



واحد بهداشت مرکز پژوهش‌های
دانشجویان

نخستین شماره

تابستان
۱۴۰۵



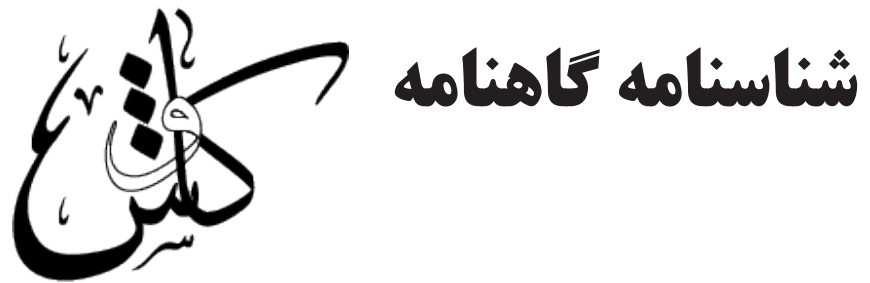
واحد بهداشت
مرکز پژوهش‌های علمی و فناوری دانشجویان
دانشگاه علوم پزشکی تهران



مرکز پژوهش‌های علمی و فناوری دانشجویان
دانشگاه علوم پزشکی تهران



واحد بهداشت
مرکز پژوهش‌های علمی و فناوری دانشجویان
دانشگاه علوم پزشکی تهران



نفسین شماره (تابستان ۱۴۰۵)

شماره مجوز: ۱۴۰۵/۳۳/۵۸/۴۴۱

مدیر مسئول: سقراط عمری شکفتیک

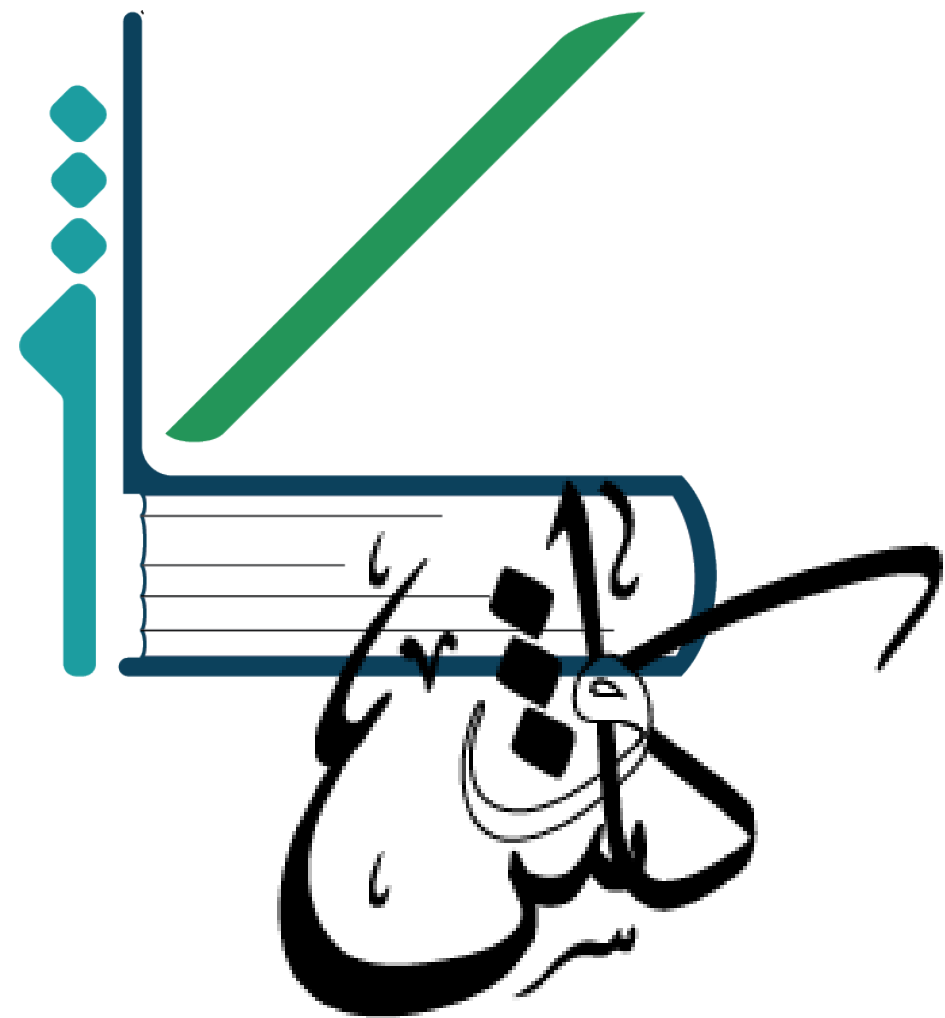
سر دبیر: سیده مهسا خدائی

طراح جلد و صفحه آرا: باهر اسمعیل پور

ویراستار: سقراط عمری شکفتیک

صاحب امتیاز:

مرکز پژوهش‌های علمی و فناوری دانشگاهیان
دانشگاه علوم پزشکی تهران؛ دانشکده بهداشت



هیئت تحریریه



سقراط عمری شکفتیک

دانشجوی دکترای تخصصی رشته مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشگاه علوم پزشکی تهران



سیده مهسا خدائی

دانشجوی دکترای تخصصی رشته بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تهران



حامد سلیمانی

دانشجوی دکترای تخصصی رشته مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران



ندا مهرپور

دانشجوی دکترای تخصصی رشته بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشگاه علوم پزشکی تهران



آرزو علیمحمدی

دانشجوی دکترای تخصصی رشته بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تهران



راضیه نوروزی

دانشجوی دکترای تخصصی رشته بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تهران



مبینا میرزایی

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تهران



نرگس حقی

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تهران



بهاره محمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تهران



حجت ندیمی

دانشجوی دکترای تخصصی رشته مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران



علیرضا بختیاری

دانشجوی دکترای تخصصی رشته بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تهران



فاطمه میرپارسا

دانشجوی دکتری تخصصی سیاستگذاری سلامت، دانشگاه علوم پزشکی تهران



مهدیه محمدزاده

دانشجوی دکترای تخصصی سلامت در بلایا و فوریت ها، دانشگاه علوم پزشکی تهران

تاریخ تحول نانومواد و نانوفناوری ۱۲

پیامدهای زیست محیطی نانوذرات مهندسی شده: از منابع انتشار تا دینامیک

زیستی و راهبردهای آینده..... ۲۰

اثرات مواجهه شغلی با نانومواد ۳۰

کاربرد نانوتکنولوژی در تولید ترکیبات و افزودنی های مواد غذایی..... ۳۶

کاربرد نانوذرات برای حذف آلاینده ها از سیستم آبی ۴۴

معرفی و بررسی کتاب ۵۲

کاربرد نانوذرات در بسته بندی مواد غذایی ۵۶

کاربرد نانو فناوری در حذف آلاینده های نوظهور از محیط زیست..... ۶۲

شناسایی و اندازه گیری آلاینده ها در مواد غذایی با استفاده از فناوری نانو ۶۸

پذیرش اجتماعی نانوتکنولوژی و نقش سیاستگذاران در مدیریت ادراک عمومی

خطر ۷۶

کاربرد نانوفناوری در پیشگیری از بلایا ۸۰

فخر سردبیر

نشریه واحد بهداشت مرکز پژوهش‌های دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی تهران با رسالت ارتقای دانش و فرهنگ سلامت، در این شماره به بررسی یکی از مهم‌ترین و تحول‌آفرین‌ترین عرصه‌های علمی معاصر یعنی فناوری نانو پرداخته است. نانوفناوری، دانشی است که با ورود به مقیاس‌های بسیار کوچک، توانسته است افق‌های تازه‌ای را در علوم پزشکی، محیط زیست، صنایع غذایی و حتی مدیریت بحران بگشاید.

این فناوری نه تنها در عرصه پژوهش‌های بنیادی، بلکه در کاربردهای عملی نیز جایگاهی ویژه یافته است. از پایش و حذف آلاینده‌ها در منابع آبی و محیط زیست گرفته تا ارتقای کیفیت و ایمنی مواد غذایی، از بسته‌بندی‌های نوین تا تولید افزودنی‌های سالم، همه و همه نشان می‌دهد که نانو می‌تواند به‌طور مستقیم بر سلامت انسان و جامعه اثرگذار باشد. در کنار این دستاوردها، توجه به ابعاد اجتماعی و اخلاقی نانوفناوری نیز ضروری است؛ چرا که پذیرش عمومی و مدیریت ادراک خطر، نقشی تعیین‌کننده در مسیر توسعه پایدار این فناوری ایفا می‌کند.

دانشگاه علوم پزشکی تهران به‌عنوان یکی از پیشگامان عرصه آموزش و پژوهش در کشور، وظیفه دارد علاوه بر معرفی ظرفیت‌های علمی، به چالش‌ها و مخاطرات احتمالی نیز بپردازد. مواجهه شغلی با نانومواد و اثرات آن بر سلامت نیروی انسانی، نمونه‌ای از این دغدغه‌هاست که نیازمند بررسی دقیق و سیاست‌گذاری مسئولانه است. همچنین، نقش نانوفناوری در پیشگیری از بلایا و کاهش مخاطرات زیست‌محیطی، چشم‌اندازهای تازه‌ای را برای مدیریت بحران و حفاظت از سلامت عمومی ترسیم می‌کند. این شماره تلاش کرده است تصویری جامع و چندبعدی از نانوفناوری ارائه دهد؛ تصویری که هم دستاوردهای علمی و کاربردی را برجسته می‌سازد و هم ضرورت نگاه انتقادی و مسئولانه را یادآور می‌شود. امید داریم این مجموعه بتواند زمینه‌ای برای گفت‌وگو میان پژوهشگران، سیاست‌گذاران و جامعه علمی فراهم آورد و گامی مؤثر در جهت ارتقای سلامت و کیفیت زندگی باشد.

با احترام

سیده مهسا خدائ‌نژاد

یک قاب، یک نشریه



علمی و حضور فعال دانشجویان در رویدادهای پژوهشی، تنها بخشی از مسیری است که این مرکز در کنار دانشجویان طی می‌کند. این مجله نیز ادامه همین مسیر است؛ تلاشی برای آنکه علم، تنها در آزمایشگاه‌ها و مقاله‌ها باقی نماند، بلکه به زبانی روان‌تر، نزدیک‌تر و الهام‌بخش‌تر روایت شود.

امیدواریم هر صفحه از این نشریه، جرقه‌ای برای یک ایده تازه، یک همکاری جدید و گامی دیگر در مسیر پژوهش و نوآوری باشد؛ چرا که آینده علم، از همین امروز و از همین قدم‌های کوچک آغاز می‌شود.

هر دستاورد علمی، پیش از آنکه به مقاله‌ای منتشر شده یا ایده‌ای اثرگذار تبدیل شود، از جایی آغاز می‌شود؛ از یک پرسش، یک گفت‌وگو، یک همکاری و فرصتی برای آموختن. مرکز پژوهش‌های علمی و فناوری دانشجویان دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران با همین نگاه شکل گرفته است؛ تا فضایی فراهم کند که دانشجویان تنها مخاطب علم نباشند، بلکه در تولید، توسعه و ترویج آن نیز نقش‌آفرین شوند. برگزاری کارگاه‌ها و مدارس آموزشی، حمایت از فعالیت‌های پژوهشی، توسعه همکاری‌های علمی، تولید محتوای آموزشی، انتشار آثار

پیش از قرن بیستم

پیش از آنکه مقیاس نانو توسط دانشمندان تعریف شود، تمدن‌های باستانی و صنعتگران قرون وسطی به‌طور ناآگاهانه از خواص منحصر به فرد نانومواد در مصنوعات خود بهره می‌بردند. این کاربردهای اولیه، اگرچه فاقد درک علمی عمیق بودند، اما نمایانگر قابلیت‌های شگفت‌انگیز مواد در این مقیاس هستند.

یکی از شناخته‌شده‌ترین نمونه‌های استفاده ناخودآگاه از نانومواد، «جام لیکورگوس^۳» است که یک مصنوع شیشه‌ای رومی باستانی (۳۰ قبل از میلاد تا ۶۴۰ پس از میلاد) محسوب می‌شود. این جام خاصیت دایکرومیک^۴ دارد؛ به طوری که هنگامی که نور سفید به آن بازتاب می‌یابد، سبز رنگ به نظر می‌رسد، اما وقتی نور از آن عبور می‌کند، رنگ قرمز متمایل به زرشکی نمایان می‌شود. تحلیل‌های مدرن با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری نشان داد که دلیل این اثر نوری عجیب، وجود نانوذرات طلا و نقره در ماتریس شیشه است. احتمالاً خلق این اثرات منحصر به فرد در روم باستان تصادفی بوده است، زیرا تکه‌های باقی‌مانده‌ای از آن دوران یافت شده که نشان‌دهنده تلاش‌های ناموفق در بازآفرینی این اثر است.



Lycurgus Cup

۱. Nanotechnology
۲. Nanoscience
۳. Lycurgus Cup
۴. Dichroism

تاریخ تحول نانومواد و نانوفناوری

سقراط عمری شکفتیک و حامد سلیمانی

چکیده:

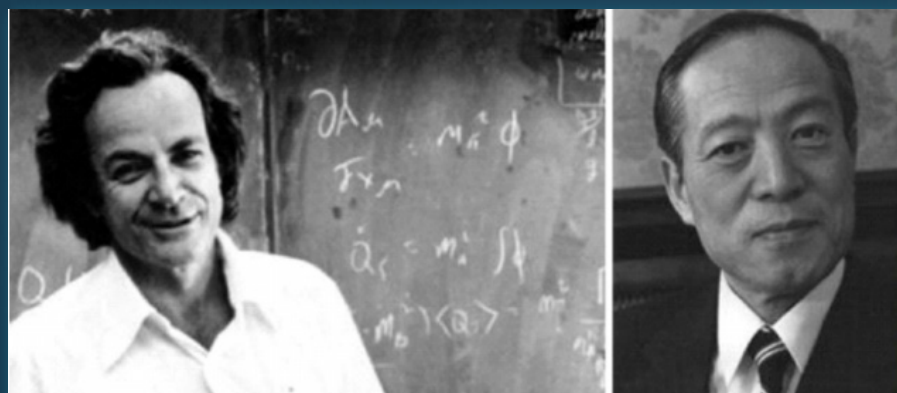
نانوفناوری به مطالعه و کنترل ماده در مقیاس نانومتری می‌پردازد و با بهره‌گیری از خواص منحصر به فرد مواد، به یکی از فناوری‌های راهبردی جهان تبدیل شده است. این فناوری از کاربردهای تجربی در دوران باستان تا شکل‌گیری علمی آن با ایده‌های فاینمن و پیشرفت ابزارهای نانومقیاس تکامل یافته است. امروزه نانوفناوری با کشف نانومواد جدید، نقش مهمی در پیشرفت علم، صنعت و فناوری‌های نوین ایفا می‌کند.

مقدمه

نانوفناوری^۱، به عنوان یکی از پیشروترین حوزه‌های علمی در قرن بیست و یکم، نه تنها یک رشته علمی جدید، بلکه یک انقلاب در چگونگی درک و دستکاری ماده است. این حوزه به طور مشخص به ابعاد ماده در مقیاس ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌پردازد. در این مقیاس، مواد رفتارها و خواص فیزیکی، شیمیایی، الکتریکی و مکانیکی متفاوتی نسبت به حالت ماکروسکوپی خود نشان می‌دهند.

به عنوان مثال، تغییر اندازه یک ماده می‌تواند منجر به تغییر شدید در رنگ (خواص نوری) یا استحکام مکانیکی آن شود. ضروری است که تمایزی میان «علم نانو^۲» و «نانوفناوری» قائل شویم. علم نانو به همگرایی رشته‌هایی چون فیزیک، شیمی، علم مواد و زیست‌شناسی می‌پردازد و هدف آن مطالعه و درک دستکاری ماده در مقیاس‌های اتمی و مولکولی است. در مقابل، نانوفناوری توانایی مشاهده، اندازه‌گیری، دستکاری، مونتاژ، کنترل و تولید ماده در مقیاس نانومتر را شامل می‌شود. تاریخچه این رشته، مسیری سه‌گانه را طی کرده است: ریشه‌های ناآگاهانه در تمدن‌های باستانی، انقلاب مفهومی و ابزاری در نیمه دوم قرن بیستم و در نهایت نهادهای ساز و کاربردهای استراتژیک در قرن حاضر. این مقاله، با هدف ارائه یک درک جامع، به بررسی این مسیر تکاملی می‌پردازد.

تعریف تانیگوچی بر جنبه‌های مهندسی تولید متمرکز بود؛ او نانوفناوری را به عنوان «فناوری تولید برای دستیابی به دقت فوق‌العاده بالا و ابعاد بسیار ظریف، یعنی دقت و ظرافت در حد ۱ نانومتر» توصیف کرد. تانیگوچی نانوفناوری را اساساً متشکل از «پردازش جداسازی، تلفیق و تغییر شکل مواد توسط یک اتم یا یک مولکول» می‌دانست. این تعریف، برخلاف دیدگاه نظری فاینمن، یک رویکرد عملی و فنی را برای مهندسان فراهم کرد و بر الزامات فرآیندهای تولید در مقیاس اتمی تأکید نمود. این فاصله زمانی طولانی (حدود دو دهه) بین ایده فاینمن و تحقق عملی آن، چالش‌های عظیم مهندسی مورد نیاز برای تبدیل نظریه دستکاری اتمی به یک علم عملی را برجسته می‌کند. ایده فاینمن یک دعوت بزرگ بود، اما تحقق آن نیازمند ابزارهایی بود که هنوز وجود نداشتند.



Richard Feynman

Norio Taniguchi

اگر فاینمن پدر مفهومی نانوفناوری بود، دهه ۱۹۸۰ را باید عصر تولد عملی این رشته دانست. تحقق چشم‌انداز فاینمن و پیشبرد علم نانو، تنها با ظهور ابزارهای قادر به مشاهده و تعامل با ماده در مقیاس اتمی ممکن شد.

یک تحول کلیدی که علم نانو و نانوفناوری را وارد مرحله جدیدی کرد، اختراع میکروسکوپ پیمایشی تونلی^۶ بود. در سال ۱۹۸۱، فیزیکدانان شرکت IBM، گرد بینینگ^۷ و هاینریش رورر^۸، در آزمایشگاه تحقیقاتی IBM زوریخ این ابزار انقلابی را معرفی کردند. STM برای اولین بار به دانشمندان این امکان را داد تا ساختارهای سطح مواد را در مقیاس اتمی تصویربرداری کنند. اولین آزمایش بینینگ و رورر شامل بازرسی ساختار سطح یک بلور طلا بود، و وضوح فضایی بی‌نظیر آن، راه را برای مطالعه ساختار ماده در ابعاد کاملاً جدید باز کرد. آن‌ها در سال ۱۹۸۶ به دلیل این اختراع، جایزه نوبل فیزیک را دریافت کردند.

همچنین، در اروپای قرون وسطی (۵۰۰ تا ۱۴۵۰ میلادی)، هنرمندان سازنده شیشه‌های رنگی کلیساها، پیشگامان ناآگاه نانو تکنولوژی بودند. رنگ قرمز یاقوتی برخی از این شیشه‌ها به دلیل وجود نانو ذرات طلا در ماتریس شیشه است، در حالی که رنگ زرد پررنگ به نانو ذرات نقره نسبت داده می‌شود. علاوه بر این، پژوهشگران در مورد نمونه‌هایی از شیشه‌های حاوی سلنیوم که به رنگ یاقوتی بودند، مشاهده کردند که رنگ‌بندی به رسوب بلورک‌های نیمه‌رسانا مانند CdSe و CdS نسبت داده می‌شود.

فولاد دمشق^۱ که تولد متالورژی مدرن را تسریع بخشید، به دلیل استحکام کششی نهایی و نقطه تسلیم بسیار بالا و همچنین بافت سطحی منحصربه‌فرد ناشی از ترکیب فلزات با درصد کربن متفاوت، شناخته می‌شود. این فولاد از سنگ آهن ووتز^۲ که از معادن هند استخراج می‌شد، تولید می‌گردید. در پژوهش‌های مدرن، فرضیه‌ای مبنی بر وجود نانولوله‌های کربنی و نانوسیم‌ها در ساختار فولاد دمشق مطرح شده است. این کشف احتمالی نشان می‌دهد که صنعتگران چند قرن پیش از آنکه نانو تکنولوژی به یک واژه علمی تبدیل شود، از آن استفاده می‌کردند.

تولد یک ایده

تاریخچه آگاهانه نانوفناوری با یک رویکرد کاملاً نظری در حوزه فیزیک آغاز شد و این دیدگاه، زیربنای فکری برای تمام پیشرفت‌های بعدی در این حوزه را فراهم آورد. پایه‌های مفهومی نانو تکنولوژی مدرن توسط ریچارد فاینمن^۳، فیزیکدان برنده جایزه نوبل، بنا نهاده شد. او در ۲۹ دسامبر ۱۹۵۹، در نشست سالانه انجمن فیزیک آمریکا، سخنرانی مشهور خود را با عنوان «فضای زیادی در پایین وجود دارد»^۴ ارائه داد.

فاینمن در این سخنرانی، فرضیه امکان دستکاری مواد و ساخت ماشین‌آلات در سطح اتمی و مولکولی را مطرح کرد. او با طرح یک چالش فکری مشهور، اهمیت بالقوه فشرده‌سازی اطلاعات را نشان داد: «چرا نتوانیم تمام ۲۴ جلد دایرةالمعارف بریتانیکا را روی سر یک سوزن بنویسیم؟». فاینمن حتی روش‌های فنی موجود در سال ۱۹۵۹ را برای خواندن چنین اطلاعاتی شرح داد؛ از جمله فشردن فلز به پلاستیک، ساخت قالب، تبخیر سیلیکا، استفاده از میکروسکوپ الکترونی و سایه‌سازی با طلا. او تأکید کرد که اگر این نوشته‌ها ۲۵ هزار بار کوچک شوند، خواندن آن‌ها با تکنیک‌های آن زمان دشوار نخواهد بود. مهم‌تر از آن، فاینمن چشم‌انداز استفاده از «ماشین‌هایی برای ساخت ماشین‌های کوچک‌تر» و پیشروی تا سطح مولکولی را ترسیم کرد. این دیدگاه جسورانه، فاینمن را به عنوان پدر نانو تکنولوژی مدرن (از نظر مفهومی) تثبیت می‌کند.

با وجود چشم‌انداز فاینمن در سال ۱۹۵۹، واژه دقیق «نانوفناوری» ۱۵ سال بعد ابداع شد. در سال ۱۹۷۴، نوریو تانیگوچی^۵ از دانشگاه علوم توکیو، برای اولین بار این واژه را به کار برد و آن را تعریف نمود.

۱. Damascus steel
۲. Wootz
۳. Richard Feynman
۴. There's Plenty of Room at the Bottom
۵. Norio Taniguchi
۶. Scanning Tunneling Microscope - STM
۷. Gerd Binnig
۸. Heinrich Rohrer

در سال ۱۹۹۱، سومییو ایجیما^{۱۰} در شرکت NEC ژاپن، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی، نانولوله‌های کربنی چندجداره^{۱۱} را کشف و شناسایی کرد. نانولوله‌ها که آلوتروپ دیگری از کربن هستند، به دلیل خواص مکانیکی و الکتریکی استثنایی (مانند استحکام فوق‌العاده و هدایت الکتریکی عالی)، به سرعت به یک عنصر کلیدی در تحقیقات نانوتکنولوژی تبدیل شدند. کشف نانولوله‌ها، همراه با فولرن‌ها، باعث شد که نانوتکنولوژی به سرعت به سمت مواد ساختاریافته پیش برود. این اکتشافات همچنین زمینه‌ساز توسعه ترانزیستورهای پیشرفته در الکترونیک مانند FinFET در دهه ۱۹۹۰ شدند که سنگ بنای ساخت دستگاه‌های نیمه‌رسانای نانوالکترونیک مدرن به شمار می‌روند.

یکی دیگر از تحولات مهم این دوره، درک خواص فیزیک کوانتوم در مقیاس نانو بود. الکسی اکیموف^{۱۲}، لوئیس بروس^{۱۳} و مونگی باوندی^{۱۴} به طور مستقل در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰، نانوکریستال‌های نیمه‌رسانا یا نقاط کوانتومی^{۱۵} را کشف و سنتز کردند. توسعه روش‌های سنتز و کنترل دقیق خواص نقاط کوانتومی توسط این دانشمندان، انقلابی در نانوفناوری ایجاد کرد و امکان توسعه فناوری‌های جدید، به ویژه در نمایشگرها و لیزرها، را فراهم آورد. این کشف، اهمیت همگرایی فیزیک کوانتوم و علم مواد را در مقیاس نانو به وضوح نشان داد.

اگرچه STM یک انقلاب بود، اما کاربرد آن محدود به مواد رسانا بود. برای گسترش دامنه تحقیقات نانومقیاس به مواد غیررسانا و سیستم‌های بیولوژیکی، ابزار دیگری مورد نیاز بود. در سال ۱۹۸۶، بینینگ به همراه کالوین کوئیت^۱ و کریستوف گرب^۲، میکروسکوپ نیروی اتمی^۳ را اختراع کردند. AFM به سرعت به یکی از ابزارهای اصلی برای تصویربرداری، اندازه‌گیری و دستکاری ماده در مقیاس نانو تبدیل شد و اولین مدل‌های تجاری آن در سال ۱۹۸۹ در دسترس قرار گرفت.

اختراع STM و AFM تنها به دیدن ماده محدود نمی‌شد؛ بلکه پتانسیل کنترل ماده در مقیاس اتمی را نیز اثبات کرد. در ۲۸ سپتامبر ۱۹۸۹، دونالد ایگلر^۴، فیزیکدان IBM، اولین فردی بود که توانست یک اتم منفرد را جابجا و کنترل کند.

ایگلر با استفاده از نوک STM خود به عنوان یک ابزار دستکاری، توانست ۳۵ اتم زنون را جابجا کرده و لوگوی IBM را با آنها هجی کند. این دستاورد یک اثبات مفهوم نمادین و حیاتی برای دیدگاه فاینمن بود و نشان داد که کنترل ماده در مقیاس اتم به اتم (که اساس رویکرد پایین به بالا^۵ است) نه تنها یک ایده نظری، بلکه یک واقعیت عملی است. کار ایگلر نشان داد که دانشمندان از صرفاً فرضیه‌پردازی در مورد مقیاس نانو، به مهندسانی تبدیل شده‌اند که می‌توانند بلوک‌های ساختمانی اتمی را برای ایجاد ساختارهای جدید کنترل کنند.

