**بسمه تعالی**

**عنوان دوره : مخاطرات و اصول ایمنی کار با نانو مواد2**

**آتش سوزی و انفجار نانوپودرها**

انفجار پودرهای ریز یا گرد و غبار در هر فرایند صنعتی که با ذراتی با ابعاد کوچک سروکار دارند، امکان پذیر است. پودرها معمولا به عنوان ذراتی با حداکثر اندازه 1000 میکرومتر تعریف شده اند. در حالی که گرد وغبار ذراتی با ابعاد کمتر از 75 میکرومتر هستند. این تعاریف معمولا در صنعت پودر در مقیاس های بزرگ استفاده می شود. با ظهور نانوذرات و به طور کلی فناوری نانوپودر، قابلیت انفجار ذرات در مقیاس های کوچکتر نیز توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. همان طور که در ادامه توضیح داده خواهد شد، عبارت قابل انفجار برای پودرهایی استفاده می شود که برای ایجاد یک انفجار، به طور همزمان، نیاز به حداقل 5 تا 6 شرط لازم برای انفجار دارند. انفجار پودرها معمولا کمتر از انفجار گازها رخ می دهد زیرا یک گاز معمولا آسانتر از پودر به شرایط انفجار می رسد.

عدم آگاهی در مورد خطرات انفجاری حتی برای توده‌های ریزتر و یا نانو پودرها گسترده‌تر است. با کاهش اندازه‌ی ذرات تشکیل دهنده، رفتار ماده بیشتر به یک گاز قابل انفجار شبیه می‌شود. با این حال مطالعات نشان می‌دهد که انفجار نانو پودر‌ها می‌تواند حتی از بسیاری از گازهایی که به راحتی قادر به انفجار هستند مانند استیلن یا هیدروژن شدیدتر باشد. در همین راستا هر قدر که اندازه‌ی ذرات کاهش می‌یابد حساسیت ذرات به منابع احتراق انفجاری مانند شعله‌های آتش، سطوح داغ، برش، آسیاب و جوشکاری بیشتر می‌شود که دلالت بر ریسک بیشتر نانو پودرها دارد.

زمانی که آتش سوزی یا انفجار رخ می‌دهد محصولات احتراق مانند گازها، مایعات متراکم و یا مواد جامد و در نتیجه پراکندگی ابر سمی حاصل از این مواد می‌توانند برای سلامت انسان و محیط زیست مضر باشند. اثر دوم انتشار آتش و تابش گرمایی است که امواج فشار و حرارت حاصل از آن به ویژه در یک آتش سوزی صنعتی می‌تواند به سرعت تمام تجهیزات فرایند را از بین برده و مناطق مسکونی نزدیک به محل انفجار را تحت تاثیر قرار دهد.

**انفجار معمولا در کجا اتفاق می‌افتد**

حوادث انفجار مواد میکروسکوپی قابل اشتعال در بخش‌های مختلفی از صنعت رخ داده است که از آن جمله می‌توان صنایع تولیدی زیر را نام برد 1 مواد شیمیایی 2 مواد دارویی 3 محصولات کشاورزی 4 ترکیبات فلزی 5 محصولات چوبی 6 پتروشیمی 7 ضایعات.

بر اساس تجارب گذشته بیشتر حوادث انفجار ذرات که منجر به خسارت انسانی و تجهیزات قابل توجه شده است در کارخانجات تولید نشاسته، ذخیره سازی غلات، کارخانجات ذغال سنگ، فلزکاری و کارخانجات تولید آرد رخ داده است. از آنجا که اکثر فرآیندهای تولیدی بالا به پایین نانو پودرها از فناوری‌های مشابه استفاده می‌کنند بنابراین انتظار می‌رود که انفجار نانو پودر قابل اشتعال همواره به عنوان یک خطر بالقوه در نظر گرفته شود. هدف از این بخش شناسایی چنین ریسک‌هایی است.

**انفجار نانو پودر چیست**

انفجار نانو پودر زمانی رخ می‌دهد که نانو ذرات قابل احتراق در اتمسفر حاوی مقادیر کافی از اکسیژن، پراکنده بوده و به وسیله‌ی یک منبع احتراق با انرژی مناسب مشتعل شوند. این انفجار موجب گسترش گازهای داغ می‌شود. انفجار نانو پودر با انفجار گاز تفاوت دارد به این معنا که یک مخلوط از گاز قابل انفجار در حالت راکد می‌تواند منفجر شود در حالی که در مورد پودرها و یا نانو پودرها توانایی ذرات به تجمع و یا ته‌نشین شدن می‌تواند احتمال انفجار را کاهش دهد.

و بنابراین وضعیت برای پودر و نانو پودر پیچیده‌تر از گاز هاست و سرعت انتشار انفجار توسط سرعت شعله‌ی مخلوط هوا/ نانو پودر تعیین می‌شود. اگر سرعت انتشار شعله به سرعت صوت برسد مخلوط می‌تواند منجر به یک موج شوک با فشاری در حدود چند هزار کیلو پاسکال شود. این پدیده معمولا به عنوان انفجار شناخته شده است. اگر سرعت انتشار شعله کمتر از سرعت صوت باشد انفجار به صورت سوختن شدید است و همراه با امواج فشاری می‌باشد که به سختی می‌تواند به حدود 1000 کیلو پاسکال برسد. خسارت ناشی از این حالت به علت پایین‌تر بودن سطوح امواج فشار و سرعت آنها به طور قابل توجهی کمتر از انفجار می‌باشد.

**شرایط لازم برای ایجاد آتش سوزی و انفجار**

**شرایط لازم برای آتش: مثلث آتش**

برای شروع و یا حفظ یک آتش‌سوزی 3 شرط اساسی لازم است که با عنوان مثلث آتش شناخته می‌شود. اگر یکی از این شرایط برآورده نشود آتش سوزی رخ نمی‌دهد این 3 شرط اساسی عبارتند از 1- حضور یک ماده‌ی قابل احتراق (سوخت) و 2- حضور یک اکسیدکننده( اکسیژن یا اکسیدان) 3 – حضوریک منبع احتراق مانند کبریت داغ یا جرقه الکتریکی.

بنابراین برای کاهش خطرات وقوع آتش حذف یکی از عوامل مواد قابل احتراق، محتوای اکسیژن و یا منبع اشتعال کافی است. برای ذخیره سازی مقدار زیادی از مواد قابل احتراق در حضور هوا راه حل سوم یعنی حذف منبع اشتعال ترجیح داده می‌شود.

**شرایط لازم برای انفجار: شش ضلعی**

از آنجایی که یک انفجار می‌تواند به عنوان آتش سوزی سریع مواد معلق در نظر گرفته شود، شرایط لازم برای یک انفجار شامل شرایط ضروری برای تشکیل آتش به همراه چند شرط دیگر می‌باشد. شش شرط یک انفجار معمولا به طور خلاصه با نام شش ضلعی انفجار شناخته می­شود(شکل 5-4)، که عبارتند از:

\* حضور مواد قابل احتراق ( سوخت )

\* حضوریک اکسیدکننده( اکسیژن یا اکسیدان)

\* حضور یک منبع احتراق (مانند کبریت داغ، جرقه‌ی الکتریکی)

\*حضور یک ابر مواد معلق قابل احتراق

\* غلظت مواد جامد این ابر در محدوده‌ قابل انفجار باشد

\* یک فضای محدود

همان طور که دیده می‌شود، یک شرط لازم برای اینکه انفجار رخ دهد، وجود ابری از ذرات معلق در هوا است که غلظتی در محدوده انفجار داشته باشد. این شرط یک تفاوت اصلی انفجار با آتش سوزی است و در این مفهوم، انفجار تنها می‌تواند با ذرات ریزی که به خوبی با هوا مخلوط شده اند اتفاق بیافتد. شرط آخر یعنی فضای محدود اجباری نیست. البته نتایج انفجار محصور شده یا محصور نشده می‌تواند متفاوت باشد.

عوامل موثر بر قابلیت انفجار پودرها عبارتند از:

\* ترکیب شیمیایی

\* اندازه‌ی ذرات

\* رطوبت

\* غلظت اکسیژن

\* حضور پودر بی‌اثر

**تفاوت بین یک آتش‌سوزی و انفجار چیست**؟

تماس مواد قابل احتراق با اکسیژن هوا، در برخی موارد می‌تواند منجر به آتش سوزی و در موارد دیگر منجر به یک انفجار شود. در مورد آتش سوزی، مواد معمولا به صورت درشت( به عنوان مثال، قطعات بزرگی از چوب) هستند و در نتیجه مواد قابل احتراق به خوبی با اکسیژن هوا مخلوط نمی‌شود. انتقال اکسیژن به مواد در حال سخت محدود به میزان انتشار اکسیژن است که این امر سرعت واکنش را محدود می‌کند. بنابراین واکنش‌هایی با سرعت کمتر منجر به آتش سوزی می‌شوند. در حالی که در فضای قابل انفجار وضعیت متفاوت است زیرا مواد قابل احتراق موجود به صورت ذرات ریز پراکنده به خوبی با هوا مخلوط شده و در نتیجه انتقال اکسیژن لازم برای واکنش با ذرات قابل اشتعال افزایش می‌یابد. سرعت بالای واکنش منجر به انبساط حرارتی گاز یا یک انفجار می‌شود.

