

## نانوتکنولوژی و پیامدهای اخلاقی آن

پویک فرنیا<sup>۱</sup>  
جلال‌الدین غنوی  
محمود عباسی  
علی اکبر ولایتی

### چکیده

تمامی خلقت براساس ساختارهای نانو پایه‌ریزی شده است. مواد سمی این ساختارهای نانو در طول تکامل یا حذف شده‌اند یا با بدن موجودات در تطابق قرار گرفته‌اند. اکنون بشر به سمت سنتز و استفاده مستقیم از ساختارهای نانو و کاربردی نمودن آن در جنبه‌های مختلف زندگی پیش می‌رود. به دلیل رفتارهای غیرقابل پیش‌بینی ساختارهای نانو نسبت به اشکال اولیه و قابل دسترس آن در طبیعت و عدم دانایی نسبت به عملکرد این ساختارها در محیط‌های بیولوژیک و رسمیت بالقوه آنها و عطش فعلی جوامع دانشگاهی در بررسی این ساختارها، به نظر می‌رسد ضوابط اخلاقی بر نحوه ساخت و اثرات آن در محیط‌های آزمایشگاهی، صنعتی و نیز استفاده از این مواد در کلیه ابعاد زندگی بشر و همچنین محیط زیست پیرامونش، نیاز به تدوین راهکارهایی دارد تا از وقوع فجایعی که می‌تواند از کشف مواد رادیواکتیویته عناصر سنگین و ارتباط آن با ایجاد سرطان، خطرناک‌تر باشد، جلوگیری به عمل آید.

### واژگان کلیدی

نانوتکنولوژی؛ اخلاق؛ نانوذرات

۱. دانشجوی مقطع Ph.D بیوتکنولوژی پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی. (نویسنده مسئول)

## نانوتکنولوژی و پیامدهای اخلاقی آن

علم نانو تکنولوژی از همگرایی علوم پایه در فیزیک، شیمی و بیولوژی به وجود آمده است و مانند انقلاب صنعتی یکی از مهم‌ترین تکنولوژی‌های امید بخش برای آینده بشریت می‌باشد.

لغت نانو تکنولوژی به واژه Nano scale بازمی‌گردد که معادل یک بیلیونیوم از یک متر یا  $10^9$  است و اتم‌ها یا ساختارهای مولکولی را دربر می‌گیرد که دارای ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر بوده و از خواص ویژه فیزیک و شیمیایی برخوردار هستند. چهار جنبه مهم از تحقیقات و نوآوری در نانوتکنولوژی شامل نانومواد، نانوالکترونیک، نانوبیوتکنولوژی و نانومترولوژی می‌باشد.

این علم در دامنه وسیعی از جنبه‌های زندگی بشر تأثیرگذار است که شامل پزشکی، محیط زیست، تکنولوژی ارتباطات، کشاورزی و صنایع غذایی می‌باشد. اکنون نانوتکنولوژی از تحقیقات آزمایشگاهی به سمت صنعت و بازاریابی در حال حرکت است و در کشورها سرمایه‌گذاری‌های وسیعی را به خود اختصاص داده است و به سمت تکامل و پیشرفت می‌رود و پیش‌بینی می‌شود که محصولات نانو سود قابل ملاحظه‌ای را برای صاحبان سرمایه به همراه داشته باشد.

یکی از نگرانی‌های عمده‌ای که دربرگیرنده محصولات مشتق از نانو تکنولوژی است، خطرات ناشی از این مواد است. به خصوص موادی که هم‌اکنون در بازار موجود هستند و می‌توانند اثرات سوئی بر روی انسان، حیوانات یا محیط داشته باشند. بنابراین با توجه به تأثیرگذاری این فناوری بسیار نوپا و بالقوه خطرناک در زندگی فردی و اجتماعی، توجه به جنبه‌های اخلاقی کاربرد این علم یکی از ضرورت‌های است که آن را در دو بخش مورد مطالعه قرار می‌دهد:

در بخش اول این مقاله کاربرد نانوتکنولوژی در محیط زیست و بررسی پیامدهای آن و در بخش دوم کاربرد نانوتکنولوژی در بهداشت و سلامت فرد و بررسی پیامدهای اخلاقی آن مطالعه می‌گردد.

