(مقالهٔ مروری)

اخلاق و فنّاوری نانو

محمد اسمعیلی‌آبدر[1]، دکتر علی‌احسان حیدری[2*]

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 به‌دلیل 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 فنّاوری 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 فنّاوری نانو مورد بحث قرارگرفته است.

نتیجه‌گیری: استفاده روزافزون از نانو مواد در سراسر دنیا و گسترش بسیار سریع کاربرد آن در پزشکی و عدم شناخت کامل ازعملکرد 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 تااز 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: *فنّاوری نانو، اخلاق، نانو دارو*

سرآغاز

فنّاوری نانو به مجموعه‌ای بیش از یک فنّاوری اطلاق می‌شود که از طریق آن می‌توان ماده و خصوصیات آن را در سطوح مولکولی و اتمی تغییر داد. با کمک این فنّاوری، خصوصیات کمی وکیفی ماده در مقیاس یک نانومتر آرایش می یابد (1). نانواتم‌ها ساختارهای مولکولی با ابعاد یبین1 تا100 نانومتر را در برمی‌گیرند (2).مواد نانواز خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای برخوردارند و به دلیل اثرات سطحی و اثرات مکانیکی کوانتوم به طور متفاوتی از سایر مواد عمل می کنند (3).این فنّاوری در دامنه وسیعی ازجنبه های زندگی بشراز قبیل : پزشکی، محیط زیست، فنّاوری ارتباطات، کشاورزی و صنایع غذایی تأثیرگذاراست (4). بشر پیوسته در معرض ذرات نانوی ناشی از فرایندهای طبیعی یا فعالیت‌های انسانی قرار دارد. با هر تنفس آنها استنشاق می‌شوند یا با نوشیدن مایعات وارد بدن می‌شوند. این ذرات شامل ویروس ها، نانوذرات تولید شده از طریق فرایندهای طبیعی یا فعالیت‌های انسانی هستند.در حقیقت، فنّاوری نانو با بدن انسان ناسازگاری ندارد زیرا سازوکارهای بدن انسان و فرایندهای یاخته‌ای در سطح و مقیاس نانو عمل می‌کنند. کاربرداین فنّاوری 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[1]می‌شوند. یاخته‌های منو نوکلئر بیگانه خوار

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

[Downloaded from www.ethicsjournal.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.22517634.1397.13.2.3.7]

آنها را بلعیده و از خون حذف می‌کنند. بدین‌ترتیب 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 عمده ایی از این فنون بر اصلاح خواص سطحی نانوداروها با استفاده از پلی‌مرهای مختلف از جمله پلی اتیلن گلیکول استواراست، تا از اپسونیزاسیون و حذف آنها از طریق بیگانه خواری جلوگیری کنند (6). از سوی دیگر با گسترش استفاده از فنّاوری نانو، نگرانی درباره اثرات ناشناخته این فنّاوری 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 نمی تواند بیانگر میزان سمیت آنها در مقیاس نانو باشد (1).در حال حاضر بیش از 800 محصول مورد استفاده در زندگی روزمره انسان ها از قبیل راکت تنیس، 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 فنّاوری نانو مطرح می سازد. 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 (7و8). طیف وسیعی از مواد نانو بر پایه ترکیبات آلی، غیرآلی، لیپیدی، گلیکان و پلیمرهای صناعی برای ساخت و توسعه درمان‌های جدید ضد سرطان به‌کار گرفته شده اند و حوزه جدیدی برای ساخت نانو داروها، گسترش درمان و تشخیص برخی از بیماری ها پدید آورده است (9). از طرفی خطرات همراه با کاربرد نظامی و تروریستی فنّاوری 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 شخصی سازی 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 (7). هرچند فنّاوری 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 فنّاوری 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 نظرسمیت، قابلیت آسیب زایی وخطرناکی مورد توجه قرار گیرند (4) زیرا غربال‌گری های ایمنی مشخصی در این زمینه وجود ندارد. هر چند گزارش تأیید شده‌ای درباره مرگ یا آسیب‌های بزرگ همراه با استفاده از فنّاوری نانونیز 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 فنّاوری نانو و خطرات ناشی از آنها، بویژه اثرات سوء احتمالی بر انسان، حیوان یا محیط، ضرورت دارد جنبه های اخلاقی کاربرد این علم مورد مطالعه عمیق و دقیق قرارگیرد. بنابراین در این مقاله مسائل اخلاقی فنّاوری نانو مورد بحث قرار می‌گیرند.