**چگونگی ایمن سازی تجهیزات تولید نانو پودرها**

به طور کلی تامین امنیت در مقابل انفجار برای دو بخش اصلی تولید و ذخیره سازی نانو پودرها مورد توجه است و اولین اقدام استفاده از روش‌های مناسب برای جلوگیری از انفجار می‌باشد. اقدامات به طور کلی پیشگیری نامیده می‌شوند. دومین دسته از اقدامات در مورد تجهیزات در معرض انفجار صورت می‌گیرد که حفاظت نامیده می‌شود.

**اقدامات پیشگیری از انفجار نانو پودرها**

چندین روش می‌تواند برای پیشگیری از انفجار نانو پودرها به کار گرفته شود که به طور خلاصه عبارتند از: اجتناب از نانوذرات قابل احتراق هوابرد، حذف منابع احتراق و استفاده از گازهای بی‌اثر. معمولا به عنوان یک راه حل ارجح در نظر گرفته می‌شود، اما استفاده از آن به صورت مداوم و در کارخانجات بزرگ از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

**ساخت یک فضای عاری از نانو ذرات و یا کاهش غلظت آنها**

اگر بتوان تمام نانوذرات قابل احتراق هوابرد را از فاز گازی حذف نمود فضا و یا فرایند ذاتا ایمنی به دست خواهد آمد این شرایط در صورت استفاده از یک فرآیند مرطوب به جای روش خشک ایجاد خواهد شد.

**حذف منابع جرقه** حذف منابع احتراق نانوذرات مانند شعله‌ی حرارت مستقیم، رشته‌های سیمی ملتهب، سطوح داغ، جرقه‌های الکترواستاتیک، برق و اصطکاک، گرم شدن خود به خودی، و نور برای جلوگیری از انفجار ضروری است.

**اقدامات حفاظتی در مقابل انفجار نانو پودرها**

روش محافظت در برابر انفجار نانو پودرها شامل مهار انفجار، جداسازی انفجار، توقف انفجار و دریچه‌ی ضد انفجار است.

با توجه به اینکه شدت انفجار نانوذرات معمولا بیشتر از همان مواد در اندازه‌های بزرگتر میکرو می‌باشد درک پدیده‌ی انفجار نانو پودرها و ارائه‌ی سیستم‌های پیشگیری و حفاظت در حال حاضر چندان رضایت بخش نیست. اولین مجموعه‌ی آزمایش‌های انفجار نانو پودرها به وسیله‌ی موسسه‌ی ملی محیط زیست و خطرات صنعتی فرانسه انجام شده است. متاسفانه بیشتر مطالعات و چشم‌اندازهای موجود در مورد ایمنی نانو مواد مربوط به پژوهش‌ها در زمینه‌ی سم‌شناسی، زیست محیطی و دغدغه‌های اجتماعی می‌باشد. بنابراین با توجه به سرعت توسعه‌ی نانو فناوری در زمینه‌های مختلف ضرورت توجه به مخاطرات ممکن در مورد آتش‌سوزی و انفجار نانو مواد و ارائه‌ی راه حل‌های کلیدی و روش‌های کارآمد و ایمن برای تولید کنندگان و کاربران نانو مواد احساس می‌شود.

**فصل دوم**

**ایمنی فناوری نانو در صنایع مختلف**

کاربرد فناوری نانو در صنایع مختلف از جمله‌ی صنایع خودرو، ساخت و ساز، انرژی، پزشکی هوافضا و نظامی کشاورزی و مواد غذایی الکترونیک و مخابرات، دریایی، نفت و پتروشیمی و بسیاری از صنایع دیگر در حال گسترش است. در این فصل ملاحظات ملاحظات ایمنی مربوط به فناوری نانو در بعضی از صنایع به عنوان نمونه آمده است.

**ایمنی فناوری نانو در صنعت خودرو**

از جمله کاربردهای این فناوری در صنعت خودرو عبارتند از

1 - پوشش‌های خود تمیز شونده مقاوم در برابر خراش و سایش، ضد یو وی، ضد خوردگی و مه‌گرفتگی.

2- ایجاد خواصی نظیر حفاظت حرارتی، استحکام بالا، سختی زیاد، هدایت الکتریکی بالا، وزن کم، کاهش صدا، عمر طولانی‌تر قطعات و اجزا و خروج کمتر هوا از تایرها با استفاده از مواد نانوساختار یا نانو کامپوزیت، نانو روس‌ها و نانو پوسته‌های گرافن.

3- تولید و ذخیره‌ی انرژی بر پایه‌ی فناوری نانو، پیل‌های سوختی، سلول‌های خورشیدی، کاتالیست‌ها و باطری‌ها 4- سنسورهای الکترونیکی، سنسورهای حرکتی، سنسور کیسه‌ی هوا

5 -سیالات و روان سازهای دارای نانوذرات پراکنده جهت کاهش ارتعاشات

**ملاحظات بهداشتی نانو مواد در صنعت خودرو**

3 راه اصلی برای ورود نانو ذرات معلق نظیر نانو ذره‌ها، نانولوله‌ها، نانو سیم‌ها، نانو کره‌ها، نانو پوسته‌ها و غیره به بدن انسان وجود دارد که عبارتند از: استنشاق و ورود به سیستم تنفسی، جذب از طریق پوست، و بلع و ورود به دستگاه گوارش. در محل کار در صنعت خودرو هر 3 مسیر ورود آلاینده‌ها می‌توانند وجود داشته باشند.

ثابت شده است که نانو موادی نظیر نانولوله‌های کربنی برای بافت‌ها و DNA سلول سمی هستند و باعث افزایش استرس اکسیداتیو، تولید سیتوکین‌های التهابی و مرگ سلول می‌شوند. به علاوه جذب پوستی نانوذرات به ویژه از پوست صدمه دیده باعث ورود این مواد به سیستم گردش خون می‌شود. بلع نانو مواد در محل کار می‌تواند ناشی از تماس ناخواسته‌ی دست با دهان یا مصرف غذاها و نوشیدنی‌های آلوده باشد. در صورتی که کارگران از نانو مواد حاوی روان کننده‌ها استفاده کنند بدون اینکه دست‌های خود را با دقت شست و شو دهند ورود این مواد به دهان ممکن است اتفاق بیفتد. اگر چه اثرات نامطلوب بلع نانو مواد به خوبی شناخته شده نیست بعضی مطالعات نشان داده‌اند که نانوذرات در کبد، طحال و کلیه‌ها انباشته می‌شوند و ممکن است سبب آسیب دائمی کبد، بیماری کرون و سایر بیماری‌ها شوند.

**روش‌های حفاظت**

پوست معمولا با لباس و دستکش محافظت می‌شود. در طی فعالیت‌هایی که امکان تماس زیاد با نانو مواد وجود دارد استفاده از پوشش‌های پلاستیکی که تمام لباس‌های بدن را بپوشاند توصیه می‌شود. دستکش‌های یکبار مصرف و نیتریل باید به اندازه‌ی کافی بلند باشند تا از مواجهه‌ی مچ دست جلوگیری کنند. استفاده از کفش‌های آنتی استاتیک برای جلوگیری از هرگونه جرقه زنی توسط بار الکتریکی ساکن و نیز جلوگیری از ورود و خروج مواد چسبنده در محیط کار ضروری می‌باشد. دستکش‌های نیتریتل یکبار مصرف و تا مچ دست و همچنین روپوش آزمایشگاه و آستین بلند در هنگام کار با نانو مواد باید پوشیده شود. دستکش ها باید هر چند وقت یکبار عوض شوند. برای محدود کردن خطر حمل و نقل نانوذرات و آلودگی به خانه‌های کارگران توصیه می‌شود که لباس کار در یک مرکز مشخص شسته شود.

**ایمنی فناوری نانو در صنعت پزشکی**

در حال حاضر کاربرد نانو مواد مهندسی شده در درمان، تشخیص، ایمپلنت‌ها و دارورسانی به سرعت در حال گسترش است. در زمینه‌ی دارو رسانی نانوذرات ظرفیت قابل ملاحظه‌ای در کاهش سمیت و عوارض جانبی داروهای قوی و انتقال دارو به مناطق مورد هدف نشان داده‌اند. در روش‌های تشخیصی خواص منحصر به فرد ذرات نانو مقیاس باعث بهبود تصویربرداری از جزئیات شده است. با این حال اگر چه نانو مواد دارای مزایای زیادی هستند به عنوان باقیمانده‌های حاصل از تشخیص،سیستم‌های تحویل دارو و یا باقیمانده‌های حاصل از سایش‌های مکانیکی ممکن است خود خطرات پیش‌بینی نشده‌ای را به بیمار تحمیل کند. علاوه بر این افرادی که در صنایع تولید این مواد کار می‌کنند در معرض خطر هستند.