عصر مواد نانو ساختار

همزمان با انقلاب ابزاری، کشف ساختارهای نانومقیاس جدید با خواص استثنایی، نانوفناوری را از یک حوزه صرفاً ابزاری به یک علم مواد کاربردی تبدیل کرد.

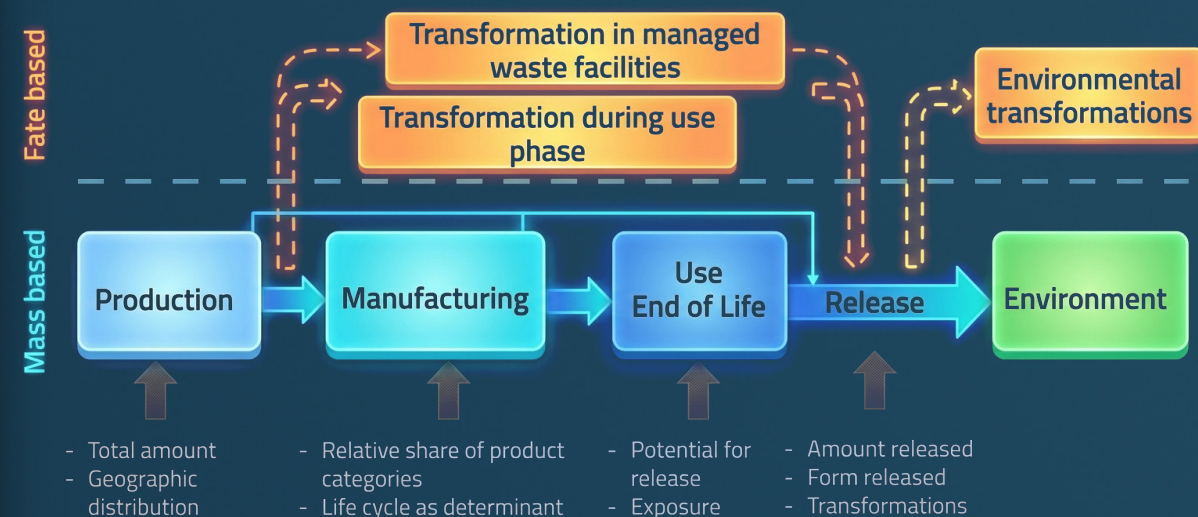
در سال ۱۹۸۵، گروهی از دانشمندان شامل هارولد کروتو^۶، رابرت کرل^۷ و ریچارد اسمالی^۸، یک کلاس کاملاً جدید از مولکول‌های کربن را سنتز و توصیف کردند که به فولرن‌ها^۹ مشهور شدند. این کشف طی یک دوره ۱۰ روزه پرشور انجام شد و این ساختار کربنی قفس‌مانند، آلوتروپ جدیدی از کربن را پس از الماس و گرافیت معرفی کرد. کروتو، کرل، و اسمالی در سال ۱۹۹۶ به طور مشترک برنده جایزه نوبل شیمی برای کشف فولرن‌ها شدند. این کشف، در کنار توسعه ابزارهای تصویربرداری، نشان داد که مهندسی طبیعت می‌تواند موادی با عملکرد بسیار فراتر از مواد سنتی تولید کند.

۱. Calvin Quate
۲. Christoph Gerber
۳. Atomic Force Microscope - AFM
۴. Donald M. Eigler
۵. Bottom-Up
۶. Harold Kroto
۷. Robert Curl
۸. Richard Smalley
۹. Fullerenes
۱۰. Sumio Iijima
۱۱. Multi-walled Carbon Nanotubes
۱۲. Alexei Ekimov
۱۳. Louis E. Brus
۱۴. Mounqi Bawendi
۱۵. Quantum Dots - QDs

1. Omari Shekaftik S, H. Shirazi F, Yarahmadi R, rasouli M, Solaymani Dodaran M, Ashtarinezhad A. Exploratory study of nanoworkers' symptoms & work-relatedness of these symptoms. Tehran, iran: Iran University of medical sciences; 2019.
2. Omari Shekaftik S, SheikhMozafari MJ, Biganeh J, Ramandi FF, Shahtaheri SJ. Occupational hazards of emerging technologies: Insights from key-enabling technologies. Science of The Total Environment. 2025;995:180101.
3. Nasirzadeh N, Omari Shekaftik S. Occupational Exposure to Nanomaterials: Hazards, Toxicity and Safety Concerns. In: Faheem M, Ditta A, Du J, editors. Nanomaterials in Industrial Chemistry. 1 ed. Boca Raton: CRC Press; 2024. p. 179–216.
4. Omari Shekaftik S, Nasirzadeh N. Nanotechnology-Enabled Face Masks for Improved Medical Applications. Nanoengineered Materials for Medical and Healthcare Applications 2025. p. 321–41.
5. Khan WS, Asmatulu R. Chapter 1 - Nanotechnology Emerging Trends, Markets, and Concerns. In: Asmatulu R, editor. Nanotechnology Safety. Amsterdam: Elsevier; 2013. p. 1–16.
6. Nanomaterials Definitions, Classifications, and Applications. In: Dolez PI, editor. Nanoengineering. Amsterdam: Elsevier; 2015. p. 3–40.
7. Ahmed W, Jackson MJ, Ul Hassan I. Chapter 1 - Nanotechnology to Nanomanufacturing. In: Ahmed W, Jackson MJ, editors. Emerging Nanotechnologies for Manufacturing (Second Edition). Boston: William Andrew Publishing; 2015. p. 1–13.

تاریخچه نانومواد و نانوفناوری، نشان‌دهنده مسیری است از کاربردهای تصادفی در تمدن‌های باستانی، به سمت درک نظری دقیق، و سپس دستیابی به توانمندی‌های ابزاری. این تحولات فنی، به نوبه خود، کشف مواد جدید با ساختارهای را تسهیل کردند. نکته کلیدی در این سیر تاریخی، رابطه علت و معلولی بین ابزار و اکتشاف است: بدون STM و AFM، عملاً دستاوردهای بعدی در علم مواد نانو بسیار دشوار یا غیرممکن بود. این ابزارها، ایده فاینمن در مورد رویکرد پایین به بالا را به یک واقعیت علمی تبدیل کردند.

موفقیت‌های اولیه در کاربردهای بالینی، مانند تأیید دوکسیل در سال ۱۹۹۵، به عنوان کاتالیزوری عمل کرد که توجه لازم را برای سرمایه‌گذاری‌های عظیم دولتی (مانند تأسیس NNI در سال ۲۰۰۰) فراهم آورد. این حمایت‌های استراتژیک در سراسر جهان، تضمین کرد که نانوفناوری به یک فناوری همگرا و نهادینه شده تبدیل شود. در حال حاضر، چالش‌های اصلی نه در کشف، بلکه در مدیریت پیامدهای اجتماعی، اخلاقی و حقوقی این فناوری و همچنین پیشبرد نوآوری به سوی کاربردهای ایمن و مسئولانه نهفته است.



AI Modified: (1)

منابع انتشار و ویژگی‌های زیست‌سمی نانوذرات پرکاربرد

آلومینیوم اکسید (آلومینا)

در میان نانوذرات مختلف نانوذرات آلومینیوم اکسید (آلومینا) یکی از پرمصرف‌ترین نانوذرات در جهان هستند و حدود ۲۰ درصد بازار جهانی نانوذرات را تشکیل می‌دهند. دلیل افزایش تولید آن‌ها، کاربردهای گسترده در زمینه‌های صنعتی و زیستی است:

- **کاربردهای صنعتی:** کاتالیست‌ها، سرامیک‌های ساختاری، تقویت‌کننده‌ها، اصلاح پلیمرها، نساجی‌های عملکردی، سیالات انتقال حرارت و تصفیه فاضلاب

- **کاربردهای زیستی:** زیست‌حسگرها، بیوفیلتراسیون، دارورسانی

با وجود این مزایا، شواهد نشان می‌دهد که مواجهه با آلومینا می‌تواند منجر به استرس اکسیداتیو، التهاب و تخریب سد خونی-مغزی شود. مطالعات سلولی نشان داده‌اند که نانوذرات آلومینا تهیه‌شده با روش‌های میکروامولسیون و زینترینگ سنتی، باعث مرگ باکتری‌ها می‌شوند. مکانیسم پیشنهادی این اثرات شامل اتصال نانوذرات به غشاء سلولی، اختلال در نفوذپذیری غشاء و اختلال در فرآیندهای تنفس سلولی است. بنابراین، در کنار توسعه کاربردهای صنعتی و زیستی، ارزیابی دقیق سمیت و مدیریت ریسک نانوذرات آلومینا برای تضمین ایمنی زیست‌محیطی و انسانی ضروری است.

پیامدهای زیست‌محیطی نانوذرات مهندسی‌شده: از منابع انتشار تا دینامیک زیستی و راهبردهای آینده

سیده مهسا خدائی

چکیده:

گسترش کاربرد نانوذرات در صنایع مختلف از داروسازی و تجهیزات پزشکی تا انرژی، کشاورزی و لوازم آرایشی منجر به افزایش قابل توجه ورود این مواد به محیط‌زیست شده است. ویژگی‌هایی مانند اندازه کوچک، سطح ویژه بالا و رفتارهای فیزیکوشیمیایی منحصربه‌فرد سبب می‌شود نانوذرات در اکوسیستم‌ها تجمع یافته و پیامدهای زیست‌سمی ایجاد کنند. در سال‌های اخیر حوزه «نانتوکسیکولوژی» با هدف بررسی منابع مواجهه، سرنوشت نانوذرات در محیط، روش‌های اندازه‌گیری و راهکارهای کنترل ریسک شکل گرفته است. این مقاله با تمرکز بر نانوذرات رایج مانند آلومینا، نانولوله‌های کربنی، نانوذرات ناشی از احتراق زغال‌سنگ و آلاینده‌های خروجی خودرو، به بررسی اثرات زیستی، چالش‌های تحلیلی، دینامیک محیطی، رفتار در اکوسیستم‌های آبی و خشکی، و نقش این ذرات در انتقال آلاینده‌ها می‌پردازد. در پایان، به اهمیت توسعه نانو فناوری سبز و ضرورت وضع مقررات سخت‌گیرانه برای کاهش خطرات زیست‌محیطی آن اشاره شده است.

مقدمه

کاربردهای گسترده نانوذرات در صنایع مختلف مانند داروسازی، لوازم آرایشی، تجهیزات پزشکی، رنگ‌ها، ذخیره‌سازی انرژی و حتی صنایع غذایی و کشاورزی، سبب افزایش میزان ورود این ذرات به محیط‌زیست شده است. این نانوذرات به دلیل اندازه کوچک، سطح ویژه بالا و خواص منحصربه‌فردشان در زمینه‌های مختلف استفاده می‌شوند. اما همین ویژگی‌ها باعث می‌شود اثرات زیست‌محیطی آن‌ها مانند تجمع در موجودات زنده، سمیت و تغییرات در اکوسیستم اهمیت زیادی پیدا کند. به همین دلیل حوزه‌ای به نام نانتوکسیکولوژی شکل گرفته که بر منابع مواجهه، روش‌های اندازه‌گیری غلظت در محیط، سرنوشت نانوذرات در آب و خاک، اثرات زیستی و راهکارهای کاهش خطرات آن‌ها تمرکز دارد. منابع اصلی نانوذرات محیطی شامل تولید صنعتی، کاربردهای مصرفی و دفع زباله هستند. سازمان همکاری و توسعه اقتصادی^۱ دی‌اکسید تیتانیوم، اکسید نقره و اکسید روی را به عنوان مهم‌ترین نانوذرات آلاینده محیط زیست معرفی کرده است که در محصولات آرایشی و بهداشتی استفاده شده و به راحتی وارد آب و خاک شده و سمیت قابل توجهی برای آبزیان دارند.

۱. OECD: (Organization for Economic Co-operation and Development)

ابزارهای تحلیلی برای شناسایی، اندازه‌گیری و ردیابی نانوذرات

تعیین سطح و غلظت نانوذرات برای فهم سرنوشت آن‌ها در محیط و زنجیره غذایی حیاتی است. برای درک بهتر غلظت نانومواد در محیط و انجام آزمون‌های دقیق، ابزارهای مناسب برای تصویربرداری و اندازه‌گیری دقیق غلظت نانوذرات لازم‌اند تا بتوان اثرات سمّی آن‌ها را در سیستم‌های زیستی (مهره‌داران و بی‌مهرگان) به‌طور دقیق ارزیابی کرده و رابطه دوز-پاسخ را بهتر تحلیل نمود. این ابزارها با وجود پیشرفت‌های زیاد، محدودیت‌هایی از جمله حساسیت پایین و وضوح ناکافی دارند. یکی از چالش‌های مهم در مطالعات نانوتوکسیولوژی این است که بتوانیم نانوذرات ساخته‌شده توسط انسان را از ذرات طبیعی موجود در بدن یا محیط تشخیص دهیم، چون در بافت‌های زیستی همیشه ترکیبات معدنی یا ذرات طبیعی وجود دارند و اگر این دو با هم اشتباه گرفته شوند، نتایج آزمایش‌ها دقیق نخواهد بود. برای حل این مشکل، پژوهشگران از نانوذرات برچسب‌گذاری‌شده با ایزوتوپ استفاده می‌کنند تا بتوان آن‌ها را به‌طور اختصاصی ردیابی کرد، و همچنین از روش‌های طیف‌سنجی جرمی بهره می‌گیرند که ترکیب و جرم دقیق ذرات را مشخص می‌کند. این ابزارها کمک می‌کنند بفهمیم دقیقاً کدام نانوذرات وارد بدن یا محیط شده‌اند و اثراشان را جداگانه بررسی کنیم، بنابراین داده‌های قابل اعتماد و دقیق برای ارزیابی خطرات زیست‌محیطی و بهداشتی فراهم می‌شود.

یکی از پیشرفته‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های تحلیلی برای شناسایی و اندازه‌گیری نانوذرات، طیف‌سنجی جرمی پلاسمای القایی^۳ است. این فناوری با حساسیت بسیار بالا قادر است تعداد، اندازه و غلظت نانوذرات را در نمونه‌های محیطی یا زیستی تعیین کند و علاوه بر آن، امکان ردیابی تجمع و توزیع نانومواد در سلول‌ها و بافت‌های زنده را فراهم می‌سازد.

در مطالعات نانوتوکسیولوژی محیطی، ابزارهای تحلیلی پیشرفته نقش کلیدی در شناسایی، اندازه‌گیری و ردیابی نانوذرات در نمونه‌های زیستی و محیطی ایفا می‌کنند. از سوی دیگر، تکنیک‌هایی نظیر گاما اسپکتروسکوپی و اتورادیوگرافی برای بررسی انتقال نانوذرات در زنجیره غذایی و تعیین میزان جذب و دفع آن‌ها در موجودات آبی کاربرد دارند. همچنین، استفاده از ایزوتوپ‌گذاری به‌عنوان روشی نوین برای ردیابی زیست‌دسترس‌پذیری و تجمع زیستی نانوذرات اهمیت ویژه‌ای دارد و نشان داده شده است که مسیر ورود نانوذرات از طریق غذا می‌تواند اثرات زیان‌بارتری نسبت به ورود از طریق آب داشته باشد. در مجموع، ترکیب این ابزارها و روش‌ها داده‌های دقیق و قابل اعتماد برای ارزیابی خطرات زیست‌محیطی نانوذرات فراهم می‌کند و به‌عنوان پایه‌ای علمی برای تدوین راهبردهای ایمنی و مدیریت ریسک در حوزه نانوتکنولوژی شناخته می‌شود.

نانولوله‌های کربنی^۱ به دلیل پایداری بالا و خواص مکانیکی و الکتریکی ممتاز، کاربرد گسترده‌ای در صنایع هوافضا، خودروسازی و الکترونیک دارند و همچنین در حوزه زیست‌پزشکی به‌عنوان سامانه‌های دارورسانی و زیست‌حسگر مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ با این حال، مطالعات نشان داده‌اند که این نانوذرات می‌توانند اثرات زیست‌سمی جدی از جمله استرس اکسیداتیو، التهاب، آپوپتوز، التهاب ریوی، فیبروز و تشکیل گرانولوم در ریه ایجاد کنند، که این پیامدها عمدتاً ناشی از تجمع نانولوله‌های کربنی در بافت‌های ریوی و تحریک پاسخ‌های ایمنی و التهابی است، بنابراین ارزیابی دقیق سمیت مزمن آن‌ها پیش از توسعه کاربردهای صنعتی و پزشکی ضروری است.

نانوذرات حاصل از احتراق زغال‌سنگ

منابع انرژی قدیمی نظیر زغال‌سنگ نیز همچنان یکی از مهم‌ترین عوامل آلودگی هوا و انتشار ذرات معلق محسوب می‌شوند. زغال‌سنگ به‌عنوان سوخت اصلی نیروگاه‌ها به دلیل فراوانی و هزینه پایین، منبع عمده تولید انرژی محسوب می‌شود؛ اما احتراق آن منجر به رهایش ذرات جامد سبکی بنام CFAs^۲ در محیط می‌گردد که حاوی فلزات، ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای و سیلیکا هستند. سالانه حدود ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلیون تن CFA از مصرف ۳۰۰۰ میلیون تن زغال‌سنگ تولید می‌شود. بررسی‌های میکروسکوپی و طیف‌سنجی نشان داده‌اند که CFA شامل نانوذراتی با اندازه حدود ۵۰ نانومتر است که به‌صورت وابسته به دوز، متابولیسم سلولی را مهار کرده و سبب کاهش بقای سلول‌های انسانی در غلظت‌های متفاوت می‌شود.

نانوآلاینده‌های خروجی خودرو

منابع انتشار نانوذرات تنها به نیروگاه‌ها محدود نیست، بلکه افزایش سریع استفاده از وسایل نقلیه موجب انتشار گسترده ذرات نانویی حاصل از آگزوز خودروها شده است، این ذرات شامل نانوذرات حاصل از سوخت دیزل و بنزین هستند که در مطالعات سلولی موجب کاهش بقای سلول‌ها، استرس اکسیداتیو، نشت غشایی، پراکسیداسیون لیپیدی، التهاب سلولی و آزادسازی پروتئین‌ها شده‌اند. بنابراین، هم نانوذرات ناشی از احتراق زغال‌سنگ و هم نانوذرات حاصل از آگزوز خودروها، به‌عنوان منابع مهم آلودگی نانویی شناخته می‌شوند که اثرات سمی جدی بر سلامت انسان و کیفیت هوای شهری دارند.

^۱. Carbon Nanotubes(CNTs)^۲. Coal Fly Ashes (CFAs)^۳. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

سرنوشت زیستی نانوذرات در اکوسیستم‌های مختلف

نانوذرات به راحتی می‌توانند بر سلامت اکوسیستم‌های آبی و خشکی اثر بگذارند که این موضوع ناشی از رفتارهای نوین آن‌هاست.

اکوسیستم‌های آبی

افزایش استفاده از نانوذرات مهندسی‌شده در صنایع و کاربردهای تجاری باعث ورود آن‌ها به محیط‌های آبی و تماس مستقیم با سلول‌های بی‌مهرگان و مهره‌داران ساکن محیط‌های آبی می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که بی‌مهرگان موجودات حساس و مناسبی برای ارزیابی اثرات نانوذرات هستند، زیرا این ذرات می‌توانند در بدن آن‌ها تجمع یابند و سمیت ایجاد کنند. برای نمونه، نانوذرات نقره از طریق اندوسیتوز وارد سلول‌های بی‌مهرگان شده و در اندامک‌ها، پروتئین‌های تغییر یافته و بخش‌های متالوتیونین تجمع می‌کنند. میزان تجمع زیستی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نانوذرات مانند اندازه، ترکیب و قابلیت انحلال بستگی دارد؛ به‌طور کلی نانوذرات کوچک‌تر و محلول‌تر زیست‌دسترس‌پذیری و سمیت بیشتری دارند. همچنین، دینامیک محیطی مانند انحلال یا تجمع ذرات می‌تواند بر میزان جذب و سمیت آن‌ها اثر بگذارد. علاوه بر تماس مستقیم، نانوذرات می‌توانند از طریق غذا وارد بدن بی‌مهرگان شوند و اثرات زیستی شدیدی ایجاد کنند. مطالعات نشان داده‌اند که نانوذرات اکسید مس و روی در بی‌مهرگان آب شیرین از طریق رژیم غذایی آسیب‌زاتر از تماس مستقیم با آب هستند. تجمع این ذرات در دستگاه گوارش گونه‌هایی مانند *Daphnia magna* باعث اختلال در رشد و تولیدمثل شده است. همچنین، نانوذرات فولرن و آهن در گونه‌های دریایی موجب اختلال در مسیرهای لیزوزومی، اختلال در تولیدمثل و تأخیر در رشد جنین شده‌اند. از منظر زنجیره غذایی نیز، ورود نانوذرات به بدن شکار می‌تواند سبب انتقال آن‌ها به شکارچی شود، هرچند برخی مطالعات نشان داده‌اند که برخی نانوذرات مانند CeO در بدن حلزون و میگو سریع دفع می‌شوند و جذب پایدار ندارند. در مجموع، این یافته‌ها اهمیت بررسی سمیت حاد و مزمن، مسیرهای غذایی و دینامیک محیطی را در ارزیابی خطرات نانوذرات برای اکوسیستم‌های آبی برجسته می‌سازد. در اکوسیستم‌های آبی، ماهی‌ها از جمله مهره‌داران اصلی هستند که در معرض ورود نانوذرات قرار می‌گیرند و ماهی‌ها به دلیل تماس مستقیم با آب و ویژگی‌های سطحی مخاطی، موجودات حساس و مهمی برای بررسی خطرات زیست محیطی نانوذرات محسوب می‌شوند. مسیر اصلی ورود این ذرات به بدن، آبشش‌ها هستند و پس از آن روده، کبد و مغز نیز می‌توانند تحت تأثیر قرار گیرند. استرس اکسیداتیو، التهاب، اختلال در تنظیم یون‌ها و آسیب عروقی از دیگر اثرات تجمع نانوذرات در بدن ماهی است. علاوه بر اندام‌های داخلی، بافت‌های خارجی مانند کانال‌های بویایی و خط جانبی ماهی‌ها نیز تحت تأثیر نانوذرات قرار می‌گیرند.

دینامیک محیطی نانوذرات

پس از ورود نانوذرات به محیط، آن‌ها تحت تحول‌های پویا قرار می‌گیرند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نانومواد مانند اندازه، شکل، سطح ویژه، ترکیب عنصری، اصلاح سطح و ساختار بلوری تعیین‌کننده اصلی دینامیک محیطی آن‌ها هستند و می‌توانند منجر به سمیت محیطی و سمیت زیستی شوند. علاوه بر ویژگی‌های ذاتی نانوذرات، پارامترهای محیطی مانند pH، قدرت یونی، حضور کلوئیدهای آلی و معدنی، و دما نیز زیست‌دسترس‌پذیری و سمیت آن‌ها را دستخوش تغییر می‌کند. این تغییرات در سه دسته اصلی تحولات فیزیکی، شیمیایی و زیستی طبقه‌بندی می‌شوند که سرنوشت نانوذرات در محیط زیست را تعیین می‌کنند. به بیان دیگر، رفتار و اثرات نانوذرات در محیط پویا و وابسته به شرایط محیطی است و همین امر مطالعه و مدیریت ریسک آن‌ها را پیچیده‌تر می‌سازد.



AI Modified: (2)

وقتی نانوذرات وارد خاک یا گیاه می‌شوند، می‌توانند رشد گیاه را کم کنند و کیفیت و سلامت خاک را پایین بیاورند. برای مثال، نانوذرات سریا در گیاه گوجه‌فرنگی اثرات بین‌نسلی ایجاد کرده‌اند؛ گیاهان نسل دوم کوچکتر، ضعیف‌تر و دارای زیست‌توده کمتر بودند و میزان گونه‌های فعال اکسیژن در آن‌ها افزایش یافته بود. در گیاهان گندم نیز این نانوذرات باعث کاهش کلروفیل، تأخیر در گل‌دهی و تغییرات بیوشیمیایی شدند. نانوذرات سریا در خاک می‌توانند در ریشه و گره‌های ریشه سویا تجمع یابند و همچنین در ریشه و ساقه ذرت انباشته شوند. این تجمع زیستی موجب تغییر در جذب مواد غذایی در ذرت و سویا شده و سلامت و رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی نانوذرات دیگر مثل اکسید آهن در گیاه کدو تنبل تجمع پیدا می‌کنند و رشد گیاهان همزیست با قارچ‌های میکوریز را کم می‌کنند. همچنین نانوذرات آلومینیوم می‌توانند رشد ریشه را متوقف کنند. به طور کلی، این مواد در خاک و گیاهان باعث کاهش رشد، تغییر در جذب مواد غذایی و آسیب به کیفیت خاک می‌شوند. نانوذرات می‌توانند به‌عنوان ناقل آلاینده‌ها عمل کنند و ترکیباتی مانند عناصر رادیواکتیو، آفت‌کش‌ها، ترکیبات کلره و هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای را روی سطح خود جذب کنند. در نتیجه، نانوذرات به‌صورت یک کمپلکس نانوذره-آلاینده وارد بدن موجودات می‌شوند و آلاینده‌ها درون بدن آزاد شده و زیست‌دسترس‌پذیری و سمیت آن‌ها افزایش می‌یابد که این جذب می‌تواند انتقال و تجمع آلاینده‌ها در آب، خاک و موجودات زنده را افزایش دهد و حتی کیفیت خاک و آب را تغییر دهد. مطالعات نشان داده است تماس همزمان نانوذرات با فلزات سنگین مانند سرب باعث افزایش تجمع آن‌ها در اندام‌های حیوانات و ایجاد آسیب‌های شدید کبدی و التهابی شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که نانوذرات علاوه بر اثرات مستقیم خود، می‌توانند به‌عنوان حامل آلاینده‌ها عمل کرده و خطرات زیست‌محیطی و بهداشتی را چند برابر کنند.



