Review Article

Biosafety and Bioethical Issues in Nanobiotechnology

Mehdi Rezaee[1], Khadijeh Jamialahmadi[2*]

1. Department of Medical Biotechnology, Faculty of Medicine, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

2. Biotechnology Research Center, Pharmaceutical Technology Institute, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. (Corresponding Author) Email: jamialahmadikh@mums.ac.ir

Received: 31 Dec 2016 Accepted: 8 Jun 2017

Abstract

Background and Aim: Nanobiotechnology as a developing and fascinating field of research has attracted many researchers, but there are many concerns about ignoring the bioethics and biosafety issues in this field. This study aimed to explore and identify bioethical and biosafety aspects of nanobiotechnology.

Materials and Methods: In this review, the related articles was retrieved by porpusful search of main keywords: "Bioethics" OR "Biosafety" AND "Nanobiotechnology" in internal and international scientific data bases.

Findings: Results showed that an increasing number of studies have recently focused on bioethical and biosafety issues of nanobiotechnology in Iran, although, these studies are remarkably less than those of international studies. Moreover, development of some organizations, committees, and working groups along with providing instructions, standards, guidances, and standard operating procedure (SOP) for people, directly dealing with nanobiotechnology help to decrease the risks there of. It is worth mentioning that in order to lessen the probable risks of nanobiotechnology, we should be constantly updated and exchange with the international information.

Conclusion: The results indicate that there is no appropriate observation and control on the ethical issues of nanobiotechnology. Because of multiple fields of research in nanobiotechnology and intensive development of Iranian researchers in these areas, nanobiotechnology riquires more attention and control in biosafety and bioethical issues. Therefore, different aspects and unknown ethical issues of future researches in this field should be extensively controled.

Keywords: Bioethical Issues; Biosafety; Nanobiotechnology

Please cite this article as: Rezaee M, Jamialahmadi K. Biosafety and Bioethical Issues in Nanobiotechnology. *Bioethics Journal* 2017; 7(25): 111-122.

www.SID.ir

مقاله مروری

ایمنی و مسائل اخلاق زیستی در نانوبیوتکنولوژی

مهدی رضائی[۱]، خدیجه جامی‌الاحمدی[۲*]

۱. دانشجوی دکتری تخصصی زیست‌فناوری پزشکی، گروه زیست‌فناوری پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

۲. استادیار مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی، پژوهشکده فناوری‌های نوین دارویی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران. (نویسنده مسؤول)

Email: jamialahmadikh@mums.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۱ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: نانوبیوتکنولوژی حوزه‌ای است با رشد سریع و زمینه‌های متنوع که توجه بسیاری از محققین را به خود معطوف نموده است. تحقیقات بسیار زیادی در این زمینه در حال انجام است، اما مسأله نگران‌کننده در این باره عدم توجه و رشد کافی مباحث اخلاقی و ایمنی زیستی در این حوزه است. این مطالعه با هدف شناخت جنبه‌های اخلاقی و ایمنی زیستی نانوبیوتکنولوژی انجام شده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مروری برای بازیابی متون مرتبط، جستجوی اینترنتی هدفمند با استفاده از واژگان کلیدی اصلی «Bioethics» OR «Biosafety» AND «Nanobiotechnology» در پایگاه‌های اطلاعاتی داخلی و بین‌المللی انجام شد.

یافته‌ها: علی‌رغم روند رو به رشد مطالعات اخلاقی و ایمنی زیستی نانوبیوتکنولوژی، هنوز اختلاف چشمگیری نسبت به این دست مطالعات در جوامع بین‌المللی مشهود است. اخیراً با تشکیل انواع سازمان‌ها، کمیته‌ها، کارگروه‌های مختلف گام‌های مفیدی در این راه برداشته شده است. همچنین دستورالعمل‌ها، استانداردها، پروتکل‌های اجرایی استاندارد و راهنماهایی از این قبیل تدوین و در دسترس عموم قرار گرفته است. نکته قابل توجه در این زمینه، به‌روزرسانی و تبادل اطلاعات دایمی با جوامع بین‌المللی است که کمک به سزایی در به حداقل‌رساندن خطرات احتمالی نانوبیوتکنولوژی می‌کند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان‌دهنده عدم وجود کنترل و نظارت کافی بر مطالعات نانوبیوتکنولوژی است. با توجه به پیشرفت نانوبیوتکنولوژی در ایران و وجود حوزه فعالیت گسترده این علم، توجه خاص به مسائل اخلاقی و ایمنی زیستی از یکسو و بررسی جنبه‌های مختلف و آینده محتمل تحقیقات از سوی دیگر در این زمینه امری ضروری است.

واژگان کلیدی: اخلاق زیستی؛ ایمنی زیستی؛ نانوبیوتکنولوژی

www.SID.ir

مقدمه

فناوری نانو (Nanotechnology) عبارت است از علم دستکاری ماده در محدوده ۱۰۰-۱ نانومتر (حداقل یکی از ابعاد در این محدوده باشد)، به طوری که باعث ایجاد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جدید و متفاوتی در ماده شود (۱). این دستکاری‌ها باعث بهبود خواص مغناطیسی، نوری، تشدید فعالیت الکتریکی، افزایش مدت حضور در خون، افزایش نفوذ به سلول‌ها و دیگر خصوصیات ناشناخته و ناخواسته ناشی از این تغییر اندازه می‌شوند (۲).

بر اساس منبع تولید، نانوذرات به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول آن‌هایی که به طور طبیعی یا تصادفی تولید می‌شوند، مانند نانوذرات حاصل از خاکسترهای آتشفشانی و ذرات احتراقی ناشی از موتورهای دیزلی؛ دسته دوم آن‌هایی که توسط انسان و به خاطر استفاده از خصوصیات نوین آن‌ها ساخته می‌شوند. امروزه دسته دوم در عرصه‌های مهندسی، حمل و نقل، الکترونیک، پزشکی، داروسازی و بیوتکنولوژی کاربرد دارند (۳). به عنوان مثال نانوجراحی با استفاده از تکنیک‌های Atomic Force Microscopy (AFM) با نانوسوزن و Femtosecond Laser surgery در سلول درمانی، جراحی چشم، جراحی اعصاب، مهندسی بافت، IVF به واسطه لیزر و ژن درمانی انجام می‌شود، هرچند که استفاده از نانوجراحی در حال افزایش است، ولی به دلیل کاربردهای پزشکی آن و ارتباط مستقیم با انسان، تکنیک‌های نانوجراحی باید از نظر میزان خطر ارزیابی شوند. همچنین رسیدن به اندازه نانو در بعضی مواد باعث بروز خواص ضد میکروبی جدید در آن می‌شود (۵-۴).

