فصلنامه‌ی اخلاق در علوم و فنّاوری، سال دوم، شماره ۳ و ۴، ۸۶

ملاحظات اخلاقی در به‌کارگیری فنّاوری نانو

دکتر علی‌احسان حیدری

گروه علوم پزشکی، بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی

چکیده

فنّاوری نانو، علم دستکاری ماده در محدودهٔ ۱۰۰-۱ نانومتر است. این فنّاوری قابلیت‌ها و مزایای زیادی را برای بهتر زیستن و پیشرفت‌های سریع پزشکی و اقتصادی فراهم کرده است. از این فنّاوری برای ساخت نانو لوله‌های کربنی، انتقال دارو، درمان، تشخیص بیماری‌ها و اندازه‌گیری مواد استفاده می‌شود. همراه با فنّاوری نانو، مباحث اخلاقی دربارهٔ میزان خطر آن برای نسل بشر، محیطزیست و نحوهٔ دسترسی به این فنّاوری و توزیع عادلانهٔ آن پدید آمده است. نانو مواد با ویژگی نوظهور خود، می‌توانند انسان و جانوران را به راه‌های غیرقابل پیش‌بینی تحت تأثیر قرار دهند. نگرانی‌ها دربارهٔ ورود نانو مواد از طریق تنفس، پوست و دهان و انتقال آن به اندام‌های مختلف بدن، افزایش یافته است و از آنجا که اطلاعات و پژوهش‌ها در مورد تأثیرات نانو مواد بر روی انسان و محیطزیست، هنوز به اندازه کافی نیست، انجام پیشگیری‌های لازم و حفظ موازین اخلاقی، در استفاده از آنها بسیار ضروری است. در این مقاله ضمن بررسی اجمالی مزایای فنّاوری نانو، نکات اخلاقی و راهکارهای کاهش عوارض و خطرات هنگام استفاده از این فنّاوری، مورد بحث قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: *فنّاوری نانو، علم نانو، ملاحظات اخلاقی*

سرآغاز

با ظهور فنّاوری نانو، همانند سایر علوم در حال رشد، مباحث اخلاقی از قبیل پرسش‌هایی درباره میزان خطر آن برای نسل بشر و محیطزیست و نحوه دستیابی به آن، پدید آمده است. فنّاوری نانو عبارت است از علم دستکاری ماده، در محدودهٔ ۱۰۰-۱ نانومتر "nm" (هر نانومتر یک بیلیونیم متر) است؛ به‌عنوان نمونه، اتم هیدروژن در حدود ۰/۱ نانومتر، دی.ان.آ (DNA) ۲-۱ نانومتر، ویروس‌ها ۵۰-۳ نانومتر و گلبول قرمز ۳۰۰ نانومتر قطر دارند. ذرات فوق‌العاده ریز (اولترافاین) نیز نانو ذراتی هستند که یا به طور طبیعی ایجاد می‌شوند، از قبیل خاکستر آتشفشانی و ویروس‌ها، یا ذرات ناشی از فعالیت انسانی‌اند، از قبیل دود اتومبیل‌ها و ذرات موتورهای الکتریکی (۱).

گزارش‌ها و مقالات متعدد نشان می‌دهند که فنّاوری نانو، در همهٔ عرصه‌های جامعه بسیار امیدوارکننده است و به‌عنوان یک زمینهٔ فرا رشته‌ای و فرابخشی، در زمینه‌های مختلف صنعت، علم اوزان و مقیاس، الکترونیک، زیست‌فنّاوری و پزشکی کاربرد روز افزونی پیدا کرده است (۲). به‌علاوه از این فنّاوری برای تولید محصولات خاصی استفاده می‌شود. مواد در 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 مهندسی‌شده، می‌شوند (۳). با توجه به

* **نویسنده‌ی مسئول:** تلفن ۲۲۷۰۵۸۴۳-۰۲۱، نشانی الکترونیک: aliehsan2001@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

