

فناوری نانو در خدمت سلامت انسان

زهرا مهربان

عضو هیئت علمی سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

چکیده

در این مقاله سعی کرده‌ایم برخی از خدمات فناوری نانو را به علم پزشکی به‌طور کوتاه و مختصر بررسی کنیم و برخی از این تحقیقات را که در مرحله آزمایشگاهی هستند، یا به مرحله بالینی رسیده‌اند، در سه حوزه پیشگیری، تشخیص و درمان مورد بررسی قرار دهیم.

کلیدواژه‌ها: فناوری نانو؛ پزشکی؛ سلامت؛ پیشگیری؛ تشخیص؛ درمان.

مقدمه

این فناوری به همراه سه فناوری و علم دیگر شامل فناوری اطلاعات^۱، زیست فناوری^۲، و علوم شناختی^۳، فناوری‌های همگرا^۴، نامیده می‌شوند (روکو، ۲۰۰۳) و توانایی تلفیق و هم‌افزایی در کنار یکدیگر را دارند. علاوه بر این، فناوری نانو توانسته با علوم دیگری تلفیق شود. نانوپزشکی یکی از این موارد است که در آن فناوری نانو به‌عنوان یکی از بهترین مدرسان‌ها به پیشرفت پزشکی مدرن ظاهر شده که از وظیفه‌های آن، پرداختن به درمان علائم و خلق روش‌های درمانی و بازسازی بافت‌های زیستی است. فناوری نانو در کنار علم پزشکی توانسته است بشر را برای نزدیک شدن به آرزوی دیرینه خود، یعنی دست یافتن به سلامت و تندرستی همراهی کند. علم پزشکی

فناوری فرایندی است که انسان از طریق آن طبیعت و محیط پیرامون خود را اصلاح و تعدیل می‌کند تا بتواند به خواسته‌ها و نیازهایش برسد. یکی از این خواسته‌ها و آرزوهای دیرباز انسان، سلامت و درمان بودن از بیماری‌ها و عواملی است که به سلامت او آسیب می‌رسانند. تاکنون فناوری‌های متعددی توسط انسان ایجاد شده‌اند که برای رسیدن به این خواسته و آرزو به یاری او آمده‌اند. یکی از فناوری‌های جدید که در این حوزه شروع به فعالیت کرده، فناوری نانو است. فناوری نانو طراحی، شناسایی، تولید و کاربرد ساختارها، دستگاه‌ها و سامانه‌هایی است که اندازه آن‌ها در محدوده نانومتری (۱ الی ۱۰۰ نانومتر) باشد (۲۰۰۴، SPS).

فناوری نانو توانسته

است در مبارزه با

باکتری‌ها، قارچ‌ها

به‌عنوان عوامل بیماری‌زا

به خوبی نمایان شود؛

به گونه‌ای که برخی از

محصولات مرتبط با این

خدمات در دسترس

عموم قرار دارد

محققان در حوزه منسوجات وارد عمل شده و با تهیه الیافی که حاوی این نانوذرات هستند، سعی بر این داشته‌اند که پوشاک و لوازم مورد استفاده در محیط زندگی انسان را عاری از باکتری کنند

که در مورد دوم سعی شده است با ایجاد راهکارهای زیست‌تقلیدانه^{۱۲} از آثار سوء احتمالی جلوگیری شود (پرابو و پولوس، ۲۰۱۲). پس از نانوذرات نقره، نانوذرات دیگری از جمله اکسید تیتانیوم TiO_2 ، اکسید روی ZnO ، اکسید آهن Fe_2O_3 ، طلا Au و پلاتین Pt ، اکسید مس CuO ، اکسید منیزیم MgO ، نیتریک اکسید NO ، اکسید آلومینیم Al_2O_3 و نانوذرات آلی از جمله ترکیبات چهارتایی آمونیوم و کیتوسان^{۱۳} به‌عنوان مواد ضدباکتری، ویروس و قارچ تهیه شدند. برخی از این نانوذرات از جمله روی Zn و کیتوسان زیست‌سازگار^{۱۴} هستند و استفاده از آن‌ها

در مورد باکتری‌های مقاوم به چند دارو و همچنین عفونت‌های زیست غشایی^۸ مرتبط، تحقیقات و تولیدات را متوجه توسعه مواد ضدباکتری جدیدی کرده است که نانوذرات^۹ ضدباکتری از این جمله هستند (بیت^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۵). فناوری نانو توانسته است در مبارزه با باکتری‌ها، قارچ‌ها به‌عنوان عوامل بیماری‌زا به خوبی نمایان شود؛ به‌گونه‌ای که برخی از محصولات مرتبط با این خدمات در دسترس عموم قرار دارد.