### ۱. کاربرد نانوتکنولوژی در محیط زیست و بررسی پیامدهای آن

#### الف - کاربردهای نانوتکنولوژی

شبهه به هر ذره طبیعی یا سنتتیک، ذرات نانو می‌توانند هوا، آب، خاک را آلوده سازند و برای اکوسیستم‌های زنده دارای سمیت باشند. دو جنبه از نانوتکنولوژی باید مد نظر باشد، اول این که نانو ذرات از نظر ابعاد بسیار کوچک بوده و قابلیت انتشار فراوانی دارند؛ لذا اثرات آن‌ها در محیط زیست به دلیل قدرت انتشار آن‌ها در طبیعت با هیچیک از آلاینده‌های شناخته‌شده، قابل قیاس نیست. دوم، بررسی خواص جدید موادی که در مقیاس نانو تهیه می‌شوند؛ این مواد می‌تواند از نظر سمیت و قابلیت رسانایی خطرناک باشند (تروتلییر، داگت و بلوین، ۲۰۰۶م؛ فرهید و غنوی، ۱۳۸۷ش، ش ۱۴).

از مواد نانو به عنوان حسگرها در بررسی سمیت آب آشامیدنی و آلودگی‌های شیمیایی، بیولوژی یا عوامل باکتریولوژی موجود در آن و نیز احیای خاک استفاده می‌شود و همچنین از این مواد به عنوان رادیکال‌های آزاد در پاک‌سازی محیط زیست بهره می‌گیرند.

از حسگرهای نانو برای بهبود محصولات کشاورزی در مراحل تولید نیز استفاده شده است، تا زمان رهاسازی کودهای شیمیایی لازم به داخل خاک به دقت مشخص شود.

## ب - چالش‌های زیست‌محیطی

اثرات ذرات نانو در محیط زیست از لحاظ سایز، توانایی ایجاد سمیت و خواص سطحی باید مورد بررسی قرار گیرد. از یک سو انتشار غبار این ذرات به داخل اتمسفر و از سوی دیگر آلودگی‌های ناشی از این ذرات در پساب زمین‌های کشاورزی، فاضلاب صنعتی کارخانه‌ها و امکان تداخل آن‌ها و ایجاد سمیت مضاعف این ذرات برای اکوسیستم‌های زنده شامل گیاهان و جانوران باید مدنظر قرار گیرد.

به دلیل کوچکی فوق‌العاده ذرات نانو، قابلیت عبور این ذرات از سطوح محافظ بدن انسان و سایر حیوانات مثل پوست، ریه، روده، جفت و سد خونی مغزی بسیار نگران‌کننده است (فرهید و غنوی، ۱۳۸۷ش،، ش ۱۴؛ تروتلیر، داگت و بلوین، ۲۰۰۶م.). وجود نانوپودرهای فلزی در هوا و خاک می‌تواند ریسک انفجار، اشتعال را افزایش دهد. بنابراین با وجود این تکنولوژی امیدبخش در آینده بشریت باید به عوامل بازدارنده‌ای که می‌تواند سلامت زیست محیطی را تحت‌الشعاع خود قرار دهد، بسیار توجه داشت (تروتلیر، داگت و بلوین، ۲۰۰۶م؛ فرهید و غنوی، ۱۳۸۷ش،، ش ۱۴).

## ۲. کاربرد نانو تکنولوژی در بهداشت و سلامت فرد و بررسی پیامدهای اخلاقی آن

## الف - کاربردهای نانو تکنولوژی در بهداشت و سلامت فردی

نانو تکنولوژی امیدهای زیادی را در عرصه تشخیص پزشکی و درمان به وجود آورده است و در تشخیص بیماری‌ها ابداعات زیادی در زمینه نانو تکنولوژی به وجود آمده است؛ برای مثال «نانو کپسول مغناطیسی» را می‌توان به وسیله میادین مغناطیسی از خارج بدن کنترل و به سمت ناحیه مورد نظر هدایت کرد که در لیزر یا MRI یا X-Ray کاربرد دارد (آنجلو و والبوسا، ۲۰۰۸م.).

