

نانوزیست فناوری

مبحثی برای کتاب‌های درسی

مرضیه نجفی

دبیر زیست‌شناسی شهرستان گرمسار

نانوفناوری چیست؟

فناوری نانو (نانوفناوری) تحقیق و مطالعه مواد و خصوصیات آن‌ها در سطح اتم‌ها، مولکول‌ها و درشت‌مولکول‌ها در مقیاس ۱۰۰-۱ (یک تا صد) نانومتر است. فناوری نانو از تلفیق علوم فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی به وجود آمده است. این فناوری توانایی کار در سطح اتم و ایجاد ساختارهایی که نظم مولکولی کاملاً جدیدی دارند را فراهم می‌آورد. ماده تغییر یافته در مقیاس نانو، خصوصیات جدید و مفیدی را دارا می‌شود که قبلاً در آن مشاهده نمی‌شد. تفاوت در قلمرو نانو به اندازه‌ای است که حتی رنگ، نقطه ذوب، خصوصیات شیمیایی و غیره مواد در خارج از این محدوده کاملاً متفاوت است.

اهداف نانوفناوری

هدف اصلی اکثر تحقیقات نانوفناوری شکل‌دهی ترکیبات جدید یا ایجاد

اشاره

با توجه به گسترش روزافزون دانسته‌های بشر در زمینه نانوفناوری و کاربردهای متنوع یافته‌های این دانش نوین، به نظر می‌رسد، جای این مبحث - و در خصوص زیست‌شناسی مبحث نانوزیست فناوری - در کتاب‌های درسی خالی است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود یک فصل یا بخشی از یک فصل از یک کتاب درسی دوره دوم دبیرستان برای آشنایی دانش‌آموزان با این رشته و تشویق آن‌ها به ادامه تحصیل در این رشته و درک اهمیت آن برای پیشرفت‌های علمی کشور اختصاص یابد. این نوشته در واقع نمونه‌ای از چنین واحد درسی برای درج در یک کتاب درسی زیست‌شناسی است.

نانوزیست فناوری

سطح برگ نیلوفر آبی با یک لایه از برآمدگی‌های میکرومتری و زائده‌های نانومتری پوشانده شده است. این لایه سبب می‌شود آب به راحتی و با سرعت بر سطح برگ سُر بخورد و ذرات و آلودگی‌های روی آن را بشوید. با تقلید از این پدیده شیشه‌ها و پارچه‌هایی با خاصیت «خود تمیز شونده گی»^۱ ساخته شده است.

توانایی مارمولک‌ها در بالا رفتن از سطوح عمودی و راه رفتن به صورت وارونه روی سقف یا حتی آویزان شدن با یک پا از سقف به علت وجود هزاران موی نازک نانومتری موجود بر دست‌ها و پاها این جانور است. کشسانی زیاد تارهای عنکبوت به علت بلورهای نانومتری موجود در ساختار تارند. چگونگی ورود ویروس‌ها به سلول و اندامک‌های درون سلولی بدن جانداران، همه نانومتری هستند.

طبیعت، همواره الهام‌بخش انسان برای الگوگیری و ساخت ابزارهای جدید بوده است. انسان از گذشته‌های دور از خواص مواد استفاده کرده و با علمی که در روزگار

خود داشته، سعی در تولید مایحتاج خویش کرده است. انسان امروز نیز با بهره‌گیری از علوم و فناوری سعی در شناسایی دقیق‌تر محیط پیرامون خود و کشف مواد جدید و به کارگیری آن‌ها در زندگی دارد و این داستان هم‌چنان ادامه خواهد یافت. چون روز به روز مجهولات ما از شگفتی‌های خلقت بیشتر می‌شود.

بیشتر بدانید

قاشق عسل

یکی از معروف‌ترین محصولات طبیعی که با استفاده از خاصیت «خود تمیز شونده گی» ساخته شده، «قاشق عسل» است. برای تمیز کردن قاشق عسل از آلودگی‌ها تنها به یک قطره آب نیاز است. اگر عسل را با این قاشق از ظرفی به ظرف دیگر منتقل کنید، هیچ اثری از عسل روی آن باقی نخواهد ماند.