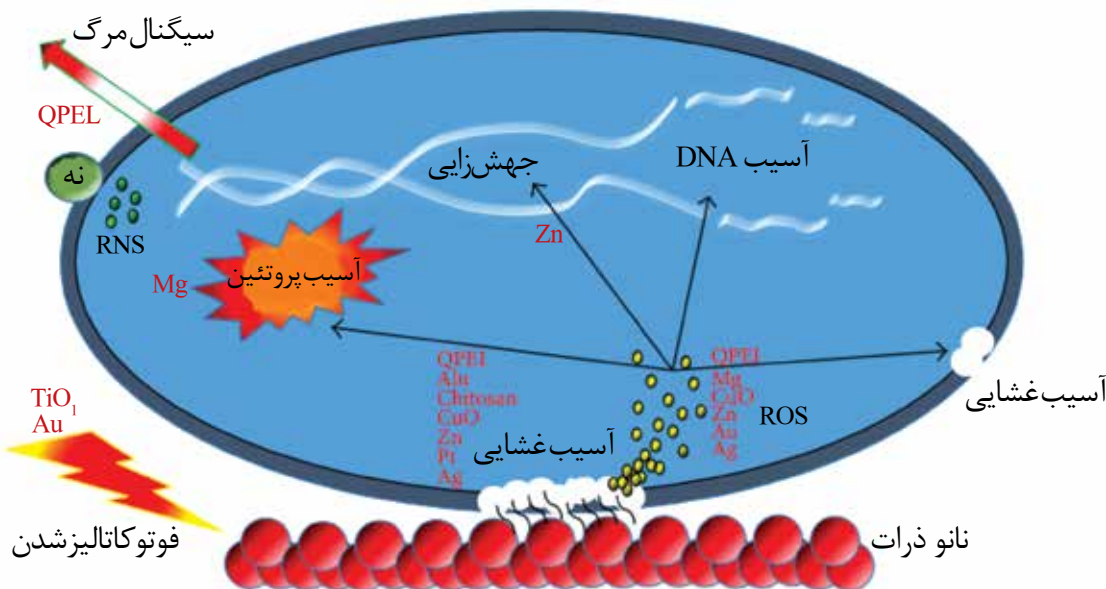
نقره را شاید بتوان به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین مواد ضدباکتری با قدمتی بیش از ۲۰۰۰ سال معرفی کرد. به همین دلیل اولین تلاش فناوری نانو در عرصه پیشگیری از بیماری‌ها، تولید نانوذرات نقره محسوب می‌شوند. نانوذرات نقره به‌عنوان موادی ضدباکتری، قارچ و ویروس با پاکسازی محیط‌های آلوده^{۱۱} از ورود آن‌ها به بدن انسان و در نتیجه ایجاد بیماری جلوگیری می‌کنند. از نکاتی که استفاده نانوذرات نقره را در پزشکی مدرن محدود کرده است، قیمت بسیار بالای آن‌ها و همچنین خطرات احتمالی وارد بر محیط زیست و سامانه‌های زیستی، به‌هنگام تهیه آن‌هاست

شاخه‌ای از علوم است که روی تشخیص، درمان و پیشگیری از بیماری‌ها^۹ مطالعه می‌کند^۶ و نانوپزشکی کاربرد فناوری نانو برای پیشگیری، تشخیص و درمان بیماری‌ها تعریف شده است (فریتاز^۷، ۱۹۹۹). این مقاله به‌اختصار به خدمات فناوری نانو در پزشکی می‌پردازد که برخی از این خدمات هم اکنون در علم پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد و برخی دیگر هنوز در مرحله تحقیقات آزمایشگاهی، آزمایش روی جانوران، یا خارج از بدن موجود زنده و در لوله آزمایش است. این خدمات را در سه حوزه پیشگیری، تشخیص و درمان بیماری‌ها به‌اختصار مرور می‌کنیم.

پیشگیری

شاید شما این جمله را به کرات شنیده باشید که پیشگیری مقدم بر درمان است، زیرا درمان مستلزم صرف هزینه و زمان است و از سوی دیگر، شاید لطمت وارد از بیماری، حتی پس از درمان نیز جبران‌ناپذیر باشد.

در جهان امروز عفونت‌های باکتریایی هنوز هم یکی از علل عمده مرگ‌ومیر در جهان محسوب می‌شوند. نگرانی روبه‌فزونی



شکل ۱. شیوه‌های متفاوت عمل نانوذرات بر باکتری

نگرانی‌های کمتری را در خصوص عوارض جانبی و به‌جا مانده در بر خواهند داشت. برهم کنش نانوذرات بر باکتری‌ها که منجر به نابودی آن می‌شود متفاوت است، برخی از این برهم‌کنش‌ها در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

در این شکل، چگونگی برهم‌کنش انواع نانوذرات مختلف با سلول باکتری نشان داده شده است. به‌عنوان مثال، نقاط نشان داده شده در پایین سلول (زرد) رادیکال‌های آزاد یا گونه‌های اکسیژن فعال (ROS)^{۱۵} تولید شده به واسطه حضور نانوذرات هستند که به روش‌های مختلف از جمله اختلال در عملکرد پروتئین، تخریب DNA و در نتیجه افزایش رادیکال‌های آزاد منجر به نابودی باکتری می‌شوند، یا با برقراری برهم‌کنش الکترواستاتیکی با غشای سلول، موجب شکستگی و تخریب غشای می‌شوند و در برخی موارد نیز همانند سازوکار عمل نانوذرات ترکیب چهارتایی پلی‌اتیلن‌ایمنز آمونوم^{۱۶}، با اختفای سینگال، مرگ برنامه‌ریزی شده سلول پیش می‌رود (بیت و همکاران، ۲۰۱۵).