با استفاده از انتقال هدفمند دارو با به حداقل رساندن اثرات جانبی دارو روی بافت‌های اطراف به خصوص در درمان سرطان‌ها، با مصرف حداقل دارو حداکثر اثر را خواهد داشت (گائو و کای، ۲۰۰۸م).

با توجه به عبور نانو ذرات از سد خونی مغزی این مواد در درمان بیماری‌های نورولوژیکی مثل پارکینسون و آلزایمر مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین به دلیل ازدیاد سطح به حجم در مقیاس نانو از باندهای آغشته به نانو ذرات نقره با خاصیت ضد باکتریایی منحصر به فرد در درمان زخم‌های باز استفاده می‌شود (ون و یان، ۲۰۱۱م. و مدهوماتی، کومار، نایر و جایا کومار، ۲۰۱۰م).

ترکیبات نانو در صنایع آرایشی بهداشتی مثل کرم‌های ضد چروک، ضد آفتاب‌ها و مکمل‌های ویتامینی و محصولات رژیمی و نیز در تمیزکننده‌ها و نگهدارنده‌ها به فراوانی استفاده می‌شود (گویکس و کاسالز، ۲۰۰۸م).

در صنایع غذایی، در غذاهای آماده در مراحل‌سازی ذخیره و پخش نیز از این علم بهره می‌گیرند (داس، انصاری، تریپاتی و دویبودی، ۲۰۱۱م).

برای مثال، از مواد نانو بصورت پلیمر در بسته‌بندی‌های مواد غذایی استفاده می‌شود و این بسته‌بندی‌ها، نسبت به محیط غیر قابل نفوذتر بوده و منجر به کاهش تبادل گاز بین محصول و هوا می‌شود و مانع فساد مواد غذایی می‌گردد (همان).

همچنین این نانو ذرات را روی یک وکتر خاص شبیه DNA یا پروتئین پوشش می‌دهند که در صورت حضور یک باکتری یا پرئون باعث تغییر رنگ شده و بدون استفاده از تست‌های وقت‌گیر و مکرر آزمایشگاهی آلودگی مواد غذایی را تشخیص می‌دهد (تروتلیبر، داگت و بلوین، ۲۰۰۶م).

## ب - چالش‌های اخلاقی

سلامت و ایمنی کارکنان یا هر جمعیتی که در تماس با پودرهای ترکیبی یا محصولات مشتق از نانو هستند، نسبت به خطر جذب این مواد از طریق استنشاقی یا گوارشی یا جذب از طریق پوست یا عبور از سد خونی مغزی یا جفت و انتقال به جنین از طریق مادر باید تأمین شوند.

البته تاکنون هیچ پروسه استانداردی برای اندازه‌گیری سمیت سایز ذرات نانو - که نقش اساسی را پس از نفوذ به داخل بدن افراد بازی می‌کنند - وجود ندارد (تروتلیر، داگت و بلوین، ۲۰۰۶؛ آنجلی و والوسا، ۲۰۰۸. م. و فرهید و غنوی، ۱۳۸۷ش، ش ۱۴).

عبور ذرات نانو از سد خونی مغزی، اگرچه در درمان بیماری‌های خاص دستگاه عصبی می‌تواند امیدبخش باشد، اما باید توجه داشت که این سد به عنوان آخرین دفاع بدن در برابر عبور مواد شیمیایی و میکروب‌ها برای رسیدن به مغز می‌باشد و شکستن این سد می‌تواند، آسیب‌های جبران‌ناپذیری را در شکل حاد و مزمن برای بیمار به دنبال داشته باشد.

از طرف دیگر زمانی که ساختاری کوچک تا حد ۱۰۰ نانومتر وارد بدن گردد، می‌تواند با پروتئین‌های میزبان تقابل ایجاد کند که هنوز برای درک مضرات آن دانش اندکی داریم.

