

فصلنامه اخلاق در علوم و فناوری، سال چهارم، شماره های ۳ و ۴، ۱۳۸۸

ارائه چارچوبی برای سیاست‌گذاری اخلاق گرایانه در نانوفناوری

دکتر حبیب زارع احمدآبادی، محسن طاهری دمنه*

دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد

چکیده

زمینه: اخلاق نظری هر چند افق‌های روشنی را فراروی محققان در حوزه‌های علمی گوناگون قرار می‌دهد، اما یک الگوی قابل مراجعه برای سنجش میزان حصول اخلاقیات ارائه نمی‌دهد. الگوی معرفی شده در پژوهش حاضر، فعالیت در حوزه پژوهش و کاربرد نانوفناوری را مورد بررسی قرار داده و از نظر رعایت شئون اخلاقی با داشتن ابزاری برای ارزیابی، بازخورد و بازبینی مانند یک سامانه ممیزی عمل می‌کند.

روش: در مطالعه حاضر به منظور اعتبار یابی الگوی ارائه شده، علاوه بر مرور مطالعات موردی، پیمایشی نیز بر نظرات خبرگان عرصه نانوفناوری در مورد توانایی علمی و اجرایی چارچوب مورد بحث در هر یک از مراحل فرایندی آن صورت گرفت. جامعه آماری تحقیق، اعضای هیأت علمی عضو ستاد نانو کشور می‌باشند. این جامعه ۱۹۵۷ محقق دارد. براساس شیوه نمونه‌گیری طبقه‌بندی شده، تعداد ۱۷۴ نمونه انتخاب و از طریق پست الکترونیک، پرسشنامه طراحی شده در اختیار آنها قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاصل از پیمایش نشان داد که الگوی ارائه شده اعتبار بالایی برای ارزیابی خطر در حوزه نانوفناوری دارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به تحقیق میدانی انجام گرفته در روند این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که الگوی معرفی شده الگویی بسیار کارآمد است که می‌تواند به دست‌اندرکاران و مسؤولان امر در زمینه معیارین سازی نانو کمک فراوانی بکند. پویایی، جامع بودن، استفاده از متخصصین رشته‌های علمی مختلف برای بکارگیری آن، انعطاف پذیری و کاربردی بودن، ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که استفاده از الگوی مذکور را مورد توجه متخصصین قرار داده است.

کلید واژه‌ها: اخلاق گرایی، نانوفناوری، ارزیابی خطر، چرخه زندگی.

سرآغاز

همچون داور، منسوجات، مواد صنعتی و دیگر کاربردها، بعضاً ناخوشایند بوده است (۲). بسیاری از ریزمواد، قابل حل در آب نیستند و در نتیجه قابلیت تجمع این مواد در مواد بیوفناوری و سامانه‌های زنده، افزایش می‌یابد.

به عنوان مثال ریز ذرات نامحلول این قابلیت را دارند که سال‌ها در سامانه تنفسی باقی بمانند. ریزمواد در مقایسه با مواد اولیه خود بهتر می‌توانند در موجودات زنده حرکت کرده و جابه‌جا شوند. با در

دست‌کاری ماده در محدوده نانومتر یا همان فناوری نانو، نوید بخش نوزایی دیگر در علوم و فناوری است. از طریق این حوزه جدید، امکان دستکاری و دخالت عمدی در ساختار اتمی ماده فیزیکی، جابه‌جا سازی تک اتم‌ها و تک ملکول‌ها، خود سازمان دهی و خود همانندسازی ماده فیزیکی و ایجاد قطعات و ادوات نوین در مقیاس‌های فوق ریز، مهیا شده است (۱). اما تجربیات به کارگیری نانو ذرات و استفاده از ریز مواد در ساخت مواد مختلفی

دکتر حبیب زارع احمدآبادی: ارائه چارچوبی برای سیاست‌گذاری اخلاق گرایانه در نانوفناوری

سیووالا^۱ و همکارانش انجام دادند. نویسندگان این مقاله با نگاهی هشدار دهنده تاکید دارند که تحقیقات در زمینه نانو به ملاحظات اخلاقی نیاز دارد تا از مسیر خود خارج نشود (۴). در مطالعه‌ای دیگر، محققان ضمن تاکید بر رشد بسیار سریع نانو فناوری و اشاره به سرمایه‌گذاری‌های همه جانبه برخی از کشورهای پیشرفته در این زمینه، بیان می‌دارند که تنها ۱۷ درصد از جامعه مورد مطالعه آنها در مورد نانوفناوری و ملاحظات اخلاقی و اجتماعی مربوط به آن آگاهی داشته‌اند (۵). تحقیقی دیگر به بررسی آموزه‌های به دست آمده از برنامه‌های ELSI^۲ می‌پردازد. این پژوهش به لزوم تاسیس نهادهایی اشاره دارد که به تحقیق در مسائل اخلاقی و اجتماعی در زمینه نانوفناوری پرداخته و اذعان می‌دارد که نتایج حاصل از این تحقیقات باید کاربردی شوند (۶). همچنین می‌توان ادعا کرد که از میان مطالعات صورت گرفته در این زمینه، بسیاری از آنها به همین صورت فقط در مورد لزوم رعایت مسائل اخلاقی در نانوفناوری به رشته تحریر در آمده‌اند (۷-۹) به گونه‌ای که از آنها به عنوان فانوس دریایی یاد شده است، یعنی تنها جنبه هشدار دهنده‌گی دارند (۱۰). در ایران نیز از جمله مطالعات انجام گرفته در این زمینه می‌توان به پژوهشی اشاره کرد که به بررسی ملاحظات اخلاقی در به‌کارگیری فناوری نانو پرداخته است. این پژوهش اشاره می‌کند، از آنجا که فناوری نانو یک علم نوظهور است و هنوز بسیاری از اثرات زیست محیطی و انسانی آن کشف نشده است، لذا حفظ موازین اخلاقی در آن بسیار ضروری است (۱۱). تحقیقی دیگر نیز ضمن اشاره به فعالیت‌های علمی صورت گرفته بر روی مسائل اخلاقی و ایمنی نانوفناوری در جهان و تاکید بر سطح پایین پژوهش‌های انجام گرفته در ایران بر روی این مسأله، این نوع مطالعات و توجه

نظر گرفتن توانایی برخی از نانوپارتیکل‌ها برای انتقال داروها در بدن انسان، می‌توان انتظار داشت که نانوذرات با مواد شیمیایی و آلاینده‌ها نیز همراه شده و موجب انتقال این مواد سمی به نقاط مختلف بدن شوند. همچنین تحقیقات متعددی در حوزه پزشکی نتایج مشابهی را درباره اثرات سوء استفاده از نانوداروها منتشر کرده‌اند. علاوه بر این، درک این نکته که آگاهی فعلی از خواص و اثرات نانوذرات در ارتباط با ارزیابی خطرات احتمالی این مواد، بیشتر محدود به آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و یا کارگران کارخانجات سازنده است، لزوم توجه به ارزیابی و مدیریت خطر در حوزه نانو را دو چندان می‌کند. مدیریت چرخه زندگی نانوذرات از تولید نانوماده از مواد خام اولیه تا مدیریت زباله‌های ساخته شده با استفاده از نانوفناوری، نیازمند یک رویکرد منظم و داشتن یک الگوی مبسوط برای مهار چرخه مذکور و مدیریت خطر در آن است. این مسأله از آنجا حائز اهمیت است که می‌تواند در قالب یک چارچوب قابل ارزیابی، جنبه‌های اخلاقی و غیر اخلاقی یک رویداد و یا نتایج یک فعالیت را بررسی کند. در حقیقت این چارچوب، صورتی عملی به رعایت اخلاقیات می‌دهد که حدود و حصور مشخص دارد. پژوهش حاضر بر آن است تا به معرفی و تایید الگویی بدین منظور بپردازد.

