

(مقاله مروری)

## اخلاق و فناوری نانو

محمد اسمعیلی آبدر<sup>1</sup>، دکتر علی احسان حیدری<sup>2\*</sup>

1. گروه فوریت‌های پزشکی، دانشکده پیراپزشکی دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

2. گروه پاتوبیولوژی، دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: 95/11/3، تاریخ پذیرش: 96/2/3)

### چکیده

**زمینه:** مواد نانو از خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای برخوردارند و به دلیل اثرات سطحی و اثرات مکانیکی کوانتوم به‌طور متفاوتی از سایر مواد عمل می‌کنند. خطر سمیت مواد نانو بعد از واکنش با دستگاه‌های بدن وجود دارد و میزان سمیت این مواد قابل پیش‌بینی نیست. با توجه به تأثیرگذاری این فناوری بسیار نوپا و بالقوه خطرناک در زندگی فردی و اجتماعی بشر و اثرات سوء احتمالی آن بر انسان، حیوان یا محیط ضرورت دارد جنبه‌های اخلاقی کاربرد این علم مورد مطالعه عمیق و دقیق قرارگیرد. بنابراین در این مقاله مسائل اخلاقی فناوری نانو مورد بحث قرار گرفته است.

**نتیجه‌گیری:** استفاده روزافزون از نانو مواد در سراسر دنیا و گسترش بسیار سریع کاربرد آن در پزشکی و عدم شناخت کامل از عملکرد آنها در بدن انسان و محیط زیست ایجاب می‌کند تا راهکارها و ضوابط اخلاقی بر نحوه ساخت، تولید و گسترش این مواد و کاربرد بالینی آنها تدوین شود تا از وقوع فجایع خطرناک بشری و زیست محیطی پیشگیری به‌عمل آید. اخذ مجوزهای لازم برای کاربرد بالینی نانو داروها باید مد نظر باشد، حتی اگر عوارض عمده‌ای از آنها در کوتاه مدت گزارش نشده باشد. رعایت اصل سودمندی در برابر عدم ضرر رسانی آنها برای انسان و دسترسی عادلانه و مساوی به داروهای نانو دارای مجوز برای همگان ضروری است.

**کلیدواژگان:** فناوری نانو، اخلاق، نانو دارو

### سرآغاز

فرایندهای طبیعی یا فعالیت‌های انسانی قرار دارد. با هر تنفس آنها استنشاق می‌شوند یا با نوشیدن مایعات وارد بدن می‌شوند. این ذرات شامل ویروس‌ها، نانوذرات تولید شده از طریق فرایندهای طبیعی یا فعالیت‌های انسانی هستند. در حقیقت، فناوری نانو با بدن انسان ناسازگاری ندارد زیرا سازوکارهای بدن انسان و فرایندهای یاخته‌ای در سطح و مقیاس نانو عمل می‌کنند. کاربرد این فناوری در تحقیقات پزشکی، انتقال داروها به یاخته‌های هدف در زمان‌های معین، تشخیص و درمان بیماری‌ها، ترمیم بافت‌ها و ساخت ابزارها رو به گسترش است (5). این مواد به‌طور معمول در هنگام ورود به خون با پروتئین‌های خون ترکیب شده و پاسخ دستگاه ایمنی را بر می‌انگیزند و اپسونیزه<sup>1</sup> می‌شوند. یاخته‌های منو نوکلئر بیگانه خوار

فناوری نانو به مجموعه‌ای بیش از یک فناوری اطلاق می‌شود که از طریق آن می‌توان ماده و خصوصیات آن را در سطوح مولکولی و اتمی تغییر داد. با کمک این فناوری، خصوصیات کمی و کیفی ماده در مقیاس یک نانومتر آرایش می‌یابد (1). نانواتم‌ها ساختارهای مولکولی با ابعاد بین 1 تا 100 نانومتر را در برمی‌گیرند (2). مواد نانو از خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای برخوردارند و به دلیل اثرات سطحی و اثرات مکانیکی کوانتوم به‌طور متفاوتی از سایر مواد عمل می‌کنند (3). این فناوری در دامنه وسیعی از جنبه‌های زندگی بشر از قبیل: پزشکی، محیط زیست، فناوری ارتباطات، کشاورزی و صنایع غذایی تأثیرگذار است (4). بشر پیوسته در معرض ذرات نانوی ناشی از

\* نویسنده مسؤول: نشانی الکترونیکی: aliehsan2001 @ yahoo.com

(7). هرچند فناوری نانو فرصتی را برای پیشرفت‌های پزشکی فراهم کرده است اما مشابه هر ذره طبیعی یا ساختگی دیگر، مواد نانو هم ممکن است قابلیت آلوده‌سازی هوا، آب و خاک را داشته باشند و برای اکوسیستم‌های زنده سمیت ایجاد نمایند (4). از اینرو این فناوری می‌تواند با اصل آسیب‌نرسان، که از اصول بنیادی - اعتقادی بقراط است در تضاد باشد (7).

خواص جدید موادی که در مقیاس نانو تهیه می‌شوند باید از نظر سمیت، قابلیت آسیب‌زایی و خطرناکی مورد توجه قرار گیرند (4) زیرا غربال‌گری‌های ایمنی مشخصی در این زمینه وجود ندارد. هر چند گزارش تأیید شده‌ای درباره مرگ یا آسیب‌های بزرگ همراه با استفاده از فناوری نانو نیز وجود ندارد (7).