**مخاطرات همراه با کاربرد نانو مواد در صنعت پزشکی**

ایمپلنت‌های پزشکی که به طور مثال به عنوان مفصل در بدن مورد استفاده قرار می‌گیرند با گذشت زمان دستخوش سایش مکانیکی می‌شوند. این مسئله علاوه بر ناراحتی و التهاب ناشی از تجمع ذرات ساییده شده باعث شل شدن ایمپلنت، صدمه و از کار انداختن مفصل و حتی قطع عضو می‌شود. اگر چه مواد مهندسی شده‌ی مقاوم در برابر سایش از استحکام و قابلیت بالاتری برخوردارند اما دارای ذرات یا بلورهای با اندازه‌ی نانو هستند و این در صورتی که سایش اتفاق بیفتد می‌تواند باعث ورود نانو مواد به بدن شود. در این صورت اگر چه التهاب کم می‌شود اما امکان آسیب‌های قلبی-عروقی یا واکنش‌های خود ایمنی وجود خواهد داشت. مشخص نیست موادی که در اندازه‌ی بزرگی سازگار هستند در مقیاس نانو که سایر خصوصیات شان تغییر می‌کند نیز بی ضرر باشد.

کاربرد دیگر فناوری نانو در پزشکی در ساخت هیدروژل‌های پلیمری ست که با جذب آب متورم می‌شوند. مواد زیستی برای کاربرد در داربست بافت، احاطه کردن سلول، دارورسانی، پانسمان زخم و لنز‌های تماسی بسیار ایده‌آل هستند. این مواد معمولا دارای تخلخل و قابلیت نفوذ پذیری نسبت به اکسیژن هستند و سمیت کمی دارند. اما تحرک و نفوذپذیری بالای این مواد نیز می‌تواند نگران کننده باشد. علاوه بر این پلیمرهای تجزیه شده شامل مواد شیمیایی مختلفی هستند که در مقیاس نانو می‌توانند مضر باشند. برای مثال استفاده از هیدروژل‌ها در مواد آرایشی و بهداشتی در بسیاری از کشورها متوقف شده است. اگرچه هنوز مضرات این مواد با قطعیت مشخص نشده است اما نمی‌توان گفت که اثرات بلند مدت این مواد چه خواهد بود.

کاربرد دارورسانی هدفمند در تشخیص پیشگیری و درمان سرطان بسیار امیدوار کننده بوده است. نانو ذراتی که به عنوان حامل‌های دارویی به کار می‌روند ممکن است به عوارض جانبی سمی و افزایش قدرت تمرکز مواد شیمیایی مورد استفاده برای هدف قرار دادن سلول‌های سرطانی کمک کنند، اما همین خواص فعال نظیر تحرک بالا، نسبت سطح به جرم بزرگ و توانایی نفوذ از سدهای مختلف سلولی ممکن است اثرات مضر این حامل‌ها را افزایش دهد. عوارض مشاهده شده در مطالعات آزمایشگاهی بر روی حیوانات شامل استرس اکسیداتیو و تولید رادیکال روی سطح نانوذرات است.

علاوه بر سه مسیر اصلی ورود نانو مواد به بدن شامل استنشاق تصادفی، جذب پوستی و بلع در کاربردهای زیست‌پزشکی راههای ورود دیگری نظیر تزریق عمدی یا کاشت ایمپلنت در بدن وجود دارند. نانو مواد با هر کدام از این روش‌ها می‌توانند از سد خونی- مغزی عبور کنند. هر کدام از این روش‌ها مجموعه‌ای از بیماری‌های متفاوت را موجب خواهند شد. استنشاق نانوذرات می‌تواند باعث ایجاد یا تشدید برونشیت، آسم، آمفیزم، سرطان ریه و بیماری‌های مغز و اعصاب مانند پارکینسون و آلزایمر شود. بلع و ورود به دستگاه گوارش با سرطان روده‌ی بزرگ و بیماری کرون ارتباط دارد. ورود بعضی از انواع نانوذرات به غدد لنفاوی و یا سیستم گردش خون می‌تواند منجر به بروز ترومبوز، تصلب شرایین و بیماری‌های قلبی یا مشکلات اندام‌های دیگر مانند طحال و کبد، بیماری‌های خود ایمنی مانند آرتریت روماتوئید، اسکلرودرمی و لوپوس شود. عنصر مشترک در تمام این موارد التهاب است که واسطه یا تشدید کننده‌ی استرس اکسیداتیو می‌باشد. نانوذرات می‌توانند گونه‌های اکسیژن فعال ایجاد کنند که باعث تغییر غلظت کلسیم پراکسیداز، چربی‌ها، القای تولید سایتو کین تخریب DNA و فعال سازی فاکتورهای رونویسی ژنتیکی شوند.

**ملاحظات ایمنی نانو مواد در صنعت پزشکی**

نفوذ و تحرک نانوذرات نحوه‌ی توزیع ذرات و داروها را در بدن تغییر خواهد داد. برای سیستم‌های دارورسانی به طور قطع امکان عبور از سد خونی- مغزی وجود خواهد داشت اما مشخص نیست که ترسیب حامل‌های نانوذرات در این محل‌ها بدون عوارض باشد. لازم است که تحقیقات جدیدی در مورد شناخت اثرات دارو و ردیابی نانوذرات هم در اندام‌ها و هم در سطح سلولی صورت گیرد زیرا نتایج و داده‌هایی که در حال حاضر موجود هستند قابل تعمیم نمی‌باشند.

**ایمنی فناوری نانو در صنایع غذایی**

مواد نانو مقیاس در غذاها می‌توانند به صورت طبیعی وجود داشته باشند یا به آن افزوده شوند. اغلب مواد غذایی و محصولات گیاهی و جانوری به طور طبیعی از نانو مواد تشکیل شده‌اند به عنوان مثال یک مولکول DNA با عرض 5/2 نانومتر یک نانو ماده است. اجزای اصلی تشکیل دهنده‌ی شیر مانند میسل‌های کازئین، پروتئین و لاکتوز با ابعاد نیم تا 300 نانومتر نیز نانو ماده محسوب می‌شوند. علاوه بر این امروزه نانو مواد برای کاربردهای مختلف در صنایع غذایی گسترش پیدا کرده‌اند. از جمله در سیستم‌های انتقال مواد مغذی و زیست فعال بهبود بافت و عطر و طعم مواد غذایی، بهبود کنترل میکروبیولوژیکی، بهبود فرآوری مواد غذایی، بسته بندی و در حسگرهای زیستی بسیار حساس که می‌توانند برای شناسایی عوامل بیماری‌زا، عوامل آلرژی‌زا و آلودگی‌ها که بر کیفیت و سلامت مواد غذایی تاثیر می‌گذارند مورد استفاده قرار گیرد.

**کاربردها**

در فرآوری مواد غذایی فناوری نانو در طراحی فیلتر غشا و رآکتور مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از نانومواد خواص مواد مغذی و انتقال مواد فعال زیستی در غذاها بهبود می‌یابد. از آن جمله می‌توان رهایش کنترل شده‌ی مواد (با هیدروژل‌ها بر پایه‌ی پلیمرهای زیستی یا کپسول کردن مولکول‌های فعال)، کاهش بر هم کنش بین مواد در درون یک سیستم غذایی، بهبود پراکندگی و تعلیق مواد نامحلول در آب با استفاده از لیپوزوم ها، نانو امولسیونها و بهبود پایداری را نام برد. از کاربردهای مهم نانو فناوری در صنایع غذایی تولید مواد ضد میکروب است. دو روش در استفاده از فناوری نانو برای توسعه‌ی مواد ضد میکروب وجود دارد اول افزایش فعالیت یک ترکیب ضد میکروب با کوچک کردن ابعاد آن و دوم افزایش اثربخشی مواد ضد میکروب موجود با بهبود هدف گیری در درون سیستم مواد غذایی.

برخی از پاتوژن‌های مواد غذایی به طور موثر توسط نانو مواد قابل از بین رفتن هستند. اکسید منگنز، اکسید روی و نانو ذرات نقره نمونه‌هایی از ذرات فعال با خواص ضد میکروبی برای بسته‌بندی می‌باشند. در بین این مواد نانو نقره بیشترین توجه را در صنایع غذایی برای استفاده در ظروف بسته‌بندی و نگهداری مواد غذایی دریافت کرده است. نانو کپسوله کردن مواد ضد میکروب می‌تواند غلظت موثر این مواد را در مناطقی از سیستم غذایی که در آن میکروارگانیسم‌های هدف وجود دارند مانند فازهای غنی از آب و یا در سطح مشترک جامد و مایع افزایش دهد.

