***به نام خدا***

***جزوه مخاطرات و اصول ایمنی کار با نانو مواد***

**لزوم آشنایی با اصول ایمنی کار با نانومواد**

مفهوم ایمنی به قدمت تاریخ بشریت است. از ماقبل تاریخ مفهوم ایمنی به معنی بقای انسان در برابر دشمنان، آب و هوا، عناصر طبیعی و سایر شرایط محیطی بوده است. با این حال با پیشرفت تمدن مفهوم ایمنی ابعاد جدیدی به خود گرفته است. در حال حاضر ایمنی به منزله یک چارچوب ضروری برای پیشگیری از حوادث در استفاده از فناوری میباشد. تلاش بشر در مسیر کلی تحقیق و توسعه، کشف ایده ها و فناوریهای جدید و تلاش برای بهینه سازی آنها بوده است .

حوادث بخشی از جامعه ماست، و با توجه به تعامل میان انسان، فناوری، و محیط زیست همواره رخ میدهد. خطاهای انسانی در نهایت مسئول بخش یا تمام خسارت یا زیان رخ داده است ،بنابراین یک تلاش مصمم برای تجزیه و تحلیل همه جانبه برهمکنش میان انسان، فناوری و محیط زیست به منظور ایجاد یک روش و مکانیسم علمی-تخصصی برای پیشبرد "علم ایمنی" ضروری است .

نانو فناوری به دلیل ویژگیهای مکانیکی، الکتریکی، رسانایی و نیمه هادیها، نوری، مغناطیسی، کوانتومی و خواص حرارتی محصولات آن، پتانسیل بسیار زیادی برای تبدیل شدن به یک فناوری نویدبخش در قرن حاضر دارد. خواص منحصر به فرد مواد نانومقیاس مانند نانوذرات، نانولوله ها، نانوسیمها، نانوالیاف، نانوکامپوزیتها نانو حفره ها و نانوفیلمها، این امکان را فراهم می کند تا این دسته از مواد به نسل جدیدی از مواد یا دستگاهها در بسیاری از صنایع از جمله هوا فضا، خودرو، کشتی، الکترونیک، پزشکی، دارویی، ساخت و ساز، انرژی ،دفاعی مواد غذایی و بسیاری از صنایع دیگر تبدیل شوند.

محصولات و دستگاههای فناوری نانو با سرعت زیادی در حال رشد هستند، و در آینده ای نزدیک محصولات بیشتری از این فناوری جهت استفاده عموم در بازار موجود خواهد بود. محصولات حاوی نانومواد در حال حاضر در رنگها ،لاستیک سی دی ها، و همچنین سلولهای خورشیدی، پیلهای سوختی ،سنسورها، لوازم آرایشی و کرمهای ضد آفتاب، داروها و بسیاری دیگر از محصولات تجاری استفاده میشوند.

نانوذره، ذره ای است که ابعاد آن در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. عنوان نانوذره معمولا به مواد معدنی اتلاق می شود. نانوذرات علاوه بر نوع فلزی، عایقها و نیمه هادی ها و ساختارهای به صورت هسته-لایه را نیز در بر میگیرند.

افزایش نسبت سطح به حجم که با کاهش اندازه ذره رخ میدهد باعث غلبه یافتن رفتار اتم های واقع در سطح ذره به رفتار اتم های درونی میشود. مساحت سطحی زیاد نانوذرات باعث تعاملات زیاد بین مواد مخلوط شده در نانوکامپوزیت ها می شود و خواص ویژه ای همچون افزایش استحکام یا افزایش مقاومت حرارتی یا شیمیایی را موجب میشود. افزایش نسبت سطح به حجم همچنین باعث بهبود کارایی کاتالیزورها و ساختارهایی مانند الکترودها می شود.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | از آنجا که نانوذرات پلی بین حالت حجیم مواد و حالت اتمی یا مولکولی هستند، در دهه گذشته توجه علم و صنعت به تولید این مواد متمرکز شده است. مواد حجیم بدون در نظر گرفتن اندازه دارای خواص فیزیکی ثابتی هستند اما درمقیاس نانو مواد دارای خواص وابسته به اندازه هستند. خواص یک ماده با نزدیک شدن اندازه آن به مقادیر نانو یا افزایش نسبت سطح به حجم آن تغییر میکند. نانوذرات اغلب دارای خواص نوری غیر منتظره ای هستند زیرا به اندازه کافی کوچک هستند که اثرات کوانتومی ایجاد کنند. از آنجا که الکترونهای آزاد این مواد مانند الکترونهای مقید در اتمها، حالت های گسسته و مجاز انرژی را اشغال میکنند به این ذرات گاهی اتمهای مصنوعی نیز گفته می شود. کوچک شدن ذرات باعث تغییر در خواص ترمودینامیکی ماده نیز میشود. افزایش سطح ذرات، فشار سطحی ماده را کاهش داده و باعث تغییر فاصله بین اتمهای ذرات می شود. تغییر در انرژی آزاد سطح، پتانسیل شیمیایی را تغییر میدهد که بر خواص ترمودینامیکی ماده اثر گذار است.  در یک جرم ثابت کوچک شدن اندازه ذرات به معنی بیشتر شدن تعداد ذرات در تماس است که این خود به افزایش واکنش پذیری آنها کمک کند. بنابراین نانوذرات به دلیل واکنش پذیری بیشتر ممکن است از خود خواص سمی نشان دهند برای مثال نانوذرات معلق در هوا از طریق تنفس میتوانند از راه ریه و عبور از مجاری هوایی وارد بدن شوند در حالی که مواد با ابعاد درشت تر نمی توانند از این سدهای فیزیولوژیکی عبور کنند.  هر چه ذره کوچک تر شود، نیروهای بین ذره ای قوی تر میشوند. به طوری که نانوذرات تمایل زیادی به انباشتگی پیدا میکنند. ذرات انباشته شده رفتاری متفاوت با ذرات منفرد از خود نشان میدهند. از دیگر خواص وابسته به اندازه میتوان از اثر حدی کوانتومی در ذرات نیمه رسانا، تشدید پلاسمون سطحی در بعضی ذرات فلزی و خواص ابر مغناطیسی در مواد مغناطیسی نام برد.  نانوذرات سرامیکی متداول ترین نوع نانوذرات هستند که به سرامیکهای اکسید فلزی، نظیر تیتانیوم دی اکسید و نانوذرات سیلیکاتی که عموماً به شکل نانو ذرات رسی هستند، تقسیم می شوند. نانوذرات رسی الحاق شده در شبکه پلیمری باعث استحکام و تقویت پلاستیکها و سایر خواص مکانیکی مطلوب میشوند نانوذرات همچنین با اتصال به الیاف نساجی برای تولید لباسهای هوشمند و با کاربرد خاص به کار می روند. نانوذرات فلزی دی الکتریک، نیمه هادی و همچنین با ساختارهای هیبریدی نظیر هسته-پوسته نیز تولید شده اند. نانوذرات ساخته شده از مواد نیمه هادی اگر به اندازه کافی کوچک باشند (کمتر از ۱۰ نانومتر) که کوانتیزه شدن سطوح انرژی رخ دهد با عنوان نقاط کوانتومی نیز شناخته میشوند این نانو ذرات در زیست پزشکی به عنوان حاملهای دارویی یا عوامل تصویربرداری قابل استفاده هستند.  امروزه، نانوذرات نیمه جامد و نرم نیز تولید شده اند که نمونه ای از آنها لیپوزوم است. انواع مختلفی از نانوذرات لیپوزومی در حال حاضر به عنوان سیستمهای دارورسان برای داروهای ضد سرطان و واکسنها استفاده میشوند نانو ذراتی که نیمی از ساختار آنها آبدوست و نیمی آبگریز است به ویژه در پایداری امولسیونها مؤثر هستند. این ذرات به عنوان سورفکتانت های جامد عمل می کنند.  **تعاریف، طبقه بندی و ویژگیهای نانومواد**  نانوذرات در طبیعت به میزان فراوانی وجود دارند زیرا در بسیاری از فرآیندهای طبیعی مثل واکنشهای فتوشیمیایی، فعالیتهای آتشفشانی، آتش سوزی جنگلها، فرسایش خاک و توسط حیوانات و گیاهان تولید می شوند. آئروسلهای تولید شده از فعالیتهای انسانی تنها ده درصد از کل نانوذرات موجود در طبیعت را تشکیل میدهند و ۹۰ درصد مابقی حاصل از رویدادهای طبیعی هستند.  نانوساختارها دارای سطح بزرگی هستند که تمایل به دارا بودن بار الکتریکی دارد. در نتیجه از لحاظ الکتروشیمیایی واکنش پذیر و به طور بالقوه قادر به بر هم کنش با سیستمهای زیستی هستند. اندازه نانوی این ذرات به آنها توانایی ورود به جریان خون و قرارگیری در بافتها، سلولها، اندامک ها ساختارهای زیست مولکولی را میدهد که ذرات بزرگ نمیتوانند دسترسی داشته باشند، بنابراین،همان خواص فیزیک و شیمیایی که باعث کاربرد صنعتی آنها میشود ممکن است سبب سمیت منحصر به فرد آنها در سیستمهای بیولوژیکی نیز شود.  مطالعات سم شناسی نشان داده اند که برخی نانوساختارها برای سلامت انسان بالقوه مضرهستند. مطالعات نشان میدهد که از مصرف میتوانند جذب و در اغلب اندامها و بافتها توزیع شوند نانو ساختارها میتوانند از غشای سلولی عبور کرده در سلولها و در نهایت هسته سلول جمع شوند. نانوساختارها توانایی مهار رشد سلول، مرگ سلولی، تولید رادیکالهای آزاد و گونه های اکسیژن فعال، پاسخ التهابی و آسیب به DNA را دارند. از آنجا که انواع گسترده ای از خواص در میان نانوساختارها وجود دارد هر نوع نانوساختار ممکن است پاسخ بیولوژیکی منحصر به فرد خود را ایجاد کند. برای تعیین خطرات نانومواد علاوه بر شیمی، خواص دیگر ماده نظیر اندازه، مساحت سطح و واکنش پذیری باید در نظر گرفته شوند.   |  |  | | --- | --- | |  | استاندارد 27687:2008 ISO یک نانوشیء را به عنوان "مواد با یک دو یا سه بعد در محدوده اندازه ۱-۱۰۰ نانومتر تعریف میکند. زیر مجموعه های یک نانو شیء به صورت زیر تعریف شده اند :  1.نانو صفحه، یک نانو شیء با یک بعد در مقیاس نانو  2.نانوالیاف، یک نانو شیء با دو بعد در مقیاس  3.نانولوله به عنوان نانوالیاف توخالی و یک نانومیله به عنوان یک نانوالیاف جامد تعریف شده است.  4.نانوذرات ، نانوشیء با هر سه بعد در مقیاس نانو  به طور معمول نانو شیئی که در یک زمینه و یا بستر بزرگتر گنجانده شده باشد، به نام نانوماده شناخته میشود.  **تاریخچه نانو**  اگرچه نانومواد مربوط به علوم مدرن هستند اما استفاده از آنها جدید نیست و سابقه ای طولانی دارد. به عنوان مثال، حدود ۲۶۰۰ سال قبل از میلاد مسیح این فناوری در رنگ کردن الیاف و پارچه مورد استفاده قرار میگرفت. این ذرات در قرن نهم میلادی در بین النهرین برای براق کردن سطح کوزه ها استفاده میشدند. این درخشش هنوز هم بر روی بعضی از کوزه های آن دوره قابل مشاهده است. درخشش سطح این ظروف سفالی مربوط به فیلم فلزی حاوی نانوذرات نقره و مس است که به طور همگن در ماتریس شیشه ای لعاب سرامیکی پراکنده شده اند. مثال دیگر را می توان در کلیساهای قرون وسطی یافت که در آن صنعتگران در رنگ آمیزی شیشه از ذرات نقره ای نانومقیاس برای ایجاد رنگ قرمز یاقوتی و زرد پر رنگ در پنجره ها استفاده میکردند. مثال دیگر فولاد دمشقی است که توسط آهنگران قرنهای دوازدهم تا هجدهم در خاورمیانه تولید میشد که شامل نانوسیمهای سمنتیت در داخل نانولوله های کربنی بود. در آن زمان آنها هیچ راهی برای مشاهده نانوساختارهایی که ساخته بودند نداشتند. کربن سیاه از سال ۱۹۱۰ برای تقویت لاستیک به کار گرفته شد، بدون دانستن آنکه برهمکنش بین لاستیک و نانو ذرات کربن سیاه موجب افزایش سختی، استحکام، و مقاومت در برابر سایش و پارگی میشود.  اولین بار دانشمندی به نام ریچارد فاینمن ایده نانو فناوری را ارائه کرد. در یک سخنرانی در سال ۱۹۵۹ در نشست سالانه انجمن فیزیک آمریکا تحت عنوان "در پایین دست فضای زیادی وجود دارد دعوتی برای ورود به زمینه جدیدی در فیزیک". او فیزیکدانان همکار خود را به نوشتن تمام ۲۴ جلد دانشنامه بریتانیکا بر سر یک سوزن به چالش کشید. او همچنین جایزه ۱۰۰۰ دلاری برای اولین کسی که بتواند موتور الکتریکی با ابعاد ۱/۶۴ اینچ مکعب ،بسازد تعیین کرد البته این امر مدتی بعد توسط دانشجویی به نام ویلیام مک للان، محقق شد. | |