این ذرات می‌توانند روی ترکیبات سطح خارجی سلول‌ها اثر بگذارند و با تأثیر روی پروتئین‌ها سیستم دفاعی بدن را تحت‌الشعاع خود قرار دهند.

به علاوه ابعاد نانومتری آن می‌تواند براحتی از غشا گذر نموده و وارد ساختار هسته سلول شود و اثرات ژنومی به جای گذارد. نانو ذرات قدرت گریز از سیستم رتیکولو آندوتلیال را دارند و به عوارض ناشی از آن باید توجه داشت و البته یکی

از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو عدم توانایی بدن انسان در دفع این ذرات نانو است (فرهید و غنوی، ۱۳۸۷ش،، ش ۱۴، آنجلی و والبوسا، ۲۰۰۸م. و تروتلیر، داگت و بلوین، ۲۰۰۶م.).

### ج - راهکارها

سلامت و ایمنی کارکنانی که در تماس نزدیک با ذرات نانو هستند، اهمیت ویژه‌ای دارد که شامل: محققان، دانشجویان، کارکنان آزمایشگاه و کارگران کارخانجات، که در حمل و نقل محصولات یا خود مواد نانو دخیل هستند و در نهایت در برگیرنده مصرف‌کنندگان این محصولات می‌شود.

کارکنان آزمایشگاه‌ها و کارگران کارخانجات باید از روش‌های کنترل و حذف آلودگی مطلع باشند و از وسایل و تجهیزات و روش کارکردن صحیح در ارتباط با نانو ذرات استفاده کنند (تروتلیر، داگت و بلوین، ۲۰۰۶م.). البته این اقدامات بسته به درجه سمی بودن و این که کارکنان تا چه حد در معرض این مواد قرار می‌گیرند، متفاوت است.

شرایط محیط کار از لحاظ سالم‌سازی و ایمنی کارکنان باید در کارخانجات که با مواد نانو کار می‌کنند، بهینه‌سازی شود؛ برای مثال: از سنسورهای خاص که می‌توانند حضور و درصد ذرات نانو را اندازه‌گیری کنند، استفاده می‌شود و همچنین ایمنی کارکنان را در سطح مقدماتی مثل استفاده از دستکش و ماسک‌هایی با درجه پاک‌سازی مشخص یا زدن عینک برای به حداقل رساندن تماس با ذرات نانو را فراهم آورند.

همچنین کمپانی‌های تولیدکننده محصولاتی که برپایه نانو تکنولوژی هستند، موظف به درج علامت نانو ماده بر روی محصولات خود می‌باشند و نیز این محصولات باید تأیید آزمایشگاه‌های مرجع را داشته باشند.

کارخانجات صنعتی و آزمایشگاه‌ها باید از نظر دفع این محصولات در پساب فاضلاب‌ها و روش‌های مطمئن برای عدم آلودگی محیط زیست مطلع و مسئول باشند (تروتلییر، داگت و بلوین، ۲۰۰۶م. و شانکر شارما، ۲۰۰۷م.).



## نتیجه

نانوذرات به دلیل ابعاد بسیار کوچک بر اثر حرکت ناشی از همرفتی حرارتی هوا جابه‌جا می‌گردند و می‌توانند مسافت‌های بسیار طولانی را طی نمایند. اغلب این ذرات دارای فعالیت‌های کاتالیزوری هستند و بر کلیه ساختارهای زنده مسیر خود اثر می‌گذارند و سمیت متفاوتی را در ابعاد مختلفی از تجمع اتم‌ها کنار یکدیگر در ابعاد نانو ایجاد می‌کنند. با اتکا به این خواص دایره‌ای بسیار وسیع از واکنش‌های شیمیایی را بر روی ساختارهای زنده، بیومولکول‌ها، مولکول‌های آلی و حتی مولکول‌های معدنی القا می‌کنند. ساختارهای زنده نمی‌توانند مستقل از محیط پیرامون خود به حیات ادامه دهند و مهم‌ترین متغیر تکاملی این ساختارها در طول زمان بر خورد با عناصر فیزیکی - شیمیایی محیط پیرامون خود بوده است. این تغییر ماهیت تاکنون بر اساس نانو ذرات موجود در طبیعت در طی میلیون‌ها سال شکل گرفته است و برخورد مولکول‌های زیستی در آینده و تطابق آن‌ها با نانو ذرات سنتتیک تولید بشر می‌تواند تغییرات شگرفی را در کوچک‌ترین مولکول‌های زیستی ایجاد نماید و دانش لازم جهت بررسی این تغییرات بسیار نوپاست. به علاوه تجهیزات و تکنیک‌های پیشرفته آزمایشگاهی علی‌رغم حساسیت و دقت زیاد، نمی‌تواند به تشخیص و اندازه‌گیری و تأثیر ذرات نانو در محیط پیرامون ما بپردازد.