تفحص در پیشینه پژوهش، ما را به این مسأله رهنمون می‌سازد که فناوری نانو یک حوزه مطالعاتی جدید بوده و در این میان مطالعات اخلاقی در این حوزه نیز عرصه‌ای جدید برای پژوهش است. در حالی که مطالعات صورت گرفته در زمینه نانو، رشدی سریع را نشان می‌دهد، مطالعات در حوزه اخلاقیات و تاثیرات اجتماعی فناوری نانو رشد ناچیزی داشته‌اند (۳). یکی از اولین تحقیقات صورت گرفته در زمینه اخلاقیات در نانوفناوری را مینی

فصلنامه اخلاق در علوم و فناوری، سال چهارم، شماره های ۳ و ۴، ۱۳۸۸

به رغم این اختلاف نظر، اکثر قریب به اتفاق پژوهشگران بر این نظرند که علوم و فناوری نانو دو رهیافت دخالت عمدی در بافت و نظم ساختار ماده در اساسی‌ترین اجزای آن را ارائه داده و امکان طراحی و تولید اتم به اتم ساختارهای نوینی را در مقیاس نانومتری فراهم می‌آورد. خصلت برجسته نانو آن است که علوم سنتی، یعنی فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، علم مواد، مهندسی و پزشکی، که در مقیاس‌های ماکرو و میکرو حوزه‌های فعالیت کاملاً مجزا و مستقلی را تشکیل می‌دهند، در این مقیاس به سمت اصول، مقولات و ابزارهای واحدی همگرا می‌شوند. سنگ بنای علوم و فناوری نانومتری را نانو ساختارها تشکیل می‌دهند که از نظر اندازه در بین ساختارهای ملکولی و ساختارهای میکرونی قرار داشته و از تعداد قابل‌شماری از اتم‌ها تشکیل می‌شوند و نسبت سطح به حجم آنها زیاد است و برای شناخت ساختمان، عملکرد و خواص آنها به مفاهیم فیزیک کوانتومی نیازمندیم. نانو ساختارها حالت جدیدی از ماده فیزیکی هستند و می‌توان انتظار داشت که مواد در مقیاس نانو، مواد با ریزدانه‌های نانو ساختاری، از کیفیت نوینی در مقایسه با مواد معمولی برخوردار باشند. این امر افق‌های جدیدی را برای فناوری مهیا می‌سازد (۱).

با گسترش روزافزون نانوفناوری یا فناوری نانو، استفاده از نانوذرات و ریزمواد نیز در فناوری‌های نوین افزایش یافته است. گزارش‌ها و مقالات متعدد نشان می‌دهند که فناوری نانو، در همه عرصه‌های جامعه بسیار امیدوارکننده است و به عنوان یک زمینه فرارشته‌ای و فرابخشی، در زمینه‌های مختلف صنعت، الکترونیک، زیست‌فناوری و پزشکی کاربرد روزافزونی پیدا کرده است (۱۴). به علاوه این فناوری برای تولید محصولات خاصی استفاده می‌شود. مواد در

سیاست‌گذاران به این مقوله در کشور را به عنوان یک ضرورت معرفی می‌کنند (۱۲).

همانگونه که بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد کارچندانی بر روی ارائه الگویی عملی در راستای حصول موازین اخلاقی در نانوفناوری صورت نگرفته است. در این راستا هدف پژوهش حاضر ارائه الگویی عملی در این زمینه است. این الگوی با بررسی همه‌جانبه به کارگیری نانوفناوری و دارا بودن یک دید کلی نگر در مذاقه چرخه زندگی نانومواد، یک چارچوب مبسوط برای مدیریت خطر ارائه خواهد کرد. این چارچوب با شناسایی مخاطرات و خطرهای بالقوه‌ای که در طول چرخه زندگی نانو مواد ممکن است بروز کنند، راهنمایی برای مهار و مدیریت آنها به دست خواهد داد.

نانو و اثرات خوب و بد آن

علوم و فناوری مقیاس نانو (میلیارد متر) ادامه منطقی علوم و فناوری‌های مقیاس‌های ماکرو (یک هزارم متر به بالا) و میکرو (یک هزارم متر تا یک میلیونیم متر) است. نانوفناوری، مقوله‌ای گسترده است که هنوز درک مشترکی از آن ارائه نشده است. برخی از پژوهشگران آن را یک فناوری انتظاری در نظر گرفته‌اند که امکان مهار کامل ساختار ماده فیزیکی را در اساسی‌ترین سطوح آن، یعنی سطوح اتمی و ملکولی، فراهم می‌آورد (۱۳). در اینجا مهار به معنای مهندسی در مقیاس ملکولی است که از طریق آن مواد و قطعات با جایگذاری دقیق تک‌اتم‌ها و تک‌ملکول‌ها (مطابق با یک طرح قبلی) از پایین به بالا تولید می‌شوند. سایر پژوهشگران، بویژه پژوهشگران ژاپنی، در تعریف خود از نانوفناوری روند کوچک‌سازی یعنی روند از بالا به پایین (از مقیاس میکرونی به مقیاس نانومتری) را مد نظر دارند.

بوده‌اند (۱۹). مشکلات عمده فناوری نانو امروزه در حوزه‌های ایمنی، سلامت انسان، محیط زیست و مسائل اخلاقی بررسی می‌شود. برای مثال، تحقیقات اولیه سم‌شناسی نشان داده است که سمیت نانو ذرات به طور بارزی با خصوصیات نوظهور فیزیکوشیمیایی این مواد مرتبط است. این خصوصیات که در مقیاس نانو مطرح است، موجب بروز رفتارهایی جدید شده و سبب می‌شود که نه تنها شیمی و فیزیک این ذرات تغییر کند، بلکه باعث می‌گردد این ذرات در سامانه‌های بیولوژیکی نیز بطور متفاوتی عمل نمایند. شکسته شدن ماده جامد و تبدیل شدن آن به ذرات ریز، موجب کوچک شدن ذرات و افزودن شدن سطح کلی آن شده و می‌تواند خصوصیات ماده را تغییر دهد. موادی که حتی به آن‌ها مواد بی اثر اطلاق می‌شود، در مقیاس نانو به ذرات ریزتری تبدیل شده و به همین دلیل، فعال می‌شوند. در مقیاس نانو خصوصیات مواد به‌طور بارزی تغییر می‌کند. مقایسه ذرات معمولی یک ماده شیمیایی با ذرات همان ماده در مقیاس نانو نشان داده است که در مقیاس نانومتر بسیاری از خصوصیات ماده مانند خواص مکانیکی، نوری، مغناطیسی و الکتریکی و فعالیت شیمیایی تغییر نموده و در نتیجه موجب بروز اثرات شگفت‌آور و پیش‌بینی نشده می‌شود. به دلیل اندازه کوچک، نانوذرات سطح بسیار وسیعی دارند که آمادگی برای جذب سطحی یا واکنش را داشته و باعث افزایش فعالیت شیمیایی ماده می‌گردد. بنابراین یک ماده در مقیاس نانو بسیار فعالتر از ذرات معمولی همان ماده خواهد بود (۱۷).