با توجه به تأثیرگذاری این فناوری بسیارنوپا و بالقوه خطرناک در زندگی فردی و اجتماعی و نگرانی‌های عمده پدید آمده در خصوص محصولات مشتق از فناوری نانو و خطرات ناشی از آنها، بویژه اثرات سوء احتمالی بر انسان، حیوان یا محیط، ضرورت دارد جنبه‌های اخلاقی کاربرد این علم مورد مطالعه عمیق و دقیق قرار گیرد. بنابراین در این مقاله مسائل اخلاقی فناوری نانو مورد بحث قرار می‌گیرند.

### یافته‌های نانو در صنعت

عمده پژوهش‌های انجام شده در زمینه علم نانو بیانگر این است که فناوری نانو نقش حیاتی در زمینه علوم و صنایع غذایی از قبیل: تهیه، بسته‌بندی و نگهداری مواد غذایی ایفای کند (10) و تولید غذاهای سالم که یکی از نگرانی‌های جامعه امروزی است با استفاده از فناوری نانو در صنعت غذایی رونق گرفته است. مثلاً در فرایندی جهت قرار دادن نانومواد در پوشش‌های کپسولی<sup>2</sup> از نانو کپسول‌هایی استفاده شد که می‌توانند تأمین کننده ثبات، محافظت در برابر اکسیداسیون، مزه‌سازی، آزاد سازی کنترل شده مواد مغذی از طریق رطوبت و یا PH مواد غذایی باشند (9 و 10).

مواد نانو به‌عنوان حسگر در بررسی سمیت آب آشامیدنی، آلودگی‌های شیمیایی، زیست‌شناختی یا عوامل باکتریایی موجود در آن و نیز احیای خاک و بهبود محصولات کشاورزی در

آنها را بلعیده و از خون حذف می‌کنند. بدین ترتیب هدف درمانی و فعالیت زیستی آنها مختل می‌شود. در تلاش برای غلبه بر پاسخ دستگاه ایمنی بدن و جلوگیری از این اتفاق، فنون متعددی ابداع شده است. بخش عمده‌ای از این فنون بر اصلاح خواص سطحی نانوداروها با استفاده از پلی‌مرهای مختلف از جمله پلی‌اتیلن گلیکول استوار است، تا از اپسونیزاسیون و حذف آنها از طریق بیگانه‌خواری جلوگیری کنند (6). از سوی دیگر با گسترش استفاده از فناوری نانو، نگرانی درباره اثرات ناشناخته این فناوری روی سلامتی بشر و محیط زیست افزایش یافته (7) و خطر سمیت مواد نانو بعد از واکنش با دستگاه‌های بدن مطرح شده است (6). سمیت این مواد قابل پیش‌بینی نیست، زیرا سمیت مواد در سطح ماکرومولکولی نمی‌تواند بیانگر میزان سمیت آنها در مقیاس نانو باشد (1). در حال حاضر بیش از 800 محصول مورد استفاده در زندگی روزمره انسان‌ها از قبیل راکت تیس، چمدان، تایر، عینک، شامپو، کرم و لوازم آرایشی از مواد نانو ساخته شده‌اند و هنوز آثار سوء تماس با آنها به‌طور دقیق روشن نیست. این ابهامات چالش‌هایی در خصوص فناوری نانو مطرح می‌سازد. میزان سازش‌پذیری زیستی، نحوه توزیع زیست محیطی و معیارهای تولید ذرات نانو برای حفاظت از محیط بزرگترین نگرانی را در وضع معیار و آیین‌نامه‌های تولید ذرات نانو ایجاد کرده است (7 و 8). طیف وسیعی از مواد نانو بر پایه ترکیبات آلی، غیرآلی، لیپیدی، گلیکان و پلیمرهای صنعتی برای ساخت و توسعه درمان‌های جدید ضد سرطان به‌کار گرفته شده‌اند و حوزه جدیدی برای ساخت نانو داروها، گسترش درمان و تشخیص برخی از بیماری‌ها پدید آورده است (9). از طرفی خطرات همراه با کاربرد نظامی و تروریستی فناوری نانو و نانو داروها نیز قابل تأمل بوده و می‌تواند پدیده‌ای مهم و قابل توجه در آینده باشد. نکته دیگر در این زمینه، کاربرد نانوداروهای شخصی‌سازی شده است که فقط افراد خاصی به آنها دسترسی دارند و در دسترس عموم افراد نیازمند جامعه قرار ندارند. این مسئله سؤالات اخلاقی در خصوص اصل خودمختاری و عدالت را مطرح می‌سازد. سؤالات اخلاقی مطرح شده در مورد نانو داروها مربوط به همان چهار اصل پایه اخلاق پزشکی شامل: اصول سودمندی، عدم ضرررسانی، احترام گذاشتن و عدالت است

بیماری های عفونی ویروسی، باکتریایی و انگلی در دست تهیه و ساخت قرار دارند (6).

### کاربرد نانو دارو در درمان سرطان:

در حال حاضر نانو داروهای لیپوزومی (جدول 1) جهت درمان انواع سرطان ها مجوز ایمنی و بی خطری دریافت کرده اند و به صورت گسترده ای در درمان سرطان های پستان، تخمدان، دستگاه عصبی مرکزی<sup>5</sup> و سرطان های کودکان و بسیاری از موارد دیگر به کار می روند. نخستین مرحله از کاربرد نانودارو در بالین در میدگاس<sup>6</sup> با مجوز رسمی کاربرد دو داروی کپسول شده لیپوزومی در اروپا و آمریکا اتفاق افتاد. این داروها شامل: داروی ضد سرطانی دکسوروبیسین و داروی ضد قارچی آمفوتریسین بی<sup>7</sup> است که به طور گسترده در بخش های سرطان شناسی کاربرد دارند. با تزریق این داروها به داخل جریان خون، آنها در توده های سرطانی خاصی تجمع یافته و با افزایش اثر موضعی بر روی بافت سرطانی عمل می کنند و باعث کاهش عوارض جانبی ناخواسته ناشی از تأثیر و تجمع دارو در بافت های سالم می شوند (7). در حال حاضر نانو ترکیبات اکسید آهن مگنتیک با گواهی تأیید در سال 2010 از کشور آلمان و بعضی از کشورهای اروپایی، در درمان سرطان مغزی کشنده ای به نام گلیوبلاستوما چند شکلی به کار می روند (6 و 7).

