داده‌ها و اطلاعات کافی وجود ندارد. لذا رویکرد اصلی برنامه‌های تحقیقاتی به سمت پیدا کردن خطوط قرمز برای هر نانوماده با ویژگی‌های معین است که تلاش‌های انجام شده تاکنون به یک نتیجه قطعی و مشخص منتهی نشده است. هم‌اکنون حضور یک نانوماده خاص به خودی خود خطرناک شناخته نمی‌شود و ویژگی‌های دیگری مانند نوع کاربرد، مشخصات فیزیکی و شیمیایی نانوماده، حجم مصرف محصول حاوی نانوماده و... بر روی ریسک استفاده از محصول مورد نظر مؤثر است. لذا ارزیابی ایمنی محصولات و ارائه مجوزها به محصولات مبتنی بر فناوری نانو، به صورت موردی و پس از انجام آزمون‌های استاندارد انجام می‌گیرد. بر این اساس محصولات متعددی وجود دارند که مجوزهای لازم را از مراجع مربوطه از کشورهای اروپایی و امریکا کسب کرده‌اند (مانند چسب زخم حاوی نانونقره و محصولات آرایشی و بهداشتی نانویی).

پس از یک دوره توقف نسبتاً طولانی، هم‌اکنون نهادهای ملی و بین‌المللی همکاری‌های گسترده‌ای را آغاز کرده‌اند و در زمینه قانون‌گذاری فعال‌تر شده‌اند. عمده فعالیت‌های قانون‌گذاری شامل تلاش برای جمع‌آوری داده‌های دقیق‌تر، استانداردسازی جهانی و هماهنگ‌سازی ارزیابی ریسک، برای فعال کردن سازمان‌های قانون‌گذار در زمینه تنظیم سیاست‌ها است. دو نمونه از سازمان‌هایی که برنامه‌ها و طرح‌هایی را برای مدیریت ریسک در دستور کار خود دارند، عبارتند از: سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) و سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO).

در کشور ایران عمده اقدامات و فعالیت‌ها در زمینه ایمنی نانو از سوی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو به عنوان متولی اصلی توسعه و ترویج فناوری نانو در کشور، انجام شده است. این ستاد در ضمن اجرای برنامه ده ساله فناوری نانو و با درک ضرورت توجه به ایمنی نانو، در اولین گام کمیته‌ای را با عنوان کمیته استانداردسازی فناوری نانو تشکیل داد. هم‌اکنون کمیته استانداردسازی فناوری نانو، حوزه ایمنی نانو را به عنوان یکی از اولویت‌های اصلی فعالیت‌های خود در نظر گرفته و اقدامات و فعالیت‌های مختلفی را در این زمینه انجام داده است یا در دست انجام دارد. این کمیته امور و فعالیت‌های مرتبط با ایمنی نانو شامل سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، ترویج، تقویت زیرساخت‌ها و... را بر عهده گرفته است و بدین وسیله نهادهای متولی و ذیربط حوزه ایمنی را

و اعطای نشان «نانوماد» به محصولات تایید شده.