استفاده از فناوری نانو در دارورسانی یکی از مهم‌ترین حوزه‌های فعالیت نانوبیوتکنولوژی می‌باشد (۶). انتخاب نوع نانومواد که برای دارورسانی استفاده می‌شود و این‌که چه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (حلالیت، طبیعی یا مصنوعی بودن و آب‌دوست یا آب‌گریزبودن) داشته باشند، بسیار مهم می‌باشد. در نانوداروها معمولاً از موادی استفاده می‌شود که خاصیت زیست تجزیه‌پذیری، فراهمی زیستی، سازگاری زیستی، توانایی بارگیری و حمل دارو را داشته باشند (۸-۷). با توجه به این‌که ماده ژنتیکی و سیستم‌هایی که برای ژن‌درمانی استفاده می‌شوند، هم یکی از زمینه‌های رو به رشد در نانوبیوتکنولوژی هستند، رعایت مسائل اخلاقی و ایمنی زیستی در این زمینه نیز از اهمیت خاصی برخوردار است (۹). به دلیل مزایای زیادی که نانومواد دارند، مسائلی مانند توانایی نانوذرات در عبور از سد خونی ـ مغزی و ایجاد پاسخ‌های ایمنی شدید و تجمع در بافت‌های خاص و ایجاد سمیت و ورود به هسته سلول و تغییر بیان ژن‌ها که از مهم‌ترین نگرانی‌ها می‌باشد، کم‌تر مورد توجه داروسازان قرار گرفته است (۱۱-۱۰).

نانوبیوتکنولوژی علمی است که از ساختار و خصوصیات مواد در مقیاس نانومتر یا کم‌تر استفاده نموده و از آن‌ها در پیشبرد تحقیقات زیستی استفاده می‌کند تا بتواند باعث به‌روزی انسان گردد و افق‌های بیشتری پیش روی محققین باز کند، مانند بسیاری از فناوری‌ها، معرفی و به کارگیری نانوبیوتکنولوژی مسائل اخلاقی و اجتماعی و ایمنی را برای دانشمندانی که در حال بسط و توسعه این فناوری‌اند و نیز عموم مردمی که از این فناوری بهره خواهند برد یا در معرض آن قرار خواهند گرفت، به دنبال دارد (۱۲).

اخلاق زیستی به طور خاص به شماری از مشکلات اخلاقی اشاره دارد که پس از پیشرفت‌های اخیر در بیوتکنولوژی به وجود آمده‌اند. مفهوم گسترده‌تر اخلاق زیستی مطابق با تعریف وی.آر.پاتر (V. R. Potter) به مسائل اخلاقی، اجتماعی و سیاسی اشاره دارد که به طور عام از علوم زیستی منشأ می‌گیرد و به طور مستقیم یا غیر مستقیم با به‌روزی انسان ارتباط دارد (۱۳). باید در نظر داشت که همان خصوصیات بدیع ماده در مقیاس نانو که می‌تواند سر منشأ تحولات بسیاری در صنعت و اجتماع شود، می‌تواند باعث ایجاد نگرانی‌ها و مشکلات بسیار در مورد نحوه برهم‌کنش نانومواد با بدن انسان و سیستم‌های زنده نیز بشود (۱۴).

با توجه به گسترده‌بودن حوزه فعالیت در این زمینه، سرعت رشد نانوبیوتکنولوژی بسیار زیاد بوده، ولی متأسفانه تلاش‌های مؤثری در حوزه مسائل اخلاقی و ایمنی زیستی مخصوصاً در کشور ایران انجام نگرفته است، لذا در این مطالعه، سعی بر آن است تا ضمن مرور برخی حوزه‌های مهم اخلاقی و

Archive of SID
www.SID.ir

ایمنی زیستی در زمینه تحقیقات نانوبیوتکنولوژی، به معرفی برخی کمیته‌ها، کارگروه‌ها و فعالیت‌های صورت‌گرفته در ایران پرداخته تا از این منظر به ضرورت توجه بیشتر به مسائل اخلاقی در نانوبیوتکنولوژی اشاره شود و همچنین اهمیت به کارگیری تمهیدات بیشتر در زمینه ایمنی زیستی گروه‌هایی که بیشتر با این علم نوین در ارتباط هستند، بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی جنبه‌های اخلاقی و ایمنی زیستی نانوبیوتکنولوژی، در این مطالعه مروری، جستجوی اینترنتی در پایگاه‌های اطلاعاتی داخلی و خارجی، به صورت هدفمند با استفاده از واژگان کلیدی اصلی «Nanobiotechnology» AND «Biosafety» OR «Bioethics» انجام شد. از گزارش شورای بین‌المللی نظارت و مدیریت بر احتمال خطر (International Risk Governance Council) IRGC و دستورالعمل هدایت (Code of Conduct) اتحادیه اروپا که کدهای اخلاقی نانوفناوری را در سال ۲۰۰۸ میلادی منتشر کرده است و اطلاعات موجود در ستاد نانو کشور (سند راهبرد ده ساله و سند تکمیلی دوم توسعه فناوری نانو در ایران، مقالات مرتبط ایرانی مندرج در پایگاه اطلاعاتی ستاد نانوفناوری ایران و دیگر پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر و گزارش فعالیت‌های ستاد ویژه فناوری نانو) نیز برای تحلیل و بحث استفاده شد.