پرسش

۱. نتیجه سه مرحله را با یکدیگر مقایسه کنید. متوجه چه چیزی می شوید؟
۲. با توجه به نتایجی که به دست آوردید، تخمین بزنید که اگر هر وجه مکعب اولیه را به n قسمت مساوی تقسیم کنید، مساحت n مکعب چند برابر مساحت جانبی مکعب اولیه می شود؟

چگونه دنیای کوچک نانو را ببینیم

برای ورود به فضای نامرئی مقیاس نانو و دست کاری واحدهای سازنده آن‌ها، نیاز به ابزارهایی داریم که این کار را امکان‌پذیر کنند. میکروسکوپی که شما در مدرسه از آن استفاده می‌کنید تا با آن سلول‌های موجودات زنده را مشاهده کنید بسیار ساده است و برای مشاهده دنیای نانو کارآمد نیست. امروزه انواع گوناگونی میکروسکوپ وجود دارد که قادرند اطلاعات مفیدی از ابعاد نانو به ما بدهند. یک نمونه از این میکروسکوپ‌ها به نام میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مشهور است. اساس کار این میکروسکوپ‌های پیشرفته مانند ماهواره‌ها و رادارها، کسب اطلاعات به صورت غیر مستقیم است.

میکروسکوپ الکترونی روبشی

این نوع میکروسکوپ‌ها پرتوی از الکترون‌ها را به هر آنچه می‌خواهند بررسی و مطالعه کنند، شلیک می‌کنند. به این ترتیب انرژی الکترون‌های شلیک‌شده به سطح نمونه مورد مطالعه منتقل می‌شود. الکترون‌های پرتو (که الکترون‌های اولیه نامیده می‌شوند)، الکترون‌های نمونه را جدا می‌کنند. این الکترون‌های جداشده (که الکترون‌های ثانویه نامیده می‌شوند) به سمت صفحه‌ای که دارای بار مثبت است کشیده می‌شوند و در آنجا تبدیل به امواج می‌شوند. این امواج توسط رایانه، به تصاویر قابل مشاهده تبدیل می‌شوند (شکل ۱).

میکروسکوپ الکترونی روبشی علاوه بر اطلاعات جای نگاری (توپوگرافیک)، شکل، اندازه و نحوه قرارگیری ذرات در سطح جسم را که به بخت‌شناسی جسم معروف

ارغوانی، قرمز، نارنجی و غیره دیده می‌شوند. هم‌چنین ذرات طلا در مقیاس نانو نه تنها واکنش‌پذیری بالایی پیدا می‌کنند، بلکه به‌عنوان کاتالیزگر برای افزایش سرعت برخی واکنش‌ها استفاده می‌شوند. نانو ذرات آلومینیوم در هوا آتش می‌گیرند و می‌توان از آن‌ها به‌عنوان سوخت موشک نیز استفاده کرد.^{۲۰}

خواص مواد با افزایش سطح آن‌ها تغییر می‌کند.

هرگاه توده‌های بزرگ کوچک شوند، تعداد اتم‌ها و مولکول‌هایی که روی سطح خارجی قرار می‌گیرند، افزایش می‌یابد. هرچه سطح یک ماده بیشتر باشد، سریع‌تر با مواد دیگر واکنش می‌دهد، زودتر ذوب و به راحتی شعله‌ور می‌شود. ماده‌ای که سطح آن گسترده‌تر است، فعالیت بیشتری دارد و برای انجام یک کار مشخص مقدار کمتری از آن مصرف می‌شود. به عنوان مثال، داروهایی که ذرات آن‌ها نانومتری است، اثربخشی بیشتری دارند و برای درمان به مقدار کمتری از آن‌ها احتیاج داریم. بنابراین یکی از مهم‌ترین دلایل تغییر خواص مواد در مقیاس نانو، افزایش سطح آن‌هاست.

فعالت

برای نتایج لازم: ماشین حساب، مداد و یک

۱. یک مکعب به ابعاد ۱ سانتی متر را تصور کنید. مساحت آن را محاسبه و یادداشت کنید.

۲. تصور کنید که مکعب را از وسط هر وجه نصف کرده‌اید. حالا ۸ مکعب، هر یک در ابعاد $\frac{1}{2}$ سانتی‌متر ایجاد می‌شود. در این حالت نیز مساحت مکعب‌ها را محاسبه و یادداشت کنید (فراموش نکنید حالا ۸ مکعب دارید).

