

## Review Article

### The Role of Nanomedicine Ethics in Biomedical Researches

Saeed Byroudian<sup>1\*</sup>, Hamideh Ariannia<sup>2</sup>

1. Ph.D in Medical ethics, Medical Ethics and Law Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. (Corresponding Author) Email: sbyroudian@gmail.com

2. Researcher, Medical Ethics and Law Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Received: 3 Feb 2016 Accepted: 15 Jun 2017

#### Abstract

**Background and Aim:** Nanotechnology is the point of intersection of the sciences of engineering, physics, biology, medicine and chemistry, and acts to utilize these sciences in order to construct new products. Nanotechnology researches has recently been intensified with the development of Nano researches in medicine, which attempts to provide medicines and therapeutic methods based on the principles governing nanotechnology with the goal of human health and well-being. This study aimed to identify the main ethical issues in Nanotechnology researches.

**Materials and Methods:** In this review study, related articles were retrieved and analyzed porposfully by searching the keywords of "Nanotechnology or Nanomedicine" and "Bioethics or Nonoethics" and "Risk or Safety" in academic databases.

**Findings:** The ethical issues in the area of nanomedicine researchs that should be considered are a subset of the ethical principles wich generally considered in bioethics, but because of the specific properties of nanoparticles including the unknown side effects and their variation highlites the focus of these principles regarding the assumptions related consequences of the nanomedicine. The most important known ethical issues included respect for autonomy, informed consent, privacy and confidentiality, harmfulnessless and control human ability, justice and access in relation to the role of ethics in nanomedicine.

**Conclusion:** Ethical principles in biological researches should be implemented in all three stages of prevention, diagnosis and treatment in order to protect the volunteer human subjects participating in the advancement of knowledge.

**Keywords:** Nanomedicine; Nanotechnology Research; Bioethics

**Please cite this article as:** Byroudian S, Ariannia H. The Role of Nanomedicine Ethics in Biomedical Researches. *Bioethics Journal* 2017; 7(25): 101-110.

## نقش اخلاق نانوفناوری پزشکی در عرصه پژوهش‌های زیست‌پزشکی

سعید بیرودیان<sup>۱\*</sup>، حمیده آربین‌نیا<sup>۲</sup>

۱. متخصص اخلاق پزشکی، مرکز تحقیقات اخلاق و حقوق پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. (نویسنده مسؤل)

Email: sbiroudian@gmail.com

۲. پژوهشگر، مرکز تحقیقات اخلاق و حقوق پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** فناوری نانو نقطه تلاقی اصول مهندسی، فیزیک، زیست‌شناسی، پزشکی و شیمی است و برای کاربرد این علوم برای ساخت محصولات کاملاً جدید عمل می‌کند. تحقیقات نانوفناوری به صورت قابل توجهی در یک دهه گذشته گسترش یافته و اخیراً با توسعه پژوهش‌های نانو در پزشکی مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعه با هدف شناخت مهم‌ترین مسائل اخلاقی در تحقیقات حوزه نانو فناوری پزشکی انجام شده است.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه مروری، مقالات مرتبط از طریق جستجوی اینترنتی کلیدواژه‌های فناوری نانو (Nanotechnology) یا نانوفناوری پزشکی (Nanomedicine) و اخلاق زیستی (Bioethics) یا اخلاق نانو (Nonoethics) و ریسک (Risk) یا ایمنی (Safety) در پایگاه‌های اطلاعاتی، به صورت هدفمند بازاریابی و مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** مسائل اخلاقی که در این حوزه تحقیقات نانو پزشکی که باید در نظر گرفته شوند، زیرمجموعه‌ای از اصول اخلاقی است که عموماً در پژوهش‌های زیستی مد نظر قرار می‌گیرند، با این تفاوت که ویژگی‌های خاص نانوذرات، از جمله ناشناخته‌بودن عوارض جانبی و تنوع آن‌ها، توجه به این اصول را با در نظر گرفتن پیش‌فرض‌هایی که در رابطه با عواقب این فناوری وجود دارد، حائز اهمیت می‌سازد. در رابطه با نقش اخلاق در نانوفناوری پزشکی، مسائل اخلاقی مرتبط شناخته‌شده عبارت از احترام به خودمختاری، رضایت آگاهانه، حفظ حریم خصوصی و محرمانگی، زیان‌بار نبودن و کنترل توانایی بشر، عدالت و دسترسی بودند.

**نتیجه‌گیری:** اصول اخلاقی در پژوهش‌های زیستی، می‌بایستی در هر سه مقطع پیشگیری، تشخیص و درمان به طور جدی اجرایی شوند تا از افراد موضوع پژوهش که داوطلبانه در پیشرفت دانش مشارکت می‌کنند، حفاظت گردد.