علاوه بر نانوذرات موجود در محیط‌های آبی، حضور و رفتار نانوذرات در خاک نیز اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی آن‌ها می‌تواند بر پایداری، انتقال و سمیت در اکوسیستم‌های زمینی اثرگذار باشد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که قرار گرفتن کرم‌های ریز (نماتودها) در معرض نانوذرات نقره طی چند نسل باعث افزایش حساسیت آن‌ها شده است. در مقابل، نانومواد کربنی مانند نانولوله‌های کربنی، فولرن و گرافن معمولاً برای کرم‌های خاکی و میکروب‌ها خطر کمی دارند، اما در برخی موارد می‌توانند برای لارو دوزیستان زیان‌آور باشند. بصورت کلی نتایج مطالعات بیانگر آن بوده است که دوزیستان و کرم‌های خاکی نسبت به نانومواد فلزی مانند اکسید آهن، دی‌اکسید تیتانیوم، اکسید روی و اکسید مس حساس‌تر هستند. این ذرات می‌توانند در بدن آن‌ها تجمع پیدا کنند و در غلظت‌های بالا اثرات سمی ایجاد کنند. به‌طور کلی، نانومواد خاک‌زاد نه تنها بر موجودات اولیه خاک اثر دارند، بلکه می‌توانند وارد زنجیره غذایی شوند و خطرات بیشتری برای دیگر موجودات و اکوسیستم ایجاد کنند.

تأثیرات سلولی و مولکولی

نانوذرات وقتی وارد بدن موجودات زنده می‌شوند، می‌توانند با سلول‌ها و مولکول‌های مهم مثل DNA، پروتئین‌ها و لیپیدها ارتباط برقرار کنند. این تماس باعث تغییر در غشاهای سلولی، تولید مواد واکنش‌پذیر مثل گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه آسیب به ساختار و عملکرد سلول می‌شود. اثرات اصلی شامل آسیب به غشا، اختلال در فعالیت آنزیم‌ها، تخریب DNA، ایجاد استرس اکسیداتیو و تغییر در سدهای زیستی مثل روده و ریه است. برای نمونه، نانوذرات نقره می‌توانند وارد لیزوزوم شوند و عملکرد آن را مختل کنند یا نانولوله‌های کربنی مسیرهای انتقال یون را مسدود کنند. در کل، این تعاملات نشان می‌دهند که شناخت دقیق رفتار نانوذرات در سطح سلول برای استفاده ایمن آن‌ها در صنعت و پزشکی ضروری است.

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که برخی نانوذرات مهندسی‌شده مانند الیاف نانویی تنگستن و نانوذرات اکسید روی می‌توانند وارد سلول‌های پوششی اندام‌های گوارشی و جنین قورباغه شوند و باعث استرس اکسیداتیو و تغییر در ساختار و عملکرد اتصالات سلولی شوند. همچنین نانوذراتی مانند دی‌اکسید تیتانیوم، نقره، پلی‌استایرن و کربن موجب اختلال در عملکرد میتوکندری و کاهش تولید انرژی می‌شوند. البته در کنار این اثرات، مطالعات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که ترکیباتی مانند کورکومین اصلاح‌شده، عصاره شنبلیله و کوئرستین می‌توانند بخشی از سمیت ناشی از نانوذرات خاص را کاهش دهند.

تحقیقات آینده باید بر موارد زیر متمرکز شود:

- ارتقای روش‌های تحلیلی برای اندازه‌گیری دقیق نانومواد در محیط
- توسعه ابزارهایی برای سنجش بخش زیست‌دسترس‌پذیر نانوذرات
- تنظیم مقررات دقیق برای تولید، کاربرد و دفع نانومواد
- بررسی اثرات بلندمدت و تراژژنیک نانومواد در آزمایشات حیوانی
- طراحی پروتکل‌های سازگار با محیط‌زیست در مراحل سنتز و مصرف
- هدایت پژوهش‌ها به سمت توسعه ایمن و پایدار نانوفناوری در راستای سلامت انسان و محیط

نتیجه‌گیری

دانش موجود درباره خطرات زیست‌محیطی و میزان مواجهه با نانومواد هنوز محدود است و همین موضوع باعث ایجاد ابهام در ارزیابی ریسک می‌شود. در این مطلب، تمرکز بر منابع مواجهه، پویایی‌های زیست‌محیطی و زیستی، و اثرات منفی نانومواد بوده است؛ موادی که تولید آن‌ها به‌طور مداوم در حال افزایش است. این رویکرد اهداف پژوهشی جدیدی را برای جامعه نانوفناوری آشکار می‌کند و می‌تواند خط مقدم در حل مسائل زیست‌محیطی باشد. در نهایت، این مسیر می‌تواند دانشمندان را به سمت نانوفناوری سبز هدایت کند. نانوفناوری سبز به معنای استفاده از فناوری نانو برای تولید و کاربرد موادی است که هم نیازهای صنعتی و علمی را برآورده کنند و هم کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد سازند. در این رویکرد تلاش می‌شود نانومواد با روش‌های سازگار با طبیعت ساخته شوند، مصرف انرژی و منابع کاهش یابد، آلودگی کمتر ایجاد شود و حتی از نانومواد برای پاکسازی آب، هوا و خاک استفاده گردد. هدف اصلی نانوفناوری سبز، حرکت به سمت توسعه پایدار و ایمن است تا فناوری نانو نه تنها پیشرفت علمی و صنعتی ایجاد کند بلکه به حفظ سلامت انسان و محیط‌زیست نیز کمک نماید.

1. Devasena T, Iffath B, Renjith Kumar R, Muninathan N, Baskaran K, Srinivasan T, John ST. Insights on the dynamics and toxicity of nanoparticles in environmental matrices. *Bioinorganic chemistry and applications*. 2022;2022(1):4348149.
2. Bundschuh M, Filser J, Lüderwald S, McKee MS, Metreveli G, Schaumann GE, et al. Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? *Environmental Sciences Europe*. 2018;30(1):6.
3. Martínez G, Merinero M, Pérez-Aranda M, Pérez-Soriano EM, Ortiz T, Villamor E, et al. Environmental impact of nanoparticles' application as an emerging technology: A review. *Materials*. 2020;14(1):166.
4. Buchman JT, Hudson-Smith NV, Landy KM, Haynes CL. Understanding nanoparticle toxicity mechanisms to inform redesign strategies to reduce environmental impact. *Accounts of chemical research*. 2019;52(6):1632-42.
5. Kabir E, Kumar V, Kim K-H, Yip AC, Sohn J. Environmental impacts of nanomaterials. *Journal of Environmental Management*. 2018;225:261-71.
6. Rajput VD, Minkina TM, Behal A, Sushkova SN, Mandzhieva S, Singh R, et al. Effects of zinc-oxide nanoparticles on soil, plants, animals and soil organisms: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2018;9:76-84.
7. Rajput VD, Minkina T, Sushkova S, Tsitsuashvili V, Mandzhieva S, Gorovtsov A, et al. Effect of nanoparticles on crops and soil microbial communities. *Journal of Soils and Sediments*. 2018;18(6):2179-87.

اثرات مواجهه شغلی با نانومواد

ندا مهرپرور

چکیده:

گسترش سریع فناوری نانو موجب استفاده گسترده از نانومواد مهندسی شده (ENMs) در صنایع مختلف شده و مواجهه شغلی با این ذرات را افزایش داده است. نانومواد با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی منحصر به فرد، از جمله اندازه، شکل، بار سطحی و سطح ویژه، می‌توانند اثرات سمی قابل توجهی بر سیستم‌های تنفسی، قلبی عروقی، عصبی، پوستی و تولیدمثلی ایجاد کنند. مسیرهای اصلی مواجهه شامل استنشاق، تماس پوستی و بلع تصادفی هستند. مکانیسم‌های زیستی عمدتاً شامل تولید گونه‌های فعال اکسیژن، التهاب، آسیب DNA و اختلال در عملکرد سلولی است. پایش محیطی، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی و تدوین مقررات

مقدمه

در میان مسیرهای مختلف مواجهه شغلی، استنشاق مهم‌ترین مسیر انتقال نانومواد به بدن محسوب می‌شود. نانوذرات استنشاق شده قادرند به اعماق ریه نفوذ کرده و از آنجا وارد گردش سیستمیک شوند. تماس پوستی نیز به‌ویژه در مورد اکسیدهای فلزی و نانومواد پایه‌کربنی از اهمیت برخوردار است و میزان نفوذ پوستی آن‌ها به ویژگی‌های سطحی و اندازه ذرات بستگی دارد. بلع نیز اگرچه مسیر ثانویه محسوب می‌شود، اما اغلب در اثر انتقال دست آلوده به دهان یا تماس با سطوح آلوده رخ می‌دهد و نمی‌توان آن را نادیده گرفت.

سیستم تنفسی یکی از مهم‌ترین اهداف آسیب در مواجهه شغلی با نانومواد است. استنشاق نانوذرات معلق در هوا می‌تواند به التهاب و آسیب بافت ریه منجر شود و علائمی همچون سرفه، خس‌خس سینه و تنگی نفس را ایجاد کند. مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داده‌اند کارگرانی که در صنایع مرتبط با تولید یا کاربرد نانومواد فعالیت دارند، میزان بیشتری از علائم تنفسی را نسبت به گروه‌های غیرمواجهه گزارش می‌کنند. مواجهه با نانولوله‌های کربنی، نانومواد پایه‌فلزی مانند اکسیدهای فلزی، یا نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با بروز التهاب ریوی، فیبروز و در مواردی تغییرات ساختاری برگشت‌ناپذیر در بافت ریه مرتبط دانسته شده است. مکانیسم‌های مولکولی دخیل در این اثرات غالباً شامل تولید بیش‌ازحد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، برهم‌خوردن تعادل اکسیداتیو، فعال‌سازی مسیرهای التهابی و آسیب به DNA و غشاهای سلولی است.

علاوه بر اثرات ریوی، سیستم قلبی عروقی نیز می‌تواند تحت تأثیر مواجهه با نانومواد قرار گیرد. شواهد نشان می‌دهد بخش قابل توجهی از نانومواد استنشاق شده توانایی عبور از سد هوایی خونی و ورود به جریان خون را دارند. حضور نانومواد در گردش خون ممکن است به بروز التهاب سیستمیک، اختلال عملکرد اندوتلیال، افزایش فشارخون، تسریع روند تصلب شرایین و بی‌نظمی‌های ضربان قلب منجر شود. همچنین برخی نانومواد، با تأثیرگذاری بر سامانه انعقاد خون، ممکن است خطر تشکیل لخته‌های میکروسکوپی را افزایش دهند. این یافته‌ها نگرانی‌هایی جدی در خصوص پیامدهای طولانی‌مدت قلبی عروقی در کارگران ایجاد کرده است؛ به‌ویژه در محیط‌هایی که کنترل مهندسی و تهویه مناسب وجود ندارد.

تماس پوستی با نانومواد نیز، به‌ویژه در صنایع وابسته به نانومواد پایه‌کربنی و اکسیدهای فلزی، یکی از مسیرهای مواجهه قابل توجه در محیط کار است. نانوذرات می‌توانند سبب تحریک پوستی، التهاب، واکنش‌های آلرژیک یا در موارد خاص نفوذ به لایه‌های عمقی پوست شوند. ذرات کوچک‌تر با سطح فعال‌تر و نانومواد دارای بار مثبت معمولاً قابلیت نفوذ بیشتری دارند. برخی مطالعات نشان داده‌اند که تماس مکرر با نانوذرات نقره، دی‌اکسید تیتانیوم یا نانومواد کربنی می‌تواند به تغییرات ساختاری پروتئین‌های پوستی یا اختلال در عملکرد سد دفاعی پوست منجر شود. علاوه بر این، احتمال جذب سیستمیک برخی نانومواد پس از نفوذ پوستی، نگرانی‌هایی در مورد اثرات بلندمدت ایجاد کرده است.



Author Provided: AI Modified

با توجه به رشد روزافزون صنایع مبتنی بر فناوری‌نانو، باید راهبردهای نظارتی، استانداردهای ایمنی، پایش محیطی و برنامه‌های آموزشی کارگران به‌طور جدی توسعه یابد. همچنین، ادامه پژوهش‌های بنیادی و کاربردی برای آشکارسازی اثرات بلندمدت مواجهه و تدوین دستورالعمل‌های دقیق‌تر جهت حفاظت از نیروی کار در این حوزه ضروری است. پایش منظم میزان نانوذرات در محیط‌های کاری، بخشی اساسی از راهبردهای کنترل مواجهه محسوب می‌شود. در این راستا، به‌کارگیری روش‌هایی مانند نمونه‌برداری از سطوح و نمونه‌برداری از هوای محیط کار امکان شناسایی آلودگی‌های سطحی و تعیین غلظت نانوذرات معلق را فراهم می‌کند. استفاده از این روش‌ها به مدیران و کارشناسان ایمنی اجازه می‌دهد تا نقاط پرخطر را تشخیص داده و اقدامات اصلاحی لازم را به‌موقع اجرا کنند؛ امری که برای مدیریت مواجهه شغلی با نانومواد تصادفی اهمیت ویژه‌ای دارد. در کنار پایش محیطی، استفاده صحیح و مستمر از تجهیزات حفاظت فردی نقشی تعیین‌کننده در کاهش مواجهه مستقیم با نانومواد تصادفی ایفا می‌کند. تجهیزاتی نظیر ماسک‌های تنفسی مناسب، دستکش‌های محافظ، عینک ایمنی و پوشش‌های حفاظتی می‌توانند ورود نانوذرات به مسیرهای تنفسی و پوستی را تا حد چشمگیری کاهش دهند. آموزش کارگران در زمینه نحوه انتخاب، استفاده و نگهداری این تجهیزات، پیش‌شرط بهره‌گیری کامل از آن‌ها به شمار می‌رود و می‌تواند نقش مهمی در پیشگیری از بروز پیامدهای نامطلوب سلامت ایفا کند.

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در زمینه نانوفناوری، یکی از چالش‌های عمده، فقدان مقررات و دستورالعمل‌های اختصاصی برای مواجهه با نانومواد تصادفی است. بسیاری از استانداردهای موجود برای مواد بالک تدوین شده‌اند و قادر به پوشش کامل خطرات ناشی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد نانومواد نیستند. ازاین‌رو، تدوین دستورالعمل‌های مبتنی بر شواهد علمی، تعیین حدود مجاز مواجهه، و ایجاد چارچوب‌های نظارتی ویژه برای کاهش ریسک‌های شغلی مرتبط با این ذرات ضروری به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

در مجموع، اگرچه فناوری‌نانو فرصت‌های ارزشمندی را در حوزه‌های مختلف علمی و صنعتی فراهم کرده است، اما نباید از خطرات بالقوه مرتبط با مواجهه شغلی با نانومواد تصادفی غافل شد. پیامدهای احتمالی این مواجهه می‌تواند سیستم‌های تنفسی، قلبی عروقی، عصبی و تولیدمثلی را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، تلفیق پژوهش‌های علمی مستمر، پایش دقیق محیط‌های کاری، اجرای اقدامات کنترلی، و توسعه مقررات ویژه می‌تواند تضمین‌کننده استفاده ایمن، مسئولانه و پایدار از نانوفناوری در کاربردهای متنوع باشد.

سیستم عصبی نیز می‌تواند در معرض اثرات بالقوه نانومواد قرار گیرد، و این موضوع به‌عنوان یکی از حوزه‌های نوظهور پژوهشی در حال گسترش است. برخی نانومواد، به‌ویژه نانومواد فلزی و نانولوله‌های کربنی، توانایی عبور از سد خونی مغزی را دارند. ورود نانومواد به سیستم عصبی مرکزی می‌تواند فرآیندهای التهابی، اختلال در پیام‌رسانی عصبی، استرس اکسیداتیو و حتی تغییرات پاتولوژیک مشابه با بیماری‌های نورودژنراتیو را ایجاد کند. این یافته‌ها زنگ خطری برای کارگرانی است که به‌طور مداوم و بدون کنترل‌های حفاظتی مناسب در معرض غلظت‌های بالا از نانومواد قرار دارند.

برخی نانوذرات ممکن است عملکرد تولیدمثلی زنان را تحت‌تأثیر قرار دهند. تغییر در عملکرد تخمدان، اختلال در عملکرد جفت، و برهم‌خوردن محیط هورمونی از جمله پیامدهایی است که در مطالعات حیوانی مرتبط با مواجهه با نانومواد گزارش شده است. چنین اثراتی ضرورت ارزیابی دقیق‌تر پیامدهای مواجهه شغلی برای زنان در سنین باروری را برجسته می‌کند.

مواجهه گوارشی با نانومواد زمانی رخ می‌دهد که این ذرات بسیار ریز از طریق غذا، آب، دارو یا بلع ناخواسته وارد دستگاه گوارش شوند و به دلیل سطح فعال بالا و اندازه کوچکشان می‌توانند با سلول‌ها و آنزیم‌های گوارشی تعامل کنند، موجب التهاب و تحریک مخاط شوند، جذب مواد غذایی را مختل کنند و حتی از دیواره روده عبور کرده وارد جریان خون شوند؛ شدت این اثرات به نوع نانوذره (فلزی یا کربنی)، اندازه، پوشش سطحی، دوز و مدت تماس بستگی دارد و در مواجهه طولانی‌مدت احتمال بروز بیماری‌های التهابی یا اختلالات متابولیک مطرح است، به همین دلیل کنترل ایمنی در صنایع نانو، انجام آزمایش‌های سم‌شناسی و توسعه پوشش‌های زیست‌سازگار برای کاهش خطرات ضروری است.

نانوذرات قادرند در انواع مختلف سلول‌ها موجب بروز سمیت سلولی (cytotoxicity)، سمیت ژنتیکی (genotoxicity) و استرس اکسیداتیو شوند. این فرایندها می‌توانند اختلالات مولکولی گسترده‌تری ایجاد کرده و عملکرد بافت‌ها و اندام‌های مختلف را تحت تأثیر قرار دهند. از آنجا که نانومواد توانایی انتشار در سراسر بدن را دارند، پیامدهای سمی آن‌ها می‌تواند جنبه‌ای کاملاً سیستمیک پیدا کند.

پیامدهای سلامت ناشی از مواجهه با نانومواد همچنین با تنوع فردی و ویژگی‌های زیستی کارگران ارتباط دارد. عواملی مانند سن، وضعیت سلامت عمومی، سابقه بیماری‌های قلبی یا ریوی، حساسیت‌های ژنتیکی، سبک زندگی و حتی داروهای مصرفی می‌توانند پاسخ بدن به نانومواد را تعدیل یا تشدید کنند. افراد دارای بیماری‌های مزمن تنفسی یا قلبی عروقی در معرض خطر بالاتری قرار دارند و ممکن است در برابر نانوذرات آسیب‌پذیری بیشتری نشان دهند. در مجموع، پیامدهای سلامت ناشی از مواجهه شغلی با نانومواد چند بُعدی و پیچیده است و می‌تواند بر سیستم‌های تنفسی، قلبی عروقی، پوستی و عصبی اثر بگذارد.

ویژگی‌های منحصربه‌فرد نانومواد امکان نفوذ و برهم‌کنش گسترده با ساختارهای زیستی را فراهم می‌کند و این امر تعداد و شدت مکانیسم‌های آسیب‌شناختی را افزایش می‌دهد.

1. Sadeghimakki B, Zheng Y, Jahed NMS, Tarighat RS, Pham PH, Kim JJ, et al., editors. Toxicity and safety study of Cd-based and Cd-free quantum dots in third-gen PV and scaled-up processing platforms. Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference; 2016.
2. Świdwińska-Gajewska AM, Czerczak S. Nanomaterials - proposals of occupational exposure limits in the world and hygiene standards in Poland. *Medycyna Pracy*. 2013;64(6):829-45.
3. Zhang Y, Zhang Y, Que H, Lu C, Zhou S. Occupational nanoparticles: major sources, physicochemical properties, multi-organ toxic effects, and associated mechanisms. *Toxicology Mechanisms and Methods*. 2025;35(8):847-64.
4. Asmatulu E, Andalib MN, Subeshan B, Abedin F. Impact of nanomaterials on human health: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2022;20(4):2509-29.
5. Omari Shekaftik S, Mehrparvar N, Peivandi Z, Shahtaheri SJ. Risk assessment of occupational exposure to engineered and incidental nanomaterials: differences and challenges. *Journal of Nanoparticle Research*. 2024;26(4).
6. Gilbertson LM, Albalghiti EM, Fishman ZS, Perreault F, Corredor C, Posner JD, et al. Shape-Dependent Surface Reactivity and Antimicrobial Activity of Nano-Cupric Oxide. *Environmental Science and Technology*. 2016;50(7):3975-84.
7. Platel A, Carpentier R, Becart E, Mordacq G, Betbeder D, Nessler F. Influence of the surface charge of PLGA nanoparticles on their in vitro genotoxicity, cytotoxicity, ROS production and endocytosis. *Journal of Applied Toxicology*. 2016;36(3):434-44.
8. Bonventre JA, Pryor JB, Harper BJ, Harper SL. The impact of aminated surface ligands and silica shells on the stability, uptake, and toxicity of engineered silver nanoparticles. *Journal of Nanoparticle Research*. 2014;16(12).
9. Safi M, Sarrouj H, Sandre O, Mignet N, Berret JF. Interactions between sub-10-nm iron and cerium oxide nanoparticles and 3T3 fibroblasts: The role of the coating and aggregation state. *Nanotechnology*. 2010;21(14).
10. Ramachandran G, Park JY, Raynor PC. Assessing Exposures to Nanomaterials in the Occupational Environment. *Assessing Nanoparticle Risks to Human Health* 2011. p. 21-64.
11. Mráz J. Occupational health aspects of manufactured nanomaterials. *Praktický Lekar*. 2011;91(2):96-9.
12. Bonner JC, editor Nanoparticles as a potential cause of pleural and interstitial lung disease. *Proceedings of the American Thoracic Society*; 2010.
13. Simeonova PP, Erdely A. Engineered nanoparticle respiratory exposure and potential risks for cardiovascular toxicity: Predictive tests and biomarkers. *Inhalation Toxicology*. 2009;21(SUP-PL. 1):68-73.

14. Buzea C, Pacheco I. Toxicity of nanoparticles. *Nanotechnology in Eco-efficient Construction: Materials, Processes and Applications* 2018. p. 705-54.
15. Zhou W, Li YB, Guo CX. Progress in effect of nanoparticles on cardiovascular system and their mechanism. *Chinese Journal of Pharmacology and Toxicology*. 2013;27(2):294-8.
16. Yu X, Hong F, Zhang YQ. Bio-effect of nanoparticles in the cardiovascular system. *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*. 2016;104(11):2881-97.
17. Baroli B. Skin absorption and potential toxicity of nanoparticulate nanomaterials. *Journal of Biomedical Nanotechnology*. 2010;6(5):485-96.
18. Aloisi M, Rossi G, Colafarina S, Guido M, Cecconi S, Poma AMG. The Impact of Metal Nanoparticles on Female Reproductive System: Risks and Opportunities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(21).
19. Graham UM, Jacobs G, Yokel RA, Davis BH, Dozier AK, Birch ME, et al. From dose to response: In vivo nanoparticle processing and potential toxicity. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 9472017. p. 71-100.
20. Hedmer M, Ludvigsson L, Isaxon C, Nilsson PT, Skaug V, Bohgard M, et al. Detection of Multi-walled Carbon Nanotubes and Carbon Nanodiscs on Workplace Surfaces at a Small-Scale Producer. *Annals of Occupational Hygiene*. 2014;59(7):836-52.
21. Mostofi R, Wang B, Haghighat F, Bahloul A, Jaime L, editors. Performance of mechanical filters and respirators for capturing nanoparticles - Limitations and future direction. *Industrial Health*; 2010.
22. Mo Y, Gu A, Tollerud DJ, Zhang Q. Nanoparticle Toxicity and Environmental Impact. *Oxidative Stress and Biomaterials* 2016. p. 117-43

کاربرد نانوتکنولوژی در تولید ترکیبات و افزودنی‌های مواد غذایی

آرزو علیمحمدی و راضیه نوروزی

چکیده:

نانوتکنولوژی با دستکاری مواد در سطح اتمی و مولکولی، نقش مهمی در بهبود کیفیت، پایداری و کارایی ترکیبات و افزودنی‌های مواد غذایی ایفا می‌کند. استفاده از نانوحامل‌ها، نانوافزودنی‌ها، نانوکامپوزیت‌ها و نانوحسگرها امکان محافظت و رهاسازی کنترل‌شده ترکیبات فعال، افزایش ماندگاری و کیفیت غذا و ارتقای ایمنی محصولات را فراهم می‌آورد. با این حال، مسائل مربوط به ایمنی نانومواد، مقررات و پذیرش مصرف‌کننده از چالش‌های اساسی این حوزه محسوب می‌شوند.

مقدمه

تغییرات جمعیتی و دگرگونی سبک زندگی، سبب افزایش تقاضا برای بهبود کیفیت و بافت مواد غذایی شده است. در پاسخ به این نیاز، صنایع غذایی از موادی به نام افزودنی‌ها برای بهتر کردن ویژگی‌هایی مانند ظاهر، عطر، طعم و زمان نگهداری غذا استفاده می‌کنند. این افزودنی‌ها بر پایه وظیفه‌ای که بر عهده دارند به دسته‌های گوناگونی شامل رنگ دهنده‌ها، نگهدارنده‌ها، شیرین کننده‌ها، غلیظ‌کننده‌ها، امولسیفایرها و کنترل‌کننده‌های اسیدیته طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین افزایش تقاضا برای غذاهای فراسودمند (Functional Foods)، با کیفیت بالا و ایمن، همراه با نگرانی‌های زیست‌محیطی، صنعت غذا را به سمت به کارگیری فناوری‌های نوین سوق داده است. نانوتکنولوژی با دستکاری ماده در سطح اتمی و مولکولی، راهکارهای جدیدی برای غلبه بر محدودیت‌های موجود در تولید، نگهداری و توزیع مواد غذایی ارائه می‌دهد. در حوزه ترکیبات و افزودنی‌ها، نانوتکنولوژی می‌تواند به افزایش پایداری، زیست‌فراهمی (Bioavailability)، کارایی و کنترل دقیق رهاسازی مواد مؤثر منجر شود. از جمله دستاوردهای بزرگ و عینی این حوزه می‌توان به این موارد اشاره کرد:

دانشمندان با استفاده از نانوفناوری توانسته‌اند از پروتئین‌های شیر ساختارهای جدیدی مثل نانولوله‌ها و نانوذرات هوشمند بسازند. این نانوساختارها کمک می‌کنند ترکیبات حساس مثل پروبیوتیک‌ها را در برابر شرایط سخت محافظت کنند، بدون اینکه لازم باشد از حرارت برای نگهداری یا خشک‌کردنشان استفاده شود. همچنین با ترکیب پروتئین‌های شیر و قندهای پیچیده یک پوشش نانویی ساخته می‌شود که مثل یک زره کوچک از ویتامین‌ها یا پروبیوتیک‌ها محافظت می‌کند تا در طول نگهداری یا هضم از بین نروند و اثرشان را بهتر در بدن بگذارند. برای نوشیدنی‌های

شفاف، از نانوکامپوزیت‌های پروتئین-پکتین استفاده می‌شود تا مواد مغذی آب‌گریز (مثل بعضی ویتامین‌ها) به راحتی به آن‌ها اضافه شوند. علاوه بر این، با ترکیب پروتئین‌های آب‌پنیر و پلی‌ساکاریدها، امولسیون‌های پیشرفته ساخته می‌شود که کیفیت و پایداری نوشیدنی‌ها را بالا می‌برد. در نهایت، از نانوذغال به‌عنوان جاذب استفاده می‌شود تا رنگ‌های ناخواسته از مواد غذایی حذف شوند.