۳. در این مرحله طول و عرض و ارتفاع مکعب ۱ سانتی متری را به ۳ قسمت مساوی تقسیم کنید. با این کار مکعب اول، به ۲۷ مکعب در ابعاد $1/3$ سانتی متر تبدیل می شود. این بار نیز مساحت همه مکعبها، ۱۱ محاسبه و داداشت کنید.

تغییراتی در مواد موجود است. نانوفناوری در الکترونیک، زیست‌شناسی، ژنتیک، هوانوردی و حتی در مطالعات انرژی به کار برده می‌شود.

هر نانومتر چقدر است؟

نانو^۲ کلمه‌ای یونانی به معنی کوچک است و برای مطالعهٔ عمومی روی ذرات اتمی و مولکولی به کار برده می‌شود. هر نانومتر 10^{-9} م، یعنی تقریباً چهار برابر قطر یک اتم است. مکعبی با ابعاد $2/5$ نانومتر ممکن است حدود 1000 اتم داشته باشد. یک جسم نانومتری با اندازه‌ای حدود 10 نانومتر، یک هزارم قطر یک موی انسان است. برای اینکه تصور بهتری از نانو به دست آورید به جدول ۱ توجه کنید.

جدول ۱. اندازه برخی از مواد طبیعی
در مقیاس نانو

مثال	اندازه بر حسب نانومتر
اتم	۰/۱
پزش مولکول DNA	۲/۵
پروتئین	۵-۵۰
ویروس‌ها	۷۵-۱۰۰
مواد داخلی سلولی	بزرگتر از ۱۰۰
باکتری‌ها	۱۰۰۰-۱۰۰۰۰
گلبول سفید خون	۱۰۰۰۰

چرا مقیاس نانو این قدر مهم است؟

نسبت سطح به حجم ساختارهایی که در مقیاس نانو در نظر می‌گیریم، مانند نانو ذرات و نانولایه‌ها بالاست و این ویژگی آن‌ها را برای استفاده در مواد ترکیبی، واکنش‌های شیمیایی، تهیه دارو و ذخیره انرژی مناسب می‌سازد. یافته‌های پژوهشگران نشان می‌دهند ذراتی که اندازه آن‌ها تا ابعاد نانومتر کوچک شده است، نسبت به ذرات بزرگ‌تر خواص و ویژگی‌های متفاوتی دارند. کوچک کردن ذرات تا مقیاس نانو، مواد کدر را به مواد شفاف، مواد واکنش‌ناپذیر را به مواد واکنش‌پذیر و فلزات دیرگداز را به موادی که در دمای معمولی مایع هستند تبدیل می‌کند. همچنین رنگ مواد را تغییر می‌دهد و ده‌ها و صدها رفتار غیرمنتظره دیگر ایجاد می‌کند. مثلاً نانو ذرات طلا به رنگ‌های آبی،

کوچک کردن ذرات تا مقیاس نانو، مواد کدر را به شفاف، مواد واکنش ناپذیر را به واکنش پذیر، فلزات دیرگداز را به موادی که در دمای معمولی مایع هستند، تبدیل می کند

زیستی موجود، همچون سلول، اجزای سلولی، نوکلئیک اسیدها و پروتئین ها برای ایجاد ساختارهای نانویی تلفیقی (مربک از مواد آلی و معدنی) استفاده می شود. امروزه فناوری نانو در حوزه زیست شناسی و پزشکی کاربردهای گسترده ای پیدا کرده است. در واقع ساختار سلول، مواد سازنده و اندامک های آن میدانی برای تحقیق و کاربرد محصولات فناوری نانو است.

نانوزیست فناوری برای زندگی امروز و فردا

● داروسازی و پزشکی

مهندسی بافت

با ایجاد ذراتی در اندازه نانو در سطح مفاصل و استخوان های مصنوعی، احتمال دفع عضو جایگزین به علت تحریک سلول های استخوانی کمتر می شود. اخیراً نوعی دندان مصنوعی نیز ساخته شده که دارای روکش نانویی است. از خواص منحصر به فرد این دندان مصنوعی می توان به عایق بودن آن در مقابل خراش و افزایش التیام دندان اشاره کرد.

نانو جراحی

در نانو جراحی، جراح از دسته هایی برای فرمان استفاده می کند تا بازوهای نانو ربات را که مجهز به ابزار جراحی کوچک هستند، کنترل کند و به محل مورد نظر برساند. بازوی دیگر نانوربات دوربینی حمل می کند

یعنی ساختارهای کوچک میلی متری و میکرومتری را آن قدر می تراشند (مثل مجسمه سازها) و یا قالب می زنند (شبیه شیرینی پزها) که به یک شیء نانومتری دست یابند.