مراحل تولید و همچنین به عنوان رادیکال های آزاد در پاکسازی محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته اند (4).

در صنعت دارویی نانو لیپوزوم ها با داشتن اجزایی مثل: مواد مغذی، آنزیم ها، ویتامین ها، مواد ضد میکروبی و مواد افزودنی به عنوان یکی از حمل کننده های نانوکپسولی در کنترل و تحویل مقدار مشخصی از مواد دارویی به داخل بافت ها نقش دارند (10).

### کاربرد ذرات نانو در تشخیص بیماری ها

به منظور تشخیص دقیق و زودرس بیماری ها، ذرات نانو مد نظر قرار گرفته اند. سازوکار روش های تشخیصی نانو بر این اصل استوار است که ذرات نانو نشان دار شده یا پروب ها به مولکول های زیستی هدف از قبیل: دی.ان.ا<sup>3</sup>، آر.ان.ا<sup>4</sup>، پروتئین ها و آنتی ژن ها به صورت انتخابی اتصال می یابند و متعاقب اتصال به مولکول هدف، مشخصه مولکول زیستی هدف سنجیده می شود (6). همچنین نانو چیپس ها برای تشخیص اولیه اختلالات و هشدار به بیماران در هنگام احتمال وقوع یک وضعیت تهدید کننده به کار گرفته شده اند (11). انتظار می رود روش های تشخیصی با پایه نانو بر میزان حساسیت تشخیصی، اعتبار، اعتماد و ارزانی آنها بیافزاید. این روش ها می توانند دی.ان.ا و پروتئین های سطحی یاخته های سرطانی را در مقادیر بسیار اندک و حتی در حد یک یاخته در خون شناسایی کنند. نانو ابزارهای تشخیصی جهت شناسایی دیابت و بسیاری از

### جدول 1: فراورده های دارویی لیپوزومال مورد تأیید سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) و کاربرد درمانی آنها

(12 و 13)

نام دارو	نحوه تجویز	نام تجاری	موارد کاربرد
آمفوتریسین B لیپوزومی	وریدی	Ambisome	عفونت های شدید قارچی
آمفوتریسین B مجموعه لیپیدی	وریدی	Abelcet	عفونت های شدید قارچی
سیتراپین لیپوزومی	نخاعی	Depocyt	منژیت نئوپلاستیک و منژیت لنفوماتوز
سولفات مورفون لیپوزومی	ایپیدورال	DepoDur	درد
داکسوروبیسین لیپوزومی	وریدی	Doxil	سارکوما کاپوسی، سرطان سینه و تخمدان
ویروس غیرفعال شده هپاتیت A	عضلانی	Epaxal	هپاتیت A

عضلانی	Inflexal	آنفولانزا
همانگولوتین و ویروس آنفولانزای غیرفعال شده لیپوزومی		
وین کریستین لیپوزومی	Marqibo	لوسمی حاد لنفوپلاستیک
دانوروبیسین لیپوزومی	DaunoXome	سارکوما کاپوزی
آرینوتکان	OniVyde	سرطان پیشرفته پانکراس

در اولین مرحله بررسی اثر نانو مواد برای درمان سرطان، در دانشگاه چارپته برلین، ذرات نانو آمینو سیلان با پوشش اکسید آهن در محیط آبی (نوعی مایع مغناطیسی) مستقیماً به داخل تومور بدخیم تزریق شد و بافت توموری را به گونه ای تغییر داد که با تولید حرارت، دمای بافت به بالای 40 و حتی 45 درجه سانتیگراد افزایش یافت و یاخته های سرطانی را تخریب یا تضعیف کرد (9). این گرما عملکرد بسیاری از ترکیبات، آنزیم ها و پروتئین های داخل یاخته را تغییر می دهد و باعث افزایش حساسیت یاخته های سرطانی در برابر شیمی درمانی و یا رادیوتراپی می شود و تخریب آنها را تسریع می سازد و همچنین حرارت بالا به طور مستقیم اثرات سمی ایجاد کرده و باعث اضمحلال، انعقاد و یا کربنه شدن یاخته ها و نابودی آنها می شود (14). در سال های اخیر حدود 130 بررسی بالینی چند عاملی شامل داروهای لیپوزومی با هم و با سایر عوامل مشابه انجام شده (7) و تحقیقات بسیاری هم در برون تنی<sup>8</sup> و هم در درون تنی<sup>9</sup> بر کارایی نانو داروها در درمان سرطان صحه گذاشته اند.