کاربردهای نانو مواد در بسته بندی مواد غذایی عبارتند از بسته بندی با عملکرد بالا با خواص مکانیکی و نگهداری افزایش یافته، بسته‌بندی با خاصیت ضد میکروبی و حاوی نانوذرات ضد میکروب(به عنوان مثال نانوذرات نقره)، فناوری بسته‌بندی هوشمند که می‌تواند از فساد مواد غذایی جلوگیری کند.

**ملاحظات ایمنی کار با نانو مواد در صنایع غذایی**

در صنایع غذایی مواجهه با نانو مواد در برخی مواقع آگاهانه صورت می‌گیرد، نظیر نانو امولسیون یا کپسوله کردن مواد غذایی فعال یا پوشش‌های خوراکی. در سایر موارد این مواجهه می‌تواند ناخواسته باشد نظیر نانو مواد موجود در آفت‌کش‌ها یا بسته‌بندی‌ها. میزان مواجهه بستگی به نوع کاربرد نانو مواد در صنایع غذایی دارد برای مثال اگر نانو کامپوزیت‌های مورد استفاده در بسته‌بندی با لایه‌ای از مواد دیگر پوشانده شوند احتمال ورود نانو مواد به مواد غذایی مورد مصرف بسیار پایین خواهد بود. در مقابل استفاده از نانو مواد به عنوان حامل‌های مواد مغذی یا ترکیبات فعال زیستی بسته به میزان غلظت آنها در مواد غذایی می‌تواند سبب مواجهه‌ی نسبتا زیادی شود. البته در این حالت معمولا از مواد بی‌خطر و غیرسمی نظیر چربی‌ها، پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها استفاده می‌شود.

در مورد نانوذرات باید جذب گوارشی و اثرات جانبی محتمل حتما مورد توجه قرار گیرد. نانوذرات در صورت تجمع در بافت‌ها در غلظت‌های زیاد می‌توانند اثرات جدی بر سلامتی داشته باشند و باعث عملکرد نادرست و یا تخریب بافت شوند.

نانو لوله‌های کربنی یکی از انواع آلوتروپهای کربن هستند. در یک نانو لوله‌ی کربنی اتم‌های کربن در ساختاری استوانه‌ای آرایش یافته‌اند. آرایش اتم‌های کربن در دیواره‌ی این ساختار استوانه‌ای دقیقا مشابه آرایش کربن در صفحات گرافیت است. قطر نانو لوله‌های کربنی بین 1 تا 2 نانومتر و طول آن‌ها گاه تا چند میکرومتر نیز می‌رسد. نانو لوله‌های کربنی به دو دسته‌ی کلی نانو لوله‌های کربنی تک دیواره و چنددیواره تقسیم می‌شوند. از زمان کشف این ساختارها در سال 1991 علاقه‌ی جوامع علمی و صنعتی به استفاده از آنها به طور چشمگیری افزایش یافته است. از جمله خواص این مواد هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، مقاومت مکانیکی زیاد، دانسیته‌ی کم و رسانایی تنظیم پذیر است، که آنها را برای استفاده در صنایع مختلف نظیر الکترونیک، دستگاه‌های ذخیره کننده‌ی انرژی، سلول‌های خورشیدی، حسگرها و به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت‌ها مطلوب می‌سازد.

نظر به اینکه نانولوله‌های کربنی قادر هستند به سرعت از غشاهای سلولی عبور کنند کاربرد آنها به عنوان نانو حامل‌های دارویی و زیستی در پزشکی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این مواد هم چنین قابلیت استفاده در ساخت بافت‌های مصنوعی، استخوانی و عصبی را دارند. نانو لوله‌های کربنی به خاطر خواص بی نظیرشان از جمله نسبت سطح به حجم بالا و قدرت استحکام زیاد می‌تواند به عنوان یک داربست مناسب برای رشد سلول‌ها مطلوب گردند. در کنار ویژگی‌ها و کاربردهای گوناگون نانو لوله‌های کربنی نگرانی‌هایی مبنی بر اثرات سمی این مواد وجود دارد. یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها درباره‌ی نانولوله‌ها در سال 2008 مطرح شد که به موجب آن این ساختارها می‌توانند باعث بروز سرطان شوند. نتایج برخی آزمایشات نشان داد که اگر این ساختارها به صورت اصلاح نشده به بدن موش تزریق شوند این نانولوله‌ها موجب نوعی پاسخ غیر معمول در بدن می‌شود. پاسخی که شباهت بسیاری به عکس‌العمل بدن در هنگام مواجهه با آزبست دارد. با این حال به دلیل وجود انواع مختلفی از نانو لوله‌ها یک نتیجه‌گیری کلی در مورد سمیت آنها وجود ندارد. تحقیقات نشان می‌دهند که اگر نانو لوله‌های کربنی اصلاح فیزیکی و شیمیایی شوند دیگر سمی نخواهند بود. البته هر نوع اصلاح شیمیایی موجب از بین رفتن سمیت نانولوله‌ها نمی‌شود.

نانو لوله‌ها دارای استحکام بالا و هادی جریان الکتریسیته و گرما می‌باشند. این خواص سبب استفاده از این مواد در صنعت الکترونیک شده است. نانو لوله‌های کربنی فلزی رسانای الکتریسیته بسیار خوبی هستند. نانو لوله‌های کربنی نیمه هادی جایگزین‌های بسیار خوبی برای سیلیس در دستگاه‌های الکترونیکی به شمار می‌روند. کامپوزیت‌های نانولوله‌های کربنی دارای استحکام بیشتری نسبت به سایر کامپوزیت‌ها هستند. خود این ساختارها در کامپوزیت‌ها به دلیل استحکام کششی بالا مانع مصرف الیاف کربنی در کامپوزیت‌ها خواهد شد. استفاده از نانو لوله‌های کربنی در کامپوزیت‌هایی با ساختار پلیمری به خاطر جذب بالای انرژی طی رفتار انعطاف‌پذیر الاستیک آنها میزان استحکام کامپوزیت را افزایش می‌دهد. مهمترین استفاده از نانولوله‌های کربنی در زیست پزشکی شامل کاربرد آنها در حسگرهای زیستی، حامل‌های مولکولی، اندازه‌گیری الکتروشیمیایی نمونه‌های زیستی، داربست بافتی، فرستنده‌ی سیگنال به سلول‌ها و روش‌های تشخیصی است. خواص فیزیکی این ساختارها باعث شده است که این مواد برای درمان سرطان نیز مورد استفاده قرار گیرد. با تابش نور زیر قرمز این مواد به دلیل جذب نور تولید حرارت می‌کنند و در سلول‌های سرطانی که حاوی غلظت‌های مناسب از نانو لوله می‌باشند سبب تخریب حرارتی سلول‌ها می‌شوند. نانو لوله‌های کربنی برای انتقال درشت مولکول‌های زیستی نظیر پروتئین‌ها، DNA و RNA که نمی توانند از درون غشای سلول نفوذ کنند می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. به علاوه با اتصال داروهای ضد سرطان به نانولوله‌های کربنی عامل دار شده می‌توان داروهای هدفمند برای درمان این بیماری تولید کرد. نانو لوله‌های کربنی همچنین در مهندسی بافت و استخوان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. کامپوزیت‌های تولیدی از نانولوله‌های کربنی و کلسیم فسفات‌ها می‌توانند به عنوان ماده‌ی جایگزین برای ترمیم و بازسازی بافت‌های استخوانی آسیب دیده به کار گرفته شوند. همچنین می‌توان از این محصول جهت کاشت دندان نیز استفاده کرد. این نانولوله‌ها در مقایسه با پلیمرهای سنتزی زیست تخریب پذیر مورد استفاده در مهندسی بافت از بعضی جهات ارجح‌تر است، زیرا که از یکپارچگی ساختاری و پایداری مکانیکی بالاتری برای رشد بافت و تحمل نیروهای درون بدنی برخوردار است. تحقیقات دیگری حاکی از امکان رشد سلول‌های عصبی بر روی این نانولوله‌ها است. بر اساس این مطالعات این ماده می‌تواند به عنوان داربست بافت عصبی و قلبی ایفای نقش نماید.

از آنجا که نانو لوله‌های کربنی قابلیت تخریب رادیکال‌های آزاد را دارند می‌توانند به عنوان عوامل آنتی اکسیدان برای حفاظت سلول‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد.