نانوحامل‌های هوشمند برای رهاسازی کنترل شده ترکیبات غذایی

یکی از مهمترین کاربردهای نانوتکنولوژی، طراحی سیستم‌های نانوحامل برای محافظت و رهاسازی هدفمند ترکیبات فعال در مواد غذایی است. بسیاری از ویتامین‌ها، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها، طعم‌دهنده‌ها و پروبیوتیک‌ها در شرایط محیطی مانند pH، نور، دما یا در دستگاه گوارش ناپایدار هستند و زیست‌فراهمی کمی دارند. این سیستم‌ها مانند کپسول‌های بسیار کوچکی هستند که ترکیبات ارزشمند غذایی را درون خود محافظت می‌کنند و آن را در زمان و مکان مناسب در بدن رها می‌سازند.

مکانسیم عمل این سیستم به این صورت است که این نانوحامل‌ها از تشکیل یک «سد محافظ» در اطراف ترکیب فعال (مثل ویتامین، پروبیوتیک یا روغن ماهی) استفاده می‌کنند. این سد از تخریب ترکیب توسط اسید معده، آنزیم‌های گوارشی، حرارت یا نور در طی فرآوری و نگهداری جلوگیری می‌کند. وقتی این نانوکپسول به بخش هدف از دستگاه گوارش (مثل روده) می‌رسد، در پاسخ به یک محرک خاص مانند pH بالاتر روده یا حضور آنزیم‌های خاص دیواره آن شکسته شده و ترکیب فعال به طور کنترل‌شده آزاد می‌شود. نانو حامل‌ها شامل انواع مختلفی هستند که در ذیل به آن‌ها می‌پردازیم:

لیپوزوم‌ها

این نانوحامل‌های کروی و دو لایه از فسفولیپیدها تشکیل شده‌اند که می‌توانند هم ترکیبات آبدوست و هم آب‌گریز را در خود جای دهند. از لیپوزوم‌ها برای محافظت از ویتامین‌های حساس مانند ویتامین C و D، آنزیم‌ها و طعم‌ها استفاده می‌شود. برای مثال، رهاسازی ویتامین D در روده کوچک به جای معده، جذب آن را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. برای مثال شیر غنی‌شده با ویتامین D در معده بسیار حساس است. با کپسوله کردن آن در لیپوزوم، ویتامین از اسید معده در امان می‌ماند و جذب آن در روده کوچک تا ۵۰ درصد یا بیشتر افزایش می‌یابد و کاربرد دیگر لیپوزوم استفاده از آن برای حفاظت از طعم‌های حساس مانند طعم مرکبات در نوشابه‌هاست، همانطور که اشاره شد لیپوزوم‌ها ذرات کروی بسیار ریز هستند که از یک لایه چربی (فسفولیپید) ساخته شده‌اند و می‌توانند مواد مختلف را درون خودشان محصور کنند. وقتی طعم‌های حساس مثل اسانس مرکبات (لیمو، پرتقال) در نوشابه‌ها استفاده می‌شوند، این ترکیبات خیلی زود در اثر اکسید

نانوذرات پلیمری

بر پایه پلیمرهای زیست‌سازگار و زیست‌تخریب‌پذیر مانند کیتوزان، آلژینات و پلی‌لاکتیک-کو-گلیکولیک اسید (PLGA) به‌طور گسترده برای کپسوله‌سازی ترکیبات فعال زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نانوذرات قابلیت طراحی به‌گونه‌ای را دارند که در پاسخ به محرک‌های فیزیولوژیک خاص، مانند تغییر pH در بخش‌های مختلف دستگاه گوارش، محتوای کپسوله‌شده را آزاد کنند. به‌عنوان نمونه، در محصولات غذایی نظیر آدامس یا آبنبات‌های حاوی نانوذرات کیتوزان، ترکیبات معطر مانند منتول یا اسانس نعنا درون این نانوذرات محبوس می‌شوند. این فرایند نه‌تنها از تخریب و تبخیر زودهنگام عطر جلوگیری می‌کند، بلکه امکان رهاسازی تدریجی و کنترل‌شده آن را در محیط دهان فراهم می‌سازد. در نتیجه، مصرف‌کننده تجربه‌ی حس تازگی و طعم پایدارتر را در طول مدت جویدن یا مکیدن محصول خواهد داشت.

نانوافزودنی‌ها برای بهبود کیفیت و عملکرد غذا

نانوافزودنی‌ها موادی در ابعاد نانو هستند که به‌طور مستقیم به ماده غذایی اضافه می‌شوند تا ویژگی‌هایی مانند رنگ، بافت، ارزش غذایی و ماندگاری را بهبود بخشند.

نانوکامپوزیت‌های پلیمری در بسته‌بندی

نانوکامپوزیت‌های پلیمری در بسته‌بندی مواد غذایی با ترکیب پلیمرها و نانوذرات، به‌ویژه نانوذرات رس، تولید می‌شوند و اگرچه مستقیماً وارد غذا نمی‌شوند، اما با ایجاد خاصیت سدکنندگی در برابر نفوذ اکسیژن، بخار آب و عوامل میکروبی، به‌طور غیرمستقیم از کیفیت و ماندگاری ترکیبات غذایی محافظت می‌کنند. افزودن نانوذرات رس به فیلم‌های پلیمری مسیر عبور گازها و رطوبت را پیچیده‌تر کرده و در نتیجه مقاومت مکانیکی و پایداری بسته‌بندی افزایش می‌یابد، که این امر نقش مهمی در حفظ تازگی و ایمنی مواد غذایی ایفا می‌کند.

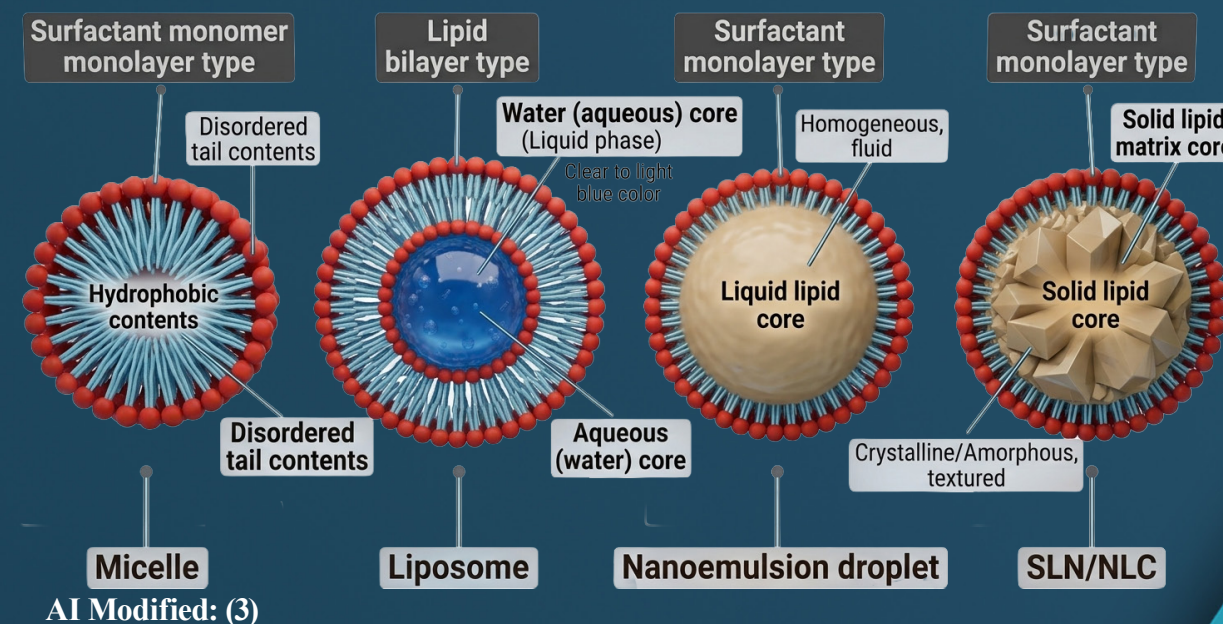
نانوذرات ضد میکروب

نانوذرات نقره (AgNPs)، نانوذرات اکسید روی (ZnO) و اکسید تیتانیوم (TiO_2) در بسته‌بندی‌های فعال مواد غذایی به‌عنوان عوامل ضد میکروبی و ضد قارچی عمل می‌کنند. این نانوذرات با جلوگیری از نفوذ و رشد میکروارگانیسم‌ها، ماندگاری، ایمنی و کیفیت مواد غذایی را افزایش می‌دهند و نقش مهمی در توسعه فناوری‌های نوین بسته‌بندی ایفا می‌کنند. نانوذرات فلزی و اکسیدی در بسته‌بندی مواد غذایی به‌عنوان عوامل فعال عمل کرده و از طریق مکانیسم‌های متفاوت موجب افزایش ایمنی و ماندگاری محصولات می‌شوند. نانوذرات نقره (AgNPs) با آزادسازی تدریجی یون‌های Ag به دیواره سلولی باکتری‌ها متصل شده و با پروتئین‌ها و DNA آن‌ها تداخل ایجاد می‌کنند که نهایتاً منجر به مرگ سلول میکروبی می‌شود؛ به همین دلیل در فیلم‌های بسته‌بندی گوشت و مرغ رشد باکتری‌های فسادزا مانند *E. coli* و *Salmonella* کاهش یافته و عمر مفید محصول افزایش می‌یابد. نانوذرات

شدن خراب می‌شوند و طعمشان تغییر می‌کند. اگر این اسانس‌ها داخل لیپوزوم‌ها قرار بگیرند، لایه‌ی چربی لیپوزوم مثل یک محافظ عمل می‌کند و مانع تماس مستقیم آن‌ها با اکسیژن یا نور می‌شود. نتیجه این است که طعم مرکبات مدت طولانی‌تری تازه و طبیعی باقی می‌ماند و نوشابه کیفیت بهتری خواهد داشت.

نانوامولسیون‌ها

نانوامولسیون‌ها مخلوط‌های کلوئیدی از دو مایع غیرقابل اختلاط مانند روغن و آب هستند که با کمک سورفکتانت پایدار می‌مانند و به دلیل اندازه بسیار ریز قطرات روغن، شفافیت و پایداری بالایی دارند. این ویژگی باعث می‌شود ترکیباتی مانند اسانس‌ها، روغن‌های ضروری و مواد مغذی محلول در چربی به‌خوبی در نوشیدنی‌ها و غذاها حل شوند و یکنواخت باقی بمانند. برای مثال در سس‌های سالاد کم‌چرب، طعم‌دهنده‌های روغنی مثل سیر یا رزماری در قطرات نانوامولسیون محبوس می‌شوند و حتی با مقدار کم روغن، طعم قوی و یکنواختی ایجاد می‌کنند زیرا سطح تماس طعم با جوانه‌های چشایی زبان افزایش می‌یابد. همچنین در نوشیدنی‌های غنی‌شده با ترکیباتی مانند کوآنزیم Q10 یا بتاکاروتن که به‌طور طبیعی در آب حل نمی‌شوند، نانوامولسیون‌ها این مواد را در فاز آبی معلق نگه می‌دارند و محصولی شفاف، پایدار و سرشار از مواد مغذی فراهم می‌کنند.



برچسب‌های نانویی روی بسته‌بندی

این برچسب‌ها می‌توانند تغییر رنگ داده و وجود اکسیژن در داخل بسته یا رشد باکتری‌ها را به مصرف‌کننده هشدار دهند. این نانوحسگرها به تولیدکنندگان و نهادهای نظارتی کمک می‌کنند تا به سرعت و با دقت بالا، سلامت محصول را در سراسر زنجیره تأمین ردیابی کنند.

چالش‌ها و ملاحظات ایمنی و مقرراتی

با وجود پتانسیل بالای نانوتکنولوژی، نگرانی‌هایی در مورد سمیت احتمالی نانومواد برای انسان و محیط زیست وجود دارد. رفتار نانومواد در بدن می‌تواند با مواد در ابعاد بزرگ‌تر کاملاً متفاوت باشد. به دلیل اندازه کوچک، این مواد ممکن است از سدهای بیولوژیکی (مانند سد خونی-مغزی یا جفت) عبور کرده و در اندام‌ها تجمع یابند. نیاز مبرم به توسعه روش‌های استاندارد برای ارزیابی سمیت، سرنوشت و انتقال نانومواد در بدن و محیط زیست احساس می‌شود. در بسیاری از کشورها، مقررات مشخصی برای الزام به ذکر وجود نانومواد در برچسب‌گذاری محصولات غذایی وجود ندارد که این موضوع حق انتخاب مصرف‌کننده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. سازمان‌های بین‌المللی مانند سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) و سازمان ایمنی غذایی اروپا (EFSA) در حال تدوین چارچوب‌های قانونی برای ارزیابی ایمنی نانومواد در غذا هستند. با این حال، این مقررات هنوز در حال تکامل هستند.

اکسید تیتانیوم (TiO_2) علاوه بر خاصیت ضد میکروبی، در حضور نور UV رفتار فوتوکاتالیستی نشان داده و گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌کنند که قادر به تجزیه ترکیبات آلی نامطلوب و گاز اتیلن هستند؛ این ویژگی موجب کاهش بوهای ناخواسته و کند شدن فرآیند رسیدن میوه‌ها و در نتیجه افزایش ماندگاری محصولات تازه و لبنی می‌شود. نانوذرات اکسید روی (ZnO-NPs) نیز با تولید ROS و آزادسازی یون‌های Zn دو بار مثبت، خاصیت ضد میکروبی و ضد قارچی ایجاد کرده، ضمن جذب پرتو UV از تخریب ترکیبات حساس جلوگیری می‌کنند و با افزایش سدکنندگی و مقاومت مکانیکی فیلم‌های پلیمری، نفوذ اکسیژن و رطوبت را کاهش می‌دهند؛ بنابراین بسته‌بندی‌های حاوی این نانوذرات مواد غذایی را برای مدت طولانی‌تر تازه، ایمن و باکیفیت نگه می‌دارند.

سیلیکای نانومتخلخل

از این ماده به‌عنوان یک حامل نانویی پیشرفته در صنایع غذایی عمل می‌کند و با ساختار متخلخل منظم خود قادر است ترکیبات حساس مانند طعم‌ها، رنگ‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها را جذب کرده و سپس به‌صورت کنترل‌شده آزاد نماید. این ویژگی از تبخیر یا تجزیه زودهنگام این ترکیبات جلوگیری کرده و امکان حفظ کیفیت و ارزش تغذیه‌ای محصولات را فراهم می‌سازد. عملکرد MCM-41 به‌عنوان یک سیستم حمل‌ونقل نانویی، کنترل دقیق و بی‌سابقه‌ای بر پایداری و رهاسازی ترکیبات فعال غذایی در اختیار تولیدکنندگان قرار می‌دهد و در نتیجه علاوه بر ارتقای کیفیت و افزایش ماندگاری مواد غذایی، موجب کاهش ضایعات، بهبود بهره‌وری و صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود. این ماده نمونه‌ای بارز از کاربرد فناوری نانو در حل چالش‌های دیرینه صنایع غذایی است.

نانوحسگرهای هوشمند برای ایمنی و کنترل کیفیت

کنترل کیفیت و تضمین ایمنی مواد غذایی نیازمند روش‌های سریع و حساس برای تشخیص آلاینده‌ها و عوامل بیماری‌زا است. نانوحسگرها این امکان را فراهم می‌کنند.

حسگرهای مبتنی بر نانولوله‌های کربنی

این حسگرها می‌توانند گازهای ناشی از فساد مواد غذایی (مانند آمونیاک) یا بقایای آفت‌کش‌ها را با حساسیت بسیار بالا تشخیص دهند.

حسگرهای نانوذرات طلا

از خاصیت تغییر رنگ نانوذرات طلا در اثر تجمع (Aggregation) برای تشخیص حضور سموم باکتریایی (مانند توکسین بوتولینوم) یا DNA عوامل بیماری‌زا استفاده می‌شود.

نانوتکنولوژی به وضوح پتانسیل عظیمی برای دگرگونی صنعت تولید ترکیبات و افزودنی‌های غذایی دارد. از طریق سیستم‌های نانوحامل، می‌توان غذاهای فراسودمند با ارزش غذایی بالاتر تولید کرد. نانوافزودنی‌ها و بسته‌بندی‌های نانوکامپوزیتی ماندگاری و کیفیت محصولات را افزایش می‌دهند و نانوحسگرها ایمنی غذا را در سطح بی‌سابقه‌ای تضمین می‌کنند. با این حال، برای بهره‌برداری کامل از این مزایا، باید چالش‌های مربوط به ایمنی، مقررات و پذیرش مصرف‌کننده به دقت مورد توجه قرار گیرد. تحقیقات آینده باید بر روی ارزیابی دقیق ریسک نانومواد و توسعه فناوری‌های نانوی سبز (Green Nanotechnology) که برای انسان و محیط زیست بی‌خطر هستند، متمرکز شود. بدون شک، نانوتکنولوژی به عنوان یک فناوری پیشرو، نقش کلیدی در شکل‌دهی به آینده سیستم غذایی جهان ایفا خواهد کرد. سازمان‌هایی مانند EFSA در اروپا و FDA در آمریکا اعلام کرده‌اند که نانومواد که به عمد به غذا اضافه می‌شوند، باید به عنوان مواد جدید (Novel Food) مورد ارزیابی ایمنی کامل قرار گیرند. این ارزیابی باید شامل مطالعات سم‌شناسی، بررسی سرنوشت نانوذرات در بدن و ارزیابی پتانسیل ایجاد آلرژی باشد. با این حال، هنوز یک چارچوب استاندارد جهانی و یکپارچه برای آزمایش همه نانومواد وجود ندارد.

- 1.
2. McClements, D. J. (2015). Nanoscale nutrient delivery systems for food applications: Improving bioactive ingredient stability, bioavailability, and functionality. *Journal of Food Science, 80*(7), N1602-N1611.
3. Cushen, M., Kerry, J., Morris, M., Cruz-Romero, M., & Cummins, E. (2012). Migration and exposure assessment of silver from a PVC nanocomposite. *Food Chemistry, 139*(1-4), 389-397.
4. Vidic, J., Manzano, M., Chang, C. M., & Jaffrezic-Renault, N. (2017). Advanced biosensors for detection of pathogens in food and water. *Biosensors and Bioelectronics, 90*, 363-377.
5. EFSA Scientific Committee. (2018). Guidance on the risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain: Part 1, human and animal health. *EFSA Journal, 16*(7), 5327.
6. Sozer, N., & Kokini, J. L. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology, 27*(2), 82-89.
7. Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., ... & Watkins, R. (2008). Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Additives and Contaminants, 25*(3), 241-258.
8. Singh, T., Shukla, S., Kumar, P., Wahla, V., Bajpai, V. K., & Rather, I. A. (2017). Application of nanotechnology in food science: Perception and overview. Frontiers in Microbiology, 8, 1501.
9. Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials, and sensors. Journal of Colloid and Interface Science, 363(1), 1-24.
10. Blekas G. Food Additives: Classification, Uses and Regulation. Encyclopedia of Food and Health. 2016.

کمبود آب به دلیل افزایش جمعیت، تغییرات آب و هوایی و تخریب منابع آب زیرزمینی تشدید می‌شود. بیش از ۲ میلیارد نفر برای تأمین آب آشامیدنی به سفره‌های زیرزمینی وابسته هستند، در حالی که تولید فاضلاب به دلیل فرآیندهای صنعتی و خانگی به سرعت در حال افزایش است.

روش‌های سنتی مثل انعقاد-ته‌نشینی، فیلتراسیون، جذب با کربن فعال، کلرزنی و تصفیه بیولوژیکی اغلب شکست می‌خورند زیرا:

- بسیاری از آلاینده‌ها مقاوم و غیرقابل تجزیه بیولوژیکی هستند.
 - فلزات سنگین را نمی‌توان از بین برد، بلکه فقط می‌توان آنها را تثبیت کرد.
 - گرفتگی غشاء (Membrane fouling) کارایی را کاهش می‌دهد.
 - فرآیندهای ضد عفونی محصولات جانبی سرطان‌زا تولید می‌کنند.
 - تصفیه نیازمند انرژی زیاد و پرهزینه است.
- بنابراین، به یک فناوری با قابلیت واکنش‌پذیری و گزینش‌پذیری بیشتر نیاز است.

اما چرا باید از نانوتکنولوژی استفاده کنیم؟

نانومواد (۱ تا ۱۰۰ نانومتر) ویژگی‌های منحصر به فردی دارند:

- سطح مقطع بسیار بزرگ: محل‌های جذب و واکنش بیشتر
- واکنش‌پذیری سطحی بالا
- شیمی سطح قابل مهندسی: امکان هدف‌گیری انتخابی
- اثرات کوانتومی: بهبود فعالیت کاتالیزوری و نوری
- اندازه کوچک: انتشار سریع و سینتیک سریع

به دلیل این مزایا، نانوذرات می‌توانند آلاینده‌ها را بسیار کارآمدتر از مواد حجیم حذف کنند.

روش سنتز، شکل، اندازه، پایداری، شیمی سطح، بار و واکنش‌پذیری نانوذره را تعیین می‌کند که همه این موارد مستقیماً بر عملکرد تصفیه آب تأثیر می‌گذارند.



Author Provided: AI Modified

کاربرد نانوذرات برای حذف آلاینده‌ها از سیستم آبی

مبینا میرزایی

چکیده:

با افزایش فعالیت‌های انسانی مانند صنعتی شدن، کشاورزی و رشد شهری، آلاینده‌های متنوعی شامل فلزات سنگین، مواد آلی، بقایای دارویی و عوامل میکروبی وارد منابع آب می‌شوند. روش‌های سنتی تصفیه آب اغلب ناکارآمد بوده و قادر به حذف کامل این آلاینده‌ها نیستند و مشکلاتی مانند تولید محصولات جانبی مضر و مصرف بالای انرژی دارند. نانوتکنولوژی با ویژگی‌های منحصر به فردی مانند سطح مقطع بالا، واکنش‌پذیری سطحی بالا و قابلیت مهندسی شیمی سطح، امکان حذف مؤثر آلاینده‌ها از آب را فراهم می‌کند و راهکارهای نوینی در جذب، غشاهای پیشرفته، فوتوکاتالیز و ضد عفونی ارائه می‌دهد.

مقدمه

آلودگی منابع آب یکی از چالش‌های مهم بهداشتی و محیط‌زیستی جهان است و با کمبود منابع آبی سالم تشدید می‌شود. آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شهری نه تنها کیفیت آب را کاهش می‌دهند، بلکه سلامت انسان و محیط زیست را تهدید می‌کنند. روش‌های سنتی تصفیه آب با محدودیت‌هایی مانند ناتوانی در حذف فلزات سنگین، گرفتگی غشا و تولید محصولات جانبی مضر مواجه‌اند. در این زمینه، نانومواد به دلیل اندازه کوچک، سطح فعال بالا و قابلیت هدف‌گیری انتخابی، به‌عنوان یک فناوری پیشرفته برای تصفیه مؤثر و پایدار آب مورد توجه قرار گرفته‌اند. فعالیت‌های انسانی مانند صنعتی شدن، معدن‌کاری، کشاورزی، حمل و نقل و رشد شهری به طور مداوم مواد شیمیایی مضر را وارد منابع آبی طبیعی می‌کنند. این آلاینده‌ها شامل موارد زیر هستند:

- فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، جیوه، کروم)
- آلاینده‌های آلی (رنگ‌ها، حلال‌ها، آفت‌کش‌ها، هیدروکربن‌ها)
- بقایای دارویی
- عوامل بیماری‌زا (پاتوژن‌ها)
- روغن و گریس
- مواد مغذی (نیتрат‌ها، فسفات‌ها)

الف. روش‌های فیزیکی (بالا به پایین/Top-Down)

این روش‌ها مواد حجیم را به قطعات کوچک می‌شکنند:

۱. آسیاب مکانیکی (Mechanical Milling):
 - فلزات یا سرامیک‌های حجیم با استفاده از آسیاب‌های گلوله‌ای پرانرژی آسیاب می‌شوند.
 - به طور گسترده برای نانوذرات بین فلزی که فلزات را از طریق جذب یا کاهش حذف می‌کنند، استفاده می‌شود.
۲. فرسایش لیزری (Laser Ablation):
 - یک لیزر به یک هدف جامد غوطه‌ور در مایع برخورد می‌کند.
 - نانوذرات کلوئیدی فوق‌العاده خالص تولید می‌کند.
 - بسیار مناسب برای نانوذرات طلا، نقره و اکسید فلزی مورد استفاده در کاربردهای ضد میکروبی و کاتالیزوری.
۳. پیرولیز لیزری (Laser Pyrolysis):
 - انرژی لیزر واکنش‌های شیمیایی را در پیش‌سازهای فاز گازی آغاز می‌کند.
 - نانوذرات بسیار یکنواخت و مفید در کاتالیز و فوتوکاتالیز تولید می‌کند.
۴. رسوب بخار فیزیکی (PVD):
 - ماده تبخیر شده و روی یک زیرلایه متراکم می‌شود.
 - برای ساخت نانوغشاهای لایه نازک برای فیلتراسیون استفاده می‌شود.