ترکیب دوتایی برخی از نانوذرات از جمله نقره/مس (Ag/Cu) نیز به‌عنوان مواد ضدباکتری و قارچ تهیه شده‌اند (پازکیوچس^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۶).

با اطلاع از خواص ضدباکتریایی برخی از نانوذرات، محققان در حوزه منسوجات وارد عمل شده و با تهیه الیافی که حاوی این نانوذرات هستند، سعی بر این داشته‌اند که پوشاک و لوازم مورد استفاده

در محیط زندگی انسان را عاری از باکتری کنند. البسه ضد میکروب مثال‌هایی از این مورد هستند. فنون مختلفی برای تولید منسوجات دارای نانوذرات با خاصیت ضدباکتریایی به‌کار برده می‌شود که به طور کلی شامل ۱. تهیه درجای^{۱۸} نانوذرات به هنگام تهیه منسوجات است که در این مورد می‌توان به تولید نانوذرات مس به هنگام تهیه پارچه‌های نایلونی اشاره کرد که منجر به ایجاد پیوندهای شیمیایی میان نانوذرات مس و زنجیرهای پلی آمیدی می‌شود و ۲. روش‌های متنوع پوشش‌دهی منسوجات با مواد نانو ساختار که در این مورد نیز می‌توان به روش خیساندن الیاف در محلول‌های نانوذرات و یا افشانه کردن نانوذرات روی سطح منسوجات اشاره کرد^{۱۹}.

یکی دیگر از روش‌های پیشگیری واکسینه شدن در برابر بیماری‌هاست. نانو مواد در این حوزه نیز موفقیت‌هایی داشته‌اند؛ از جمله می‌توان به تحقیقی که در مورد ایجاد پاسخ ایمنی قوی در مقابل سیاه‌زخم با استفاده از چکاندن قطرات نانو امولسیون (۲۰۰ الی ۳۰۰ نانومتر) از سوسپانسیون الکل، روغن و سویین در داخل بینی حیوان ایجاد شده است، اشاره کرد که محققان مربوطه در تلاش‌اند که واکسن فوق را در مقابل حملات سیاه‌زخم برای انسان نیز تهیه کنند (ساگادوان و همکاران^{۲۰}، ۲۰۱۴).

تشخیص

در حوزه تشخیص، خدمات فناوری نانو به پزشکی عمدتاً معطوف به بخش آزمایش‌های پزشکی می‌شود که بیشتر در فنون تصویربرداری پزشکی^{۲۱} و نانوحسگرهای زیستی^{۲۲} قابلیت کاربرد دارند. یکی از نانومواد که در این حوزه پر کاربرد است، نقاط کوانتومی هستند. نقاط کوانتومی نانوذراتی هستند که اندازه ذرات آن‌ها به اندازه‌ای کوچک است که شعاع ذره کوچک‌تر از شعاع بوراکسیتون^{۲۳} آن است که معمولاً بر اساس نوع عنصر به‌کار

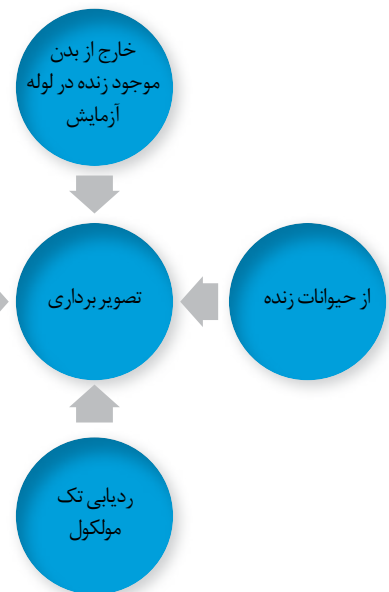
برده شده، اندازه این ذرات از ۲ الی ۲۰ نانومتر متغیر است (کلاسون و همکاران^{۲۴}، ۲۰۰۷؛ کرال و همکاران^{۲۵}، ۲۰۰۶). اکثر این ذرات بسته به ماهیت عناصر سازنده آن‌ها از نظر زیستی، سمی هستند و به همین دلیل به هنگام تهیه آن‌ها با افزودن مواد و لایه‌هایی به نقاط کوانتومی سعی می‌شود که آن‌ها را زیست‌سازگارتر کنند (کیان و همکاران^{۲۶}، ۲۰۰۶؛ و لایر و همکاران^{۲۷}، ۲۰۰۷). توجه به سمیت کمتر این نانومواد و زیست‌سازگاری بیشتر آن‌ها، تحقیقات آتی را متوجه تهیه نقاط کوانتومی از جمله کربنی کرد که سمیت کمتری از خود نشان می‌دهند (لیو و همکاران، ۲۰۱۷).