یافته‌های نانو در صنعت

عمده پژوهش های انجام شده در زمینه علم نانو بیانگر این است که فنّاوری نانو نقش حیاتی در زمینه علوم و صنایع غذایی از قبیل: تهیه، بسته‌بندی و نگهداری مواد غذایی ایفامی کند (10) و تولید غذاهای سالم که یکی از نگرانی های جامعه امروزی است با استفاده از فنّاوری نانو در صنعت غذایی رونق گرفته است. مثلاً در فرایندی جهت قرار دادن نانومواد در پوشش‌های کپسولی[2] 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، آلودگی های شیمیایی، زیست شناختی یا عوامل باکتریایی موجود در آن و نیز احیای خاک و بهبود محصولات کشاورزی در

[Downloaded from www.ethicsjournal.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.22517634.1397.13.2.3.7]

مراحل تولید وهمچنین به‌عنوان رادیکال‌های آزاد در پاکسازی محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته‌اند (4).

در صنعت دارویی نانو لیپوزوم‌ها با داشتن اجزایی مثل: مواد مغذی، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها، مواد ضدمیکروبی و مواد افزودنی به‌عنوان یکی از حمل کننده‌های نانوکپسولی در کنترل و تحویل مقدار مشخصی از مواد دارویی به داخل بافت‌ها نقش دارند (10).

کاربرد ذرات نانو در تشخیص بیماری‌ها

به‌منظور تشخیص دقیق و زودرس بیماری‌ها، ذرات نانو مد نظر قرار گرفته‌اند. سازوکار روش‌های تشخیصی نانو بر این اصل استوار است که ذرات نانو نشان‌دار شده یا پروب‌ها به مولکول های زیستی هدف ازقبیل: دی.ان.آ[3]، آر.ان.آ[4]، پروتئین ها و آنتی‌ژن‌ها به‌صورت انتخابی اتصال می‌یابند و متعاقب اتصال به مولکول هدف، مشخصه مولکول زیستی هدف سنجیده می‌شود (6). همچنین نانو چیپس‌ها برای تشخیص اولیه اختلالات و هشدار به بیماران در هنگام احتمال وقوع یک وضعیت تهدید کننده به‌کار گرفته شده‌اند (11). انتظار می‌رود روش های تشخیصی با پایه نانو بر میزان حساسیت تشخیصی، اعتبار، اعتماد و ارزانی آنها بیافزاید. این روش‌ها می‌توانند دی.ان.آ و پروتئین‌های سطحی یاخته‌های 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 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 سرطان‌ها مجوز ایمنی و بی‌خطری دریافت کرده‌اند و به‌صورت گسترده‌ای در درمان سرطان‌های پستان، تخمدان، دستگاه عصبی مرکزی[5] و سرطان‌های کودکان و بسیاری از موارد دیگر به‌کار می‌روند. نخستین مرحله از کاربرد نانودارو در بالین در میدگاس[6] 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[7]است که به‌طور گسترده در بخش‌های 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 می‌کنند و باعث کاهش عوارض جانبی ناخواسته ناشی از تأثیر و تجمع دارو در بافت‌های سالم می‌شوند (7). درحال حاضر نانو ترکیبات اکسیدآهن مگنتیک با گواهی تأیید در سال 2010 از کشور آلمان و بعضی از کشورهای اروپایی، در درمان سرطان مغزی کشنده‌ای به نام گلیوبلاستومای چند شکلی به‌کار می‌روند (6 و 7).

جدول1: فراورده‌های 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	عفونت‌های شدید قارچی
آمفوتریسین B مجموعه لیپیدی	وریدی	Abelcet	عفونت‌های شدید قارچی
سیترایین لیپوزومی	نخاعی	Depocyt	مننژیت نئوپلاستیک و مننژیت لنفوماتوز
سولفات مورفون لیپوزومی	اپیدورال	DepoDur	درد
داکسوروبیسین لیپوزومی	وریدی	Doxil	سارکومای کاپوسی، سرطان سینه و تخمدان
ویروس غیرفعال شده هپاتیت A	عضلانی	Epaxal	هپاتیت A

[Downloaded from www.ethicsjournal.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.22517634.1397.13.2.3.7]