ب. روش‌های شیمیایی (پایین به بالا/Bottom-Up)

این روش‌ها نانوذرات را از اتم‌ها یا مولکول‌ها مونتاژ می‌کنند و کنترل دقیق را امکان‌پذیر می‌سازند.

۱. سنتز کلوئیدی (Colloidal Synthesis):
 - از عوامل کاهنده شیمیایی مانند سیترات استفاده می‌کند.
 - روش کلاسیک برای نانوذرات نقره، طلا، آهن و مولیبدن.
 - کلوئیدهای پایدار برای استفاده ضد میکروبی یا کاتالیزوری تولید می‌کند.
۲. رسوب بخار شیمیایی (CVD):
 - مواد شیمیایی فاز بخار برای تشکیل لایه‌های نازک واکنش می‌دهند.
 - پوشش‌های لایه اتمی را برای غشاهای کاتالیزوری تولید می‌کند.
۳. روش سل-ژل (Sol-Gel Method):
 - آلکوکسیدهای فلزی تحت هیدرولیز قرار گرفته و یک شبکه ژلی تشکیل می‌دهند.
 - نانوذرات اکسید فلزی (TiO₂, ZnO) مورد استفاده در فوتوکاتالیز تولید می‌کند.
۴. پیرولیز اسپری (Spray Pyrolysis):
 - قطرات اتمیزه شده از یک رآکتور داغ عبور کرده و نانوذرات را تشکیل می‌دهند.
 - برای ساخت ZnO, Fe₃O₄ در مقادیر زیاد مناسب است.

ج. سنتز سبز/بیولوژیکی

سنتز بیولوژیکی روشی است:

- سازگار با محیط زیست (Eco-friendly)
- کم‌هزینه
- قابل توسعه
- از عوامل کاهنده سمی پرهیز می‌کند
- نانوذرات زیست‌سازگار و پایدار تولید می‌کند

در این روش از عوامل زیر کمک گرفته می‌شود:

۱. **باکتری‌ها:** باکتری‌ها با استفاده از آنزیم‌ها و مولکول‌های زیستی، یون‌های فلزی را به نانوذرات تبدیل می‌کنند.
 ۲. **قارچ‌ها:** قارچ‌ها به دلیل ترشح زیاد آنزیم، مقادیر بیشتری تولید می‌کنند.
 ۳. **مخمرها:** مخمرها نانوذرات را به صورت درون سلولی و برون سلولی تولید می‌کنند.
 ۴. **عصاره‌های گیاهی:** عصاره‌های گیاهی حاوی عوامل کاهنده مانند فلاونوئیدها، ترپنوئیدها، قندها و فنولیک‌ها هستند.
- نانوذرات مبتنی بر گیاه به ویژه برای تصفیه کم‌هزینه آب در مناطق در حال توسعه جذاب هستند.

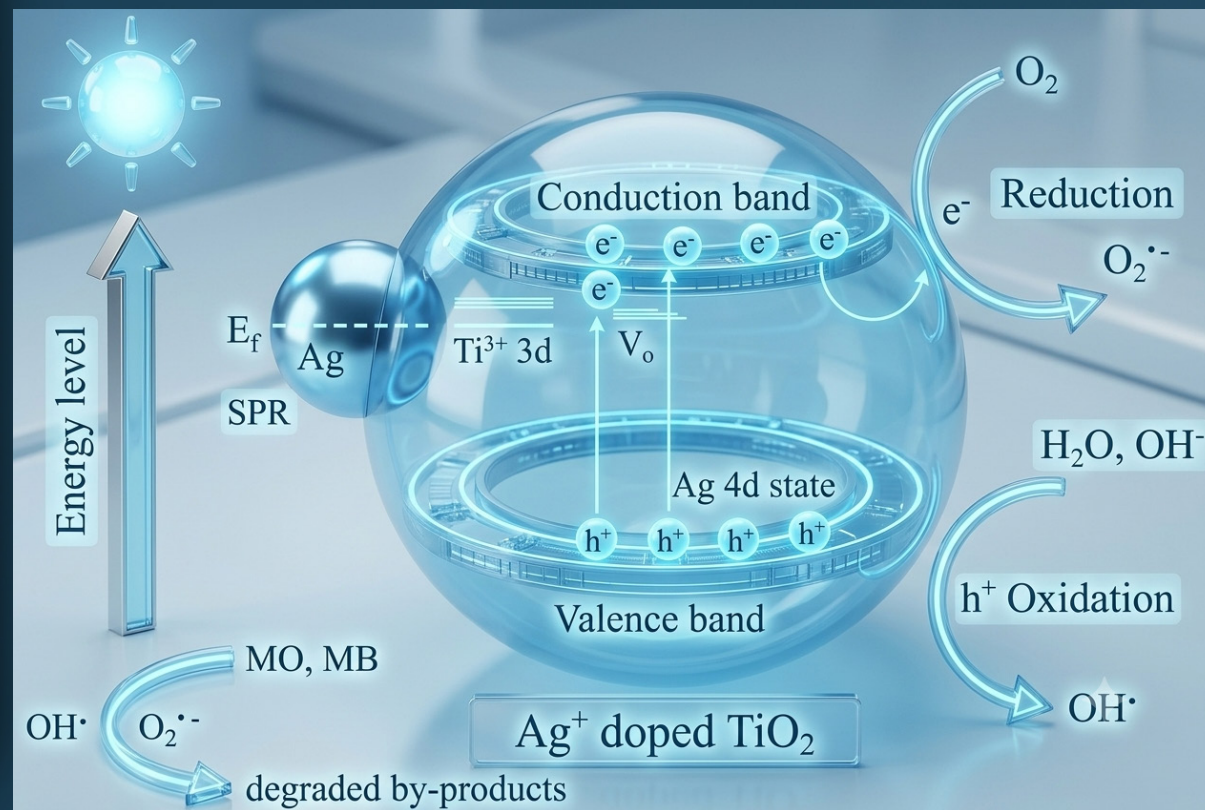
چگونگی عملکرد نانومواد در حذف آلاینده‌های آبی

الف. جذب با استفاده از نانوذرات (Adsorption)

نانوذرات آلاینده‌ها را به سطح خود متصل می‌کنند.

مزایای جاذب‌های نانوذره‌ای (NP):

- سطح مقطع فوق‌العاده بالا
- بار سطحی قابل تنظیم
- سینتیک جذب سریع
- گزینش‌پذیری بالا
- قابلیت استفاده مجدد (به ویژه مگنتیت)



AI Modified: (4)

ب. فیلتراسیون غشایی تقویت شده با نانوتکنولوژی

نانومواد عملکرد غشاء را از طریق موارد زیر بهبود می‌بخشند:

۱. افزایش نفوذپذیری:
 - نانوحفرها و نانوکanalها جریان آب سریع‌تر را تسهیل می‌کنند.
 - کاهش گرفتگی: پوشش‌های ضدگرفتگی (مانند نانوذرات نقره) از رسوب میکروبی و آلی جلوگیری می‌کنند.
۲. افزایش گزینش پذیری: نانوذرات و نانولوله‌های کربنی امکان غربالگری مولکولی دقیق را فراهم می‌کنند.
۳. افزودن عملکردهای کاتالیزوری: غشاهای پوشش داده شده با TiO_2 می‌توانند آلاینده‌ها را همزمان با فیلتر کردن تجزیه کنند.

انواع غشاهای استفاده کننده از نانوتکنولوژی:

- میکروفیلتراسیون
- اولترافیلتراسیون
- نانوفیلتراسیون
- اسمز معکوس

غشاهای نانوکامپوزیت حذف ویروس‌ها، یون‌های سمی و آلاینده‌های آلی را کارآمدتر از غشاهای سنتی امکان‌پذیر می‌سازند.

د. ضدعفونی و آلودگی زدایی

نانوذرات خواص ضدباکتریایی قوی را بدون محصولات جانبی ضدعفونی مضر ارائه می‌دهند.

نانومواد کلیدی:

- نانوذرات نقره
- نانوذرات ZnO
- نانوذرات TiO_2 (فعال شده با UV)
- فولرن‌ها
- نانولوله‌های کربنی (CNTs)

مکانیزم‌ها:

- اختلال در غشاء
- استرس اکسیداتیو / تولید ROS
- آزادسازی یون فلزی
- سوراخ کردن فیزیکی سلول‌های میکروبی (CNTs)

این مواد می‌توانند باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌ها را غیرفعال کنند و جایگزین‌های امیدوارکننده‌ای برای ضدعفونی مبتنی بر کلر باشند.

ج. فوتوکاتالیز با استفاده از نانومواد

نانوذرات فوتوکاتالیزوری آلاینده‌ها را تحت نور فرابنفش یا مرئی تجزیه می‌کنند.

مکانیسم:

- نور الکترون‌ها را تحریک می‌کند و جفت الکترون-حفره تشکیل می‌شوند.
- گونه‌های فعال اکسیژن (O_2 با بار منفی و OH) تشکیل می‌شوند.
- آلاینده‌ها به محصولات بی‌ضرر اکسید می‌شوند.

کاربردها:

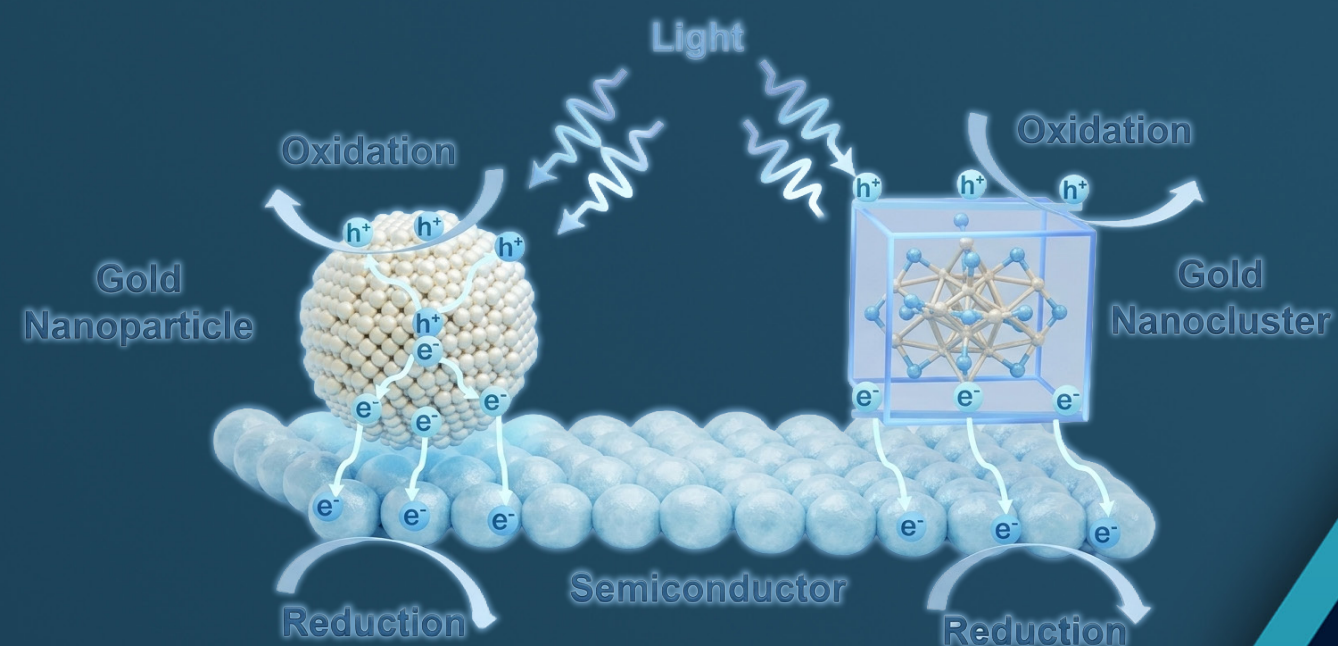
- تجزیه رنگ‌ها (MB، رودامین)
- داروها
- آفت‌کش‌ها
- مواد آلی صنعتی
- غیرفعال‌سازی میکروبی

نانونتولوژی پتانسیل عظیمی برای تصفیه کارآمد آب و فاضلاب دارد، زیرا با استفاده از جاذب‌های پیشرفته برای حذف فلزات سنگین و مواد آلی، غشاهای نوین با گزینش‌پذیری بالا و مقاومت در برابر گرفتگی، فوتوکاتالیست‌ها برای تجزیه کامل آلاینده‌ها و ضدعفونی‌کننده‌های نانو که مانع تولید محصولات جانبی سمی می‌شوند، می‌تواند کیفیت فرآورده‌های تصفیه را به‌طور چشمگیری ارتقا دهد. با این حال، دستیابی به پذیرش گسترده این فناوری نیازمند کاهش هزینه‌ها از طریق سنتز سبز، بهبود روش‌های بازیابی و احیا، انجام ارزیابی‌های دقیق ریسک زیست‌محیطی، توسعه مطالعات آزمایشی در مقیاس بزرگ و ایجاد چارچوب‌های نظارتی مناسب است. در نهایت، با ادامه تحقیقات و نوآوری، نانوذرات قادر خواهند بود فناوری‌های تصفیه آب بسیار کارآمد، کم‌هزینه و پایدار را در سطح جهانی امکان‌پذیر سازند.

منابع

1. Madhura L, Singh S, Kanchi S, Sabela M, Bisetty K, Inamuddin. Nanotechnology-based water quality management for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*. 2019;17(1):65-121.
2. Hamrayev H, Korpayev S, Shameli K. Advances in synthesis techniques and environmental applications of TiO₂ nanoparticles for wastewater treatment: a review. *Journal of Research in Nanoscience and Nanotechnology*. 2024;12(1):1-24.
3. Esakkimuthu T, Sivakumar D, Akila S. Application of nanoparticles in wastewater treatment. *Pollut Res*. 2014;33(03):567-71.
4. Amil Usmani M, Khan I, H. Bhat A, S. Pillai R, Ahmad N, K. Mohamad Haafiz M, Oves M. Current trend in the application of nanoparticles for waste water treatment and purification: a review. *Current Organic Synthesis*. 2017;14(2):206-26.
5. Singh S, Kumar V, Romero R, Sharma K, Singh J. Applications of nanoparticles in wastewater treatment. *Nanobiotechnology in bioformulations*: Springer; 2019. p. 395-418.

۱. هزینه بالا:
نانوذرات (به ویژه انواع مهندسی شده یا پوشش داده شده) در مقایسه با جاذب‌های سنتی گران هستند.
۲. نانوسمیت (Nanotoxicity):
خطرات احتمالی شامل موارد زیر است:
 - آبخشویی نانوذرات در آب تصفیه شده
 - تجمع زیستی در ارگانیسم‌های آبی
 - اثرات بلندمدت ناشناخته
۳. بازیابی و استفاده مجدد:
نانوذرات مغناطیسی را می‌توان به راحتی بازیابی کرد، اما سایرین به جداسازی پیچیده نیاز دارند.
۴. تجاری‌سازی محدود:
به دلیل موانع اقتصادی و نظارتی، سیستم‌های کمی در مقیاس صنعتی مستقر شده‌اند.
۵. چالش‌های نظارتی:
هیچ فناوری دیجیتال خودکاری برای اندازه‌گیری غلظت نانوذرات در آب هنگام استفاده وجود ندارد.



AI Modified: (5)

فروم در آثاری همچون «هنر عشق ورزیدن»، «گریز از آزادی» و «جامعه سالم» به این مسائل پرداخته است. باین‌حال، یکی از شناخته‌شده‌ترین آثار او «داشتن یا بودن» (To Have or to Be) است؛ کتابی که شاید بتوان آن را نوعی دعوت به بازنگری در شیوه زندگی انسان معاصر دانست.

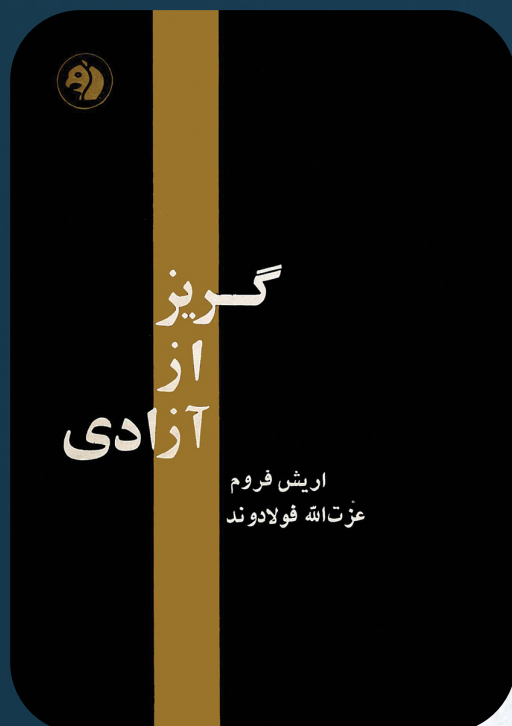
داشتن یا بودن؟

کتاب داشتن یا بودن؟ نخستین بار در سال ۱۹۷۶ منتشر شد و از مهم‌ترین آثار متأخر فروم به شمار می‌رود. پرسش محوری کتاب بسیار ساده، اما عمیق است: آیا انسان باید زندگی خود را بر «داشتن» بنا کند یا بر «بودن»؟

فروم در این کتاب میان دو شیوه متفاوت از زندگی تمایز می‌گذارد. در شیوه «داشتن»، هویت انسان تا حد زیادی با چیزهایی تعریف می‌شود که در اختیار دارد: پول، خانه، شغل، مدرک، موقعیت اجتماعی، قدرت، دانش و حتی روابط انسانی. در مقابل، در شیوه «بودن»، ارزش زندگی نه در مالکیت و انباشت، بلکه در تجربه‌کردن، اندیشیدن، عشق‌ورزیدن، خلاقیت، مشارکت و رشد واقعی انسان قرار دارد.

از نظر فروم، مسئله این نیست که «داشتن» ذاتاً بد است؛ انسان برای زندگی به امکانات مادی نیاز دارد. مشکل از جایی آغاز می‌شود که داشتن به معیار اصلی ارزش انسان تبدیل شود؛ یعنی فرد تصور کند هرچه بیشتر داشته باشد، بیشتر «هست».

به بیان ساده، فروم می‌پرسد: آیا ما چیزهایی را که داریم، در اختیار خود داریم؛ یا این چیزها هستند که کم‌کم ما را در اختیار خود می‌گیرند؟

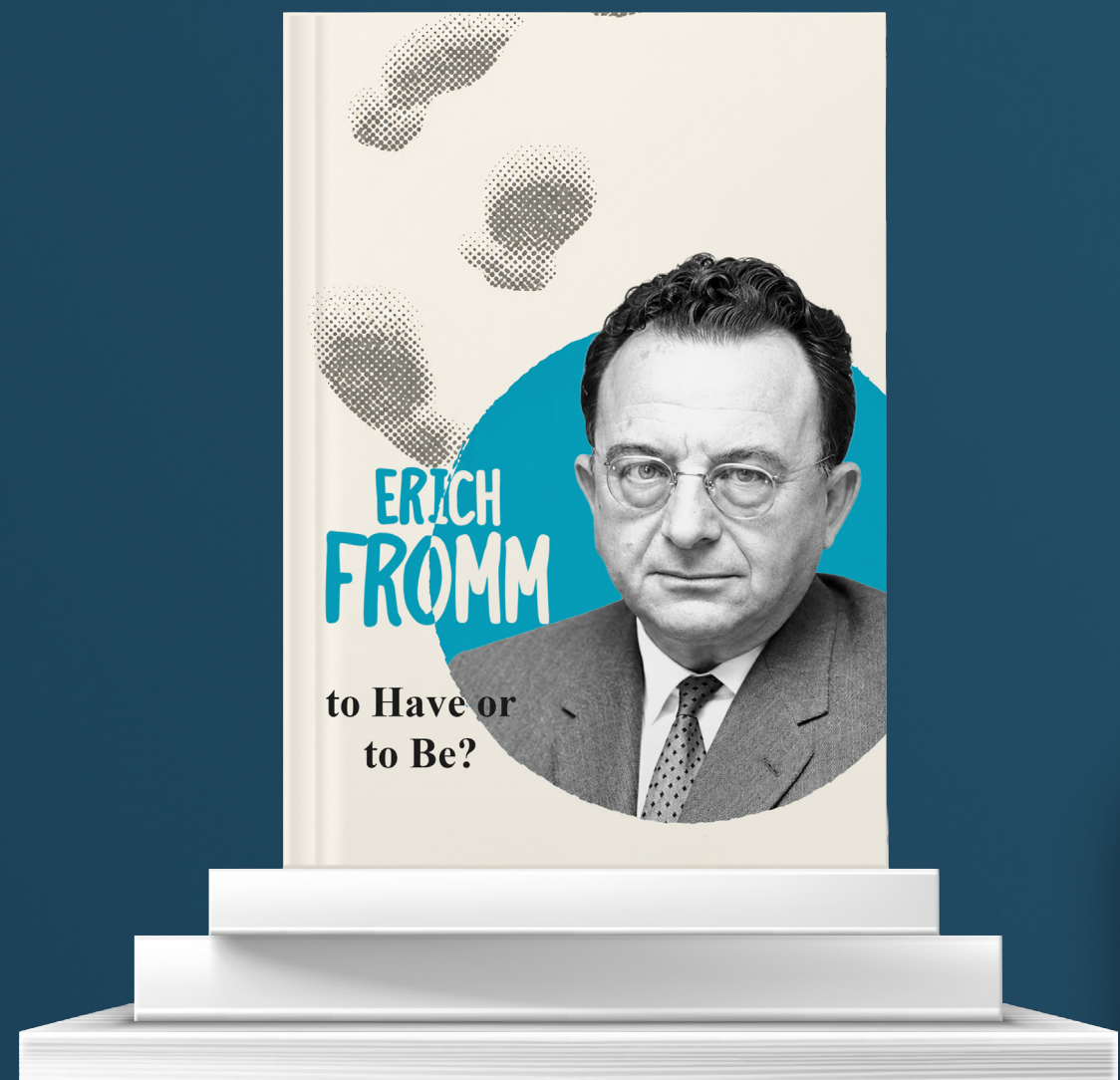


معرفی و بررسی کتاب

سقراط عمری شکفتیک

Erich Fromm (۱۹۰۰-۱۹۸۰) روان‌شناس اجتماعی، روان‌کاو و فیلسوف اجتماعی آلمانی-آمریکایی بود که آثارش در مرز میان روان‌شناسی، جامعه‌شناسی، فلسفه و اخلاق قرار می‌گیرند. فروم از چهره‌های برجسته مکتب فلسفی فرانکفورت و از متفکرانی بود که تلاش کرد میان اندیشه‌های روان‌کاوانه فروید و نقد اجتماعی مارکس ارتباط برقرار کند.

موضوع اصلی بسیاری از آثار فروم، انسان و شیوه زندگی او در جامعه مدرن است. او معتقد بود بسیاری از مشکلات انسان صرفاً ناشی از اختلالات فردی نیستند، بلکه ریشه در ساختارهای اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی دارند. از نگاه او، جامعه مدرن اگرچه امکانات و آزادی‌های بیشتری برای انسان فراهم کرده است، اما هم‌زمان می‌تواند او را گرفتار تنهایی، اضطراب، مصرف‌گرایی، بیگانگی و احساس پوچی کند.



Designer Edited

داشتن و بودن، دو شیوه بنیادی تجربه انسانی‌اند.

مسئله این نیست که انسان چه دارد؛ مسئله این است که انسان چه کسی است.

اگر تمام چیزهایی را که داریم از ما بگیرند، چه چیزی از «ما» باقی می‌ماند؟

فروم با طرح همین پرسش، خواننده را به بازنگری در تعریف موفقیت، خوشبختی و حتی هویت خود دعوت می‌کند. کتاب در نهایت نمی‌گوید که انسان نباید چیزی داشته باشد؛ بلکه هشدار می‌دهد که نباید ارزش «بودن» را با میزان «داشتن» اشتباه بگیریم

به همین دلیل، داشتن یا بودن؟ پس از گذشت چند دهه همچنان کتابی قابل تأمل است؛ زیرا مسئله‌ای را مطرح می‌کند که با وجود تغییر فناوری و سبک زندگی، همچنان در مرکز زندگی انسان مدرن قرار دارد: آیا ما برای زندگی کردن چیزهایی می‌خریم، یا گاهی آن‌قدر درگیر داشتن چیزها می‌شویم که خودِ زندگی‌کردن را فراموش می‌کنیم؟

فروم ابتدا تفاوت میان دو شیوه «داشتن» و «بودن» را توضیح می‌دهد و سپس نشان می‌دهد که این دو شیوه چگونه در حوزه‌هایی مانند یادگیری، حافظه، گفت‌وگو، مطالعه، عشق، ایمان و تجربه‌های روزمره خود را نشان می‌دهند.

یکی از نکات جالب کتاب این است که فروم حتی به شیوه یادگیری توجه می‌کند. در حالت «داشتن»، دانش‌آموز یا دانشجو تلاش می‌کند دانش را مانند یک شیء جمع‌آوری کند؛ اطلاعات را حفظ می‌کند، مدرک می‌گیرد و دانش را به‌عنوان نوعی دارایی در اختیار خود قرار می‌دهد. اما در حالت «بودن»، یادگیری فرایندی زنده است؛ فرد با پرسیدن، تجربه‌کردن، اندیشیدن و تغییرکردن، به دانش دست پیدا می‌کند.

فروم سپس از این بحث فراتر می‌رود و آن را به عشق و روابط انسانی می‌رساند. در شیوه «داشتن»، حتی عشق نیز ممکن است به نوعی مالکیت تبدیل شود: «همسر من»، «دوست من»، «رابطه من». اما در شیوه «بودن»، عشق یک تجربه زنده و پویاست که در آن انسان به دیگری اجازه می‌دهد مستقل و آزاد باشد.

بخش دیگری از کتاب به جامعه مدرن و مصرف‌گرایی اختصاص دارد. فروم معتقد است جامعه‌ای که موفقیت را با میزان مصرف، ثروت، مالکیت و قدرت می‌سنجد، به تدریج انسان‌هایی تولید می‌کند که برای «داشتن بیشتر» تلاش می‌کنند، اما لزوماً «زندگی بهتری» ندارند.