همانگونه که گفته شد، می‌توان از این نقاط کوانتومی در تصویربرداری پزشکی استفاده کرد. تصویربرداری فنی است که در آن سعی می‌شود، تصویری از درون بدن که به واسطه وجود پوست، استخوان‌ها و سایر اندام‌های بیرونی تر قابل رؤیت نیستند، تهیه شود. این فن به تشخیص بیماری‌ها کمک بسیار زیادی می‌کند. یکی از متداول‌ترین مواد مورد استفاده در تصویربرداری پزشکی که هم اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرند، رنگ‌های فلورسنتس آلی^{۲۸} هستند. نقاط کوانتومی با داشتن محدودیتی هم‌چون کم بودن زیست‌سازگاری، ولی به دلیل بهره کوانتومی بالا^{۲۹}، پایداری نوری^{۳۰} و طول عمر بالا، توان رقابت با این نوع مواد را دارند. علاوه بر این، با استفاده از نقاط کوانتومی به دلیل برانگیخته شدن در محدوده وسیع‌تری از طول موج‌ها امکانات دستگاهی ساده‌تری مورد نیاز است و همچنین خطرات آسیب حاصل از دریافت اشعه با طول موج‌های پایین نیز کاهش می‌یابد. نکته بسیار مهم این است که با تغییر ترکیب، یا اندازه ذره نقطه کوانتومی، به دلیل تغییر طول موج برانگیختگی، رنگ به دست آمده به هنگام تصویربرداری متفاوت خواهد بود.

برخی از کاربردهای نقاط کوانتومی در تصویربرداری پزشکی به شرح شکل ۲ است (دربوهاووا و همکاران^{۳۱}، ۲۰۰۹).

در حوزه تشخیص، خدمات فناوری نانو به پزشکی عمدتاً معطوف به بخش آزمایش‌های پزشکی می‌شود که بیشتر در فنون تصویربرداری پزشکی و نانوحسگرهای زیستی قابلیت کاربرد دارند

تصویربرداری ۳۲ MRI یکی دیگر از فنون تصویربرداری پزشکی است. برخی از نانو مواد از جمله اندوفولرین فلزی^{۳۳}



شکل ۲. کاربردهای نقاط کوانتومی در تصویربرداری پزشکی

در مورد نانوحسگرهایی که درون بدن انسان به تشخیص بیماری پیردازند، تلاش‌های زیادی در حد تحقیقات انجام شده است و این حسگرها روی حیوانات نیز آزمایش شده است که نتایج خوبی در بر داشته است و امید آن می‌رود که در آینده نزدیک به عنوان یکی از روش‌های تشخیص در انسان نیز مورد استفاده قرار گیرند

که اولاً دقت اندازه‌گیری خون بالا باشد و با یک بار ورود نانوحسگر در بدن به دلیل طول عمر بالای از چند روز تا چند هفته^{۳۴}، بیمار را از این احساس رهایی دهند (کش و کلارک^{۳۵}، ۲۰۱۰). در مورد نانوحسگرهایی که درون بدن انسان به تشخیص بیماری پیردازند، تلاش‌های زیادی در حد تحقیقات انجام شده است و این حسگرها روی حیوانات نیز آزمایش شده است که نتایج خوبی در بر داشته است و امید آن می‌رود که در آینده نزدیک به عنوان یکی از روش‌های تشخیص در انسان نیز مورد استفاده قرار گیرند. از جمله این موارد می‌توان به نانوحسگرهای تشخیص زود هنگام سرطان پستان چندین ماه قبل از بروز علائم توسط نانوحسگرهای طراحی شده به این منظور، یا نانوحسگرهای کربنی برای شناسایی چسبیدن سلول‌های غیراستخوانی اطراف ایمپلنت‌های تیتانیوم در نواحی دارای نقص استخوان در بدن انسان اشاره کرد^{۳۸}.