مدیریت خطر

خطر در زبان عرف عبارت است از تهدیدی که به علت اطمینان نداشتن به وقوع حادثه‌ای در آینده پیش می‌آید و هر چقدر نبود

مقیاس نانو، خواص فیزیکی و شیمیایی واحدی را به نمایش می‌گذارند و باعث ظهور خواص بهتر مغناطیسی و نوری و تشدید فعالیت الکتریکی در مواد مهندسی شده، می‌شوند (۱۵). با توجه به کاربرد فراوان فناوری نانو، انتظار می‌رود که روند اختراعات و نوآوری‌ها با استفاده از این فناوری افزایش یابد. از این فناوری در ساخت افزارها و سامانه‌های میکروساختار، نانو لوله‌های کربنی، مواد آرایشی حاوی ذراتی با فعالیت الکتروشیمیایی و زیستی، نانوکپسول‌های زیست تخریب‌پذیر، نانوذرات نوری برای تشخیص درمان بیماری‌ها، داروهای ضد سرطان، تجهیزات اندازه‌گیری و نیز تولید انرژی، استفاده شده است (۱۶). اما علی‌رغم این گسترش، تاکنون تحقیقات بسیار اندکی در زمینه شناسایی اثرات سوء این مواد بر سلامتی انسان و محیط زیست صورت گرفته است (۱۷).

در این میان از زمان ظهور نانوفناوری در سال ۱۹۵۹ یعنی زمانی که فیزیکدان معروف و دارنده‌ی جایزه نوبل ریچارد فینمن^۳ سخنرانی خود را درباره‌ی آینده علم ارائه داد و فرض کرد که اتم‌ها و ملکول‌ها را همانند آجرهای ساختمانی می‌توان دستکاری کرد (۱۸)، مسائل ایمنی، اخلاقی و زیست محیطی نیز زمینه‌ساز بحث‌های زیادی بوده‌اند. مسائل مربوط به ایمنی نانوفناوری در سال‌های آغازین بحث‌ها یعنی دهه ۸۰ میلادی جزء مسائل اخلاقی مطرح شد. چرا که خطرات مرتبط با ایمنی نانوفناوری و محصولات آن، بیش‌تر به صورت مسائل و اتفاقات آخر زمانی نظیر سناریوی لجن خاکستری^۴ و ملاحظات اخلاقی نیز با فرضیه‌هایی شبیه به داستان‌های علمی-تخیلی مثل فرضیه‌ی ماشین‌های خلقت^۵ مطرح می‌شد (۱۲). هر چند این نظریه‌ها امروز چندان جدی گرفته نمی‌شوند، ولی اولین جرقه‌ها در زمینه مشکلات بالقوه‌ی نانوفناوری

اطمینان بیشتر باشد اصطلاحاً گفته می شود خطر، زیادتر است. مدیریت خطر نقش مهمی در عملکرد بهتر شرکتها در ملل توسعه یافته ایفا می کند. یک چارچوب مناسب برای ارزیابی خطر، چارچوبی است که از نظر قانونی، سیاسی، مالی، زیست محیطی و اجتماعی پایدار باشد. این چارچوب فعالیت سازمانی دولت، کسب و کارها، موسسات آموزشی و جامعه مدنی بزرگتر را پوشش می دهد. این امر مسائل اخلاقی را نیز پوشش می دهد، چرا که رعایت اخلاقیات در یک گستره وسیع، مسائل انسانی، زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی را مورد توجه خود قرار می دهد. خطر دو جز دارد:

- احتمال پیامدهای بالقوه؛

- شدت پیامدها؛

در ارزیابی خطر هر دو جزء ذکر شده مورد توجه قرار می گیرند. هر پیامد که به عنوان یک مخاطره و یا خطر بالقوه، شناسایی می شود، چقدر احتمال وقوع دارد و در صورت وقوع، شدت آن تحت شرایط مختلف کدام است؟ در مدیریت خطر از برآورد این دو جزء نتیجه گیری شده و راهکارهای مناسب در برخورد با مسائل قابل وقوع ارزیابی می شوند.

در ارتباط با تفاوت مخاطره و خطر نیز باید خاطر نشان کرد که؛ ویژگی ذاتی عامل خطر یا فرایندهای مرتبط با آن را مخاطره گویند، در حالی که خطر، اثر بالقوه مخاطره است که ممکن است ناشی از عوامل خاصی مانند عوامل محیطی، سلامتی انسانها و ... باشد. هدف راهبردی مدیریت خطر سازماندهی مخاطرات مربوط به جامعه از طریق تدوین مقیاسهایی برای اجتناب، جلوگیری، کاهش و انتقال خطر است (۲۰).

چرخه زندگی نانومواد

چرخه یا چرخه زندگی نانومواد در برگزیده فرایندی از استخراج و تولید این مواد تا مدیریت زباله‌های ناشی از آنها را در بر می گیرد. ترسیم، مطالعه و به کارگیری این چرخه به ما کمک می کند تا به گونه‌ای صحیح به شناخت نانومواد و موارد کاربرد آنها پرداخته و به طور سیستماتیک به ارزیابی خطر آنها بپردازیم. علاوه بر این چرخه زندگی نانومواد کمک می کند تا فرایندهای مختلف را در ارتباط با یکدیگر در نظر بگیریم و عوامل موثر بر هر مرحله را بشناسیم. شکل شماره ۱ یک چرخه زندگی نوعی را نمایش می دهد.

همانطور که در شکل شماره ۱ نشان داده شده است، چرخه زندگی می تواند دارای مسیرهای بازگشتی نیز باشد. برای مثال شاید بتوان مواد مصرفی را دوباره وارد چرخه تولید کرد و از آنها دوباره استفاده کرد. مسأله دیگر ذکر این نکته است که برای یک نانوماده خاص ممکن است بیش از یک چرخه زندگی وجود داشته باشد. برای مثال ممکن است بیش از یک نوع ماده خام برای تولید نانوماده وجود داشته باشد و یا بتوان محصولات متعددی از آن تولید کرد. به هر حال نکته قابل توجه تاثیر مثبت استفاده از این چرخه در مدیریت خطر است. در هر مرحله ممکن است خطرها و مخاطراتی قابل شناسایی باشند و یا حتی در حلقه‌های بازگشت نیز باید خطر-ها شناسایی شوند.

چارچوب ارزیابی خطر در نانوفناوری

تشریح ماده و کاربردهای آن: همانطور که در شکل شماره ۲ نشان داده شده است؛ ارزیابی خطر نانومواد با شناسایی ماده و کاربردهای آن شروع می شود. این مرحله شامل ایجاد یک پایگاه داده از توضیحات اولیه و عمومی درباره نانوماده و کاربردهای آن است. به عنوان نمونه در این مرحله باید به سوالات زیر جواب داد.