کاربرد فراوان فنّاوری نانو، انتظار می‌رود که روند اختراعات و نوآوری‌ها با استفاده از این فنّاوری افزایش یابد. از این فنّاوری در ساخت افزاره‌ها و سیستم‌های میکروساختار، نانو لوله‌های کربنی، مواد آرایشی حاوی ذراتی با فعالیت الکتروشیمیایی و زیستی، نانوکپسول‌های زیست تخریب‌پذیر، نانوذرات نوری برای تشخیص و درمان بیماری‌ها، داروهای ضد سرطان، ابزار تشخیص توالی مولکول‌های نوکلئیک‌اسید، تجهیزات اندازه‌گیری و نیز تولید انرژی، استفاده شده است (۴و ۵). مواد در مقیاس نانو، دارای نسبت سطح به توده بیشتری است و از آنجا که واکنش شیمیایی ابتدا در سطح یک ماده رخ می‌دهد، لذا فرصت بیشتری برای بروز واکنش‌های بیوشیمیایی وجود دارد؛ از سوی دیگر در این مقیاس ویژگی‌های کوانتوم مکانیکی ذرات، به طور قوی و شدید ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ماده را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث ظهور خواص الکتریکی، نوری و مغناطیسی در جسم می‌شود که در مقیاس‌های بزرگ‌تر این حالت اتفاق نمی‌افتد. خصوصیات اساسی و اصلی مواد، در مقیاس نانو مانند نقطه ذوب، رنگ و هدایت الکتریکی، ممکن است براساس اندازه و شکل مواد در محدوده ۱۰۰-۱ نانومتر متفاوت باشند (۶).

از آنجایی که ماده در مقیاس نانو، می‌تواند یک الکترون را در یک واحد زمان منتقل کند، از نانو لوله‌های کربنی به‌صورت هدایت‌کنندهٔ الکتریکی، عایق و حسگرهای شیمیایی و زیستی استفاده می‌شود. ذرات نانو از قبیل گرافن، لایه‌های کربنی C_{60} و ذرات کوانتومی، لیپوزوم‌ها، پوشش‌های نانو متری و نانو ذرات مغناطیسی در پزشکی و صنعت به‌کار می‌روند(۷و ۸).

با پیشرفت روز افزون فنّاوری نانو، کاربرد آن در زمینه تحقیقات پزشکی، انتقال داروها به یاخته‌ها، تشخیص و درمان بیماری‌ها، ترمیم بافت‌ها و ساخت ابزارها و سیستم‌های ریز ساختار رو به گسترش نهاده است. اینک، آزمون‌های تشخیص بیماری‌ها و ابزارهای انتقال و تحویل دارو به یاخته‌های هدف، به مثابه دو نوع عمده از محصولات نانو پزشکی، در مرحلهٔ انجام تحقیقات بالینی قرار دارند (۹و۱۰)

همزمان با بحث دربارهٔ مزایا و خطرات فنّاوری نانو، رعایت ملاحظات اخلاقی به‌کارگیری آن و طرح جنبه‌های اخلاقی جدید دربارهٔ نانو، ضرورت پیدا کرده است. (۱۱).

نانو مواد با ویژگی نوظهور خود، می‌توانند انسان و دیگر جانوران را با روش‌های غیرقابل پیش‌بینی، تحت تأثیر قرار دهند. هنگام انتقال دارو با استفاده از این فنّاوری، دارو باید پس از رسیدن به یاخته‌های هدف، آزاد شود و در همان‌جا باقی بماند، اما مطالعات مختلف، نشان داده‌اند که نانو مواد، ممکن است از اندام هدف خارج شوند؛ برای مثال نانو مواد استنشاقی، می‌توانند وارد اپی‌تلیوم آلوئول‌های ریوی و از آن‌جا وارد مویرگ‌ها شوند، یا نانو ذرات پوستی به غدد لنفاوی راه یابند، و از آنجا وارد خون، کبد، طحال، غدد لنفاوی و مغز استخوان شوند. به‌علاوه نانو مواد می‌توانند به غشای یاخته راه پیدا کنند و در داخل میتوکندری تجمع یابند و در نهایت وارد جریان خون مغزی شوند (۱۲). هنوز مطالعات کافی درباره مواجهه تدریجی و تجمع نانو مواد در بدن انجام نشده و یا مطالعات در مقیاس وسیع درباره بررسی واکنش‌های زیست‌شناختی نوظهور، اجرا نشده است. از سوی دیگر هنوز بسیاری از نانو ذرات ناشناخته مانده‌اندکه نیاز به پژوهش‌های فراوان در این عرصه را گوشزد می‌کند. بنابراین ضروری است که همهٔ نکات اخلاقی و احتیاطی در استفاده از نانو مواد برای کاهش خطرهای آن، انجام شود.