با رشد آگاهیها در مورد خطرات بالقوه نانومواد و همچنین نیاز به استانداردسازی در این زمینه، تلاش ها برای تعریف هماهنگ اصطلاحات مورد استفاده باوجود اختلاف میان کشورها، افزایش یافته است. به عنوان مثال بر اساس ،ISO ،نانومواد به عنوان موادی با هر بعد خارجی در مقیاس نانو و یا داشتن یک ساختار داخلی و یا ساختار سطحی در مقیاس نانو تعریف شده است و مقیاس نانو اشاره به اندازه های در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارد. از سوی دیگر بنابر پیشنهاد کمیسیون اروپا در تعریف نانومواد در سال ۲۰۱۱ نانوماده یک ماده طبیعی و یا سنتزی حاوی ذرات در حالت بدون پیوند و یا به صورت انبوهه یا کلوخه است که در آن ۵۰ یا بیشتر از توزیع اندازه ذرات، در یک یا چند بعد خارجی در محدوده اندازه ۱۰۰-۱ نانومتر باشد برای موارد خاص که نگرانی های محیط زیستی بهداشتی، یا ایمنی وجود داشته باشد استثناهایی در نظر گرفته شده اند که در این صورت آستانه غلظت به زیر ۵۰ درصد کاهش می یابد. فولرن ها، گرافن و نانولوله های کربنی تک جداره با یک یا چند بعد خارجی زیر ۱ نانومتر، بدون در نظر گرفتن غلظت، نانومواد در نظر گرفته میشوند.

**طبقه بندی نانومواد**

نانومواد میتوانند با توجه به منبع، ابعاد و مواد تشکیل دهنده طبقه بندی شوند. طبقه بندی جدیدی نیز با توجه به سطح سمیت بالقوه مواد نانو ارائه شده است.

**طبقه بندی نانومواد با توجه به منشاء:**

نانومواد میتوانند با توجه به منشاءآنها که میتواند طبیعی یا انسانی باشد، متفاوت باشند.

دسته دوم نانومواد را بسته به این که آیا شکل­گیری آنها عمدی است یا نه میتوان به دو صورت تصادفی و مهندسی شده تقسیم نمود. نانوذراتی که منشأ طبیعی و تصادفی دارند عموما به عنوان ذرات بسیارریز معرفی شده اند. از منابع طبیعی نانومواد معدنی میتوان مواد حاصل از فوران آتشفشانها، امواج دریا، آتش سوزی جنگل، طوفان شن و همچنین خاک را نام برد. به عنوان مثال انواع خاصی از رس که از نانو صفحات انباشته به ضخامت ۱ نانومتر و پهنای ۷۰ تا ۱۵۰ نانومتر تشکیل شده اند از این دسته هستند. برخی نانومواد نیز به طور طبیعی در موجودات زنده یافت می شوند. به عنوان مثال مگنتیت، که یک ساختار کریستالی فرومغناطیس در گیرنده های مغناطیسی در برخی از حیوانات است؛ فریتین یک پروتئین ذخیره کننده آهن و کلسیم هیدروکسی آپاتیت جزء نانوکریستالی سخت استخوان را می توان نام برد. به تازگی وجود نانو ذرات فولرنی در فضا نیز کشف شده است.

 نانومواد همچنین میتوانند به عنوان محصولات ناخواسته جانبی حاصل از فعالیتهای انسانی یافت شوند. برای مثال موتور احتراق داخلی نیروگاههای برق، خودروها، کوره های زباله سوز، موتورهای جت، بخارات فلزی( ذوب ،جوش و غیره) بخارات پلیمری، سطوح گرم شده، فرآیندهای تهیه مواد غذایی (پخت سرخ کردن ،پختن و غیره ،) و موتورهای الکتریکی از آن جمله هستند. گسترش وسیع انتشار نانوذرات توسط لوازم آشپزخانه و پرینترهای لیزری و حضور نانوذرات سمی در دود سیگار نیز به تازگی اثبات شده است. جوش قوس الکتریکی و ذوب آلومینیوم نیز مقادیر زیادی از نانوذرات اتمسفری تولید می نمایند. شرایط مطلوب برای انتشار نانومواد تصادفی عبارتند از وجود مواد قابل تبخیر، درجه حرارت به اندازه کافی بالا برای تولید بخار، و فرآیند خنک سازی سریع و افت حرارتی زیاد. در حال حاضر نانومواد با تنوع زیادی از ترکیبات شیمیایی برای مثال فلزات، نیمه هادیها اکسیدهای فلزی، کربن و پلیمر تولید میشوند.

در مقایسه با نانومواد طبیعی و تصادفی، نانومواد سنتزی توسط ابعاد کنترل شده، شکل، و ترکیبشان شناسایی میشوند.