ماده در چه مرحله‌ای از توسعه قرار دارد (مقیاس آزمایشگاهی، تولید اولیه، تولید آزمایشی و یا تولید تجاری) / ساختار فیزیکی و ترکیبات شیمیایی ماده/ میزان انحلال پذیری در آب/ مواد مشابه و خواص آنها/ منابع اولیه نانوماده و نحوه تهیه آن/ کاربردهای شناخته شده از ماده مورد مطالعه/ تولید ماده در مقیاس نانو به چه دلیل است و آیا ماده در مقیاس‌های دیگری نیز تولید می‌شود؟. گاهی در این مرحله برای تشریح نانوماده و کاربردهای آن می‌توانیم از مواد مشابه با آن نیز استفاده کنیم. این مرحله نقطه شروع ارزیابی خطر است. در اینجا، نانوماده به طور کامل مورد شناسایی قرار می‌گیرد. تشریح خصوصیات ماده و ایجاد یک بانک اطلاعاتی یا شناسنامه از ماده، باعث می‌شود تا در مراحل بعدی چرخه زندگی نانوماده هر یک از این خواص و تغییرات احتمالی در آنها مورد بررسی دقیق قرار گیرند. در واقع می‌توان مسأله را این طور بیان کرد که یک خصوصیت خاص از یک نانوماده می‌تواند در طی چرخه زندگی آن و با توجه به تغییرات یا ترکیبات آن منشاء یک خطر شود. علاوه بر آنکه مخاطرات که برخاسته از ذات ماده هستند نیز در این مرحله باید مورد شناسایی قرار گیرند.

خصوصیات چرخه زندگی: در شناسایی خصوصیات چرخه زندگی، به تشریح جزئیات چرخه زندگی ماده پرداخته و با استفاده از اطلاعات عمومی که در مرحله قبل به دست می‌آید، علاوه بر مشخص کردن خصوصیات ماده در هر مرحله از چرخه زندگی، به شناسایی مخاطرات و خطرهای هر مرحله پرداخته خواهد شد. خصوصیتی از قبیل ترکیب شیمیایی، حالت ماده در شرایط طبیعی، تخلخل، اندازه ذرات تشکیل دهنده، خصوصیات سطح ماده، انحلال پذیری، ساختار ملکولی، تراکم، واکنش پذیری و ... در هر

مرحله از چرخه زندگی ماده باید به طور کامل مشخص شده و مخاطرات در هر مرحله از چرخه زندگی شناسایی شوند. مخاطره در هر مرحله از چرخه زندگی، در بر گیرنده ویژگی ذاتی عامل خطر یا فرایندهای مرتبط با آن است. ویژگی‌هایی چون سم شناسی ماده در هر مرحله، که شامل آزمایش سمیت ماده در ارتباط با مصرف خوراکی/ استنشاق/ مخاطرات پوستی/ مخاطرات مربوط به حساسیت‌های پوستی/ توانایی نفوذ در پوست و آزمایش‌های سم شناسی ژنتیکی است. شناسایی مخاطرات زیست محیطی همچون تشریح مخاطرات مسمومیت آب‌ها و آبزیان (گیاهان و جانوران آبزی)/ آلودگی منابع زمینی مانند خاک/ جانوران و گیاهان/ مناطق شهری و ... نیز از فعالیت‌هایی است که باید در این مرحله و برای تمامی چرخه زندگی نانوماده صورت گیرد. همچنین مخاطرات مربوط به ایمنی مانند اشتعال پذیری ماده/ قابلیت انفجار ماده/ واکنش پذیری و نحوه فساد و تجزیه ماده نیز باید مشخص شوند.

آخرین کاری که در مرحله تعیین خصوصیات چرخه زندگی صورت می‌گیرد، شناسایی خطرهای مربوط به نانوماده است. مخاطرات بالقوه‌ای که انسان و محیط زیست را تهدید می‌کند، باید در این مرحله شناسایی شوند. این خطرات ممکن است به صورت مستقیم از طریق استنشاق و غیره وارد بدن انسان شوند و یا ممکن است این فرایند با واسطه باشد. مانند وقتی که این مواد می‌توانند خاک، آب و یا مواد خوراکی مانند ماهی‌ها را آلوده کرده و از آن طریق موجبات آسیب به انسان و محیط زیست را فراهم آورند. شناخت خصوصیات محیطی و رفتار نانوماده در هر مرحله از چرخه زندگی به دلیل آنکه نقش کلیدی در فهم خطرات بالقوه نانومواد دارد، باید مورد توجه قرار گیرد. پاسخ‌گویی به سوالاتی مانند نحوه رها شدن

سلسله آزمایش در مقیاس‌های کوچک و همچنین مصاحبه‌های ساختار یافته و یا باز با صاحب‌نظران، روش‌های موثقی برای گردآوری اطلاعات هستند.

ارزیابی خطر: این مرحله با توجه به اطلاعات به دست آمده از مراحل قبل به ارزیابی خطر ناشی از نانوماده می‌پردازد. این مرحله شامل گام‌های زیر است:

- هر کدام از مراحل چرخه زندگی و مخاطرات شناسایی شده در مرحله قبل، مرور می‌شود. می‌توان برای سهولت و انجام دقیق‌تر این مرحله، کاربرگ‌هایی را تهیه کرده که در آنها برای هر مرحله از چرخه زندگی، خصوصیات نانو و مخاطرات آن آورده شده باشد.

- ارزیابی کمی نوع و سرشت، اندازه و احتمال هر کدام از خطرهای شناسایی شده. در این مرحله اگر اطلاعات کمی کافی برای ارزیابی خطر، موجود نبود، می‌توان از ارزیابی‌های کیفی بر اساس داده‌های موجود نیز استفاده کرد.

- ارزیابی عدم اطمینان در تخمین خطر: در این مرحله باید با استفاده از عوامل معیارین موجود، میزان عدم اطمینان در ارزیابی خطر را مشخص نمود. این کار حتی اگر اطلاعات کمی کافی برای ارزیابی خطر موجود نباشند، باز ضروری است. رعایت این مسأله این اطمینان را حاصل می‌کند که تصمیمات اتخاذ شده حافظ سلامت عمومی و محیط زیست هستند. عموماً بایستی در این مرحله تا آنجایی دامنه اطمینان را بالا ببریم که یقین حاصل شود که به انسان، جامعه و محیط زیست، آسیبی وارد نخواهد شد.

- ارزیابی نتایج بالقوه ناشی از تغییر ماده و یا تغییر کاربری آن: در این مرحله مخاطرات ناشی از تغییر ماده مانند تغییر در مواد اولیه‌ای که نانوماده از آنها استخراج می‌شود و یا مخاطرات بالقوه ناشی از

نانوماده در محیط/ نحوه پخش آن در محیط و اینکه آیا ماده در محیط زیست تغییر شکل می‌دهد یا نه، ضروری است. در این مرحله انجام فعالیت‌های زیر برای هر کدام از مراحل چرخه زندگی انجام می‌گیرد.