درمان

در حوزه درمان، تحقیقات بسیار گسترده‌ای در مورد کاربرد نانو مواد صورت گرفته است. برخی از این تحقیقات در مورد انسان پاسخ‌های خوبی را در برداشته است. استفاده از سامانه‌های مبتنی بر نانو ساختارها برای رهایش هدفمند داروها در بخش‌های نیازمند به دارو در بدن، تحویل ژن و یا واکسن^{۳۹} (ایزیام و فرو، ۲۰۱۶) از موارد کاربرد آن‌هاست. در برخی موارد نیز این نانوسامانه‌ها به بهبود و سرعت بخشی ترمیم بافت آسیب کرده کمک می‌کنند. در این قسمت، ابتدا در مورد سامانه‌های مبتنی بر فناوری نانو که می‌توانند در رهایش هدفمند دارو، واکسن و ژن مورد استفاده قرار گیرند، بحث می‌شود. از معروف‌ترین این سامانه‌ها که از زیست‌سازگاری بسیار بالایی برخوردارند، می‌توان به نانوذرات کیتوسان^{۴۰} و نانولیپوزوم^{۴۱} اشاره کرد. نانو لیپوزوم‌ها ذرات زیست تقلیدی هستند که با الهام از ساختار غشای سلولی تهیه شده‌اند و نانوکیتوسان نیز از ذراتی که منشأ زیستی دارند، یعنی از کیتین تهیه شده‌اند. کیتین^{۴۲} پسپاری^{۴۳} با زنجیره بلند N استیل گلوکز آمین^{۴۴} (یکی از مشتقات گلوکز) است و در جهان طبیعی به وفور یافت می‌شود. دیواره‌های سلولی قارچ‌ها، اسکلت‌های خارجی بندپایان، سخت‌پوستان (به عنوان مثال، خرچنگ گرد، خرچنگ دراز و میگو) و حشرات از کیتین تشکیل شده است^{۴۵}. محصول واکنش استیل‌زدایی^{۴۶} کیتین، کیتوسان^{۴۷} است. هنگامی که در تهیه کیتوسان تمهیداتی به عمل آید که اندازه ذرات تولید در محدوده مقیاس نانومتری باشد، نانوذرات کیتوسان تولید می‌شوند. نانوذرات کیتوسان به شدت زیست‌سازگار و همچنین زیست تخریب پذیرند^{۴۸} و لذا به عنوان سامانه‌های بسیار مناسبی برای حمل و رهایش هدفمند دارو قابلیت استفاده دارند. این نانوذرات به دلیل زیست چسبندگی^{۴۹}، توانایی چسبیدن به سلول‌ها را داراست

و از سویی به دلیل دارا بودن خاصیت ضد میکروبی، در فرایند حمل و رهایش دارو محیط امنی ایجاد می کند. از جمله کاربردهای این نانوذرات حمل و رهایش هدفمند داروهای ضد سرطان از جمله سرطان کبد (لین و همکاران^{۵۰}، ۲۰۰۸) چه به صورت خارج از بدن موجود زنده و در لوله آزمایش^{۵۱} و چه در بدن موجود زنده^{۵۲} و سرطان ریه خارج از بدن موجود زنده و در لوله آزمایش (یانگ و همکاران^{۵۳}، ۲۰۰۹) بوده است. در مروری بر تحقیقات انجام شده در مورد کاربرد نانوذرات کیتوسان در تحویل دارو، واکسن و ژن که توسط ایزایام و فرو (۲۰۱۶) صورت گرفته است، فرایند تحویل ماده مورد نظر در ریه مورد بررسی قرار گرفته است و در آن اثرات سمی احتمالی بحث برانگیز حضور کیتوسان در ریه نیز مورد بحث قرار گرفته است. لازم به ذکر است تحویل ژن و دارو توسط این نانوذره به روش دهانی نیز صورت می گیرد. (بومن و لئونگ^{۵۴}، ۲۰۰۶).

لیپوزومها ساختارهای کیسه‌ای خودبسته‌شونده دولا‌یه‌ای از لیپیدها، مخصوصاً فسفولیپیدها و کلسترول هستند که از منظر اندازه و تعداد دولا‌یه‌ها از تنوع برخوردارند. فسفولیپیدها مولکول‌های دوگانه‌دوست^{۵۵} هستند که دارای سر آب‌دوست و دنباله آب‌گریزند و ساختاری مشابه با غشای سلولی و شکل بسیار ساده‌ای از غشاهای سلولی یا سلول‌های توخالی هستند. به همین دلیل فضای داخلی آن‌ها قابلیت خوبی برای قراردادن داروها را دارد و هنگامی که اندازه این ذرات در محدوده نانومتری کنترل شود، در مقایسه با لیپوزومها، مساحت بیشتری دارند و لذا در حلالیت، توزیع بهینه و رهایش کنترل شده و هدفمند دقیق داروی درون کیسه، افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهند. به‌منظور حمل و رهایش هدفمند دارو، لازم است که سطح این نانوذره آب‌دوست شود تا توانایی تعامل با سلول را پیدا کند. نانوذرات لیپوزومی همانند اِرکُوزوم و وِیروِزومها^{۵۶} از

مهم‌ترین سامانه‌های حمل و تحویل واکسن محسوب می‌شوند (شووندر^{۵۷}، ۲۰۱۴). از سامانه‌های نانوذرات لیپوزومی نانویوزومها^{۵۸} نیز هم‌اکنون برای تحویل دارو به روش‌های دهانی، ریه‌ای، پوستی، تزریقی، واژن، بینی و مسیر چشم، به‌طور گسترده استفاده می‌شود (پرداختی و مؤذنی^{۵۹}، ۲۰۱۳). از مزایای سامانه‌های تحویل ژن مبتنی بر فناوری نانو، عدم ایجاد آلودگی‌های ویروسی در فرد یا موجودی است که ژن به او تحویل داده می‌شود^{۶۰}.