در نهایت، فروم بحث خود را به این پرسش می‌رساند که آیا امکان گذار از فرهنگ «داشتن» به فرهنگ «بودن» وجود دارد؟ پاسخ او صرفاً فردی نیست؛ او معتقد است تغییر واقعی نیازمند دگرگونی در ارزش‌های اجتماعی و اقتصادی نیز هست.

کاربرد نانوذرات در بسته‌بندی مواد غذایی

نرگس حقی و بهاره محمدی

چکیده:

امروزه از نانو فناوری در بسیاری از بخش‌های صنایع غذایی مانند کشاورزی، فرآوری مواد غذایی، بسته‌بندی، افزایش ایمنی و انتقال مواد مغذی استفاده می‌شود. پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که نانوذرات می‌توانند در تضمین کیفیت، توسعه بسته‌بندی‌های فعال، ارتقای ایمنی مواد غذایی و تولید محصولات جدید با ویژگی‌های تغذیه‌ای بهبود یافته نقش مؤثری داشته باشند. علاوه بر این، نانوتکنولوژی می‌تواند در تشخیص سریع بیماری‌های مرتبط با غذا، طراحی رژیم‌های هدفمند برای گروه‌های خاص، و افزایش پایداری سیستم غذایی با روش‌هایی مانند نانوکپسوله‌کردن مؤثر باشد. روش‌های نوین بر پایه نانو همچنین امکان ایجاد سامانه‌های هوشمند برای رهایش کنترل‌شده مواد مغذی و تولید محصولات غنی‌سازی‌شده جدید را فراهم کرده‌اند.

مقدمه

بسته‌بندی نقش بسیار مهمی در حفظ کیفیت مواد غذایی در طول نگهداری و جابه‌جایی، حفاظت در برابر اثرات محیطی و همچنین افزایش مقاومت محصول در برابر آلودگی‌های شیمیایی، میکروبی و فیزیکی دارد. در همین راستا لازم است از مواد بسته‌بندی ایمن، غیر سمی، تخریب‌پذیر و سازگار با محیط زیست استفاده شود. در بین انواع مختلف مواد مورد استفاده برای بسته‌بندی مواد غذایی، نانوذرات به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود از جمله دوام بهتر، انعطاف پذیری، مقاومت در برابر دما و شعله، خواص نوری و قابلیت بازیافت، جایگاه ویژه‌ای دارند نانوماده (Nanomaterial) بر اساس استاندارد ISO/TS ۸۰۰۴ به موادی گفته می‌شود که دست‌کم یکی از ابعاد بیرونی آن‌ها، یا ساختار داخلی و سطحی‌شان در مقیاس نانو قرار داشته باشد؛ به بیان ساده‌تر، نانومواد موادی هستند که اندازه یک یا چند بعد آن‌ها در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. از نانومواد به‌عنوان مواد بسته‌بندی هوشمند استفاده می‌شود تا مصرف‌کنندگان را از وجود آلودگی‌های بیولوژیکی، آلاینده‌های شیمیایی یا گازهایی که در هنگام فساد مواد غذایی آزاد می‌شوند، آگاه سازد. این مواد نسبت به بسته‌بندی‌های سنتی از استحکام مکانیکی بهتر، مقاومت حرارتی بیشتر و زیست‌تخریب‌پذیری بالاتر برخوردارند. بسته‌بندی نانو می‌تواند سبب افزایش ماندگاری، کاهش ضایعات بسته‌بندی و همچنین حفظ طعم و تازگی فرآورده‌های بسته‌بندی شده کمک کند. لازم به ذکر است که از نانوذرات همچنین به‌عنوان حامل برای افزودن آنتی‌اکسیدان‌ها، عوامل ضد قهوه‌ای شدن، طعم‌دهنده‌ها و سایر مواد زیست‌فعال به غذا استفاده

می‌شود تا ماندگاری محصول غذایی را حتی پس از باز شدن بسته‌بندی حفظ کند. در فناوری بسته‌بندی نانو، مواد پرکاربرد شامل نانوذرات، نانوفیبرها و نانوصفحات هستند. با این حال، در بسته‌بندی مواد غذایی بیشتر از نانوکامپوزیت‌ها استفاده می‌شود؛ این نانوکامپوزیت‌ها معمولاً پلیمرهایی بر پایه‌ی ترکیبات آلی یا معدنی هستند که با نانومواد ترکیب شده‌اند. نانومواد می‌توانند در طیف وسیعی از پلیمرهای بسته‌بندی گنجانده شوند، از جمله: پلی‌آمید، نایلون‌ها، پلی‌الفین‌ها، کوپلیمر اتیلن-وینیل استات، پلی‌استایرن، رزین‌های اپوکسی، پلی‌یورتان، پلی‌وینیل کلراید و پلی‌اتیلن ترفتالات. این ترکیب باعث بهبود خواص مکانیکی، حرارتی و سدکنندگی بسته‌بندی شده و کارایی آن را در حفظ کیفیت و ایمنی مواد غذایی افزایش می‌دهد.

لازم به ذکر است که نانوذرات به دو صورت وجود دارند:

نانوذرات طبیعی

نانوذرات طبیعی را در اشکال مختلف می‌توان دید از جمله ویروس‌ها، مولکول‌های پروتئینی، کلئیدهای طبیعی (شیر، خون) و...

نانوذرات غیر طبیعی

نانو ساختارهایی هستند که به روش‌های مختلف شیمیایی و فیزیکی ساخته می‌شوند. مثل نانو لوله‌های کربنی.

نانوذرات بر اساس آرایش ساختاری در چهار گروه طبقه بندی می‌شوند:

۱. نانوذرات آلی:

نانوذرات آلی همان نانومواد هستند که از ترکیبات آلی ساخته شده‌اند (مانند لیپوزوم‌ها، دندریمرها، نانوذرات پلیمری، نانوذله‌ها و نانوذرات پروتئینی) و به دلیل زیست‌سازگاری و انعطاف‌پذیری بالا، در پزشکی و صنایع غذایی بسیار پرکاربردند.

۲. نانوذرات معدنی:

نانوذرات معدنی همان نانومواد هستند که از ترکیبات غیرآلی (فلزات، اکسیدها، سرامیک‌ها و نیمه‌رساناها) ساخته شده‌اند و به دلیل خواص ویژه فیزیکی و شیمیایی، در پزشکی، صنایع غذایی، محیط زیست و فناوری‌های نوین کاربرد گسترده دارند.

۳. نانوذرات کربنی:

نانوذرات کربنی خانواده‌ای از نانومواد بر پایه‌ی کربن هستند که به دلیل خواص مکانیکی، الکتریکی و نوری ویژه، در پزشکی، انرژی، محیط زیست و فناوری‌های نوین کاربرد گسترده دارند.

نانوذرات کامپوزیتی همان نانومواد هستند که از ترکیب چند ماده ساخته می‌شوند تا خواص جدید و بهتری نسبت به اجزای منفردشان داشته باشند.

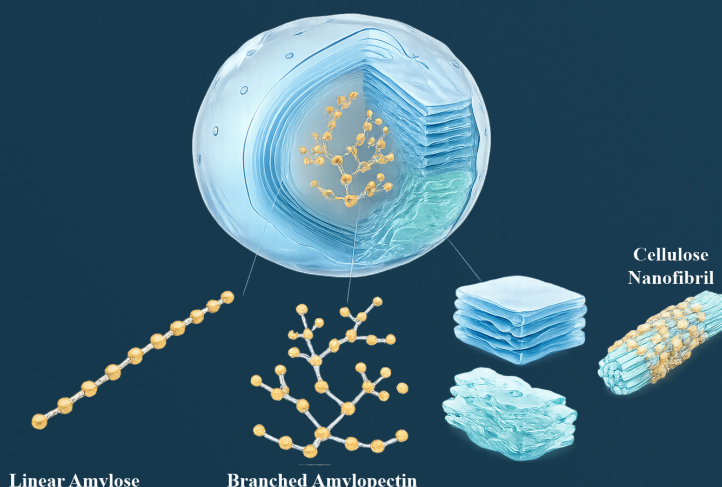
برخی از نانوذرات معدنی به‌ویژه نانوذرات فلزی و اکسید فلزی مانند نانوذرات آهن، نقره، اکسیدهای روی، کربن، اکسیدهای منیزیم، اکسیدهای تیتانیوم و نانوذرات دی‌اکسید سیلیکون، به‌عنوان مهارکننده رشد میکروبی استفاده می‌شوند. در حوزه بسته‌بندی مواد غذایی از نانوذرات نقره به‌عنوان مواد ضد میکروبی استفاده می‌شود. نانوذرات نقره به دلیل فعالیت کاتالیزوری و اثرات ضد باکتریایی در حفاظت از غذا و نوشیدنی مورد توجه قرار گرفته‌اند. شایان ذکر است که نانوذرات نقره را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های مختلف در پلیمرهای پلاستیکی برای بسته‌بندی مواد غذایی ادغام کرد. نانورس اولین نانوکامپوزیت عرضه شده به بازار، برای بسته‌بندی مواد غذایی بوده است. از مزایای این ماده می‌توان به توانایی بهبود خواص فیزیکی و ممانعت از حرکت گاز و رطوبت به داخل بسته‌بندی‌های مواد غذایی اشاره کرد. نانورس به دلیل راندمان خوب تبادل کاتیونی، مساحت سطح وسیع و خاصیت تورمی خوب، در کامپوزیت‌های پلیمری و بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته است.



Designer Edited: AI Modified

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که نانوذرات اکسید روی (ZnO-NPs) قادرند رشد و فعالیت باکتری‌های بیماری‌زا از جمله *Salmonella typhimurium* و *Staphylococcus aureus* را در گوشت مرغ آماده مصرف مهار کنند. این نانوذرات تحت تابش اشعه فرابنفش (UV) مقادیر قابل‌توجهی پراکسید هیدروژن (H_2O_2) تولید می‌کنند که با ایجاد استرس اکسیداتیو در سلول‌های باکتریایی، منجر به تخریب ساختارهای حیاتی و در نهایت مرگ باکتری می‌شود. در مقایسه با نانوذرات نقره، نانوذرات اکسید روی به دلیل ایمنی نسبی بیشتر برای انسان و حیوانات و همچنین هزینه‌ی تولید پایین‌تر، گزینه‌ی ترجیحی در توسعه‌ی بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند مواد غذایی محسوب می‌شوند. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که استفاده از فیلم‌های نانوکامپوزیت PVC-ZnO می‌تواند به‌طور مؤثری ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات تازه را افزایش دهد. مکانیسم اصلی این اثر به حضور نانوذرات اکسید روی (ZnO-NPs) در ماتریس پلی‌وینیل کلراید مربوط می‌شود. این نانوذرات تحت تابش اشعه فرابنفش قادرند گاز اتیلن که به‌عنوان هورمون اصلی در فرآیند رسیدگی و پیری محصولات کشاورزی شناخته می‌شود را به آب و دی‌اکسید کربن اکسید کنند. کاهش غلظت اتیلن در محیط بسته‌بندی منجر به کند شدن فرآیند رسیدگی و در نتیجه افزایش طول عمر محصولات می‌شود. علاوه بر این، ZnO-NPs با کاهش تجمع و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز، از بروز واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی در میوه‌ها و سبزیجات جلوگیری کرده و کیفیت ظاهری و تغذیه‌ای آن‌ها را حفظ می‌کنند. یکی از نانومواد اکسید فلزی مهم، نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2 -NPs) هستند که به دلیل پایداری حرارتی بالا و اینرسی شیمیایی ویژه شناخته می‌شوند. این نانوذرات علاوه بر هزینه‌ی تولید پایین و پایداری نوری مناسب، توانایی تغییر و بهبود ویژگی‌های فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر را دارند. استفاده از TiO_2 در سال ۱۹۹۶ توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده (USFDA) به‌عنوان یک افزودنی غذایی و همچنین برای کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی مورد تأیید قرار گرفت. اگرچه TiO_2 برای انسان بی‌اثر و غیرسمی تلقی می‌شود، اما می‌تواند از طریق اکسیداسیون فسفولیپیدهای غیراشباع موجود در غشای سلولی میکروارگانیسم‌ها اثر زیست‌کشی نشان دهد. علاوه بر این، نانوذرات TiO_2 تحت تابش اشعه فرابنفش یا نور خورشید قادرند گونه‌های فعال اکسیژن

نظیر آنیون‌های سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل را تولید کنند که این گونه‌ها با تخریب دیواره‌ی سلولی میکروبی، منجر به نابودی باکتری‌ها می‌شوند.



Designer Edited: AI Modified

1. Chellaram C, Murugaboopathi G, John AA, Sivakumar R, Ganesan S, Krithika S, et al. Significance of Nanotechnology in Food Industry. APCBEE Procedia. 2014;8:109-13.
2. Pal M, editor Nanotechnology: A New Approach in Food Packaging 2017.
3. Mohanpuria P, Rana NK, Yadav SK. Biosynthesis of nanoparticles: technological concepts and future applications. Journal of Nanoparticle Research. 2008;10(3):507-17.
4. Kaur J, Tikoo K. Evaluating cell specific cytotoxicity of differentially charged silver nanoparticles. Food Chem Toxicol. 2013;51:1-14.
5. Firdhouse J, p ramadas L. Biosynthesis of Silver Nanoparticles and Its Applications. Journal of Nanotechnology. 2015;2015:1-18.
6. Tao A, Sinsermsuksakul P, Yang P. Polyhedral silver nanocrystals with distinct scattering signatures. Angew Chem Int Ed Engl. 2006;45(28):4597-601.
7. Liz-Marzán LM, Lado-Touriño I. Reduction and Stabilization of Silver Nanoparticles in Ethanol by Nonionic Surfactants. Langmuir. 1996;12(15):3585-9.
8. Gurunathan S, Kalishwaralal K, Vaidyanathan R, Venkataraman D, Pandian SR, Muniyandi J, et al. Biosynthesis, purification and characterization of silver nanoparticles using Escherichia coli. Colloids Surf B Biointerfaces. 2009;74(1):328-35.
9. Jain D, Kachhwaha S, Jain R, Srivastava G, Kothari SL. Novel microbial route to synthesize silver nanoparticles using spore crystal mixture of Bacillus thuringiensis. Indian J Exp Biol. 2010;48(11):1152-6.
10. Panacek A, Kvítek L, Prucek R, Kolar M, Vecerova R, Pizúrova N, et al. Silver colloid nanoparticles: synthesis, characterization, and their antibacterial activity. J Phys Chem B. 2006;110(33):16248-53.
11. Singh P, Srivastava S, Singh SK. Nanosilica: Recent Progress in Synthesis, Functionalization, Biocompatibility, and Biomedical Applications. ACS Biomater Sci Eng. 2019;5(10):4882-98.
12. Ingle A, Gade A, Pierrat S, Soennichsen C, Rai M. Mycosynthesis of Silver Nanoparticles Using the Fungus Fusarium acuminatum and its Activity Against Some Human Pathogenic Bacteria. Current Nanoscience. 2008:141-4.

نانوذرات سیلیس (Si-NPs) به دلیل مساحت سطح ویژه‌ی بالا، سازگاری زیست‌محیطی مطلوب و قابلیت تنظیم اندازه منافذ، به‌عنوان یکی از نانومواد پرکاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی شناخته می‌شوند. ایجاد یک پوشش غیرچسبنده با استفاده از این نانوذرات می‌تواند جریان آزاد مواد غذایی را درون بسته‌بندی تسهیل کند؛ به‌ویژه در محصولاتی مانند آبجو، شراب و سوپ‌های پودری که نیازمند روانی و عدم چسبندگی هستند. بر اساس گزارش Ingle و همکاران (۲۰۰۸)، مقوای فوق‌آبگریز پوشش داده‌شده با نانوذرات سیلیکا آئروسیل به دلیل سطح براق ایجادشده توسط این نانوذرات، دارای مقاومت بالایی در برابر نفوذ آب بوده و عملکرد حفاظتی مناسبی در بسته‌بندی ارائه می‌دهد.

نتیجه‌گیری

با وجود مزایای نانوتکنولوژی، استفاده از نانوذرات در مواد غذایی نگرانی‌هایی نیز به همراه دارد. ورود خوراکی نانوذرات از طریق مصرف محصولات نانویی یا مهاجرت آن‌ها از بسته‌بندی به غذا می‌تواند موجب مواجهه انسان با این مواد شود. برخی مطالعات نشان داده‌اند که ورود خوراکی نانوذرات ممکن است باعث تخریب پروتئین‌ها، ایجاد استرس اکسیداتیو، آسیب DNA و اثرات زیستی نامطلوب دیگر شود. همچنین شواهدی وجود دارد که برخی نانوذرات جامد پس از ورود به دستگاه گوارش می‌توانند به اندام‌های حیاتی آسیب وارد کنند. از این رو، ارزیابی دقیق میزان مواجهه، سمیت احتمالی و ایمنی نانوذرات پیش از تجاری‌سازی گسترده آن‌ها در صنایع غذایی ضروری است. توسعه روش‌های استاندارد برای پایش، کنترل و ارزیابی خطر نانوذرات، از مهم‌ترین چالش‌های این حوزه است.

روش‌های مرسوم تصفیه آب و فاضلاب، نظیر انعقاد، لخته‌سازی، فیلتراسیون شنی، کلرزنی و حتی اسمز معکوس، عمدتاً با هدف حذف آلاینده‌های سنتی از جمله نیترات، فلزات سنگین و ترکیبات آلی طراحی شده‌اند و در مواجهه با آلاینده‌های نوظهور کارایی محدودی دارند. مطالعات انجام‌شده در دهه ۲۰۱۰ میلادی نشان داد که بیش از ۸۰ درصد داروها و هورمون‌ها پس از عبور از سامانه‌های تصفیه متداول همچنان در پساب باقی می‌مانند. این چالش نیاز به فناوری‌هایی را برجسته کرد که بتوانند در همان مقیاس مولکولی آلاینده‌ها عمل کنند؛ در این میان، نانوفناوری به‌عنوان یک گزینه پیشرو مطرح شد.

کاربرد نانو فناوری در حذف آلاینده‌های نوظهور از محیط زیست

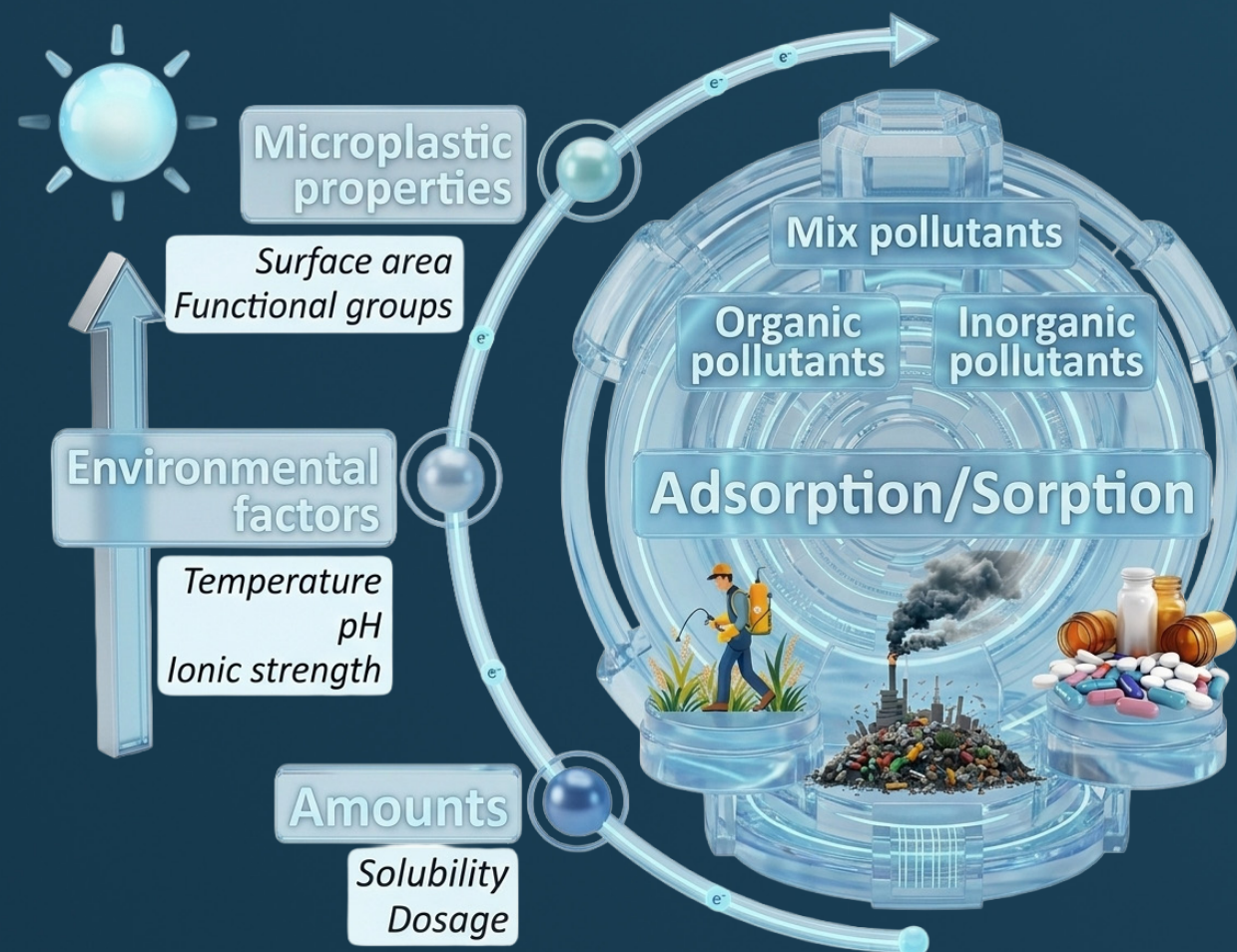
جناب آقای حجت ندیمی

چکیده

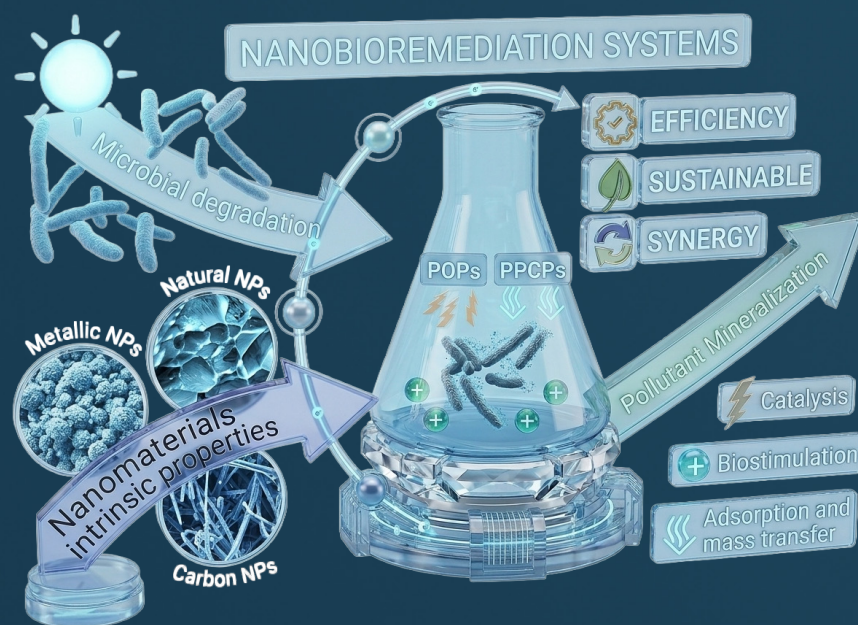
آلاینده‌های نوظهور شامل داروها، آنتی‌بیوتیک‌ها، هورمون‌ها، میکروپلاستیک‌ها و... هستند که طی دو دهه اخیر در اثر صنعتی سازی، کشاورزی مدرن و توسعه شهرنشینی به‌طور گسترده در محیط زیست مشاهده می‌شوند. روش‌های مرسوم توان کافی برای حذف این ترکیبات ندارند و در نتیجه بخش عمده آن‌ها وارد منابع آب، خاک و هوا می‌شوند. نانوفناوری به‌دلیل ویژگی‌هایی نظیر سطح ویژه بالا، واکنش‌پذیری مناسب، گزینش‌پذیری و قابلیت جذب-تجزیه، یکی از کارآمدترین گزینه‌ها برای مدیریت این آلاینده‌ها محسوب می‌شود. در این مطالعه، کاربردهای کلیدی نانومواد در حذف آلاینده‌های نوظهور و رویکردهای نوین مانند نانوزیست‌پالایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این فناوری‌ها مسیری جدید برای حفاظت پایدار از محیط‌زیست و سلامت انسان ارائه می‌دهند.

مقدمه

آلاینده‌های نوظهور مجموعه‌ای از ترکیبات شیمیایی هستند که تا دو دهه پیش به سختی قابل شناسایی بودند؛ اما امروزه با گسترش صنعتی‌سازی، کشاورزی مدرن و رشد و توسعه شهرنشینی در محیط زیست به‌طور گسترده مشاهده می‌شوند. این گروه شامل داروها، مواد شوینده، هورمون‌ها، میکروپلاستیک‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها، ترکیبات پرفلوئوره و صدها ماده دیگر با غلظت‌هایی در محدوده نانوگرم تا میکروگرم در محیط است. گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که بیش از دو میلیارد نفر در جهان از آب آشامیدنی آلوده به این ترکیبات استفاده می‌کنند و سالانه حدود هفت میلیون نفر به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به دلیل آلودگی آب و هوا جان خود را از دست می‌دهند. در ایران نیز پایش‌های انجام‌شده در محیط‌های مختلف این مورد را تایید میکند. برای مثال، مطالعاتی که بر آب رودخانه‌های کرج و زاینده‌رود و دریاچه ارومیه انجام شد، نشان داد غلظت برخی باقیمانده‌های دارویی، از مقادیر پیشنهادی بین‌المللی فراتر رفته است. چنین داده‌هایی بیانگر هشدار جدی برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده است.