کشورهای استفاده‌کننده از این فنّاوری، به‌ویژه آمریکا و ژاپن، برنامه‌های جامعی برای کاربرد تجاری فنّاوری نانو راه‌اندازی کرده‌اند. طراحی برنامه ارزشیابی مخاطرات واقعی و ایمنی این مواد، جزئی از برنامه اصلی آنهاست تا از بی‌زیانی این مواد، برای سلامتی انسان و محیط‌زیست اطمینان حاصل کنند. به همین منظور برنامه ملی سم‌شناسی را اجرا کرده‌اند تا بتوانند تأثیرات بوم‌شناختی نانو مواد مهندسی‌شده اختصاصی، از قبیل ذرات کوانتومی، نانولوله‌های کربنی و دیوکسید تیتانیوم، و نیز تأثیر آنها بر سلامتی انسان را بررسی و ارزشیابی کنند. اطلاعات مربوط به تغییر شکل اجزای اختصاصی، منحصراً و در ترکیب با سایر

Archive of SID

www.SID.ir

اجـزاء و واکنشـی کـه ممکـن اسـت بـین اجـزاء یـک ترکیـب اتفـاق افتد، اهمیت حیاتی برای اتخاذ سیاست‌های محـافظتی زیسـت‌محیطـی دارد (۳).

با وجود اطلاعات پیشین و الگوهایی برای آلوده‌کننده‌هـای رایـج و قدیمی، ولی این الگوها برای ارزشیابی نانو مواد مناسب نیستند؛ بنابراین باید تحقیقات متعددی درباره خـواص فیزیکـی و شـیمیایی ایـن مـواد، میزان پایداری آنها، قدرت ترکیب آنها با سایر مواد، انجـام شـود. نحـوهٔ تجزیهٔ آنها در محیط‌زیست در طبیعت بررسی شود و تحقیق شود که آیا ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این مواد در زمان ترکیب، تغییر می‌کنـد یا خیر؟ زیان‌های جانبی نانو مواد ممکن است در اثر آزاد شدن ناخواستهٔ مواد، در زمان ساخت، کاربرد، دفع و یا بازیافـت ظـاهر شـوند. در حـال حاضر اطلاعات در این زمینه بسیار اندک هستند.

بحث

مواد در مقیاس نانو، به علت اندازه‌ای که دارنـد، یـا قادرنـد مسـتقیماً از جدار یاخته‌ها عبور کنند یا از طریق سازوکارهـای انتقـال یاختـه‌ای بـه داخل یاخته راه یابند و از ایـن طریـق بـا ورود بـه پوسـت و خـون، در سرتاسر بدن، پخش شوند. اخیراً در تحقیقی، مشخص شـده اسـت کـه نانولوله‌های کربنی چندلایه‌ای، نامناسب برای کاربرد زیستی، می‌تواننـد در کراتنوسیت‌های اپیدرمال انسان تجمع یابند و پاسخ‌هـای التهـابی را تحریک کنند (۱۳).

علاوه بر نگرانی دربارهٔ راه ورود این مواد از طریق تنفس، پوست و دهان، نگرانی دربارهٔ انتقال آنها به اندام‌هایی غیر از اندام هدف از قبیـل دستگاه قلبی، عروقی و عصبی و ظهور آثار عمومی وجود دارد. تحقیقات متعددی دربارهٔ سمّیت نانو مواد مهندسـی‌شـده از اوایـل دهـه ۱۹۹۰ در برخی از کشورها، از جملـه ژاپـن انجـام شـده اسـت. در یـک بررسـی، پاسخ‌های اختصاصی پس از تزریق ذرات فلزی (نیکل و کبالت)، معلـق در سرم فیزیولوژی، در مقیاس استاندارد (با قطر متوسط ۵ میکرومتـر) و در مقیاس فوق‌العاده ریز (با قطر متوسـط ۲۰ نـانومتر)، بـه داخـل نـای رات‌ها، مورد مطالعه قرار گرفت. در این بررسی، مشخص شـد کـه نـانو ذرات، بیش از ذرات در مقیاس میکرو، در ایجـاد التهـاب ریـوی نقـش دارند (۱۴ و ۱۵).

در تحقیق دیگری که بـر روی تجـویز خـوراکی نـانو ذرات اکسـید زیرکُنیم (zirconium) و کبالت، برای تعیین عوارض جانبی این ذرات در دو گروه رات انجام شد، دو مادهٔ فوق، هفته‌ای یـک‌بـار بـه میـزان ۰/۳ میلی گرم بـه مـدت ۱۳ هفتـه تجـویز شـد. نتـایج اولیـهٔ بررسـی ایـن حیوانات، پس از ۳ تا ۶ هفته و ۱۲ ماه بعد از شـروع درمـان، از طریـق برش بـافتی و مشـاهده آن در زیـر میکروسـکوپ الکترونـی و بررسـی میکروپروب با پرتو ایکس، حـاکی از عبـور ایـن ذرات از سـد معـدی- روده‌ای بود و برخی از ذرات زیرکُنیم در طحال و کبد یافت شـدند، امـا اثری از ذرات کبالت در این اندام‌ها مشاهده نشد (۲).