(استرین RGSB) لیپوزومی			
هماگلوتنین ویروس آنفولانزای غیرفعال شده لیپوزومی	عضلانی	Inflexal	آنفولانزا
وین کریستین لیپوزومی	وریدی	Marqibo	لوسمی حاد لنفوپلاستیک
دانوروبیسین لیپوزومی	وریدی	DaunoXome	سارکومای کاپوزی
آرینوتکان	وریدی	OniVyde	سرطان پیشرفته پانکراس

در اولین مرحله بررسی اثر نانو مواد برای درمان سرطان، در دانشگاه چاریته برلین، ذرات نانو آمینو سیلانه با پوشش اکسید آهن در محیط آبی (نوعی مایع مغناطیسی) مستقیماً به داخل تومور بدخیم تزریق شد و بافت توموری را به‌گونه ای تغییر داد که با تولید حرارت، دمای بافت به بالای 40 و حتی 45 درجه سانتیگراد افزایش یافت و یاخته‌های سرطانی را تخریب یا تضعیف کرد (9). این گرما عملکرد بسیاری از ترکیبات، آنزیم ها و پروتئین‌های داخل یاخته را تغییر می‌دهد و باعث افزایش حساسیت یاخته های سرطانی در برابر شیمی درمانی و یا رادیوتراپی می‌شود و تخریب آنهارا تسریع می سازد و همچنین حرارت بالا به‌طور مستقیم اثرات سمی ایجاد کرده و باعث اضمحلال، انعقاد و یا کربنه شدن یاخته‌ها و نابودی آنها می‌شود (14). در سال‌های 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[8] و هم در درون تنی[9] بر کارایی نانو داروها در درمان سرطان صحه گذاشته‌اند.

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 بافت‌های اطراف نیز انباشته می‌شود. ولی در روش هدف گیری فعال، دارو در پوسته‌ای از نانو ذرات قرار می‌گیرد. این پوسته ترکیبات دارویی خود را زمانی آزاد می کند که در برابر یاخته‌های هدف یعنی همان یاخته های سرطانی قرار گیرد. با اتصال پوسته به یاخته سرطانی، ماده دارویی به یاخته راه می‌یابد و یاخته سرطانی از بین می‌رود. شناسایی یاخته‌های سرطانی از طریق پروتئین‌های سطحی‌شان صورت می‌گیرد. زیرا این پروتئین‌ها در سطح یاخته‌های طبیعی وجود ندارند. این سیستم آزاد سازی، یک گلوله اسرارآمیز است و فقط یاخته های سرطانی را هدف قرار می‌دهد و با توجه به حداقل تأثیرات دارو بر یاخته‌های سالم، این نوع کاربرد به‌طور فزاینده‌ای در حال گسترش است.اما تجمع پوسته‌های نانویی که برای آزاد سازی دارو مورد استفاده قرار گرفته اند این نگرانی را ایجاد می کند که با تجمع در بدن ممکن است باعث آسیب شوند (6 و 7). به هر حال یکی از چالش‌های اخیر در استفاده از نانو داروها این است که فقط تعداد کمی از آنها از طریق بررسی بالینی مورد پژوهش قرار گرفته اند. در صورتی که لازم است خطر مسمومیت آنها برای انسان، میزان ناسازگاری آنها با محیط زیست و محدودیت‌های کاربرد بالینی آنها بررسی و مشخص شود (8). زیرا کوچکی فوق‌العاده آنها و قابلیت عبور ذرات نانواز سطوح محافظ بدن انسان و سایر حیوانات مثل پوست، ریه، روده، جفت و سد خونی مغزی می‌تواند بسیار نگران کننده باشد.

مطالعات اخیر سم‌شناسی در خصوص نانومواد افزایش یافته اما این ارزیابی در مقایسه با آنچه به‌صورت معمول در خصوص داروها به‌کار می‌رود ناکافیست و تحقیقات سم‌شناسی تکمیلی در خصوص نانوداروها باید توسعه یابند، تا با پیش‌بینی‌های لازم و در نظر گرفتن راهکارهای جدید خطرات احتمالی آنها را به حداقل برسانند (8).