نانوفناوری مزایایی نظیر سرعت بسیار بالا در حذف آلاینده‌ها، گزینش‌پذیری مطلوب، نیاز کم به انرژی و مواد شیمیایی، امکان بازیافت و استفاده مجدد از برخی نانوجاذب‌ها، قابلیت استفاده در مقیاس‌های کوچک و کاهش تولید پسماند را فراهم می‌کند. با این حال، نگرانی‌هایی مانند احتمال آزادسازی نانوذرات به محیط، هزینه اولیه بالا برای کشورهای در حال توسعه، و لزوم تدوین استانداردهای دقیق برای استفاده ایمن از آن‌ها همچنان مطرح است. این چالش‌ها ضرورت توسعه فناوری‌های امن‌تر و مطالعات تکمیلی را برجسته می‌کنند.



AI Modified: (7)

نانوزیست‌پالایی: پیوند هوشمند نانوفناوری و زیست‌فناوری

ترکیب رویکردهای زیستی با نانومواد به پیدایش حوزه نوین «نانوزیست‌پالایی محیطی» منجر شده است. در این فناوری، ویژگی‌های هدفمند و قابل تنظیم مواد نانومقیاس با توانایی‌های کاتالیزوری، انتخاب‌پذیری و سازگاری زیستی سامانه‌های زنده تلفیق می‌شود. نانوساختارهای پوشش‌داده‌شده با آنزیم، نانوذرات اصلاح‌شده با پروتئین و نانوکاتالیست‌های الهام‌گرفته از طبیعت قادرند آلاینده‌ها را در سطح مولکولی شناسایی و تجزیه کنند. ویژگی برجسته این رویکرد، امکان تشخیص و پالایش همزمان آلاینده‌ها است که در روش‌های صرفاً نانویی یا صرفاً زیستی کمتر مشاهده می‌شود.

کاربردهای عملی این حوزه شامل جذب مؤثر فلزات سنگین، سموم کشاورزی و داروها توسط نانولوله‌های کربنی و اکسید گرافن، عملکرد مطلوب MOFs در حذف رنگ‌ها و میکروپلاستیک‌ها، احیای آلاینده‌های معدنی و آلی توسط نانوذرات آهن صفر ظرفیت، تجزیه کامل ترکیبات پایدار نظیر دیوکسین‌ها و شناسایی لحظه‌ای آلاینده‌ها توسط نانوزیست حسگرها است.

نانومواد با ابعادی در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارای نسبت سطح به حجم بسیار بالا و واکنش‌پذیری قابل توجهی هستند که آن‌ها را برای جذب و برهم‌کنش مؤثر با آلاینده‌ها مناسب می‌سازد. قابلیت اصلاح سطحی هدفمند، گزینش‌پذیری بالا و امکان عملکرد فتوکاتالیستی از ویژگی‌های کلیدی این مواد است. بسیاری از نانومواد به‌ویژه تحت تابش نور خورشید یا نور مرئی می‌توانند آلاینده‌های جذب‌شده را به ترکیبات بی‌ضرر نظیر آب و دی‌اکسید کربن تجزیه کنند. این رویکرد دوگانه «جذب-تجزیه» یکی از مؤثرترین راهکارها برای حذف آلاینده‌های نوظهور محسوب می‌شود و باعث جذب سریع و انتخابی آن‌ها می‌گردد.

نمونه‌هایی از این عملکرد شامل حذف بیش از ۹۵ درصد داروی استامینوفن توسط نانوذرات اکسید آهن، جذب بیش از ۹۹/۹ درصدی آنتی‌بیوتیک تتراسایکلین در زمان کمتر از ده دقیقه توسط نانوکامپوزیت‌های گرافن اکسید است. همچنین تثبیت تا ۹۵ درصد میکروپلاستیک‌ها در خاک توسط نانوبیوچار، و حذف همزمان سه عامل هدف شامل ویروس کووید-۱۹، ذرات PM2.5 و گازهای آلی فرار توسط فیلترهای نانوفایبر از دیگر موارد عملکردی است. رشد چشمگیر مقالات علمی مرتبط با «نانوتکنولوژی و حذف آلاینده‌های نوظهور» در پایگاه‌های علمی طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ نشان‌دهنده اهمیت روزافزون این حوزه و نقش آن در مدیریت آلودگی‌های نوظهور است.

کاربردهای کلیدی نانوفناوری

در حوزه‌های مختلف محیط زیست کاربرد نانوفناوری به وفور قابل ملاحظه است. در حوزه آب و فاضلاب، نانوغشاهای پلیمری با منافذ ۱ تا ۵ نانومتر، نانوجاذب‌های بر پایه گرافن و چارچوب‌های فلز-آلی (MOFs) و ... قادر به حذف همزمان انواع داروها، هورمون‌ها، ترکیبات پرفلوئوره و میکروپلاستیک‌ها هستند. در پروژه‌های پایلوت اجرا شده در برخی کشورها، هزینه عملیاتی این فناوری‌ها طی پنج سال اخیر تا حدود ۶۰ درصد کاهش نسبت به نوع اولیه و ابتدایی داشته است.

در بخش خاک و کشاورزی، نانوبیوچار و نانوذرات آهن صفر ظرفیت توانسته‌اند مقادیر بالایی از آفت‌کش‌ها و آنتی‌بیوتیک‌های دامپزشکی را در همان فصل زراعی تثبیت یا تجزیه کنند. این فناوری برای کشورهایی مانند ایران که مصرف آفت‌کش‌ها در آن قابل توجه است، می‌تواند نقش مهمی در جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به زنجیره غذایی داشته باشد.

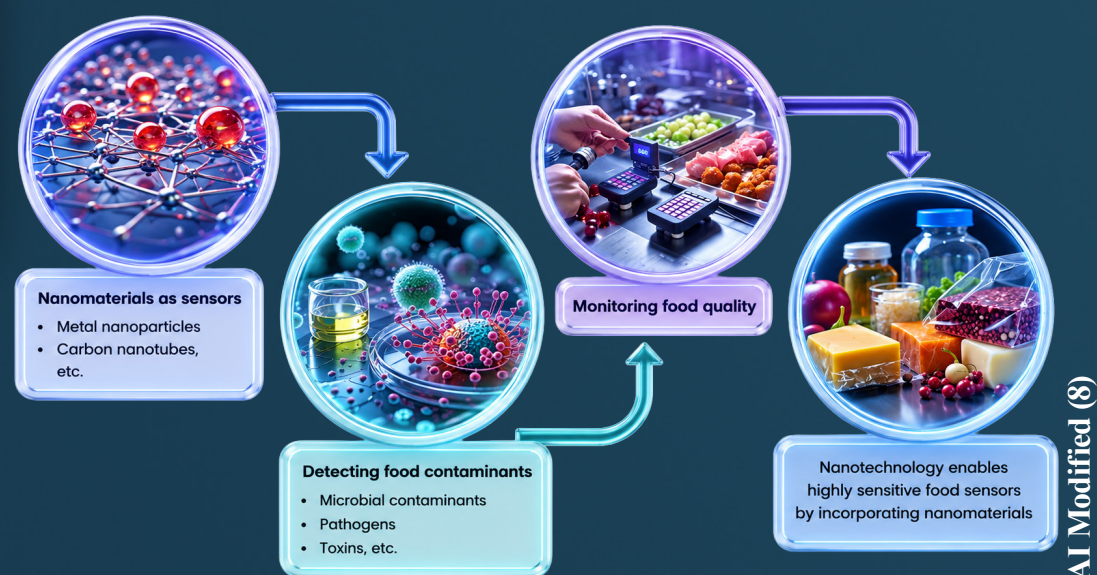
در حوزه هوا با توجه به معضل آلودگی هوا و همچنین محیط‌های بسته، استفاده از فیلترهای نانویی در سامانه‌های تهویه، کنترل آلودگی صنایع و تجهیزات تنفسی و ... نقش مهمی در حذف آلاینده‌های بیولوژیک و شیمیایی داشته است.

1. Sharmila, P. & Karthikeyan, E. Emerging Nanomedical Techniques: Transforming Contaminant Management in Soil and Water. Sustainable Chemistry for Climate Action, 100116 (2025).
2. Vallejo, N. P., Heya, M. N., Castorena, E. V. G., Cruz, L. R. S. & Pournavab, R. F. in Natural Alternatives and Nanotechnology Applied to the One Health Approach: Bridging Ecology, Technology, and Medicine for Sustainable Solutions 13-38 (Springer, 2025).
3. Nzilu, D. M. et al. Environmental remediation using nanomaterial as adsorbents for emerging micropollutants. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management 20, 100789 (2023).
4. Asghar, N. et al. Advancement in nanomaterials for environmental pollutants remediation: a systematic review on bibliometrics analysis, material types, synthesis pathways, and related mechanisms. Journal of Nanobiotechnology 22, 26 (2024).
5. Aishwarya, K., Aleena Irene, S., Devikrishna, P., Thomas, N. M. & George, N. in Green Nanotechnology Applications for Ecosystem Sustainability 333-358 (Springer, 2025).

نانوزیست‌پالایی اکنون فراتر از یک مفهوم آزمایشگاهی بوده و به‌عنوان یکی از امیدبخش‌ترین رویکردها برای مدیریت پایدار آلودگی‌های محیطی مطرح است. بهره‌گیری از این فناوری می‌تواند نقش مؤثری در حفاظت از منابع آب، خاک و هوا داشته باشد و چشم‌انداز روشنی برای ارتقای سلامت و کیفیت محیط‌زیست به‌ویژه برای نسل‌های آینده ترسیم کند.



باقیمانده آفتکش‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها، مواد شیمیایی صنعتی مانند PCB ها و Dioxin ها، فلزات سنگین مثل سرب، کادمیوم، جیوه و آرسنیک، سمومی که در اثر فرایندهای حرارتی حین پخت و پز تولید می‌شوند، همچون آکریل آمید و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، سموم تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها، مانند آفلاتوکسین که عمدتاً توسط قارچ آسپرژیلوس فلاووس و پارازیتیکوس تولید می‌شود.



به منظور اطمینان از ایمنی مواد غذایی، می‌بایست قبل از مصرف احتمال وجود هر نوع آلودگی در آن تقریباً به صفر برسد؛ برای رسیدن به این هدف، می‌بایست نمونه‌های مواد غذایی را از نظر وجود آلودگی‌های محتمل در آن مورد بررسی قرار داد. بیشتر روش‌هایی که در حال حاضر برای تشخیص و اندازه‌گیری آلاینده‌ها در مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، وقت‌گیر و پرهزینه بوده و نیاز به تجهیزات پیچیده آزمایشگاهی دارند. در چند سال اخیر محققان با کمک فناوری‌های جدید، مانند فناوری نانو، موفق به توسعه روش‌های تشخیصی جدید برای آلاینده‌های مواد غذایی شده‌اند.

فناوری نانو به معنای توانایی طراحی، ساخت، کنترل و بهره‌برداری از مواد در ابعاد نانومتری (در حدود ۱-۱۰۰ نانومتر) است. در این مقیاس، به دلیل افزایش چشمگیر نسبت سطح به حجم، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد دستخوش تغییرات اساسی می‌شوند. این تغییرات می‌توانند خواص جدیدی همچون افزایش واکنش‌پذیری، بهبود خواص مکانیکی و تغییر رفتار نوری و الکتریکی را ایجاد کنند. به همین دلیل، فناوری نانو در حوزه‌های متعددی کاربرد دارد؛ از جمله در شناسایی و اندازه‌گیری آلاینده‌ها در مواد غذایی که نقش مهمی در ارتقای ایمنی و کیفیت محصولات غذایی ایفا می‌کند.

شناسایی و اندازه‌گیری آلاینده‌ها در مواد غذایی با استفاده از فناوری نانو

علیرضا بختیاری

چکیده

فناوری نانو با توسعه نانوحسگرهای پیشرفته، امکان تشخیص سریع، دقیق و حساس آلاینده‌های مواد غذایی را فراهم کرده است. این حسگرها در شناسایی عوامل بیماری‌زا، سموم، فلزات سنگین و بقایای آفتکش‌ها کاربرد دارند و نسبت به روش‌های سنتی سریع‌تر، کم‌هزینه‌تر و قابل حمل هستند. با وجود چالش‌هایی مانند ایمنی نانومواد و نیاز به استانداردسازی، فناوری نانو نقش مهمی در ارتقای ایمنی و کیفیت مواد غذایی و تضمین سلامت مصرف‌کنندگان خواهد داشت.

مقدمه

جمعیت جهان روز به روز در حال افزایش است؛ بر اساس پیش‌بینی‌های سازمان ملل متحد، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۹ میلیارد نفر خواهد رسید. این موضوع نشان می‌دهد که نیاز بشر به تامین مواد غذایی ایمن و بهداشتی نیز رو به افزایش بوده و در آینده‌ای نه چندان دور می‌تواند از یک دغدغه جدی به یک بحران بزرگ تبدیل شود. مقصود از ایمنی مواد غذایی، حصول اطمینان از این است که مواد غذایی در هنگام تولید، حمل، آماده‌سازی و نگهداری، نه تنها دچار آلودگی‌های بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی نشده بلکه سبب بیماری مصرف‌کنندگان نیز نمی‌شود.

انواع آلاینده‌ها در مواد غذایی

آلاینده‌های بیولوژیکی

باکتری‌های بیماری‌زا، قارچ‌ها و مخمرها، ویروس‌ها در این دسته قرار می‌گیرند.

آلاینده‌های فیزیکی

خرده شیشه، تکه‌های استخوان یا سنگ ریزه، مو و غیره نیز در این گروه جای می‌گیرند.



نانوحسگرهای الکتروشیمیایی (Electrochemical Nanosensors):

این دسته از حسگرها بر پایه‌ی تغییرات جریان یا ولتاژ ناشی از اتصال آلاینده‌ها به سطح نانومواد عمل می‌کنند. به دلیل حساسیت بسیار بالا، نانوحسگرهای الکتروشیمیایی قادرند آلاینده‌های شیمیایی و زیستی را در مدت زمان کوتاهی شناسایی کنند. از جمله کاربردهای مهم آن‌ها می‌توان به اندازه‌گیری نیتрат، تشخیص فلزات سنگین مانند سرب و کادمیوم، و شناسایی بقایای آفت‌کش‌ها در مواد غذایی اشاره کرد.

نانوحسگرهای مغناطیسی (Magnetic Nanosensors):

این حسگرها از نانوذرات مغناطیسی مانند Fe_3O_4 بهره می‌برند که قابلیت جداسازی و شناسایی آلاینده‌ها را دارند. عملکرد آن‌ها بر اساس جذب و جداسازی عوامل بیماری‌زا از محیط غذایی است و به همین دلیل در تشخیص سریع باکتری‌های بیماری‌زا و ویروس‌ها کاربرد گسترده‌ای دارند. استفاده از این حسگرها موجب افزایش دقت و سرعت در پایش ایمنی مواد غذایی می‌شود.

نانوبایوسنسورها (Nanobiosensors):

نانوبایوسنسورها ترکیبی از نانومواد با مولکول‌های زیستی مانند آنزیم‌ها، آنتی‌بادی‌ها یا DNA هستند. این ترکیب موجب ایجاد قابلیت تشخیص اختصاصی آلاینده‌ها یا عوامل بیماری‌زا می‌شود. به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد، این حسگرها می‌توانند به سرعت باکتری‌هایی مانند E. coli و Salmonella و همچنین سموم قارچی را شناسایی کنند. کاربرد آن‌ها در صنایع غذایی به‌ویژه برای تضمین سلامت و کیفیت محصولات بسیار ارزشمند است.

وقتی نانوحسگرها با آلاینده هدف (مثلا مولکول سم یا یک باکتری بیماری‌زا) برخورد می‌کند، یک تغییر فیزیکی یا شیمیایی در آن ایجاد می‌شود. سپس این تغییر به یک سیگنال قابل اندازه‌گیری که معمولا به صورت نوری یا جریان الکتریکی است، تبدیل می‌شود. این سیگنال نشان دهنده حضور آلاینده مورد نظر می‌باشد و از روی آن حتی می‌توان غلظت آن آلاینده را هم در نمونه غذایی تعیین کرد. انواع نانوحسگرهای مورد استفاده در مواد غذایی شامل نانوحسگرهای نوری (اپتیکال)، الکتروشیمیایی، مغناطیسی، زیستی (نانوبایوسنسورها)، و نانوحسگرهای مکانیکی هستند که برای شناسایی سریع آلاینده‌ها، سموم قارچی، فلزات سنگین، میکروب‌های بیماری‌زا و کنترل کیفیت مواد غذایی به کار می‌روند.

نانوحسگرهای نوری در مواد غذایی

باقیمانده آفت‌کش‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها، مواد شیمیایی صنعتی مانند PCB ها و Dioxin ها ، فلزات سنگین مثل سرب، کادمیوم، جیوه و آرسنیک، سمومی که در اثر فرایندهای حرارتی حین پخت و پز تولید می‌شوند، همچون آکریل آمید و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، سموم تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها، مانند آفلاتوکسین که عمدتاً توسط قارچ آسپرژیلوس فلاووس و پارازیتیکوس تولید می‌شود.

• حسگرهای پلاسمونیک سطحی (LSPR)

با تغییر رنگ نانوذرات فلزی (طلا، نقره) هنگام اتصال به آلاینده‌ها عمل می‌کنند.

مثال: تغییر رنگ از قرمز به آبی در حضور سم آفلاتوکسین.

• نانوحسگرهای نقاط کوانتومی (Quantum Dots)

نانوکریستال‌های نیمه‌رسانا که نور را در طول موج‌های خاص منتشر می‌کنند؛ اتصال آلاینده باعث تغییر شدت یا رنگ نور می‌شود و امکان اندازه‌گیری غلظت آلاینده را فراهم می‌سازد.

• حسگرهای فلورسانس

بر پایه‌ی نانومواد که در حضور آلاینده‌ها شدت یا طول موج فلورسانسشان تغییر می‌کند.

• حسگرهای سیلیکایی و کربنی

نانوذرات سیلیس یا نقاط کوانتومی کربنی می‌توانند به‌عنوان بسترهای حساس برای تشخیص سریع آلاینده‌ها و میکروب‌ها استفاده شوند.

نانوحسگرهای مکانیکی از نانوساختارهایی بسیار کوچک ساخته شده‌اند که می‌توانند در برابر تغییرات محیطی واکنش نشان دهند. اساس کار آن‌ها این است که وقتی یک آلاینده یا مولکول خاص به سطح این نانوساختارها متصل می‌شود، باعث ایجاد تغییر در ارتعاش یا خمیدگی آن‌ها می‌گردد. این تغییرات مکانیکی بسیار ظریف هستند، اما در مقیاس نانو به راحتی قابل اندازه‌گیری‌اند و به‌عنوان سیگنال هشدار برای وجود آلودگی یا تغییر شیمیایی در محیط عمل می‌کنند.

در حوزه‌ی مواد غذایی، این حسگرها می‌توانند درون بسته‌بندی هوشمند قرار گیرند. به‌عنوان مثال، اگر ماده غذایی شروع به فساد کند یا گازهایی مانند اتیلن یا آمونیاک آزاد شوند، نانوحسگر مکانیکی تغییر ارتعاش یا خمیدگی نشان می‌دهد. این تغییر به سیستم بسته‌بندی منتقل می‌شود و می‌تواند به‌صورت یک علامت هشدار (مثلاً تغییر رنگ یا سیگنال دیجیتالی) ظاهر شود. به این ترتیب، مصرف‌کننده یا تولیدکننده به‌سرعت متوجه فساد یا آلودگی مواد غذایی می‌شود.

• کاغذهای هوشمند نانو

کاغذهای هوشمند نانو در صنایع غذایی نوعی بسته‌بندی نوین هستند که با استفاده از نانومواد طراحی می‌شوند و می‌توانند فساد، آلودگی یا تغییر کیفیت مواد غذایی را آشکار کنند. این کاغذها معمولاً با نانوذرات فلزی، نانوفیبرهای سلولزی یا نانوذرات سیلیس پوشش داده می‌شوند و به‌عنوان بخشی از بسته‌بندی هوشمند عمل می‌کنند.

• حسگرهای آپتاسنسور

این حسگرها از تکه‌های کوچکی از DNA یا RNA (آپتامرها) استفاده می‌کنند که به طور اختصاصی و با قدرت بالا به آلاینده مورد نظر متصل می‌شوند. وقتی آپتامر به آلاینده هدف متصل می‌شود، شکل آن تغییر می‌کند. سپس این تغییر شکل توسط یک نانو ذره (طلا، نقره و ...) به یک سیگنال قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌شود. این حسگرها بسیار اختصاصی و دقیق هستند.

• فناوری Lab on a chip

به زبان ساده، Lab-on-a-Chip مثل یک آزمایشگاه کامل است که در ابعاد یک تراشه کوچک جا داده شده و می‌تواند با کمک نانوحسگرها و فناوری‌های میکروفلوئیدیک، نمونه‌های غذایی را سریع و دقیق بررسی کرده و چندین آلودگی را همزمان شناسایی کند.

مزایای کلیدی استفاده از فناوری نانو

روش‌های بر پایه نانو قادر به تشخیص مقادیر بسیار کم آلاینده‌ها نیز هستند که نشان‌دهنده حساسیت و دقت بالای این روش‌ها است.

سرعت تشخیص و اندازه‌گیری در این روش بسیار بیشتر است؛ روش‌های فعلی ممکن است حتی چند روز طول بکشند، در حالیکه با روش‌های مبتنی بر فناوری نانو، می‌توان حتی در عرض چند ثانیه به جواب رسید.

بسیاری از این حسگرها به صورت کیت‌های قابل حمل طراحی شده‌اند و دیگر نیازی به روش‌ها و دستگاه‌های پیچیده آزمایشگاهی ندارند؛ پس می‌توان از آن‌ها به راحتی به صورت میدانی در مزرعه یا خط تولید استفاده کرد.

می‌توان با یک حسگر همزمان چند آلاینده را شناسایی و اندازه‌گیری کرد که نشان‌دهنده تطبیق پذیری و چند کاره بودن این روش‌ها است.

چالش‌ها و ملاحظات

با وجود پتانسیل فوق‌العاده، توسعه و تجاری‌سازی این فناوری با چالش‌هایی روبرو است:

ملاحظات ایمنی و سم‌شناسی: خود نانوذرات مصنوعی مورد استفاده در حسگرها ممکن است در صورت ورود به بدن یا محیط زیست، اثرات سمی داشته باشند. از این رو، ارزیابی خطر دقیق این ترکیبات ضروری است.

مقررات و استانداردها: کمبود قوانین و استانداردهای جهانی مشخص برای تولید و استفاده از این حسگرها در صنعت غذا، می‌تواند مانعی برای تجاری‌سازی آنها باشد.

هزینه تولید: اگرچه در مقیاس بزرگ هزینه کاهش می‌یابد، اما در حال حاضر تولید برخی نانومواد هنوز پرهزینه است.

اثر ماتریکس غذایی: مواد تشکیل‌دهنده پیچیده مواد غذایی ممکن است با عملکرد حسگر تداخل کرده و نتایج را مخدوش کنند؛ بنابراین استفاده از روش‌های پیشرفته تصفیه و آماده‌سازی نمونه ضروری است.

فناوری نانو انقلابی در ایمنی مواد غذایی و اندازه‌گیری آلاینده‌های مواد غذایی ایجاد کرده است. این فناوری با ارائه ابزارهای سریع، حساس، قابل حمل و مقرون‌به‌صرفه، نه تنها به نهادهای نظارتی و تولیدکنندگان کمک می‌کند، بلکه مستقیماً به مصرف‌کننده نهایی نیز قدرت می‌دهد تا از ایمنی مواد غذایی مصرفی خود اطمینان حاصل کند. با اینکه چالش‌های زیادی پیش رو است، اما شکی نیست که فناوری نانو، به زودی به یکی از ارکان اصلی تضمین زنجیره غذایی سالم و ایمن برای نسل‌های آینده تبدیل خواهد شد.

1. Gao H, Yan C, Wu W, Li J. Application of microfluidic chip technology in food safety sensing. *Sensors*. 2020;20(6):1792.
2. Yang L, Yi W, Sun F, Xu M, Zeng Z, Bi X, et al. Application of lab-on-chip for detection of microbial nucleic acid in food and environment. *Frontiers in Microbiology*. 2021;12:765375.
3. Yoon J-Y, Kim B. Lab-on-a-chip pathogen sensors for food safety. *Sensors*. 2012;12(8):10713-41.
4. Zhang J, Ma C, Du Y, Huang J, Xue L. Microfluidic biosensors for rapid detection of foodborne pathogenic bacteria: recent advances and future perspectives. *Frontiers in chemistry*. 2025;13:1536928.
5. Zolti O, Suganthan B, Ramasamy RP. Lab-on-a-chip electrochemical biosensors for foodborne pathogen detection: A review of common standards and recent progress. *Biosensors*. 2023;13(2):215.

پذیرش اجتماعی و ادراک عمومی خطر در نانوتکنولوژی

ادراک خطر در نانوتکنولوژی تنها بر پایه ارزیابی‌های علمی شکل نمی‌گیرد، بلکه عواملی مانند میزان آگاهی، اعتماد به نهادهای مسئول، رسانه‌ها و نگرانی‌های اخلاقی و زیست‌محیطی نیز در آن مؤثرند. این فناوری از یک‌سو نماد پیشرفت و نوآوری است و از سوی دیگر، به دلیل ناشناخته بودن برخی اثرات نانومواد، ممکن است نگرانی‌هایی در جامعه ایجاد کند.

مطالعات نشان می‌دهند که نحوه ارائه اطلاعات و میزان اعتماد به نهادهای علمی و نظارتی، تأثیر زیادی بر پذیرش اجتماعی فناوری دارد. بی‌توجهی به نگرانی‌های عمومی می‌تواند به کاهش اعتماد و مقاومت اجتماعی منجر شود.

نقش سیاست‌گذاران در مدیریت ادراک خطر

در فناوری‌های نوظهور، رویکرد «حکمرانی ریسک» جایگزین مدیریت سنتی خطر شده است. این رویکرد بر شفافیت، مشارکت ذی‌نفعان، ارتباط مؤثر با جامعه و توجه به ابعاد اخلاقی و اجتماعی تأکید دارد.

سیاست‌گذاران می‌توانند با آموزش عمومی، اطلاع‌رسانی متوازن، تدوین استانداردهای ایمنی، مشارکت شهروندان و حمایت از پژوهش‌های مسئولانه، زمینه توسعه ایمن و پذیرش پایدار نانوتکنولوژی را فراهم کنند.