نانومواد و نانو ساختارها

نانومواد را برحسب شکل ظاهری (تعداد ابعادی که بزرگ تر از ۱۰۰ نانومتر است) به سه دسته تقسیم می کنند:

- نانوذرات (صفر بُعدی)، تمام ابعاد آن ها کوچک تر از ۱۰۰ نانومتر است،
- نانو پوشش ها و نانولایه ها (دو بُعدی)،
- چندسازه های نانویی^۱ و مواد نانو متخلخل (سه بُعدی).

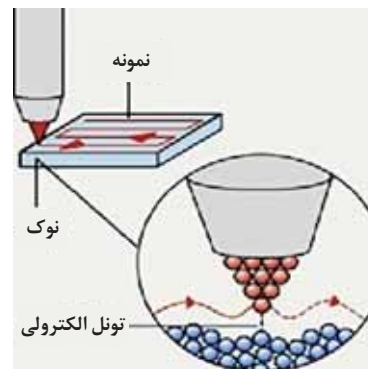
نانوساختارهای کربنی^۲، دسته دیگری از نانومواد هستند که به دو دسته کلی گلوله های باکی و نانولوله های کربنی تقسیم می شوند. گلوله های باکی ساختاری توپی شکل دارند و نانولوله های کربنی استوانه هایی بلند و توخالی هستند (شکل ۲).

این ترکیبات کاربردهای مختلفی دارند؛ از جمله حمل داروهای مختلف، درمان ایدز و سرطان، ساخت لاستیک های سبک تر، مقاوم تر و انعطاف پذیرتر، جلوگیری از رشد باکتری ها، ساخت سلول های خورشیدی با بازده بیشتر و مانند این ها.

نانوفناوری و زیست شناسی (نانوزیست فناوری)^۳

نانوزیست فناوری، زیرمجموعه ای از نانوفناوری هاست که در آن از ابزارها و فرآیندهای نانویی و میکرونی برای ساخت و تهیه محصولات استفاده می شود که در مطالعه ساختارهای زنده کاربرد دارند. برخی از محققان، نانوزیست فناوری را زمینه ای از نانوفناوری می دانند که در آن از ساختارهای

است به ما می دهد. انواع پیشرفته تر این دستگاه قادرند ترکیب اجزایی را که نمونه را می سازند نیز مشخص کنند.