**سمیت نانولوله‌های کربنی**

با توجه به استفاده‌ی روزافزون از نانولوله‌ها و افزایش مواجهه انسان با این دسته از مواد، نگرانی در مورد واکنش‌های بیولوژیکی و سمیت این مواد وجود دارد. خواص و سمیت نانولوله‌ها به ویژگی‌های فیزیکی متعددی مانند سطح، تمایل به متراکم شدن، تعلیق شدن، وجود و ماهیت کاتالیزور باقی مانده و همچنین گروه‌های عاملی شیمیایی مواد بستگی دارد. به نظر می‌رسد که غلظت، خلوص و گروه‌های عاملی شیمیایی متصل به سطح از موارد مهم‌تر باشند. به همین دلیل با توجه به روند رو به رشد کاربرد این مواد در دارورسانی بررسی سمیت این ساختارها در محیط‌های بیولوژیکی ضروری است. تحقیقات نشان داده است که در محیط‌های بیولوژیکی که تداخل نانولوله‌های کربنی با ساختار پروتئینی صورت می‌گیرد احتمال دارد که سمیت نانولوله ها باعث مرگ سلول شود. **سمیت ریوی**

مطالعات مربوط به اثر CNTها روی سیستم تنفسی صورت گرفته است زیرا استنشاق شایع‌ترین راه در معرض قرارگیری نانو مواد به ویژه در محیط‌های کاری است. مطالعات نشان داده است که CNTها باعث اثرات التهابی فیبروتیک و ژنو توکسیک در ریه‌ی موش هایی می‌شوند که در معرض استنشاق آنها قرار دارند. این اثرات باعث افزایش خطر ابتلا به سرطان ریه می‌شود در مطالعات مختلفی نشان داده شده است که قرار گرفتن در معرض نانو لوله‌های کربنی خالص باعث کاهش میزان تکثیر سلول‌ها و چرخه سلولی، آپوپتوز و نکروز می شود.

برخی مطالعات نشان دهنده‌ی شباهت‌هایی در اثرات سرطان‌زایی آزبست و نانولوله‌های کربنی می‌باشند. با وجود تحقیقات انجام شده در این زمینه هنوز اثرات وجود نانولوله‌های کربنی در سیستم تنفسی انسان به طور کامل مشخص نیست و گزارشات ضد و نقیضی در این باره وجود دارد. این امر می‌تواند به دلیل خواص مختلف فیزیک و شمیایی نمونه‌های این ساختارها باشد.

**سمیت پوستی**

گزارشات مختلفی از سوزش پوست (درماتیت فیبر کربن) و رسوب کراتین در اثر تماس با CNT ها وجود دارد. این ساختارهای چند دیواره قادر به عبور از کراتینوسیت یا همان سلول‌های کراتین ساز پوست و ایجاد سوزش هستند. به نظر می‌رسد که در مورد نانولوله‌های کربنی تک دیواره ناخالصی‌های فلزی باقی مانده نقش اساسی در القای استرس اکسیداتیو و التهاب پوست دارد.

**سمیت جنینی و عصبی**

مطالعه‌ی اثرات نانولوله‌های کربنی تک دیواره در رشد و نمو جنین موش درصد بالای سقط جنین زودرس و ناهنجاری‌های جنینی در موش‌هایی که در معرض این مواد قرار گرفتند را نشان می‌دهد. ضایعات عروقی شدید در جفت جنین‌های ناقص تشخیص داده شده است. در این میان نانولوله‌های کربنی تک دیواره اکسید شده سمی‌ترین مواد مورد آزمایش بودند. مطالعات بیشتری برای درک مکانیسم القای سمیت جنینی توسط نانولوله‌های کربنی مختلف لازم است.

**سمیت مزمن**

سمیت مزمن در اثر مواجهه‌ی روزانه‌ی مکرر با 1 ماده‌ی شیمیایی رخ می‌دهد. به دلیل این که مطالعه‌ی اثرات طولانی مدت یک ماده‌ی نیاز به آزمایشات گران قیمت و زمانبر دارد تحقیقات محدودی در زمینه‌ی سمیت مزمن نانو لوله‌های کربنی انجام شده است. علاوه بر این بحث‌های بسیاری در مورد مدل حیوانی مورد استفاده، علت و نحوه‌ی پراکندگی نانوذرات، روش و زمان در معرض قرار گرفتن وجود دارد. در 1 مطالعه که روی مواجهه ی مزمن موش با CNT ها صورت گرفته است مشخص شد که CNT تک دیواره و CNT چند دیواره به دلیل شکل فیبر مانندشان باعث التهاب قابل توجه می‌شوند. نتایج به دست آمده رابطه‌ی بین فعالیت وابسته به شکل و طول را با تحریک پاسخ التهابی نشان می‌دهد. برعکس در مطالعه‌ی دیگری هیچ گونه اثرات التهابی مزمن نظیر آنژیو ژنژ و فیبروز توسط نانولوله‌های چنددیواره مشاهده نشد. این نتیجه نشان می‌دهد این نانولوله‌ها توسط ماکروفاژهای آلوئولار پاکسازی می‌شود.

**خواص فیزیکو شیمیایی موثر بر سمیت نانولوله‌های کربنی**

تحقیقات انجام شده بر روی سمیت نانو مواد نشان می‌دهد که چگونه برخی از خواص فیزیکو شیمیایی سمیت CNT ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در واقع بسته به خلوص، قطر، طول، بار سطحی گروه‌های عاملی و حالت تجمع نانو لوله های کربنی اثرات سمیت مختلفی دارند. طول یک عامل بسیار موثر در میزان سمیت CNT هاست. تحقیقات نشان می‌دهد که فیبرهای کربنی با طول بیشتر از 4 میکرون اثرات بیماری‌زایی برای موش داشته‌اند. در 1 تحقیق دیگر اثرات التهابی و فیبری CNT ها برای اندازه‌ی بیشتر از 10 میکرون مشاهده شده است. اثرات زیان آور CNT ها با طول بیشتر از 10 میکرون به تقابل مکانیکی آنها با سلول‌ها برمی‌گردد. حذف ناموفق الیاف بلند توسط ماکروفاژها ممکن است در حقیقت به فاگوسیتوز ناکام منجر شود که فرایند التهاب را فعال می‌کند شکل و قطر الیاف نیز به عنوان عوامل مهم در مسمومیت CNT ها شناخته شده اند. اصلاح سطوح نانولوله‌ها 1 استراتژی مهم برای کاهش سمیت این مواد می‌باشد. در اثر عامل دار کردن نانولوله‌های کربنی که معمولا به صورت خوشه تجمع می یابد از هم جدا شده و با مولکول‌های خاص پوشش داده می‌شود. اتصال گروه‌های عملی باعث کاهش آبگریزی سطح نانولوله‌ها و محلول ساختن و کاهش سمیت آنها می‌شود با این حال وجود گروه‌های عاملی اکسیژن سطحی در نانولوله‌های کربنی باعث افزایش سمیت می‌شود.

یکی از روش‌های رایج برای افزایش زیست سازگاری نانو لوله‌ها پوشش دادن آنها با پلی اتیلن گلیکول است که به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. مطالعات نشان داده اند که با پیوند کوالانسی این مولکول به سطح نانو لوله‌های تک دیواره وزن مولکولی افزایش می‌یابد و رفتار فارماکوکینتیک CNT مطلوب‌تر شده و سمیت آن کاهش می‌یابد. افزون بر این وجود فلزات باقی مانده به طور چشمگیری سمیت نانولوله کربنی را افزایش می‌دهد.

**نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده**

معرفی کامل ویژگی‌های سم شناسی نانولوله‌های کربنی به دلیل فقدان روش استاندارد برای ارزیابی ریسک و تنوع خواص نمونه‌های مورد استفاده در آزمایشات سم شناسی امکان پذیر نیست. مطالعات نشان می‌دهند که با اصلاح روش سنتز ساختار و شیمی سطح نانولوله‌ها می‌توان سمیت آنها را کاهش داد. تلاش‌های بیشتری برای یافتن روش‌های سنتز مناسب و بررسی سمیت نمونه‌های اصلاح شده‌ی مشابه و استاندارد نیاز است و همه‌ی اینها نیازمند برقراری ارتباط بیشتر بین محققان علوم زیستی و علوم مهندسی در این زمینه است. اگرچه نتایج مطالعات مربوط به خطرات نانولوله‌ها هنوز تکمیل نشده‌اند با وجود این باید رویه‌هایی برای کاهش مخاطرات این مواد ارائه شود. سیاست‌های جلوگیری از خطر و مقابله با خطرهای تولید نانولوله‌های کربنی باید مشابه هر ماده‌ی بالقوه خطرناک دیگر باشد. لازم به ذکر است که اطلاعات مرجع و روش استاندارد آماده سازی و کاربرد این مواد نیز می‌تواند به صورت یک روش استاندارد صنعتی ارائه گردد.