**واژگان کلیدی:** نانوفناوری پزشکی؛ تحقیقات نانوفناوری؛ اخلاق زیستی

## مقدمه

نانو فناوری پزشکی (Nanomedicine) در واقع کاربرد رویکردها، نظریه‌ها، دستگاه‌ها و ادوات در مقیاس نانو و نانو ساختارهای ویژه به منظور شناخت، پیشگیری و یا درمان بیماری‌ها از طریق آشکارسازی، ترمیم و بازسازی بافت‌های زیستی آسیب‌دیده در سطوح مولکولی است. فناوری نانو در حوزه پزشکی تحولاتی را در فناوری بهبود یافته عکس‌برداری پزشکی، حسگرها و آزمایش‌های آسیب‌پذیری، پیوند بهبود یافته اندام، دارورسانی و مشخص‌ساختن ساختار بیومولکولی با استفاده از لیزر ایجاد نموده و نویدبخش پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در پیشگیری، تشخیص و درمان بیماری‌ها می‌باشد. بنیاد علم اروپا، نانوفناوری پزشکی را به عنوان علم و فناوری تشخیص، درمان و پیشگیری از بیماری و آسیب جراحی، رهایی از درد و بهبود سلامت انسان با استفاده از ابزار و دانش مولکولی بیان می‌نماید (۱).

پیشرفت علم در بسیاری از حوزه‌ها، مسائل اخلاقی، اجتماعی و حقوقی خاص خود را دارد که توجه به آن‌ها حائز اهمیت می‌باشد. این امر در رابطه با نانوفناوری پزشکی نیز صادق است، چراکه عدم توجه به این مسائل در آینده آن‌ها را به بحران بدل خواهد ساخت، در نتیجه بیش از آنکه پیشرفت دانش در جهت بهبود سلامت جسمانی بشر باشد، سلامت اخلاقی و اجتماعی جامعه را تهدید خواهد نمود.

با توجه به تنوع کارکردهای نانوفناوری پزشکی در بخش‌های مختلف، تنظیم قوانین حقوقی برای هر بخش پروسه‌ای زمان‌بر می‌باشد. از این رو شناسایی جنبه‌های اخلاقی آن و قراردادن اخلاق در خط مقدم پژوهش‌های زیست‌پزشکی که سه محور پیشگیری، تشخیص و درمان را شامل می‌گردد، نه تنها خلأ قوانین صریح حقوقی مرتبط با این فناوری را پر می‌نماید، بلکه نقشی فعال در پیشگیری از بروز خطرات ایفا خواهد نمود. از این رو، این مطالعه با هدف شناخت مهم‌ترین مسائل اخلاقی در تحقیقات حوزه نانوفناوری پزشکی انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه مروری، مقالات مرتبط از طریق جستجوی اینترنتی واژگان کلیدی فناوری نانو، نانوفناوری پزشکی، اخلاق زیستی (Bioethics)، اخلاق نانو، ریسک (Risk) و ایمنی (Safety) در پایگاه‌های اطلاعاتی به صورت هدفمند جستجو و مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفتند.

## یافته‌ها

نانوفناوری پزشکی عبارت از استفاده از فناوری نانو در درمان، تشخیص، نظارت و کنترل سیستم‌های بیولوژیکی می‌باشد و در خط مقدم پزشکی بالینی و تحقیقات پیش بالینی قرار دارد (۲). از این رو می‌توان توانمندی‌های فناوری نانو را به سه بخش تحقیقات پزشکی، تشخیص و درمان تقسیم نمود.

در بخش تحقیقات پزشکی می‌توان به نقاط کوانتومی اشاره کرد که به عنوان ردیاب و راهنماهای مولکولی استفاده می‌شوند (۳) و یا میکروسکوپ‌های نیروی اتمی (AFM: Atomic Force Microscopy) که ابزار قدرتمندی در مطالعه تعاملات بیومولکولی می‌باشند (۲).

در حوزه تشخیص، تجهیزات نانویی مانند نانوسیم‌ها و کانتیلورها (Cantilever) تشخیص سریع سلول‌های سرطانی توسط دانشمندان را حتی زمانی که این اتفاق تنها در درصد پایینی از سلول‌ها رخ می‌دهد، ممکن می‌سازند. این امر می‌تواند به تشخیص سریع سرطان کمک نماید (۴).

علاوه بر این، بسیاری از مواد نانویی پتانسیل زیادی را به عنوان عناصر کنتراست از خود نشان داده‌اند که در این رابطه می‌توان به نانوموادهای طلا، نقره، بیسموت و تانتالم اشاره کرد (۵). آن‌ها همچنین در تصویربرداری پراکندگی نور، تصویربرداری فلورسنس دو فوتون (Two-Photon Fluorescence) و تصویربرداری فتوآکوستیک در تشخیص مبتنی بر تصویربرداری سلول برای تومورها استفاده می‌شوند (۶).

در بخش درمان نیز دارورسانی یکی از برنامه‌های کاربردی نانو مواد در پزشکی است. برای مثال هدف‌گیری، تصویربرداری و دارورسانی به تومور می‌تواند از طریق توزیع نانوذرات طلا و

نانومیله، نانومارپیچ‌های اکسید آهن و لیپوزوم‌های دارویی انجام شود (۶-۵). علاوه بر دارورسانی، نانو مواد در درمان برخی از تومورهای خاص نیز به کار می‌روند. نانوذرات طلا این پتانسیل را دارند که به عنوان عوامل کنتراست جدید در درمان فتوترمال سرطان استفاده شوند (۷).