پژوهشگران، روش‌هایی را برای استفاده از نـانو ذرات طـلا، بـرای تعیین پـروتئین‌هـا، دی.ان.آ و ترکیبـات دیگـر موجـود در نمونـه‌هـای زیست‌شناختی ابداع کرده‌اند. تفاوت اصلی بین این آزمایش‌هـا بـا سـایر آزمایش‌های تشخیصی و سنجش‌هـای اسـتاندارد بیوشـیمیایی، در ایـن است که در این آزمایش‌ها، نشانگرها ذراتی در مقیاس نـانو هسـتند. در یک تحقیق، پژوهشگران از ذرات کوانتمی بـا حالـت فلورسـنت، بـرای آشکارسازی جزئیات قسمت‌هایی از بدن انسان از قبیل غـدد لنفـاوی و تومورها استفاده کرده‌اند. این نوع استفاده، شبیه به کـاربرد مـواد رنگـی رادیواکتیو، برای نشان دادن ساختارهای مختلف بدن اسـت. اسـتفاده از ذرات کوانتمی، ممکن است خطرات زیادی را برای انسان، در پی داشته باشد؛ زیرا این ذرات، از فلزات سـنگینی تشـکیل شـده‌انـد کـه قابلیـت انتشار، به بافت‌های اطراف را دارند و می‌توانند ساختارهـای یاختـه‌ای را تخریب کنند (۶).

در زمینه استفاده از این فنّاوری، بـرای انتقـال دارو بـه یاختـه‌هـای هدف، از ابزارهای مختلفی اسـتفاده مـی‌شـود؛ یکـی از ایـن ابزارهـای تحویـل دارو، کـه تحـت بررسـی و پـژوهش‌هـای بـالینی قـرار دارد، پوسته‌هایی از نانو ذرات هستند که ماده شیمی‌درمانی را در برگرفته‌انـد؛ این پوسته، ترکیبات دارویی خود را زمانی آزاد می‌کند که در برابر یاخته هدف از قبیل یاخته سرطانی قرار گیرد. پس از اتصال ایـن پوسـته، بـه

Archive of SID

www.SID.ir

یاخته سرطانی، ماده دارویی وارد یاخته می‌شود و بدین ترتیب یاخته سرطانی نابود می‌شود. این سیستم آزادسازی، یک گلوله اسرارآمیز است؛ زیرا فقط یاخته‌های سرطانی را هدف قرار می‌دهد. این نوع کاربرد به طور فزاینده، در حال گسترش است. با وجود حداقل تأثیر ماده دارویی بر روی یاخته‌های سالم، پوسته‌های نانو که برای آزادسازی دارو، مورد استفاده قرار گرفته‌اند در بدن تجمع می‌یابند، و خود باعث ایجاد آسیب‌هایی می‌شوند (۱۶).

بنابراین برای کاهش زیان‌ها و حفظ موازین اخلاقی، در هر پژوهش، باید نکات ذیل مورد توجه قرار گیرند و مشخص شود که: ۱. آیا خطرات به حداقل رسیده اند؛ ۲. آیا موارد خطری وجود دارد که در ارتباط با مزایای قابل انتظار برای نمونه‌های مورد آزمایش یا جامعه قابل پذیرش باشد؛ ۳. آیا پیش‌بینی یافته‌ها و کنترل مداوم بی‌زیانی، تجویز دارویی، به میزان کافی است؛ ۴. آیا رضایت‌نامه به طور کامل و به طرز صحیح از نمونه‌های پژوهش گرفته شده است؛ ۵. آیا انتخاب نمونه‌ها منصفانه است؛ ۶. آیا محافظت از گروه‌ها و جمعیت‌های داوطلب به درستی صورت گرفته است؛ و ۷. آیا قلمرو و حیطه فرد حفظ شده است (۶).

در تحقیقات نانوپزشکی، رعایت چهار مورد اول از موارد فوق، به‌ویژه کاهش موارد خطر، مدیریت خطر و برقراری ارتباط صحیح با نمونه‌های پژوهش، از اهمیت ویژه ای بر خوردار است که در ادامه بحث، به آنها پرداخته خواهد شد. اصولاً قبل از آغاز پژوهش‌های بالینی، بر روی محصولات نانوپزشکی در انسان، مطالعات پیش‌بالینی بر روی حیوانات، بافت‌های انسانی و در آزمایشگاه در لوله، انجام می‌گیرد. این‌گونه بررسی‌های پیش‌بالینی، با هدف تعیین بی‌خطری نانو مواد، برای انسان طراحی می‌شوند، برای مثال در مطالعات پیش‌بالینی دارویی، ویژگی‌های زیست‌شیمی، سم‌شناسی و داروشناسی داروها، به منظور به کارگیری میزان مناسب و بدون زیان آنها در انسان، مشخص می‌شود.