**مواد معدنی نانورس**

مواد معدنی رسی از ما قبل تاریخ مورد استفاده‌ی بشر بوده است. با پیشرفت در نانو فناوری و افزایش نیاز به توسعه‌ی پایدار مواد معدنی رسی طبیعی و انواع سنتزی آنها امیدهایی را برای بهبود بیشتر کیفیت زندگی بشر در آینده ایجاد کردند. با این حال مواجهه‌ی محیط زیست و انسان با مقادیر بالا و یا نامناسبی از مواد معدنی رسی می‌تواند منجر به اثرات نامطلوب شود. مواد معدنی رسی از زمان ماقبل تاریخ برای هدف‌های گوناگونی استفاده شده‌اند. به عنوان مثال خاک رس در تغذیه حیوانات مزرعه به عنوان مواد افزودنی به خوراک برای افزایش رشد و سلامت و به عنوان یک مکمل برای درمان اختلالات دستگاه گوارش مورد استفاده قرار می‌گرفت. خاک رس برای تولید کالاهای بسیاری از قبیل سرامیک، آجر، سفال و داروها نیز استفاده می‌شد. در طول دهه‌ی گذشته با پیشرفت در فناوری نانو علاقه‌ی بشر به کانی‌های رسی تا حد زیادی افزایش یافته است. مواد معدنی رس به طور کلی نانو ماده در نظر گرفته می‌شود زیرا دارای لایه‌هایی با ضخامت و فضاهای بین لایه‌ای در محدوده‌ی نانومقیاس هستند. به طوری که اصطلاح نانو رس اغلب به جای مواد معدنی رسی استفاده می‌شود. شواهد زیادی نشان می‌دهد که نانو مواد از نظر فیزیکی و خواص سم شناسی متفاوت از همتایان بزرگ مقیاس خود هستند. افزایش استفاده از مواد معدنی رسی به ویژه در مواد غذایی، کشاورزی، خوراک دام، پاکسازی محیط زیست و پزشکی به ناچار محیط زیست و انسان را به طور فزاینده‌ای در معرض مواد معدنی رسی مختلفی قرار می‌دهد.

**اثر مواد معدنی رسی بر محیط زیست**

یکی از چالش‌های مهم پیش روی جامعه‌ی مدرن آلودگی محیط زیست ناشی از فعالیت‌های انسانی طبیعی و نامناسب است و شامل تولید گونه‌های شیمیایی مختلف می‌باشد که در محیط تا حد زیادی به صورت یونی وجود دارند. این چالش صنعت و تحقیقات را به سمت توسعه‌ی مواد جدیدی که می‌توانند برچسب سازگار با محیط زیست را داشته باشند سوق می‌دهد. به عنوان مثال می‌توان موادی را که با مصرف انرژی پایین‌تر تولید می‌شوند و زیست تخریب پذیر و غیر سمی برای محیط زیست هستند را نام برد. از نظر توسعه‌ی پایدار محصولات رسی از نظر تجزیه پذیری قابلیت در از بین بردن آلاینده‌های زیست محیطی و ماهیت و پیامدهای مواد معدنی رسی در تعامل با اکوسیستم و محیط زیست مورد توجه قرار می‌گیرد. انتظار می‌رود نسل جدید مواد تجدیدپذیر بوده و به سرعت در پایان عمر مفید خود زیست تخریب پذیر باشد و محصولات حاصل از تخریب هیچ اثر منفی بر محیط زیست و سلامت انسانی نداشته باشند. از این نظر مواد معدنی رسی در توسعه‌ی مواد سازگار با محیط زیست به عنوان راه حل پایدار در نظر گرفته شده اند.

پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر نوید بخش توسعه‌ی پایدار هستند زیرا 1: این پلیمرها به طور عمده از مواد گیاهی تجدیدپذیر مشتق شده‌اند و از این رو به آسانی در دسترس هستند و :2 پلیمرهای مشتق شده از منابع گیاهی می‌توانند باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق جذب کربن در طول رشد گیاه شوند و 3:تجزیه‌ی بیولوژیکی پلیمرهای زیستی در پایان عمرشان چرخه‌ی مواد را می‌بندند. مواد معدنی رسی معمول‌ترین انتخاب برای پر کننده‌های نانویی هستند. به نظر می‌رسد که تولید مواد معدنی رسی نسبت به بسیاری از پلیمرهای زیستی معمول و فایبرگلاس مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری دارد. از این رو مواد می‌توانند عملکرد زیست محیطی پلیمرهای زیستی معمول را بهبود بخشند. به علت کاهش مصرف مواد و در نتیجه اثرات زیست محیطی کمتر با کامپوزیت‌های پلیمر رس به پلیمر خالص و فیلم‌های شیشه‌ای پلی پروپیلن جهت استفاده در بسته‌بندی پلاستیک‌های کشاورزی و پنل‌های خودرو ترجیح داده می‌شوند. استفاده از آفت کش‌ها یه تهدید جدی برای محیط زیست و سلامت انسان است. به غیر از استفاده از مواد معدنی رسی به عنوان جاذب آفت کش‌ها این مواد برای توسعه‌ی فرمول آفت کش‌های جدید نیز استفاده می‌شود که می‌توانند بهره‌وری آفت کش‌ها را افزایش و ورود آنها به محیط زیست را کاهش دهند. اگر چه ثابت شده است که مواد معدنی رسی ترکیبات مفیدی هستند اما فعالیت‌های انسانی مانند توسعه‌ی زمین‌های کشاورزی و آلودگی‌های زیست محیطی حاصل از ماد ساخت بشر می‌تواند منجر به افزایش قابل توجهی از مواد معدنی رسی در سیستم‌های آبی شود این امر باعث خسارت‌هایی به سلامت موجودات آبزی خواهد شد. تحقیقات نشان داده است که مواجهه‌ی مداوم تعلیق خاک رس و گل و لای می‌تواند بر رشد و تولید مثل گونه‌هایی از سخت‌پوستان کوچک مانند کلا دوسرا تاثیر داشته باشد و منجر به کاهش نرخ رشد جمعیت آنها شود. مکانیسم سمیت پیشنهاد شده شامل کاهش جذب غذا و تغذیه‌ی نامناسب است. به نظر می‌رسد اثر خاک رس در موجودات آبزی وابسته به نوع ماده‌ی معدنی رس باشد که به تفاوت موجود در شدت سمیت بین مناطق مختلف جغرافیایی مربوط است. این مطالعات ضرورت حفاظت از اکوسیستم‌های آبی را از قرار گرفتن در معرض سطوح بالایی از رس نشان می‌دهد.

**سمیت نانوذرات رس در انسان**

پیش از این مواد معدنی رسی به عنوان ترکیبات مفیدی برای سلامت انسان شناخته شده بودند و از آنها به عنوان عوامل ضد باکتری و مکمل‌های غذایی استفاده میشد. با توجه به توسعه‌ی فناوری‌های سنتزی و مهندسی مواد استفاده از مواد معدنی رسی در عصر حاضر به بسیاری از زمینه‌های دیگر گسترش یافته است. مطالعه بر روی سازگاری و سمیت مواد رسی در انسان به دلیل کاربردهای جدید این مواد به عنوان عوامل درمانی، مکمل‌های غذایی و در دارو رسانی، مهندسی بافت مورد توجه بوده است. مطالعات بسیاری برای ارزیابی سمیت مربوط به مواجهه ی شغلی مانند سمیت استنشاقی انجام شده است. اگرچه برخی از انواع رس برای کشتن باکتری‌های پاتوژن برای قرن‌ها استفاده شده است اما ساز و کار عملکرد آن چندان مشخص نیست. تعداد باکتری‌های بیماری‌زای مقاوم در برابر آنتی بیوتیک‌ها به طور چشمگیری در 50 سال گذشته افزایش یافته است و از طرفی انواع مواد معدنی رسی یافت شده‌اند که با طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های ضد باکتریایی می‌توانند در درمان بیماری‌های عفونی مزمن و به عنوان پانسمان زخم مورد استفاده قرار گیرند.

اگرچه مواد معدنی رسی طبیعی برای استفاده در بسیاری از زمینه‌ها بی‌خطر در نظر گرفته می‌شوند انواع سنتزی آنها می‌توانند از نظر خصوصیات فیزیکو شیمیایی و تعامل با سیستم‌های زیست محیطی و بیولوژیکی بسیار متفاوت عمل کنند. مطالعات بیشتری در مورد سمیت بالقوه و مکانیسم‌های مرتبط با آنها به ویژه در مورد مواد معدنی رسی اصلاح شده مورد نیاز است.