**طبقه بندی نانومواد با توجه به ترکیب شیمیایی:**

|  |  |
| --- | --- |
|  | یکی دیگر از طبقه بندیهای ممکن نانومواد، طبقه بندی بر اساس ماهیت شیمیایی است. دسته اول نانومواد فلزی و آلیاژ فلزات که شامل این مواد است، نقره که در تجهیزات پزشکی و تشخیصی به عنوان ضد باکتری، مواد رسانا و نوری مورد استفاده میباشد. مس به عنوان یک کاتالیزور، هادی الکتریکی و حرارتی، افزودنی روان کننده ها و عامل ضد باکتری به کار میرود. طلا برای انتقال دارو، آزمایشهای پزشکی، تشخیص سرطان،الکترونیک، اتلاف حرارت، آلیاژهای ویژه، و سلولهای سوختی استفاده میشود. آهن برای حذف آلاینده ها به دلیل ویژگیهای باکتری کشی آن در تصفیه آب و برای خواص مغناطیسی آن در انتقال دارو، ضبط داده ها و تشخیص مغناطیسی مورد استفاده قرار می گیرد. پلاتین و پالادیوم به عنوان کاتالیزور استفاده میشوند. آلومینیوم، منیزیم، تیتانیوم، آلیاژهای آلومینیوم منیزیم و تیتانیوم آلومینیوم به علت استحکام بالا و وزن کم خود در هوا فضا و کاربردهای با درجه حرارت بالا مورد استفاده هستند و آلیاژ آهن سیلیسیوم بور برای خواص مغناطیسی استثنایی خود در الکترونیک استفاده شده است.  دسته دوم نانومواد را اکسیدهای فلزی تشکیل میدهند. تیتانیوم دی اکسید به عنوان فیلتر فرابنفش شفاف (UV) برای لوازم آرایشی، کاتالیزور شیمیایی برای محصولات خود تمیز شونده و رنگ دیوار، عامل ضد باکتری برای دستگاههای تصفیه، و در سلولهای خورشیدی کاربرد دارد. روی اکسید دارای خواص کاتالیزوری و ضد باکتریایی است. این ماده همچنین به عنوان یک عامل ضد الکتریسیته ساکن استفاده میشود. نانو سیلیکا به دلیل واکنش پذیری شیمیایی بالا، خواص ترمومکانیکی پلیمرهای آن، جذب نوری، نورتابی و همچنین به عنوان حامل در ساخت سیستمهای رهایش دارو شناخته شده است. نانو آلومینا در پوششهای مقاوم در برابر سایش به عنوان کاتالیزور شیمیایی و به عنوان رسانای مکانیکی ،حرارتی و تقویت خواص نوری به کار میرود. اکسیدهای آهن بسته به نوع آنها به علت خواص مغناطیسی عالیشان در کاربردهای زیست پزشکی و الکترونیکی برای تصفیه آب و به عنوان رنگدانه ها، لخته سازها و تبادل کننده های یونی استفاده میشوند .  دسته دیگر نانومواد شامل سیلیکاتها، کربناتها و نیتریدها هستند. یکی از پر استفاده ترین نانو سیلیکاتها، نانو رس میباشد که یک سیلیکات آلومینیوم منیزیم است. این ماده میتواند به شکل نانوصفحات به عنوان مثال در مونتموریلونیت و یا نانولوله ها در هالویسیت باشد. نانورس به عنوان پرکننده در کامپوزیتها به منظور بهبود عملکرد مکانیکی ،آنها مقاومت در برابر حرارت و شعله و هدایت الکتریکی استفاده میشود.  نانو اشیای کربنی یکی از بهترین و شناخته شدترین دسته نانومواد هستند که عبارتند از گرافن نانو لوله های کربنی، نانوالیاف کربنی، فولرنها و کربن سیاه. گرافن از یک ورق اتم با ضخامت اتم کربن ساخته شده است.   پلیمرها آخرین دسته از نانومواد هستند. در ابعاد نانو خواص نوری ،مکانیکی ،حرارتی، الکتریکی و مغناطیسی آنها از مواد با ابعاد بزرگتر و در مقیاس حجیم متفاوت است. هر سه نوع پلیمرها که شامل پلیمرهای گرمانرم، گرماسخت، و الاستومرها میباشند میتوانند برای ایجاد نانو اشیاء از جمله نانوکره ها، نانوالیاف و غشاهای نانو حفره مورد استفاده قرار گیرند. کاربردهای آنها در تقویت قطعات کامپوزیتی غشاء ،فیلتراسیون غشاء، سلولهای سوختی، منسوجات مقاوم در برابر آتش و ضد باکتری، قطعات نوری و عناصر الکتریکی قابل انعطاف است.  میسلها نیز نوع خاصی از مواد نانوساختار تولید شده از کوپلیمرهای متناوب واحدهای آبگریز و آبدوست می.باشند. این مواد را می توان به عنوان حسگرهای شیمیایی، غشاء فیلتراسیون حامل مواد دارویی، در بازسازی بافت و ماهیچه های مصنوعی، استفاده نمود. در نهایت سلولز یک پلیمر طبیعی متشکل از نانو فیبرها یا نانوبلورها است. به علت قیمت پایین، چگالی کم، مقاومت مکانیکی بسیار بالا، سهولت عاملدار شدن، هدایت الکتریکی، زیست تخریب پذیری، سایش کم در طول فرایند، نفوذ ناپذیری گاز، از این مواد برای تقویت مکانیکی و حرارتی در کامپوزیتها و نمایشگرهای انعطاف پذیر استفاده می شود.  **طبقه بندی نانومواد با توجه به سمیت بالقوه آنها**  نانوذرات به دو صورت تثبیت شده و آزاد وجود دارند. اگرچه نانوذرات تثبیت شده نیز میتوانند خطرناک باشند اما بیشترین نگرانی مربوط به نانوذرات آزاد است. تحقیقات نشان میدهند که نانو ذرات ممکن است سرطان زا یا آلرژی زا باشند و یا نباشند. اما حتی نانوذرات بی اثر اثرات مضری را به دلیل جذب برخی از گونه های سمی و یا تشکیل محصولات سمی به دلیل واکنش با مایعات بدن نشان می دهند. بعضی از نانوذرات ممکن است خواص کاتالیزوری افزایش یافته­ای برای تولید اشکال بسیار واکنش پذیر از اکسیژن داشته باشند که میتوانند سبب آسیب به بافت، التهاب و دیگر اثرات سمی شوند. در مورد نانوذرات معلق در هوا این آسیب میتواند به صورت آسم و بیماری های قلبی و عروقی باشد.  تاثیر متقابل نانوذرات بر بدن به اندازه، ترکیب شیمیایی، ساختار سطح، حلالیت، شکل و چگونگی تجمع آنها بستگی دارد. با توجه به اندازه کوچک و سطح ویژه زیاد، این مواد میتوانند به راحتی با اتصال به آلاینده های سمی و حمل آنها، در اثر استنشاق ایجاد انواع بیماریهای ریوی در پستانداران نمایند. هنگامی که نانوذرات وارد بدن میشوند، میتوانند آزادانه در خون در سراسر بدن حرکت کنند و به اندامهایی مثل کبد یا مغز برسند. این مواد در نهایت میتوانند از طریق جریان خون از سد خونی-مغزی عبور کنند.  نانوذرات با اندازه کمتر از ۱۰ نانومتر رفتار بسیار شبیه به یک گاز دارند و میتوانند با عبور از بافت پوست و ریه به غشای سلولی نفوذ کنند. در داخل سلول این مواد میتوانند مانند سم عملکرد شیمیایی طبیعی سلول را مختل نمایند. نانوذرات میتوانند با بافتهای مخاطی ریوی برهم کنش داده و منجر به ایجاد التهاب شدید، زخم و از بین رفتن بافتهای ریوی گردند. این وضعیت ریه ها شبیه حالت به وجود آمده در بیماری هایی همچون ذات الریه، یا بیماری های ریوی صنعتی مهلک همانند سیلیکوسیس یا آزبستوسیس میباشد.  باتوجه به این که نانوذرات به طور طبیعی در اتمسفر در غلظتهای زیاد وجود دارند، تاثیر انتشار نانوذرات ساخته شده مصنوعی در اتمسفر و محیط های آبی هنوز ناشناخته است. تحقیقات نشان میدهند که ذرات بسیار ریز با حلالیت کم بسیار سمی تر از ذرات درشت هستند. نانوذرات به راحتی در هوا منتقل شده و به سطوح می چسبند و تشخیص آنها مشکل است. از این طریق نانوذرات ممکن است وارد زنجیره غذایی شده و زیست کره را تحت تاثیر قرار دهند.  نانو ذرات همچنین ممکن است از طریق تماس مستقیم با پوست وارد بدن شوند. نانوذرات تیتانیم دی اکسید و روی اکسید بکار رفته در کرمهای ضد آفتاب و مواد آرایشی بهداشتی پس از مصرف میتوانند از طریق غشای سلول وارد سلول شوند. این مواد با ورود به درون سلول و انجام واکنشهای کاتالیستی می توانند سبب از بین رفتن اسیدهای نوکلئیک و سایر اجزای سلولی شوند. راه دیگر نفوذ پوستی نانوذرات به درون سلولهای بدن از طریق نقل و انتقال و کار کردن با این مواد در آزمایشگاه ها و صنایع است.  نانوذرات از طریق بلع نیز میتوانند وارد بدن انسان شوند. نانوذرات در مواد غذایی به عنوان نگهدارنده طعم دهنده و رنگ بکار میروند. نانوذرات در تولید آدامس، آب نبات، رویه کیک، خامه قهوه، پودینگ ها ،ویتامینها و بسیاری از مواد خوراکی دیگر کاربرد دارند. دانش کمی در مورد اینکه این ذرات چه عوارضی در اثر ورود به بدن دارند وجود دارد اما در یک تحقیق دانشمندان دریافتند که پس از بلع نانوذرات، جوجه ها دچار تغییر در ساختار دیواره روده شدند. نتایج نشان میدهد که نانوذرات می توانند اثرات نامحسوسی بر سلامتی داشته باشند که از آن جمله جذب بیش از حد ترکیبات مضر میباشد. اطلاعات در مورد خطرات نانوذرات در مواد غذایی بسیار کم است و بسیاری از مصرف کنندگان هنوز از خطرات بالقوه این مواد بی اطلاع هستند.  ریسک بالقوه نانومواد برای سلامت برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ مشخص شد. تحقیقاتی که پیش از این در سال ۱۹۲۷ گزارش شده بود ارتباط بین مشکلات حاد تنفسی بخارات روی و سیلیس، در اثر مواجهه شغلی کارگران در عملیات ذوب روی را بدون نسبت دادن این اثر به اندازه ذرات نشان میداد. از آن زمان تا کنون، تلاشهای زیادی برای افزایش دانش بشر در مورد سمیت بالقوه نانومواد اختصاص یافته است. با وجود شکافی که هنوز هم وجود دارد محدودیتهای مواجهه در محیط کار در کشورهای مختلف ارائه شده است. برای این منظور نانوذرات بر اساس سطح سمیت بالقوه خود دسته بندی شده اند:  دسته اول: مربوط به نانوذرات فیبر مانند است. این دسته شامل نانولوله های کربنی سخت و زیست- مقاوم ، اکسیدهای فلزی فیبر مانند و نانولوله های کربنی بدون عوارض مشابه آزبست میباشد. دو گروه اول نانومواد کمترین حد مجاز مواجهه پیشنهاد شده (fibers/m3 ۱۰۴-۱۰۵) را دارند. در حالی که مقدار پیشنهادی برای نانولوله های کربنی بدون عوارض مشابه آزبست fibers/m3 ۱۰۷×۴ میباشد.  دسته دوم: نانوذرات دانه ای با چگالی کمتر از kg/m3 ۶۰۰۰ می باشد. این دسته شامل تیتانیوم دی اکسید، سیلیس، روی اکسید، آلومینیوم اکسید، نانورس، کربن سیاه، فولرنها، درخت سانها و پلی استایرن میباشد. |

دسته دیگر مربوط به نانوذرات CMAR (سرطان زا، جهش زا، آلرژی زا، سم تولید مثلی) است که در ابعاد بزرگتر خود، اثرات سمی اثبات شده مانند سرطان زایی، جهش زایی، آلرژی زایی یا ایجاد مشکلات باروری نشان داده اند. این دسته شامل نیکل و نقاط کوانتومی که حاوی کادمیم، کروم (VI) بریلیوم، آرسنیک و کرومات روی میباشند.

**خواص نانومواد**

از زمان اولین کاربرد نانومواد به عنوان رنگدانه، برخی دیگر از خواص منحصر به فرد آنها و همچنین دلایل وجود چنین ویژگیهای استثنایی به تدریج کشف شد. این خصوصیات را میتوان به اندازه بسیار کوچک و سطح بسیار بزرگ آنان نسبت داد. درحجم ثابت با کوچکتر شدن ابعاد جسم مقدار سطح آن به میزان زیادی افزایش مییابد بنابراین نانو مواد سطح بسیار بیشتری از همان ماده در ابعاد بزرگتر خود دارند. به عنوان مثال یک مکعب با حجم cm3 ۱ دارای سطحی به اندازه cm ۶ و ۱۲ ضلع میباشد. همان حجم از ماده اگر به مکعب های nm ۱ تقسیم شود دارای سطحی برابر 60000000cm2و 12×1021 ضلع می باشد.

واکنش پذیری شیمیایی زیاد نانومواد مربوط به سطح وسیع آنها و همچنین اضلاع و زوایای بیشتر و نقص کریستالی است. واکنش پذیری شیمیایی بیشتر باعث میشود نانومواد گزینه ایده آلی برای کاربردهای کاتالیزوری باشند. برای مثال استفاده از مواد نانو مقیاس از فلزات کاتالیزوری گران قیمتی مانند پلاتین به جای استفاده از این مواد در اندازه معمولی موجب کاهش زیادی در هزینه ها میشود.

**رویکردهای مختلف در ساخت نانومواد**

روشهای مختلفی برای تهیه و ساخت نانوذرات مهندسی شده در صنعت و آزمایشگاههای تحقیقاتی وجود دارد پس از تولید نانوذرات میتوان با توجه به نوع کاربرد آنها از روشهایی مثل روکش دهی یا اصلاح شیمیایی نیز استفاده کرد .

نانومواد مهندسی شده معمولا توسط فرایندهای "بالا به پایین یا پایین به بالا" تولید می شوند: با توجه به رویکرد بالا به پایین، مواد حجیم در مقیاس بزرگتر از طریق مکانیکی و شیمیایی و یا روشهای فیزیکی به اشیاء نانو مقیاس خرد می شوند. با استراتژی "پایین به بالا" اجزای اتمی یا مولکولی از طریق واکنشهای شیمیایی و یا فرآیندهای فیزیکی برای تولید ساختارهای نانومقیاس متراکم میشوند.

این روش های بالا به پایین شامل خرد کردن و آسیاب مواد حجیم میباشد و برای مواد نرم از نیتروژن مایع استفاده میشود. این روش دارای مزایایی مانند کاربرد آسان و هزینه کم است. با این حال، ذرات تولید شده پلی دیسپرس هستند و اندازه آنها عموما بیشتر از ۸۰۰ نانومتر میباشد و دارای تعداد زیادی نقص ساختاری هستند. الکترو فرسایش فلزات گرانولی به نانو پودر روش جدیدی مبتنی بر رویکرد بالا به پایین است که توسط تخلیه الکتریکی با ولتاژ بالا انجام میشود.