- ارزیابی مخاطرات ناشی از رها سازی نانومواد. در اینجا باید به سولاتی از قبیل نحوه مهار مواد/ تجهیزات مربوط به حفاظت از عوامل انسانی/ روش‌های دفع مواد/ مدیریت زباله و... جواب داد.
- تعیین موردی که درباره نانوماده اطلاعاتی نداریم و یا اطلاعات ناقص است. در این قسمت ممکن است سولاتی مانند موارد زیر مورد پرسش قرار گیرد.

نانوماده به صورت غیر مستقیم یا مستقیم در مواد غذایی مصرف می‌شوند؟

آیا نانوماده در هوای محل کار یا زندگی پخش می‌شود یا نه؟

آیا نانوماده در آب مصرفی وارد می‌شود؟

آیا قشر خاصی همچون بچه‌ها و یا سالخوردگان در برابر این ماده حساسیت خاصی دارند؟

- اولویت بندی اطلاعات مورد نیاز. در این قسمت، اطلاعات مورد نیاز خود را بر اساس درجه اهمیت آنها در تصمیم‌گیری‌های بعدی اولویت بندی کرده، نحوه جمع‌آوری آنها را نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

این مرحله در واقع قلب سامانه ارزیابی است چرا که اطلاعات دقیق جمع‌آوری شده در این قسمت، مبنای تصمیم‌گیری‌های بعدی خواهد شد. نکته قابل ذکر در این قسمت نحوه جمع‌آوری اطلاعات است. بدون شک علاوه بر مطالعه منابع علمی منتشر شده در مورد نانوماده و خواص آن در هر مرحله از چرخه زندگی اش، انجام یک

دکتر حبیب زارع احمدآبادی: ارائه چارچوبی برای سیاست‌گذاری اخلاق‌گرایانه در نانوفناوری

- مشخص کردن سطح اطمینان و حفاظت مورد نیاز.

تصمیم‌گیری‌ها باید بر اساس معیارهای از پیش تعیین شده برای حفاظت و ایمنی و اثربخشی شیوه‌بازبینی انتخاب شده در به حداقل رساندن مخاطرات و خطرها باشد. در این قسمت از اطلاعات گردآوری شده در قسمت‌های قبل، استفاده خواهد شد. برای مثال اگر میزان نانوذرات در هوای محیط کار باید تا سطح معینی مهار شود، این سطح بستگی به میزان خطر ناشی از مقدار خاصی از آن نانوماده است.

- ارزیابی روش‌های مدیریت خطر موجود و انتخاب بهترین آنها.

این مرحله از آنجا لازم است که الگوی ارائه شده در این تحقیق یک الگوی جامع است و بنابراین نمی‌تواند تنها یک روش مدیریت خطر را برای تمامی کاربردها معرفی کند. لذا در هر مطالعه و با توجه به شرایط موجود باید یکی از روش‌های مدیریت خطر انتخاب شود. هر کدام از این روش‌ها بر پیش‌فرض‌هایی استوارند که مشخص می‌کند در چه شرایطی قابل استفاده خواهند بود.

- بازبینی الگوی مدیریت خطر موجود و انتخاب بهترین روش مدیریت خطر

- توسعه راه‌کارهای مناسب برای مدیریت خطر، بازبینی و نظارت، تعیین سطح مطلوبیت و گزارش‌دهی

خروجی‌های این قسمت از کار منجر به بهبود تولیدات، مهارهای مدیریتی و یا مهندسی، تهیه برچسب‌ها و وسایل هشدار دهنده و یا تصمیم برای تغییر و یا محدود کردن تولید می‌شود.

تصمیم‌گیری، مستندسازی و انجام: این مرحله، در حقیقت استفاده از تمام اطلاعات به دست آمده در مراحل قبل توسط مدیران طرح، مدیران کارخانه و مسوولین مربوط است. در این

تغییر کاربری نانوماده مانند استفاده اشتباه بچه‌ها از یک نانودارو شناسایی و ارزیابی می‌شوند.

- تعیین شکاف بین اطلاعات و برنامه ریزی برای کم کردن این شکاف: در این مرحله اطلاعات ناقص و یا اطلاعاتی که باید به آنها دست یافت، شناسایی می‌شوند. هدف از این مرحله، اولویت‌بندی تحقیقات بعدی است، زیرا تصمیم‌گیری بر اساس اطلاعات نادرست و یا ناقص ممکن است صدمات جبران‌ناپذیری را به سلامت انسان‌ها و یا محیط زیست وارد کند.

مدیریت خطر: مدیریت خطر شامل مجموعه فعالیت‌هایی برای کاهش خطر بالقوه‌ایست که انسان‌ها و محیط زیست با آن مواجه هستند. مدیریت خطر باید اطلاعات کافی و مناسب برای مشخص کردن بهترین شیوه‌های تولید، فرایند انجام کار، مصرف و سرانجام بازسازی را فراهم بیاورد. بدین منظور یک گروه منسجم متشکل از گروه‌های کاری بهداشت حرفه‌ای، علوم محیطی، مدیران تجاری و متخصصان سلامت با یکدیگر همکاری می‌کنند. مدیریت خطر موارد زیر را در بر می‌گیرد:

۱- حذف، تغییر و یا کاهش مخاطرات و خطرها در مواد، فرایندها و یا شرایطی که باعث بروز خطر می‌شود.

۲- بازبینی مهندسی در تمامی مراحل

۳- هشدار دهی و تدبیر در این زمینه مانند نصب تابلوهای هشدار دهنده و یا بروشورهای حاوی اطلاعات مربوط

۴- آموزش

۵- نصب و استفاده از ابزار حفاظتی برای انسان‌ها و محیط زیست همچون ماسک و لباس‌های حفاظتی و یا تصفیه خانه‌ها در این مرحله اقدامات زیر باید به ترتیب صورت گیرند.

تردیدی نیست که غالب مردم با مفهوم نانو ناآشنا بوده و بنابراین قابلیت نظردهی پیرامون خطرات و آسیب‌های احتمالی منتج از آن بویژه در قالب معیارهای علمی مرتبط (چارچوب پیشنهادی در این تحقیق دربرگیرنده این گونه معیارهاست) را ندارند (۲۲). در این تحقیق، به منظور بررسی اعتبار الگو، علاوه بر اشاره به مطالعات موردی که حاصل به‌کارگیری چارچوب پیشنهادی مدیریت خطر می‌باشد، پیمایشی نیز بر نظرات خبرگان عرصه نانوفناوری در مورد توانایی علمی و اجرایی چارچوب مورد بحث در هریک از مراحل فرایندی آن صورت گرفت. این شیوه در تحقیقات مشابه دیگری در راستای ارزیابی چارچوب‌های مفهومی پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است (۲۳).

