ایمنی درمقیاس نانو

سیدمحمدمروستی زاده
کارشناس ارشد شیمی،اداره کل کارواموراجتماعی استان یزد، Marvastizadeh@gmail.com

چکیده:
نانوتکنولوژی بعنوان یک فناوری کاربردی در ده ههای اخیر مورد توجه قرار گرفته است. فناوری نانو از همگرایی علوم فیزیک، شیمی و زیست شناسی به وجود آمده است .این فناوری توانایی کار در سطح اتم و ایجاد ساختارهایی که نظم مولکولی کاملاً جدیدی دارند را فراهم می آورد .ماده اصلاح شده در مقیاس نانو ، خصوصیات جدید و مفیدی را دارا می گردد که قبلاً در آن مشاهده نمی شده است . نانو تکنولوژی کاربردهای متعددی را در زمینه های مواد غذایی ، دارویی ، تشخیص پزشکی ، بیوتکنولوژی تا الکترونیک و کامپیوتر درارتباطات ، حمل و نقل ، انرژی ، ایمنی ،بهداشت و محیط زیست ، مواد ، هوافضا و امنیت ملی پیدا کرده است.و رشد بسیار سریع فناوری نانو دربخشهای متعددی از اقتصاد ،باعث تلاشهای گسترده بین المللی درجهت بررسی وشناسایی ریسک های شغلی وزیست محیطی آن شده است
در حال حاضر اطلاعات ما از ریسکهای ایمنی، سلامت و ریسکهای زیست محیطی که به جامعه مربوط می‌شوند، محدود به نانومواد است. مخاطرات به حوزه‌هایی مانند میزان سمی بودن، سرطان‌زایی، فرّار بودن، آتش‌گیر بودن، نفوذپذیری و تجمع در سلول‌ها مربوط می‌شود. چالش‌های مربوط به مدیریت ریسک در فناوری‌نانو با فناوری‌هایی همانند انرژی هسته‌ای و ژنتیک تفاوت ندارد. به گفته آقای روکو، مشاور ارشد بنیاد ملی علوم آمریکا(NSF) ،" علی‌رغم این که فناوری‌نانو دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی است، ولی بسیاری از پیشنهادها و سیاست‌گذاری‌های مطرح شده در حوزه‌های دیگر می‌توانند برای اداره ریسک در فناوری‌نانو استفاده شوند". برای در نظر گرفتن جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و علمی تمام ذی‌نفعان مرتبط با تجزیه و تحلیل ریسک و مخاطره، وجودیک چارچوب منسجم ضروری است. این مجموعه راهنمایی برای انتخاب روشهای مناسب کاهش مواجهه با نانوذرات و حذف یا کاهش ریسک فاکتورها جهت تأمین سلامت و ایمنی کارکنان و کاهش اثرات زیست محیطی میباشد.

کلمات کلیدی:ایمنی،نانو

مقدمه:
فناوری نانو یک حوزه در حال رشد و گسترش میباشد .اما همراه با این گسترش و خلق فرصتهای نو برای ایجاد صنایع، کاربردها و محصولات جدید ممکن است اثرات زیان آوری را بر سلامت انسان و محیط زیست تحمیل کند .در مقیاس نانو، خصوصیات مواد دستخوش تغییرات بسیاری میشود .به تبع این تغییرات، پیش بینی، شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسکهای بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی ناشی از نانومواد نیز با چالش مواجه می شود.
آزمایشات انجام شده روی خرگوشها نشان داده است نانوذراتی که در ناحیه بینی جایگزین میشوند قادرند از طریق اعصاب بویایی مستقیماً به مغز منتقل شوند . بطور کلی، نانوذرات استنشاق شده نسبت به ذرات بزرگتر به میزان بیشتری در ناحیه میانی و تحتانی سیستم تنفسی جایگزین میشوند.
مواجهه با نانومواد ممکن است از طریق استنشاق، تماس پوستی و بلع اتفاق افتد .مطالعات حیوانی نشان میدهد ذرات بسیار ریز کم محلول ممکن است نسبت به ذرات بزرگتر سمیتر باشند .این ذرات به دلیل اندازه بسیار کوچکشان میتوانند به اعماق ریه نفوذ نموده و از طریق ورود به جریان خون به سایر بخشهای بدن منتقل شوند.(۱)
تحقیقات اولیه در مورد اثرات بهداشتی فناوری نانو نشان می دهد که قابلیت ایجاد التهاب ، سرطان ها و بیماری های شدید ریه را دارند. مقایسات بین نانوتکنولوژی و آزبستوز انجام شده که به ویژه به بالقوه بودنشان برای دورهای تاخیری طولانی مدت توجه شده است .به هرحال روش دقیقی که نانوتکنولوژی اثرات بیولوژیکی خود را روی انسان دارد بسیار ناشناخته است.(۲)
نانوذرات، به دلیل اندازه کوچک و سطح زیاد، واکنش پذیری بسیار زیادی از خود نشان میدهند .همین خصوصیت سبب میشود تا نسبت به ذرات درشتتر ریسک حریق و انفجار بیشتری ایجاد نمایند .سالهاست که از نانوذرات مهندسی شده[1] و مواد متخلخل نانوساختار[2]، بعنوان کاتالیست، برای افزایش سرعت واکنشها یا کاهش دمای لازم برای واکنش گازها و مایعات به شکل موثری استفاده میشود .بسته به ترکیب و ساختار آنها، تعدادی از نانومواد ممکن است باعث واکنشهای کاتالیستی اولیه(آغازگر)و افزایش خطر آتش گرفتن و انفجار شوند که تنها با توجه به ترکیب شیمیایی آنها قابل پیش بینی نیست .نانوذرات، به علت داشتن سطح وسیع ویژه، ممکن است در زمان استفاده دارای الکتریسیته ساکن زیادی شوند، بطوریکه با پخش شدن در هوا ابر قابل انفجاری را تشکیل داده و می توانند خود به خود مشتعل شوند(مانند :نانوپودر آهن) (۱)
مثالهای زیادی در مورد نانوتکنولوژی هایی که تاکنون به طور تجاری در دسترس بودند وجود دارد که شامل مواد آرایشی، البسه، مصالح ساختمانی، افزودنی های غذایی، لوازم الکترونیکی و لوازم خانگی می باشند . قابلیت نانوتکنولوژی به عنوان یک مشکل عمومی روز همانند مواد غذایی تغییر شکل یافته ی ژنتیکی، آزبستوز و تحقیق در زمینه ی سلول های بنیادی در حال افزایش می باشد . (۲) بنابراین ضروری است کلیه مسئولین و مدیران محیط های کاری نانو، پس از انجام ارزیابی های لازم، جهت کنترل ریسکهای بهداشتی و ایمنی نانومواد، اقدامهای لازم را بعمل آورند .اگرچه هنوز استانداردها و راهنماهای ویژه ای برای ارزیابی و

[1] Engineered Nanoparticles
[2] Nanostructured

کنترل ریسکهای مذکور وجود ندارد، لیکن تحقیقات اولیه نشان می دهند روشها یا سامانه های کنترلی مورد استفاده برای آزمایشگاه ها یا کنترل آئروسلها، برای کنترل ریسکهای بهداشتی و ایمنی نانومواد موثر خواهند بود.
این مجموعه گامی برای کاهش مواجهه با نانوذرات و حذف یا کاهش ریسک فاکتورها جهت تأمین سلامت و ایمنی کارکنان و کاهش اثرات زیست محیطی میباشد.(۱)

تاریخچه نانوذرات:

طبق تعریف جوامع علمی مرتبط با نانو تکنولوژی ،یک نانوذره[1] به ذره ای گفته می شود که ابعادی بین یک تا ۱۰۰ نانومتر داشته باشد. نانو ذرات از طیف وسیعی از مواد ساخته می شوند. نانو ذرات دوده از سال ۱۹۰۰ در لاستیک ها استفاده می شده است تا آنها را سیاه رنگ جلوه دهد. خرده ذرات نانویی طلا ونقره سالها پیش در قرن دهم به پیگمنت هایی رنگی در شیشه های رنگی افزوده شده است. رنگ به ابعاد این ذرات بستگی دارد. نقره سالهای متمادی به عنوان التیام دهنده استفاده می شده است. شیر از میلیونها ذره با ابعاد نانویی کازئین تشکیل شده است. مولکول های شکر یک نانومتر قطر دارند. متداول ترین وپرکاربردترین آنها نانوذرات سرامیکی هستند.(۲)

تعاریف:

یک نانومتر : یک نانومتر یک میلیاردم متر (m ۹ -e ۱) است (۴)
محیط های کاری نانو : به محیط هایی اطلاق میشود که در آنها ذرات نانومقیاس مهندسی شده ساخت، تولید، استفاده یا فرآوری می شوند .برخی از این محیط های کاری عبارتند از : مراکز تحقیق و توسعه، مراکز صنعتی و آزمایشگاههای کنترل کیفی.
نانومقیاس: محدوده اندازه از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر متغیر است.
نانو شیء : ماده ای است که یک، دو یا سه بعد خارجی آن در مقیاس نانو است.
نانوذرات مهندسی شده [2]: نانوذراتی هستند که بطور عمدی و با هدف ایجاد خصوصیات ویژه تولید شده اند.
ذرات نانومقیاس مهندسی شده پیوند نشده (UNP) [3]: آن دسته از ذرات نانومقیاسی هستند که درون یا روی یک ماتریکس(مانند :یک ماتریکس پلیمری) قرارنداشته و در دما و فشار محیط میتوانند در هوا پخش شده و مدت ها معلق باقی بمانند.
نانوهواسل [4]: هواسلهای نانومقیاس که در آن نانوذرات یا قطره های نانومقیاس درون مواد فاز گازی پراکنده شده اند.
ذره نانوساختار [5]: ذرهای با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر است که ممکن است خصوصیات فیزیکی ، شیمیایی و یا زیستی آن را تحت تأثیر قرار دهد .ذره نانوساختار ممکن است در یکی از ابعاد، بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر باشد .بطور مثال یک کلوخه با قطر ۵۰۰ نانومتر متشکل از تعدادی نانوذره ، یک ذره نانوساختار درنظر گرفته میشود.
نانومواد : موادی که یا نانوشی یا نانوساختار هستند.
فاکتور حفاظت (APF)[6] : سطحی از حفاظت تنفسی است که پیش بینی میشود در محیط کار توسط یک وسیله حفاظت تنفسی یا گروهی از وسایل حفاظت تنفسی، به شرط اجرا و نگهداری موثر برنامه حفاظت تنفسی، برای کارکنان تأمین گردد .فاکتور حفاظت که در واقع نشانگر کارآیی و راندمان وسیله حفاظت تنفسی است از طریق آزمونهای کمی تناسب تعیین میشود که مقدار عددی آن برابر است با غلظت آلاینده در خارج از ماسک تقسیم برغلظت آلاینده در داخل ماسک .برای مثال، اگر فردی در محیطی که غلظت آلاینده مورد نظر در آن برابر ۱۰۰ PPm است از ماسکی با فاکتور حفاظتی ۲۰ استفاده کند، انتظار میرود که غلظت آلاینده در درون ماسک از ۵ PPm بیشتر نباشد .مقادیر فاکتور حفاظتی بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و با در نظر گرفتن فاکتورهای متنوعی از قبیل؛ نشت به داخل بدلیل نفوذ از فیلتر و اطراف ماسک بدست آمده است .در حال حاضر اطلاعات خاصی درباره نشت ذرات نانو به داخل ماسک در دسترس نیست.
ریسک : ترکیبی از احتمال و پیامد ناشی از وقوع یک رخداد خطرناک است.
ارزیابی ریسک : فرآیند کلی برآورد بزرگی ریسک و تصمیم در زمینه پذیرش یا عدم پذیرش آن است.
برگه اطلاعات ایمنی موادMSDS[7] : این برگه یک بولتن حاوی جزئیات و اطلاعات مفصل است که توسط سازنده یا تأمینکننده یک مادهشیمیایی تهیه میشود و حاوی اطلاعاتی مانند :خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، خطرات فیزیکی (ایمنی) و بهداشتی، راههای مواجهه، احتیاطهای لازم برای حمل و نقل و استفاده ایمن، روشهای واکنش در مواقع اضطراری و ارائه کمک های اولیه و روشهای کنترل مواجهه می باشند.(۱)
پتانسیل یونیزاسیون : مقدار انرژی لازم برای جداکردن یک الکترون از هراتم در یک مول از آن عنصر(۱۶)

خواص نانو ذرات:

---

[1] Nanoparticle
[2] Engineered Nanoparticles
[3] Unbound Engineered Nanoscale Particles (UNP)
[4] Nanoaerosol
[5] Nanostructured Particle
[6] Assigned Protection Factor (APF)
[7] Material Safety Data Sheets (MSDS)

با توجه به تعریف نانوذرات، یکی از سوال های مهم در تولید مواد نانو این است که آرایش هندسی وپایداری اتم ها با تغییر اندازه ذرات چه تغییری می کند؟در تکنولوژی نانو اولین اثر کاهش اندازه ذرات، افزایش سطح است.افزایش نسبت سطح به حجم نانوذرات باعث می شود که اتم های واقع در سطح، اثر بسیار بیشتری نسبت به اتم های درون حجم ذرات، بر خواص فیزیکی ذرات داشته باشند.این ویژگی واکنش پذیری نانوذرات را به شدت افزایش می دهد علاوه براین افزایش سطح ذرات فشار سطحی را تغییر داده ومنجربه تغییر فاصله بین ذرات یا فاصله بین اتم های ذرات می شود

خواص الکترونیکی وشیمیایی :

در نانو تکنولوژی تغییر در فاصله بین اتم های ذرات و هندسه ذرات روی خواص الکترونیکی ماده هم تاثیر گذار است وقتی اندازه ذرات کاهش می یابد پیوند های الکتریکی در فلزات ظریف تر می شوند جالب است که بپرسیم در چه اندازه دانه ای ، یک ذره فلزی شبیه یک توده فلز رفتار می کند؟ آیا این تغییر در خواص به تدریج رخ می دهد یا به طور ناگهانی ؟ پاسخ به این سوالات هم ازنظر آزمایشگاهی وهم تئوری مشکل است. کمیت الکترونیکی که راحت تر دردسترس می باشد پتانسیل یونیزاسیون است مطالعات نشان داده اند که پتانسیل یونیزاسیون در اندازه دانه های کوچک (ذرات ریزتر) بیشتر است یعنی با افزایش اندازه ذرات پتانسیل یونیزاسیون آنها کاهش می یابد افزایش نسبت سطح به حجم وتغیرات در هندسه وساختار الکترونیکی تاثیر شدیدی روی فعل وانفعالات شیمیایی ماده می گذارد و برای مثال فعالیت ذرات کوچک با تغییر در تعداد اتم ها(ودرنتیجه اندازه ذرات) تغییر می کند .

خواص سطحی :

در فن آوری نانو خواصی مثل نسبت سطح به حجم و انرژی پتانسیل در مقیاس نانو به طور چشمگیری افزایش می یابند که در قابلیت های محصولات تاثیر بسزایی دارد. خواص سیالات در مقیاس نانو در ویسکوزیته برجسته می گردد . بنابراین یک باکتری که یک میلیون بارکوچکتر از یک انسان است آب را یک میلیون بار از ما ویسکوزتر می یابد.