الف)کاهش موارد خطر

روش‌های گوناگونی وجود دارد که پژوهشگران می‌توانند با استفاده از آنها، موارد خطر را در نمونه‌های مورد تحقیق کاهش دهند، از جمله آنها، بررسی و مرور مطالعات انجام‌شده قبلی و درک موارد خطر بالقوه‌ای است که در تحقیقات، حتی بر روی جانوران یا انسان‌ها وجود داشته است. خارج کردن نمونه‌هایی که در حین انجام پژوهش در معرض خطر قرار می‌گیرند، کنترل دقیق یافته‌های بالینی در طول پژوهش، گزارش حوادث و زیان‌های جانبی، پیگیری نمونه‌ها بعد از انجام پژوهش و استفاده از اقدامات و عملیات استاندارد در حین اجرای طرح پژوهشی، از دیگر روش‌های کاهش خطر است.

از آنجایی که خطرات مواجهه انسان با نانو مواد، تاکنون به طور کامل مشخص نشده و یا مورد مطالعه قرار نگرفته است، شناسایی و پیش‌بینی موارد خطر و به حداقل رساندن آنها، اقدامی ضروری است (۱۷).

در شناسایی خطرات نانو مواد، در انسان و دیگر جانوران، باید نکات زیر مد نظر قرار گیرند: ۱- میزان خطر نانو مواد، براساس موضع و محل ورود از قبیل پوست، دهان، دستگاه تنفس و یا داخل وریدی متفاوت است، ۲- با توجه به تنوع بسیار زیاد نانو مواد، نمی‌توان دربارهٔ بی‌زیانی همهٔ آنها قضاوت کرد و باید هریک از آنها، جداگانه مورد بررسی و پژوهش قرار گیرند، ۳- خطرات مواجهه با نانو مواد صناعی با نانو مواد طبیعی، تفاوت دارد؛ زیرا انسان میلیون‌ها سال است که به علت مواجهه با نانو مواد طبیعی، در برابر آنها سازش یافته است، ۴- اندازه، شکل، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نانو مواد، بسیار وابسته به ریزمحیط‌های پیرامون آنهاست و ممکن است این مواد، هنگامی‌که وارد بدن سازواره می‌شوند، تغییر یابند؛ برای مثال یک ماده ۱۰۰ نانومتری می‌تواند به صد مادهٔ یک نانومتری بشکند و یا تا حد یک ماده در مقیاس میکرو، متراکم شود، ۵- پروتئین‌های سرم و یا پروتئین‌های سورفکتانت ریه، می‌توانند نانو ذرات را در برگیرند و ویژگی‌های آن را دستخوش تغییر کنند، ۶- نانو مواد می‌توانند، مانند بسیاری از فلزات سنگین از قبیل جیوه و سرب در بدن تجمع یابند و عوارض سمی ایجاد کنند (۶ و ۱۸).

Archive of SID

www.SID.ir

با وجود اینکه پژوهش‌های پیش‌بالینی، نقش بسیار مهمی در کاهش خطرات نانو مواد پزشکی دارند، اما این تجربیات بر روی جانوران، دارای محدودیت‌های خاصی است و ممکن است واکنش‌های انسان و دیگر جانوران، نسبت به نانو مواد، یکسان نباشند. در تحقیقی در سال ۲۰۰۵ در انگلستان، مشخص شد که مواد زیست‌شناختی، که واکنش خاصی در دستگاه ایمنی جانوران ایجاد نمی‌کنند، می‌توانند واکنش‌های ویژه‌ای را در انسان بر انگیخته کنند (۱۹). در این تحقیق ۶ نمونه انسانی، پس از دریافت پادتن تک‌دودمانی شناخته‌شده به نام TGN_{1412} ،به شدت بیمار شدند، در حالی که در جانورانی که این پادتن را، به میزان پانصد برابر میزان انسانی، دریافت کرده بودند، هیچ‌گونه علائمی از بیماری و مسمومیت مشاهده نشد. این موضوع، هشداری برای پژوهشگران است، که پاسخ جانوران به نانو مواد، می‌تواند با پاسخ انسان متفاوت باشد. محدودیت دیگر مطالعات پیش‌بالینی، در این است که معمولاً زمان این بررسی‌ها، در جانوران بین ۲۸ تا ۹۰ روز است و پژوهشگران در این مدت، نمی‌توانند عوارض طولانی‌مدت داروهای جدید زیست‌شناختی و ابزارهای پزشکی را، بررسی کنند. مواد سرطان‌زا، معمولاً در درازمدت و بعد از ۵ تا ۱۰ سال، سبب سرطان می‌شوند، به عنوان مثال کشیدن سیگار تا ۵ سال، در ایجاد سرطان نقش چندانی ندارد، اما مصرف آن طی ۳۰ سال، می تواند فرد را به سرطان، مبتلا کند.