کاربرد نانو دارو در سایر بیماری‌ها

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

[Downloaded from www.ethicsjournal.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.22517634.1397.13.2.3.7]

این ویروس خطرناک می تواند 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 فنّاوری نانو در درمان بیماری های 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 چیپس های حاوی ذرات بسیار ریز دارویی با توانایی آزاد سازی تدریجی دارو و بر اساس میزان نیاز به آن ساخته شده اند (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 غلظت های 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 میلی گرم بر متر مکعب در هر دو گونه بیشتر بود. از سوی دیگر 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 قسمت های 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 بوم شناختی نانو مواد مهندسی شده اختصاصی از قبیل: ذرات کوانتومی، نانو لوله های کربنی و دی اکسید 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 تن ها 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 زیست سازگاری بالا، عدم سمیت و قابلیت دفع انتخاب و به‌کار روند (17).

نگرانی‌های اخلاقی در کاربرد مواد نانو

علی‌رغم اینکه آژنس‌های معتبری مثل: انجمن غذا و داروی آمریکا[10] وآژانس دارویی اروپا[11] اجازه استفاده از بعضی از فراورده‌های نانو دارویی را در درمان سرطان تأیید کرده‌اند اما هنوز خطوط راهنمای اختصاصی برای کاربرد داروهای حاوی نانومواد را ارائه نداده اند. در غیاب شواهد و راهنما های لازم، اتخاذ تصمیم در خصوص نقش‌های درمانی نانو داروها فقط بر پایه بررسی‌های انفرادی از فواید و مضرات این نانوداروها انجام می‌پذیرد. به هرحال این فرایندها زمان‌بر هستند و می‌توانند تولیدات نانودارویی را به تعویق اندازند. بنابراین نیاز فوری و

[Downloaded from www.ethicsjournal.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.22517634.1397.13.2.3.7]

اختصاصی برای ترسیم خطوط راهنمای استفاده از مواد نانو برای تشخیص و درمان بیماری‌ها و کنترل کیفیت آنها وجود دارد (8). مرکز مسئولیت‌پذیری فنّاوری نانو کانادا[12] 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 شده اند 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 آلودگی هایی ایجاد کنند که هنوز اطلاعات علمی اندکی در خصوص آنها وجود دارد. در علم اخلاق، فنّاوری نانو به‌عنوان یک موضوع بسیار پیچیده و دارای جوانب مختلف مطرح است در عین حال ناسازگاری‌های اخلاقی این فنّاوری در حد مختصر بیان شده و تا کنون فقط تجزیه و تحلیل های بسیار اندک و حداقلی در رابطه با کاربرد علمی فنّاوری نانو منتشر شده است (14).

نگرانی و دغدغه ها در خصوص نانو مواد به دو بخش تقسیم می شود: از یک سو دستیابی به پیشرفت های سریع و وسیع در فنّاوری نانو خصوصاً در زمینه پزشکی مورد انتظار است و از سوی دیگر این نگرانی وجود دارد که قدرت هسته ای و ژنتیکی این مواد به همان اندازه که مفیدند خطرآفرین باشند و واکنش های 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 آب گریزی (هیدروفوبیکی) و عدم توانایی ترکیب با آب دخالت دارند. مسمومیت حاددر اثر نانو داروها، به علت واکنش های 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 جمع آوری شده به‌طور گسترده‌ای یا نادیده گرفته می‌شوند یا به سایر عوامل نسبت داده شده اند. این چالش ها، رفتار و کارآیی داروهای نانو را تحت تأثیر قرار داده و باعث ایجاد وجه مشترک بین نانوفنّاوری و زیست‌فنّاوری می‌شود و بر ضرورت ایجاد یک محیط تحقیقاتی برای بررسی اورژانس های مسمومیت ناشی از مواد نانو[13] تأکید دارد زیرا سمیت ناشی از نانو مواد در مقایسه با ماکروماد 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 عدم 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 جواب‌گویی های سیاسی و اخلاقی رها پنداشته شده‌اند. با این رویکرد مسئولیت دانشمندان برای تولید علوم قابل‌قبول در برابر مسئولیت‌های وسیع اخلاقی آنها نسبت به جامعه دچار چالش می‌شود. از اینرو تحقیق در زمینه فنّاوری و علوم ایجاب می کند تا درک مسئولیت بر این مبنا شکل گیرد که علوم و فنّاوری ها نه تنها فنی هستند بلکه با مسائل اجتماعی و بهداشتی جامعه نیز ارتباط دارند (21). بنابراین ارزیابی خطر استفاده از فنّاوری‌های 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 فنّاوری 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 فنّاوری برای تولید شفاف‌تر شده‌اند. نگرانی‌ها درخصوص مسئولیت ها افزایش پیدا کرده و عقاید دانشمندان از تمامیت و بی نقصی تحقیقات به سمت مسئولیت پذیری در خصوص نگرانی های 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 فنّاوری زیستی با استقبال مردم در سراسر جهان مواجه نشدند و اکنون مشخص