همچنین استفاده از فناوری نانو، افق جدیدی را در پیشرفت دانش پزشکی گشوده و فرصت‌های بیشتری را برای استفاده از سلول‌های بنیادی در بازسازی اندام‌ها و بافت‌ها ایجاد نموده است (۲).

این‌که نانوفناوری پزشکی راه حل‌های بالقوه‌ای را برای بسیاری از مشکلات پزشکی ارائه داده است، قابل درک است، اما مسائل اخلاقی مرتبط با آن همچون سایر علوم هنوز باقی است. از این رو برخی از سرمایه‌گذاری‌ها باید در جهت پرمودن فاصله بین علم و اخلاق صورت پذیرند (۸). برای مثال راج باوا و سامرجانسون که نقش مهمی در توسعه مباحث اجتماعی - اخلاقی پزشکی داشته‌اند، به سرمایه‌گذاری‌های نانوفناوری پزشکی در صنعت دارو اشاره می‌نمایند. به عقیده آن‌ها کمپانی‌های تولید دارو خواهان سوددهی بیشتر هستند و فناوری نانو وعده افزایش سود برای این کمپانی‌ها را به همراه دارد. از این رو همان‌گونه که انتظار می‌رود شرکت‌ها در این حوزه سرمایه‌گذاری می‌کنند. بنابراین این نگرانی وجود دارد که تمرکز تمامی این سرمایه‌گذاری‌ها و منافع در نانوتکنولوژی منجر به غفلت از مسائل اخلاقی و اجتماعی شود (۹).

موضوعاتی چون حفظ کرامت انسانی، اخذ رضایت آگاهانه، رازداری از جمله مقولاتی هستند که همواره در انجام پژوهش‌های زیستی پیش از آغاز هر اقدامی مد نظر قرار می‌گیرند، اما آنچه رعایت این وجوه اخلاقی را در نانوفناوری پزشکی پررنگ‌تر می‌نماید تا حدود زیادی ریشه در ذات این فناوری دارد.

فناوری نانو همانطور که پیش‌تر نیز اشاره شد، یک فناوری نوین است که امکان پیشگیری، تشخیص و درمان را در سطح سلول‌ها و مولکول‌های زیستی فراهم می‌آورد و بنا بر دستاوردهای فراوانی که در دوره کوتاه‌مدت حضور خود در حوزه پزشکی داشته است، سیر کشف و تولیدات آن با شتاب

قابل توجهی دنبال می‌شود، اما آنچه که نانوفناوری پزشکی را در حوزه اخلاق از سایر فناوری‌ها در حوزه‌های مختلف متمایز می‌سازد، ناشناختگی و پیش‌بینی‌ناپذیری اثرات این فناوری در درازمدت است، اگرچه درخشش نانوفناوری پزشکی در این دوره کوتاه چشمگیر بوده است، اما ناآگاهی از عواقب آن در درازمدت موضوعی است که حضور اخلاق را در بهره‌گیری از این فناوری حائز اهمیت می‌سازد، چراکه قرارگرفتن اخلاق در صدر پژوهش‌های نانوفناوری پزشکی در واقع پیشگیری از عواقب احتمالی است که چگونگی بروز آن‌ها ناشناخته می‌باشد. اما با توجه به این‌که هنوز کدهای اخلاقی صریح در رابطه با نانوفناوری پزشکی تدوین نشده، در ادامه این بخش به ارائه معیارهای اخلاقی که در نتیجه پژوهش‌های صورت‌گرفته در این رابطه حاصل آمده است، پرداخته می‌شود.

#### ۱- رضایت آگاهانه

نخستین معیار اخلاقی که در این حوزه قابل تأمل می‌باشد، موضوع اخذ رضایت آگاهانه است. در مطالعات زیستی، مقصود از رضایت تحمیل تعهد به شخصی که اعلام رضایت کرده نیست (۱۰)، بلکه هدف آزادی اراده در تصمیم‌گیری و تعیین سرنوشت بدون هیچ‌گونه فشار خارجی بر فرد می‌باشد.

همان‌گونه که پیش‌تر نیز توضیح داده شد، در پژوهش‌های نانو فناوری پزشکی، عواقب استفاده از نانومواد، ناشناخته و غیر قابل پیش‌بینی است. از این رو برخی خطرات، احتمالی و برخی نیز کشف‌نشده می‌باشند و روند ارائه اطلاعات و کسب رضایت آگاهانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

نانوداروها به طور کلی بر اساس قابلیت تجزیه بیولوژیکی، زیست‌سازگاری و خواص پوشش‌دهی مواد پلیمری فرمول‌بندی می‌گردند (۱۱) و تضمینی وجود ندارد که اگر این مواد در طولانی‌مدت به کار برده شوند، ایمن باشند، چراکه نانوذرات می‌توانند تأثیرات خارج از هدف، از جمله تحریک پاسخ‌های ایمنی بدن، عبور از سد‌های خونی مغزی و دستگاه عصبی مرکزی داشته باشند و نیز اگر به درستی حذف نگردند، می‌توانند باعث سمیت بافتی شوند (۱۲).