روش

جامعه شرکت‌کنندگان در پیمایش شامل اعضای هیات علمی عضو ستاد نانو کشور می‌باشد. انتخاب این گروه به دلیل آشنایی آنها با دانش نانو و بنابراین خطرات و آسیب‌های مختلفی است که می‌تواند دستاوردهای تلاش‌های آنها در مورد محیط زیست، انسان‌ها و سایر ذی‌نفعان داشته باشد. این جامعه ۱۹۵۷ محقق دارد. براساس شیوه نمونه‌گیری طبقه‌بندی شده (متغیر دسته‌بندی اعضای جامعه، تعداد مقالات و خروجی‌های علمی محققین بود که می‌تواند معرف اهمیت نظرات افراد باشد)، تعداد ۱۷۴ نمونه انتخاب و از طریق پست الکترونیک پرسشنامه طراحی شده در اختیار آنها قرار گرفت. پس از چهار هفته پی‌گیری ۵۲ درصد از پرسشنامه‌ها بازگشت داده شد و با انجام آزمون فیلیبس^۶ معنی‌داری نسبت پاسخ‌دهندگان مورد تایید (سطح معنی‌داری ۰/۷۱ به معنای برابری

مرحله متخصصان در قالب گروه‌های کاری به تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده از مراحل قبل پرداخته و مستندات ناشی از مطالعات خود را در اختیار تصمیم‌گیرندگان می‌گذارند تا برای فعالیت‌های مناسب برنامه‌ریزی شود. فعالیت‌های مربوط به حفظ ایمنی و سلامت نیروی کار و همچنین حفاظت از محیط زیست در ارتباط با نانومواد تعریف شده و بنابر وظایف محوله کسانی که باید پاسخگو باشند، مشخص می‌شوند. این اقدامات و مسؤولیت‌ها از لحاظ تجاری، قانونی و نظر سرمایه داران مورد بحث قرار داده می‌شود تا در این موارد نیز مشکلات برطرف شوند. همچنین اطلاعات اضافی مورد نیاز، نحوه گردآوری آنها و افراد مسؤول در این باره نیز مشخص می‌شوند. یک روند مناسب برای ارزیابی و مدیریت خطر، بازنگری و نظارت، دریافت شکایات و نهایتاً گزارش‌گیری، تعریف و کاربردی می‌شود.

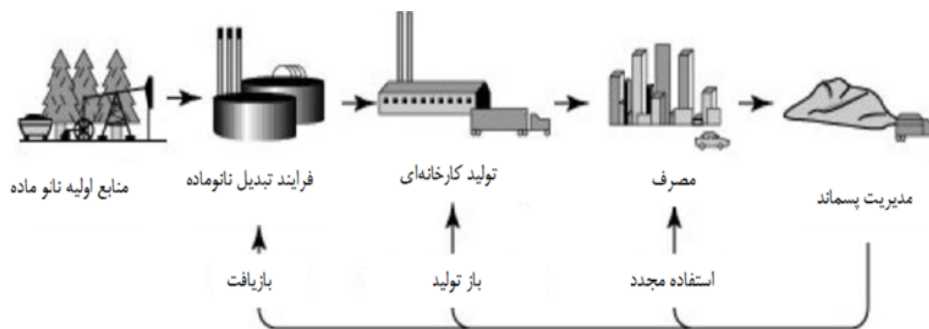
بازبینی و تطبیق: با توجه به این مسأله که همواره احتمال تغییر در ماده و یا مخاطرات ناشی از به‌کارگیری آن وجود دارد و همچنین نظر گرفتن این نکته که در مراحل قبل همواره برای به دست آوردن اطلاعات جدید و رفع نقص از اطلاعات موجود برنامه ریزی می‌شد، وجود چنین مرحله‌ای ضروری به نظر می‌رسد. در این مرحله، اطلاعات جدید و یا تغییرات مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. مدیریت خطر که در مراحل قبل چارچوب آن تعیین شده بود، مطابق با اطلاعات جدید مورد بازنگری و اصلاح قرار می‌گیرد. مستندسازی‌ها و گزارشها مطابق با تغییرات جدید اصلاح می‌شوند و مطابق با همه این تغییرات، تصمیم‌گیری و انجام وظایف و کارهای مربوط نیز مورد بازنگری قرار خواهند گرفت.

اعتبار یابی الگو

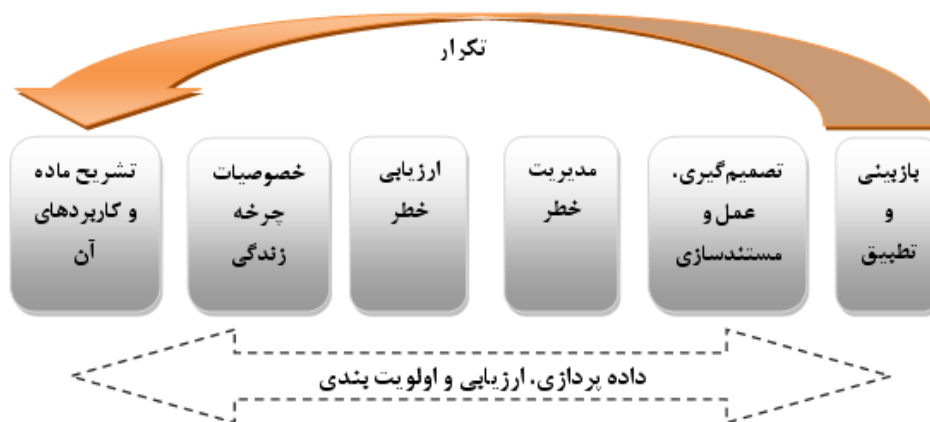
دکتر حبیب زارع احمدآبادی: ارائه چارچوبی برای سیاست‌گذاری اخلاق‌گرایانه در نانو فناوری

گرفته شده بود. بدین ترتیب مشارکت‌کنندگان با شناخت از چارچوب ارزیابی خطر مورد نظر در این تحقیق به سوالات پرسشنامه پاسخ می‌دادند. در بین سوالات پرسشنامه، مؤلفه‌هایی نیز اختصاص به امکان استقرار چارچوب پیشنهادی بر تمامی حوزه‌های نانو فناوری (تعمیم بیرونی)؛ روایی ظاهری^۷، پیش‌بینی تکرارپذیری نتایج استقرار آن، تمایل آنها برای استفاده از این چارچوب و در کل، قابلیت اجرایی و علمی چارچوب پیشنهادی دارد.

نظرات افراد شرکت‌کننده در قالب طیف پنج گزینه‌ای لیکرت پیمایش گردید. نتایج تحلیل داده‌های گردآوری شده در جدول شماره ۱ ارائه شده است.