یافته‌ها

تحقیقات نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۰۱ میلادی تعداد مقالاتی که در زمینه اخلاق نانو چاپ شده‌اند، نسبت به مقالات در حوزه فنی نانو بسیار ناچیز است، اما بعد از سال ۲۰۰۲ میلادی تعداد گزارش‌ها در زمینه نانوفناوری اخلاقی گسترش بیشتری داشته است (۱۶-۱۵). از طرفی بررسی نشریات فارسی و مقالات ایرانی نشان می‌دهد که تعداد مقالاتی که به بررسی مسائل اخلاقی و ایمنی زیستی در نانوبیوتکنولوژی پرداخته‌اند، انگشت‌شمار بوده و در آن‌ها اشاره مختصری به نگرانی‌ها و مخاطرات مرتبط با نانوبیوتکنولوژی شده است. این مسأله نشان می‌دهد که تلاش برای تعیین حوزه‌های چالش اخلاقیات و مسائل مربوط به ایمنی زیستی در نانوبیوتکنولوژی به طور کلی در جهان دیر شروع شده که این مسأله در ایران شدیدتر هم می‌باشد. طی دهه اخیر در ایران توجه زیادی به نانوفناوری شده تا آنجا که سند راهبرد ده ساله توسعه فناوری نانو در ایران (۱۳۸۴-۱۳۹۳ ش.) در تیر ماه ۱۳۸۴ منتشر گردید و در زمره اولویت‌های کشوری قرار گرفت (۱۷)، اما متأسفانه نظارت یا دستورالعمل مناسبی برای فعالیت در این حوزه و یا سمت و سوبخشیدن به مطالعات و اختراعات برای رسیدن به آینده روشن در نانوبیوتکنولوژی وجود ندارد.

فعالیت‌های محدودی در این زمینه در کشور انجام گرفته است، مانند ایجاد ساختار تشکیلاتی انجمن بین‌المللی اخلاق زیستی اسلامی که از کمیته‌های ستادی و گروه‌های علمی (گروه‌های اخلاق در زیست‌فناوری، اخلاق در زیست‌پزشکی، اخلاق در علم و فناوری و اخلاق زیستی و...) تشکیل شده است (۱۸). همچنین کمیته فنی متناظر فناوری نانو ایران (ISIRI/TC229) در تیرماه ۱۳۸۵ تشکیل شده است. این کمیته با توجه به اهمیت موضوع استانداردسازی فناوری نانو برای توسعه و تجاری‌سازی این فناوری، با مشارکت سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و ستاد ویژه توسعه فناوری نانو تشکیل شده است (۱۹). این کمیته به صورت متناظر با کمیته بین‌المللی استانداردسازی فناوری نانو (ISO/TC229) فعالیت می‌کند که کار تهیه و تدوین استانداردهای مورد نیاز در حوزه فناوری نانو را انجام می‌دهد. کمیته بین‌المللی استانداردسازی فناوری نانو از ۳۶ کشور به عنوان عضو اصلی و ۸ کشور به عنوان عضو ناظر تشکیل شده است. اعضای اصلی این کمیته حق رأی داشته و می‌توانند پیشنهادهای جدید استانداردسازی ارائه کنند. جمهوری اسلامی ایران یکی از اعضای اصلی این کمیته است. کمیته استانداردسازی فناوری نانو ایران دارای ۴ کارگروه تخصصی می‌باشد (۲۰):

کارگروه اول (ISIRI/TC229/WG1) با عنوان «اصطلاح شناسی، تعاریف و اصطلاحات» وظیفه تعیین تعاریف و اصطلاحات واحد و نام‌گذاری در ارتباط با فناوری نانو را داشته

Archive of SID

www.SID.ir

و هدف آن تسهیل در ارتباطات بین‌المللی، ایجاد ادبیات واحد در فناوری نانو و تقسیم‌بندی مناسب و جامع حوزه‌های فناوری نانو می‌باشد.

کارگروه دوم (ISIRI/TC229/WG2) با عنوان «اندازه‌گیری و تعیین مشخصات» وظیفه استانداردسازی روش‌های اندازه‌گیری و تعیین مشخصات نانومواد، نانوساختارها، نانوقطعات و محصولات فناوری نانو را دارد.

کارگروه سوم (ISIRI/TC229/WG3) با عنوان «سلامتی، ایمنی و محیط زیست» وظیفه توسعه و تدوین استانداردها در زمینه مسائل زیست‌محیطی، ایمنی و سلامت، تعیین تجهیزات حفاظت شخصی و کنترل‌های مهندسی، تدوین دستورالعمل‌های ایمنی، بررسی و ارزیابی سمیت و خطرات در حوزه فناوری نانو را دارد.

کارگروه چهارم (ISIRI/TC229/WG4) با عنوان «ویژگی‌های مواد» وظیفه استانداردسازی ویژگی‌های نانو مواد را بر عهده دارد.

در همین راستا کمیته استانداردسازی فناوری نانو ایران اقدام به انتشار استانداردهای ملی ایران در حوزه فناوری نانو نموده است که تا به حال ۳۸ موضوع از آن‌ها به چاپ رسیده است. باید توجه داشت که این استانداردها به صورت اختصاصی روی موضوعی خاص بحث می‌کند. به عنوان مثال استاندارد ملی به شماره ۱۹۸۵۲ دارای عنوان «فناوری نانوشناسایی نشتی در تجهیزات اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون ـ روش‌های آزمون» می‌باشد (۲۱). گام مثبت دیگری که در این زمینه برداشته شده، آغاز به کار شبکه ایمنی نانوتکنولوژی ایران (Iran Nano Safty Network) INSN در سال ۱۳۹۱ می‌باشد. هدف این شبکه فراهم‌آوردن بستری مناسب برای مجموعه پژوهشگران حقیقی و مراکز مرتبط علاقمند در کشور است تا با پیوستن به این شبکه فعالیت‌های خود را در حوزه ایمنی نانو، در چارچوب برنامه‌های معین و تحت مدیریت شبکه، حول تدوین استانداردها، دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های ایمنی و زیست‌محیطی فناوری نانو متمرکز و همگرا نمایند. این شبکه در حال حاضر در زمینه‌های آموزش، تدوین استانداردها و آیین‌نامه‌ها و ایجاد زیرساخت‌های لازم در حوزه فناوری نانو در حال فعالیت می‌باشد. به عنوان مثال «دستورالعمل بهداشت و ایمنی کار با نانومواد در محیط‌های آزمایشگاهی» را در اختیار محققان قرار داده است. شبکه ایمنی نانوتکنولوژی ایران متشکل از چهار کارگروه مختلف می‌باشد (۲۲):

۱ـ کارگروه اخلاق در نانوفناوری که به طور کلی در سه حوزه Nano Ethics، قوانین و مقررات و تبیین سیاست‌های کلی در حوزه اخلاق در فناوری نانو فعالیت می‌نماید.