خواص مغناطیسی :

در نانو تکنولوژی پیچیده ترین تاثیر اندازه ذرات، تاثیر بر خواص مغناطیسی ماده است. یک ماده توده ای فرومغناطیس با حوزه های مغناطیسی که هر کدام حاوی هزاران اتم هستند، شناخته می شود. در یک حوزه مغناطیسی جهت چرخش الکترون ها یکسان است، اما حوزه های مغناطیسی متفاوت، جهات چرخش متفاوتی دارند. تغییر فاز مغناطیسی وقتی رخ می دهد که یک میدان مغناطیسی بزرگ، تمام حوزه های مغناطیسی را یک جهت کند. در مورد نانو ذرات ، حوزه های مغناطیسی مشخصی دیده نمی شود. بنابراین تصور می شود که در این موادسیستم های ساده تری وجود خواهد داشت اما در حقیقت چیزی برعکس این موضوع وجود دارد.ذرات مغناطیسی کوچک و حتی جامدات غیر مغناطیسی با اندازه دانه کوچک ، نوع جدیدی از خواص مغناطیسی را نشان می دهند. این خواص متاثر از خاصیت کوانتومی اندازه ذرات است که برای فهمیدن آن، نیاز به مطالعه بسیار است.اندازه ذرات مورد بحث ما، معمولاً کمتر از اندازه حوزه های مغناطیسی در جامدات است بنابراین یک ذره مثل یک اتم مجزا رفتار می کند که گشتاور مغناطیسی بزرگی دارد.(۲)

کاربردهای نانوذرات:

همانطور که بیان شد یکی از خواص مهم نانوذرات نسبت سطح به حجم بالای این مواد است. با استفاده ازاین خاصیت می توان کاتالیزورهای قدرتمندی را در ابعاد نانومتری تولید نمود.این نانوکاتالیزورها راندمان واکنش های شیمیایی را به شدت افزایش داده و همچنین به میزان چشمگیری از تولید مواد زاید در واکنش ها جلوگیری خواهند نمود. به کارگیری نانوذرات در تولید مواد دیگر می تواند استحکام آنها را افزایش دهد ویا وزن آنها را کم کندومقاومت شیمیایی وحرارتی آنها را بالا ببرد وواکنش آنها را در برابر نور وتشعشعات دیگر تغییر دهد.پس اولین کابردی که برای نانو ذرات می توان متصور شد، استفاده از این مواد در تولید نانوکامپوزیت ها ست. با استفاده از نانو ذرات، نسبت استحکام به وزن مواد کامپوزیتی به شدت افزایش خواهد یافت.اخیراً در ساخت شیشه های ضدآفتاب از نانوذرات اکسید روی استفاده شده است استفاده از این ماده علاوه بر افزایش کارایی این نوع شیشه ها عمر آنها را نیز چندین برابر نموده است از نانو ذرات همچنین در ساخت انواع ساینده ها، رنگها، لایه های محافظتی جدید وبسیار مقاوم برای شیشه ها وعینک ها(ضدجوش ونشکن) کاشی ها و برای افزایش استحکام سلول های خورشیدی نیز با استفاده از نانوذرات تولید شده اند.قبلاً بحث شد که با کوچک شدن ذرات خواص کلی آنها تغییر می کند.وقتی اندازه ذرات به نانومتر می رسد یکی از خواصی که تحت تاثیر این کوچک شدن اندازه قرار می گیرد تاثیر پذیری از نور وامواج الکترومغناطیسی است با توجه به این موضوع اخیراً چسب هایی از نانو ذرات تولید شده اند که کاربرد های مهمی در اپتوالکتریک وصنایع الکترونیکی دارند. ورود نانو ذرات به رنگها یا مواد ساختمانی وزن را کاهش می دهند ودر استفاده از رنگ در هواپیما مصرف سوخت را کاهش می دهد.(۲)

بسیاری از متخصصان، محققان، مهندسان و دانشمندان علوم اجتماعی و سیاستمداران، معتقدند که فناوری نانو موجب تغییرات مهمی در صنعت و جامعه می شود و این تغییرات می تواند این امکان راایجاد کند که مواد جدیدی تولید کنیم، موادی که به صورت بالقوه می تواند اثرات مثبت یا منفی روی ایمنی ،بهداشت و محیط زیست داشته باشند.

برخی کاربرد های فناوری نانو در ایمنی ،بهداشت و محیط زیست(HSE) عبارتند از:

أ- هوای پاک با فناوری نانو
ب- غبارهای هوشمند
ت- نانوحسگرهای گازی
ث- نانوپوشش ها
ج- سنسورها یاحسگرها
ح- کاربرد هایی نانو تکنولوژی در صنعت خودرو
خ- کاتالیست های زیست محیطی
د- مبدل های کاتالیستی
ذ- شیشه های نوین با توانایی بازتاب پرتو فروسرخ
ر- فناوری نانو و برخی کاربردهای آن در صنعت آب

ز- نانولوله های جاذب گازهای سمی

س- غشای نانو فیلتراسیون

ش- تودۀ نانوپلیمرهای متخلخل

ص- نانوپودرها (۵)

الف -هوای پاک با فناوری نانو:

افزایش دی اکسید کربن در هوا یکی از مشکلات اساسی در سطح جهان است .امید می رودکه با استفاده از کشف منابع جدید روزی برسد که از مصرف سوخت های فسیلی بی نیاز شویم و درهوایی عاری از دی اکسید کربن و انواع آلودگی ها تنفس کنیم .فناوری نانو از جمله فناوریهایی است که به کمک حل این مسئله آمده است و این امکان را به وجود آورده است تا به سوی ساخت انرژیی ارزان تر و پاکیزه تر از سوخت های فسیلی نزدیک شویم.

محققان در دانشگاه ملی اوک ریج موفق به ساخت نانوکریستالی شده اند که ما را در داشتن هوایی پاک تر کمک می کنند .نانوکریستال درست مانند یک کاتالیزور عمل می کند، هنگامی که دی اکسیدکربن هوا بر روی این نانوکریستال که دارای کادمیوم، سیلینیوم و ایدیوم است می نشیند، یک الکترون به دی اکسید کربن می دهد تا در مجاورت سایر اجزای دود واکنش نشان دهد و بی ضرر شود .اگرفیلترهای متشکل از این نانوکریستال ها را بتوان با قیمت مناسب تری ساخت و آنها را در دودکش ها نصب کرد می توان تا حد زیادی از انتشار و خروج دی اکسید کربن در هوا جلوگیری کرد.

ذره معلق مضر دیگری که دانشمندان امیدوارند تا با استفاده از نانوکریستال بتوانند آنرا خنثی و یا ازبین ببرند، بخار جیوه است .تجهیزاتی که با زغال سنگ کار می کنند از مهمترین عوامل تولید بخارجیوه و انتشار آن در هوا هستند .یک روش جلوگیری از انتشار جیوه، استفاده از نانوکریستال هایا اکسید تیتانیوم است که بخار جیوه را می توانند به اکسید جیوه جامد تبدیل نمایند.

اگر تاکنون در ترافیک در مجاورت اگزوز و یا دود اتوبوس و یا یک کامیون قرار گرفته باشید حتمااکسید نیتروژن را استشمام کرده اید .موتورهای دیزلی (گازوئیل سوز) از جمله مهمترین منابع آلوده کننده هوا با اکسیدهای نیتروژن می باشند. با کمک آژانس حفاظت محیط زیست و دریافت کمک مالی از ایالت تگزاس، (بیوفرندلی) شرکت موفق به ساخت نانوکریستالی شده است که با افزودن آن به گازوئیل می تواند از تولید اکسید نیتروژن جلوگیری کند و سبب شود تا سوخت کامل بسوزد.

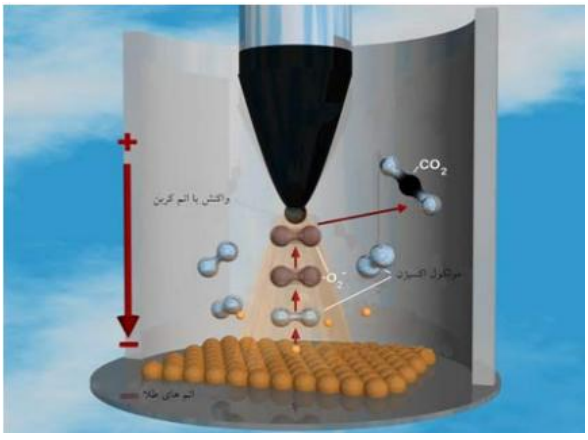
تصور نکنید که صنایع تولید تمیز مانند صنایع تولید تراشه های کامپیوتری به عنوان آلوده کننده های محیط زیست به شمار نمی آیند بلکه برعکس این صنایع به علت استفاده از مواد شیمیایی آلی در فرایندهای تولید منشا تولید بخارات آلی هستند که خود مضرر می باشند . محققان آزمایشگاه ملی شمال غربی اقیانوس آرام در حال بررسی نانومواد‌ی هستند که با استفاده از آن در فیلترها می توانند از انتشار بخارات آلی این دسته از کارخانجات جلوگیری کنند. شاید در آینده نه چندان دور دیگر چیزی در خصوص میزان آلودگی های هوا در اخبار روزانه نشنویم تا با خیالی آسوده بتوانیم در هوایی پاک تنفس کنیم.

ب - غبارهای هوشمند:

یکی از نیازهای مهم و اساسی در ارتباط با کنترل آلودگی محیط زیست، پایشِ مستمرّ آلودگی هواست .با استفاده از نانوحسگرها پیشرفت مؤثری در زمینه ی کنترل آلودگی هوا صورت گرفت . با اختراع اولین نمونه های غبار هوشمند، تولید اینگونه حسگرها به مرحله کاربرد عملی نزدیک شد. هدف اصلی از ساخت غبارهای هوشمند، تولید مجموعه ای از حسگرهای پیشرفته به صورت نانورایانه های بسیار سبک است .این نانوحسگرها به راحتی ساعت ها در هوا معلق باقی می مانند.

ت - نانوحسگرهای گازی:

نشت گازهای مهلک یکی از خطرات روزمرّه زندگی صنعتی است. متأسفانه هشداردهنده های موجود در صنعت اغلب بسیار دیر موفق به شناسایی اینگونه گازهای نشتی می شوند . این نوع حسگرها از نانوتیوب های تک لایه به ضخامت حدود یک نانومتر ساخته شده اند و می توانند مولکول های گازهای سمی را جذب کنند . آنها همچنین قادر به شناسایی تعداد معدودی از مولکول های گازهای مهلک در محیط هستند .این گونه حسگرهای گازی برای شناسایی گازهای آمونیاک و دی اکسید نیتروژن که از جمله گازهای سمی به شمار می روند ، با موفقیت آزمایش شده اند. شکل ۱ ، سازوکارِ اندازه گیری گازCO_2 را نشان می دهد.



شکل ۱- نانوحسگر گازی

نمونه ی آزمایشی این حسگرها قادر به شناسایی آنی مولکول های آمونیاک و دی اکسید نیتروژن در غلظت ۲۰ ppm (یعنی ۲۰ قسمت در یک میلیون قسمت) شده است . محققان مدعی اند که این حسگرها برای شناساییِ به هنگام گازهای بیوشیمیایی جنگی، آلاینده های هوا و حتی مولکول های آلیِ موجود در فضا کاربرد خواهند داشت .

ث - نانوپوشش ها:

پوشش های نانوساختاری پیشرفته به خوبی بر سطوح مختلف از قبیل فلزات، شیشه ، سرامیک و پلاستیک می چسبند و تنها چند میکرون ضخامت دارند . ویژگی بارز این نانوپوششگرها خاصیت ضدخوردگی آنهاست که کاربرد پوششی آنها را در فلزات سبک از قبیل آلومینیوم و منیزیم افزایش داده است .پوشش های یادشده، در مقابل حرارت بسیار مقاو م اند و می توانند دما را تا ۷۰۰ درجهٔ سانتی گراد تحمل کنند .استفاده از این نوع پوششگرها منجر به کاهش خوردگی فلزات می شود و در نهایت، ایمنی تجهیزات را افزایش و محیط زیست را با کاهش میزان مصرف مواد خام حفظ خواهدکرد. هزینه ها ی ناشی از خوردگی در تاسیسات فوق العاده زیاد است با این روش علاوه برکاهش حوادث از صرف جویی وکاهش هزینه ها را به دنبال خواهد داشت.

نحوهٔ ایجاد پوشش نانو روی سطوح کاربرد دیگر پوششگرهای نانوساختاری، در حذف گرد و غبار از روی سطوح مختلف و کاهش مصرف پاک کننده هاست .این نانوذرات را به صورت یک لایهٔ بسیار نازک برای روکش کردن سطوح مختلف از قبیل شیشهٔ اتومبیل ها به کار می برند . حوادث زیادی در زمان تمیز نمودن شیشه ها به دلیل سقوط از ارتفاع رخ میدهد که با این روش ریسک این فعالیت ها کاهش می یابد .(ایمنی)(شکل۲)

شکل۲ نحوهٔ ایجاد پوشش نانو روی سطوح

ج - سنسورها یاحسگرها:

انواع گسترده ای از حسگرهای زیستی و روش های مربوطه در طی چند سال گذشته در بازار معرفی شده اند .این دستگاههای آنالیتکی از عناصر تشخیص بیولوژیکی تشکیل می شوند که با آشکارسازی های سیگنال مرتبط هستند (مثلاً آنزیمها، میکروارگانیزم ها و غیره) .این دستگاهها نسبت به حضور و غلظت آنالیست واکنش داده و پاسخی قابل اندازه گیری تولید می کنند .نانو مواد و نانو ساختا ر های جدید مانند نانوذرات، نانوکریستال ها، نانو لوله های کربنی، نانوالیاف و فیلم نازک بعنوان دستگاه های حسگر مشخص شد ه اند، نانوذرات کاربردهای بسیاری در سنسورها دارند.نانوذرات، نانوکریستال های نیمه هادی درخشان و نقاط کوانتومی دسته ای از نانوحسگرهایی هستند که توانایی آشکار کردن سموم موجود در محیط را دارند و مشخص شده است که نانو کریستا لها و نقاط کوانتومی همراه با پادتن ها می توانند بطور همزمان چهار نوع سم را آشکار نمایند .(کار برد در بهداشت حرفه ای)

این نوع نانوسنسورها برای آشکارسازی همزمان چند آلاینده در نمونه های آب یا خاک با ظرفیت آشکارسازی حساسیت بالا به کار می رود، تحقیقات زیادی بر روی نانوساختارهای لوله ای و متخلخل از قبیل نانو لوله های کربنی انجام شده است، این نانوساختارها در حسگرهای زیستی برای افزایش کیفیت و فعالیت بیومولکول های ساکن استفاده می شوند .خواص ابعادی، شیمی سطح و الکترونیک نانولوله های کربنی آنها را به موادی اید ه ال برای استفاده در حسگرهای شیمیایی و بیوشیمیایی تبدیل نموده است.پیش بینی می شود که فناوری نانو موجب افزایش حساسیت حسگرها و تولید ارزان وخودکار آنها گردد و بتواند در آزمایشگاه و خارج از آن جهت آشکارسازی سریع مواد سمی و بیماریزا (پاتوژن)به کار رود.

نسل جدیدی از نانوذرات به منظور حذف هیدروکربنهای آروماتیک چندحلقه ای که به سختی از آب یا خاک آلوده حذف می شوند، طراحی شده است.کاربرد هایی نانو تکنولوژی در صنعت خودروکاربرد های نانوتکنولوژی همه جا همراه با هزینه کمتر، دوام و عمر بیشتر، مصرف انرژی پایین تر، هزینه نگهداری کمتر و خواص بهتر است .یکی از چشم اندازهای امیدوار کنندهٔ این تکنولوژی پیشرفته تحول در صنعت خودر وسازی می باشد .یکی از اصلی ترین موضوعات نانوتکنولوژی، ساخت مواد باخواص جدید است .این مواد ارزش افزوده بسیار بالا و کارایی بالاتری در تمام صنایع خواهند داشت که صنعت خودرو نیز از آن مستثنی نمی باشد .ساخت بدنه های سبکتر و مقاومتر برای خودرو، ساخت لاستیک هایی با مقاومت سایشی بهتر، ساخت قطعات موتور با عمر چند برابر، کاهش مصرف سوخت خودرو ، ساخت باتری هایی با انرژی بالا و دوام بیشتر، نانوساختارهایی مبتنی بر کربن به عنوان سوپراسفنج هیدروژنی در خودروهای پیل سوختی، ساخت حسگرهای چند منظوره برای کنترل فرایند های مختلف در خودر و، ساخت کاتالیزورهای اگزوز خودرو جهت کاهش آلودگی هوا، لایه های خیلی محکم با خصوصیات ویژه ای مثل الکتروکرومیک(رنگ پذیری الکتریکی)یا خود پاک کنندگی برای استفاده در شیشه ها و آینه های خودرو و سازگارکردن خودرو با محیط زیست و بسیاری از موارد دیگر از جمله کاربردهایی هستند که نانو تکنولوژی در صنعت خودرو خواهد داشت.