مشکلاتی به خاطر طبیعت پیچیده نانوداروها در درمان‌های جدید وجود دارد که جوانب مثبت و منفی آن در

شکاف بین افراد ثروتمند و فقیر در کشورهای توسعه یافته باشد که فرصت‌های متفاوتی را در دسترسی به فناوری‌های جدید، به ویژه در حوزه‌های پزشکی بر اساس توانایی افراد در پرداخت، ایجاد می‌نماید (۱۹).

### ۳- حفظ حریم خصوصی

بسیاری از پیامدهای اخلاقی و معنوی فناوری نانو حول مسائل مربوط به جمع‌آوری اطلاعات و حریم خصوصی افراد می‌باشد که از اهمیت خاصی در ارائه خدمات بهداشتی و درمانی برخوردار است.

ابزار تشخیصی فناوری نانو، امکان گردآوری حجم زیادی از اطلاعات در رابطه با بدن انسان در سطح سلولی را فراهم خواهند آورد که این اطلاعات برای تجزیه و تحلیل به پایگاه داده‌های پزشکی انتقال می‌یابند. در چنین شرایطی تضمین اطلاعات محرمانه بیماران و حفظ حریم خصوصی آن‌ها اهمیت ویژه‌ای می‌یابد، چراکه اگر از این اطلاعات به خوبی محافظت نگردد، مشکلات جدی اخلاقی پدید خواهد آمد.

خطر افشای تصادفی یا استفاده غیر اخلاقی از اطلاعات محرمانه افراد ممکن است با کوچک‌سازی مداوم تجهیزات، همراه با تحولات در فناوری اطلاعات و ارتباطات افزایش یابد. همچنین فناوری نانو ممکن است قادر به جمع‌آوری و توزیع اطلاعات شخصی، مانند پروفایل‌های بهداشتی و ژنتیکی بدون رضایت کافی از بیماران باشد (۱۹).

### ۴- زیان‌بار نبودن

اصل زیان‌بار نبودن حیطة عامی دارد و تمام مراحل برنامه‌ریزی، انجام یا واگذاری اجرای طرح‌های بیولوژیکی مضر را شامل می‌گردد (۲۰).

از بعد حقوقی، اسناد بین‌المللی متعددی با موضوع حمایت از محیط زیست و حفظ شأن و کرامت انسان‌ها در مقابل آزمایش‌های زیان‌بار تدوین گردیده است. مقررات داخلی کشورها نیز مطالعات بیولوژیکی مضر را منع و در موارد ضروری، تنها به محیط آزمایشگاه‌ها محدود می‌نماید. منشور جهانی طبیعت مصوب ۱۹۸۲ مجمع عمومی سازمان ملل متحد (۲۱)، پیش‌نویس کنوانسیون بین‌المللی محیط زیست و توسعه مصوب ۱۹۹۵ (۲۲) و کنوانسیون تنوع زیستی

طولانی مدت هنوز ناشناخته است. این امر در گرفتن رضایت آگاهانه از بیماران مشکل ایجاد می‌نماید. بنابراین برای حامیان مالی در طولانی مدت تعهد می‌آورد که به نوبه خود هزینه را نیز افزایش می‌دهد (۱۴-۱۳).

### ۲- عدالت

نتیجه اخلاقی که طبق این اصل در حیطة اخلاق زیستی می‌توان گرفت، آن است که همگان باید صرف نظر از نژاد، جنس، سن و... از امکانات بهداشتی و درمانی بهره‌مند شوند (۱۵). چنین تخمین زده می‌شود که فناوری نانو به یک صنعت دو تریلیون دلاری بدل خواهد شد (۱۶). این امر ممکن است کاربردهای گسترده در محصولات دارویی پیشرفته، تکنیک‌های تصویربرداری پزشکی بهتر، ابزار جراحی دقیق‌تر و پیشرفت‌های پزشکی پیش‌بینی‌نشده را شامل گردد (۱۷)، اما این پیشرفت‌ها ممکن است تنها در کشورهایی با تولید ناخالص داخلی (GDPs: Gross Domestic Product) تریلیون دلاری درک شود و باعث ایجاد شکاف وسیعی بین جهان صنعتی و جهان در حال توسعه گردد. بنابراین یکی از نگرانی‌های اصلی در این رابطه، ایجاد شکاف نانویی (Nano-Gap) بین کشورهای توسعه یافته و کشورهای در حال توسعه است (۱۸).