۲ـ کارگروه تخصصی ایمنی زیست‌محیطی که در زمینه‌های تدوین آیین‌نامه‌ها، استانداردها و راهنماهای مورد نیاز در حوزه مسائل زیست محیطی فناوری نانو و ایمنی محصولات کشاورزی فعالیت می‌کند.

۳ـ کارگروه تخصصی سلامت انسان که در حوزه‌های سلامت و ایمنی نانومواد و محصولات فناوری نانو در حوزه‌های مختلف آرایشی و بهداشتی، غذایی، کشاورزی و دارویی فعالیت می‌کند.

۴ـ کارگروه تخصصی ایمنی شغلی که در حوزه‌های آموزش، تدوین و ایجاد زیرساخت‌های لازم در زمینه ایمنی محیط‌های شغلی مانند آزمایشگاه‌ها و کارخانجات که با مواد نانو در ارتباط هستند، فعالیت می‌کند.

علی‌رغم تشکیل کمیته‌ها و کارگروه‌های فوق‌الذکر و تدوین دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های مفید که گامی مؤثر در پیشبرد اخلاق و ایمنی زیستی در نانوبیوتکنولوژی است، هنوز هم نیاز به ارتقای آن‌ها و بهره‌بردن از دستورالعمل‌های بین‌المللی حائز اهمیت است. از طرف دیگر، عدم وجود ضمانت اجرای این دستورالعمل‌ها توسط افراد شاغل در این زمینه (کارکنان، محققان و دانشجویان) در ایران، باعث ایجاد نگرانی‌هایی برای ایشان، دیگر افراد جامعه و محیط زیست می‌شود، لذا لزوم اجرای این آیین‌نامه‌ها و قوانین توسط این افراد و التزام ایشان به مسؤولیت‌پذیربودن نسبت به تحقیقاتشان در آینده، امری ضروری است که باید سازمانی اجرایی ناظر بر عملی شدن آن‌ها باشد.

در زمینه اخلاقیات و ایمنی زیستی فعالیت‌هایی در سطح بین‌المللی انجام شده که اشاره‌ای مختصر به آن‌ها مفید بوده و به تدوین دستورالعمل‌های لازم در ایران کمک می‌کند:

Archive of SID

www.SID.ir

۱ـ گزارش شورای بین‌المللی نظارت و مدیریت بر احتمال خطر (IRGC).

در این گزارش، نگرانی‌ها و مخاطرات نانوفناوری و ارتباط آن‌ها با اخلاق زیستی و ایمنی زیستی در سه حوزه بررسی شده است (۲۳):

ـ خصوصیات نانو مواد؛

ـ اهمیت روش‌های بررسی مخاطرات در نانوفناوری؛

ـ ساختارهای مدیریتی مورد نیاز.

۲ـ گزارش مرکز جهانی کنترل و پیشگیری از بیماری‌ها CDC (Centers for Disease Control and Prevention) و انستیتو ملی سلامت و ایمنی شغلی آمریکا NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). در این گزارش به اولویت‌های تحقیقاتی مورد نیاز برای رسیدن به ایمنی زیستی در فناوری نانو اشاره شده است که شامل موارد زیر می‌باشد (۲۴):

ـ مطالعات سم‌شناسی نانومواد (Nanotoxicology)؛

ـ مطالعات اپیدمیولوژیک در موارد استفاده از نانومواد و اثرات ناشی از آن‌ها؛

ـ مطالعات ارزیابی خطرات ناشی از استفاده نانوفناوری و نانومواد روی حیوانات؛

ـ مطالعات برای ایجاد و گسترش روش‌های سنجش و اندازه‌گیری در فناوری نانو؛

ـ مطالعات روی چرخه تولید و نیمه‌عمر نانومواد و فاکتورهای مؤثر بر آن‌ها؛

ـ مطالعات روی روش‌های اعمال کنترل و حفاظت از افرادی که در حوزه فناوری نانو و محصولات مرتبط با آن مشغول می‌باشند، ایجاد ایمنی برای آن‌ها و تدوین دستورالعمل‌های کاربردی برای آن‌ها؛

ـ مطالعات برای ایجاد زمینه‌های لازم برای توسعه ارتباطات و آموزش‌های مورد نیاز برای رسیدن به فناوری نانو ایمن.

ـ مطالعات بر روی ایجاد روش‌های ارزیابی دستورالعمل‌های موجود برای رسیدن به فناوری نانو ایمن.

۳ـ دستورالعمل هدایت اتحادیه اروپا که کدهای اخلاقی و ایمنی زیستی این دستورالعمل به طور خلاصه عبارتند از (۲۵):

ـ مفهوم‌پذیری، یعنی تحقیقات نانوفناوری باید ایمن و اخلاقی و در خدمت اهداف جامعه باشند. این تحقیقات نباید باعث ایجاد خطر یا مشکلات زیست‌شناختی یا اخلاقی برای مردم، حیوانات، گیاهان یا محیط زیست در حال و آینده شوند؛

ـ حزم‌اندیشی، یعنی تحقیقات نانوفناوری باید بر مبنای اصول پیشگیرانه هدایت شوند تا آثار تخریبی بالقوه نتایج تحقیقات بر محیط زیست، سلامتی و ایمنی افراد پیش‌بینی شده و از وقوع آن‌ها جلوگیری شود؛

ـ جامعیت‌داشتن، یعنی نظارت بر تحقیقات نانوفناوری باید به گونه‌ای باشد تا اصل آزادی و برابری تمامی افراد ذی‌نفع، شفافیت و احترام به حق قانونی دسترسی به اطلاعات رعایت شود؛

ـ عملکرد بهینه، یعنی تحقیقات نانوفناوری باید بر اساس بهترین استانداردهای علمی انجام شوند؛

ـ نوآوری، یعنی تحقیقات نانوفناوری باید با حداکثر خلاقیت، انعطاف‌پذیری و رشد همراه باشند؛

ـ پاسخگوبودن، یعنی محققان و سازمان‌های تحقیقاتی باید نسبت به عوارض تحقیقاتشان به اجتماع، سلامتی محیط زیست و انسان در حال و آینده پاسخگو باشند.