خ - کاتالیست های زیست محیطی:

از زمینه های دیگر کاربردهای مواد نانوساختاری، استفاده از آنها به عنوان کاتالیزورهای زیست محیطی برای تصفیه خروجی اگزوز اتومبیل ها و پالایش آب و هواست .استانداردهای مربوط به گازهای خروجی از اگزوز اتومبیل ها روزبه روز سخت گیرانه تر و دقیق تر می شود. کاتالیزورهای رایج که اغلب پایه ی پلاتین دارند، اگرچه راندمانشان کافی است، اما بسیار گران قیمت اند . به همین جهت،کاتالیزورهای نانوساختاری به عنوان جایگزین ارزان قیمت کاتالیزورهای یادشده مورد توجه قرار گرفته اند (ایمنی و محیط زیست) .

د-مبدل های کاتالیستی :

همانطور که می دانید اگر احتراق به طور کامل و ایده آل رخ دهد خروجیهای حاصل از آن، آب، نیتروژن$N2$ ، دی اکسید کربن $CO2$ می باشد و اگر احتراق در شرایط ایده آل رخ ندهد مثلا برای احتراق هوای مناسب وجود نداشته و ....در اینصورت خروجیهای حاصل از احتراق، گازهای زیان آوری همچون مونو اکسید کربن(CO) گروه گازهای (NOx)و هیدروکربنهای نسوخته(CH) می باشند وظیفه مبدل کاتالیستی که در مسیر گازهای خروجی از موتور قرار می گیرد این است که گازهای فوق را به گازهای بی خطر تبدیل کند.

ذ- شیشه های نوین با توانایی بازتاب پرتو فروسرخ :

نمونه ای دیگر از کاربرد های نانوفناوری در صنعت شیشه خودرو، شیشه هایی با قابلیت بازتاب پرتو فروسرخ نور خورشید می باشد .به این گونه که یک لایه بسیار نازک از نانوذرات بین دو لایه ی شیشه قرار گرفته اند که وظیفه آنها بازتاباندن پرتو فرو سرخ نور خورشید و در نتیجه جلوگیری ازگرم شدن زیاد داخل خودرو می باشد و ایمنی دید در رانندگی. (ایمنی)

ر- فناوری نانو و برخی کاربردهای آن در صنعت آب:

استفاده از فناوریهای نوین به خصوص فناوری نانو در راستای کاهش اثرات سوء آلودگیهای زیست محیطی، بعنوان یکی از راهکارهای مدیریتی مطرح می باشد . یکی از مواردی که این فناوری کاربرد خود را متبلور می نماید در ارتباط با منابع آب می باشد که در نظر گرفتن چالشهای پیش رو ضرورت استفاده از آن را پر رنگ تر نموده است .در زیر برخی کاربرد های فناوری نانو در صنعت آب اشاره شده است.

۱-نانوفیلتراسیون:روش نانوفیلتراسیون طی چند سال گذشته رونق گرفته است .در نانو فیلتراسیون جدا سازی براساس اندازه مولکول صورت می گیرد و فرآیندی فشاری است .اساساً این روش جهت حذف اجزای آلی نظیر آلوده کنند ههای میکرونی و یونهای چند ظرفیتی می باشد .از دیگر کاربردهای نانو فیلتراسیون می توان به حذف مواد شیمیایی که به منظور کشتن موجودات مضر به آب اضافه شده اند، حذف فلزات سنگین، تصفیه آبهای مصرفی، رنگ زدایی و حذف آلوده کننده ها و حذف نیترات ها اشاره کرد.

نانو فیلتراسیون می تواند تقریباً از هر منبع آبی، آب پاک به وجود آورد و تمام باکتر یهای موجود در آب را حذف کند .در ضمن امکان استفاده آسان از روشهای تصفیه را برای عموم فراهم می کند و بدون عمل شیمیایی تصفیه را انجام می دهد.

۲-نانوفیلترها: یکی دیگر از کاربردهای مهم فناوری نانو در محیط زیست، استفاده از نانوفیلترهاست . لازم به ذکراست که فیلتر های معمولی توانایی فیلتر کردن ذرات ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر را دارند . این در حالی است که جداره روزنه های غشاهای نانو معمولاً بین ۱ تا ۱۰ نانومتر است. غشاهای مورد استفاده در فرآیند نانوفیلتراسیون معمولاً مولکول های بزرگ را دفع می کنند و در مقایسه با فرآیند اسمز معکوس، قادرند با صرف انرژی کمتر آب چاه ها یا آب های سطحی را نیز به خوبی تصفیه کنند.

ز- نانولوله های جاذب گازهای سمی:

طبق تحقیقات وسیع انجام گرفته، نانولوله های کربنی مناسب ترین وسیله برای جذب آلاینده ه های سمی از قبیل دیوکسین ها و دیگر آلاینده های موجود در گاز خروجی از دودکش های کوره های زباله سوز به شمار می روند .مواد سمی از نوع دیوکسین عموماً محصول جانبی بسیاری از فرآیندهای صنعتی اند که ضمن پایداری فراوان، باعث آلودگی بلند مدت هوا، خاک ، آب و در نهایت زنجیرهٔ غذایی موجودات زنده می شوند .برخی از دیوکسین ها سرطا نزا هستند و بسیاری از آنها باعث اختلال در سیستم ایمنی بدن انسان ها می شوند .اگرچه در سال های اخیر بسیاری از کشورها تولید این ماده را به شدت تحت کنترل قرار داده اند، لیکن هنوز خطرات زیست محیطی آن کماکان تهدیدکننده به شمار می آیند .اگرچه نانولوله های کربنی مناسب ترین وسیله برای جذب آلاینده ه های سمی مانند دیوکسین اند، ولی در حال قیمت بسیار زیادی دارند .تحقیقات دامنه داری برای تولید ارزان نانولوله ها در جریان است .نانولوله های کربنی مناسب ترین وسیله برای جذب آلایند ههای سمی مانند دیوکسین هستند.

س - غشای نانو فیلتراسیون:

استفاده از غشای نانوفیلتراسیون جهت حذف نمک های چندظرفیتی عناصری مانند کلسیم، آهن، منگنز، اورانیوم و برخی آفت کشها، راهکار دیگری است که توسط فناوری نانو ارائه می گردد. تصفیه آبهای سطحی و زیرزمینی و نیز حذف میکروارگانیزم ها و کاهش تیرگی و سختی آب و دفع شوری و نمک زدایی آب از دیگر فواید فنا وری نانو می باشد.

ش - تودهٔ نانوپلیمرهای متخلخل:

هنگامی که آلاینده های آلیِ آب گریز از طریق آب وارد خاک می شوند، به راحتی توسط ذرات جامد غیر محلول در آب جذب و از آب جدا می شوند .پدیدهٔ جذب و دفع این گونه آلاینده ها از آب به خاک و از خاک به هوا بسیار پیچیده است و به عوامل متعددی از قبیل حلالیت در آب، آب موجود در شبکهٔ خاک و رقابت اجزای مختلف خاک برای جذب این ذرات بستگی دارد .هنگامی که بیش از یک مولکول آب گریز در محیط وجود داشته باشد، مولکول های آلاینده به جسمی متصل می شوند که از لحاظ شیمیایی بیشترین شباهت را به آنها داشته باشد .به همین علت، نانوپلیمرهای متخلخل که شباهت زیادی به مولکول های مواد آلاینده دارند، مناسب ترین وسیله برای جداسازی این نوع آلاینده های آلی از آب و خاک به شمار می روند.(بهداشت محیط و محیط زیست)

امروزه برخی از قطعات رایانه ها را از نانوپلیمرهای متخلخل می سازند، مانند صفحه کلید، موس پد وغیره.

نانوپلیمرهای متخلخل، مناسب ترین وسیله برای مو س پد هستند!

برخی از کاربردهای نانوپلیمرهای متخلخل عبارتند از:

- اغلب آلاینده های آلی را از آب آشامیدنی جدا می کند.

- با استفاده از نانوپلیمرهای متخلخل می توان پساب های مصرفی واحدهای صنعتی مانند نیروگا ههای هسته ای را تصفیه کـرد و مـورد اسـتفادهٔ مجدد قرار داد.
- در صورت آلوده شدن منابع آبی به آلاینده های آلی مانند نشت نفت از تانکرها به اقیانوس، این پلیمرها قادر به پاکسازی منابع مذکور هستند.
- در صورت آلوده شدن منابع آبیِ زیرزمینی، این مواد می توانند آلاینده های آلی را حذف کنند.
- توجه به استفادهٔ مکرر از پسا بهای واحدهای صنعتی، کمک شایانی به حفظ منابع آب موجود می کند.
- با توجه به اینکه نانوپلیمرهای متخلخل به کرات مورد استفاده قرار می گیرند، بنابراین، هزینه های تصفیه به مراتب کمتر می شود.

ص – نانوپودرها:

نانوپودرها موادی به شدت فعا لند که در دمای پایین ذوب یا آلیاژ می شوند . این پودرها در فرآیندهای قالب گیریِ تزریقی و پوشش دادن سـطوح مختلـف مورد استفاده قرار می گیرند . نوعی از پودرهای نانوساختاری یادشده که حاوی ذرات ریز آلومینیوم است، در صورت افزوده شدن به سوخت های جامد موشک ها شدت سوختن آنها را تا دو برابر افزایش می دهد .اضافه کردن این پودر به نفت سفید باعث تسریع در احتراق آن و در نتیجه کاهش تولید آلاینده ه هـای مختلف می شود.سرعت موشک هایی که سوخت حاوی نانوپودر دارند، سریعتر از موشک های معمولی است (۵)

مخاطرات فناوری نانو:

سمیت و بیولوژیکی نانو ذرات :

در حال حاضر نانوذراتی که به طور ناخواسته، از طریق فرآیندهای احتراق انجام شده جهت تولید انرژی یا در اتومبیـل‌هـا، فرآینـدهای خـوردگی مکـانیکی و یـا فرآیندهای صنعتی معمول به وجود می‌آیند، بیش از تولید صنعتی نانوذرات بر محیط زیست و زندگی انسان تاثیر می‌گذارند. اما اثرات افزایش بیش از حد تولید و استفاده از نانومواد در سلامت کارکنان و مصرف کننده‌ها، سلامت عمومی و محیط زیست باید به دقت مـورد توجـه قـرار گیـرد. از آنجـایی کـه فرآینـد رشـد و واکنش‌های شیمیایی کاتالیستی در سطح اتفاق می‌افتند، یک مقدار مشخصی از ماده در مقیاس نانومتری بسیار فعال‌تر از همان مقدار ماده بـا ابعـاد بـزرگ‌تـر می‌باشد. این ویژگی‌ها ممکن است بر روی سلامتی و محیط زیست اثرات منفی داشته و منجر به سمیت زیاد نانوذرات شوند. (۶)

اطلاعات کمی در مورد اثرات سم شناسی و بیولوژیکی نانوتکنولوژی مخصوصاً شک و شبهاتی در رابطه با راههای بالقوه تماس و جابجایی مواد نـانو در دفعـه اول ورود آنها به بدن و پاسخ بدن به مواد نانو وجود دارد. انواع بسیار مختلف ذرات نانو و خصوصیات مختلفشان دسترسی کلی به اثرات سـم شناسـی آنهـا را در ایـن مرحله غیر ممکن ساخته است. مشخص نیست که چگونه خصوصیات مختلف ذرات مثل سطح ناحیه ای، حلالیت، شکل وسطح شیمیایی سـمیت ذرات را تحـت الشعاع قرار می دهند. به هر حال یافته های بسیار رایجی هستند که نشان می دهند سایز ذره،سطح ناحیه ای و سطح شیمیایی به عنوان فاکتورهـای کلیـدی در ایجاد اثرات بهداشتی سوء می باشند.به دلیل سایز کوچک استثنایی که ذرات نانو دارند قادرند مکانیسم های دفاعی بدن را مسدود کرده و تشکیل ذراتی با سایز بزرگتر بدهد ذرات نانو در مقایسه با ذرات بزرگتر نسبت سطح به جرم بسیار بزرگتری دارند که ممکن است ذرات را قادر به نفوذ به درون سلولهای بدن و تشکیل ساختارهایی متفاوت ودر مقیاسی بزرگترازآنها بدهد. تماس با ترکیبات نانو به احتمال زیاد از طریق استنشاق انجام می شود اما ممکن است از طریق پوسـت یـا گوارش نیز انجام شود.مطالعات زیادی نشان داده است که ذرات نانو قادرند از ریه ها به داخل جریان خون عبورکرده و در سایر ارگانهای بدن انتشار یابند مطالعات روی چندین نوع از حیوانات حاکی از آن است که تماس با ترکیبات نانو ممکن است باعث تغیرات پاتولوژیکی ریه از جمله سر طانها، التهاب، فیبـروز و مـشکلات تنفسی شود. (۲)

تنفس نانوذرات :

معمولا ذراتی با ابعاد بین ۰/۵ تا ۵ میکرون (توده ذرات قابل استنشاق)در بهداشت حرفه ای دارای اهمیت زیادی می باشند زیرا اولا با چـشم دیـده نمـی شـوند وثانیا در اثراستنشاق ، توان ورود به حبابچه های هوایی وایجاد صدمات موضعی وسیستماتیک را دارند.(۱۷)خطرات احتمالی نانوذراتی که در هوا پخش شده‌انـد، یعنی آئروسل‌ها از اهمیت بیشتری برخوردارند. این قضیه به دلیل تحرک بالای آنها و امکان جذب آنها از طریق ریه، که راحت‌ترین مسیر ورود به بدن مـی‌باشـد، اهمیت پیدا می‌کند. اندازه ذرات تا حدزیادی تعیین‌کننده محل نشست این ذرات در دستگاه تنفسی می‌باشد. به خاطرراحت‌تر شدن کار، دستگاه تنفسی را به سه قسمت ناحیه‌ای و کارکردی تقسیم می‌کنیم:

۱- مسیرهای هوایی بالایی،

۲- ناحیه نایژه‌ها، که هر دوی آنها به وسیله لایه موکوس حفاظت می‌شوند. در اینجا ذرات بزرگ‌تر، از طریق نشستن بر روی دیواره مسیر هوایی، از هوای ورودی به ریه جدا می‌شوند. حرکات مژه‌های این قسمت، خلط را به سوی گلو بالا برده و از آنجا یا در اثر سرفه خارج و یا بلعیده می‌شوند. ذرات کوچکتر (کوچکتر از ۲/۵ میکرومتر) و نانوذرات ممکن است وارد کیسه‌های هوایی شوند، که ناحیه مبادله گاز در ریه می‌باشند. جهت تسهیل جذب اکسیژن و دفع دی‌اکسید کربن، تمام غشاها و سلول‌ها در این قسمت از ریه، نازک و آسیب‌پذیر بوده و هیچ‌گونه لایه حفاظتی ندارند. تنهـا مکانیـسم حفـاظتی در ایـن قـسمت از طریـق ماکروفاژهـا می‌باشد .

۳- ماکروفاژها سلول‌های بزرگی هستند که اشیای خارجی را بلعیده و از طریق جابه‌جا کردن آنها، به عنوان مثال به سوی گره‌های لنفاوی، آنها را از کیـسه‌هـای هوایی خارج می‌کنند. نانوذرات تا حد زیادی از این سیستم حفاظتی رها شده و می‌توانند وارد بافت‌های تنفسی گردند. ذرات و الیاف باقی‌مانـده مـی‌تواننـد بـا بافت‌های مخاطی ریوی بر هم کنش داده و منجر به ایجاد التهاب شدید، زخم و از بین رفتن بافت‌های ریوی گردند. این وضعیت ریه‌ها شبیه حالت به وجود آمده در بیماری‌هایی همچون بیماری باکتریایی ذات‌الریه، یا بیماری‌های ریوی صنعتی مهلک همانند سیلیکوسیس یا آزبستوسیس می‌باشد.(۶)

بتازگی مطالعات اپیدمی شناسی ثابت کرده اند ارتباط مستقیمی بین افزایش مقطعی مواد ذره ای و افزایش بیماری و مرگ و میر ناشی از نارسایی های قلبـی و عروقی وجود دارد. بیماران مسن تری که سابقه بیماری های قلبی یا تنفسی دارند و همین طور بیماران دیابتی ، در معرض خطر بیشتری قـرار دارنـد. همچنـین

ثابت شده است که نشست ذرات در اندازه های نانو در کیسه های هوایی شش ها منجر به فعال شدن تولید سیتوکینینی به وسیله ماکروفاژها و سلول های کیسه های هوایی شده و التهاب سلول ها را به دنبال دارد.