سازوکار تحویل دارو به بافت سرطانی از دو طریق فعال و غیرفعال صورت می گیرد. در هدف گیری غیرفعال، نحوه عملکرد دارو ثابت بوده و علاوه بر تجمع در بافت هدف، در بافت های اطراف نیز انباشته می شود. ولی در روش هدف گیری فعال، دارو در پوسته ای از نانو ذرات قرار می گیرد. این پوسته ترکیبات دارویی خود را زمانی آزاد می کند که در برابر یاخته های هدف یعنی همان یاخته های سرطانی قرار گیرد. با اتصال پوسته به یاخته سرطانی، ماده دارویی به یاخته راه می یابد و یاخته سرطانی از بین می رود. شناسایی یاخته های سرطانی از طریق پروتئین های سطحی شان صورت می گیرد. زیرا این پروتئین ها در سطح یاخته های طبیعی وجود ندارند. این سیستم آزاد سازی،

### کاربرد نانو دارو در سایر بیماری ها

پژوهشگران ایرانی موفق به طراحی و ساخت نانوحسگری شدند که قادر است ویروس هیپاتیت C را در بدن با سرعت و گزینش پذیری بالایی نسبت به روش های معمول شناسایی کند. استفاده از این نانوحسگر منجر به کاهش هزینه های مربوط به فرایند تشخیص این بیماری می شود. از سوی دیگر تشخیص زود هنگام

در موش‌های نر نیمه عمر مواد نانو C60 در ریه بیش از دو برابر نیمه عمر C60 میکرو بود (60 روز در گروه نانو در برابر 27 روز در گروه میکرو). اطلاعات بدست آمده از این بافت ها، به پیش‌بینی میزان سمیت این ذرات کمک می‌کند (18). در تحقیقی که در سال 2013 در خصوص خطرات احتمالی تجویز داروها از طریق ریوی انجام شد، چالش‌هایی در ارزیابی رفتارهای بعد از تجویز داروهای استنشاقی مانند: رسوب ذرات در قسمت‌های مختلف راه هوایی، واکنش مایعات ریوی و عبور مواد از غشاهای ریوی و ورود به خون مطرح شد (19).

هر چند کشورهای آمریکا و ژاپن برنامه ملی سم‌شناسی را جهت شناخت تأثیرات بوم‌شناختی نانو مواد مهندسی شده اختصاصی از قبیل: ذرات کوانتومی، نانو لوله‌های کربنی و دی‌اکسید تیتانیوم و نیز بررسی اثر آنها بر سلامتی انسان اجرا کرده‌اند (20)، اما چنین استنباط می‌شود که هنوز مطالعات کافی درباره مواجهه تدریجی و تجمع مواد نانو در بدن انجام نشده است و با توجه به این که بسیاری از عوارض احتمالی آنها ممکن است در دراز مدت پدید آیند، برای کاهش خطرات احتمالی نه تن‌ها ضروری است که همه نکات اخلاقی و احتیاطی در استفاده از نانو مواد مد نظر قرار گیرد بلکه تهیه مواد اولیه برای ساخت نانو مواد، بایستی با در نظر گرفتن عواملی نظیر زیست‌سازگاری بالا، عدم سمیت و قابلیت دفع انتخاب و به کار روند (17).

### نگرانی‌های اخلاقی در کاربرد مواد نانو

علی‌رغم اینکه آژانس‌های معتبری مثل: انجمن غذا و داروی آمریکا<sup>10</sup> و آژانس دارویی اروپا<sup>11</sup> اجازه استفاده از بعضی از فرآورده‌های نانو دارویی را در درمان سرطان تأیید کرده‌اند اما هنوز خطوط راهنمای اختصاصی برای کاربرد داروهای حاوی نانومواد را ارائه نداده‌اند. در غیاب شواهد و راهنماهای لازم، اتخاذ تصمیم در خصوص نقش‌های درمانی نانو داروها فقط بر پایه بررسی‌های انفرادی از فواید و مضرات این نانوداروها انجام می‌پذیرد. به هر حال این فرایندها زمان‌بر هستند و می‌توانند تولیدات نانودارویی را به تعویق اندازند. بنابراین نیاز فوری و

این ویروس خطرناک می‌تواند شانس درمان آن را افزایش دهد (15) و در پژوهشی دیگر در ایران اثر نانوالحاقی هپاتیت سی، جهت افزایش سطح ایمنی حاصل از واکسن هپاتیت بی ارزیابی شد. این پژوهش نشان داد نانوادجوانت جدید با ویژگی‌های منحصر به فرد خود توانسته است سیستم ایمنی هومورال و یاخته‌ای را تحریک نماید و پاسخ ایمنی به واکسن هپاتیت بی را بهبود ببخشد (16).

کاربرد فناوری نانو در درمان بیماری‌های عفونی از قبیل ایدز اهمیت پیدا کرده است. بر اساس قابلیت طراحی سیستم‌های مبتنی بر نانو مواد که می‌توانند رهایش داروها را کنترل کنند و سمیت و عوارض جانبی ناشی از سوخت و ساز سریع دارو را کاهش دهند و یا داروها را به‌صورت هدفمند به یاخته‌ها و بافت‌ها و مکان‌های مورد نظر هدایت کنند، امیدهای زیادی برای پیشگیری و درمان این بیماری‌ها در ده سال آینده با سیستم‌های نوین دارورسانی پدید آمده است (17). حتی سیستم‌های کاشتنی تحویل دارو به‌صورت نانو تراشه و نانو چیپس‌های حاوی ذرات بسیار ریز دارویی با توانایی آزاد سازی تدریجی دارو و بر اساس میزان نیاز به آن ساخته شده‌اند (11). از سوی دیگر تلاش برای انتقال هدفمند دارو (نگاره 1) به یاخته‌های ویروسی شده و یا آسیب دیده مغز در اثر آلزایمر و پارکینسون نیز ادامه دارد (6).