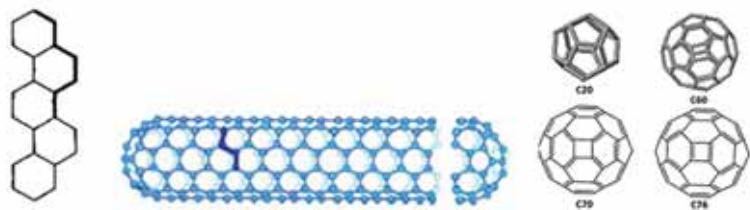


شکل ۱. میکروسکوپ الکترونی رویشی

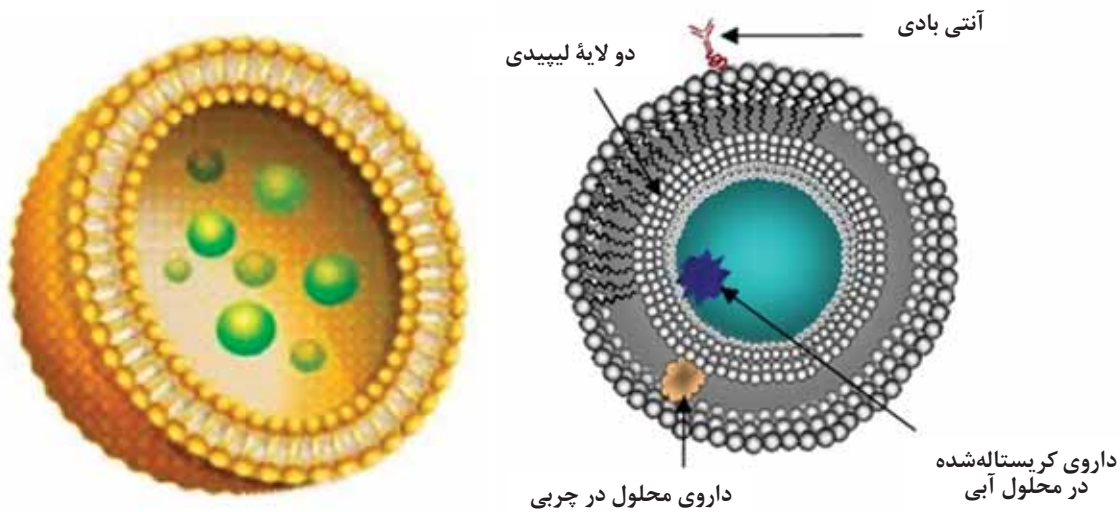
روش های ساخت محصولات نانو

در این فناوری، برای ساخت محصولات (نانومواد و نانوساختارها)، دو روش در نظر گرفته می شود: روش ساخت «از پایین به بالا» و روش ساخت «از بالا به پایین». در روش ساخت پایین به بالا، وسایل و مواد از سطح مولکولی براساس اصول شیمی مولکولی ساخته می شوند. همان طور که برای ساخت خانه، آجرها با نظم خاصی کنار هم چیده می شوند، در این روش اتم ها و مولکول ها با آرایش و دقت مشخصی کنار هم قرار می گیرند تا یک وسیله یا جسم نانومتری ساخته شود. خودچیدمانی ذرات، یکی از روش های مربوط به ساخت از پایین به بالاست که پایه و اساس ایجاد تمامی ساختارهای زیستی است. مثل ایجاد بلور نمک یا دانه های برف.

در روش ساخت بالا به پایین، اشیای نانویی بدون کنترل اتمی در مقادیر بزرگ تر ساخته می شوند. در این روش مواد و ساختارهای بزرگ را آن قدر کوچک می کنند تا به مقیاس نانومتر برسند. شبیه کاری که مجسمه سازها و شیرینی پزها انجام می دهند،



شکل ۲. راست: گلوله های باکی و چپ: نانو لوله کربنی (مدل صندلی)



شکل ۲. الف. لیپوزوم

شکل ۳. ب. لیپوزوم حامل دارو

از نانوحامل‌های غیروبروسی برای انتقال داروها و DNA به درون سلول‌های حیوانی و انتقال ژن‌ها در گیاهان استفاده می‌کنند. ایجاد ساختار DNA حاوی بخش‌های دو و چهار رشته‌ای: پژوهشگران موفق شدند روشی برای تولید ساختارهای DNA حاوی بخش‌های دورشته‌ای و چهار رشته‌ای بیابند. این ساختارها دارای خواص ویژه‌ای نظیر مقاومت بالا در برابر حرارت است که می‌توان با کمک آن‌ها محصولات تولید کرد که در دماهای مختلف، از دمای اتاق گرفته تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، مقاوم باشند.

روشی برای تولید انبوه DNA با کیفیت بالا

در این فرآیند از باکتری برای کپی کردن توالی DNA استفاده می‌شود. در روش‌های فعلی با افزایش طول رشته، خطاهای ایجاد شده روی رشته DNA نیز افزایش می‌یابد بنابراین، این روش‌ها برای نمونه‌های کوتاه مناسب‌ترند اما در روش جدید می‌توان طول رشته را افزایش داد بدون این‌که مشکلی ایجاد شود.

● خودآزمایی

۱. نانوفناوری با زیست‌فناوری (بیوتکنولوژی) چه ارتباطی دارد؟
۲. نانوحسگرها در پزشکی چه نقشی دارند؟
۳. مزیت نانوکتورها نسبت به وکتورهای رایج در مهندسی ژنتیک چیست؟

جانبی دیگر می‌شود. به‌علاوه باید توجه داشت که دارو هنگام حمل تجزیه نشود، برای همین داروها را باید در محفظه‌هایی (کپسول) قرار داد. ماده حامل دارو باید با دارو سازگار باشد تا دارو به راحتی با آن پیوند برقرار کند.