در مقیاس جهانی کشورهای توسعه یافته بیشتر مستعد تولید و توسعه فناوری‌های نانو خواهند بود و بیشتر از تولیدات خود بهره خواهند برد. علاوه بر این، پژوهش‌ها در فناوری‌های جدید نانو ممکن است تنها یافتن راه‌حلی برای حل مشکلات کشورهای توسعه یافته را مد نظر قرار دهند. کشورهای جهان سوم نیز ممکن است از طریق راه‌حل‌های پایدارتر و وابستگی کم‌تر به تکنولوژی، مسائل مربوط به سلامت و محیط زیست را پیگیری نمایند. آن‌ها بودجه‌های لازم برای سرمایه‌گذاری در تحقیقات در این حوزه‌ها را ندارند و به تحقیقات صورت گرفته در کشورهای توسعه یافته وابسته می‌باشند، اما نگرانی‌هایی درباره حق انحصاری فناوری‌های نانو پدید آمده است، زیرا برنامه‌های کاربردی برای اختراعات ثبت شده ممکن است بسیار گسترده باشد، به گونه‌ای که دسترسی به اطلاعات و فناوری را به ویژه در کشورهای جهان سوم، محدود نماید. شکاف نانو همچنین ممکن است شامل رشد

## ۵- کنترل توانایی بشر

فناوری‌های نانو در آینده ممکن است نقش مهمی را در ارائه فرصت‌هایی به انسان‌های سالم به منظور تغییر ظاهر، قابلیت عملکرد یا شخصیت ایفا نمایند، اگرچه چنین برنامه‌هایی هنوز اساساً نظری می‌باشند، اما بحث اخلاقی و اجتماعی درباره مقبولیت آن‌ها، در حال حاضر به خوبی انجام شده تا حدی که با پیشرفت‌هایی در جراحی زیبایی و استفاده از عوامل دارویی برای افزایش عملکرد در ورزش و گسترش مهندسی ژنتیک همراه بوده است (۱۹). بحث جامع درباره پیامدهای اجتماعی ممکن است از خود فناوری نانو درک شود. پیامدهای اجتماعی، به حداکثر رساندن منافع برای بشریت می‌باشد (۲۸). استفاده آسان و همراه شدن با پیشرفت در فناوری ارتباطات ممکن است شرایطی را ایجاد کند که تشخیص و درمان توسط مراقبان یا خود بیماران در منزل صورت پذیرد، اما غربالگری و درمانی که در منزل صورت می‌گیرد، سؤالاتی را درباره امنیت آزمون‌ها، قابلیت اطمینان آن‌ها در شرایط کنترل نشده و همچنین تأثیر دریافت تشخیص بدون دسترسی به مشاوره و پشتیبان مطرح می‌نماید (۱۹).

تست‌های تشخیصی فناوری نانو ممکن است پیشرفته باشد و امکان دسترسی مستقیم مصرف‌کننده را به همراه داشته باشد، اما به یکسری اثرات اجتماعی غیر قابل پیش‌بینی منجر می‌گردد.

به همین منوال، ایده عرضه تشخیص‌دهنده‌ها از طریق نانو تکنولوژی برای تشخیص یک بیماری که هنوز هیچ درمان پیش‌گیرنده یا شفابخشی برای آن وجود ندارد (۲۹)، قابل تأمل است. برای مثال در صورت تشخیص پیش‌زایمانی مثبت یک بیماری ژنتیکی که ممکن است اتفاق بیفتد یا نیفتد (آزمایش مستعدبودن)، در حال حاضر هیچ درمانی وجود ندارد و تنها انتخاب‌های پزشکی موجود برای والدین آینده، پایش سلامت طفل در راه یا پایان دادن خودخواسته به بارداری است، پس نانو تکنولوژی می‌تواند در پررنگ‌تر کردن دوراهی پایش روی والدین نقش داشته باشد (۲۷).

(Convention on Biological Diversity) تدوین شده در ریودوژانیرو در سال ۱۹۹۲، هر کدام به نحوی مطالعات زبان‌بار بیولوژیکی بر روی انسان و طبیعت را منع کرده‌اند (۲۳).

دغدغه دانشمندان بر مبنای برخی از خواصی است که محققین امیدوارند در جهت بهره‌برداری از آن‌ها استفاده نمایند. برای مثال دانشمندان امیدوارند بتوانند از نانوذرات خاص برای داروسازی به سلول‌های معیوب با کم‌ترین میزان عوارض جانبی استفاده کنند، زیرا سائز کوچک نانوذرات به آن‌ها اجازه می‌دهد به راحتی از پوست و غشای داخلی عبور نمایند. این موضوع درباره این که آیا قرار گرفتن در معرض نانوذرات، تنها محدود به سلول‌های هدف می‌شود یا آیا پخش شدن آن‌ها در محیط زیست، قابل جمع‌آوری یا حذف می‌باشد، سؤالاتی را برمی‌انگیزد. به همین صورت، در حالی که نسبت بالای سطح به حجم ممکن است رساندن دوز بالایی از دارو را در بسته‌بندی‌های کوچک ممکن سازد، این امکان نیز وجود دارد که سمیت ذرات را به طور ناخودآگاه بالا ببرد (۲۴).

همچنین بنیاد ملی علوم و سازمان حمایت از محیط زیست، نگرانی‌های زیادی را در رابطه با تأثیر بالقوه نانوذرات بر محیط زیست بیان داشته و این عوارض جانبی را گزارش نموده‌اند (۲۵). مکانیسم‌های دفعی که پیشنهاد می‌شوند، به طور عمده مستعد حضور در آب و هوا هستند و مواد دفعی حاصل از آن‌ها با توجه به ابعاد کوچکشان بیشتر در هوا معلق بوده و منجر به اختلالات تنفسی می‌شوند و بر سلامت افراد تأثیر گذارند (۲۶).