### عوارض احتمالی کاربرد مواد نانو

در تحقیقی کاربرد نانو مواد با اندازه‌های مختلف بر روی رت بررسی شد. یک گروه از رت‌ها به مدت 90 روز در معرض استنشاق مواد نانوی کبالت 60 (C60) با اندازه 50 نانومتر (ذرات نانو) با غلظت‌های 0/5 و 2 میلی‌گرم بر مترمکعب و گروه دیگر طی همین مدت در معرض استنشاق ذرات C60 با اندازه یک میکرومتر (ذرات میکرو) با غلظت 2 و 15 و 30 میلی‌گرم بر متر مکعب قرار گرفتند. سپس بافت‌های ریوی و سایر قسمت‌های بدن آنها بررسی شدند، در مجموع تراکم ریوی ذرات نانو کبالت 60 نسبت به ذرات میکرو در غلظت متداول 2 میلی‌گرم بر متر مکعب در هر دو گونه بیشتر بود. از سوی دیگر

ماکرومواد مشکل تر است (8). چالش اساسی در مورد کاربرد این نانوذرات، خطرات احتمالی ناشناخته آنها بر سلامت انسان و محیط زیست است (9).

### اصل سودمندی در برابر ضرر رسانی

بزرگترین خطر در نانو داروها می‌تواند در زمینه محاسبه اصل سودمندی در برابر عدم ضرر رسانی آنها برای اجتماع باشد. در باور عمومی، دانشمندان و مخترعان در زمینه تحقیقات آزادی عمل زیادی دارند و از جواب‌گویی‌های سیاسی و اخلاقی رها پنداشته شده‌اند. با این رویکرد مسئولیت دانشمندان برای تولید علوم قابل قبول در برابر مسئولیت‌های وسیع اخلاقی آنها نسبت به جامعه دچار چالش می‌شود. از اینرو تحقیق در زمینه فناوری و علوم ایجاب می‌کند تا درک مسئولیت بر این مبنا شکل گیرد که علوم و فناوری‌ها نه تنها فنی هستند بلکه با مسائل اجتماعی و بهداشتی جامعه نیز ارتباط دارند (21). بنابراین ارزیابی خطر استفاده از فناوری‌های جدید روی محیط زیست و انسان با همان ملاحظات اخلاقی زیست پزشکی و اصل سودمندی در برابر عدم ضرر رسانی که بزرگترین چالش نانوداروها در نانو پزشکی است بایستی مد نظر قرار گیرد (7 و 22 و 23).

رابطه بین علوم و اخلاق دارای تاریخچه‌ای طولانی و مستمر است و فناوری نانو نیز از این ارتباط مستثنی نیست (22 و 23). از نیمه دوم قرن بیستم، علوم و اختراعات به‌طور فزاینده‌ای با قوانین تحقیقاتی گره خورده و رسمیت پیدا کرده است. مزایا و مضرات قدرت فناوری برای تولید شفاف‌تر شده‌اند. نگرانی‌ها در خصوص مسئولیت‌ها افزایش پیدا کرده و عقاید دانشمندان از تمامیت و بی‌نقصی تحقیقات به سمت مسئولیت‌پذیری در خصوص نگرانی‌های جامعه تغییر یافته است (21). اخلاق زیستی جهت بررسی مسائل فلسفی و اخلاقی ناشی از پیشرفت‌های پزشکی و علمی پدید آمده و اهداف اخلاقی اولیه در قالب تعادل بین خطر و سودمندی (ضرر/فایده) محصولات متمرکز شده است (7). از نظر تاریخی محصولات تولید شده از طریق دستکاری ژنتیکی و با استفاده از فناوری زیستی با استقبال مردم در سراسر جهان مواجه نشدند و اکنون مشخص

اختصاصی برای ترسیم خطوط راهنمای استفاده از مواد نانو برای تشخیص و درمان بیماری‌ها و کنترل کیفیت آنها وجود دارد (8). مرکز مسئولیت‌پذیری فناوری نانو کانادا<sup>12</sup> به علت نگرانی درباره خطرات احتمالی نانو مواد بر سلامتی، بهداشت و محیط زیست در دراز مدت خواستار تدوین آیین‌نامه قوی و محکمی در زمینه کاربرد نانومواد شده‌اند و بر این اعتقادند که نانو مواد باید خطرآفرین در نظر گرفته شوند تا زمانی که خلاف آن ثابت شود (8). آنها نگران هستند نانومواد ممکن است طیف جدیدی از آلودگی‌هایی ایجاد کنند که هنوز اطلاعات علمی اندکی در خصوص آنها وجود دارد. در علم اخلاق، فناوری نانو به‌عنوان یک موضوع بسیار پیچیده و دارای جوانب مختلف مطرح است در عین حال ناسازگاری‌های اخلاقی این فناوری در حد مختصر بیان شده و تا کنون فقط تجزیه و تحلیل‌های بسیار اندک و حداقلی در رابطه با کاربرد علمی فناوری نانو منتشر شده است (14).