نمونه های تصادفی از میان بزرگسالان سالم در معرض آلودگی ذره ای هوا، نشان داد که در پلاسمای خون این افراد میزان ویسکوزیته افزایش پیدا کرده است. اما با این وجود، هنوز هم به طور کامل مشخص نیست که این مسائل را می توان به نانوذرات تعمیم داد یا خیر و جنبه های دیگر آلودگی زای این ذرات تا چه طیفی گسترده اند. (۷)

خطر انفجار:

علاوه بر کنترل تماس ذرات نانو با کارگران در محیط کار، خطر دیگری که مورد توجه است خطر ناشی از حریق یا انفجار به دلیل فعالیت کاتالیستی بسیاری از مواد نانو می باشد.تا کنون کنترل خطرات انفجار یا حریق ثبت نشده است. بعنوان یک پیش احتیاط کنترلهایی را باید در محیط کار به کار برد که مشابه آن برای مواد مشابه در سطح ماکرو استفاده خواهد شد.

تماس شغلی :

این موضوع حائز اهمیت است که بدانیم و قادر به ارزیابی تماس به منظور ارزیابی اینکه آیا مواد نانو به عنوان یک خطر ایمنی و بهداشت شغلی مطرح هستندباشیم.فعالیت هایی که مواد نانو را در فاز گازی تولید می کنند یا استفاده یا تولید مواد نانو به فرم پودرها یا محلولها را دارند در معرض بزرگترین خطر تماس شغلی با ذرات نانو می باشند.اگرچه تولید ذرات نانو به طور خاصی در سیستم های بسته انجام می شود، باز خطر تماس به آنها به انواع کنترل های موجود در محل بستگی دارد. بسیاری از روشهای محیط کار که ممکن است منجربه تماس با نانو ها شوند شامل کار با مواد نانو به صورت مایع بدون حفاظت کافی ، نظافت سیستمهای جمع آوری گردوغبارهایی که برای گیرانداختن ذرات نانو استفاده می شودمی باشند. افرادی که به تجارت مواد نانو مشغولند و فعالیت های کاری که ریسک بالایی از تماس با ذرات نانو دارند شامل حمل ونقل، نظافت، نگهداری روتین وسایل، مرتب کردن، ذخیره داخل مخازن وتوزیع کننده ها، به علاوه استفاده توسط مصرف کنندگان نهایی برای اهداف صنعتی. (۲)

استانداردها وتلاشهای بین المللی درحوزه نانو :

رشد بسیار سریع فناوری نانو ونفوذ بالقوه آن دربخشهای متعددی از اقتصاد ،باعث تلاشهای گسترده بین المللی درجهت بررسی وشناسایی ریسک های شغلی وزیست محیطی آن شده است.(۸) استانداردهای ایمنی، بهداشتی و زیست‌محیطی یکی از دغدغه‌های اصلی کشورها برای توسعه اغلب فناوری‌های نوین است،(۶) از آغاز به کار برنامه پیشگامی ملی فناوری نانوی آمریکا (NNI)،اهمیت جنبه های سلامت ،ایمنی وزیست محیطی فناوری نانو شناخته شد وبه عنوان حوزه ای در تحقیقات مطرح گردید. براساس تعریف سازمان مدیریت وبودجه (OMB) تحقیق وتوسعه در زمینه تاثیرات زیست محیطی ،بهداشتی وایمنی (EHS)، فناوری نانو شامل تلاشهایی است که هدف اصلی آن درک وشناخت خطرات بالقوه این فناوری برای سلامت ومحیط زیست است. خطرات بالقوه در برگیرنده آثار ارتباط انسان ،حیوان یا محیط زیست یا محصولات ، ابزارهای اساسی ومحصولات جانبی فناوری نانو است.

نکته اصلی در مورد تعریف این است که به این جمله اشاره دارد: "تلاشهای با هدف اصلی درک خطرات بالقوه". بنابراین بودجه اختصاصی تحقیق وتوسعه EHS، دیگربخشهایی که مستقیما به این اهداف مرتبط نیست را شامل نمی شود به عنوان مثال تحقیقات درزمینه سازوکارهای پایه برای تشخیص تعامل بین مواد نانو مقیاس مشمول این بودجه نمی شود .همچنین فعالیتهایی برای گسترش کاربردهای فناوری نانو که منجر به جمع آوری اطلاعات مرتبط با سمی بودن عناصر نانومقیاس است (مثال مراقبتهایی برای سرطان)جزو این بخش نیست .جداول ۱و۲ تخمین بودجه سال ۲۰۰۶ و۲۰۰۷ ، NNI درگروههای مرتبط وغیر مرتبط با مباحث EHS را نشان می دهد.(۹)

جدول۱

بودجه مباحث آموزشی ،قانونی ودیگرجنبه های اجتماعی (۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷)			
سازمان	واقعی ۲۰۰۵	تخمینی ۲۰۰۶	درخواستی ۲۰۰۷
NSF	۲۹/۱	۲۹/۴	۳۳/۴
DOD	۰	۰	۰
DOE	۰	۰/۸	۰/۵
DHHS(NIH)	۴/۱	۴/۲	۳/۸
DOC(NIST)	۰	۰	۰/۲
NASA	۰	۰	۰
EPA	۰	۰	۰
USDA(CSREES)	۰/۱	۰/۱	۰/۱
DHHS(NIOSH)	۰	۰	۰
USDA/FS	۰	۰	۰
DHS	۰	۰	۰
DOJ	۰	۰	۰
DOT(FHWA)	۰	۰	۰
TOTAL	۳۳/۳	۳۴/۱	۳۸/۰

جدول۲

بودجه تحقیق وتوسعه درزمینه محیط زیست،سلامت وایمني (۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷)			
سازمان	واقعی ۲۰۰۵	تخمینی ۲۰۰۶	درخواستی ۲۰۰۷
NSF	۲۰/۹	۲۲/۱	۲۵/۷
DOD	۱/۰	۱/۰	۱/۰
DOE	۰/۵	۰/۵	۰
DHHS(NIH)	۲/۷	۴/۵	۴/۶
DOC(NIST)	۰	۲/۴	۱/۸
NASA	۰	۰	۰
EPA	۶/۷	۳/۹	۸/۰
USDA(CSREES)	۰/۱	۰/۱	۰/۱
DHHS(NIOSH)	۳/۰	۳/۰	۳/۰
USDA/FS	۰	۰	۰
DHS	۰	۰	۰
DOJ	۰	۰	۰
DOT(FHWA)	۰	۰	۰
TOTAL	۳۴/۸	۳۷/۵	۴۴/۱

درحال حاضردر دنیا فعالیت بسیار گسترده ای روی استاندارد سازی فناوری نانو در حال انجام است .گوشه ای از زمینه فعالیتهای کمیته های استانداردسازی واستراتژی های پیشنهادی وبرنامه های مختلف بین المللی برای استانداردسازی فناوری نانو عبارتند از:

- فرهنگ اصطلاحات وعبارات نانو ذرات که درماه می سال ۲۰۰۵ در انگلستان توسط BSI تهیه گشته است.[1]
- کمیته فناوری نانو ایزو تاسیس شده است.(ISO/TC229)
- موسسه IEEE مستندات استانداردهای P 1650 را تهیه کرده است . به نقل از رئیس این گروه کاری ،دکتر دان کاموتا از شرکت موتورلا ، نسخه پیش نویس این استاندارد به منظورارائه در رای گیری ماه جون سال ۲۰۰۵ آماده شد.این استانداردبرای تعین ویژگیهای الکتریکی یک نانو لوله کربنی دوجهته است.
- چین ۱۷ استانداردملی در زمینه فناوری نانو تهیه کرده است.
- درکشورهای انگلستان ،ژاپن وآمریکا نیز کمیته ملی استاندارد سازی فناوری نانو تاسیس شده اند.
- درکشورکره گروه کاری در زمینه نانولوله های کربن تشکیل شده است که درزمینه استانداردسازی اندازه گیری میزان انتشار نانولوله کربنی است .
- کمیته اروپایی استراتژی برای استانداردسازی فناوری نانوتا سال ۲۰۰۷ تهیه می کند.
- کره نیزکمیته تخصصی رادرارتباط با نانو لوله کربنی تشکیل داده است که در حال حاضر درحال بررسی خواص هستند.
- کمیته E56 سازمان ASTM توسط ۱۲ کشور تاسیس شده ودارای گروه کاری به شرح زیر است:
  - اصلاحات
  - تعین ویژگیها
  - ایمنی وبهداشت محیط زیست ومحیط کار
  - قوانین حقوق معنوی
  - همکاری بین المللی
  - استانداردهای تولید(۱۰)

در مورد فناوری نانو، چالش‌های ویژه‌ای پیش روی کشور ما قرار دارد که نیازمند اتخاذ رویکرد هوشمندانه‌ای از سوی تمامی فعالان عرصه توسعه نانو است. این چالش‌ها عبارتند از:

۱.در عین وجود جذابیت‌های فراوان فناوری نانو و نبود گزارش‌های جدی مبنی بر خطرناک بودن کاربردهای آن، این فناوری به دلیل ماهیت غیرملموس خود نیازمند استانداردهای دقیق‌تری برای جلب اطمینان مشتریان است.

۲. اگرچه فعالیت‌های زیادی در زمینه تدوین استانداردهای نانو در جهان و ایران آغاز شده است، اما ماهیت استانداردسازی به ویژه در حوزه ایمنی، زمان‌بر است، زیرا نیازمند بررسی‌های زیادی در مورد اثرات محصولات بر سلامتی انسان و محیط زیست است؛ به طور کلی سرعت‌استانداردسازی بسیار کمتر از سرعت توسعه فناوری نانو در جهان است.

۳. افراط و تفریط در برخورد با خطرات احتمالی نانو می‌تواند نتایج زیان‌باری برای توسعه این فناوری مهم در کشور داشته باشد. (۶)

[1] (UK PAS Vocabular)

سازمان جهانی استاندارد (ISO)، طبقه‌بندی تعهد عمومی جدیدی برای منابع انرژی جایگزین و فناوری‌نانو ارائه کرده است. در حوزه فناوری‌نانو، این طبقه‌بندی جدید که برای تشریح استفاده روزافزون از این فناوری نوظهور ارائه شده است، «توزیع‌کنندگان نانو مواد و تولید نانو مواد» نام دارد.
در حالی که زمانی استفاده از فناوری‌نانو به صنایع الکترونیک و فناوری اطلاعات محدود شده بود، اما در حال حاضر از کاربردهای این فناوری نوظهور به طور گسترده در محصولات مصرفی، آرایشی- بهداشتی و پوشاک استفاده می‌شود.
طبقه‌بندی توزیع‌کنندگان نانو مواد برای ریسک‌های توزیع‌کنندگانی به کار می‌رود که نانومواد را به دیگران می‌فروشند. طبقه‌بندی تولید نانومواد نیز برای ریسک‌هایی به کار می‌رود که تولیدکننده یا مهندسی کننده نانومواد، برای دیگران ایجاد می‌کند.
طبقه‌بندی‌های جدید از اول ماه سپتامبر سال جاری میلادی (۱۰ شهریورماه ۱۳۹۰) در تمامی مراجع قضایی اجرا خواهند شد. ریسک با سرعت فزاینده‌ای در حال تغییر است. فناوری‌نانو و انرژی جایگزین تنها تعداد معدودی از فناوری‌های جدیدی هستند که منجر به نوآوری‌های گسترده‌ای در آینده شده و در حال حاضر نیز دربرگیرنده اثرات بالقوه زیادی هستند.
به گفته فیت جرالد (Fitzgerald)، معاون خطوط بازرگانی و مدل‌سازی ISO، در حال حاضر، ارائه این طبقه‌بندی‌ها به ما اجازه می‌دهد، داده‌های ویژه مربوط به این طبقات را جمع آوری کرده و از این طریق هزینه‌های این ریسک‌های جدید را بهتر ارزیابی کنیم. (۱۱)

ریسک فناوری نانو:

با افزایش علاقه نسبت به فناوری‌نانو و توسعه کاربردهای آن در جامعه، نیازمند چارچوبی برای پوشش دادن به موارد مختلف تأثیرگذار بر حوزه‌های مختلف این فناوری هستیم. کمیته اداره بین‌المللی ریسک [1]یک چارچوب مفهومی برای فناوری‌نانو ارائه کرده است که توجه آن به سمت سناریوهای مقرراتی فعلی، وضعیت بین‌المللی و تعامل علم و سیاست است؛ این چارچوب با توجه به چهار نسل محصولات فناوری‌نانو و ویژگی‌های بالقوه آنها توسعه یافته است.
پیش ارزیابی نسل‌های چهارگانه محصولات فناوری‌نانو:
نسل اول محصولات فناوری‌نانو دربرگیرنده نانوساختارهای غیرفعال (عامل ثابت) ، همانند پوشش‌های نانوساختار ضدخش برای رنگ کاری است، نسل دوم، نانوساختارهای فعال هستند، برای مثال حسگرهایی که می‌توانند به تغییر در شرایط محیطی پاسخ دهند. نسل سوم نانوسیستم‌های منسجم خواهند بود که زیر سیستم‌های فعال را ترکیب خواهند کرد، برای مثال اعضای مصنوعی از عناصر نامقیاس ساخته خواهند شد. انتظار می‌رود که نسل چهارم مبتنی بر سیستم‌های مولکولی ناهمگن متکی بر رویکرد پایین به بالا باشد. جهت ساده‌سازی اثر بالقوه رشد فزاینده این فناوری میان‌رشته‌ای برای توسعه راهبردهای ریسک و مدیریت ریسک، چهار نسل محصولات فناوری‌نانو در دو گروه طبقه‌بندی می‌شوند؛ طبقه اول شامل نسل اول محصولات فناوری‌نانو و طبقه دوم شامل سه نسل باقی‌مانده محصولات فناوری‌نانو می‌باشند.
این طبقه‌بندی چارچوب مناسبی را برای تصمیم‌گیران ارائه می‌کند تا از طریق آن بتوانند هر نوع ریسکی را ارزیابی و مدیریت نمایند.