با توجه به کاربرد وسیع علم نوین نانو تکنولوژی در جنبه‌های گوناگون زندگی بشر و اثرات مثبت و منفی ذرات نانو در تأمین سلامت و بهداشت فردی و تأثیر در اکوسیستم‌های طبیعی، توصیه می‌گردد که قبل از کاربردی نمودن این علم در سطح جامعه کمیته‌ای متشکل از کارشناسان محیط زیست، حقوقدانان، پژوهشگران حوزه نانو، پژوهشگران اخلاق زیستی، وزارت صنایع، وزارت بهداشت و

قانونگذاران مجلس تشکیل شود که بر پروسه تولید، توزیع و مصرف محصولات مشتق از نانو تکنولوژی نظارتی مستقیم داشته باشند تا در آینده جامعه با معضلات بهداشتی وسیع تری مواجه نشود. همچنین بررسی ابعاد مختلف موضوع از منظر اخلاق زیستی نیز یکی از ضرورت‌های اساسی است که باید مورد توجه قرار گیرد.

## فهرست منابع

Emmanelle Trotlier , Diane Duguet ,Marco Blouin ." Ethics and Nanothechnology ". meeting at commission of the technology.2006  
Elena Angeli , Ugovalbusa . Nanothechnology application in medicine. Tumori J.2008

فرهید، دکتر امیرمسعود؛ غنوی، دکتر جلال‌الدین - (۱۳۸۷ ش.)، فصلنامه علمی ترویجی نانوتکنولوژی، شماره ۱۴

Weibo Cai,Ting Gao.Applications of gold nanoparticles in cancer nanotechnology. Nanotechnology Science and Applications J. 2008.

Ziyi Wen , Zhiqiang Yan .Odorranalectin-conjugated nanoparticles: Preparation, brain delivery and harmacodynamic study on Parkinson's disease following intranasal dministration.controlled release J. 2011.

Madhumathi K, Sudheesh Kumar PT, Nair SV, Jayakumar R . Development of novel chitin/nanosilver composite scaffolds for wound dressing applications. Mater Sci Mater Med J.2010.

María Guix, Carlos CarbonellEudald Casals. Nanoparticles for cosmetics. How safe is safe. Contrib. Sci J.2008.

Das M, Ansari KM, Tripathi A, Dwivedi PD . Need for safety of nanoparticles used in food industry. Biomed Nanotechno J. 2011.

Hari shanker sharma. Nanoneuroscience :emerging concepts of nanoneurotoxicity and nanoneuroprotection.Nanomedicine J. 2007.

Joachim Schummer .Cultural diversity in nanotechnology ethics. Interdisciplinary Science Reviews J.2006.

## یادداشت شناسه مؤلفان

پوپک فرنیاء: دانشجوی مقطع Ph.D بیوتکنولوژی پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی. (نویسنده مسؤل)

نشانی الکترونیک: PK-FARNIA@Yahoo.com

جلال‌الدین غنوی: مسؤل واحد تحقیقات تجربی و مهندسی بافت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.

محمود عباسی: رییس مرکز تحقیقات اخلاق و حقوق پزشکی و رییس کمیته حقوق، اخلاق و استاندارد ستاد توسعه زیست‌فناوری.

نشانی الکترونیک: Dr.abbasi@sbmu.ac.ir

علی‌اکبر ولایتی: استاد دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و رییس پژوهشکده سل و بیماری‌های ریوی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۸/۳۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۱۴