اخیرا بحث NE3LS (Network on ethical, economic, environmental, legal and social issues pertaining to nanotechnology) در ارتباط با مباحث اخلاقی، اقتصادی، محیط زیستی، قانونی و اجتماعی نانوتکنولوژی در کشورهای در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به پیشرفت روزافزون این کشورها در زمینه نانوتکنولوژی، نگرانی‌هایی در زمینه کنترل و نظارت کافی در بحث NE3LS مطرح می‌باشد که سمینارهایی بین‌المللی در این خصوص برگزار شده است. با وجود این، نقش هدایت و رهبری سازمان جهانی UNESCO در زمینه‌های مختلف نانوتکنولوژی بسیار مهم و برجسته می‌باشد

Archive of SID

www.SID.ir

و باعث هدایت این قبیل تحقیقات در سراسر دنیا به سوی بهبود کیفیت سطح زندگی انسان می‌شود (۲۶).

امروزه چالش‌های عمده نانوبیوتکنولوژی، حوزه‌های ایمنی (سلامت انسان و محیط زیست) و اخلاقیات می‌باشد. به طور کلی اخلاق زیستی و ایمنی زیستی در نانوبیوتکنولوژی دارای جنبه‌های مختلفی می‌باشد. برای این‌که بتوانیم بگوییم اخلاق زیستی در یک فناوری نوین رعایت شده است باید چهار اصل زیر احراز شود (۲۷):

۱ـ حق انتخاب وجود داشته باشد، یعنی کسی مجبور به استفاده از فناوری و محصولات آن نشود و اطلاعات کافی در مورد مزایا و معایب آن در اختیار عموم قرار بگیرد تا قدرت تصمیم‌گیری صحیح را داشته باشند (گاهی ممکن است علی‌رغم مفیدبودن، فناوری همراه با استقبال عموم نباشد، مثل عدم استقبال عموم از محصولات دستکاری ژنتیکی‌شده) (۲۸). در این زمینه استفاده از رسانه‌های عمومی و اجتماعی برای اطلاع‌رسانی عمومی مفید و نتیجه‌بخش خواهد بود. همچنین بر روی محصولاتی که از این فناوری برای تولید آن‌ها استفاده شده است، باید اطلاع‌رسانی واضح باشد تا حق انتخاب به مصرف‌کنندگان داده شود.

۲ـ سودمند باشد، یعنی هدف نهایی فناوری بهبود کیفیت زندگی و به‌روزی بشریت باشد و شرکت‌هایی که حق انحصاری تولید یک محصول را دارند، دیگران را از مزایای آن فناوری محروم نکنند یا به گونه‌ای نباشد که فقط قشر ثروتمند توان استفاده از آن را داشته باشند.

۳ـ مضر نباشد، یعنی مطابق با استانداردهای زیست محیطی و ایمنی باشد و اطمینان دهد در اثر استفاده از آن فناوری نوین هیچ شخص یا کشوری متضرر نمی‌شود. برای مثال، سمیت نانوذرات قبل از استفاده از آن‌ها به طور کامل مشخص شده باشد، چون مطالعات نشان می‌دهد که سمیت نانوذرات به طور معنی‌داری با خصوصیات نوظهور فیزیکی و شیمیایی این مواد ارتباط دارد.

مطالعات بی‌شماری در این زمینه انجام شده که نشان می‌دهد نانوذرات علی‌رغم مزایایی که دارند ضررهایی نیز بر روی بدن انسان و محیط زیست دارند. در مطالعه Renwick و همکاران نشان داده شد که سلول‌های ماکروفاژ ریه انسان قادر به برداشت ذرات کوچک‌تر از 70 nm نمی‌باشند و این نانوذرات می‌توانند از سلول‌های ریه عبور کرده و به جریان خون برسند و اثرات سمی خود را نشان دهند (۲۹). باید توجه داشت که آزمایشات تعیین سمیت نانومواد در جانوران نهایتاً تا ۹۰ روز بررسی می‌شود، در حالی که مواد سرطان‌زا معمولاً در درازمدت (۵ تا ۱۰ سال بعد) سبب ایجاد سرطان می‌شوند. در مطالعه دیگری Bhogal و Combes نشان دادند که دستگاه ایمنی انسان نسبت به جانوران پاسخ متفاوتی به نانو مواد می‌دهد. بنابراین آزمایشات حیوانی به تنهایی نمی‌تواند سمی‌نبودن نانو مواد را اثبات کند و نیاز به مطالعات کارآزمایی بالینی می‌باشد (۳۰). از طرفی برای تولید نانومواد باید استانداردهایی موجود باشد که از آلودگی محیط زیست، کارکنان آزمایشگاهی و کارگران ممانعت شود، چون با گسترش روزافزون فناوری نانو احتمال این آلودگی‌ها افزایش یافته و تعداد افراد در معرض آن بیشتر خواهند شد (۳۱). نانوذرات به دلیل اندازه کوچکشان می‌توانند برای مدت طولانی در هوا معلق بمانند و باعث بیماری‌های تنفسی یا آلودگی منابع آب آشامیدنی شوند. بنابراین این سؤال پیش می‌آید که آیا ما در حال به وجودآوردن دسته دیگری از مواد زیستی تجزیه‌ناپذیر در طبیعت هستیم؟ (۳۲)

به طور کلی برای کاهش زیان‌ها و حفظ اخلاقیات در پژوهش‌ها و تحقیقات باید مشخص شود که:

الف ـ آیا خطرات به حداقل رسیده است؟

ب ـ آیا همگام با مزایای پژوهش برای نمونه‌های مورد آزمایش، خطرات احتمالی موجود برای آن‌ها یا جامعه قابل پذیرش می‌باشد؟

پ ـ آیا کنترل مداوم بی‌زیانی، تجویز دارویی و پیش‌بینی خطرات به اندازه کافی است؟

ت ـ آیا رضایت‌نامه به طور صحیح و کامل از نمونه‌های مورد آزمایش گرفته شده است؟

ث ـ آیا انتخاب نمونه‌ها منصفانه و تصادفی انجام گرفته است و محافظت از گروه‌ها و جمعیت‌های داوطلب به درستی صورت گرفته است؟

Archive of SID
www.SID.ir

ج ـ آیا حریم شخصی و خصوصی افراد حفظ شده است؟ (۳۳)

۴ـ رعایت عدالت، یعنی سیاست‌هایی که برای فناوری اعمال می‌شوند، به گونه‌ای نباشند که باعث سودرسانی به قشر خاصی شوند، بلکه به طور یکسان در دسترس عموم قرار گیرند. برای مثال محصولات نانوبیوتکنولوژی و استفاده از فناوری نانو در پزشکی، گران‌قیمت می‌باشد و این موضوع شکاف بین کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه را افزایش خواهد داد. همچنین در یک کشور ممکن است باعث استفاده انحصاری افراد خاصی شود، لذا باید سیاست‌های کنترلی به گونه‌ای اتخاذ شود که نانوبیوتکنولوژی قابل استفاده برای همگان باشد (۳۴).