ارزیابی ریسک [2]:

ارزیابی ریسک برای چارچوب اول شامل ارزیابی مخاطرات، و ریسکها با توجه به توسعه محصول است. در حال حاضر اطلاعات ما از ریسکهای ایمنی، سلامت و ریسکهای زیست محیطی که به جامعه مربوط می‌شوند، محدود به نانومواد است. مخاطرات به حوزه‌هایی مانند میزان سمی بودن، سرطان‌زایی، فرّار بودن، آتش‌گیر بودن، نفوذپذیری و تجمع در سلول‌ها مربوط می‌شود. ریسک ها به ریسک های سلامت انسان، انفجار و زیست‌محیطی تقسیم می‌شود. ریسکهای سیاسی و اجتماعی با توجه به جهت و سطح توسعه تحقیقات فناوری‌نانو به وجود می‌آیند. ریسک دیگری نیز وجود دارد و آن وجود شکاف آموزشی بین ذی‌نفعان مختلف است که می‌تواند منجر به از دست رفتن فرصت‌های نوآورانه گردد. (۱۲)
ارزیابی ریسک برای چارچوب دوم به دلیل نداشتن درک کامل از اثرات زیست محیطی، شیمیایی و فیزیکی نانوساختارها مشکل‌تر است. ارزیابی ریسک و تعیین مشخصات آن مرحله سوم، تعیین مشخصات و ارزیابی ریسک فناوری‌نانو در رابطه با چارچوب‌های دوگانه است .
به طور کلی ریسک به ساده، پیچیده، نامعین (مبهم) طبقه‌بندی می‌شود. ریسک ساده دارای روابط علی- معلولی مشخصی برای عناصر و اثرات آنهاست. ریسک پیچیده ریسکی است که در آن شناسایی روابط علی و اثرات آنها دشوار است. در این ریسک اطلاعات کافی درباره روابط علی و معلولی و اثرات آنها در توسعه فناوری وجود ندارد. ریسک مبهم نیز به کامل نبودن دانش مربوط می‌شود؛یعنی با دانش موجود، به مفروضات و پیش‌بینی‌های مبهم اتکا نماییم. ریسک مبهم تعابیر مختلفی دارد، زیرا بر فقدان درک صحیح از پدیده و اثرات آنها دلالت دارد. دانش چارچوبیک، برای نانوساختارهای غیرفعال که اثرات کمی بر مسائل اجتماعی دارند، پیچیده در نظر گرفته می‌شود. در چارچوب دوم، دانش مربوط به نانوساختارهای فعال به خاطر فقدان ریسک مربوط به دانش فنی، مبهم در نظر گرفته می‌شود. دانش مربوط به نانوسیستم‌های منسجم و سیستم‌های مولکولی نیز به دلیل فقدان شفافیت در توسعه علمی و فناوری و اثرشان بر جامعه، مبهم در نظر گرفته می‌شوند.(۱۲)
در ارزیابی ریسک منابع و فعالیتهای دارای پتانسیل مواجهه با نانوذرات، نکات زیر حائز اهمیت می باشد:

- باید فهرستی از فرآیندها و فعالیتهای دارای پتانسیل مواجهه با نانوذرات تهیه شود.
- با استفاده از اطلاعات نوشته شده در برگه اطلاعات ایمنی مواد(MSDS) ، اطلاعات آماری و شواهد ،حاصل از مطالعات علمی، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، حالت و شکل حضور نانوذرات در محیط کار(ذرات اولیه یا به شکل توده اگریگیت/آگلومره) باید مورد ارزیابی قرارگیرد .در صورت عدم وجود اطلاعات اختصاصی در مورد یک ماده باید از استانداردهای موجود برای مواد مشابه (در اندازه های درشت تر) برای ارزیابی کیفی ریسک و پیش بینی خطرات بالقوه از نانوذرات/مواد استفاده شود.(۱)

---

[1] (IRGC)
[2] Risk Assessment

- برای ارزیابی ریسک مواجهه افراد با نانوذرات میتوان از سوالات زیر کمک گرفت:

الف- نانومواد به چه شکل مورد استفاده قرار میگیرند (پودر، سوسپانسیون یا محلول و یا روی یا درون یک ماتریکس)؟

ب- آیا امکان آزاد شدن نانوذرات و مواجهه با آنها وجود دارد؟

پ- نانومادهٔ/مواد مورد استفاده دارای چه خطرات شناخته شدهای(مانند :قابلیت اشتعال ، سمیت ، سرطانزایی یا واکنش پذیری زیاد) میباشد؟

ت- نانوذرات در محیط به کدام یک از اشکال ذرات اولیه، آگلومره یا اگریگیت وجود دارند؟

ث- مکانهایی که امکان وجود نانوذرات در هوا، روی سطوح محیط کار یا مکانهای دیگری که ممکن است افراد در معرض قرار گیرند کدامند؟

ح - وظایفی که ممکن است افراد هنگام انجام آنها با نانوذرات مواجهه داشته باشند کدامند(مانند : تولید ، تمیز کردن ، تعمیر و نگهداری ، حمل و نقل و انبارکردن)

چ- در زمان انجام هر وظیفه چه فرد یا افرادی ممکن است در معرض قرار گیرند؟ فرد انجام دهنده وظیفه،کارکنان مشغول در فعالیتهای مجاور، بازدیدکنندگان، پیمانکاران، مدیران و سایرین از جمله این افراد می باشند.

ح- راههای بالقوه ورود ذرات به بدن در مواجهه های فردی کدامند (مانند :تنفسی، بلعی و تماسی از راه پوست و مخاط)؟

خ- احتمال وقوع مواجهه با نانوذرات چقدر است (فعالیتهای معمول و غیر معمول مانند نشتهای تصادفی و تعمیر و نگهداری)؟

د- تناوب زمانی، مکانی وقوع مواجهه چقدر است (مانند :پیوسته در طول یک شیفت، بطور متناوب یا به ندرت)؟

ذ- افراد به چه میزان و برای چه مدت در معرض نانوذرات قرار دارند؟

یادآوری- برای پاسخ به این سوال، اندازه گیری و پایش محیط کار و افراد در معرض ضروری است.

ر- مقدار نانومواد مورد استفاده چقدر است؟

یادآوری- جرم و تعداد ذرات بیشتر، ریسک مواجهه فردی یا ریسک حریق و انفجار را افزایش میدهد.

ز- تمایل نانومواد به انتشار در هوا (به شکل ذرات جامد یا ذرات اسپری یا قطرات کوچک)چقدر است؟

س- منبع انتشار نانوذرات به چه میزان محصور است یا فرد در معرض به چه میزان حفاظت شده است؟

ش - در هر وظیفه چه نوع کنترلهایی قابل اجرا می باشند؟ این کنترلها میتواند شامل جداسازی فرد ازمنبع مواجهه از طریق محصور کردن فرد یا فرآیند، تهویه، آموزش و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی باشد.

- قبل از اقدام به تعمیر و تمیزکاری تجهیزات یا خارج کردن آنها از محیط کار باید کاملاً از آنها رفع آلودگی شود، چون تعمیر و نگهداری سیستمهای تولید(مانند : تمیز کردن و تخلیه مواد از سیستمهای جمع کننده نانوذرات) ممکن است سبب مواجهه با نانوذرات در اثر پخش شدن مجدد نانوذرات تهنشین شده شود.
- در صورت امکان، استفاده از فناوریهای تمیز کردن در محل توصیه میشود .این فناوری ممکن است نیاز به باز شدن در مخازن فرآیند را حذف و در نتیجه احتمال آزاد شدن نانوذرات در زمان تمیز کردن را به حداقل برساند.
- فعالیتهای تعمیر و نگهداری باید به گونهای طرح ریزی شوند تا از طریق به حداقل رساندن تعداد فعالیتها و زمان تعمیرات، موجب کاهش زمان مواجهه افراد با نانوذرات شوند.
- نشت اتفاقی نانوذرات در اثر بروز نقص در تجهیزات فرآیندها باید پیش بینی شده و تدابیر لازم اتخاذ شود .بطور مثال در فرآیندهای با فشار بالا (مانند : تکنیک های با سیال فوق بحرانی) یا با نیروهای مکانیکی بسیار قوی، نشت اتفاقی نانوذرات در اثر نقص درز بندی رآکتور یا آسیابها محتمل میباشد.
- بسته بندی، حمل و نقل و نگهداری نانومواد‌سفارش میشود تا زمان دستیابی به اطلاعات متقن علمی در زمینه ماهیت و سطح خطرات هر یک از نانومواد، نانومواد و پسماندهای آلوده به آنها جزء مواد خطرناک درنظرگرفته شده و مطابق با مقررات واستانداردهای موجود برای مواد خطرناک با آنها رفتار شود.(۱)

مدیریت ریسک [1]:

هدف راهبردهای مدیریت ریسک که در ادامه ارائه می‌گردند، سازمان‌دهی مخاطرات مربوط به جامعه از طریق تدوین مقیاس‌هایی برای اجتناب، جلوگیری، کاهش و انتقال ریسک است؛ با توجه به میان‌رشته‌ای بودن فناوری‌نانو وکاربردهایش در بخش‌های مختلف، این امر مستلزم یک رویکرد تکاملی است. برای نانوساختارهای غیرفعال، راهبردهای مدیریت ریسک شامل توسعه روش‌های آزمایش و شناسایی بهترین روش‌های اندازه‌گیری میزان سمیت است. راهبردهای دیگر شامل توسعه فرایندها و محصولات جدید است که می‌توانند فرایند توسعه فناوری را استاندارد سازند . محصولات فناوری‌نانو نیازمند آزمایش پیش بازاریابی برای بررسی اثرات محیطی و سلامت، ارزیابی چرخه حیات و ملاحظات مربوط به ریسک های ثانویه می‌باشند. برای مدیریت ریسک های معارضه محصولات، توسعه روش‌های تجزیه و تحلیل نانومواد به همراه روش‌هایی برای کاهش معارضه توسعه الزامی است. راهبرد مدیریت ریسک نهادی، داشتن ارتباط نظام‌مند بین صنعت و دولت را مورد تأکید قرار می‌دهد و نیاز به وجود شفافیت در تصمیم‌گیری برای R&D[2] و سرمایه‌گذاری را ضروری می‌داند. راهبردهایی که در بالا به آنها اشاره شد برای محصولات چارچوب دوم نیز قابل کاربرد است. شکاف دانش مربوط به محصولات چارچوب دوم نیازمند رویکرد مشارکتی و فعال جهت پاسخ به توسعه‌های جدید است.(۱۲)

---

[1] Nanotechnology management

[2] Research & development

جدول ۳ طبقه بندی نسل‌های مختلف محصولات فناوری نانو

طبقه	نسل‌های مختلف محصولات فناوری نانو	ویژگی‌های محصول
چارچوب یک	اول	نانوساختارهای غیرفعال
چارچوب دو	دوم	نانوساختارهای فعال
	سوم	نانوسیستم‌های منسجم
	چهارم	سیستم‌های مولکولی

سامانه مدیریت بهداشت وایمنی ومحیط زیست (HSE) [1]به طورکلی دارای هفت عنصرکلیدی والزامات ویژه ای می باشد که عبارتند از:

۱-رهبری وتعهد:اعتقاد نیروی انسانی در سطوح مختلف سازمانی

۲-خط مشی واهداف راهبردی : تعیین ومستند نمودن اهداف وخط مشی راهبردی توسط مسئول نهایی سامانه واطمینان یافتن او از موردتوجه بودن آن ها در تمام سطوح سازمانی وکاربردی بودن آن ها جهت کاهش خطرهای بهداشتی ، ایمنی ومحیط زیستی

۳-ساماندهی ،منابع ومستند سازی : طراحی نمودار سازمانی مناسب ، انتخاب نمایندگان مدیریت وتعین مسئولیت های آنان ، تخصیص منابع کافی ، تعین سطح شایستگی کارکنان در سامانه وچگونگی انتخاب آنها براساس معیارهای تعیین شده ، تدوین روشهای اجرایی جهت نظارت بر عملکرد پیمانکاران ،برقراری ارتباط وتبادل اطلاعات با کارکنان ، مدیران وتشکل های مردمی واستفاده از نظرات آنها ،تهیه مستندات سامانه از قبیل نظام نامه ، روشهای اجرایی ، دستورالعملهای کاری ، فرمها ، چک لیستها وسوابق(۱۳)

۴-ارزیابی ومدیریت خطر: آموزش به کلیه کارکنان سازمان وشناسایی وارزیابی خطرهای بهداشتی ،ایمنی ومحیط زیستی به کمک فن آوری های شناسایی و ارزیابی خطرات ازجمله تحلیل درخت خطا ، تجزیه و تحلیل خرابی و اثرات آن ،مطالعات عملیات وخطر ، تجزیه وتحلیل مقدماتی خطر و ارزیابی اثرات محیط زیستی همچنین تدوین روشهای اجرایی جهت ثبت خطرها ، معیارهای اجرا درسطوح مختلف و رویه هایی برای اجرای اعمال لازم جهت کاهش خطرها. (۱۴)

۵- طرح ریزی : برنامه ریزی های لازم جهت دستیابی به اهداف و اقدامات مربوط به اجرای انظباط های بهداشت ، ایمنی ومحیط زیست ، تدوین رویه ها جهت تطابق تجهیزات ومواد موجود با معیارهای بهداشتی ،ایمنی و محیط زیستی ، طرح ریزی وکنترل تغییرات در سازمان ، تعیین وضعیتهای اضطراری وتدوین برنامه هایی جهت مقابله موثر با آنها.

۶-اجرا وپایش : تدوین رویه هایی جهت پایش عملکردهای سازمان با الزامات برقرارشده نظیر اهداف ومعیار کارآیی عملکرد سامانه ،ثبت پیشرفت عملکرد سازمان در مسیر اهداف تعیین شده ، ثبت سوابق و موارد عدم انطباق با الزامات سامانه و اقدامات لازم جهت رفع عدم انطباق ها.

بنابراین در کلیه محیط های کاری نانو برای دستیابی به اهداف کنترلی و به حداقل رساندن مواجهه افراد با ذرات نانومقیاس باید برنامه ای تهیه شود .این برنامه باید کلیه فعالیتهای سازمان طی مراحل مدیریت، برنامه ریزی و اجرا را در برگیرد.

- خط مشی مکتوبی باید توسط مدیر ارشد سازمان تهیه شود .در این خط مشی باید برای به حداقل رساندن مواجهه شغلی با ذرات نانومقیاس تا پائینترین حد قابل اجرا (ALARP) [2]اشاره شود .این خط مشی باید به اطلاع کلیه کارکنان سازمان رسانده شده و در روشهای اجرایی، دستورالعملها و مواد آموزشی، طراحی امکانات و تأسیسات، دستورالعملهای صادره برای طراحان، فروشندگان و استفاده کنندگان منعکس شود.

- برای اجرای موثر برنامه کاهش مواجهه افراد به میزان ALARP ، براساس توصیه های این آئین کار و سایر مستندات معتبر، باید ساختار سازمانی مورد نیاز ایجاد و مسئولیتها مشخص شود.

- کلیه فعالیتهای برنامه کاهش مواجهه با ذراتUNP[3] باید مستند شوند .با توجه به مشخصات این برنامه مستنداتی که باید تهیه، نگهداری و به روزآوری شوند باید حداقل شامل موارد زیر باشند:

الف - شرح مسئولیتهای سازمانی افراد در قبال برنامه کاهش میزان مواجهه با ذرات UNP.

ب - خصوصیات مواد و اطلاعات مربوط به ایمنی آنها .(مانند :برگه های MSDS)

پ - نتیجه ارزیابیهای کیفی و یا کمی مواجهه با ذراتUNP ،ارزیابی ریسک و تجزیه و تحلیل خطر .

ت – تحلیلهای مهندسی و سایر تحلیلهای موجود که در مواردی همچون انتخاب تجهیزات و پارامترهای عملیاتی بکار میروند.

ث - مقررات کار، آئینهای کار، روشهای اجرای کار(SOP) [4]، خط مشی ها و روشهای مقابله با وضعیتهای اضطراری.

ج- مواد آموزشی کارکنان و گواهی های تائیدکننده گذراندن آموزشهای قبل از شروع کار و بازآموزی آنها.

چ- برنامه زمانبندی و روشهای بازنگری متناوب و اصلاح برنامه کاهش مواجهه، به روزآوری مستندات برنامه و گزارش نتایج.

خ- برنامه زمانبندی تعمیر و نگهداری، صدور گواهی (مانند : صدور گواهی جهت تأیید عملکرد و اثربخشی تجهیزات کنترلی) و کالیبراسیون تجهیزات (مانند : تجهیزات اندازه گیری و پایش ذرات نانومقیاس در محیط کار)

۷-ممیزی وبازنگری: تدوین روشهای اجرایی برای انجام ممیزی کلیه فعالیتهای صورت گرفته در سامانه جهت اطمینان ار تطابق آنها باعملیات از قبل طرح ریزی شده وبازنگری سامانه در فواصل معین جهت بررسی اثربخشی ویکپارچگی آن (۱۵)

---

[1] Health, Safety and Environmental
[2] As Low As Reasonably Practicable (ALARP)
[3] Unbound Engineered Nanoscale Particles (UNP)
[4] Standard Operating Procedures (SOP)

روشهای کنترل مواجهه با نانوذرات:

کنترلهای مهندسی:

با توجه به کمبود اطلاعات، نانوذرات نباید بعنوان ذرات بسیار کوچکی از موادی تلقی شوند که ریسک آنها، بویژه ریسک سم شناسیشان ، کاملاً شناخته شده بوده و مستند می باشند .به همین دلیل،بکارگیری اقدامات احتیاطی به شدت توصیه میشود .اقدامات احتیاطی باید:

الف- از نظر دامنه کاربرد و ماهیت با روشهای مورد استفاده در نواحی قابل مقایسه سازگار باشند.