[Downloaded from www.ethicsjournal.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.22517634.1397.13.2.3.7]

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

اصل تساوی حقوق و توزیع عادلانه

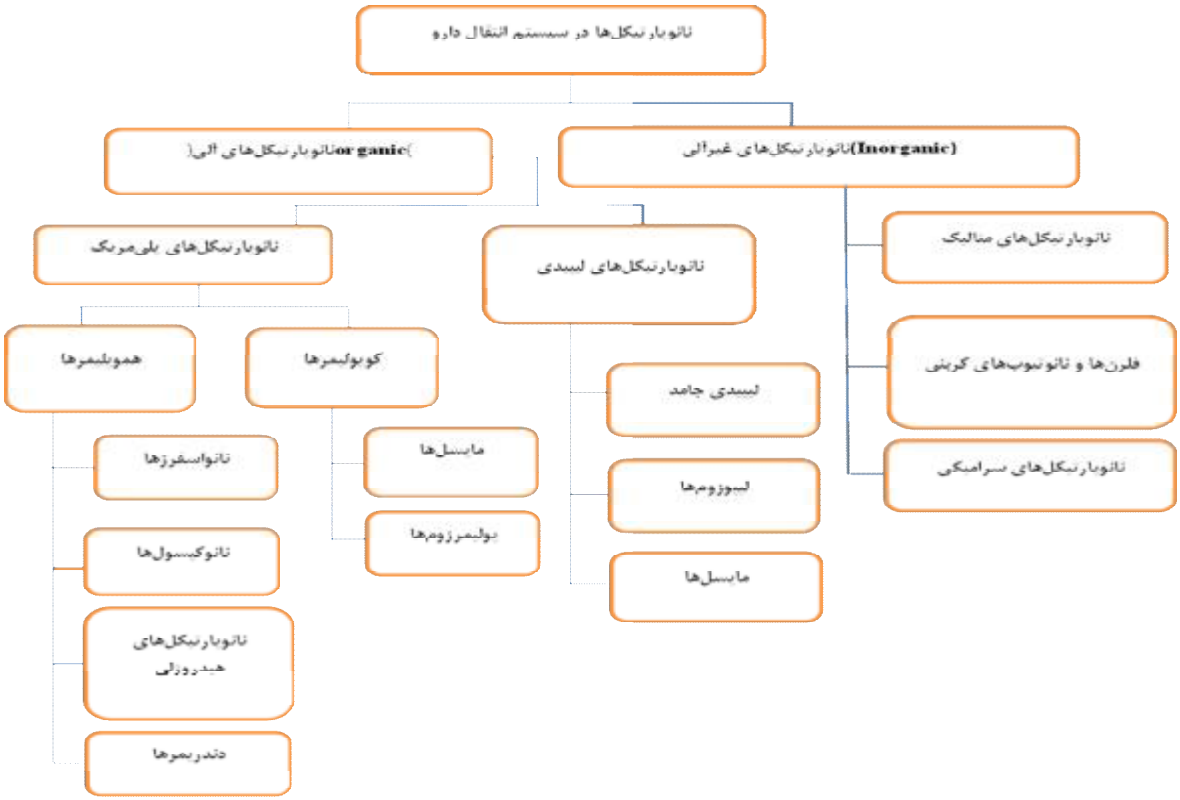
جهش در پیشرفت علم پزشکی در اثر فنّاوری نانو، سؤالاتی در خصوص نحوه دسترسی همگانی به درمان ها یعنی اصل تساوی حقوق و توزیع عادلانه را مطرح می کند. برای مثال پیشرفت درمانی در زمینه ارسال دارو به بافت های هدف در سرطان باعث شده فقط بیماران ثروتمند قادر به استفاده از این امکان جدید باشند (18). داروهای جدید ساخته شده در زمینه پیشگیری از ایدز[14] 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 اطلاعات پزشکی افراد بر روی یک تراشه رایانه‌ای جهت تسهیل تشخیص‌های پزشکی و غربالگری، خطر رمز گشایی از وضعیت ژنتیکی جوامع انسانی را فراهم می سازد. 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 مطالعه ایی به چهار رکن اساسی و اولیه اخلاق (خودمختاری[15]، سودمندی[16]، نازیانمندی[17] و برابری[18]) و مدنظر سازمان جهانی بهداشت[19] اشاره کرده اند 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 درصورتی که جنبه های اخلاقی، حقوقی، اجتماعی و سیاسی نانو فنّاوری موازی با جنبهٔ علمی آن توسعه پیدا نکند، این زمینه از علم با خطراتی جدی مواجه خواهد شد (26). از سوی دیگر پیشرفت در فنّاوری و کاربرد آن نباید باعث خدشه دار شدن انسانیت و حقوق افراد شود (27).