علاوه بر نگرانی‌هایی که متوجه عموم مردم است، خطر بسیار زیادی متوجه محققانی است که در زمینه نانوبیوتکنولوژی کار می‌کنند و به طور مستقیم با این مواد (با ساختار و خصوصیات نوین) سر و کار دارند. در این راستا بسیاری از مطالعات به بررسی میزان آشنایی کارکنان و محققان با ایمنی زیستی و اخلاق در زمینه نانوبیوتکنولوژی پرداخته‌اند (۳۵). از طرفی با توجه به این‌که در دانشگاه‌ها دانشجویان به صورت تدریجی و همزمان با آموزش، حرفه‌ای می‌شوند، این گروه از محققان در معرض خطر بیشتری قرار دارند. بنابراین پیشنهاد شده است که دروس اخلاق و ایمنی زیستی در برنامه آموزشی این دانشجویان گنجانده شود (۳۷-۳۶). علاوه بر این، Kahlor و همکاران به بررسی ارتباط بین میزان اطلاع‌رسانی و به اشتراک‌گذاری تجارب محققین در زمینه علوم نانو با یکدیگر و تأثیر این اطلاع‌رسانی‌ها بر کاهش احتمال خطر برای محققین در این حوزه پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که این قبیل اطلاع‌رسانی‌ها بین آزمایشگاه‌ها و مراکزی که در زمینه علوم نوین مانند نانوبیوتکنولوژی کار می‌کنند، بسیار مفید می‌باشد (۳۸).

بحث

وجود یا عدم وجود نانوبیوتکنولوژی: همانطور که در مورد دیگر فناوری‌های نوین مشاهده شده، توسعه و به کارگیری نانوبیوتکنولوژی ابتدا با حمایت طبقات ثروتمند جوامع، کارفرمایان و تأمین‌کنندگان هزینه‌های تحقیقاتی که اهداف خاص خود را داشته انجام می‌گیرد و بعد در میان عموم جامعه رواج می‌یابد. این مسأله ضرورت بررسی‌های اخلاقی و کنترل همه‌جانبه تحقیقات در نانوبیوتکنولوژی را دو چندان می‌کند به صورتی که جهت‌گیری تحقیقات در این زمینه به سوی به‌روزی عموم جامعه باشد، نه این‌که به سوی اهداف قشری خاص از جامعه یا نهادهایی خاص باشد.

علوم و پیش‌بینی آینده پیرامون نانوبیوتکنولوژی: به دلیل نوین‌بودن این علم فضای پیرامون آن نامطمئن بوده و ممکن است استفاده‌هایی که از این علم صورت می‌گیرد، همراه با خطرات بالقوه‌ای باشد، لذا پاسخگوبودن محققان در آینده امری ضروری می‌باشد. دانشمندان علوم اجتماعی معتقدند که فناوری‌ها محصول ارزش‌هایی هستند که در جامعه تولید می‌شوند و استفاده از این فناوری‌ها بر اساس ارزش‌ها، آداب و رسوم جامعه تغییر می‌یابد. بنابراین نانوبیوتکنولوژی درصدد برآورده‌کردن نیازهای جامعه قدم برمی‌دارد، اما مخاطرات و ضررهای ناشناخته این علم در آینده، به طور کامل شناخته نشده است. بنابراین در تحقیقات نباید فقط به صرف رفع نیازهای جامعه قدم برداشت و باید جانب احتیاط را رعایت نمود. زمینه‌های تحقیق در نانوبیوتکنولوژی بسیار گسترده بوده و همین مسأله توجه بسیار زیادی از نظر اخلاق زیستی و ایمنی زیستی را می‌طلبد. در این مقاله مختصری از این موارد ذکر شده، ولی مسائلی از این قبیل بسیار زیاد بوده که از حوصله این بحث خارج است. در مجموع نیاز به تدوین دستورالعمل‌های مناسب و کارآمد برای تحقیقات نانوبیوتکنولوژی در کشور امری ضروری است که توصیه می‌شود به منظور دستیابی به این مهم از گزارش‌ها و دستورالعمل‌های بین‌المللی که در این زمینه منتشر شده و در این مقاله به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است، استفاده شود. از طرفی شناساندن نانوبیوتکنولوژی به عموم جامعه و همچنین آگاهی محققین از مخاطرات احتمالی نانوبیوتکنولوژی می‌تواند باعث رشد چشم‌گیری در اخلاقیات و ایمنی زیستی در این زمینه شود.

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی مقالات در زمینه اخلاق و ایمنی زیستی در نانوبیوتکنولوژی نشان می‌دهد که در سطح بین‌المللی توجه به نگرانی‌ها و مخاطرات احتمالی مرتبط با نانوبیوتکنولوژی به صورت روزافزون بیشتر می‌شود. این موضوع اهمیت توجه به مسائل اخلاقی و ایمنی زیستی و همچنین نظارت و کنترل بیشتر بر روی تحقیقات و محصولات مرتبط با نانوبیوتکنولوژی در ایران را دوچندان می‌کند. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که در ایران فعالیت‌ها و دستورالعمل‌هایی کاربردی در این زمینه در حال انجام است که علاوه بر عضویت ایران در کمیته بین‌المللی استانداردسازی فناوری نانو، تشکیل انجمن‌ها، کمیته‌ها، گروه‌های علمی و کارگروه‌های مرتبط با اخلاق و ایمنی زیستی بخشی از این فعالیت‌ها می‌باشد. همچنین آغاز به کار شبکه ایمنی نانوتکنولوژی ایران از سال ۱۳۹۱ و انتشار استانداردهای ملی در حوزه نانو به صورت دوره‌ای در زمره این فعالیت‌ها قرار می‌گیرند.