همانطور که گفته شد در رویکرد بالا به پایین برای فرآیندهای حالت جامد، ذرات درشت با اعمال مستقیم انرژی با آسیاب کردن به ذرات کوچکتر تبدیل می.شوند برای خردایش از مواد دارای سختی بالا به عنوان گلوله در آسیابهای گلوله ای استفاده میشود. خواص نانو ذرات حاصل از این روش بستگی به سرعت لغزش نوع آسیاب کننده اندازه و تعداد گلوله ها، نسبت وزنی گلوله به پودر، زمان، و اتمسفر آسیاب دارد.

روش پایین به بالا شامل هسته زایی و رشد اتمها از مخلوط پراکنده پایدار به نانوذرات از طریق تغییر پارامترهای خارجی میباشد.

رویکرد پایین به پایین شامل انتقال یک به یک هر اتم به موقعیت از پیش تعریف شده با استفاده از یک میکروسکوپ تونلی روبشی میباشد. کاربرد این روش هنوز به برخی آزمایشگاه های تحقیقاتی مجهز محدود میشود.

درمیان روشهای مختلف موجود برای سنتز نانوذرات استفاده از میکروارگانیسمها نیز از توجه ویژه ای برخوردار است. از شناخته شده ترین تحقیقات انجام شده میتوان به استفاده از قارچ Fusarium oxysporum در سنتز بیرون سلولی نانوذرات طلا و نقره اشاره کرد.

استفاده از گیاهان نیز روش دیگری برای سنتز نانوذرات است. عصاره برگ گیاهانی که غنی از پلی فنل هایی مانند فلانوئیدها هستند، عوامل احیا کننده قدرتمندی برای سنتز نانوذرات به ویژه طلا و نقره هستند. این روش سنتز روشی سبز، غیر سمی و سازگار با محیط زیست است. این در حالی است که در تولید نانوذرات روشهای میکروبیولوژی با نرخی بسیار کندتر نسبت به عصاره گیاهان و سایر عوامل احیاکننده عمل میکنند.

**کاربردهای نانومواد**

نانومواد تولیدی کاربردهای فراوانی در بخشهای مختلف پیدا کرده اند و بسیاری از کاربردهای دیگر برای این مواد در حال ظهور هستند. این بخشها شامل موارد زیر میباشند:

هوا فضا

خودرو

مواد شیمیایی

ساخت و ساز

لوازم آرایشی

الکترونیک

انرژی

مهندسی

محیط زیست

غذا

لوازم خانگی

دارو

نظامی

ایمنی

ورزش

نساجی

اگرچه حضور فناوری نانو در محصولات ساخته شده توسط انسان حداقل به ابتدای عصر برنز بر می گردد، پیشرفت و کشفیات به دست آمده در طی ۴۰ سال گذشته در مورد خصوصیات مواد در اندازه های نانو چشم گیر بوده است. انتظار میرود که محققان بتوانند تا حد زیادی به بهبود خواص موجود و یا ویژگیهای جدیدی از این دسته از مواد دست یابند. با این حال این پیشرفتها باید با احتیاط زیادی صورت گیرد زیرا تأثیرات بالقوه نانومواد بر بهداشت ومحیط زیست دیر یا زود مشخص خواهد شد.

**استانداردهای سلامتی و ایمنی نانومواد**

 نانوفناوری پیشرفتهایی را در ساخت مواد سبکتر و مستحکمتر، کاهش مصرف انرژی و تهیه ترکیبات با فراریت کمتر فراهم میکند. اغلب با الهام از طبیعت و از طریق درک جدیدی از اشکال مولکولی ،مواد نانو فناوری پیشرفت زیادی را به سود بشر موجب شده است. با این حال به عنوان مواد جدید و اصلاح شده توسعه یافته، مسائل بهداشتی و ایمنی در هنگام تولید و مصرف این مواد باید به دقت مورد ارزیابی ،درک و کنترل قرار گیرند.  توسعه و تهیه استانداردها یک امر مهم برای ارائه راهنماییهای لازم، بهترین روشهای کار و الزامات مورد نیاز برای مسائل سلامت و ایمنی مرتبط با فناوری نانو است. بلافاصله پس از آغاز هزاره سوم میلادی و با گسترش تحقیقات بر روی مواد نانو مقیاس، ضرورت تدوین استانداردهای لازم در بسیاری از کشورها مورد توجه قرار گرفت. پس از آن با همکاریهای بین المللی و کار جمعی دولتها، صنعت، پژوهشگران، مصرف کنندگان علاقه مند و دیگران بیش از ۴۰ استاندارد ISO (سازمان بین المللی استاندارد) و IEC (کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک) مبتنی بر فناوری نانو تولید شده است .

بدون وجود استاندارد احتمال عدم انسجام در میان عمل و الزامات وجود دارد. استانداردهای ISO IEC راهی برای ورود کشورهای متعدد برای توسعه استانداردهای مبتنی بر علم برای بیش از یک قرن را فراهم می آورد. چنین استانداردهایی به حصول اطمینان در مورد محصولات و خدمات سازگار، مؤثر و بی خطر کمک مینماید. ،همچنین استاندارد به تعریف بسیاری از محصولات، فرایندها و سیستمهایی که ما هر روز با آنها سروکار داریم کمک می کند. در حوزه های در حال ظهور مانند نانوفناوری، استانداردها در موارد زیر به کار می روند:

1-تعریف الزامات و معیار های ایمنی

2-ارائه یک چارچوب برای طراحی و ارائه محصولات اقتصادی

3-تنظیم کارآمد ،کیفیت دانش و قابلیت پیش بینی در بازار

4-کمک به بازگشایی درهایی به بازار و تسهیل تجارت در سراسر جهان

5- کمک به ارائه و تصویب قوانین و مقررات.

تأثیر نانوفناوری در پیشرفتهای فنی کاملا مشخص و در مواردی بیش از پیش بینیها بوده و با شتاب در حال رشد است. نیاز به درک و مدیریت مخاطرات بهداشتی و ایمنی در تدوین استانداردها معمولا در بسیاری از ارزیابیها و بررسیهای فناوری نانو مشخص شده است. به عنوان نمونه اولویتهای استاندارد در کشور کانادا برای فناوری نانو به صورت زیر گزارش شده است

۱ نیاز به زبان مشترک اصطلاحات و نامگذاریها؛

-۲ پایه ای برای اندازه گیری؛

۳- کاهش نگرانی عمومی در مورد بهداشت و محیط زیست

۴- ایمنی در محیط کار برای کارگران

۵- نیاز به یک چارچوب ارزیابی ریسک

۶- سمیت / پتانسیل خطر

7-حفاظت از محیط زیست

8- ایمنی محصول برای کاربر

۹. فعال سازی تجارت با تسهیل واردات و صادرات

**سازمان بین المللی استاندارد (ISO)**

سازمان ISO شبکه ای از سازمانهای استاندارد از ۱۵۷ کشور در نوامبر سال ۲۰۰۵ کمیته فنی ۲۲۹ ISO/TC 229 ISO را راه اندازی نمود. نمایندگان مؤسسه استاندارد انگلستان (BS) ریاست استاندارد 229 ISO/TC را برعهده داشتند این کمیته شامل سه گروه کاری بود:

کارگروه اصطلاحات و نامگذاری به ریاست کانادا

کارگروه اندازه شناسی و شناسایی به ریاست ژاپن

کارگروه بهداشت ایمنی و محیط زیست به ریاست ایالات متحده

سازمان ISO در سال ۲۰۰۸ بیشتر برای توسعه استانداردهای نامگذاری و اصطلاحات نانومواد فعالیت می نمود. استانداردهای دیگری در مورد واژگان مورد استفاده و شناسایی مواد در سال ۲۰۱۰, ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ توسعه یافته است. استاندارد ISO/TC229 در زمینه نانو فناوری ، یک کمیته فنی از ISO با پشتیبانی کشورهای عضو برای توسعه استانداردهای لازم همزمان با تحقیقات و تجاری سازی جهانی می باشد. این رویکرد فعالانه پس از جلسه ۱۴ کشور در انگلستان در نوامبر ۲۰۰۵ آغاز شد و انتخاب این کشور برای ریاست و دبیرخانه این ISO-TC جدید به وسیله نمایندگان شرکت کننده تصویب شد. عضویت کشورها در از آن افزایش یافته است و هفدهمین نشست ISO/TC229 در ماه نوامبر سال ۲۰۱۴ با شرکت ۳۵ کشور عضو و ۱۳ کشور به عنوان ناظر در دهلی نو هند برگزار شد. استاندارد ISO/TC229 برای نانو فناوری توسعه استانداردها برای استفاده ایمن و مسئولانه از فناوری نانو را تسهیل می کند.

استاندارد 11931 ISO/TS (۲۰۱۲) الزامات توصیف ویژگیهای اساسی کلسیم کربنات در مقیاس نانو پودری را برای کاربردهای مربوط به فناوری نانو فراهم میکند. این بخش مسائل بهداشتی و ایمنی خاص و یا کاربردهای خاص کلسیم کربنات در مقیاس نانو را پوشش نمیدهد.

**اداره ایمنی و بهداشت حرفه ای (OSHA)**

این اداره نهادی دولتی و یکی از مجموعه های سازمان کار آمریکا است که مسؤول تنظیم و اجرای استانداردهای ایمنی و بهداشتی در محیط کار میباشد. این مقررات شامل محدودیت مواجهه با مواد شیمیایی خطرناک، دسترسی کارگران به اطلاعات ایمنی و خطر، الزامات مورد نیاز برای استفاده از تجهیزات حفاظت فردی و شرایط لازم برای جلوگیری از خطرات در هنگام کار با تجهیزات خطرناک است.