از دیگر نانو موادی که در درمان بیماری‌ها و عوارض به جای مانده از بیماری استفاده می‌شود، می‌توان به درخت‌سان‌ها، نانو سرامیک‌ها، نانوذرات فلزی، نقاط کوانتومی و نانو چندسازه‌ها اشاره کرد.

به‌عنوان مثال، یکی از روش‌های درمانی را می‌توان تخریب نوری- حرارتی^{۶۱} که بر پایه رزونانس پلاسمون سطحی با استفاده از نانوذرات فلزی از جمله طلا نام برد. در این روش نانوذرات طلا به‌طور هدفمند به موضع مورد نظر اتصال می‌یابند و در آن نانوذرات طلا، نور مادون قرمز نزدیک را جذب و انرژی آن را تبدیل به حرارت در همان موضع می‌کنند. این فرایند همراه با تخریب و ایجاد حباب در سلول و تخریب آن است. نانوذرات طلای متصل به آنتی‌بادی‌ها تحت تأثیر تابش لیزر به‌طور انتخابی سلول‌های هدف را تخریب می‌کنند. در روش‌های درمان سرطان به‌صورت هدفمند از آسیب رسانی به سلول‌های سالم جلوگیری می‌شود و تنها درمان متوجه سلول‌های سرطانی است.

یکی از شایع‌ترین بیماری‌ها در افراد کهنسال، شکستگی‌های استخوانی به دلیل پوکی استخوان^{۶۲} است. در این زمینه هم نانومواد از جمله نانوسرامیک‌ها نتایج درمانی قابل توجهی نشان داده‌اند.

بافت استخوانی در واقع نوعی نانو کامپوزیت طبیعی است که متشکل از فیبرهای سلسله مراتبی مرتب شده کلاژن، پروتئوگلیکان، و بلورهای هیدروکسی آپاتیت^{۶۳} (HA) در مقیاس نانومتری است. با الهام از این

نانوساختار، محققان بر این باورند که تقلید ویژگی‌های نانو مقیاس استخوان طبیعی در مواد و یا ایجاد توپوگرافی‌ای شبیه زبری نانومقیاس استخوان، ممکن است رشد استخوان جدید و یا بازسازی را بالا ببرد. به‌عنوان مثال، برای درمان شکستگی‌های مهره‌های ستون فقرات ناشی از پوکی استخوان^{۶۴} از نانوذرات دوتایی فسفونات^{۶۵} پر شده با کلسیم فسفات استفاده شده که نتایج درمانی رضایت بخش بوده است (گائو و همکاران^{۶۶}، ۲۰۱۵).

نتیجه‌گیری

تحقیقات و فعالیت‌های انجام شده توسط فناوری نانو در پزشکی بسیار زیاد است و هر روز بر موفقیت‌های این فناوری در پیشگیری، تشخیص و درمان افزوده می‌شود که در اینجا فقط موارد انگشت شماری از این خدمات ذکر شد. از سویی نگرانی‌های محققان این حوزه متوجه آثار سوء احتمالی به‌کارگیری نانومواد در بدن انسان است. به همین دلیل، همانند سایر روش‌های پیشگیری، تشخیص و درمان متداول که ممکن است آثار سوء جانبی نیز بر جای بگذارند، نانو مواد و سامانه‌های به‌کار برده شده در علم پزشکی نیز از این احتمال دور نگه داشته نمی‌شوند.

از جمله کاربردهای

نانوذرات، حمل و رهایش

هدفمند داروهای

ضد سرطان از جمله

سرطان کبد چه به صورت

خارج از بدن موجود زنده

و در لوله آزمایش و چه

در بدن موجود زنده و

سرطان ریه خارج از بدن

موجود زنده و در لوله

آزمایش بوده است

ume I: Basic Capabilities, Austin, Texas: Landes Bioscience.

6. Haojiang Wang, Iyer, G.; Pinaud, F.; Tsay, J.; Weiss, S. (207). Solubilization of quantum dots with a recombinant peptide from *Escherichia coli*. *Small*, 3, 793-798.

7. Kluson, P.; Drobek, M.; Bartkova, H.; Budil, I. Welcome in the Nanoworld. *Chem. Listy* 2007, 101, 262-272.

8. Kral, V.; Sotola, J.; Neuwirth, P.; Kejlik, Z.; Zaruba, K.; Martasek, P. Nanomedicine - Current status and perspectives: A big potential or just a catchword? *Chem. Listy* 2006, 100, 4-9.