نگاره1: تقسیم‌بندی نانو حامل‌های دارویی در سیستم انتقال دارو برحسب ماهیت آنها (28)

[Downloaded from www.ethicsjournal.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.22517634.1397.13.2.3.7]

نتیجه‌گیری

استفاده روز افزون نانو مـواد در سراسـر دنیـا و گـسترش بـسیار سریع کاربرد آن در پزشکی،ایجاب می‌کند که متخصـصین علـم اخلاق راه کارهایی ارائه دهند تا هم باعـث تـشویق محققـان و مخترعان برای مطالعه نانو مواد و انجـام تحقیقـات بـالینی روی نانوداروها شوند و هم نگرانی‌های اخلاقی و اجتماعی مترتب بـر آن را در نظـر بگیرنـد. ارائـه راهکارهـای نظـارتی در خـصوص اختراعات نانوپزشکی بایستی جدی و جامع بوده و نگرشی کلـی به تمام جنبه‌های تولید و کاربرد این مواد داشته باشند تـا ضـمن پیشرفت های مؤثر، منجر به رفع خطرات زیست محیطی فنّاوری نانو شود. اخد مجوزهای لازم برای کاربرد بالینی نانو دارو ها باید مد نظر باشد، حتی اگر عوارض عمده‌ای از آنهـا در کوتـاه مـدت گزارش نشده باشد. به دلیل رفتار غیرقابل پیش‌بینی ساختارهای نانو نسبت به اشکال اولیه و قابل دسترس آن در طبیعت و عـدم شناخت کامل ازعملکرد آنها در محیطهـای زیـستی، لازم اسـت این فراورده‌ها ابتدا در محیط های دانشگاهی و تحقیقاتی بررسی شوند و راهکارها و ضوابط اخلاقـی بـر نحـوه سـاخت، تولیـد و گسترش آنها در محیط‌های آزمایشگاهی، صـنعتی، کـشاورزی و یا کاربرد بالینی آنها تدوین شود تا بدین‌طریـق از وقـوع فجـایع خطرناک بشری و زیست محیطی پیشگیری شود.

ملاحظه‌های اخلاقی: نوسندگان این مقاله متعهد می‌شوند که در این مقاله با معرفی منابع مورد استفاده اصل اخلاقی امانـت‌داری علمی رعایت و حق معنوی نویسندگان آثار مورد اشـاره محتـرم شمرده شده است.

ملاحظه‌های اخلاقی

در این پژوهش با معرفی منـابع مـورد اسـتفاده، اصـل اخلاقـی امانت‌داری علمی رعایـت و حـق معنـوی مـؤلفین آثـار محتـرم شمرده شده است.

واژنامه

1. Epsonization — اپسونیز اسیون
2. Nano Capsolation — پوشش‌های 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 — برون‌تنی
9. In Vivo — درون‌تنی
10. FDA (Food and Drug Administration) — انجمن غذا و داروی آمریکا
11. EMA (European Medicines Agency) — آژانس دارویی اروپا
12. ETC (Action Grop On Erosion Technology and Concentration) — مرکز مسئولیت‌پذیری فنّاوری 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

1. Gokcay B, Arda B. (2015). Nano technology, Nano medicine; ethical aspects: Revista Romana de Bioetica; 13(3): 1-12.
2. 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.

[Downloaded from www.ethicsjournal.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.22517634.1397.13.2.3.7]

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: 1st 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.

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 Sheikhaleslami, Mohraz M. (2015). Nano-medicine in the therapy of infectious diseases (AIDS). Tehran/ Avicenna Research Institute: 1st 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).

[Downloaded from www.ethicsjournal.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.22517634.1397.13.2.3.7]

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).

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.

[Downloaded from www.ethicsjournal.ir on 2026-06-11]

[DOR: 20.1001.1.22517634.1397.13.2.3.7]