**انجمن ملی ایمنی و بهداشت حرفه ای' (NIOSH)**

این مؤسسه دولتی در سال ۱۹۷۰ تأسیس شده است و مسئول انجام تحقیقات در زمینه ایمنی شغلی به منظور تدوین استانداردهای جدید و به روزرسانی استانداردهای گذشته و نیز ارائه راهکارهایی برای پیشگیری از آسیبها و بیماریهای شغلی میباشد. سازمان NIOSH بخشی از مرکز کنترل و پیشگیری بیماریها در دپارتمان خدمات بهداشتی و درمانی آمریکا است و رسالت اصلی آن اطمینان از شرایط کاری ایمن و سالم برای هر مرد و زن و حفظ منابع انسانی میباشد. این سازمان از نزدیک با اداره ایمنی و بهداشت حرفه ای (OSHA) و اداره ایمنی و بهداشت معدن در وزارت کار ایالات متحده به منظور حفاظت از کارگران و معدنچیان کار میکند.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران**  مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تنها مرجع رسمی کشور است که مطابق قانون، وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی و رسمی را بر عهده دارد. این مؤسسه از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO) سازمان بین المللی الکتروتکنیک (IEC) و سازمان اندازه شناسی قانونی OIML میباشد و به عنوان تنها رابط کمیسیون کدکس مواد غذایی (CAC) در کشور فعالیت میکند.  این مؤسسه میتواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و یا اقلام وارداتی با تصویب شورایعالی استاندارد اجباری نماید. این مؤسسه همچنین میتواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمانها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره ،آموزش بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستمهای مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی آزمایشگاهها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، مؤسسه استاندارد این گونه سازمانها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی میکند و در صورت احراز شرایط لازم گواهینامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت میکند. از دیگر وظایف این موسسه ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران میباشد.  با توجه به اهمیت موضوع استانداردسازی فناوری نانو برای توسعه و تجاری سازی این فناوری، کمیته فنی متناظر استاندارسازی فناوری نانو با مشارکت سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، با عنوان کمیته فنی ISIRI/TC229 در تیرماه ۸۵ تشکیل شد. این کمیته به صورت متناظر با کمیته بین المللی استانداردسازی فناوری نانو (ISO/TC229) فعالیت میکند. اعضای اصلی کمیته ISO/TC229 حق رأی داشته و میتوانند پیشنهادهای جدید استانداردسازی ارائه کنند. جمهوری اسلامی ایران نیز یکی از اعضای اصلی این کمیته است.  کمیته استانداردسازی فناوری نانو ایران دارای ۴ کارگروه تخصصی میباشد که به صورت متناظر با کمیته بین المللی فعالیت میکنند. در این کارگروهها حدود ۴۰ نفر از اساتید دانشگاه ها، پژوهشگران فعال در مؤسسات تحقیقاتی و شرکتهای فعال در حوزه نانو عضویت دارند. عناوین و حوزه فعالیت این کارگروه ها به شرح زیر است:  کارگروه اول ISIRI/TC229/WG1 با عنوان " اصطلاح شناسی، تعاریف و اصطلاحات" حوزه کاری این کارگروه شامل تعیین تعاریف و اصطلاحات واحد و نامگذاری در ارتباط با فناوری نانو بوده و هدف آن تسهیل در ارتباطات بین المللی، ایجاد ادبیات واحد در فناوری نانو و تقسیم بندی مناسب و جامع حوزه های فناوری نانو میباشد.  کارگروه دوم ISIRI/TC229/WG2 با عنوان اندازه گیری و تعیین مشخصات": حوزه کاری نانو قطعات و محصولات فناوری نانو میباشد. این کارگروه ها استانداردسازی، روشهای اندازه گیری و تعیین مشخصات نانومواد و نانوساختارها، نانو قطعات و محصولات فناوری نانو میباشد.  کارگروه سوم ISIRI/TC229/WG3 با عنوان "سلامتی، ایمنی و محیط زیست ": حوزه کاری این کارگروه توسعه و تدوین استانداردها در زمینه مسائل زیست محیطی، ایمنی و سلامت، تعیین تجهیزات حفاظت شخصی و کنترلهای مهندسی، تدوین دستورالعملهای ایمنی، بررسی و ارزیابی سمیت و خطرات در حوزه فناوری نانو میباشد.  کارگروه چهارم ISIRI/TC229/WG4 با عنوان " ویژگیهای مواد حوزه کاری این گروه استانداردسازی ویژگیهای نانو مواد می باشد.  تاکنون بیش از ۳۰ استاندارد توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در زمینه نانوفناوری تهیه شده است، که علاوه بر مثالهای فوق می توان استانداردهای فناوری نانو بسته بندی و حمل و نقل ایمن نانو مواد آئین کار " فناوری نانو -واژه ها، اصطلاحات و تعاریف اصلی را نیز نام برد.  **مدیریت ریسک و روش های عملی مناسب**  نانومواد مهندسی شده (ENMS) در آزمایشگاه های تحقیقاتی دولتی و خصوصی و در صنایع مختلف تولید و استفاده می شوند. مطالعات متعدد نشان میدهد که کارگرانی که در معرض برخی از ENMها قرار دارند میتوانند از نظر اثرات سوء این مواد بر سلامت انسان در خطر باشند. علاوه بر این، نانوذرات خواص منحصر به اندازه های نانو از خود نشان میدهند و باید به عنوان ترکیبات جدید در نظر گرفته شوند و خطرات و سمیت آنها به خوبی شناسایی و بررسی شوند. به علت عدم وجود حدود مواجهه شغلی مشخص و به دلیل دانش محدود در مورد سمیت ،اشتعال پذیری، انفجار و همچنین ویژگیهای سطح اطلاعات مربوط به مواجهه شغلی با این دسته از مواد محدود است. برنامه های مدیریت ریسک باید بر اساس اصول احتیاطی و یا اصل" پایینترین حد قابل دسترسی ALARA پایین ترین حد قابل اجرا (ALARP) برای به حداقل رساندن مواجهه با ENM ها انجام شود.  بنابراین راهبردهای کنترل و دستورالعملهای اجرایی مناسب باید به تصویب رسیده و درجهت به حداقل رساندن مواجهه کارگران نسبت به نانومواد و انتشار نانوذرات به محل کار و محیط زیست باشد.  **مدیریت ریسک**  مدیریت ریسک یک فرآیند تصمیم گیری جامع برای اطمینان از اجرای کنترل مؤثر ریسک است. مشارکت مدیریت سطوح بالا، سرپرستان و کارکنان برای اجرای مدیریت ریسک موفق ضروری است. کارفرما بر کارگران ،تجهیزات و روش کار مدیریت و نظارت مینماید و در نتیجه، رعایت تمام قوانین مقررات و حصول اطمینان از سلامت محیط کار بر عهده وی است. فراتر از تعهدات قانونی، مدیریت ریسک و پیشگیری باید بخشی از ارزشهای اساسی هر شرکت باشد. در این مفهوم، یک برنامه پیشگیری باید آماده اجرا و ارزیابی شود و به طور مداوم به وسیله یک فرآیند مستند تکرار شونده بهبود یابد. مسوول ارشد اجرایی باید از طریق توسعه سیاستهای روشن و شناخته شده و تخصیص بودجه های لازم بهداشت و ایمنی شغلی (OHS) را محقق .نماید. کارفرما باید یک فرد مسئول را برای برنامه های پیشگیری تعیین کند و این فرد انطباق با تمام قوانین و مقررات و اجرای تصمیمات اتخاذ شده را تضمین خواهد کرد. وجود این مدیر برای اجرا و پیگیری منظم OHS و حصول اطمینان از اثربخشی اقدامات در محل ضروری است. مدیر OHS به کارفرما پاسخگو بوده و باید آزادی عمل و قدرت تصمیم گیری برای انجام احکام را داشته باشد.  **شناسایی مخاطرات و جمع آوری اطلاعات**  خطر یک ویژگی ذاتی در یک ماده و یا وضعیت است که به صورت بالقوه هنگامی که یک ارگانیسم یک سیستم و یا جمعیت در معرض آن قرار میگیرند میتواند منجر به اثراتی شود در حالی که ریسک" احتمال اثراتی است که ممکن است در یک ارگانیسم، یک سیستم و یا یک جمعیت در شرایط خاص رخ دهد. دو دسته از خطرات باید در هنگام استفاده از نانوذرات، در نظر گرفته شوند: واکنش شیمیایی (انفجاری ،اشتعال یا بالقوه کاتالیزوری) و سمیت.  می دانیم که یک ابر غبار قابل احتراق ساخته شده از مواد آتش زا و یا مواد واکنش دهنده با هوا می تواند در یک فضای بسته انفجار ایجاد کند.منیزیم، آلومینیوم و لیتیوم نمونه هایی از مواد با پتانسیل انفجاری بالا هستند. برای یک ماده خاص پودری در اندازه نانومتری احتمال انفجار در مقایسه با پودر ابعاد میکرومتر بسیار بالاتر است، زیرا انرژی و درجه حرارت مورد نیاز برای احتراق بسیار پایین تر است. در محل کاری که از نظر ریسک به خوبی مدیریت شده است مقدار گردو غبار نانوذرات کمتر از غلظت مورد نیاز برای انفجار است. با این حال شرایط خاصی وجود دارد که در آن MEC (حداقل غلظت مواد منفجره) ممکن است بیش از حد وجود داشته باشد. به عنوان مثال زمانی که فرآیندهای تولید به طور مؤثری طراحی و یا کنترل نشده و یا طی فرایندهای جابه جایی این امکان به وجود می آید نانوذرات در مقایسه با همتایان خود در اندازه میکرون، به طور قابل ملاحظه ای تمایل بیشتری دارند تا به صورت هوابرد باقی بمانند. از طرف دیگر شدت انفجار برای نانومواد تحت تأثیر برهمکنش و آگلومره شدن ذرات متغیر است. بنابراین برخی از نانومواد مهندسی شده (ENM) می توانند خطرات آتش سوزی ایجاد نمایند.  