برخی از مواد، ممکن است برای جانوران، مضر و آسیب‌زا باشند، اما برای انسان خطر کمی در بر داشته باشند؛ برای مثال مصرف ساخارین، حتی به میزان اندک در موش‌های آزمایشگاهی، فوق‌العاده سرطان‌زاست، اما مصرف میزان کم آن در انسان سرطان‌زا نیست؛ زیرا ساخارین در مثانهٔ موش، تبدیل به مادهٔ سمی می‌شود که در مثانهٔ انسان چنین اتفاقی رخ نمی‌دهد.

راه دیگر برای کاهش خطرات، درک واکنش‌های جانبی نادر (۱ مورد در هر ۱۰۰۰ مورد) نانو مواد پزشکی است. در تحقیقات تجربی، معمولاً عوارض نادر دارو مشخص نمی‌شود، مگر اینکه تعداد نمونه به اندازه کافی زیاد باشد.

ب) مدیریت خطر

در تحقیقات تجربی، این مدیریت شامل تعیین، بررسی و ارزیابی خطرات و منافع و برقراری تعادل بین زیان‌ها و مزایای نانو مواد است. برای تصمیم‌گیری درست، باید اطلاعات کافی دربارهٔ هر دو طرف معادله داشت.

پژوهشگران در هنگام اندیشیدن، به زیان‌ها و مزایای تحقیق بر روی نانو مواد، تنها نباید به خطرات تحقیق بر روی نمونه‌های پژوهش اکتفا کنند؛ زیرا گروه تحقیق و افراد دیگر، ممکن است تحت تأثیر این مواد قرار گیرند. از آنجایی که در تحقیقات مربوط به مواد دارویی نانو،گروه تحقیق و اطرافیان نیز در معرض این مواد قرار می‌گیرند، ممکن است این مواد تأثیراتی را بر روی آنها، جنین‌ها و شیرخواران داشته باشند. در کارخانه‌های ساخت دارو، که از ذرات نانو استفاده می‌شود، کارگران کارخانه‌های مذکور و محیط‌زیست نیز در معرض آلودگی قرار می گیرند (۶ و ۲۰).

ج) برقراری ارتباط صحیح

رضایت‌نامه باید در سایه ارتباط صحیح و مناسب با نمونه‌های پژوهش و پس از توضیحات کافی دربارهٔ مزایا، زیان‌ها و خطرات روش تحقیق و ماده مورد استفاده و در کمال آزادی، گرفته شود. افراد تحت پژوهش، باید حق تصمیم‌گیری صحیح و پرسش، دربارهٔ تحقیق مورد نظر را داشته باشند. برای آنها به اندازه کافی توضیح داده شود که نتایج حاصل از این تحقیق، ممکن است برای خود آنها مفید واقع نشود، اما برای دیگران و جامعه سودمند باشد. البته در برخی تحقیقات، ممکن است افراد مورد بررسی نیز از مزایای درمانی برخوردار شوند، اما معمولاً بدین‌گونه نیست (۲۱).

Archive of SID

www.SID.ir

فنّاوری نانو و توزیع فرصت‌ها و تهدیدها

فنّاوری نانو، مزایای بالقوه‌ای در زمینه‌هایی از قبیل زیست‌پزشکی، تولید انرژی پاک، حمل یا انتقال پاک‌تر و بدون آلایندگی مواد و سالم‌سازی محیط‌زیست، فراهم کرده است. کشورهای در حال توسعه، در این زمینه‌ها، همگی نیاز به کمک دارند. فنّاوری نانو در پزشکی، با احتمال زیاد، پزشکی گرانی خواهد بود و این موضوع شکاف بین کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه را افزایش خواهد داد. مشکلات عدالتی یا اشکال در توزیع عادلانه، از جمله مباحث اخلاقی مربوط به فنّاوری‌های مدرن است (۱۱).