ب - با سطح حفاظت مورد نظر متناسب باشند.

پ- دائماً بازنگری شوند.

را هبردهای مختلف کنترل مواجهه شغلی با نانومواد عبارتند از :

- ü حذف خطر
- ü جایگزینی مواد و فرآیندهای پرخطر با مواد و فرآیندهای کم خطر
- ü محصورکردن
- ü کنترلهای مهندسی
- ü کنترلهای مدیریتی
- ü استفاده از تجهیزات حفاظت فردی

برای دستیابی به اثربخشی مورد نظر، ترتیب اجرای این کنترلها را (از بالا به پایین) مطابق شکل ۳ رعایت نمائید .در عمل معمولاً ترکیب مناسبی از این استراتژی ها، بهترین شیوه کنترل مواجهه را فراهم خواهد کرد.

شکل ۳ نمایشی از ترتیب اجرای روشهای کنترل مواجهه براساس اولویت

طراحی دقیق و موثر فرآیندها نقش موثری در پیشگیری از وقوع مواجه های شغلی با نانوذرات دارد.در برخی شرایط، نصب برخی تجهیزات یا فرآیندها، با هدف اصلاح نواقص موجود در طرح اولیه ، میتواند بسیار مشکل باشد .به همین دلیل در مرحله طراحی باید به جانمایی تجهیزات و تأسیسات ، نصب، فرآیندها، نحوه کار تجهیزات و ایستگاههای کار توجه ویژه ای شود .فعالیتهای مرحله طراحی عبارتند از : تهیه طرحهای ساختمانی، طرح ریزی فرآیند خرید، تولید، بسته بندی، انبارداری، حمل و نقل و دیگر سیستم های مورد نیاز.

طراحی موثر از طریق شناسایی ریسک فاکتورهای مواجهه(مانند :اندازه ذرات، ماهیت یا رفتار ذرات)درفرآیندها و روشهای مختلف تولید و حذف یا به حداقل رساندن آنها از وقوع مواجهه های شغلی افراد با نانوذرات پیشگیری مینماید.

در صورت امکان، از مواد و فرآیندهای کم خطرتر استفاده نمائید .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 .نمونه هایی از جایگزینی عبارتند از:

الف - استفاده از نانوساختارهایی که درون مواد جامد جاسازی شده اند مانند مواد کپسول شده در یک کیسه پلاستیکی یا کپسول ژلاتینی غیر قابل حل

ب - استفاده از نانوساختارهایی که روی مواد جامد محکم شده اند

پ- تغییر شکل فیزیکی مواد یا محصول مانند استفاده از نانوذرات به شکل معلق در مایعات ، خمیر ، گرانول یا کامپوزیت به جای استفاده از پودرها یا آئروسلها

ت- جایگزینی مواد خام یا محصولات با سمیت بیشتر با مواد خام یا محصولات با سمیت کمتر

ث- تغییر فرآیندها مانند تغییر فرآیندهای خشک به فرآیندهای تر و استفاده از آب در نقاط انتقال یا خروج مواد خشک و یا اصلاح مراحلی از فرآیند از طریق اتوماسیون یا حذف برخی عملیات پر ریسک

ج- استفاده از تجهیزاتی که از مقادیر کمتر مواد سمی یا مواد با سمیت کمتر استفاده نموده یا تولید می کنند.

چ- اصلاح ذره مانند پوشش دهی .برای مثال پوشش دهی ذرات نقاط کوانتومی با یک پوشش از جنس سیلیس به طور موفقیت آمیزی مانع از فعل و انفعال کادمیم(Cd)، گوگرد(S)، روی (Zn)، سلنیوم (Se) با پروتئین ها وDNA در هسته شده و در نتیجه از اثر سمی آنها روی ژن ممانعت میکند .همچنین

اصلاح ساختارهای مفتولی شبه فلز از جنس کادمیوم- سلنیوم (CdSe)از طریق افزایش پایداری ترمودینامیکی سبب کاهش امکان تجزیه این ساختارها به اجزاء کادمیم(Cd) و سلنیوم(Se) میشود.

انتخاب روشهای مختلف کنترل مهندسی در محیط های کار باید براساس نتیجه حاصل از ارزیابی وتعیین سطح ریسک انجام شود .مطابق اصول کنترل مواد خطرناک برای سلامتی ، برای کنترل آلاینده های هوابرد شیوه های زیر رعایت شوند:

الف- بیشترین ریسک- دریافت مشاوره از متخصصین مربوط

ب- ریسک زیاد- محصور کردن فرآیند

پ -ریسک کم- اجرای کنترلهای مهندسی موضعی مانند تهویه مکشی موضعی[1](LEV)

عملکرد سامانه های تهویه مکشی موضعی ارتباط زیادی با کیفیت و کارآیی طراحی و نگهداری آنها دارد .لذا کنترل سامانه ها و نگهداری سوابق آنها مهم است . همچنین استفاده از تجهیزات پایشin-line در نقاط کلیدی این سامانه ها(مانند :پشت هود و میان فیلترها) ضروری است .یک سامانه تهویه خوب طراحی شده به خوبی میتواند برای کنترل نانومواد مهندسی شده هوابرد استفاده شود به شرط اینکه ورودی سامانه مکش به درستی و در جای مناسب قرار گرفته وسرعت ربایش کافی بطور مداوم تأمین شود .چنانچه سرعت مکش هوا در دهانه هود خیلی بالا باشد، آشفتگی ایجاد شده در جریان هوا ممکن است سبب فرار مواد از دهانه هود و در نتیجه اتلاف مواد و تنفس آنها توسط کارکنان شود .سیستمهای LEV موثرترین روش کنترل در عملیاتی همچون مخلوط کردن، بازیافت، بسته بندی و وزن کردن (که امکان محصور کردن و انجام آن درمدارهای بسته وجود ندارد) میباشد .تهویه موضعی بطور متداول در فرآیندهای جوشکاری و برشکاری فلزات استفاده میشود .این فرآیندها که سالهاست مورد استفاده هستند تعداد قابل ملاحظه ای از ذرات در ابعاد نانو تولید می کنند.

ت- کم ترین ریسک- انجام تهویه عمومی

- تهویه عمومی از طریق رقیق کردن یا جابجایی هوا و در نتیجه کاهش غلظت نانوذرات زمینه ممکن است به حذف نانوذرات در منبع تولید کمک کند. مشخصات فنی و کیفیت سامانه های تهویه موضعی مدنظر برای جمع آوری نانوذرات، باید مشابه مشخصات فنی و کیفیت سامانه های مورد استفاده برای جمع آوری گازها و بخارات باشد.

- از طریق ایجاد فاصله، موانع، اتاقهای کنترل، کابینها یا اتاقک های جداسازی (در جاهایی که فرآیندبسیار آلوده میباشد)، فرآیندهای بسته، فناوری ربوتیک یا تهویه موضعی، خود را از عملیات، فرآیندها،تجهیزات یا محیط های خطرناک که امکان مواجهه با نانومواد وجود دارد جدا و در نتیجه ایمن نگهدارید. کربن سیاه، دمه های سیلیس، دی اکسید تیتانیم (TiO2) فلزات و اکسیدهای فلزی از جمله نانوذراتی ، هستند که توصیه میشود در مدارهای بسته تولید شوند . در غیر اینصورت، عملیات در برگیرنده این نانوذرات باید محصور شوند.

- از کار کردن با نانوذرات یا نانومواد‌ی که امکان انتشار ذرات نانو از آنها وجود دارد در هوای باز پرهیزکنید .این فعالیتها را در فضاهای محصور انجام دهید . نمونه این فضاها عبارتند از :هودهای آزمایشگاهی، هودهای فیوم، کیسه های دستکشدار ، جعبه های دستکش دار یا کابینت های ایمنی زیستی[2](BSC) درصورت عدم امکان محصور کردن فعالیت یا فرآیند کار، از هودهای خارجی مثل هودهای دریافت کننده و هود اسنورکل استفاده کنید .هودهای فیوم معمولترین کنترل مهندسی هستند که توسط برخی ازسازمانها برای کنترل انواع متنوعی از نانومواد مانند نانوپودرها، نانولوله های کربنی، تعلیق های کلوئیدی،فولرینها، ذرات کوانتومی، پلیمرها، نانوسیمها، نانوبلورها و کربن سیاه مورد استفاده قرار میگیرند.

-یکی از مشکلات استفاده از کیسه های دستکش دار تولید الکتریسته ساکن است که می تواند هنگام کار با نانو مواد قابل اشتعال یا قابل انفجار مشکل ایجاد کنند .کابینت های ایمنی زیستی برای حفاظت کارکنان در برابر عوامل بالقوه خطرناک طراحی شده اند که هم اکنون توسط برخی از سازمانهای تولید یا مصرف کننده نانو مواد مورد استفاده قرار می گیرند .کابینت های ایمنی زیستی کلاس یک فضای بسته غیرقابل نفوذ دربرابر گاز است که بیشترین حفاظت را برای محیط و کارکنان فراهم میکنند .در این کابینت ها هم هوای ورودی و هم هوای خروجی از کابینت توسط فیلترHEPA[3] فیلتر میشود.(HEPA فیلتری که قادر است ذرات ۳۰۰ نانومتر را با بازده حداقل ۹۷ - ۹۹ % جمع آوری و نگهداری کند)

-در جاهایی که فرآیند یا منبع آلودگی محصور شده است فشار هوای داخل این فضا باید نسبت به هوای اطراف(به ویژه هوای محوطه تنفسی فرد) منفی باشد تا از انتشار آلودگی به بیرون جلوگیری شود.بالعکس چنانچه فرد توسط اتاقک های جداکننده یا اتاقک های کنترل، از فرآیند یا عملیات خطرناک جدا شده باشد این فضا باید دارای فشار مثبت باشد.

- از هودهای لامینار با جریان افقی که سبب هدایت جریان هوای فیلتر شده (با فیلتر HEPA) به سمت صورت کاربر می شوند برای کار با نانومواد استفاده نکنید.

- بین ناحیه جدا شده و نواحی دیگر نباید از طریق سیستم تهویه، محفظه های یکنواخت کننده فشار در سقف ، مسیرهای عبور لوله ها و حفرههای داخل دیوارها ارتباطی وجود داشته باشد .سیستمهای گرمایش و تهویه مطبوع(HVAC) نیز در محیط های کاری نانو باید به گونهای طراحی، نصب و نگهداری شوند که سبب انتقال نانوذرات از محیط تولید به فضاهای کاری مجاور نشوند.

- سیستم های تهویه موضعی و مکنده های مورد استفاده برای جمع آوری ذرات نانو باید به فیلترهای HEPA و یا فیلترهایULPA[4] تأیید شده مجهز باشند .این فیلترها فیلتر موثری برای جمع آوری نانوذرات در سیستمهای مکنده می باشند .با توجه به ابعاد و خصوصیات فیزیکی نانوذرات، بازده فیلترهای HEPA برای جمع آوری اکثر نانوذرات حتی از ۹۹/۹۷ %هم بیشتر خواهد بود .تعویض این فیلترها باید به طریق ایمن و بدون آزاد شدن نانوذرات در هوای محیط کار انجام پذیرد .شکل ۴ مکانیسم های جمع آوری ذرات توسط فیلترها و میزان بازده آنها را نشان میدهد .ذرات بزرگتر از۳۰۰nm ، با بیشترین بازده، به وسیله مکانیسمهای برخورد ، جداسازی و ته نشینی ثقلی جمع آوری میشوند .در ذرات کمتر از۱۰۰ nm مهمترین مکانیسم، مکانیسم توزیع برونین

---

[1] Local Exhaust ventilation (LEV)

[2] Biological Safety Cabinet (BSC)

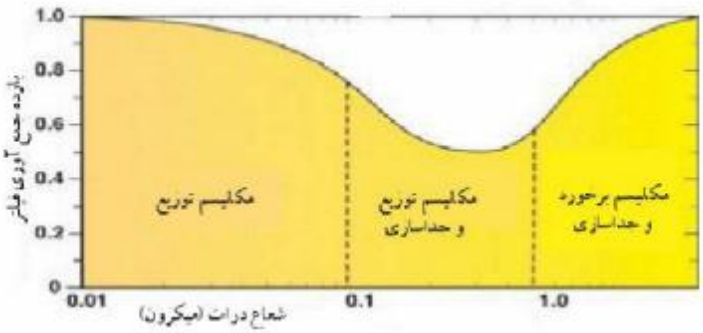
[3] High-efficiency Particulate Air (HEPA) Filter

[4] Ultra Low Penetration Air (ULPA) Filter (فیلتری که قادراست ذرات ۱۲۰ نانومتر را با بازده حداقل ۹۹/۹۹۹ ٪ جمع آوری ونگهداری کند)

میباشد .با توجه به این مکانیسم، با افزایش حرکات تصادفی ناشی از توزیع برونین و کاهش اندازه ذره، بازده فیلتر افزایش مییابد .به همین دلیل فیلترها، جمع کننده های خوبی برای ذرات نانو خواهند بود .لیکن در ذرات بین nm ۱۰۰- ۳۰۰ با توجه به نقش بسیار ضعیف این مکانیسمها پائین ترین میزان بازده وجود دارد .بنابراین افزایش بازده در این طیف به عواملی مانند جنس فیلتر و میزان جریان عبوری از آن بستگی خواهد داشت.

-هوای جمع آوری شده به وسیله سیستمهای تهویه موضعی باید پس از گذر از مرحله فیلتراسیون،مانند اسکرابرهای تر یا رسوب دهنده های الکترواستاتیک تمیز در مرحله نهایی توسط وسایل تمیزکننده هوا شود .این وسایل به ویژه رسوب دهندههای الکترواستاتیک به طور خاص برای به دام انداختن ذرات بسیارریزموثر می باشند .صفحات جمع آوری کننده این وسایل در زمانهای مشخص باید توسط اسپری برای جمع آوری نانوذرات قابل احتراق و قابل انفجار از روش تر استفاده نمائید .پساب حاوی نانوذرات جمع آوری شده نباید بدون انجام فرآیند تصفیه به محیط تخلیه شود.

-بیشتر سیلندرهای تحت فشار مورد استفاده در تولید نانومواد دارای سطح خطر بهداشتی ۳ یا ۴ (براساس سطح بندی سازمان حفاظت در برابر حریق آمریکا) می باشند .از این سیلندرها فقط در زیر کابینت های در حال تهویه استفاده نمائید.



شکل ۴ نمودار بازده جمع آوری فیلتر با توجه به اندازه ذره و مکانیسم های جمع آوری

انتظار میرود نانوپودرها در مقایسه با پودرهای درشتتر و مشابه خیلی آسانتر مشتعل شوند. بطوریکه در برخی از فلزات با کاهش اندازه ذره ریسک انفجار به شدت افزایش مییابد .لذا علاوه بر اقدامات انجام گرفته برای پیشگیری و کنترل انتشار نانوذرات در محیط کار باید برای جلوگیری از مشتعل شدن آن نیز تدابیر لازم اتخاذ شود .برخی از این تدابیر عبارتند از:

الف - استفاده از تجهیزات برقی و روش های سیمکشی متناسب

ب - کنترل الکتریسیته ساکن بطور مثال از طریق اتصال به زمین تجهیزات

پ - کنترل کشیدن سیگار، شعله های باز و جرقه ها

ت- کنترل جرقه های ناشی از فعالیتهای مکانیکی از جمله جرقه های ناشی از اصطکاک

ث- جدا کردن سطوح گرم از گردوغبار

ج- جدا کردن سیستمهای تولید حرارت از گردوغبار

چ- انتخاب و استفاده درست از وسایل حمل و نقل صنعتی مثل لیفتراکها

-روشهایی که برای حفاظت در برابر انفجار گردوغبار و مقادیر خطرناک مواد درشتتر ارائه شده اند میتوانند برای حفاظت در برابر انفجار نانوذرات قابل انفجار نیز مورد استفاده قرارگیرند .علاوه براین،از تماس نانوذرات واکنش پذیر یا دارای خاصیت کاتالیستی با مواد ناسازگاز باید پیشگیری شود.