دو گروه مهم استفاده از نانوبیوتکنولوژی در زندگی انسان، تهیه حامل‌های نانویی کارآمد برای دارورسانی هدفمند و استفاده از نانومواد در محصولات آرایشی و بهداشتی است. اخیرا در مطالعه‌ای پیشنهاد شده است که به جای بررسی سمیت نانومواد و اثرات ناخواسته آن‌ها (که منجر به جمع‌آوری ۵۷۸ نوع دارو از بازار مصرف‌کننده‌ها شده است)، بهتر است از روش Safe-by-Design برای کار با فناوری‌های جدید مثل نانوبیوتکنولوژی استفاده شود. استفاده از این روش سه مفهوم را می‌رساند:

الف ـ در روش مورد استفاده طی مرحله طراحی میزان خطر ارزیابی شده است؛

ب ـ مدیریت انجام شده است؛

ج ـ هیچ خطری وجود ندارد و کاملاً ایمن است (۳۹).

از طرفی دیگر، در مطالعه‌ای به بررسی ایمنی زیستی کرم‌های ضد آفتاب که حاوی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکساید (TiO_2) پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که استفاده از این نانوذرات در محصولات آرایشی و بهداشتی که در اختیار عموم قرار می‌گیرند، ایمن نبوده و غیر قابل پذیرش است (۴۰)، لذا این قبیل مطالعات نشان می‌دهند که اولویت ایمنی زیستی در نانوبیوتکنولوژی در استفاده از روش‌هایی است که به صورت پیشگیرانه احتمال خطر را به حداقل برساند و در صورت نیاز، محصولات نانوبیوتکنولوژی را که در اختیار عموم قرار گرفته‌اند، از دسترس مصرف‌کنندگان خارج ساخته و اطلاع‌رسانی مقتضی در این زمینه انجام گیرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به پیامدهای ناشناخته نانوبیوتکنولوژی و محصولات مرتبط با آن بر روی محققین، مردم و محیط زیست، پیش‌بینی احتمال خطر و ایمن‌بودن آن‌ها مشکل است. بنابراین همان‌گونه که در کشورهای توسعه‌یافته و مجامع بین‌المللی مشاهده می‌شود، در ایران هم باید تمهیدات بیشتر مطابق با پیشرفت‌های بین‌المللی مانند برگزاری همایش‌های دوره‌ای و به روزرسانی دستورالعمل‌های نهادهای ذی‌ربط و آگاه‌سازی محققین این علم و تبادل تجربیات آن‌ها انجام پذیرد. همچنین تدوین دستورالعمل‌هایی با جزئیات کامل (Standard Operating Procedure (SOP)) به صورت موردی در زمینه‌های مختلف نانوبیوتکنولوژی مفید می‌باشد تا در دسترس افرادی که به طور مستقیم با نانوبیوتکنولوژی سر و کار دارند، قرار گیرد. همچنین میزان نانومواد موجود در محیط‌های کار این افراد به صورت دوره‌ای مانیتور شود و راه‌های در معرض قرارگیری این افراد (پوستی، تنفسی و گوارشی) هم ایمن‌سازی شوند. از طرفی کنترل سازمان‌یافته در بحث اخلاق و ایمنی زیستی در نانوبیوتکنولوژی به صورت روزافزون انجام پذیرد. در همین راستا استفاده از دستوالعمل‌ها و کدهای اخلاقی بین‌المللی و به روزرسانی دستورالعمل‌های داخلی منتج‌شده از آن‌ها، کمک به سزایی خواهد کرد. علاوه بر تدوین دستورالعمل‌هایی با جزئیات کامل که تمامی جنبه‌های نانوبیوتکنولوژی را دربر می‌گیرد، ایجاد نهادهای نظارتی درون‌سازمانی و برون‌سازمانی دارای قدرت اجرایی امری مفید و ضروری به نظر می‌رسد. امید است تا با توجه به رشد چشم‌گیر محققین ایرانی در زمینه تحقیقات نانوبیوتکنولوژی در سطح بین‌المللی، جنبه‌های اخلاقی و ایمنی زیستی این علم نوین هم در ایران رشد مناسب را داشته باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از دانشگاه علوم پزشکی مشهد به خاطر حمایت‌های ایشان در تکمیل این مقاله کمال قدردانی را دارند.

Archive of SID

www.SID.ir

References

1. Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives* 2005; 113(7): 823-839.

2. Karluss T, Pilar A, Hajime K, Jeff M, Junko N, Nora S. Research Strategies for Safety Evaluation of Nanomaterials, Part VIII: International Efforts to Develop Risk-Based Safety Evaluations for Nanomaterials. *Toxicological Sciences* 2006; 92(1): 23-32.

3. Tratnyek PG, Johnson RL. Nanotechnologies for environmental cleanup. *Nano Today* 2006; 1(2): 44-48.

4. Ebbesen M, Jensen TG. Nanomedicine: techniques, potentials, and ethical implications. *BioMed Research International* 2006; 2006(5): 51516.

5. Hosseinkhani P, Zand AM, Imani S, Rezayi M, Rezaei Zarchi S. Determining the antibacterial effect of ZnO nanoparticle against the pathogenic bacterium, Shigella dysenteriae (type 1). *International Journal of Nano Dimension* 2011; 1(4): 279-285.

6. Farsam H, Shafiei A. Ethics of nanotechnology in medical and pharmaceutical sciences. *Iranian Journal of Medical Ethics and History of Medicine* 2013; 5(9): 69-70. [Persian]

7. Krishna Prabhala B, Dharmendra J. Ethical issues in nanomedicine. *The Holistic Approach to Environment* 2012; 2(4): 171-175.

8. Chenel V, Boissy P, Cloarec J-P, Patenaude J. Analyses of Acceptability Judgments Made Toward the Use of Nanocarrier-Based Targeted Drug Delivery: Interviews with Researchers and Research Trainees in the Field of New Technologies. *Nanoethics* 2015; 9(3): 199-215.