9. Paszkiewicz, M.; Gołabiewska, A.; Rajska, T.; Kowal, E.; Sajdak, A.; and Zaleska-Medynska, A. (2016). The Antibacterial and Antifungal Textile Properties Functionalized by Bimetallic Nanoparticles of Ag/Cu with Different Structures, *Journal of Nanomaterials*, Volume 2016 (2016), Article ID 6056980, 13 pages

10. *Molecular Sciences*, 10, 656-673; doi: 10.3390/ijms10020656

11. Qian, H.F.; Dong, C.Q.; Weng, J.F.; Ren, J.C. Facile (2006). one-pot synthesis of luminescent, watersoluble, and biocompatible glutathione-coated CdTe nanocrystals. *Small*, 2, 747-751.

12. Qian, H.F.; Dong, C.Q.; Weng, J.F.; Ren, J.C. (2006). Facile one-pot synthesis of luminescent, watersoluble, and biocompatible glutathione-coated CdTe nanocrystals. *Small*, 2, 747-751.

13. Prabhu, S.; and Poulouse, E.K. (2012). Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects, *International Nano Letters*, 2(1), 10 pages, doi:10.1186/2228-5326-2-32.

14. Sagadevan, S.; S.Savitha2 and R.Preethi . (2014). Beneficial Applications of Nanoparticles in Medical Field – A Review, *International Journal of PharmTech Research*, 6(5), 1712-1717.

15. Li, T.; Liu, W.; Diao, H.; Chang, H. and Wenlong W. (2017). Green synthesis of carbon dots from rose-heart radish and application for Fe³⁺ detection and cell imaging. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 241, 190–198.

16. Islam, N. and Ferro, V. (2016) Recent advances in chitosan-based nanoparticulate pulmonary drug delivery, *Nanoscale*, 2016, 8, 14341-14358.

17. Lin A, Liu Y, Huang Y, Sun J, Wu Z, et al. (2008). Glycyrhizin surfacemodified chitosan nanoparticles for hepatocyte-targeted delivery. *Int J Pharm* 359, 247-253

18. Yang R, Shim WS, Cui FD, Cheng G, Han X, et al. (2009). Enhanced electrostatic interaction between chitosan-modified PLGA nanoparticle and tumor. *Int J Pharm* 371, 142-147.

19. Bowman, K. and Leong K. W. (2006). Chitosan nanoparticles for oral drug and gene delivery, *Int J Nanomedicine*. 2006 Jun; 1(2): 117-128.

20. Reto A. Schwendener, R.A. (2014). Liposomes as vaccine delivery systems: a review of the recent advances, *Therapeutic Advances in Vaccines*, 2(6): 159–182.

21. Pardakhty, A. and Moazeni, E. (2013). Nano-niosomes in drug, vaccine and gene delivery: a rapid overview, *Nanomedicine Journal* 1(1), 1-12.

22. Gao, C.; Wei, D.; Yang, H.; Chen, T. and Yang, L. (2015). Nanotechnology for treating osteoporotic vertebral fractures, *International Journal of Nanomedicine*. 2015; 10: 5139–5157.

34. gadolinium (Gd)- Gd@C60

35. Contrast

۳۶. دلیل اندازه بسیار کوچک و زیست سازگاری بالا (عموما ساختار اصلی از نانوذرات کربن از جمله نانولوله‌های کربنی CNT است)، توسط سیستم ایمنی به عنوان مهاجم و یا خارجی محسوب نمی‌شوند.

37. Cash and Clark

38. <http://www.medicalnewstoday.com/articles/299663.php>

39. Drug, Gene and Vaccine Delivery

40. Nano-Chitosan

41. Nano-Liposome

42. Chitin

43. Polymer

44. N-Acetylglucosamine

45. <https://en.wikipedia.org/wiki/Chitin>

۴۶. حذف گروه استیل از کیتین تا زمانی که محصول نهایی قابلیت انحلال در استتیک اسید رقیق را در دمای اتاق دارا باشد، نشان‌دهنده ایجاد کیتوسان به اندازه قابل قبول است.

47. Chitosan

48. biodegradable

49. Bio-adhesiveness

50. Lin, Liu, Huang, Sun, Wu and et al.

51. In vitro

52. In vivo

53. Yang, Shim, Cui, Cheng, Han and et al.

54. Bowman and Leong

55. Amphiphilic

56. Archaeosomes, Virosomes, and Niosomes

57. Schwendener

۵۸. Nano Niosomes ها لیپیدهای هیدراته متشکل از سورفکتانت‌های غیر یونی مختلف هستند.

59. Pardakhty and Moazeni

۶۰. در تحویل ژن یا Gene Delivery از سامانه‌های تحویل ژن ویروسی یا غیر ویروسی استفاده می‌شود.