نگرانی و دغدغه‌ها در خصوص نانو مواد به دو بخش تقسیم می‌شود: از یک سو دستیابی به پیشرفت‌های سریع و وسیع در فناوری نانو خصوصاً در زمینه پزشکی مورد انتظار است و از سوی دیگر این نگرانی وجود دارد که قدرت هسته‌ای و ژنتیکی این مواد به همان اندازه که مفیدند خطرآفرین باشند و واکنش‌های زیان‌آور و دردناک ایجاد کنند و یا نوعی مسمومیت پدید آورند (10). چندین عامل در خصوص سمیت نانو مواد مثل اندازه، شکل، سطح مقطع، وزن، تخلخل یا اثر آب‌گریزی (هیدروفوبیک) و عدم توانایی ترکیب با آب دخالت دارند. مسمومیت حاد در اثر نانو داروها، به علت واکنش‌های جانبی، همولیز، التهاب، استرس‌های اکسیداتیو یا اختلال در عملکرد میتوکندری رخ می‌دهد. اما تحلیل مسمومیت مزمن در اثر این مواد سخت و طاقت فرسا بوده و اطلاعات جمع‌آوری شده به‌طور گسترده‌ای یا نادیده گرفته می‌شوند یا به سایر عوامل نسبت داده شده‌اند. این چالش‌ها، رفتار و کارایی داروهای نانو را تحت تأثیر قرار داده و باعث ایجاد وجه مشترک بین نانوفناوری و زیست‌فناوری می‌شود و بر ضرورت ایجاد یک محیط تحقیقاتی برای بررسی اورژانس‌های مسمومیت ناشی از مواد نانو<sup>13</sup> تأکید دارد زیرا سمیت ناشی از نانو مواد در مقایسه با

اطلاعات پزشکی افراد بر روی یک تراشه رایانه‌ای جهت تسهیل تشخیص‌های پزشکی و غربالگری، خطر رمز گشایی از وضعیت ژنتیکی جوامع انسانی را فراهم می‌سازد. در این جا این سوال مطرح می‌شود: چه کسانی مجازند به اطلاعات و پرونده‌های پزشکی دسترسی داشته باشند؟ مستخدمین؟ شرکت‌های بیمه‌ای؟ و یا سایرین؟ (20)

یکی از صاحب‌نظران در مطالعه‌ای به چهار رکن اساسی و اولیه اخلاق (خودمختاری<sup>15</sup>، سودمندی<sup>16</sup>، نازیانمندی<sup>17</sup> و برابری<sup>18</sup>) و مدنظر سازمان جهانی بهداشت<sup>19</sup> اشاره کرده‌اند و اعلام داشته‌اند پیشرفت‌ها و دستاوردهای علمی زمانی می‌توانند مورد پذیرش قرار گیرند که براساس این چهار اصل بنا شده باشند (25).

نتایج تحقیق دیگری نشان داده است در صورتی که جنبه‌های اخلاقی، حقوقی، اجتماعی و سیاسی نانو فناوری موازی با جنبه علمی آن توسعه پیدا نکند، این زمینه از علم با خطراتی جدی مواجه خواهد شد (26). از سوی دیگر پیشرفت در فناوری و کاربرد آن نباید باعث خدشه دار شدن انسانیت و حقوق افراد شود (27).

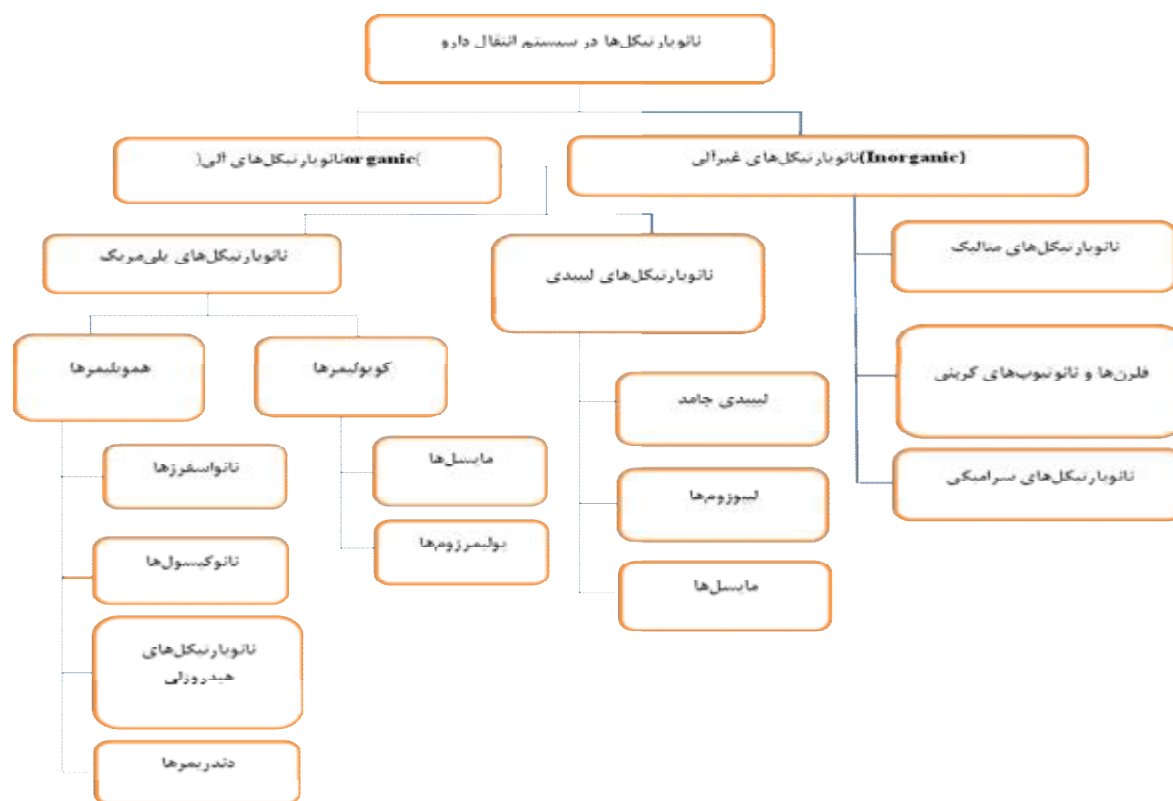
شده قسمت اعظم سؤالات پدید آمده در خصوص فناوری نانو به خاطر واکنش عموم جامعه به محصولات ژنتیکی دستکاری شده در فناوری زیستی بوده است (24).