9. Jamialahmadi K, Ebrahimi M, Soluti SS, Akhlaghi S, Karimi Moonaghi H. Medical faculty researchers' attitudes on the ethical issues related to biological DNA materials usage. Kish Island: Asian Nano Forum Conference (ANFC 2015). Poster presentation; 2015.

10. Bawa R, Johnson S. Emerging issues in nanomedicine and ethics. Edited by Allhoff F, Lin P. Nanotechnology & Society: Springer; 2009. p.207-223.

11. Kumar Teli M, Mutalik S, Rajanikant G. Nanotechnology and nanomedicine: going small means aiming big. *Current Pharmaceutical Design* 2010; 16(16): 1882-1892.

12. Freitas RA. Nanotechnology, nanomedicine and nanosurgery. *International Journal of Surgery* 2005; 3(4): 243-246.

13. Potter VR. Bioethics, the science of survival. *Perspectives in Biology and Medicine* 1970; 14(1): 127-153.

14. Faunce T. Nanotechnology in global medicine and human biosecurity: private interests, policy dilemmas, and the calibration of public health law. *The Journal of law, medicine & ethics : a journal of the American Society of Law, Medicine & Ethics* 2007; 35(4): 629-642, 512.

15. Mnyusiwalla A, Daar AS, Singer PA. Mind the gap: science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology* 2003; 14(3): R9.

16. Davies JC. Managing the effects of nanotechnology: Woodrow Wilson International Center for Scholars. Project on Emerging Nanotechnologies, Washington DC, USA; 2006.

17. http://www.nano.ir/en/images/newsimage/file/the_future-strategy.pdf.

18. Zahedi F, Larijani B. National bioethical legislation and guidelines for biomedical research in the Islamic Republic of Iran. *Bulletin of the World Health Organization* 2008; 86(8): 630-634.

19. Introduction of Institute of Standards & Industrial Research of Iran (ISIRI/TC229) Technical Commitee. Iran Nanotechnology Initiative Council. Avaliable at: http://nano.ir/index.php?ctrl=static_page&lang=1& id=472&section_id=13.

20. Specialized Working Groups of ISIRI/TC229 with ISO/TC229 as an observer. Iran Nanotechnology Standardization Commitee. Avaliable at: http://nanostandard.ir/index.php?actn=static_page&lang=1&id=75.

21. Organization INS. Nanotechnology-Detection Leaks in Reverse Osmosis and Nanofiltration Devices-Test Methods. 1st ed. Iran: ISIRI; 2015. 19852.

22. History of Iran Nano Safty Network (INSN) and Four Related Specialized Working Groups. Avaliable at: http://nanosafety.ir/index.php?actn=static_page&lang=1&id=612.

23. Nanotechnology Risk Governance–Project Overview. Avaliable at: https://www.irgc.org/issues/nanotechnology/nanotechnology-risk-governance.

24. NIOSH U. Approaches to Safe Nanotechnology: An Information Exchange with NIOSH. USA: NIOSH; 2006.

Archive of SID

www.SID.ir

25. Commission recommendation on A code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research. European Commission. Avaliable at: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/nanocode-apr09_en.pdf.

26. Global Bioethics: The Impact of the UNESCO International Bioethics Committee. In: Salamanca-Buentello F, Daar AS. Dust of Wonder, Dust of Doom: A Landscape of Nanotechnology, Nanoethics, and Sustainable Development. Springer International Publishing: Switzerland; 2016. p.101-123.

27. Lawrence DJ. The four principles of biomedical ethics: A foundation for current bioethical debate. *Journal of Chiropractic Humanities* 2007; 14: 34-40.

28. Gupta N, Fischer A, Frewer L. Ethics, Risk and Benefits Associated with Different Applications of Nanotechnology: a Comparison of Expert and Consumer Perceptions of Drivers of Societal Acceptance. *Nanoethics* 2015; 9(2): 93-108.

29. Renwick L, Donaldson K, Clouter A. Impairment of alveolar macrophage phagocytosis by ultrafine particles. *Toxicology and Applied Pharmacology* 2001; 172(2): 119-127.

30. Bhogal N, Combes R. TGN1412: time to change the paradigm for the testing of new pharmaceuticals. *Alternatives to laboratory animals: ATLA* 2006; 34(2): 225-239.

31. Borm PJ. Particle toxicology: from coal mining to nanotechnology. *Inhalation Toxicology* 2002; 14(3): 311-324.

32. Litton P. Nanoethic?: What's New? *Hastings Center Report* 2007; 37(1): 22-25.

33. Resnik DB, Tinkle SS. Ethical issues in clinical trials involving nanomedicine. *Contemporary Clinical Trials* 2007; 28(4): 433-441.

34. Grunwald A. Nanotechnology - A new field of ethical inquiry? *Science and Engineering Ethics* 2005; 11(2): 187-201.

35. Corley EA, Kim Y, Scheufele DA. Scientists' ethical obligations and social responsibility for nanotechnology research. *Science and Engineering Ethics* 2016; 22(1): 111-132.

36. Rasmussen AJ, Ebbesen M. Why should nanoscience students be taught to be ethically competent? *Science and Engineering Ethics* 2014; 20(4): 1065-1077.

37. Jamialahmadi K, Ebrahimi M, Soluti SS, Akhlaghi S, Karimi Moonaghi H. A survey on attitude of postgraduate students toward the importance of bioethics education in basic sciences departments of faculty of medicine, Mashhad University of Medical Sciences. Yazd: 15th National Congress of Medical Education. Poster presentation; 2014.

38. Kahlor LA, Dudo A, Liang MC, Lazard AJ, AbiGhannam N. Ethics Information Seeking and Sharing Among Scientists: The Case of Nanotechnology. *Science Communication* 2016; 38(1): 74-98.

39. Van de Poel I, Robaey Z. Safe-by-Design: from Safety to Responsibility. *Nanoethics* 2017; 11(3): 297-306.

40. Jacobs JF, Van de Poel I, Osseweijer P. Sunscreens with Titanium Dioxide (TiO(2)) Nano-Particles: A Societal Experiment. *Nanoethics* 2010; 4(2): 103-113.

Archive of SID

www.SID.ir