شکل ۱: نمایش یک چرخه زندگی نوعی از نانومواد (۲۰)



شکل ۲: چارچوب ارزیابی خطر نانومواد (۲۱)

جدول شماره ۱: نتایج حاصل از اعتبارسنجی الگوی ارائه شده در تحقیق

نتایج	سطح معناداری ^۱	تشریح ماده و کاربردهای آن
تائید فرضیه	0.00	۱ قابلیت الگوی در شناخت ماده
تائید فرضیه	0.03	۲ قابلیت الگوی در توصیف فیزیکی و شیمیایی ماده
تائید فرضیه	0.00	۳ قابلیت الگوی در شناسایی کاربردهای ماده
تائید فرضیه	0.00	۴ قابلیت الگوی در شناسایی مرحله چرخه زندگی ماده
خصوصیات چرخه زندگی		
تائید فرضیه	0.03	۱ قابلیت الگوی در تشریح نحوه استخراج یا دستیابی به ماده
تائید فرضیه	0.045	۲ قابلیت الگوی در تشریح نحوه تولید ماده و یا کاربرد کارخانه‌ای ماده
تائید فرضیه	0.04	۳ قابلیت الگوی در شناسایی مخاطرات در طول چرخه زندگی نانوماده
تائید فرضیه	0.02	۴ قابلیت الگوی در شناسایی خطر ها در طول چرخه زندگی نانوماده
ارزیابی خطر		
تائید فرضیه	0.00	۱ قابلیت الگوی در ارزیابی خطر های انسانی
تائید فرضیه	0.00	۲ قابلیت الگوی در ارزیابی خطر های مربوط به محیط زیست و منابع طبیعی
مدیریت خطر		
تائید فرضیه	0.02	۱ قابلیت الگوی در ارائه سطوح لازم برای حفاظت از انسان و محیط زیست
تائید فرضیه	0.00	۲ شایستگی الگوی برای مهار و کاهش خطر های بالقوه
تائید فرضیه	0.01	۳ معرفی بهترین شیوه مدیریت خطر توسط الگوی
تصمیم‌گیری، عمل و مستندسازی		
تائید فرضیه	0.00	۱ قابلیت الگوی در کاربرد تصمیم‌گیری گروهی
تائید فرضیه	0.00	۲ قابلیت الگوی در مستندسازی و تعیین مسیر جمع‌آوری اطلاعات
بازبینی و تطبیق		
تائید فرضیه	0.00	۱ قابلیت الگوی در پذیرش اطلاعات جدید، بازبینی فرایند مدیریت خطر و بروز رسانی خود
سوالات کلی درباره ارزیابی الگوی		
تائید فرضیه	0.00	۱ قابلیت استقرار چارچوب پیشنهادی در حوزه‌های مختلف نانو فناوری
تائید فرضیه	0.04	۲ قابلیت پیش بینی دست یابی به نتایج مشابه در استقرار مکرر چارچوب پیشنهادی
تائید فرضیه	0.03	۳ تمایل محققین حوزه نانو برای استفاده از چارچوب پیشنهادی
تائید فرضیه	0.04	۴ قابلیت سنجش خطر از نظر مفهومی
تائید فرضیه	0.00	۵ پویایی الگوی در برخورد با موضوعات جدید

۱- سطح معناداری کوچکتر از ۰/۰۵ (درصد خطا) موید پذیرش معنی داری مولفه‌های فوق از نظر پاسخ دهندگان می باشد.

یافته‌ها

تلاش پژوهش حاضر معرفی چارچوبی برای ارزیابی و مدیریت خطر در زمینه نانو فناوری است. این چارچوب زیرساختی را برای عمل آگاهانه به اخلاق فراهم خواهد آورد. چارچوب معرفی شده با داشتن یک دید جامع به مسائل ایمنی، سلامت و بهداشت انسانی و حفظ مطلوبیت محیط زیست، در طی یک فرایند ۶ مرحله‌ای و با استفاده از سازوکار بازگشتی، الگویی جامع برای ارزیابی و مدیریت خطر در حوزه نانو فراهم می آورد. در الگوی مذکور ابتدا باید خواص نانوماده و چگونگی تولید آن مورد

زمینه تدوین نشده است. گرچه ممکن است در حال حاضر گروه‌های در معرض خطر، بیشتر کارکنان آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و کارگران کارخانجات سازنده باشند، ولی با گسترش روزافزون نانوفناوری، طبیعتاً روز به روز بر تعداد افراد در معرض خطر افزوده خواهد شد. بنابراین تدوین دستورالعمل‌ها، معیارها و مقررات در این زمینه بسیار ضروری و حیاتی به نظر می‌رسد (۱۷). در ایران نیز با وجود تشکیل ستاد ویژه توسعه فناوری نانو و پیشرفت مطلوب کشور در زمینه نانوفناوری، مجموعه فعالیت‌های انجام شده در کمیته معیارین سازی فناوری نانو برای پوشش دادن به مخاطرات ایمنی و سلامت انسانی و محیط زیستی نانو، کافی به نظر نمی‌رسد (۱۹). در این راستا هدف پژوهش حاضر ارائه چارچوبی جامع برای سیاست‌گذاری جامع در امر نانو فناوری با تاکید بر اخلاق‌گرایی است.

با توجه به تحقیق میدانی انجام گرفته در روند این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که الگوی معرفی شده الگویی بسیار کارآمد برای ارزیابی و مدیریت خطر در نانوفناوی است که می‌تواند به دست‌اندرکاران و مسؤولان امر در زمینه معیارین سازی نانو کمک فراوانی بکند. پویایی، جامع بودن، استفاده از متخصصین رشته‌های علمی مختلف برای به‌کارگیری آن، انعطاف‌پذیری و کاربردی بودن، ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که استفاده از الگوی مذکور را مورد توجه متخصصین قرار داده است. این الگوی فعالیت در حوزه پژوهش و کاربرد نانوفناوری را مورد بررسی قرار داده و از نظر رعایت شئون اخلاقی با داشتن ابزاری برای ارزیابی، بازخورد و مهار مانند یک سامانه ممیزی عمل می‌کند. برای مثال، گروه‌های طرفدار محیط زیست به صورت جدی

مطالعه قرار گیرد. بعد از تهیه یک دفترچه کامل از ماده و کاربردهای آن، در مرحله بعد با توجه به مفهوم چرخه زندگی، مشخصات ماده، مخاطرات ذاتی ماده و مخاطرات بالقوه ماده مورد شناسایی قرار می‌گیرند. سپس با ارزیابی میزان خطر هر کدام از مخاطرات بالقوه شناسایی شده از لحاظ احتمال وقوع، شدت و اندازه خطر و تبعات آن با استفاده از یکی از الگوهای موجود مدیریت خطر، به مدیریت خطر نانوماده مورد مطالعه، خواهیم پرداخت. نتایج خروجی از مرحله مدیریت خطر که به صورت گزارش‌هایی توسط متخصصان امر به تصمیم‌گیرندگان ارائه می‌شود، راهنمای عمل برای مقابله با خطرهای احتمالی ناشی از مصرف نانوماده در طول چرخه زندگی آن خواهد بود. برای غنای هر چه بیشتر تحقیق حاضر، ما با استفاده از نظر سنجی از محققان ستاد نانو و با استفاده از ابزار پرسشنامه به اعتبار یابی الگوی معرفی شده پرداختیم بدین ترتیب، فرضیه قابلیت علمی و اجرایی چارچوب پیشنهادی از منظر محققین عرصه نانو، مورد آزمون قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمون فرضیه در جدول یک، نشان دهنده تأیید الگو از نظر محققان حوزه نانو است. سطح معناداری کوچکتر از ۰/۰۵ (درصد خطا) در هر یک از ابعاد ۲۱ گانه نشان می‌دهد که فرضیه قابلیت علمی و اجرایی چارچوب پیشنهادی از منظر محققین عرصه نانو، تأیید شده است. بدین ترتیب الگوی ارائه شده دارای اعتبار بالایی برای ارزیابی خطر در حوزه نانو فناوری است.