مطالعات متعدد نشان میدهد که کارگرانی که در معرض برخی از ENMها هستند می توانند در خطر اثرات سوء بر سلامت باشند. به عنوان مثال، نانولوله های کربنی (CNT) می تواند منجر به اثرات بیماری زا در ریه ها مانند التهاب، گرانولوم و فیبروز ریوی شود. آژانس بین المللی تحقیقات سرطان اعلام کرده است که ذرات بسیار ریز تیتانیوم دی اکسید (TiO2) می توانند اثرات سرطان زایی شغلی بالقوه داشته باشند. سمیت ذرات بزرگتر به طور معمول به جرم ماده سمی وابسته است، اما وضعیت در مورد نانوذرات متفاوت است مطالعات مختلف نشان میدهند که مسمومیت با یک ماده خاص برای نانوذره با توجه به اندازه کوچک آنها به طور قابل ملاحظه ای با سمیت همان ماده درابعاد بزرگتر و با وزن برابر متفاوت می باشد. پارامترهای دیگری نیز برای اثر سمیت ENM ها شناسایی شده اند. به طور کلی عوامل زیر میتوانند برای القای اثرات سمیت نانوذرات در نظر گرفته شوند:  مقدار سطح ویژه و پوشش سطح  شکل یعنی نسبت ابعاد ویژه و طول الیاف  تعداد و اندازه ذرات  حلالیت  مقاومت زیستی  سمیت معادلهای در اندازه ماکرو  **ارزیابی مواجهه**  سمیت یا پتانسیل خطر به صورت توانایی ذاتی ماده در مختل کردن فرآیندهای بیولوژیکی در موجودات زنده تعریف می شود. این عامل خصوصیت ذاتی یک نانوذره خاص را توصیف میکند و بستگی به خواص فیزیکی شیمیایی ماده و همچنین ماهیت ارگانیسم هدف دارد. بنابراین ارزیابی خطر بررسی خواص سمى ذاتی یک ماده است که مقدار تحمیل آسیب به موجودات زنده را زمانی که در معرض دوز خاصی از آن ماده قرار گرفته اند توصیف می کند. حتی اگر سمیت حاد آن ماده کم باشد، مواجهه طولانی مدت ممکن است خطر اثرات مزمن بر سلامت مانند اختلال غدد درون ریز و آلرژی را به دنبال داشته باشد. مقدار و مدت زمان مواجهه، مقدار غلظتی را که یک ارگانیسم هدف می تواند جذب کند تعیین میکند. غلظت بالاتر با مدت زمان مواجهه کوتاه ممکن است عوارض سمی حاد ایجاد نماید در حالی که مواجهه طولانی مدت با غلظت پایین ممکن است به اثرات مزمن و یا اثرات زیست محیطی تجمعی منجر شود .  سمیت بیشتر مواد از یک رابطه غلظت-پاسخ غیر خطی تبعیت می کند: در غلظتهای کم، هیچ اثرات نامطلوبی مشاهده نمیشود تا زمانی که مواجهه از یک مقدار مشخص آستانه بالاتر میرود که اثرات نامطلوب رخ میدهد. بنابراین معادله اساسی در سم شناسی به این صورت است:  خطر × مواجهه = ریسک. در نتیجه اگر کسی بتواند از وقوع خطرات و یا مواجهه با آنها جلوگیری کند، هیچ ریسکی وجود نخواهد داشت. در میان دانشمندان آگاهی رو به رشدی برای مکانیزمهای سم شناسی خاص وجود دارد و اعتقاد بر این است که حداقل آستانه اثر را نمیتوان با اطمینان شناسایی کرد. پتانسیل خطر نباید حتی در غلظتهای پایین نادیده گرفته شود زیرا عوارض جانبی اثرات طولانی مدت را نمی توان تا زمان حصول اطمینان رد نمود.  شرایط مختلف میتوانند موجب تولید و در نتیجه مواجهه با نانوائروسلها شوند به عنوان مثال میتوان به تولید نانوذرات جامد در فضاهای باز یا بسته، جمع آوری حمل و نقل و یا بسته بندی نانو پودرها، تعمیر و نگهداری تجهیزات در محلهای کار و تمیز کردن سیستمهای خلاء و تهویه اشاره کرد. علاوه بر این برخی از محققین نشان داده اند که فرآیندهای خاص با انرژی بالا مانند سنباده زنی، تراش، فراصوت ، و آسیاب نیز میتوانند منجر به تولید ENMها شوند. میزان گرد و غبار پارامتری برای تخمین تمایل ذاتی ENMها برای ایجاد و انتشار در هوا توسط یک محرک مکانیکی است.  اولویت کنترل در چهار دسته اصلی خلاصه می شود. مؤثرترین روش کنترل خطرات، ایمنی ذاتی (اولیه) است که هدف آن از بین بردن خطرات قبل از ورود به آزمایشگاه و یا واحد صنعتی و در مرحله طراحی است. ایمنی ذاتی یک روش پیشگیرانه برای مدیریت مخاطرات حین طراحی واحد است. این امر به وسیله کنترل مهندسی انجام میشود که خطرات را در منبع از بین میبرند. کنترلهای فرآیند مهندسی می توانند زمانی که فرایند به خوبی طراحی شده و عملکرد آن از طریق تعمیر و نگهداری منظم و ارزیابی عملکرد بهینه سازی شده است بسیار کارآمد باشند. کنترلهای اداری نیز ضروری هستند و مکمل دو روش قبلی است. در نهایت استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE) در شرایطی که روشهای کنترلی دیگر در عمل نمیتوانند مورد استفاده قرار گیرند، به عنوان مثال در طی نگهداری، تمیز کردن تجهیزات و یا پاکسازی نشت، ضروری است. از آنجایی که PPE به طور معمول ساده ترین روش کنترل است، محافظت تنفسی باید به عنوان آخرین راه حل و تنها زمانی که اقدامات پیشگیرانه دیگر برای حفاظت کارگر کافی نیست، استفاده شود. بهره وری عملی این دو دسته آخر از کنترل اغلب تابعی از مدیریت، مشارکت ورفتار کارگران است.  مفهوم ایمنی ذاتی در واقع از بین بردن، به حداقل رساندن و یا جایگزینی مواد خطرناک در محلهای کار می.باشد. این مفهوم یک راهبرد کنترلی ارجح است زیرا این راهکار ماده خطرناک را از فرآیند حذف کرده حجم آن را به حداقل رسانده و یا مواد خام ،خطرناک ،نانوذرات فرآیندها تجهیزات و یا شیوه های کار را با آنهایی که خطر کمتری دارند جایگزین مینماید. ایمنی ذاتی، ریسک را قبل از ورود آن به فرآیند صنعتی و یا در بررسیهای آزمایشگاهی حذف و یا به حداقل می رساند. باید توجه داشت که حذف نانوذرات به طور معمول غیر ممکن است زیرا این مواد همواره تولید شده و به دلیل خواص مکانیکی، الکتریکی، مغناطیسی ،نوری و یا شیمیایی منحصر به فردشان استفاده میشوند.  **کنترل های مهندسی**  **جداسازی و استفاده از فرایند محصور شده**  از آنجایی که همیشه نمی توان عوامل خطر را از محل کار حذف نمود و یا از نانومواد کم خطرتر استفاده کرد می توان تجهیزات را از لحاظ فیزیکی جدا کرده و در اتاقهایی محصور نمود و با تهویه مناسب به کمک سیستمهای تهویه مستقل از هر گونه احتمال آلودگی در محل کار و مواجهه کارگران اجتناب نمود. همچنین کارگر می تواند در یک محیط کنترل شده مانند یک کابین و یا یک اتاق کنترل ایزوله باشد. کربن سیاه ، بخارات حاوی سیلیس، TiO2 در ابعاد نانو، فلزات و اکسیدهای فلزی نانو به طور معمول در فرایندهای بسته سنتز می شوند.  جعبه دستکش دار برای تمیز کردن کامل تجهیزاتی که برای انتقال به یک هود آزمایشگاهی استاندارد بیش از حد بزرگ هستند به کار گرفته میشود. بنابراین مانع از مواجهه کارگر با خطرات احتمالی در حین تعمیر قطعات راکتور میشود .فرایند تولید صنعتی محصور شده نانو لوله های کربنی تک جداره در یک اتاق جدا از دیگر بخش های این مرکز قرار داده شده است و در آن از یک سیستم تهویه جداگانه استفاده شده است. انتشار بالقوه نانولوله در این محیط کاری محصور شده در طی جمع آوری محصول بسته بندی، تمیز کردن تجهیزات، و تعمیر و نگهداری راکتور صورت می گیرد.  **تهویه عمومی و موضعی**  امکان انتشار نانوذرات در هوا در فرآیندها یا عملیات خاص وجود دارد. همچنین، انتشار نانوذرات در هوا در طی فرایندهای تولید رو باز ،انتقال، مخلوط کردن، جمع آوری، بسته بندی یا توزین نانوذرات خشک قابل پیش بینی است. و اقدامات کنترلی ضروری به نظر میرسد. در تمام این فرایندها که در آن محصور کردن کل موقعیت غیر ممکن است استفاده از سیستم LEV یا تهویه مکشی موضعی برای تهویه مناسب و حذف آلاینده ها در یک محفظه و یا در منبع بهترین روش برای کنترل آلودگی است. بسیاری از سیستمهای LEV از جمله هود ثابت و متحرک، میزهای مجهز به مکنده، قیفهای مکنده و داکت ، برای این منظور در دسترس می باشند. از این رو تمامی سیستمهای LEV که برای گازها، بخارات و یا ذرات بسیار ریز کارآمد هستند باید برای نانوذرات مهندسی شده نیز کارایی لازم را داشته باشند تا ضمن حافظت از کارگران، از پراکندگی ذرات معلق در هوای محل کار اجتناب شود.  روشهای به دام انداختن نانوذرات در منبع شامل:  نصب LEV در نزدیکترین فاصله ممکن از منبع انتشار  تنظیم سرعت به دام انداختن حداکثر نانوموادی که از فرآیند منتشر شده اند با توجه به رفتار انها.  حذف نانو ذرات معلق در هوا با استفاده از فیلترهای تصفیه هوا با راندمان بالا (فیلتر هپا)،قبل از اینکه وارد محیط زیست شوند.  تمیز کردن و تعمیر سیستمهای تهویه به طور منظم  سه نوع هود شیمیایی آزمایشگاهی معرفی شده توسط NIOSH عبارتند از: هود جریان ثابت، هود بای پس و هود با سرعت ثابت. علاوه بر این کلاسهای ۱ ۲ و ۳ کابینت ایمنی زیستی (BSC) نیز نوع دیگری از هودها هستند. از آنجایی که کابینتهای BSC برای کار با میکروارگانیسمهای عفونی طراحی شده اند باید توانایی محافظت مشابهی را در برابر نانومواد داشته باشند.  **کنترل های اداری**  کنترلهای اداری برای تکمیل کنترلهای مهندسی و استفاده کارامد از کنترلهای مهندسی اجرا می شوند. همچنین کنترلهای اداری در زمانی که کنترل مهندسی امکان پذیر نیست و یا خطرات را تا سطح قابل قبولی کاهش نمی دهد استفاده میشوند. با این حال کنترلهای اداری جایگزینی برای کنترل های مهندسی نیستند.  **علامت زنی و برچسب زنی نانومواد**  یکی دیگر از الزامات کار با نانومواد استفاده از علایم و برچسبهای مناسب در محیط کار، شناسایی مواد خطرناک موجود و همچنین تجهیزات حفاظت فردی و کنترلهای مدیریتی ضروری میباشد. تولید کنندگان و فروشندگان مواد شیمیایی نیز موظفند که محصولات حاوی مواد خطرناک تولیدی خود را بطور صحیح برچسب گذاری نمایند. چنانچه ماده ای در همان محیط کار تهیه میشود، تولید کننده موظف به برچسب گذاری میباشد. برچسب باید با الزامات قانونی مطابقت داشته باشد،مثلا برچسب مورد استفاده بر اساس سیستم هماهنگ سازی جهانی (GHS) حاوی آرم تصویری و برچسب مخصوص نانو" نیز میشود. به این ترتیب تمامی راکتورهای حاوی نانوذرات لوله،ها ظروف و یا پسماندهای حاوی ENM ها در داخل یا بیرون از محیطهای کاری نانو باید دارای برچسب مناسب باشند. ظروف موقت حاوی نانو مواد نیز لازم است دارای برچسب مناسب با ذکر نام ماده و عبارات ریسک و ایمنی باشد. حتی ظروفی که نانو مواد آنها ریخته شده و بلافاصله مورد استفاده قرار میگیرند نیز حداقل باید با نام ماده برچسب گذاری شود. افزون بر این برچسبها ممکن است برای کل یا بخشی از فضای یک محیط کار با ENM مثل یک هود آزمایشگاهی یا یک جعبه دستکش دار مورد استفاده قرار گیرند. برچسب زنی باید در تمام چرخه حیات یک نانوماده وجود داشته باشد. این برچسب میتواند حاوی اطلاعات ضروری در مورد خطرات نانوذره مورد نظر و نکات ایمنی لازم باشد.  