لیپوزوم و کاربرد آن‌ها در دارورسانی

لیپوزوم به یک وزیکول میکروسکوپی شامل دو لایه فسفولیپیدی گفته می‌شود که یک فضای مایع را احاطه کرده است. ضخامت این لیپید دو لایه به‌طور معمول بین ۳ تا ۶ نانومتر است و لیپوزوم‌های تشکیل شده از آن‌ها می‌توانند قطری بین ۵۰ نانومتر تا ۵۰۰ میکرومتر داشته باشند. این ساختارهای ریز و کیسه‌مانند، شبیه بسته‌ها یا کپسول‌هایی‌اند که می‌توان با به دام انداختن دارو در درونشان از آن‌ها برای حمل داروها به نقاط مختلف بدن استفاده کرد. در نتیجه دارورسانی، یکی از کاربردهای مهم لیپوزوم‌هاست (شکل ۳).

● مهندسی ژنتیک

نانوکتورها

حامل (وکتور)‌های موجود، نظیر ویروس‌های اصلاح‌شده، روی دستگاه ایمنی بدن اثرهایی دارند، بنابراین انجام تحقیقات روی ساخت ذرات نانو که قابلیت حمل ژن‌ها را داشته باشند از کارهای مورد نیاز است. در حال حاضر محققان

که جراح می‌تواند با آن محیط درون بدن را مشاهده کند.

نانودارورسان‌ها

مشخصه مهم یک سیستم دارورسان مؤثر، توانایی برای انجام انتقال هدفدار و کنترل‌شده داروست. برای این منظور داروها باید با سرعت مناسبی آزاد شوند. آزاد شدن سریع دارو باعث عدم جذب مناسب و اثرهای

نانوزیست‌فناوری،

زیرمجموعه‌ای از

نانوفناوری است که در

آن از ابزارها و فرایندهای

نانویی و میکرونی برای

ساخت و تهیه محصولات

استفاده می‌شود که

در مطالعه ساختارهای

زنده به کار می‌روند در

نانوجراحی، جراح از

دسته‌هایی برای فرمان

استفاده می‌کند تا

بازوهای نانوربات را که

مجهز به ابزار جراحی

کوچک هستند، کنترل

کند و به محل مورد نظر

برسانند

● زیست‌شناسی سلولی

نشانگرهای زیستی

از آنجا که اندازه نانوذرات، در محدوده اندازه پروتئین‌هاست، می‌توان از آن‌ها برای نشان‌دار کردن نمونه‌های زیستی استفاده کرد. برای این کار، باید نانوذره بتواند به نمونه زیستی هدف متصل شود و نیز راهی برای دنبال کردن و شناسایی نانوذره وجود داشته باشد. به‌منظور ایجاد میان‌کنش بین نانو و نمونه زیستی، نانوذره را با پوششی از جنس پادتن یا پلی‌مرهای زیستی مانند کلاژن‌ها، که نانوذره‌ها را از نظر زیستی سازگار می‌کند، می‌پوشانند. می‌توان نانوذره‌ها را فلورسنت کرد یا خواص نوری آن‌ها را تغییر داد.

نانومحرک‌ها

عملکرد این سازه در مقیاس مولکولی ایجاد حرکت، نیرو، امواج یا ذخیره کردن اطلاعات است. این ماشین‌ها انرژی ذخیره‌شده الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. این تبدیل به‌علت وجود ارتباطات قوی بین ساختارهاست. به‌طور کلی کنترل حرکات مکانیکی در مقیاس مولکولی یکی از اهداف اصلی نانوفناوری است. ماشین‌های مولکولی بسیار مورد توجه هستند زیرا: - بازده بسیار بالایی دارند؛ - به‌علت خاصیت خود ترمیمی برای استفاده به تعداد انبوه قیمت مناسبی دارند؛ - به‌طور طبیعی در بدن وجود دارند.

● محیط زیست

نانوکاتالیزورها

با وجود آنزیم‌های اکسایشی (ردوکتاز)، فلزات سنگین از حالت مایع به حالت جامد تبدیل می‌شوند و رسوب می‌کنند. از این روش می‌توان برای بازیافت فلزات ارزشمند مثل اورانیوم و سرب از پساب استفاده کرد.