مسائل دیگر وقتی رخ می‌دهد که بدن انسان نانوداروها را دفع می‌کند. وقتی یک ساختار کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر با پروتئین‌های ارگانیزم وارد برهم‌کنش می‌شود، اثرات آن غیر مترقبه یا دارای آثار کم‌تر درک شده است. برای مثال مطالعات اخیر نشان داد داروهای ضد بارداری حل شده در آب که می‌توانست سیستم‌های باروری یک نوع ماهی خاص را تحت تأثیر قرار دهد، حتی باعث دوجنسی شدن (Hermaphrodite) آن‌ها شد یا تا جایی پیش رفت که جنسیت ماهی‌های نر را تغییر داد (۲۷).

## بحث

بحث در مورد پیامدهای اجتماعی و اخلاقی فناوری نانو، حتی با وجود عدم توانایی ما در پیشگویی یا پیش‌بینی صریح این پیامدها، اتفاق می‌افتد. فناوری‌های نانو در درجه اول فناوری‌ها را توانمند می‌سازد و بر ماهیت دقیق تأثیرات اجتماعی و اخلاقی آن‌ها بر فناوری‌های خاصی که با آن‌ها در ارتباط هستند، تکیه خواهد داشت. همچنین فناوری‌های نانو تغییرات تکنولوژیکی را در حوزه‌های دیگر سرعت می‌بخشد. از این رو به احتمال زیاد مسائل اخلاقی مرتبط با آن به سرعت ضرورت می‌یابند. به علت سرعت زیاد تغییرات، این مسأله بسیار مهم است که توجه به مسائل اخلاقی در مراحل اولیه مد نظر قرار گیرد (۱۹).

نتیجه مرور مقالات و پژوهش‌های صورت‌گرفته در رابطه با نانوفناوری پزشکی و مسائل اخلاقی مرتبط با آن، حاکی از آن است که معیارهای اخلاقی که در این حوزه باید به آن‌ها توجه شود زیرمجموعه‌ای از همان معیارهایی است که به طور کلی در پژوهش‌های زیستی مد نظر قرار می‌گیرند، با این تفاوت که ویژگی‌های خاص نانوذرات، از جمله ناشناخته‌بودن عوارض جانبی و تنوع زیاد آن‌ها، توجه به این اصول را با در نظر گرفتن پیش‌فرض‌هایی که در رابطه با عواقب این فناوری وجود دارد، حائز اهمیت می‌سازد. ناشناخته‌بودن و پیش‌بینی‌ناپذیربودن، احتیاط در کاربرد نانوفناوری پزشکی را پررنگ‌تر می‌سازد، چراکه رابطه مستقیمی با سلامت جسمانی افراد داشته و همچنین می‌تواند محیط زیست را دستخوش تغییر نماید.

## نتیجه‌گیری

رضایت آگاهانه از جمله مهم‌ترین موضوعاتی است که باید به آن توجه شود و یکی از شروط اخذ آن، ارائه اطلاعات کافی به بیمار است. حال آنکه مهم‌ترین مسأله در کاربرد نانوفناوری پزشکی این است که نمی‌توان اطلاعات دقیقی از تأثیرات آن در درازمدت به بیمار ارائه داد. بنابراین باید در ارائه اطلاعات، به فرضی‌بودن و پیش‌بینی‌ناپذیربودن آثار استفاده از این فناوری تأکید نمود تا بیماران با در نظر داشتن این موضوع که خطراتی که از آن‌ها بعنوان خطرات احتمالی یاد می‌شود، هم

ممکن است هرگز رخ ندهند و هم این احتمال وجود دارد که درازمدت نمایان شوند، به ارائه این خدمات رضایت دهند. موضوع مهم دیگری که در این راستا درخور توجه می‌باشد، بحث عدالت است. نانوفناوری پزشکی با توجه به اقبال فراوانی که در میان دانشمندان این حوزه داشته، روز به روز در حال تعالی است و با توجه به سودآوری آن، سرمایه‌گذاران فراوانی در این حوزه سرمایه‌گذاری می‌نمایند. مسأله اخلاقی در این میان آن است که احتمال می‌رود این روند سرمایه‌گذاری تنها در کشورهای توسعه‌یافته صورت پذیرد و شامل حال شهروندان جهان اول گردد و کشورهای در حال توسعه از مزایای این نوع خدمات بی‌بهره بمانند یا هزینه استفاده از این فناوری به قدری بالا باشد که حتی در بین شهروندان جهان اول نیز تنها افراد مرفه قادر به پرداخت آن گردند. در اینجا مسأله شکاف بین جهان اول و جهان سوم و همچنین شکاف بین طبقات فرادست و فرودست جامعه در بهره‌بردن از خدمات سلامت، برابری افراد در دسترسی به خدمات نظام سلامت را زیر سؤال می‌برد.