چالش‌های سیاستی

یکی از چالش‌های اصلی، سرعت بالای توسعه و تجاری‌سازی نانوتکنولوژی در مقایسه با تولید شواهد کافی درباره ایمنی برخی نانومواد است. سیاست‌گذاران باید میان حمایت از نوآوری و حفاظت از سلامت انسان و محیط‌زیست تعادل برقرار کنند. همچنین، نبود هماهنگی میان نهادهای مسئول و توجه ناکافی به مسائل اخلاقی و عدالت اجتماعی می‌تواند پذیرش عمومی فناوری را دشوار کند.

پذیرش اجتماعی نانوتکنولوژی و نقش سیاست‌گذاران در مدیریت ادراک عمومی خطر

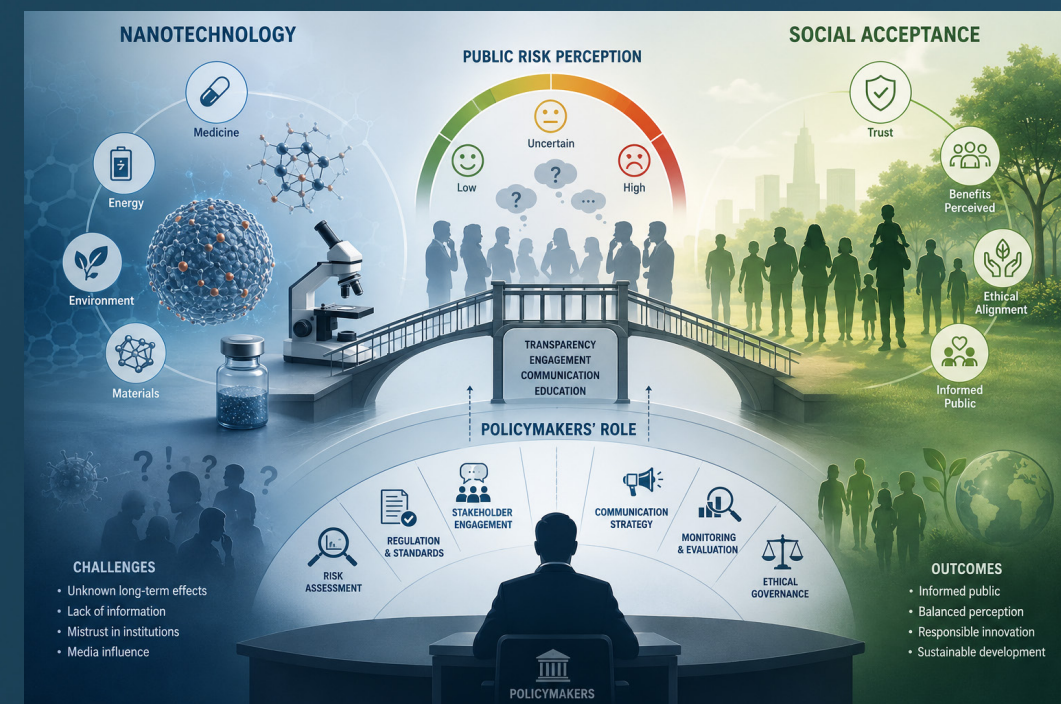
فاطمه میرپارسا

چکیده

نانوتکنولوژی به‌عنوان یکی از فناوری‌های راهبردی قرن بیست‌ویکم، کاربردهای گسترده‌ای در پزشکی، صنعت و محیط‌زیست دارد. با این حال، توسعه فناوری‌ها به‌تنهایی موجب پذیرش اجتماعی نمی‌شود و عواملی مانند ادراک خطر، اعتماد عمومی و نحوه اطلاع‌رسانی در این زمینه نقش مهمی دارند. سیاست‌گذاران با بهره‌گیری از رویکرد حکمرانی ریسک، شفافیت، مشارکت اجتماعی و نوآوری مسئولانه می‌توانند زمینه پذیرش پایدار این فناوری را فراهم کنند.

مقدمه

نانوتکنولوژی یکی از فناوری‌های نوظهور مهم قرن بیست‌ویکم است که با دستکاری ماده در مقیاس نانو، امکان ایجاد ویژگی‌ها و کاربردهای جدید را فراهم می‌کند. این فناوری در حوزه‌هایی مانند پزشکی، صنعت، انرژی و محیط‌زیست کاربردهای گسترده‌ای یافته است. با وجود ظرفیت‌های فراوان، تجربه فناوری‌هایی مانند محصولات مهندسی ژنتیک و انرژی هسته‌ای نشان داده است که موفقیت علمی و اقتصادی یک فناوری الزاماً به پذیرش عمومی آن منجر نمی‌شود. نگرانی‌های اجتماعی، اخلاقی و زیست‌محیطی می‌توانند بر اعتماد عمومی و نگرش جامعه تأثیر بگذارند.



Designer Edited: AI Modified

1. Cobb, M. D., & Macoubrie, J. (2004). Public perceptions about nanotechnology: Risks, benefits and trust. *Journal of Nanoparticle Research*, 6(4), 395–405.
2. Gaskell, G., et al. (2005). Imagining nanotechnology: Cultural support for technological innovation in Europe and the United States. *Public Understanding of Science*, 14(1), 81–90.
3. Renn, O., & Roco, M. C. (2006). Nanotechnology and the need for risk governance. *Journal of Nanoparticle Research*, 8(2), 153–191.
4. Siegrist, M., Wiek, A., Helland, A., & Kastenholz, H. (2007). Risks and nanotechnology: the public is more concerned than experts and industry. *Nature nanotechnology*, 2(2), 67. <https://doi.org/10.1038/nnano.2007.10>
5. Slovic, P. (2000). *The perception of risk*. London: Earthscan.
6. Pidgeon, N., & Rogers-Hayden, T. (2007). Opening up nanotechnology dialogue with the publics: Risk communication or ‘upstream engagement’? *Health, Risk & Society*, 9(2), 191–210.
7. The Royal Society & The Royal Academy of Engineering. (2004). *Nanoscience and nanotechnologies – Opportunities and uncertainties*. London: The Royal Society.

برای افزایش پذیرش مسئولانه نانو تکنولوژی، تدوین راهبردهای ملی حکمرانی ریسک ضروری است. این راهبردها باید شامل آموزش عمومی، ارتباط شفاف با جامعه، مشارکت ذی‌نفعان، پایش نگرش‌های اجتماعی و حمایت از پژوهش‌های میان‌رشته‌ای باشد. توجه به عدالت در توزیع منافع و خطرات فناوری نیز نقش مهمی در ایجاد اعتماد پایدار دارد.

نتیجه‌گیری

پذیرش اجتماعی نانو تکنولوژی تنها به پیشرفت علمی وابسته نیست، بلکه به اعتماد عمومی، شفافیت و مشارکت جامعه نیز نیاز دارد. اتخاذ رویکرد حکمرانی ریسک و توجه هم‌زمان به ابعاد علمی، اجتماعی و اخلاقی می‌تواند مسیر توسعه ایمن و پایدار این فناوری را هموار کند.



کاربرد نانوفناوری در پیشگیری از بلایا

مهدیه محمدزاده

چکیده

بلایا، چه با منشأ طبیعی و چه انسانی، می‌توانند پیامدهای گسترده‌ای بر سلامت جامعه، محیط‌زیست و زیرساخت‌های حیاتی داشته باشند. نانوفناوری با بهره‌گیری از ویژگی‌های منحصر به فرد نانومواد، ظرفیت قابل‌توجهی در کاهش خطرات مرتبط با بلایا و تقویت نظام سلامت دارد. کاربردهای این فناوری در حوزه‌هایی مانند تصفیه آب و محیط‌زیست، تشخیص سریع عوامل بیماری‌زا، توسعه داروها و واکسن‌ها، کنترل عفونت‌ها و تأمین منابع غذایی ایمن، می‌تواند نقش مهمی در مراحل پیشگیری، آمادگی و پاسخ به بلایا ایفا کند. با وجود این ظرفیت‌ها، استفاده ایمن از نانومواد نیازمند توجه به پیامدهای زیست‌محیطی و ارزیابی دقیق خطرات احتمالی است.

مقدمه

بلایا رویدادهایی هستند که با ایجاد اختلال در عملکرد جامعه، خسارات انسانی، اقتصادی و زیست‌محیطی قابل‌توجهی ایجاد می‌کنند. این رویدادها می‌توانند ناشی از مخاطرات طبیعی مانند زلزله، سیل و تغییرات اقلیمی یا عوامل انسان‌ساخت مانند آلودگی‌های صنعتی و همه‌گیری بیماری‌ها باشند. یکی از مهم‌ترین پیامدهای بلایا، تهدید سلامت عمومی از طریق آسیب به زیرساخت‌های بهداشتی، کاهش دسترسی به آب سالم، افزایش خطر بیماری‌های عفونی و اختلال در ارائه خدمات درمانی است. در سال‌های اخیر، افزایش جمعیت، تغییرات اقلیمی، تخریب محیط‌زیست و ظهور بیماری‌های نوپدید، ضرورت استفاده از فناوری‌های نوین برای کاهش اثرات بلایا را افزایش داده است. نانوفناوری به‌عنوان فناوری کار با مواد در مقیاس ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، به دلیل ویژگی‌هایی مانند سطح ویژه بالا، واکنش‌پذیری زیاد و قابلیت طراحی هدفمند، به‌عنوان ابزاری نوین در مدیریت چالش‌های سلامت و محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته است.

نقش نانوفناوری در سلامت و مدیریت بلایا

یکی از مهم‌ترین کاربردهای نانوفناوری در حوزه سلامت در شرایط بحران و بلایا، تشخیص سریع و کنترل عوامل بیماری‌زا است. نانوبیوسنسورها و سامانه‌های تشخیصی مبتنی بر نانو می‌توانند شناسایی سریع ویروس‌ها، باکتری‌ها و سموم را امکان‌پذیر کرده و در شرایط بحرانی، به تصمیم‌گیری سریع‌تر تیم‌های سلامت کمک کنند.

همچنین، نانوداروها و سامانه‌های دارورسانی نانویی با افزایش اثربخشی درمان و کاهش عوارض جانبی، در مدیریت بیماری‌های عفونی، سرطان و سایر بیماری‌های پیچیده کاربرد دارند. توسعه واکسن‌ها و درمان‌های مبتنی بر نانو نیز در کنترل همه‌گیری‌ها، مانند بیماری‌های تنفسی نوپدید، اهمیت ویژه‌ای یافته است.

کاربرد نانوفناوری در تأمین آب سالم و کنترل آلودگی

پس از وقوع بلایا، دسترسی به آب سالم یکی از مهم‌ترین چالش‌های سلامت عمومی است؛ زیرا آلودگی منابع آب می‌تواند موجب شیوع بیماری‌های منتقله از آب شود. نانومواد به دلیل قابلیت جذب آلاینده‌ها، حذف فلزات سنگین و غیرفعال‌سازی عوامل بیماری‌زا، می‌توانند در توسعه سامانه‌های پیشرفته تصفیه آب مورد استفاده قرار گیرند.

همچنین نانوذرات با خواص ضدباکتریایی و ضدویروسی، ظرفیت استفاده در گندزدایی آب، سطوح و تجهیزات پزشکی را دارند و می‌توانند در کاهش انتقال عفونت‌ها در شرایط پس از بحران مؤثر باشند.

1. Qureshi MI, Yusoff RM, Hishan SS, Alam ASAF, Zaman K, Rasli AM. Natural disasters and Malaysian economic growth: policy reforms for disasters management. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26(15):15496–509.
2. Khan A, Wen Y, Huq T, Ni Y. Cellulosic Nanomaterials in Food and Nutraceutical Applications: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018;66(1):8–19.
3. de Moura MR, Mattoso LHC, Zucolotto V. Development of cellulose-based bactericidal nanocomposites containing silver nanoparticles and their use as active food packaging. *Journal of Food Engineering*. 2012;109(3):520–4.
4. Ahmadi Y, Kim K-H, Kim S, Tabatabaei M. Recent advances in polyurethanes as efficient media for thermal energy storage. *Energy Storage Materials*. 2020;30:74–86.
5. Lowry GV, Avellan A, Gilbertson LM. Opportunities and challenges for nanotechnology in the agri-tech revolution. *Nature Nanotechnology*. 2019;14(6):517–22.
6. Kah M, Tufenkji N, White JC. Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. *Nature Nanotechnology*. 2019;14(6):532–40.
7. Kah M, Kookana RS, Gogos A, Bucheli TD. A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nature Nanotechnology*. 2018;13(8):677–84.
8. Zheng X, Shen Z-p, Cheng C, Shi L, Cheng R, Yuan D-h. Photocatalytic disinfection performance in virus and virus/bacteria system by Cu-TiO₂ nanofibers under visible light. *Environmental Pollution*. 2018;237:452–9.
9. Li R, Cui L, Chen M, Huang Y. Nanomaterials for Airborne Virus Inactivation: A Short Review. *Aerosol Science and Engineering*. 2021;5(1):1–11.
10. Bassyouni M, Abdel-Aziz MH, Zoromba MS, Abdel-Hamid SMS, Drioli E. A review of polymeric nanocomposite membranes for water purification. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019;73:19–46.
11. Mauter MS, Zucker I, Perreault F, Werber JR, Kim J-H, Elimelech M. The role of nanotechnology in tackling global water challenges. *Nature Sustainability*. 2018;1(4):166–75.
12. Ahmadi Y, Yadav M, Ahmad S. Oleo-polyurethane-carbon nanocomposites: Effects of in-situ polymerization and sustainable precursor on structure, mechanical, thermal, and antimicrobial surface-activity. *Composites Part B: Engineering*. 2019;164:683–92.
13. Hurst JJ, Wallace JS, Aga DS. Method development for the analysis of ionophore antimicrobials in dairy manure to assess removal within a membrane-based treatment system. *Chemosphere*. 2018;197:271–9.
14. Weiss C, Carriere M, Fusco L, Capua I, Regla-Nava JA, Pasquali M, et al. Toward Nanotechnology-Enabled Approaches against the COVID-19 Pandemic. *ACS Nano*. 2020;14(6):6383–406.

نقش نانوفناوری در امنیت غذایی و پیشگیری از بحران‌های تغذیه‌ای

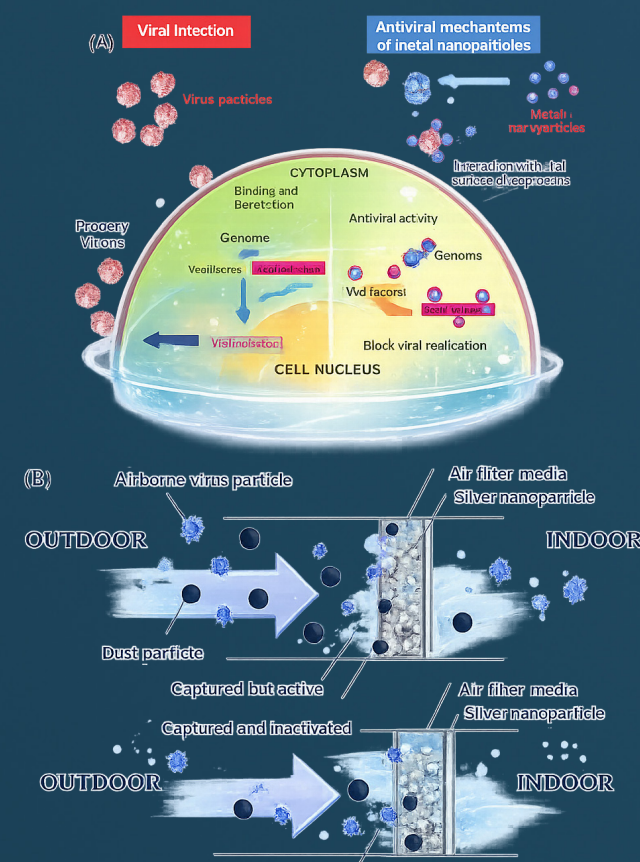
بلافاصله می‌توانند زنجیره تأمین غذا را مختل کرده و خطر ناامنی غذایی را افزایش دهند. کاربرد نانوفناوری در کشاورزی، از طریق استفاده از نانوکودها، نانوآفتکش‌ها و نانوبیوسنسورها، می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری تولید، کاهش مصرف منابع و بهبود ایمنی مواد غذایی شود. این فناوری در بسته‌بندی‌های هوشمند نیز می‌تواند به تشخیص فساد و افزایش ماندگاری مواد غذایی کمک کند.

چالش‌ها و ملاحظات ایمنی

با وجود مزایای گسترده، استفاده از نانوفناوری نیازمند بررسی دقیق اثرات احتمالی نانومواد بر سلامت انسان و محیط‌زیست است. برخی نانوذرات ممکن است در صورت مواجهه طولانی‌مدت، اثرات سمی ایجاد کنند. بنابراین، توسعه این فناوری باید همراه با ارزیابی خطر، استانداردهای ایمنی و رویکرد مسئولانه باشد.

نتیجه‌گیری

نانوفناوری می‌تواند به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوین در کاهش خطر و مدیریت پیامدهای بلایا، نقش مؤثری در ارتقای سلامت عمومی ایفا کند. کاربرد این فناوری در تشخیص سریع بیماری‌ها، تأمین آب سالم، کنترل عفونت‌ها، توسعه درمان‌های نوین و افزایش امنیت غذایی، ظرفیت نظام سلامت را در مواجهه با بحران‌ها افزایش می‌دهد. با این حال، بهره‌گیری پایدار از نانوفناوری نیازمند توجه هم‌زمان به نوآوری، ایمنی و ملاحظات زیست‌محیطی است.



Author Provided: AI Modified

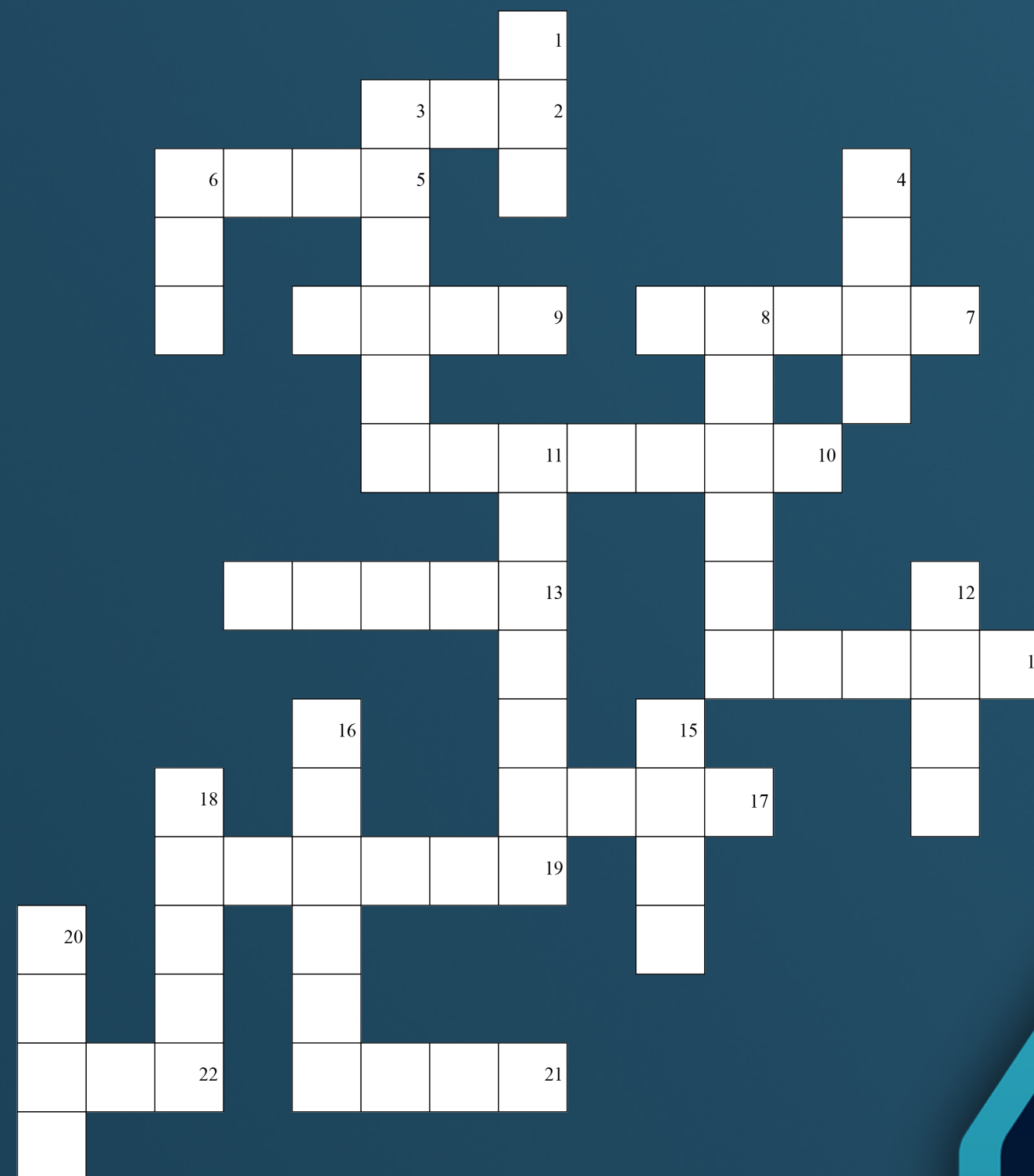
عمود

۱. ناحیه بیرونی یک جسم؛ در ابعاد نانو نسبت آن به حجم زیاد می‌شود
۳. عنصری که در بسیاری نانو اکسیدها به کار می‌رود
۴. فلزی که نانوذرات آن خاصیت ضدباکتریایی دارند
۶. تابشی که در میکروسکوپ‌های نوری استفاده می‌شود
۸. فیزیکدان آمریکایی که سخنرانی او را آغازگر علم نانو می‌دانند
۱۱. نظریه‌ای که رفتار ذرات در مقیاس اتمی را توصیف می‌کند
۱۲. لایه نازک محافظ روی سطح یک جسم
۱۵. کاربرد مهم نانوذرات در رساندن آن به هدف در بدن
۱۶. دانشمند آمریکایی، نویسنده کتاب Engines of Creation
۱۸. ماده‌ای متشکل از زنجیره تکرارشونده مولکول‌ها
۲۰. ابزاری برای تشخیص تغییرات محیطی؛ سنسور

افق

۲. فلزی گران‌بها که نانوذرات آن در پزشکی کاربرد دارد
۵. عنصر پایه گرافن، فولرن و نانولوله‌ها
۷. لایه‌ای تک‌اتمی از کربن با استحکام فوق‌العاده
۹. هر یک از رویه‌های روی هم‌چیده در یک ساختار نازک
۱۰. عنصر پایه صنعت نیمه‌هادی‌ها و تراشه‌ها
۱۳. توان انجام کار؛ در مقیاس نانو رفتار کوانتومی دارد
۱۴. مولکول کروی متشکل از اتم‌های کربن
۱۷. پیشوندی به معنای یک میلیارد؛ مقیاس اصلی این علم
۱۹. کوچک‌ترین واحد یک ترکیب شیمیایی
۲۱. ساختار منظم اتم‌ها در جامدات؛ کریستال
۲۲. ویژگی نوری که نانوذرات با تغییر اندازه آن را تغییر می‌دهند

جدول کلمات





۱۴۰۵

تابستان

- 1,2. Wigger, H., Kägi, R., Wiesner, M., & Nowack, B. (2020). Exposure and possible risks of engineered nanomaterials in the environment—Current knowledge and directions for the future. *Reviews of Geophysics*, 58, e2020RG000710. <https://doi.org/10.1029/2020RG000710>
3. <https://www.bocsci.com/resources/nanoemulsion-technology-difference-advantages-disadvantages-and-application.html?srsId=AfmBOoo5w7JUP2-6SamkpM1sM11FhtnkJv5dDcaKirH-5GKVdxJfkTBcs>
4. D. Komaraiah, E. Radha, J. Sivakumar, M.V. Ramana Reddy, R. Sayanna, Photoluminescence and photocatalytic activity of spin coated Ag⁺ doped anatase TiO₂ thin films, *Optical Materials*, Volume 108, 2020, 110401, ISSN 0925-3467, <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2020.110401>.
5. Haiguang Zhu, Xun Yuan, Qiaofeng Yao, Jianping Xie, Shining photocatalysis by gold-based nanomaterials, *Nano Energy*, Volume 88, 2021, 106306, ISSN 2211-2855, <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106306>.
6. Mumtaz A, Santini S, Albino M, Muzzi B, Marinelli C, Cincinelli A, Sangregorio C and Martellini T (2026) Emerging micropollutants: risks, regulatory trends, and adsorption based-magnetic nanotechnology solutions. *Front. Environ. Chem.* 6:1675784. doi: 10.3389/fenvc.2025.1675784
7. E. Ezequiel Andrada Suarez, M. Eugenia Roca Jalil, Martin A. Fernandez Baldo, Sergio A. Cuozzo; Nanobiotechnology approaches for the remediation of persistent and emerging organic pollutants: strategies, interactions, and effectiveness. *Environ. Sci.: Nano* 2025; 12 (2): 979–1011. <https://doi.org/10.1039/d4en00424h>
8. Pongpat Sukhavattanakul, Natwat Srikhao, Sarute Ummartyotin, Ravin Narain, Sensing food spoilage with nanotechnology: A review of current research and challenges, *Measurement: Food*, Volume 18, 2025, 100221, ISSN 2772-2759, <https://doi.org/10.1016/j.meaf.2025.100221>.



کاوش دریچه‌ای به جهان علم، اندیشه و نوآوری است؛ نشریه‌ای که تازه‌ترین یافته‌های پژوهشی را با نگاهی کاربردی و بین‌رشته‌ای در اختیار مخاطبان قرار می‌دهد. این مجموعه، از فناوری‌های نوین و علوم سلامت تا موضوعات فرهنگی و اجتماعی، پلی میان پژوهش‌های دانشگاهی و نیازهای امروز جامعه می‌سازد. هر شماره، فرصتی برای آشنایی با ایده‌های نو، تحلیل‌های علمی و دستاوردهایی است که مسیر توسعه و آگاهی را هموارتر می‌کنند. «کاوش» دعوتی است به اندیشیدن، آموختن و نگاهی عمیق‌تر به آینده.



واحد بهداشت
مرکز پژوهش‌های علمی و فناوری دانشجویان
دانشگاه علوم پزشکی تهران



مرکز پژوهش‌های علمی و فناوری دانشجویان
دانشگاه علوم پزشکی تهران



دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی تهران