نانوحسگرها

نانوحسگر وسیله‌ای است بسیار ریز که قادر به شناسایی و ارائه پاسخ به

بیشتر بدانید

نانوصافی‌ها می‌توانند به تصفیه سریع خون کمک فراوان کنند. در حال حاضر مسمومیت خونی یکی از مشکلات جدی در جهان است و خطر عفونت در واحدهایی که نیاز به مراقبت شدیدتری دارند بیشتر است، چون بیماران آسیب‌پذیرترند. اگر مسمومیت خونی اتفاق بیفتد باید خون هرچه سریع‌تر از علل مسمومیت پاک شود. فرآیندهای غشایی از روش‌های نوین جداسازی هستند، دو خصیصه اصلی غشاها یعنی توانایی قابل توجه در انجام انواع جداسازی‌ها و حداقل مصرف انرژی، عوامل گسترش روزافزون فرآیندهای غشایی هستند. غشاها کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف علمی و صنعتی دارند؛ مانند شیرین کردن آب دریا، دیالیز خون، تصفیه آب، نظیر آب رودخانه، چشمة و چاه و تصفیه پساب‌های خانگی، پساب‌های صنعتی، تغلیظ شیر و آب‌میوه، سترون کردن مایعات و جداسازی میکروارگانیسم‌ها. از مهم‌ترین کاربردهای نانوغشاها می‌توان به کاربرد آن‌ها در زمینه جداسازی گازها و شیرین کردن گاز طبیعی نیز اشاره کرد.

نانوصافی‌ها و نانوغشاها

امروزه می‌توانیم با صافی‌های نانویی علاوه بر بازیابی عناصری مثل نمک و کلسیم از آب، ویروس‌ها و باکتری‌ها را نیز از آن بازیابی کنیم. بنابراین، می‌توانیم از آن‌ها در رفع آلودگی‌های آب‌های آشامیدنی و آب‌های کشاورزی استفاده کنیم.

فعالیت

۱. با وجود استفاده‌های مفید از نانوفناوری در محیط زیست، آیا ممکن است ذرات نانو دارای خطرات احتمالی نیز باشند؟ با ذکر دلیل توضیح دهید.
۲. درباره قانون «ایمنی نانو» تحقیق کنید و به کلاس گزارش دهید.
۳. درباره کاربرد نانوفناوری در درمان سرطان اطلاعات جمع‌آوری کنید و در کلاس ارائه دهید.

* پی‌نوشت‌ها

۱. به این خاصیت اثر لوتوس (به معنی نیلوفر آبی) هم می‌گویند.
2. Nano
۳. همان‌طور که می‌دانید، ذرات طلا و آلومینیوم در اندازه معمول خود به آسانی واکنش‌پذیر نیستند.
۴. ثبت چگونگی قرارگیری و نشان دادن عمق و ارتفاع پستی و بلندی‌ها در یک سطح خاص از ماده را «جای‌نگاری یا توپوگرافی» می‌گویند.
۵. نانو کامپوزیت (nanocomposite)
۶. فولرین‌ها (fullerens)
۷. نانوبیوتکنولوژی (nanobio/bionanotechnology)
8. Electronic Nose

محرک‌های فیزیکی در مقیاس نانومتر است. نانوحسگرها در زمینه پزشکی، کشاورزی، تصفیه آب و نساجی قابل استفاده‌اند. با استفاده از این حسگرها در کشاورزی، شناسایی مقادیر بسیار کم آلودگی شیمیایی یا ویروس و باکتری در سامانه‌های کشاورزی و غذایی ممکن است.

تحقیقات در زمینه نانواپزارها جزء پژوهش‌های علمی به روز دنیاست. در سال‌های اخیر حسگرهای تجاری تحت مجموعه‌ای که «بینی الکترونیک»^۸ نامیده می‌شوند، ارائه شده است. از این حسگرها برای شناسایی جانداران میکروسکوپی و فلزات سنگین در آب آشامیدنی (مانند کادمیوم، سرب و روی) استفاده می‌شود.

همچنین به‌منظور شناسایی و تعیین مشخصات بوهای ناشی از مخلوط بخارهای جمع‌شده در بالای یک جامد یا مایع موجود در یک محفظه دربسته نیز چنین تجهیزاتی تولید شده‌اند. این حسگرها روش سریع‌تر و نسبتاً ساده‌ای را برای پیگیری تغییرات در کیفیت آب و فاضلاب صنعتی فراهم می‌آورند. در این روش آنزیم‌ها با مواد مورد نظر واکنش می‌دهند و تغییرات بیوشیمیایی توسط مبدل به امواج الکتریکی تبدیل می‌شوند و توسط پردازشگر، ماده مورد نظر تشخیص داده می‌شود.