حفظ حریم خصوصی از جمله مواردی است که احتمال می‌رود، با توجه به توانایی‌هایی که نانوفناوری پزشکی در اختیار بشر قرار می‌دهد، تهدید شود و امکان دسترسی به اطلاعات محرمانه بیماران بدون مطلع‌ساختن آن‌ها فراهم گردد. اسرار محرمانه بیمار از جمله مسائل حساسی است که در صورت فاش شدن، اعتماد به این فناوری را در بیماران کاهش خواهد داد و هر قدر هم که نانوفناوری پزشکی موفق و قابل دسترس شود مخاطبان با تردید و محافظه کارانه به آن خواهند نگرست. همچنین به احتمال زیاد باعث ریزش داوطلبان به عنوان سوزده‌های پژوهش که مولفه‌های اساسی در پیشرفت این دانش هستند، خواهد شد.

زیان‌بار نبودن بر این اصل تأکید دارد که نتایج پژوهش منجر به ضرر نگردد و تهدیدکننده نباشد. این موضوع تنها شامل حال انسان‌ها نمی‌شود بلکه حفظ محیط زیست و سلامت سایر موجودات را نیز دربر می‌گیرد. از آنجا که در صورت مطلق در نظر گرفتن این موضوع، پیشرفت و تعالی علم با مشکل مواجه می‌شود و یا روند بسیار کند خواهد داشت،

پژوهش‌های زیستی در هر سه مقطع پیشگیری، تشخیص و درمان به طور جدی اجرایی شود تا از افراد موضوع پژوهش که داوطلبانه در پیشرفت دانش مشارکت می‌کنند، حفاظت گردد. اگرچه پیش‌بینی مسیرهای پیشرفت نانوتکنولوژی دشوار است، با این وجود اهداف و تبعات اثبات‌شده یا فرضی آن باید به بحث گذاشته شود و همه اجزای دخیل باید برای یافتن بهترین راه محافظت از سوژه‌های پژوهش، بدون تأخیر در پژوهش و پیشرفت، تلاش کنند.

لذا با به حداقل رساندن ریسک عوامل تهدیدکننده و حفظ احتیاط، می‌توان در مسیری با امکان زیان کم‌تر گام برداشت. حفظ احتیاط با توجه به ویژگی‌های خاص نانوذرات بسیار حائز اهمیت می‌باشد، چراکه نانوفناوری پزشکی نقش مؤثری در پیشگیری، تشخیص و درمان بسیاری از بیماری‌های وخیم دارد و در صورت به ثمر رسیدن نتایج آزمایش‌ها و بهره‌برداری از آن‌ها، انسان‌های زیادی از خطر مرگ نجات می‌یابند، اما اگر به اندازه کافی به مسائل احتیاطی و جوانب اخلاقی در این زمینه پرداخته نشود، نه تنها ممکن است بیمار درگیر عارضه‌های بیشتری شود، بلکه به لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه نبوده و هزینه‌های گزافی را هم بر بیماران و هم بر نظام سلامت تحمیل می‌نماید و به طور کلی رویکردهای مثبت نسبت به به کارگیری فناوری نانو در پزشکی را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

افزایش توانایی‌های بشر یکی از مهم‌ترین دستاوردهایی است که در آینده‌ای نه چندان دور، به واسطه نانوفناوری پزشکی حاصل خواهد شد. فناوری نانو ممکن است امکان تغییر ظاهر، عملکرد و شخصیت را برای افراد میسر سازد که محقق‌شدن این امر، مسائل اخلاقی جدیدی را مطرح می‌سازد که درخور توجه می‌باشد. این موضوع بیش از همه در شبیه‌سازی نمود می‌یابد که مسائلی چون نقض کرامت انسانی، چالش‌های هویتی، دخالت در قوانین طبیعت و... را در پی دارد. علاوه بر این، امکان تشخیص و درمان توسط بیمار نیز به واسطه فناوری نانو در آینده امکان‌پذیر خواهد بود که در این صورت باید تبعات کم‌رنگ‌شدن حضور پزشک در این فرایند را بررسی و عواقب اخلاقی و اجتماعی آن را تبیین نمود. همچنین این موضوع در مواردی که تشخیص از درمان پیشی می‌گیرد، قابل تأمل است، چراکه در دسترس‌بودن تشخیص و ناتوانی در ارائه درمان مناسب برای آن، چالش‌های اخلاقی و اجتماعی را به دنبال خواهد داشت، از جمله آنکه به لحاظ روانی بیمار را دچار یأس نموده و جامعه را نیز از خدمات نانوفناوری پزشکی دلسرد می‌نماید.