- جهت اطفاء حریقهای ناشی از نانومواد از مواد اطفاء کننده مناسب استفاده نمائید .چون برخی از نانوذرات با آب واکنش داده و محصول خطرناک تولید میکنند که بسیار آسان مشتعل شده و به سرعت می سوزد. (بطور مثال نانوذرات فلزی با آب واکنش داده و گاز هیدروژن تولید میکنند)برای کاهش ریسک حریق و ممانعت از سوختن سریع نانومواد، همچنین میتوان از فرآیندهای تولید و نگهداری با اتمسفر تحت کنترل ، با استفاده از گازهای دی اکسید کربن، نیتروژن یا گازهای خنثی استفاده نمود .اما هنگام استفاده از این گازها ریسک بروز خفگی ناشی از آنها باید کنترل شود .هم اکنون برای اطفاء حریق های ناشی ازپودرهای فلزی قابل اشتعال خاموش کننده های مناسب موجود است.

- برای انتقال نانوذرات از یک ظرف یا مخزن به ظرف یا مخزن دیگر(مانند انتقال از مخزن فرآیند به مخزن نگهداری یا از مخزن نگهداری به ظروف حمل و نقل) برتر است از سامانه انتقال خلاء یا پمپ های پریستالتیک(با مکانیسم عمل براساس جابجایی مثبت)استفاده نمائید.

کنترل های مدیریتی:

در برخی شرایط به دلیل عدم دسترسی به فناوری برتر و مناسب یا هزینه های هنگفت، اجرای کنترلهای مهندسی امکان ناپذیر یا کم اثر می باشد .در این شرایط با استفاده از کنترلهای مدیریتی حفاظت بیشتری را تأمین نمائید .برخی از این کنترلها عبارتند از :کاهش زمان مواجهه، به حداقل رساندن تعداد کارکنان در معرض، ایجاد یا اصلاح روشهای اجرای کار(SOP) محدود کردن دسترسی به محیط های کاری و تعیین افراد مجاز، اجرای اصول بهداشت فردی، اجرای برنامه ضبط و ربط محیط کار ، آموزش، انجام بازرسیهای متناوب و برنامه ریزی شده(از تجهیزات فرآیندها، ساخت، عملیاتی و تجهیزات کنترل مواجهه با نانوذرات مثل سیستمهای تهویه) و تعمیرات پیشگیرانه منظم و برنامه ریزی شده.

- تا حد امکان زمان مواجهه افراد با نانوذرات به ویژه در نواحی محصور شده یا تحت کنترل را به حداقل رسانده و انجام عملیات در آنها را به شیفتهای کاری دوم یا سوم (به علت تعداد افراد کمتر درمعرض) محدود کنید.

-روشهای اجرای کار (SOP) در محیط های کاری نانو باید موارد زیر را پوشش دهند :

الف- اطلاعات مربوط به سلامتی و ایمنی مواد مورد استفاده شامل؛ فهرست و توصیف مختصر خطرات فیزیکی، شیمیایی و زیستی مربوط به هر فعالیت، راههای مواجهه برحسب اولویت و معرفی منابع مرتبط در دسترس مانند برگه های؛MSDS و چگونگی دسترسی به آنها

ب- روشهای کنترل خطر شامل :وسایل محصور کننده، تهویه، تجهیزات حفاظت فردی و تدابیر بهداشتی که توسط برگه های MSDSو راهنماهای دیگر توصیه میشوند

پ- روشهای دفع پسماندها(روشهای دفع بموقع، بهداشتی و ایمن پسماندها)

ت- روشهای رفع آلودگی

ث- روشهای مقابله با وضعیتهای اضطراری مثل ریخت و پاش یا آزاد شدن مواد آلاینده و روشهای تمیزکردن؛

ج -شناسایی و معرفی افراد مجاز به کار در نواحی تحت کنترل

چ- نواحی تحت کنترل

ح-احتیاطهای ایمنی ویژه؛ برای مثال استفاده از برخی مواد نیازمند کسب مجوزهای لازم از واحدهایHSE سازمان یا سازمانهای دیگر مرتبط و معتبر است .

رعایت اصول بهداشت فردی در محیط های کاری نانو بسیار حائز اهمیت است .در این راستا اقدامات زیر لازم است:

الف- نصب روشوئی و دوش در محیط کار امکان تمیز کردن و رفع آلودگی پوستی را فراهم میکند؛

ب- امکانات لازم برای تمیز کردن بهداشتی و ایمن لباسهای کثیف و آلوده باید در محیط کار فراهم شود؛لباسهای کثیف و آلوده به نانوذرات به هیچ وجه نباید جهت شستشو به منزل یا خارج از محیط کار منتقل شوند؛

پ- استفاده از هوای تحت فشار برای تمیز کردن لباس ممنوع می باشد.

ت- خوردن، آشامیدن و سیگار کشیدن در محیط کار، جز در مکانهای تعیین شده، ممنوع میباشد.

ث- کمدهای لباسهای شخصی و لباسهای کار باید مجزا از هم و در دو مکان جدا باشد.

ج -جارو کردن یا گردگیری به روش خشک و استفاده از هوای تحت فشار یا دمنده ها و یا مکنده های معمولی(فاقد فیلترهایHEPA) به دلیل ایجاد مواجهه وسیع برای کارکنان، ممنوع میباشد .جهت تمیز کردن محیط کار، تمیز کردن به روش تر و استفاده از سیستمهای مکنده مرکزی با فیلترهای HEPAترجیح داده میشوند .چون موتور الکتریکی جاروهای الکتریکی ممکن است سبب مشتعل شدن نانومواد قابل اشتعال شود.

ح -کلیه سطوح محیط کار از قبیل کف، دیوارها، سقفها، درها، پلهها، میزها، صندلیها، ماشین آلات وتجهیزات و ابزار را حداقل در پایان هر شیفت کاری به روش تر و با استفاده از مکنده هایHEPA تمیز کنید .از روشهای دیگر مانند شستشو با حلال، سوزاندن، حل کردن به کمک اسید و تمیز کردن به روش پلاسما نیز میتوان برای رفع نانومواد از روی تجهیزات استفاده کرد.

-آزمایشگاههای تحقیقاتی یا کنترلی نانو باید نسبت به تدوین برنامه بهداشتی مواد شیمیایی (CHP) اقدام نمایند .این برنامه باید بر محدوده و ماهیت فعالیتهای هر محیط کاری نانو منطبق باشد .محتوای این برنامه باید موارد زیر را دربرگیرد:

الف - اهداف، خط مشی و دامنه کاربرد؛

ب – نقشها و مسئولیتها؛

پ- روشهای اجرای کار(SOP) مرتبط با ملاحظات سلامت، ایمنی و محیط زیست برای کار با نانومواد؛

ت- روشهای اجرایی مقابله با شرایط امنیتی؛

ث- تجهیزات حفاظت فردی و اقدامات بهداشتی؛

ج- لزوم استفاده از هودهای آزمایشگاهی و سایر تجهیزات حفاظتی و اتخاذ روشهای ویژه برای اطمینان ازعملکرد درست و کافی این تجهیزات؛

چ- تمهیدات لازم برای آموزش و افزایش اطلاعات کارکنان؛

ح- مواردی که قبل از اجرا نیازمند کسب تأییدیه لازم از سازمان های ذیربط می باشند؛

خ -تمهیدات لازم برای ارائه مشاوره و انجام معاینات پزشکی؛

د- تمهیداتی برای حفاظت بیشتر کارکنان در کار با نانومواد ویژه از قبیل نانومواد سرطانزا، نانومواد آسیب زای سیستم تولید مثل و مواردی که دارای سمیت حاد بالایی هستند؛

ذ- جدول حدود مجاز تماس شغلی(در صورت وجود)؛

ر- حمل و نقل نانومواد

ز- ضوابط و مقررات برچسب گذاری

س- مدیریت پسماندهای آلوده به نانوذرات

ش- روشهای مقابله با وضعیتهای اضطراری مثل ریخته شدن و پاشیده شدن مواد و پاشها، فوریتهای پزشکی و اطلاعات مربوط به تخلیه اضطراری آزمایشگاه

ص- شرح رویدادها، حوادث و اقدامات اصلاحی انجام شده

ض- سیستم ممیزی و بازرسی

ط- ایمنی زیستی

ظ- ایمنی عمومی مانند : ایمنی برق، لیزر، حریق و تجهیزات خلاء و تحت فشار.

-کلیه محیط های کاری نانو باید برای مقابله با وضعیتهای اضطراری از قبیل ریخته شدن مواد شیمیایی حاوی نانوذرات، حریق و انفجار پیشبینیهای لازم را از طریق تدوین طرح واکنش اضطراری(ERP) [1]اعمال نمایند .این طرح باید موارد زیر را پوشش دهد :

الف- روش شناسایی وضعیتهای اضطراری و نحوه پیشگیری از وقوع آنها؛

ب-روش اعلام یا گزارش وضعیتهای اضطراری؛

پ- روش تخلیه محیط کار؛

ت- روشهای فرار اضطراری و تعیین مسیرهای فرار مثل تهیه نقشههای طبقات ساختمان، نقشه محیط کار و نواحی ایمن یا پناهگاهها؛

ث- نام، عنوان، قسمت کاری و شماره تلفن افراد درون و بیرون از محیط کار برای دریافت اطلاعات یا تشریح وظایف و مسئولیتها؛

ج-تجهیزات حفاظت فردی و تجهیزات مورد لزوم در مواقع اضطراری؛

چ- روشهای راهبری یا توقف عملیات حیاتی ، نحوه استفاده از خاموش کنندههای حریق یا انجام عملیات ویژهای که توقف آنها در هر وضعیت اضطراری قبل از تخلیه ممکن نیست؛

ح - وظایف افراد و روشهای انجام عملیات امداد و نجات؛

خ- روشهای تمیز کردن نانومو ریخته شده و پاشیده شده؛

د- روشهای رفع آلودگی؛

ذ- روش تجزیه و تحلیل واکنش و پیگیری؛

-دستورالعملهای تهیه شده در محیط های کاری نانو باید برای ریخته شدن های کم(کمتر از ۵ میلی گرم یا میلی لیتر از ماده حاوی نانوذرات) و زیاد مواد، در داخل و بیرون از محیط کار، قابل کاربرد باشد .این دستورالعملها باید علاوه بر شرح نحوه کاهش احتمال ریخته شدن مواد برای استفاده کننده، نحوه واکنش درست و سریع را نیز دربرگیرد.اگرچه هر حادثه ریخته شدن مواد یک رویداد منحصر بفرد بوده و افراد، مهارت و اقدامات متفاوتی را طلب میکند ولیکن اقدامات زیر توصیه میشوند:

الف – محوطه ای که دچار آلودگی شده یا انتظار آلودگی آن می رود را مشخص نموده و با استفاده از نوارهای هشدار دهنده یا وسایل مناسب دیگر دسترسی افراد متفرقه را به آن محدود کنید؛

ب- مواد پودری را به روش تر و با استفاده از پارچه های مرطوب و نانومواد محلول را با استفاده از مواد جاذب یاLiquid Traps تمیز کنید .البته روشهای تمیز کردن تر به کمک صابونها یا روغنهای تمیز کننده برتری دارد؛

پ- پس از جمع آوری مایعات و خشک کردن محوطه، جهت به حداقل رساندن پخش شدن نانوذرات در اثروزش باد، دور تا دور محوطه را با استفاده از موانع مناسب محصور نمائید .سپس با استفاده از مکنده های ویژه جمع آوری نانومواد(مجهز به فیلترHEPA)نانوذرات باقی مانده در محل را مکش کنید؛

ت- جهت کاهش احتمال انتشار نانوذرات به سایر نقاط، در خروجی محوطه محصور شده از یک کف پایی درزیر پای افراد درگیر در عملیات تمیز کردن استفاده نمائید؛

ث -از هوای تحت فشار جهت تمیز کردن ریخت و پاش نانومواد به هیچ وجه استفاده نکنید

ج- در صورت آلوده شدن لباس به نانومواد 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 بشوئید؛

چ- کلیه کارکنانی که با مواد ریخته شده مواجهه داشته اند را جهت بررسی و مراقبت پزشکی احتمالی به مرکز پزشکی اعزام کنید؛

ح -کلیه تجهیزات ایمنی مورد نیاز در مواقع ریخته شدن و پاشیده شدن از قبیل؛ چشم شوی، دوش ایمنی، خاموش کننده های چند منظوره حریق(ABC)کیت کمکهای اولیه، تجهیزات حفاظت فردی و کیتهای مقابله با ریخت و پاش [2]باید تهیه و همواره سالم و کامل باشند.

-جهت حفاظت از سلامت کارکنان در محیط های کاری نانو، برنامه پایش سلامت باید طرح ریزی واجرا شود .کارکنان در معرض ریسک بالای مواجهه مانند محققین مراکز تحقیقاتی و کارکنان تعمیر ونگهداری در اولویت انجام این پایش می باشند .این کارکنان باید بطور دورهای مورد آزمایشهای مختلف مانندتست ریه، کبد، کلیه و عملکرد سامانه خون سازی قرار گرفته و نتایج آنها با نتایج آزمایشهای بدو استخدام یا ارزیابیهای پزشکی مبنا مقایسه شود .این برنامه صرفاً باید به وسیله متخصصین بهداشت حرفهای و طب کار آگاه به خصوصیات و خطرات بالقوه نانو مواد و براساس استانداردها و ضوابط ملی و بین المللی انجام پذیرد .پایش سلامت کارکنان بیش از آنکه تعیین کننده ایمنی یا خطرناک بودن میزان مواجهه باشد، نشانگر وقوع مواجهه است .بنابراین با توجه به قابلیت محدود برای اندازه گیری غلظتهای نانوذرات هوابرد، استفاده ازنشانگرهای زیستی میتواند روش بسیار مفیدی برای ارزیابی میزان اثربخشی کنترلهای مختلف بکار گرفته شده باشد.

-توصیه میشود به کارکنانی که در معرض ذرات نانو می باشند یا ذرات نانو را استنشاق نموده اند شیرو شکر تصفیه نشده داده شود چون این مواد دارای خاصیت پروفیلاتیک در برابر اثرات سمی ذرات نانومی باشند.

تجهیزات حفاظت فردی:

-چنانچه اجرای شیوه های مختلف کنترل مهندسی و مدیریتی میسر نبوده و یا قادر به تأمین حفاظت کافی برای افراد نبوده اند از تجهیزات حفاظت فردی (PPE)متناسب با سطح ریسک استفاده نمائید .انتخاب و نحوه استفاده از این تجهیزات باید براساس نظر کارشناسی و انجام ارزیابی خطر باشد چون استفاده ازتجهیزات حفاظت فردی نامناسب ممکن است سبب مواجهه بیشتر افراد با ذرات نانو شود.

---

[1] Emergency Response Plan (ERP)

[2] Baseline Medical Evaluations

-پوشاک حفاظتی مورد استفاده در آزمایشگاههای شیمی تر میتوانند برای آزمایشگاههای نانو نیزمناسب باشند .ولی به این موارد آنها محدود نیست .این تجهیزات عبارتنداز:

الف- کفشهای جلو بسته با قابلیت نفوذ کم (در صورت وجود احتمال خطر انفجار، مثل کار با نانوذرات فلزی، این کفشها باید از نوع آنتی استاتیک نیز باشند.)

ب- شلوارهای بلند بدون درز، پیراهنهای آستین بلند و روپوشهای آزمایشگاهی

پ- دستکشهای آستین بلند پلیمری از جنس نیتریل (استفاده از دو جفت دستکش بطور همزمان توصیه می شود.)

ت- گاگل های ایمنی(شکل۵) و ماسکهای پوشاننده تمام صورت (شکل ۶)

ث- پوشاک حفاظتی از جنس پارچه های غیربافتنی مثل پارچه های پلی اتیلن با دانسیته بالا حفاظت زیادی در برابر نفوذ نانوذرات دارند .لذا از پوشیدن پوشاک کتانی هنگام کار با نانوذرات اجتناب کنید.