موضوع دیگری که از نظر اخلاقی دربارهٔ فنّاوری نانو مطرح شده است، تهدید حریم شخصی افراد با روش‌های جدید مانیتورینگ و فنّاوری‌های کنترل‌کننده است. فنّاوری نانو، امکانات متعدد و گوناگونی برای جمع‌آوری، نگهداری و توزیع اطلاعات شخصی فراهم می‌کند (۱۱ و ۱۲).

هم‌پوشانی فنّاوری نانو و فرایندهای حیات

فرایندهای اصلی حیات، در مقیاس نانو اتفاق می‌افتد، زیرا اجزای اصلی سازنده بدن (از قبیل پروتئین‌ها) عمدتاً در این اندازه هستند. با استفاده از فنّاوری نانو، فرایندهای زیست‌شناختی کنترل‌پذیر می‌شوند. کارخانه‌های مولکولی (میتوکندریا) و روش‌های حمل مواد در بدن، که نقش اساسی در سوخت‌وساز یاخته‌ای ایفا می‌کنند، می‌توانند الگویی برای ماشین‌های نانو، زیست‌کنترلی باشند. فنّاوری نانو در این سطح، می‌تواند به یاخته‌ها اجازه عملیات مهندسی دهد؛ بنابراین بایستی در زمینه‌های کاربرد داروها در مقیاس نانو، که در فرایندهای طبیعی یاخته‌ها دخالت می‌کنند، تحقیق و مطالعات کافی انجام پذیرد (۲۳). بحث‌های اخلاقی زیادی، حتی در آینده دربارهٔ این مواد، پیش خواهد آمد و ممکن است در جوامع، مقاومتی همانند آنچه که در برابر مواد تهیه‌شده از طریق مهندسی ژنتیک، وجود دارد، در مورد فنّاوری نانو نیز ظاهر شود.

حوزهٔ جدیدی که از نظر عملی و اخلاقی، دارای نکات درخور توجهی است، ارتباط مستقیم بین دستگاه‌های فنی و دستگاه عصبی انسان است. با دستیابی به فنّاوری نانو، کار وسیعی در پیوند زیست‌شناختی مولکولی صورت گرفته است و زمینهٔ جالب گسترش‌پذیر، کاشتنی‌های عصبی نانوالکترونیک است که باعث جبران آسیب اندام‌های حسی یا دستگاه عصبی و یا افزایش ظرفیت عملی آنها و گسترش طیف ادراک بشر شده است. ریز کاشتنی‌ها، می‌توانند عمل شنوایی و بینایی را بهبود بخشند، و امروزه، کاشتن شبکیه یا حلزون شنوایی امکان‌پذیر شده است. با پیشرفت فنّاوری نانو، این اجزای کاشتنی کوچک‌تر و کارآتر می‌شوند و به دستگاه طبیعی انسان شباهت بیشتری پیدا خواهند کرد. با وجود این اهداف مثبت تردیدناپذیر، بحث‌های اخلاقی می‌تواند در پیشگیری از استفاده نابجا از آنها، مؤثر واقع شود. از نظر اخلاقی، دستیابی بالینی به دستگاه عصبی، به علت فراهم‌سازی امکانات برای دستکاری و امکان نظارت کنترلی بر این دستگاه، حوزهٔ حساس و نگران‌کننده‌ای است.

نتیجه‌گیری

فنّاوری نانو، قابلیت‌ها و مزایای زیادی را برای بهتر زیستن و پیشرفت‌های سریع پزشکی و اقتصادی فراهم کرده است، اما در عین حال، چالش‌های اخلاقی جدیدی در به‌کارگیری این فنّاوری، همانند بسیاری از فنّاوری‌های پدیدآمدهٔ دیگر، مطرح شده است که نیاز به تأمّل و بررسی دارند. اطلاعات و تحقیقات در مورد تأثیرات نانو مواد، بر روی انسان و محیط‌زیست به اندازهٔ کافی در دسترس نیست و نگرانی‌هایی در مورد زیان‌های جانبی آن بر روی انسان و محیط پیرامون آن و برخورداری عادلانه از فنّاوری نانو یا به عبارت دیگر چگونگی دسترسی به آن و حفظ قلمرو فردی وجود دارد.