61. photothermolysis

62. Osteoporosis

63. Collagen, proteoglycans and hydroxyapatite

64. osteoporotic vertebral fracture (OVF)

65. bisphosphonate

66. Gao, Wei, Yang, Chen, and Yang

منابع

1. Beyth, N; Hour-Haddad, Y.; Domb, A.; Khan, w.; and Hazan, R. (2015). Alternative Antimicrobial Approach: Nano-Antimicrobial Materials, Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, Article ID 246012, 16 pages.

2. Cash, K. J. and Clark, H.A. (2010). Nanosensors and nanomaterials for monitoring glucose in diabetes, *Trends Mol Med*. 2010 Sep 23; 16(12): 584–593.

3. Converging Technologies for Improving Human Performance, NANOTECHNOLOGY, BIOTECHNOLOGY, INFORMATION TECHNOLOGY AND COGNITIVE SCIENCE, Mihail C. Roco and William Sims Bainbridge, 2003 Kluwer Academic Publishers (currently Springer)

4. Drbohlavova, J.; Adam, V.; Kizek, R. and Hubalek, J. (2009). Quantum Dots- Characterization, Preparation and Usage in Biological Systems, *International Journal of Molecular Sciences*, 10, 656-673

5. Freitas Jr. R.A. (1999). *Nanomedicine*, Vol-

1. Information technology
2. Biotechnology
3. Cognitive science
4. Converging technologies
5. Diagnosis, treatment, and prevention of disease
6. https://en.oxforddictionaries.com/definition/medical_science
7. Freitas

۸. Biofilm زیست‌غشاهای در حقیقت تجمع میکرو ارگانیسم‌ها هستند که روی یک بستر و سطح می‌چسبند.
۹. نانوذرات به مولدی گفته می‌شود که اندازه آن‌ها در هر سه بعد در محدوده نانومقیاس یعنی ۱ الی ۱۰۰ نانومتر است.

10. Beyth, Hour-Haddad, Domb, Khan, and Hazan

۱۱. البسه، وسایل بهداشتی، وسایل مکان‌های عمومی از جمله دستگیره‌های اتوبوس، مترو، توالت‌های عمومی، میز و نیمکت‌ها در مهدی‌های کودک و مدارس و ...

12. biomimetic

13. Chitosan

14. Biocompatible

15. reactive oxygen species

16. quaternary ammonium polyethylenimines (QPEI)

17. Paszkiewicz, Gołabiewska, Rajska, Kowal, Sajdak, and Zaleska-Medynska

18. In situ

19. <http://edu.nano.ir/paper/371>

20. Sagadevan, Savitha and Preethi

21. Medical imaging

22. Nano-Bio-Sensors

۲۳. Exciton Bohr radius یک کمیت فیزیکی قابل اندازه‌گیری و عبارت است از فاصله فیزیکی بین الکترون در نوار

نوار هدایت با حفره به وجود آمده در نوار ظرفیت

24. Kluson, Drobek, Bartkova, and Budil

25. Kral, Sotola, Neuwirth, Kejlik, Zaruba, and Martasek

26. Qian, Dong, Weng, and Ren

27. Iyer, Pinaud, Tsay, and Weiss

28. Organic Dyes

۲۹. Quantum yield نسبت تعداد فوتون نشر به تعداد فوتون جذب شده را بهره کوانتومی می‌گویند و معرف

میزان روشنایی نمونه در مقابل منبع تشعشع است.

۳۰. پایداری نوری photo-stability به معنای دوام خاصیت نشر ذره فعال در برابر منبع تابش نور و انرژی

است که به دلیل عدم از هم پاشیدگی ساختار ذره به وجود می‌آید، به عبارت دیگر، هنگامی که ذرات خاصیت

فلورسانس یا فسفرسانس دارد، اگر در مقابل منبع تابش، در مدت زمان کوتاهی، تجزیه شود و دیگر قادر به جذب و

نشر تابش نباشد، از پایداری نوری برخوردار نیست.

به زبان ساده به این معناست که ترکیبات فعال در برابر تابش، هنگامی که در مقابل منبع تابش قرار می‌گیرند با جذب تابش، الکترون‌هایشان به سطوح بالاتر انتقال می‌یابند و به اصطلاح

برانگیخته می‌شوند که این حالت ناپایدار است و با نشر تابش جذب شده به صورت فلورسانس و یا فسفرسانس به حالت اولیه یا پایه برمی‌گردند.

۳۰. پایداری نوری photo-stability به معنای دوام خاصیت نشر ذره فعال در برابر منبع تابش نور و انرژی

است که به دلیل عدم از هم پاشیدگی ساختار ذره به وجود می‌آید، به عبارتی هنگامی که ذرات خاصیت فلورسانس

یا فسفرسانس دارد اگر در مقابل منبع تابش، در مدت زمان کوتاهی، تجزیه شود و دیگر قادر به جذب و نشر تابش

نباشد از پایداری نوری برخوردار نیست.

31. Drbohlavova, Adam, Kizek, and Hubalek

32. magnetic resonance imaging

33. Metallofullerenes, Endofullerenes