با توجه به موارد یادشده و با در نظر گرفتن آینده نوید بخش نانوفناوری پزشکی، مهم است که اصول اخلاق در

## References

1. Duncan R. Nanomedicine gets clinical. *Materials Today* 2005; 8(8): 16-17.
2. JiMin W, ZiJian L. Applications of nanotechnology in biomedicine. *Chinese Science Bulletin*; 2013; 58(35): 4515-4518.
3. Tong S, Cradick TJ, Ma Y, Dai Z, Bao G. Engineering imaging probes and molecular machines for nanomedicine. *Science China Life Sciences* 2012; 55(10): 843-861.
4. Navalakhe RM, Nandedkar, TD. Application of nanotechnology in biomedicine. *Indian Journal of Experimental Biology*; 2007; 45(2): 160-165.
5. Tong S, Cradick TJ, Ma Y, Dai Z, Bao G. Engineering imaging probes and molecular machines for nanomedicine. *Science China Life Sciences* 2012; 55(10): 843-861.
6. Nie X, Chen C. Au nanostructures: an emerging prospect in cancer theranostics. *Science China Life Sciences* 2012; 55(10): 872-883.
7. Kennedy LC, Bickford LR, Lewinski NA, Coughlin AJ, Hu Y, Day ES, et al. A New Era for Cancer Treatment: Gold-Nanoparticle-Mediated Thermal Therapies. *Small* 2011; 7(2): 169-183.
8. Bala Alakrishna P. Ethical issues in nanomedicine. *The Holistic Approach to Environment* 2012; 2(4): 171-175.
9. De Tavernier H. Fritz Allhoff, Patrick Lin and Daniel Moore, What is Nanotechnology and Why Does it Matter? From Science to Ethics. United Kingdom: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication; 2012.
10. Dworkin RB. Introduction: Emerging Paradigms in Bioethics Symposium. *Indiana Law Journal* 1994; 69(4): 945-954.
11. Moghimi S, Moein A, Hunter C, Murray JC. Nanomedicine: current status and future prospects. *The FASEB Journal* 2005; 19(3): 311-330.
12. Bawa, R. and S. Johnson. Emerging Issues in Nanomedicine and Ethics. *Nanotechnology & Society*. Springer. 2009. pp 207-223
13. Lenk C, Biller-Andorno N. Nanomedicine-emerging or re-emerging ethical issues? A discussion of four ethical themes. *Medicine Health Care & Philosophy* 2007; 10(2): 173-184.
14. Resnik David B, Tinkle Saly S. Ethics in nanomedicine. *Nanomedicine* 2007; 2(3): 345-350.
15. Smit II, Georg P. *Haman Rights and Biomedicine*. Washington. USA: Netherlands Hayaei klawer lew Intrnational; 2000. p.12.
16. Canadian workshop on multidisciplinary research on nanotechnology: Gaps, opportunities and priorities. Paper presented at: Canadian workshop on multidisciplinary research on nanotechnology (Edmonton, Alberta); January 22-24, 2008.
17. Sheremeta Lorraine. Nanotechnologies and the ethical conduct of research involving human subjects. *Nanotechnology: Risk, Ethics and Law* 2006; 12(3): 249-250.
18. Ten Have H. *Nanotechnologies; ethics and politics*. China. UNESCO Publishing. 2007
19. Adelaide Health Technology Assessment National Horizon Scanning Unit, *Emerging Technology Bulletin*. February 2007.
20. Kerr Bernal S. Bioethics and Law Forum: Twin Autonomy. *Journal of Andrology* 2004; 25(1): 2-4.
21. World Charter for Nature, the General Assembly of United Nations, A/RES/37/7, 48th Plenary Meeting, October 28, 1982. Available at: [www.un.org/documents/ga/res/37/a37r007.htm](http://www.un.org/documents/ga/res/37/a37r007.htm).
22. Draft International Covenant on Environment and Development. The IUCN Commission on Environmental Law, in Cooperation with the international Council of Environmental Law [UNCED]; 1995. Available At: [www.iucn.org/themes/Law/pdfdocuments/EPLP31ENsecond.pdf](http://www.iucn.org/themes/Law/pdfdocuments/EPLP31ENsecond.pdf).
23. Mostafa. Elsan. Principles of Bioethics. *Legal Researches Journal*. No 45. Spring & Authom 2008. P 153-184
24. Science Policy Council, Nanotechnology Workgroup. U.S. Environmental Protection Agency Nanotechnology White Paper. EPA 100/B-07/001. U.S. EPA: Washington DC; 2007. p.14. Hereafter cited as EPA White Paper.
25. Dreher KL. Health and environmental impact of nanotechnology: toxicological assessment of manufactured nanoparticles. *Toxicological Sciences* 2004; 77(1): 3-5.
26. Litton P. Nanoethic? What's New? *Hastings Center Report* 2007; 37(1): 22-25.
27. Commission de L'éthique de la Science et de la Technologie. Ethics and nanotechnology: A basis for action (Position statement), Québec; 2006.

28. Roco MC, Bainbridge WS. Nanotechnology: Societal implications - Maximizing benefit for humanity, National Nanotechnology Initiative Workshop, Arlington, Virginia. 2003. Available at: [http://www.nano.gov/nni\\_societal\\_implications.pdf](http://www.nano.gov/nni_societal_implications.pdf).

29. Commission De L'éthique De La Science Et De La Technologie, Les enjeux éthiques des banques d'information génétique. [The Ethical Issues of Genetic Databases], op. cit; 2006. p.48.

Archive of SID