به طور کلی، یک "برچسب کامل" باید دارای خصوصیات زیر باشد:  مشخصات ماده مانند نام، نام تجاری و نام شیمیایی ماده  اجزای تشکیل دهنده ماده  کلماتی که نشانگر شدت خطر هستند مانند سمی، خطرناک  کد گروه بندی و عدد UN ماده مربوطه که نشان دهنده خطر اصلی آن ماده است.  عبارات خطر که توصیف کلی از خطرات ماده میباشد مانند سمی در صورت بلعیده شدن  عبارات ایمنی که فراهم کننده جزئیات نگهداری جابجایی و نحوه حفاظت فردی است مانند دور از حرارت نگهداری کنید.  دستورالعمل استفاده ایمن شامل روشها و مقادیر صحیح مثلاً نحوه مخلوط سازی وغيره.  عبارات کمکهای اولیه برای مواردی که نیازمند اقدام اضطراری و درمان فوری هستند مانند در مواقع تماس چشمی فوراً با آب بشوئید.  اقدامات اضطراری مثلاً جزئیاتی برای کنترل ریخت و پاش، نشتی و یا آتش سوزی مشخصات سازنده ماده شامل نام ،کمپانی آدرس و شماره تلفن  ارجاع دادن به برگه اطلاعات ایمنی (SDS) ماده مورد نظر برای اطلاعات کاملتر  **تجهیزات حفاظت فردی**  تجهیزات حفاظت فردی (PPE) مورد نیاز برای انجام فعالیتهای ویژه باید با در نظر گرفتن میزان برآورد شده ریسک و مقدار حفاظت مورد نظر، انتخاب و استفاده شوند. از جمله کارهایی که استفاده از تجهیزات حفاظت فردی در آنها میتواند ضروری باشد شامل محل کار و تعمیر، نگهداری و پاکسازی تجهیزات، نمونه برداری و کنترل کیفی می باشد. همچنین در تمام شرایطی که احتمال حضور نانومواد آزاد به صورت ذرات معلق در هوا و یا به صورت ائروسل مایع یا جامد وجود داشته باشد، استفاده ازتجهیزات حفاظت فردی ضروری است.  تحقیقات انجام گرفته نشان میدهند که مسیر اصلی مواجهه با نانومواد تماس پوستی است و در مرحله بعد استنشاق مهمترین عامل مواجهه با نانوذرات میباشد. تجهیزات حفاظت از پوست (لباس، دستکش و ...) باید با وجود حداکثر راحتی در استفاده درجه بالایی از حفاظت در برابر نانومواد و سایر مواد شیمیایی را فراهم نمایند. از آنجا که نانومواد میتوانند از طریق فضاهای بسیار کوچک نفوذ کنند، استفاده از پوششهای غیر پنبه ای توصیه می شود. روپوشهای آزمایشگاه معمولی که از پنبه بافته شده اند محافظ مناسبی برای پوست در مقابل نانوذرات مهندسی شده محسوب نمیشوند. در عوض توصیه میشود از روپوش بلند که در قسمت گردن مچ دست و مچ پا محکم بسته شده، پیش بند، یا پوششهای کفش از جنس مواد غیر قابل نفوذ در مقابل گاز مانند مانند تایوک (نوعی پلی اتیلن) استفاده نمایند. دستکشی که انتخاب میشود باید در برابر مواد شیمیایی مورد استفاده شامل نانومواد و حلالها مقاوم باشد برخی از مطالعات نشان میدهد که بخشی از نانومواد میتوانند از برخی دستکشها نیز نفوذ کنند. بنابراین برخی از متخصصان توصیه به پوشیدن دو جفت دستکش در هنگام کار طولانی مدت با نانومواد می نمایند. "برنامه مدیریت دستکش باید با توجه به نوع کار یا فرایند میزان مواجهه، نوع دستکش، آموزش استفاده از دستکش، نگهداری از دستکش و دفع اصولی دستکشهای استفاده شده، توسعه یافته و اجرا شود. با اینکه تجهیزات حفاظت از پوست باید در تمام زمان کار با نانومواد استفاده شوند، حفاظت تنفسی نیز باید به عنوان آخرین راه حل در مواقعی که کنترل مهندسی و اداری برای محافظت از کارگران کافی نیست استفاده شود. این نوع از حفاظت در زمان تعمیر و نگهداری و یا پاکسازی عملیات نشت راکتور شرایط اضطراری و یا زمانی که تدابیر کنترل مهندسی هنوز تکمیل نشده است ضروری می باشد.  پوشیدن ماسک نیاز به توسعه و پیاده سازی یک برنامه حفاظت تنفسی دارد که شامل، آموزش و آزمون تناسب است. با این حال این اقدامات هرگز نباید جایگزین کنترلهای مهندسی و اداری شوند. بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی کارامدی فیلترها و ماسکها در برابر نانومواد را گزارش کرده اند. نافذ ترین اندازه ذرات برای فیلتر غیر باردار در حدود ۳۰۰ نانومتر و برای نوع باردار الکترواستاتیک ۸۰-۴۰ نانومتر بسته به نوع مواد مورد استفاده برای تصفیه، ماهیت نانوذرات، جریان هوا، دما و فشار، چسبندگی فیلتر- ذرات و منافذ فیلتر میباشد.  **مدیریت ایمنی نانومواد**  با توجه به مساحت سطح ویژه زیاد، برخی از انواع نانومواد در صورتی که به درستی استفاده نشوند، به راحتی میتوانند مشتعل شده و بسوزند. اقدامات احتیاطی زیادی میتوانند برای مدیریت خطرات ناشی از آتش سوزی ،انفجار و یا واکنش کاتالیزوری کنترل نشده صورت گیرند. به عنوان مثال میتوان کاهش غلظت نانومواد را در صورت امکان به کمتر از ۲۵ درصد از حد اشتعال پذیری، کاهش غلظت اکسید کننده ها، کنترل منابع بالقوه ایجاد جرقه، طراحی و استفاده از تجهیزات ضد انفجار، جلوگیری از تجمع و رسوب ذرات در محل کار، استفاده از تجهیزات مکانیکی و الکتریکی هوابندی شده، جلوگیری از انتشار ذرات از ظروف در باز، تمیز نگه داشتن محل کار، ایزوله کردن عملیات خطرناک هواکشهای ضد انفجار در تجهیزات و ساختمانها، ذخیره نانومواد در ظروف در بسته، کار با نانومواد در مدارهای بسته و قرار دادن تمام تجهیزات بر روی زمین را نام برد.  **مقررات شغلی**  مطالعات نانو سم شناسی به دلایل مختلف هنوز با دشواری هایی مواجه است. برخی از موادی که حالت معمولی خود سمی نیستند در سطح نانو خواص سمی نشان میدهند و نانوذرات با ویژگیهای مختلف مانند ترکیب شیمیایی و ریخت شناسی مختلف، نتایج متفاوتی در می دهند. با این حال، اگرچه نانوفناوری ممکن است منجر به ایجاد خطراتی شود، ولی به طور بالقوه میتواند تغییرات مثبت وسیعی در جامعه و سلامت انسان داشته باشد اگر چه در بعضی مطالعات ارتباط قابل قبولی بین مواجهه ذرات خاص در مقیاس نانومتری و نشانههای عنوان شده توسط گروه خاصی از مردم به خصوص گروههای کوچکی از کارگران در محلهای مشابه اثبات شده است، اما صدمه ناشی از مواجهه انسان با نانومواد به طور قطعی مشخص نیست قبل از سال ۲۰۰۹، هیچ مورد مستندی از اثرات سوء بهداشتی و یا زیست محیطی که به طور مستقیم به فناوری نانو مربوط باشد وجود ندارد. همانطور که قبلا ذکر ،شد مطالعات اولیه در زمینه نانو سم شناسی نشان داده است که برخی از نانومواد ممکن است اثرات سمی داشته باشند به طور خاص تعدادی از مطالعات، پتانسیل نانولولههای کربنی ((CNT) و نانوالیاف کربنی ((CNF) را در ایجاد اثرات سمی در ریه در مقایسه با آزبست نشان داده اند. در سال ۲۰۱۳ نتایج حاصل از مطالعات حیوانی نشان داد که CNT و CNF ممکن است دارای ریسک تنفسی نیز باشند نانولولههای کربنی و CNFهای ،کوچک استوانه ای دارای ابعاد بزرگ و جزو اشکال کربن هستند که به عنوان نانومواد با نسبت ابعاد بالا " (HARNS) شناخته شده است.  **اصول ایمنی کار و تجهیزات حفاظت فردی در مواجهه با نانومواد**  استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE) آخرین راهکار در مسیر تأمین امنیت و بهداشت شغلی (OHS) است. در واقع کنترلهای مهندسی و اداری که مسئولیت پیشگیری از آسیب و بیماری را بر عهده کارگر قرار نمیدهند بر تجهیزات حفاظت فردی ترجیح داده می.شوند با این حال تجهیزات حفاظت فردی که مانع مؤثری برای نانومواد ،هستند به علت عدم اطمینان در اثر بخشی روشهای کنترل مواجهه در محل کار، باید در دسترس کارگران قرار گیرند. گیرند.  **تجهیزات حفاظت از سیستم تنفسی**  از آنجایی که استنشاق مسیر غالب مواجهه با نانومواد است حفاظت تنفسی در زمینه حفاظت فردی بیشترین اهمیت را دارد نانوذرات با قطر بین ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر میتوانند عمدتا در منطقه آلوئولار ریه ها یافت شوند در حالی که ذرات کوچکتر در دستگاه تنفسی فوقانی به دام می افتند. به محض استنشاق این ذرات ممکن است وارد گردش خون و لنف شده و به اندامهای مختلف بدن برسند. این ذرات همچنین میتوانند از طریق نورونها به مغز منتقل شوند .  دو گروه تجهیزات حفاظت تنفسی در برابر مواجهه با ذرات وجود دارند گروه اول شامل ماسکهای تصفیه هوا (APR) ،است که شامل ماسکهای صورت، در . سه دسته ( نوع RN و P بر اساس کارایی سه نوع (۹۵، ۹۹ و (۱۰۰) بر اساس حداقل راندمان فیلتراسیون به ترتیب ۹۵، ۹۹ و شوند فیلترهای سری N را میتوان برای ذرات غیر روغنی و بدون محدودیت زمانی استفاده نمود. فیلترهای سری R و P نیز ماسکهایی با فیلترهای مقاوم در برابر ذرات روغنی یا فیلترهای عایق روغن را شامل می.شوند فیلترهای R برای یک شیفت کاری قابل استفاده هستند.  D1." 1 مکانیسم های جمع آوری ذرات توسط فیلترها و میزان بازده آنها به طور عمده مربوط به فیلترهای مکانیکی است و تحت تأثیر اندازه ذرات قرار میگیرد. ذرات بزرگتر از nm ۳۰۰ با بیشترین بازده به وسیله مکانیسمهای برخورد جداسازی و ته نشینی ثقلی جمع آوری می شوند. در ذرات کمتر از nm ۱۰۰ مهمترین ،مکانیسم مکانیسم انتشار براونی میباشد با توجه به این مکانیسم با افزایش حرکات تصادفی ناشی از توزیع براونی و کاهش اندازه ،ذره بازده فیلتر افزایش می یابد. به همین دلیل فیلترها جمع کنندههای خوبی برای نانو ذرات خواهند بود با این وجود در ذرات بين nm ۳۰۰ - ۱۰۰ با توجه به نقش بسیار ضعیف این مکانیسمها پائینترین میزان بازده وجود دارد. بنابراین افزایش بازده در این طیف به عواملی مانند جنس فیلتر و میزان جریان عبوری از آن بستگی خواهد داشت .  