**نتیجه‌گیری و چشم انداز آینده**

مواد معدنی رسی نوعی از نانو مواد طبیعی و یا مصنوعی هستند که از نظر شیمیایی بی‌اثر می‌باشند، ارزان به دست می‌آیند و برای تغییرات شیمیایی انعطاف‌پذیر هستند؛ و برای جامعه‌ای که به دنبال راه‌حل‌های کم‌هزینه کم تاثیر بر محیط زیست می‌باشد ترکیبات مهمی محسوب می‌شود. و توجه به خواص ساختار لایه‌ای و ظرفیت تبادل یون، مواد معدنی رسی برای بسیاری از کاربردهای متنوع مفید می‌باشند. در طول دهه‌ی گذشته تلاش‌ها در فناوری مواد نانورس برای پاکسازی محیط زیست و سلامت انسان با استفاده از نانو کامپوزیت‌های پلیمری نانو رس یکی از زمینه‌هایی در حال توسعه بوده است. بر اساس اطلاعات موجود فناوری نانو مبتنی بر مواد رسی می‌تواند خواص مواد و عملکرد زیست محیطی مواد زیستی را بهبود بخشد. این مواد همچنین می‌تواند به صورت ایمن به عنوان عوامل پزشکی به صورت تنها و یا هیبریدی در دوز درمانی و فرمول مربوطه تجویز شوند. همانطور که جهان به سمت توسعه‌ی پایدار در حال حرکت است نیاز به راه حل‌های سبز رو به افزایش است. تلاش‌ها برای توسعه‌ی مواد زیستی بر پایه‌ی مواد معدنی رسی برای کاربردهای زیست محیطی و پزشکی در کنار توسعه‌ی درک ما را از ماهیت برهمکنش مواد معدنی رسی با سیستم های زیستی افزایش می دهد.

**نانومواد اکسید فلزی**

نانو مواد اکسید فلزی در مقایسه با همتایان بزرگ مقیاس خود، دارای خواص منحصر به فرد شیمیایی، فیزیکی و الکترونی هستند و در نتیجه دارای کاربردهای متعددی در صنعت و محصولات مصرفی می‌باشند. نانو مواد اکسید فلزی موادی چند منظوره هستند که می‌توانند در زمینه‌های بسیاری مانند پاک­­سازی محیط زیست، پزشکی، انرژی، تصفیه‌ی آب و محصولات مراقبت شخصی به کار گرفته شوند.

با توجه محبوبیت فزاینده‌ی استفاده از نانو مواد اکسید فلزی، احتمال مواجهه‌ی انسان در محیط‌های کاری و همچنین در هنگام مصرف این محصولات افزایش می‌یابد. بنابراین بررسی چگونگی اثرات این نانو­مواد بر سلامت انسان و محیط زیست بسیار مهم است.بخش­های زیر شامل نمای کلی از کاربردها و سمیت بالقوه‌ی چند نانو­ماده اکسید فلزی از جمله دو اکسید فلزی پر کاربرد ( نانو روی اکسید و نانوذرات Tio2) برای انسان، موجودات آبزی و موجودات خشکی می‌باشد.

**نانو ذرات روی اکسید**

روی اکسید به طور گسترده‌ای در بسیاری از محصولات خانگی، برقی و صنعتی استفاده می‌شود. نانو روی اکسید بر اساس ویژگی‌های الکتریکی، پایداری حرارتی و شیمیایی، پیزوالکتریکی و ابر رسانایی آن، کاربردهای زیادی در دستگاه‌هایی مانند سلول‌های پیزوالکتریک، حسگرهای زیستی کلسترول و گلوکز، سلول‌های خورشیدی و مبدل‌های فتوولتائیک دارد. زمانی که نانو روی اکسید به صورت پودر باشد می‌تواند با مواد غذایی، رنگ، رنگدانه‌ها ،چسب، مواد گندزدای مورد مصرف در پزشکی و پاکسازی محیط زیست مخلوط شود. همچنین، با توجه به خصوصیات لومینسانس نانو روی اکسید در ناحیهUV-Vis و فیلتر کردن ناحیهUV، در محصولات مراقبت شخصی، مانند کرم‌های ضد آفتاب و لوازم آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود. تولید نانو ذرات Zno و سایر اکسیدهای فلزی برای کاربرد در لوازم آرایشی و بهداشتی در حدود 1000 تن در سال در طی سال‌های 2005 تا 2010 بوده است.

**اثرات Zno بر سلامت انسان**

اگرچه یکی از مصارف عمده‌ی نانو روی اکسید در کرم‌های ضد آفتاب است. مطالعات کمی درباره‌ی توانایی این نانو ماده برای جذب از طریق پوست انجام شده است. مطالعه بر روی پوست حیوانات آزمایشگاهی نشان داده است که نانو روی اکسید، قادر به نفوذ به لایه‌ی استراتوم کورنیوم (خارجی‌ترین لایه‌ی اپیدرم) نیست که این امر احتمال جذب از طریق پوست را کاهش می‌دهد. مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که نانو رو اکسید نمی‌تواند از طریق پوست عادی یا آسیب دیده انسان یا حیوان نفوذ کند.

مطالعات متعددی بر روی اثرات نانو روی اکسید بر سلول انسانی انجام شده است تا سمیت بالقوه آن را مشخص نماید. نانو روی اکسید سمیت سلولی در سلول‌های کشت کلیه‌ی انسان را به صورت وابسته به دوز نشان می‌دهد و این اثرات با عواملی مانند ترکیب فلز، اندازه و حلالیت همبستگی نشان می‌دهد. همچنین، مطالعه‌ای بر روی سلول‌های قلبی مویرگ­های اندوتلیال انسانی، سمیت سلولی نانو روی اکسید را به صورت وابسته به دوز نشان داده است که باعث نفوذ­پذیری غشای پلاسمایی و پاسخ التهابی می­شود.

همچنین سمیت سلولی و استرس اکسیداتیو در سلول‌های سرطان کولون انسان در مجاورت نانو روی اکسید مشاهده شده است. به‌علاوه مشخص شده است که تولید گونه‌های اکسیژن فعال و سپس سمیت سلولی پس از آن، منجر به مرگ سلولی در سلول‌های اپیتلیال نایژه انسان در مجاورت نانوذرات روی اکسید می‌شود. اثرات مشابه نانو روی اکسید در سلول‌های اپیتلیال ریه انسان و فیبروبلاست ریه‌ی جنین انسان مشاهده شده است.

**اثرات زیست محیطی**

**سمیت آبزیان**

نانو مواد فلزی به دلیل خواص منحصر به فردی مانند خواص ضد میکروبی، ظرفیت‌های کاتالیزوری، خواص ضد بو و بسیاری از ویژگی‌های دیگر، در ساخت طیف گسترده‌ای از محصولات استفاده شده‌اند. با این حال این خواص می‌توانند برای موجودات آبزی خطراتی را در بر داشته باشند.

بر اساس اندازه‌گیری میزان پخش و جریان مواد، غلظت تخمینی نانوذرات روی اکسید در آب‌های سطحی می‌تواند در محدوده نانو گرم بر لیتر باشد. اگرچه مقالات متعددی به بررسی نگرانی‌های در حال ظهور در مورد سمیت نانو روی اکسید در گونه‌های مختلف پرداخته‌اند اما متاسفانه، مطالعات سمیت با نانو روی اکسید در موجودات آبزی هنوز محدود است. بر اساس مطالعات اخیر، در شرایط آزمایشگاهی، نانو روی اکسید به طور کلی سمی‌تر از نانوذرات تیتانیوم دی اکسید است. چگونگی فعالیت سمی نانو روی اسید بر روی جانداران هنوز مورد بحث است. اکثر محققین بر این باورند که عامل انحلال مهم‌ترین مکانیزم سمیت نانو روی اکسید است. علاوه بر این، گونه‌های اکسیژن فعال(ROS)، با فعال­سازی نوری یا بدون آن، نیز به عنوان مکانیسم‌های ممکن برای سمیت نانو روی اکسید پیشنهاد شده است.

**سمیت خاک**

مطالعات بوم سم شناسی نانو مواد اکسید فلزی در محیط‌های خاکی به بی‌مهرگان و گیاهان محدود شده است. خاک مقصد نهایی برای نانو مواد در نظر گرفته می شود. مطالعه بر روی اثرات سمیت نانو ذرات اکسید روی بر روی کرم‌های خاکی نشان داده است که غلظت بالای نانوذرات، حدودا 1000 میلی گرم بر کیلوگرم منجر به مرگ و میر 100 در صدی کرم خاکی در محیط آگار می‌شود. مطالعات انجام شده بر روی اثرات نانوذرات اکسید روی بر بی مهرگان خاک نشان می‌دهد که این اثرات به عواملی مانند شرایط آزمایش، اندازه‌ی ذرات نانو روی اکسید و گونه‌های بی‌مهره بستگی دارد. مطالعات در مورد اثرات بوم سم شناسی نانو مواد اکسید فلزی در گیاهان نتایج مختلف شامل اثرات منفی؛ اثرات مثبت و بدون عوارض نشان داده است. بر اساس مطالعات محدودی که بر روی گیاهان انجام شده است نانوذرات اکسید روی اغلب اثرات منفی بر روی گونه‌های گیاهی نشان می‌دهند. به طور کلی این نانوذرات جوانه زنی بذر، افزایش طول ریشه، کاهش زیست‌توده و استرس اکسیداتیو را در گونه‌های مختلف گیاهی تحت تاثیر قرار می‌دهد.