اگر چه جنبه‌های ایمنی، سلامت و محیط‌زیست و عوارض احتمالی محصولات نانویی به یکی از چالش‌های توسعه فناوری نانو تبدیل شده است، اما برخورد سطحی و غیرواقع‌بینانه از سوی بخش‌های مختلف جامعه به ویژه رسانه‌ها با این مساله، چالش و تهدیدی به مراتب بزرگ‌تر و جدی‌تر برای توسعه این فناوری است. نهادهای نظارتی، قانون‌گذاری و سیاست‌گذاری نقش مهمی در غلبه بر این چالش ایفا می‌کنند. البته ایمنی نانو، در زمان مناسب و به طور صحیح مورد توجه بازیگران و فعالان این فناوری به ویژه مراکز پژوهشی و نهادهای سیاست‌گذار و قانون‌گذار قرار گرفته و اقدامات و فعالیت‌های مناسبی آغاز شده است، اما جامعه بشری هنوز در ابتدای راه قرار دارد. کشورها با یک سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی صحیح در حوزه‌های مختلف اعم از: تحقیق و توسعه، تدوین قوانین و مقررات، آموزش و اطلاع‌رسانی و... می‌توانند توسعه پایدار این فناوری را تضمین کنند. در کنار تلاش جامعه تحقیقاتی برای روشن شدن اثرات فناوری نانو بر سلامت و محیط‌زیست، یک رویکرد مهم برای غلبه بر این چالش آن است که رسانه‌ها و نشریات خطرات احتمالی را به طور هم‌زمان و در کنار مزایای سرشار فناوری نانو به طور شفاف برای عموم مردم بیان نمایند و آن‌ها را از تلاش‌ها و اقدامات نهادها و مراکز مختلف پژوهشی و نظارتی برای تضمین ایمنی محصولات نانویی آگاه نمایند تا در سطوح مختلف جامعه واقع بینی درباره این فناوری حاکم گردد و از شتاب‌زدگی در مواجهه با آن پیشگیری شود.

در زمینه ایمنی نانو فعال نموده است.^۱ یکی از مهم‌ترین این اقدامات، تشکیل و حمایت از کمیته فناوری نانو سازمان غذا و دارو در وزارت بهداشت است. وظیفه این کمیته بررسی ایمنی و ارائه مجوزهای مربوطه برای محصولات مبتنی بر فناوری نانو که با سلامت جامعه ارتباط مستقیمی دارند (شامل لوازم و تجهیزات پزشکی، دارو، مواد غذایی و آرایشی بهداشتی)، است. این کمیته تاکنون محصولات متعددی را در کشور مورد بررسی و ارزیابی قرار داده و به محصولات زیادی مجوز داده است.^۲ اهم اقدامات کمیته استانداردسازی فناوری نانو به طور خلاصه عبارت است از:

- تدوین استانداردهای ملی و بین‌المللی در حوزه ایمنی نانو و برگزاری دوره‌های آموزشی برای این استانداردها؛
- برگزاری همایش‌ها و کارگاه‌های ملی و بین‌المللی در حوزه ایمنی نانو؛
- حضور فعال در رویدادها و کمیته‌های بین‌المللی مرتبط با ایمنی نانو به ویژه در سازمان‌های ISO و WHO؛
- تأسیس و حمایت از شبکه‌ای به نام «شبکه ایمنی نانو ایران» متشکل از متخصصان و آزمایشگاه‌های فعال در حوزه ایمنی نانو، در قالب چهار کارگروه تخصصی شامل: سلامت انسان، سلامت محیط‌زیست، ایمنی شغلی، اخلاق نانو؟
- ایجاد و حمایت از کمیته‌های استاندارد در وزارتخانه‌های بهداشت و جهاد کشاورزی برای نظارت و بررسی ایمنی محصولات و اعطای مجوزهای لازم؛
- کمک به تشکیل و فعالیت نظام‌شناسایی، تشخیص و ارزیابی محصولات مبتنی بر فناوری نانو با تمرکز بر نظارت بر ایمنی آن‌ها

پی‌نوشت‌ها:

۱. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشانی www.nanostandard.ir مراجعه کنید.
۲. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشانی www.nanohealth.ir مراجعه کنید.
۳. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشانی www.nanosafety.ir مراجعه کنید.

منابع:

1. Mihail C. Roco, Chad A. Mirkin and Mark C. Hersam; "Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020"; published by: Springer; 2011
2. "National Nanotechnology Initiative Strategic Plan"; Published by: National Science and Technology Council Committee on Technology (CoT) , Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) ; Feb 2014
3. "Current Developments on the Safety of Manufactured Nanomaterials - Tour de Table at the 10th Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials"; Published by: OECD Environment, Health and Safety Publications, Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials, No. 37; Feb 2013
۴. «گزارش عملکرد اجرایی سند راهبرد آینده در سال ۱۳۹۱»؛ ناشر: ستاد ویژه توسعه فناوری نانو