### اصل تساوی حقوق و توزیع عادلانه

جهش در پیشرفت علم پزشکی در اثر فناوری نانو، سؤالاتی در خصوص نحوه دسترسی همگانی به درمان‌ها یعنی اصل تساوی حقوق و توزیع عادلانه را مطرح می‌کند. برای مثال پیشرفت درمانی در زمینه ارسال دارو به بافت‌های هدف در سرطان باعث شده فقط بیماران ثروتمند قادر به استفاده از این امکان جدید باشند (18). داروهای جدید ساخته شده در زمینه پیشگیری از ایدز<sup>14</sup> نیاز به توسعه جهانی دارند تا همه نیازمندان توانایی دسترسی به آنها را پیدا کنند.

### اصل حفظ اسرار و محرمانگی

نظارت و مراقبت پزشکی از اطلاعات بیماران از اهداف اخلاقی و مبتنی بر اصل محرمانگی و حفاظت اطلاعات است. قرار دادن



نگاره 1: تقسیم‌بندی نانو حامل‌های دارویی در سیستم انتقال دارو برحسب ماهیت آنها (28)

## نتیجه گیری

استفاده روز افزون نانو مواد در سراسر دنیا و گسترش بسیار سریع کاربرد آن در پزشکی، ایجاب می کند که متخصصین علم اخلاق راه کارهایی ارائه دهند تا هم باعث تشویق محققان و مخترعان برای مطالعه نانو مواد و انجام تحقیقات بالینی روی نانوداروها شوند و هم نگرانی های اخلاقی و اجتماعی مترتب بر آن را در نظر بگیرند. ارائه راهکارهای نظارتی در خصوص اختراعات نانوپزشکی بایستی جدی و جامع بوده و نگرشی کلی به تمام جنبه های تولید و کاربرد این مواد داشته باشند تا ضمن پیشرفت های مؤثر، منجر به رفع خطرات زیست محیطی فناوری نانو شود. اخذ مجوزهای لازم برای کاربرد بالینی نانو داروها باید مد نظر باشد، حتی اگر عوارض عمده ای از آنها در کوتاه مدت گزارش نشده باشد. به دلیل رفتار غیرقابل پیش بینی ساختارهای نانو نسبت به اشکال اولیه و قابل دسترس آن در طبیعت و عدم شناخت کامل از عملکرد آنها در محیط های زیستی، لازم است این فراورده ها ابتدا در محیط های دانشگاهی و تحقیقاتی بررسی شوند و راهکارها و ضوابط اخلاقی بر نحوه ساخت، تولید و گسترش آنها در محیط های آزمایشگاهی، صنعتی، کشاورزی و یا کاربرد بالینی آنها تدوین شود تا بدین طریق از وقوع فجایع خطرناک بشری و زیست محیطی پیشگیری شود.

ملاحظه های اخلاقی: نویسندگان این مقاله متعهد می شوند که در این مقاله با معرفی منابع مورد استفاده اصل اخلاقی امانت داری علمی رعایت و حق معنوی نویسندگان آثار مورد اشاره محترم شمرده شده است.

## ملاحظه های اخلاقی

در این پژوهش با معرفی منابع مورد استفاده، اصل اخلاقی امانت داری علمی رعایت و حق معنوی مؤلفین آثار محترم شمرده شده است.

## واژه نامه

- |                                                                |                                       |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Eponization                                                 | اپسونیزاسیون                          |
| 2. Nano Capsolation                                            | پوشش های کپسولی                       |
| 3. DNA (Deoxyribonucleic Acid)                                 | دی.ان.آ                               |
| 4. RNA (Ribonucleic acid)                                      | آر.ان.آ                               |
| 5. CNS (Central Nerve System)                                  | سیستم عصبی مرکزی                      |
| 6. MID- GAS                                                    | میدگاس                                |
| 7. Amphotericin B                                              | آمفوتریسین بی                         |
| 8. In Vitro                                                    | برون تنی                              |
| 9. In Vivo                                                     | درون تنی                              |
| 10. FDA (Food and Drug Administration)                         | انجمن غذا و داروی آمریکا              |
| 11. EMA (European Medicines Agency)                            | آژانس دارویی اروپا                    |
| 12. ETC (Action Group On Erosion Technology and Concentration) | مرکز مسئولیت پذیری فناوری نانو کانادا |
| 13. Nano Toxicology                                            | مسمومیت ناشی از مواد نانو             |
| 14. HIV (Human Immunodeficiency Virus)                         | ویروس نقص ایمنی انسان (ویروس ایدز)    |
| 15. Autonomy                                                   | خودمختاری                             |
| 16. Beneficence                                                | سودمندی                               |
| 17. Non maleficence                                            | نازیانمندی                            |
| 18. Justice                                                    | برابری                                |
| 19. WHO (World Health Organization)                            | سازمان جهانی بهداشت                   |

## Reference

- Gokcay B, Arda B. (2015). Nano technology, Nano medicine; ethical aspects: Revista Romana de Bioetica; 13(3): 1-12.
- Arina M. (2014). Strategy for the future in terms of research and development in the field of Nano and micro-technology. Procedia Technology; 12: 283-288.