عدم آگاهی از خطرات بالقوهٔ نانو مواد، برای نسل بشر، مهم‌ترین نگرانی برای آغاز بررسی‌های بالینی این مواد در پزشکی است. شایان ذکر است که فنّاوری، یگانه موتور پیشرفت نیست، بلکه ابزاری در خدمت بشریت است و نه عکس آن؛ بنابراین در هنگام استفاده از این

Archive of SID

www.SID.ir

فنّاوری شگفت‌ساز، رعایت همهٔ موازین اخلاقی و پیشگیرانه و اتخاذ سیاست‌های کاهش خطرات، ضروری است. انجام تحقیقات گوناگون و کافی بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نانو مواد، و چگونگی تأثیر آنها بر انسان و محیطزیست برای گسترش نانوپزشکی، ضروری است.

سپاسگزاری

در اینجا لازم است از جناب آقای دکتر اصغر اسمعیلی برای ویرایش ادبی مقاله تشکر و قدردانی شود.

منابع

1. Oberdorster G, Oberdorster E, Oberdorster J. Nanotoxity (2005). an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. Environmental Health Perspectives 113: 823-839.

2. DeJong W, Gatti AM (2005). Preliminary results on the effects of oral administration of two types of nanoparticles in the rat. (www.codris.lu/nanotechnology). Proceedings of the workshop.

3. Thomas Karluss, Aguar Pilar, Kawsaki Hajime, Morris Jeff, Nakanashi Junko, Savage Nora (2006). Research Strategies for Safety Evaluation of Nanomaterials, Part VIII: International Efforts to Develop Risk-Based Safety Evaluations for Nanomaterials. Toxicological Sciences 92 (1): 23-32.

4. Kanama Daisuke (2007). Patent Application Trends in the field of Nanotechnology, Science and Technology Trends-Quarterly Review 25: 36-46.

5. Bogunia-Kubik Katarzyna, Sugisaka Masanori (2002). From molecular biology to nanotechnology and nanomedicine. Biosystems 65:123-138.

6.Resnik David B, Tinkle sallys (2007). Ethical issues in clinical trials involving nanomedicine. Contemporary clinical trials 28:433-441.

7. Caruthers Shelton D, Wickline Samuel A, Lanza Gregory M (2007). Nanotechnological application in medicine. Current opinion in Biotechnology 18:26-30.

8. Jun YW, Seo JW, Cheon J (2007).Nanoscaling laws of magnetic nanoparticles and their applicabilities in biomedical sciences. Accounts of Chemical Research 41(2):179-189.

9. Retel VP, Hummel MJ,van Harten WH (2008). Early phase technology assessment of nanotechnology in oncology.Tumori 94(2):284-290.

10. Bawa R, Johnson S (2007). The ethical dimensions of nanomedicine.Medical Clinics of North America 91(5):881-887.

11. Grunwald Armin (2005). Nanotechnology-A new field of ethical inquiry? Science and Engineering Ethics 11: 187-201.

12. Youan BBC (2008). Impact of nanoscience and nanotechnology on controlled drug delivery. Nanomedicine 3(4):401-406.

13. Monteiro Riviere, NA, Nemanich RJ, Inman OI, Wang YY, Riviere JE (2005). Multi-walled carbon nanotube interactions with human epidermal keratinocytes. Toxicology Letters 155: 377-384.

14. Zhang Q, Kusakay, Donaldson K (2000). Comparative pulmonary responses caused by exposure to standard cobalt and ultrafine cobalt. Journal of Occupational Health 42: 179-184.

15. Zhang Q, Kusakay, Zhux, Satok (2003). Comparative toxicity of standard nickel and ultrafine nickel in lung after intracheal instillation. Journal of Occupational Health 45: 23-30.

16. Service R (2005). Nanotechnology takes aim at cancer. Science 310: 1132-1134.

17. Parr Douglas (2003). Nanosciences debate. The lancet 362: 1332-1333.

18. Tinkle S, Antonini J, Rich B, Roberts J, Salmen R, Depree K (2003). Particle penetration of the skin as

Archive of SID
www.SID.ir

the route of exposure in chronic beryllium disease. Environmental Health Perspectives 119 (9): 1202-1208.

19. Bhogal N, Combes R (2006). TGN1412: time to change the paradigm for the testing of new pharmaceuticals. Altern Lab Anim .34 (2): 225-239.

20. Weil V (2003). Zeroing in on ethical issues in nanothecnology. Proceedings of the IEEE 91(11): 1976-1979.

21. Bruce Donald (2006). The question of ethics. Nanotechnology 1(1): 6-7.

22. Hoven JVD, Vermass PE (2007). Nano-technology and privacy: on continuous surveillance outside the panopticon.Journal of Medicine and Philosophy 32:283-297.

23. Kirkpatrick CJ (2005). Nanosafety and the clinical applications of nanoparticles. www.cordis.lu/nanotechnology.

Archive of SID

www.SID.ir