بحث و نتیجه‌گیری

درک فعلی از خواص و اثرات نانوذرات در ارتباط با ارزیابی خطر این مواد بسیار محدود بوده و تاکنون هیچ‌گونه معیاری در این

ریسک انسانی و محیطی را به انجام رسانند. در کنار این نهادهای اجرایی لازم است تا ستاد نانوی کشور نیز به عنوان متولی سیاست‌گذاری در حوزه نانوفناوری، رسالت توسعه تحقیقاتی در زمینه چارچوب مدیریت ریسک را برعهده بگیرد و نظارت جامعی بر روند اجرایی مراحل چارچوب مدیریت ریسک داشته باشد.

واژه نامه

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1. Mnyusiwalla | مینی سیووالا |
| 2. Grey Goo | لجن خاکستری |
| 3. Ethical, Legal and Social Implications (ELSI) program | برنامه های اخلاقی، قانونی و اجتماعی |
| 4. Richard Feynman | ریچارد فیمن |
| 5. Engines of creation | ماشین خلقت |
| 6. Filip's test | آزمون آماری فیلیپس |
| 7. Faced Validity | اعتبار ظاهری |

منابع

۱. رفیعی تبار هاشم. ایجاد و گسترش علوم و فناوری نانو در ایران. فصلنامه پژوهش و برنامه ریزی در آموزش عالی. ۱۳۸۱. شماره ۲۵: ۱۸۷-۲۰۹.
2. Seaton A (2006). Nanotechnology and the occupational physician. *Occupational Medicine* 56: 312- 316.
3. Vuk U (2007). Nanotechnology: what we do not know. *Technology in society* 29: 43-61.
4. Mnyusiwalla A, Daar AS, Singer PA (2003). Mind the gap?: science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology* 14: 9-13.
5. Tanya S, Jorge V, Thomas DP, Karen L (2005). Nanotechnology: Awareness and societal concerns. *Technology in Society* 27: 329-345.

به دنبال حفظ منابع طبیعی زیست کره بوده و این مسأله را یک الزام اخلاقی می دانند که در راستای توسعه پایدار و برای استفاده همه نسل‌ها از منابع طبیعی خدادادی است. در این خصوص الگوی ارائه شده در این پژوهش به آنها این امکان را خواهد داد تا به صورتی ملموس و عملی به بررسی مخاطراتی بپردازند که در طول چرخه زندگی یک نانوماده خاص ممکن است زیست را تهدید کند. این امر برای محققان و علاقه مندان به رعایت اخلاق در نانوفناوری یک ابزار دید و یک وسیله ارزیابی ایجاد می کند تا ایشان فراتر از تشریح نظری لزوم رعایت اخلاق، بتوانند میزان رعایت اخلاق در مراحل کار با نانومواد را زیر نظر بگیرند.

در ادامه باید اذعان داشت که استقرار چارچوب پیشنهادی در فرایند توسعه تحقیقات مرتبط با نانوفناوری مستلزم مشارکت سازمان‌های تصمیم‌گیری متعددی است. متناسب با هر یک از مراحل چارچوب مورد اشاره می‌توان تقسیم‌کار اثربخشی بین سازمان‌های تاثیرگذار بر تحقیقات نانوفناوری طرح‌ریزی نمود. سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی می‌تواند وظیفه نظارت بر بررسی ویژگی‌های مواد و کاربردهای آنها را برعهده گیرد. همچنین لازم است تا وزارت صنایع بویژه سازمان گسترش و نوسازی صنایع در زیرمجموعه آن، در کنار سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی، به ترسیم و پیش‌بینی چرخه حیات ماده در فعالیت‌های تحقیقاتی پرداخته و خصوصیات و کاربردهای مواد در هریک از مراحل چرخه حیات آنها را معین نمایند. در همین مرحله وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سازمان حفاظت محیط زیست می‌توانند وظیفه طراحی شاخص‌های سنجش

- technology). Proceedings of the workshop.
15. Thomas K, Aguar P, Kawsaki H, Morris J, Nakanashi J, Savage N (2006). Research Strategies for Safety Evaluation of Nanomaterials, International Efforts to Develop Risk-Based Safety Evaluations for Nanomaterials. *Toxicological Sciences* 92(1): 23-32.
 16. Kanama D (2007). Patent Application Trends in the field of Nanotechnology. *Science and Technology. Trends-Quarterly Review* 25: 36-46.
 ۱۷. باکند شهپاز، فرشاد علی اصغر. مروری بر فناوری نانو و سم‌شناسی نانوذرات. فصلنامه سلامت کار ایران. ۱۳۸۶. شماره ۲۱: ۱-۳.
 18. Miller J (2003). Beyond biotechnology: FDA regulation of nanomedicine. *Columbia sci technol law rev* 4:E5.
 19. Anonymous. UNESCO (2006). The Ethics and politics of Nanotechnology. Division of ethics of science and technology. Available at: <http://www.unesco.org/shs/ethics>. Accessed: 18 May 2010.
 20. European nanotechnology Gateway. Available at: <http://www.nanoforum.org>. Accessed: 18 May 2010.
 21. A partnership of Environmental Defense Fund and Dupont. Available at: <http://www.NanoRiskFramework.com>. Accessed: 18 May 2010.
 22. Cobb MD, Macoubrie J (2004). Public perceptions about nanotechnology: Risks, benefits and trust. *Journal of Nanoparticle Research* 6: 395-405.
 23. Siegrist M, Stampfli N, Kastenholz H, Keller C (2008). Perceived risks and perceived benefits of different nanotechnology foods and nanotechnology food packaging. *Appetite* 51: 283-290.
 6. Erik F (2005). Lessons learned from the Ethical, Legal and Social Implications program (ELSI): Planning societal implications research for the National Nanotechnology Program. *Technology in Society* 27: 321-328.
 7. Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004). Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. RS Policy document 20/04. RAEng Policy document R2.19. London, United Kingdom.
 8. Thompson PB (2001). Social acceptance of nanotechnology in: M.C. Roco. W.S. Bainbridge (Eds.). *Societal implications of nanoscience and nanotechnology*. US National Science Foundation. Arlington. VA. USA: 198-202.
 9. Weil V (2001). Ethical issues in nanotechnology, in: M.C. Roco. W.S. Bainbridge (Eds.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. US National Science Foundation. Washington DC: 193-198.
 10. Debashish M, Priya TK, Robert VB, Lakhtakia A (2007). A map of the nanoworld: Sizing up the science, politics, and business of the infinitesimal. *Futures* 39: 432-452.
 ۱۱. حیدری علی احسان. ملاحظات اخلاقی در بکارگیری فناوری نانو. فصلنامه‌ی اخلاق در علوم و فناوری. ۱۳۸۶. شماره ۳ و ۴: ۲۳-۳۰.
 ۱۲. بطحایی فتانه سادات، لاریجانی باقر، دیناروند رسول، آرامش کیارش، افتخار اردبیلی حسن. نانوفناوری ایمن و اخلاقی، نیاز امروز محققان نانو در ایران. مجله اخلاق و تاریخ پزشکی. ۱۳۸۸. شماره ۲: ۱۱-۲۱.
 13. Drexler KE (1992). *Nanosystems: Molecular Machinery. Manufacturing and computation*. Wiley, New York.
 14. DeJong W, Gatti AM (2005). Preliminary results on the effects of oral administration of two types of nanoparticles in the rat, (www.codris.lu/nano