15. Akram Valipour, Mahmoud Roushani (2017). Using silver nanoparticle and thiol graphene quantum dots Nano-composite as a substratum to load antibody for detection of hepatitis C virus core antigen: Electrochemical oxidation of riboflavin was used as redox probe. *Biosensors and Bioelectronics*; 89(2): 946-951.
16. Fakharzadeh S, Kalanaky S, Hafizi M, Goya MM, Masoumi Z, Namaki S, et al. (2013). The new Nano-complex, Hep-c, improves the immunogenicity of the hepatitis B vaccine. *Vaccine*; 31(22): 2591-2597.
17. Sharif Sheikholeslami, Mohraz M. (2015). Nano-medicine in the therapy of infectious diseases (AIDS). Tehran/ Avicenna Research Institute: 1<sup>st</sup> Seminar on Nano-medicine in Incurable Diseases. (In Persian).
18. Sayers BC, Walker NJ, Roycroft JH, Germolec DR, Baker GL, Clark ML, et al. (2016). Lung deposition and clearance of micro particle and nanoparticle C 60 fullerene aggregates in B6C3F1 mice and Wistar Han rats following nose-only inhalation for 13 weeks. *Toxicology*; 339: 87-96.
19. Nahar K, Gupta N, Gauvin R, Absar S, Patel B, Gupta V, et al. (2013). In vitro, in vivo and ex vivo models for studding particle deposition and drug absorption of inhaled pharmaceuticals. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*; 49: 805- 818.
20. Hiroyuki Matsushima, Matsushima H, Nagata M, Katsuki Y, Ota I, Miyake K, et al. (2015). Decreased visual acuity resulting from glistening and sub- surface Nano- glistening formation in intraocular lenses: A retrospective analysis of 5 cases. *Saudi Journal of Ophthalmology*; 29: 259-263.
21. Stilgoe J, Owen R, Macnaghten P. (2013): Developing a framework for responsible innovation. *Research Policy*; 42: 1568- 1580.
22. Deborah G. Johnson. (2010): The role of ethics in science and engineering. *Trend in Biotechnology*; 28(12): 589-590.
23. Heidari AE, Keshavarz H, Sepehr MN. (2012). Review of medical ethics in Avicenna's book Canon of medicine. *Iranian Journal of Medical Ethics and History of Medicine*; 5(5): 66-75 (In Persian).
3. Hansen SF, Gee D. (2014). Adequate and anticipatory research on the potential hazards of emerging technologies: a case of myopia and inertia. *Journal of Epidemiology and Community Health*; 68: 890- 895.
4. Farnia P, Abbasi M, Velayati A. (2016). Nanotechnology and its ethical consequences. *Bioethics Journal*; 1(2): 147-57 (In Persian).
5. Heidari A. (2007). Ethics issues in nanotechnology. *Ethics in Science and Technology*; 3(4); 23-30 (In Persian).
6. Sweeney AE. (2015). Nano-medicine concepts in the general medical curriculum; initiating a discussion. *International Journal of Nano-Medicine*; 10: 7319-7331.
7. Hall RM, Sun T, Ferrari M. (2012). A portrait of Nano-medicine and its bioethical implications. *The Journal of Law, Medicine & Ethics*; 40(4): 763-79.
8. Andreas Wicki, Dominik Witzigmann, Wimal kumar Balasu bramanian, JorgHuwyler J. (2015). Nano-medicine in cancer therapy: challenges, opportunities, and clinical applications. *Journal of Controlled Release*; 200: 138-157.
9. Heidari AE. (2015). Nano-medicine in the therapy of diseases: Concerns and ethical issues. Tehran/Avicenna Research Institute: 1<sup>st</sup> Seminar on Nano-medicine in Incurable Diseases. (In Persian).
10. Pradhan N, Singh S, Ojha N, Shrivastava A, Barla A, Rai V, Bose S. (2015). Facets of Nano-technology as seen in food processing, packaging, and preservation industry. *Bio Med Research International*; 2015: 1-17.
11. Celine Kermish. (2012). Do new ethical issues arise at each stage of Nano-technological development? *Nano-Ethics*; 6: 29- 37.
12. Zylberberg C, Matosevic S. (2016). Pharmaceutical liposomal drug delivery: a review of new delivery systems and a look at the regulatory landscape. *Drug Delivery*; 23(9):3319-29.
13. Li Z, Tan S, Li S, Shen Q, Wang K. (2017). Cancer drug delivery in the Nano era: An overview and perspectives. *Oncology Reports*; 38(2):611-24.
14. Sabine Muller. (2009). Magnetic fluid hyperthermia therapy for malignant brain tumors: an ethical discussion. *Nano-medicine, Nano-technology, Biology, and Medicine*; 5: 387- 393.

26. Hossini SM, Eghbali M, Bonyadi A, GHazi Nori SS. (2015). The relationship between science and ethics in Nano-technology. *Ethics in Science and Technology*; 9(1): 1-11. (In Persian).
27. Khanahmady M, Farhud D, Ranjbar B, Malmir M. (2016). Ethics in convergence of science and technology. *Ethics in Science and Technology*; 11 (2): 1-10. (In Persian).
28. Arias JL. (2014). *Nanotechnology and drug delivery: Nano platforms in drug delivery*. USA: Taylor and Francis Publication.
24. Patenaude J, Patenaude J, Legault GA, Beauvais J, Bernier L, Béland JP, et al. (2015). Framework for the analysis of nanotechnologies' impacts and ethical acceptability: basis of an interdisciplinary approach to assessing novel technologies. *Science and Engineering Ethics*; 21(2): 293-315.
25. Farhud D. (2015). Governance of ethics in medical genetics. *Ethics in Science and Technology*; 9(1): 1- 15. (In Persian).