تحقیقات نشان داده است که عوامل متعددی بر راندمان فیلترهای نانوذرات تاثیر دارند . اول، اندازه نانوذره ای که بیشترین نفوذ را دارد MPPS) و میتواند بسته به نوع و ویژگیهای فیلتر به طور گسترده ای تغییر .نماید به طور خاص مقدار MPPS برای فیلتر الکترت به طور معمول در ماسکهای 95 در محدوده ۳۰-۷۰ نانومتر است در حالی که فیلترهای مکانیکی مقدار MPPS در حدود ۳۰۰ نانومتر را نشان میدهند .  پارامترهای دیگری که نفوذ نانوذرات از طریق فیلتر و ماسک را تحت تأثیر قرار میدهد مربوط به  ویژگیهای ذرات مانند ،بار شکل ،نوع اندازه و توزیع اندازه می.باشد مطالعات نشان می دهد که راندمان فیلتراسیون برای فیلتر با الیاف شیشه ای در مقابل نانوذرات NaCl با ابعاد nm ۲-۱۰۰ از ذرات باردار به ذرات خنثی و بی بار کاهش می یابد این اثر مربوط به سایر مکانیزمهای فیلتراسیون، یعنی جاذبه کولمبیک است.  پارامتر دیگری که راندمان فیلترهای نانوذرات را تحت تاثیر قرار می دهد، شرایط استفاده است . الیاف1۰ تا PPM 23000عنوان مثال، در حالی که هیچ اثری از رطوبت محیط بین  شیشه ای مشاهده نشده ،است افزایش نفوذ نانوذرات در نتیجه کاهش بار با توجه به رطوبت بازدم در طی تنفس برای فیلتر الکترواستاتیک مشاهده شده است.  **حفاظت پوست**  با این باور رایج که پوست یک سد غیر قابل نفوذ است جذب پوستی نانومواد به مدت طولانی نادیده گرفته شد. در حالی که برخی از مطالعات قابلیتهای پوست را به عنوان یک مسیر جذب نانوذرات نشان داده اند، مخصوصاً زمانی که توسط عوامل مختلفی مانند سایش یا مواجهه با اشعه ماورای بنفش مجروح شده باشد نانوذرات عمدتاً از طریق مسیرهای بین سلولی به لایه شاخی پوست استراتوم کورنئوم) نفوذ کرده و از طریق گردش لنفاوی به صورت وسیعتری توزیع میشوند خلل و فرج فولیکولهای مو و عرق نیز به طور بالقوه احتمال جذب نانوذرات از راه پوست را افزایش میدهند.  تجهیزات حفاظت فردی (PE) مورد استفاده برای حفاظت از پوست در برابر نانومواد عمدتاً شامل روپوش آزمایشگاه، روکش ،کفش هود و دستکش است. از آنجایی که در حال حاضر روش آزمون استاندارد و اختصاصی برای اندازه گیری راندمان پوششهای محافظ و دستکش در مقابل نانومواد هنوز در دسترس نیست، محققان اغلب تلاش میکنند تا روشهای اندازه گیری خود را توسعه دهند. برای مواد قابل نفوذ نسبت به هوا مانند پارچه های مورد استفاده در روپوش آزمایشگاه، این روشها به طور کلی با الهام و یا شبیه به روشهای استاندارد برای تجهیزات حفاظت تنفسی است .  تجهیزات حفاظت فردی ضروری شامل (۱) شلوار بلند، لباس آستین بلند ترجیحاً بافته شده از منسوجات مصنوعی غیر نخی و غیرقابل نفوذ نسبت به هوا (۲) دستکش پلیمری مقاوم در برابر مواد شیمیایی با آستینهای کوتاه تا مچ دست و یا بلند و پوشیدن دو دستکش روی هم در صورت قرار گرفتن در معرض مایعات (۳) کفش جلوبسته و یا استفاده از پوشش کفش (۴) عینک با محفاظ کناری و (۵) ماسک با فیلتر فشار مثبت 3 / P100 و یا دارای سیستم تهویه هوا می باشد .  باید توجه داشت که ماسک گرد و غبار برای حفاظت تنفسی در برابر نانوذرات مناسب نیست. همچنین، نوع دستکش باید بر اساس مقاومت آن در مقابل مواد شیمیایی به کار گرفته شود و برای فرایند مورد استفاده و شرایط دمایی آن مناسب باشد انتخاب دستکش نامناسب می تواند منجر به نفوذ مواد شیمیایی از دستکش و مواجهه فرد با نانو مواد شود ،لباس و به خصوص دستکش، باید به طور متناوب تعویض شود .  **خلاصه ای از تدابیر ایمنی لازم در مواجهه با نانوذرات در محیطهای تحقیقاتی و صنعتی**  در مجموع شواهد زیادی وجود دارد که اثرات زیان آور نانوذرات را بر روی سلامتی نشان میدهند. همچنین مدارک زیادی مبنی بر زیان آور بودن استنشاق نانوذرات در محیطهای کاری وجود دارد. بنابراین مراقبتهای لازم باید در مورد بهداشت فردی و ایمنی کارگرانی که در واحدهای تولید مواد نانو کنند و همچنین مصرف کنندگان این مواد برای از بین بردن اثرات زیان آور آن صورت گیرد. به منظور کاهش میزان مواجهه انسان و محیط زیست با نانو ذرات مخاطره آمیز در صورت امکان، باید از مواد و فرآیندهای کم خطرتر استفاده .نمود جایگزینی مواد و فرآیندهای پرخطر با مواد و فرآیندهای کم خطرتر علاوه بر حذف احتمال مواجهه میتواند سبب کاهش یا حذف پسماندها و هزینه های ناشی از دفع یا برطرف نمودن اثرات زیست محیطی .شود به طور کلی افرادی که با محلول های نانو ذرات بدون حفاظت کافی به عنوان مثال (دستکش کار میکنند در معرض خطر تماس ذرات با پوست .هستند مواجهه میتواند در حین عملیات ریختن ،مواد مخلوط کردن یا هم زدن شدید رخ دهد. همچنین هم زدن شدید میتواند منجر به استنشاق ذرات .شود افرادی که مسئول حمل و نقل این مواد هستند و همچنین کسانی که سیستمهای جمع آوری گرد و غبار را تمیز میکنند در معرض خطر نانوذرات از طریق تماس با پوست و استنشاق هستند همانطور که در بخشهای گذشته به تفصیل بحث شد، اغلب تدابیر مواجهه با نانوذرات مشابه دستورالعملهای آزمایشگاههای استاندارد برای استفاده از مواد شیمیایی و گازهای خطرناک است.  **روشهای تمیز کردن نانومواد ریخته شده و پاشیده شده**  بسته به مقدار نانو مواد مورد استفاده هر آزمایشگاه و یا مرکز کار با نانو مواد باید مجهز به کیتهای نشت نانو مواد باشد که شامل نوارهای مانع دستکش نیتریلی، ماسک P۱۰۰ یکبار مصرف مواد جاذب دستمالهای مرطوب کیسه های پلاستیکی بدون منفذ، پادری مکنده مجهز به فیلتر هپا بطری اسپری ،آب برچسب زباله های خطرناک (مطابق با استانداردهای تعریف شده و ظروفی برای زبالههای خطرناک ب) در پوش غیر قابل نشت میباشد .  به منظور جلوگیری از ریخت و پاش نانومواد بهتر است از سامانه انتقال خلاء یا پمپهای پریستالتیک برای انتقال نانو ذرات از یک ظرف یا مخزن به ظرف یا مخزن دیگر استفاده شود.  کلیه سطوح محیط کار از قبیل ،کف ،دیوارها سقف،ها ،درها پله ها، میزها، صندلیها، ماشین آلات و تجهیزات و ابزار باید حداقل در پایان هر شیفت کاری به روش تر و با استفاده از مکندههای دارای فیلتر هپا تمیز .شود روشهای دیگر مانند شستشو با حلال سوزاندن حل کردن به کمک اسید و تمیز کردن به روش پلاسما نیز می توانند برای رفع نانو مواد از روی تجهیزات استفاده شوند. جارو کردن یا گردگیری به روش خشک و استفاده از هوای تحت فشار یا دمنده ها و یا مکندههای (معمولی فاقد فیلترهای ،هپا به دلیل ایجاد مواجهه وسیع برای کارکنان ممنوع می.باشد جهت تمیز کردن محیط کار تمیز کردن به روش تر و استفاده از سیستمهای مکنده مرکزی با فیلترهای هپا ترجیح داده می.شوند. چون موتور الکتریکی  جاروهای الکتریکی ممکن است سبب مشتعل شدن نانومواد قابل اشتعال شود. در صورتی که مقدار نانو مواد ریخته شده کم باشد میتوان از روشهای تر که برای مواد شیمیایی جامد استفاده میشود و جاذبهای مرطوب برای سوسپانسیونها استفاده نمود.  اما زمانی که مقدار نانو ذرات ریخته شده زیاد باشد استفاده از مکنده های مجهز به فیلترهای هپا مناسب تر میباشند.  مکنده های در نظر گرفته شده برای نانومواد باید با برچسب فقط برای نانو مواد علامت گذاری شود.  استفاده از هوای تحت فشار جهت تمیز کردن ریخت و پاش نانومواد ممنوع است.  مواد پودری باید به روش تر و با استفاده از پارچه های مرطوب و نانومواد محلول را استفاده از مواد جاذب تمیز .شود روشهای تمیز کردن تر به کمک صابونها یا روغنهای و تمیز کننده برتری دارد.  در صورت آلوده شدن لباس به نانو مواد سریعاً آن را تعویض کرده و در صورت تماس با پوست محل تماس را ۱۵ الی ۲۰ دقیقه زیر آب نگهداشته و با آب و صابون شسته شود.  توصیه می شود به کارکنانی که در معرض نانو ذرات میباشند یا ذرات نانو را استنشاق نموده اند شیر و شکر تصفیه نشده داده شود چون این مواد دارای خاصیت پروفیلاکتیک در برابر اثرات سمی ذرات نانو هستند.  **دفع پسماندهای آلوده به نانوذرات**  پسماندهای نانو میتوانند شامل نانومواد خالص به عنوان مثال نانولوله های کربنی پاشیده شوند، نانوساختارهایی که به سستی به سطح متصل هستند سوسپانسیونهای مایع حاوی نانومواد بسترهای جامد حاوی نانومواد که میتوانند به راحتی از هـ یا آب به راحتی از روی سطح شسته شوند، یا در معرض نیروهای مکانیکی شکسته شوند، مواد یا وسایل آلوده به نانوذرات مانند دستمال مرطوب فیلترهای مستعمل هپا مواد جاذب مصرف شده، پارچه و کاغذ تجهیزات حفاظت فردی و هر وسیله ای که به طریقی در تماس با نانومواد بوده باشند که تا زمان دستیابی به اطلاعات کامل علمی در زمینه ماهیت و سطح خطرات نانو ،مواد، باید جزء مواد خطرناک در نظر گرفته شده و مطابق با مقررات و استانداردهای موجود برای مواد خطرناک با آنها رفتار شود. بنابراین دفع و انتقال پسماندهای حاوی نانوذرات براساس اصول دفع مواد شیمیایی خطرناک می باشد و هرگز نباید به طور مستقیم در سطل زباله و یا سینک ریخته شوند پسماندهای آلوده به نانو ذرات خطرناک باید در ظروف در بسته، مهر و موم شده و نشکن جمع آوری و برچسب گذاری شوند.  ظروف جمع آوری پسماند نانو مواد تا زمانی که برای دفع آماده شوند باید در زیر هود آزمایشگاهی نگهداری شود. در صورتی که دیگر پسماندی به ظرف مورد نظر اضافه نمیشود باید به طور کامل مهر و موم شود.  **موفق باشید** |  |