**نانوذرات دی اکسید تیتانیوم**

علاوه بر خواص فتوکاتالیستی شناخته شده، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم امروزه به عنوان 1 نانو ماده‌ی مفید در صنعت شناخته می‌شود. مطالعه‌ی خواص فوتو کاتالیستی این ذرات و ذرات بزرگ آنها نشان داده است که نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم از نظر شیمیایی واکنش پذیری بیشتری دارد و می‌تواند در هر 2 فرایند اکسایش و کاهشی در حذف ترکیبات آلی و معدنی موجود در فاضلاب به کار گرفته شود. مطالعات نشان داده است که این نانوذرات می‌تواند نقش مهمی را در جذب فلزات سنگین مثل مس، کادمیوم، نیکل، پالادیوم و روی از نمونه‌ی مشخصی از آب ایفا کنند. علاوه بر این نانوذرات دی اکسید تیتانیوم می‌توانند در حذف یون‌های فلزات و ترکیبات آلی غیر زیست تخریب پذیر و تخریب بسیاری از ترکیبات آلی کربنی با استفاده از نور یو وی از فاضلاب مصنوعی استفاده شود. به دلیل توانایی این نانوذرات در جذب اشعه‌ی ماورای بنفش این ذرات به طور گسترده‌ای در بسیاری از محصولات مصرفی مانند کرم‌های ضد آفتاب، لوازم آرایشی و به علت خواص ضد میکروبی در پوشش‌های خود تمیز شونده استفاده می‌شود. نانوذرات دی اکسید تیتانیوم همچنین در داروها، رنگدانه‌ها، مکمل‌های غذایی و سلول‌های خورشیدی کاربرد دارند.

**اثرات بر سلامت انسان**

با توجه به کاربردهای گسترده، شامل لوازم آرایشی، کرم‌های ضد آفتاب، محصولات مراقبت از بدن، و پایداری در محیط زیست نانوذرات دی اکسید تیتانیوم یکی از نانو موادی هستند که بیشترین مطالعه بر روی آنها از نظر تاثیر بر سلامت انسان انجام شده است. مطالعات اخیر نشان دادند که این نانو ذرات می‌توانند از پوست عبور کنند و از این طریق جذب شوند. با این حال این نانوذرات در صورت استنشاق قادر به عبور از سد هوا خون بوده و مقدار کمی به ذرات در سراسر بدن توزیع می‌شوند. در مقایسه با دیگر نانوذرات اکسید فلزی، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم دارای کمترین سمیت می‌باشند. اگر چه بعضی از مطالعات سمیت شامل اختلال در عملکرد میتوکندری سلولی، القای آپوپتوز، تکثیر سلولی و قابلیت زنده ماندن سلول‌ها را پس از مواجهه با این نانوذرات در فیبروبلاست ریه‌ی جنین انسان، سلول‌های ریه‌ی انسان و سلول‌های بافت مخاط نایژه انسان نشان داده است. با وجود سمیت سلولی پایین بعضی از محققین نیز افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال را پس از مواجهه با این نانوذرات در سلول‌های انسانی مخاط نایژه و سلول‌های میکروگلیا مغز موش مشاهده کرده‌اند. محققین متعددی سمیت ژنی یعنی آسیب به DNA را بر روی بافت نایژه انسانی، ریه‌ی انسان و سلول‌های اپیدرمی انسانی در نتیجه‌ی مواجهه با نانوذرات دی اکسید تیتانیوم مشاهده کرده‌اند.

**تاثیرات محیطی**

**اثر سمیت بر آبزیان**

نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به دلیل خواص ضد میکروبی و جذب اشعه‌ی ماورای بنفش به طور گسترده‌ای در کرم‌های ضد آفتاب، لوازم آرایشی و در پوشش‌های خود تمیز شونده استفاده می‌شود. شواهد آشکاری از انتشار این نانوذرات به محیط‌های آبی گزارش شده است. در حالی که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم یکی از نانو مواد فلزی است که به طور گسترده استفاده می‌شود اما مطالعات سمیت آبزیان با این نانوذرات نسبتا محدود است. اغلب مطالعات سمیت آبزیان با این نانوذرات در شرایط آزمایشگاهی و در حضور نور فلورسانس انجام شده است. در این مطالعات، نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم هیچ سمیتی را نشان نداده است و یا سمیت کمی را برای موجودات آبزی مختلف به نمایش گذاشته است. با این حال سمیت القا شده با نور در نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. زیرا فعالیت فتو کاتالیزوری این نانوذرات به طور آشکاری خطرات آن را برای موجودات آبزی افزایش می‌دهد. اگر این نانوذرات در معرض تابش با انرژی بیشتر از انرژی شکاف نانو قرار گیرند 1 جفت الکترون حفره تشکیل خواهد شد که منجر به شکل گیری گونه‌های اکسیژن فعال می‌گردد. ماکرو مولکول‌های زیستی در این فرایند مورد حمله‌ی گونه‌های فعال اکسیژن قرار می‌گیرند و این روند می‌تواند فرایندهای سمی مختلفی مانند پراکسیداسیون چربی‌ها و آسیب به DNA را در موجودات زنده آغاز کند. به طور خلاصه نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در غیاب تابش اشعه‌ی ماورای بنفش هیچ سمیتی را نشان نداده است و یا سمیت کمی را در موجودات آبزی نشان می‌دهد. با این حال با تابش طبیعی خورشید جمعیت نوری نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده می‌شود و به طور بالقوه می‌تواند موجودات زنده در سیستم‌های آبی را در معرض خطر قرار دهد. خطرات نانوذرات در آینده باید بر اساس شرایط مختلف مواجهه ارزیابی شود.

**سمیت بر روی موجودات خشکی**

بیشتر مطالعات اثرات سمیت نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر بی‌مهرگان خاک بر روی کرم‌های خاکی و نماتدها انجام شده است. این نانوذرات باعث استرس اکسیداتیو، آسیب به DNA و آسیب میتوکندری در کرم‌های خاکی به دنبال مواجهه با مقادیر بیشتر از 10 گرم در کیلوگرم از این نانوذرات در خاک می‌شود. همچنین مشاهده شده است که از تولید مثل گونه ایسینا فوتیدا پس از 4 هفته مواجهه با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم ممانعت می‌شود. بسیاری از مطالعات سمیت با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم هیچ اثر سمی و اثرات مثبتی را بر گیاهان نشان نداده است.

**نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده**

با توجه به میزان استفاده‌ی فعلی از نانو مواد اکسید فلزی افزایش کاربرد و داده‌های سمیت موجود نیاز مداوم و مبرم برای ارزیابی کامل اثرات بالقوه‌ی این دسته از نانومواد بر انسان و موجودات در محیط‌های آبی و زمینی وجود دارد. اطلاعات بیشتری برای ارزیابی خطرات و مواجهه مورد نیاز است. همچنین هنوز به طور کامل معلوم نیست که آزمایش‌های استاندارد سمیت چگونه می‌توانند برای ارزیابی سمیت نانومواد استفاده شود. علاوه بر این بسیاری از پرسش‌ها باقی مانده است از جمله اینکه آیا همه‌ی اشکال 1 نانو ماده باید از نظر سمیت مورد ارزیابی قرار گیرند یا نه. زیرا تفاوت‌ها در سمیت بستگی به اندازه، ویژگی‌های سطح، و خلوص دارد. معمولا می‌توان داده‌های ارزیابی خطرات نانو مواد را برای نانو مواد اکسید فلزی نیز به کار برد. در حال حاضر استفاده از نانو مواد اکسید فلزی قانونمند نشده است و یکی از چالش‌های عمده برای تنظیم مقررات چگونگی طبقه‌بندی اکسیدهای فلزی نانو به خصوص در مقایسه با همتایان بزرگ مقیاس آنها بوده است. در مقابل اتحادیه‌ی اروپا پیشرفت زیادی در تنظیم قوانین استفاده از نانو مواد داشته است. در یک سند راهکاری را در ایجاد صنایع موثر در فناوری نانو و به طور همزمان حفظ محیط زیست ارائه می‌دهد. در سال 2010 قانونی تصویب شد که 1 نانو ماده را بر اساس توزیع اندازه‌ی آن مساحت سطح و اندازه‌ی عناصر ساختار داخلی تعریف می‌کند.