ج- بعد از استفاده از دستکش، دستها را تا بالای آرنج با آب و صابون بشوئید.

یادآوری- در حال حاضر به دلیل نبودن برخی اطلاعات لازم، استفاده از پوشاک یکبار مصرف توصیه میشود.

شکل ۵- تصویر گاگل ایمنی و ماسک پوشاننده نیمه صورت

شکل ۶- تصویر ماسکهای پوشاننده تمام صورت

-در صورت وجود غلظت بیش از اندازه نانوذرات در محیط کار (پس از اجرای کلیه کنترلهای مهندسی، مدیریتی و روشهای اجرای کار) از وسایل حفاظت تنفسی فشار مثبت(مانند وسیله تصفیه هوا)استفاده نمائید وسیله تصفیه هوا(PAPR) وسیله حفاظت تنفسی است که از یک دمنده برای عبور هوای اتمسفر از درون یک تصفیه کننده هوا(مثل فیلتر یا کارتریج)استفاده میکند .هوای تمیز و سالم پس ازجذب آلودگی توسط قطعه تصفیه کننده وارد محفظه تنفسی ماسک میشود(شکل ۷) .وسایل حفاظت تنفسی مختلف درجات حفاظت مختلفی را تأمین میکنند .استفاده از وسایل حفاظت تنفسی فشار منفی وماسکهای جراحی به هیچوجه توصیه نمیشوند .وسایل حفاظت تنفسی زیر میتوانند براساس سطح موردنظر کاهش مواجهه و مزایا و معایب هر کدام از آنها مورد استفاده قرارگیرند .استفاده از فیلترهای نوع P -۱۰۰ مورد تأکید بیشتر است .

.

شکل ۷- تصویر وسیله تصفیه هوا(PAPR)

جدول ۴- وسایل حفاظت تنفسی با فیلترهای تصفیه کننده ذرات

نوع وسیله حفاظت تنفسی	فاکتور حفاظت (APF)	مزایا	معایب
ماسک نیم صورت از جنس الاستومر با فیلتر N-۱۰۰، R-۱۰۰، P-۱۰۰	۵ (اگر آزمون تناسب کیفی شده) ۱۰ (اگر آزمون تناسب کمی شده)	تعمیر و نگهداری کم، ماسک قابل استفاده برای دفعات متعدد و فیلترها و کارتریج‌های قابل تعویض، عدم تأثیر در تحرک	عدم حفاظت چشم‌ها، ایجاد بار گرمایی، نشت به داخل از فضاهای بین ماسک و صورت، مشکل در مکالمه، نیاز به ماسک با سایز مناسب برای انجام آزمون تناسب، ایجاد مشکل هنگام استفاده از برخی از تجهیزات حفاظت چشم
وسایل تصفیه هوا (PAPR) با فیلتر HEPA و کلاهی که ناحیه سر و گردن را می پوشاند	۲۵ تا ۱۰۰۰ (فاکتور ۱۰۰۰، تنها در صورتی که سازنده یا مصرف کننده بتواند تأمین آنرا اثبات کند)	تأمین حفاظت چشم‌ها، تأمین حفاظت برای افراد دارای ریش، زخم صورت یا بدون دندان، مقاومت تنفسی کم، احساس خنکی در اثر جریان هوا، عدم نیاز به آزمون تناسب، امکان استفاده همزمان از عینک طبی، مشکلات مکالمه کمتر نسبت به ماسک های نیم و تمام صورت، قطعات قابل استفاده برای دفعات متعدد و فیلترهای قابل تعویض	وزن بیشتر ناشی از دمنده و باتری، تحمیل گرفتن وضعیت نامناسب بدن هنگام انجام برخی کارها، نیاز به شارژ باتری، آزمون میزان جریان هوا قبل از استفاده
ماسک تمام صورت از جنس الاستومر با فیلتر N ،R ،P ۱۰۰	۵۰ (اگر آزمون تناسب کیفی شده) ۵۰ (اگر آزمون تناسب کمی شده)	تأمین حفاظت چشم‌ها، تعمیر و نگهداری کم، ماسک قابل استفاده برای دفعات متعدد و فیلترها و کارتریج های قابل تعویض، عدم تأثیر در تحرک، حفاظت بیشتر نسبت به ماسکهای الاستومر نیم صورت	ایجاد بار گرمایی، نشت به داخل از فضاهای بین ماسک و صورت، نیاز به ماسک با سایز مناسب برای انجام آزمون تناسب، محدود کردن میدان دید نسبت به ماسک‌های نیم صورت، بخار کردن لنز ماسک در ماسک‌های فاقد قطعه روی بینی یا برطرف کننده بخار، نیاز به کیت عینک برای استفاده از عینک
وسایل تصفیه هوا (PAPR) با فیلتر HEPA و ماسک تمام صورت که محکم روی صورت می نشیند	۱۰۰۰(اگر آزمون تناسب کمی شده)	تأمین حفاظت چشم‌ها، مقاومت تنفسی کم، قطعات قابل استفاده برای دفعات متعدد و فیلترهای قابل تعویض، احساس خنکی در اثر جریان هوا، نشت معمولاً به سمت بیرون	وزن بیشتر ناشی از دمنده و باتری، تحمیل گرفتن وضعیت نامناسب بدن هنگام انجام برخی کارها، نیاز به ماسک با اندازه مناسب برای انجام آزمون تناسب، نیاز به شارژ باتری، مشکل در مکالمه، نیاز به کیت عینک برای استفاده از عینک، آزمون جریان هوا قبل از استفاده

چنانچه وسایل حفاظت تنفسی جدول ۴ حفاظت کافی را تأمین نکنند، استفاده از دستگاه تنفسی همراه(SCBA) یا دستگاه هوا رسان(SAR) ضروری خواهد بود.

-در صورت نیاز به استفاده از وسایل حفاظت تنفسی، برای رعایت استانداردهای مربوطه و رسیدن به اثربخشی مورد نیاز، برقراری برنامه حفاظت تنفسی الزامی است .این برنامه باید شامل اجزاء زیر باشد:

الف- ارزیابی قابلیت کارگر جهت انجام کار هنگام استفاده از وسیله حفاظت تنفسی؛

ب- آموزش منظم افراد؛

پ- پایش متناوب محیط کار

ت- آزمون تناسب وسیله حفاظت تنفسی

ث- تعمیر، بازرسی، تمیزکردن و نگهداری وسیله حفاظت تنفسی.

شکل ۸- تصویر کلاهی که ناحیه سر و گردن را می پوشاند

استفاده از وسایل حفاظت تنفسی اغلب زمانی مورد نیاز است که کنترلهای مهندسی و مدیریتی قادر به حفظ مواجهه کارکنان در کمتر از حدود قانونی یا اهداف کنترلی داخل یک سازمان نباشد .در حال حاضر هیچ حد مجاز مواجهه ویژهای برای مواجهه با نانوذرات مهندسی شده (به جز نانوذراتTiO_2)وجود ندارد .این در حالی است که چنین حدود و راهنماهایی از طریق سازمانهایی مانند اداره ایمنی و بهداشت حرفهای آمریکا ،(OSHA) [1]انجمن ملی ایمنی و بهداشت حرفه ای آمریکا(NIOSH) [2]،کمیته دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا(ACGIH)[3] ،و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی کشور برای ذرات درشتتر با ترکیب شیمیایی مشابه وجود دارد .شواهد علمی نشان میدهد نانوذرات ممکن است به لحاظ بیولوژیکی فعالتر از ذرات درشتتر با ترکیب شیمیایی مشابه باشند .به همین دلیل ممکن است درصورت استنشاق، ریسک بهداشتی بیشتری تحمیل نمایند .بنابراین در یک رویکرد محافظه کارانه، برای تعیین اثربخشی کنترلهای اعمال شده یا تعیین ضرورت نیاز به استفاده از تجهیزات حفاظت تنفسی، حدود مواجهه یا راهنماهای فعلی(مانند PELs [4]، RELs [5]، TLVs [6] و AOE [7])و افزایش فعالیت بیولوژیکی ذرات باید تواماً در نظر گرفته شوند.

یادآوری- به علت افزایش سطح و فعالیت بیولوژیکی ذره، هنگام استفاده از حدود مجاز ذرات درشتتر با ترکیب مشابه با ذره نانو، باید حاشیه ایمنی بیشتری لحاظ شود.

-علامت گذاری و برچسب زنی نانومواد:در ورودی محلهایی که نانوذرات مهندسی شده در حال استفاده میباشد علامتهایی را نصب نمائید که به وضوح خطرات، تجهیزات حفاظت فردی و کنترلهای مدیریتی لازم را نشان دهند .این محلها ممکن است کل یا بخشی از فضای یک محیط کاری نانو یا یک وسیله مورد استفاده برای کار با نانوذرات مهندسی شده مثل یک هود آزمایشگاهی یا یک جعبه دستکش دار باشد (شکل ۹)

شکل ۹- تصویر یک نمونه علامت مورد استفاده در آزمایشگاه

-کلیه ظروف مورد استفاده برای نگهداری مواد حاوی نانوذرات مهندسی شده و یا جابجایی آنها درداخل یا بیرون از محیط های کاری نانو باید دارای برچسب مناسب باشند.

---

[1] Occupational Safety and Health Administration (OSHA)
[2] National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)
[3] American Conference of Govermental Industrial Hygienists (ACGIH)
[4] Permissible Exposure Limits (PELs)
[5] Recommended Exposure Limits (RELs)
[6] Threshold Limit Values (TLVs)
[7] Allowable Occupational Exposure (AOE)

-دفع پسماندهای آلوده به نانوذرات:کلیه مواد یا وسایل آلوده به نانوذرات(مثل فیلترهای مستعملHEPA ، کفپائیها، مواد جاذب مصرف شده، پارچه و کاغذ، محلولهای سوسپانسیون حاوی نانوذرات وPPE غیر قابل استفاده) را تحت عنوان مواد خطرناک یا بالقوه خطرناک دفع نمائید.

-اطلاع رسانی خطرات بالقوه:کارفرمایان محیط های کاری نانو باید براساس نتایج حاصل از ارزیابی ریسک، اطلاعات زیر را به کلیه کارکنانی که ممکن است با نانوذارت (در شرایط نرمال کار یا شرایط اضطراری) مواجهه داشته باشند اطلاع رسانی کنند و آموزشهای لازم را ارائه نمایند:

الف- خطرات بهداشتی و ایمنی (فیزیکی) شناسایی شده؛

ب- عملیات یا فعالیتهایی که در آنها امکان مواجهه با نانوذرات وجود دارد؛

پ- روشها یا شواهدی که ممکن است برای کشف وجود یا آزاد شدن نانوذرات در محیط کار مورد استفاده قرار گیرند؛

ت- روشهای اجرایی یا شیوه های به حداقل رساندن میزان مواجهه با نانوذرات مانند کنترلهای مهندسی،آئینکار و سایر کنترل های مدیریتی، روشهای واکنش در مواقع اضطراری و روشهای استفاده درست ازتجهیزات حفاظت فردی؛

ث-مقررات لازم جهت کاهش میزان مواجهه؛

ج- جمع آوری و دفع بهداشتی و ایمن پسماندهای آلوده به نانوذرات؛

چ- آگاهی های امنیتی مانند شیوه های شناسایی و پاسخ به تهدیدهای امنیتی احتمالی، اهداف و ساختارامنیتی سازمان، شیوه های امنیتی ویژه و مسئولیتهای کارکنان.

-کارفرمایان محیط های کاری نانو باید در زمان های مشخص از طریق اجرای آزمونهای متناسب با آموزشهای ارائه شده ،از اثربخشی این آموزشها اطمینان حاصل کنند وارائه اطلاعات و آموزشهای فوق الاشاره برای کارکنان جدید الاستخدام الزامی میباشد.این اطلاع رسانی و آموزش باید پیمانکاران، بازدیدکنندگان و یا هر فرد دیگری که ممکن است با نانوذرات مهندسی شده مواجهه داشته باشند را نیز در برگیرد.

-مسئولین و مدیران محیط های کاری نانو باید برگه های اطلاعات ایمنی نانومواد (MSDS)را که ساخت، تولید، استفاده یا فرآوری میکنند ایجاد و یا از طریق تأمین کنندگان این مواد تهیه نمایند .این برگه ها باید در تمام ساعات کار در دسترس کارکنان مربوطه قرار داشته باشد. (۱)

نتیجه گیری وپیشنهادات:

نانو تکنولوژی یا کاربرد فناوری در مقیاس یک میلیونیم متر، جهان حیرت انگیزی را پیش روی دانشمندان قرار داده است که در تاریخ بشریت نظیری برای آن نمی توان یافت.پیشرفتهای پرشتابی که در این عرصه بوقوع می پیوندد، پیام مهمی را با خود به همراه آورده است . به احتمال زیاد ودر صورت استفاده و بکار گیری صحیح از این فن آوری، قبل از پایان هزاره سوم انسانها در بدن خود انواع لوازم مصنوعی و دیجیتالی راخواهند داشت. از بیماری ، پیری ، درد ستون فقرات ، کم حافظه ای و غیره رنج نخواهند برد محیط زیست سالم و پاک تری خواهند داشت ،لکن تحقیق اولیه در مورد مفاهیم و معانی ایمنی و بهداشت شغلی نانوتکنولوژی نشان می دهد که این تکنولوژی نیازمند توجه و تحقیق بیشتری می باشد بویژه وجود نانوذرات در آلاینده های هوای محیط کار که می تواند سلامتی کارگران را تحت الشعاع قرار دهد. مخاطرات مربوط به حوزه‌هایی مانند میزان سمی بودن، سرطان‌زایی، فرّار بودن، آتش‌گیر بودن، نفوذپذیری و تجمع در سلول‌ها می‌شود. بنابراین ضروری است کلیه مسئولین و مدیران محیطهای کاری نانو، پس از انجام ارزیابی های لازم، جهت کنترل ریسکهای بهداشتی و ایمنی نانومواد، اقدامهای لازم را بعمل آورند .اگرچه هنوز استانداردها و راهنماهای ویژه ای برای ارزیابی و کنترل ریسکهای مذکور وجود ندارد ویا کافی نیستند، لیکن تحقیقات اولیه نشان میدهندروشها یا سامانه های کنترلی مورد استفاده برای آزمایشگاهها یا کنترل آئروسلها ، برای کنترل ریسکهای بهداشتی و ایمنی نانومواد موثر خواهند بود .در حال حاضر، با توجه به فقدان اطلاعات کافی و متقن در زمینه سمیت انواع نانومواد، برای مقابله با چالش‌های مواجهه با خطرات نانو چند پیشنهاد زیر مفید به نظر می‌رسد:

الف- ستاد ویژه توسعه فناوری نانو و سایر سازمان‌های مسئول به ویژه سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، وزارت جهاد کشاورزی (سازمان دام‌پزشکی)، سازمان حفاظت از محیط زیست وغیره باید فعالیت‌های خود در زمینه تدوین استانداردها و دستورالعمل‌های ایمنی، بهداشتی و زیست محیطی نانو را سرعت بخشند.

ب- مطبوعات لازم است با دقت بیشتری اخبار مرتبط با خطرات احتمالی مواد و محصولات نانو را منتشر نمایند و در این زمینه سایت ستاد ویژه توسعه فناوری و یا چند سازمان معتبر استانداردسازی در جهان می‌توانند منابع خوبی باشند.

ج- شرکت‌های فعال در حوزه فناوری نانو نیز باید تلاش کنند در ابتدا در انتخاب سبد محصولات خود، مواردی را مدنظر قرار دهند که از نظر ارزیابی ریسک، دارای خطرات احتمالی کمی هستند و تا قبل از تدوین استانداردها، از ورود به حوزه‌های دارای ارتباط مستقیم با سلامتی انسان اجتناب کنند. استانداردهای ایمنی نانو یک چالش جهانی است و بسیاری از کشورهای پیشرفته هم از ورود شرکت‌های خود به حوزه‌های با حساسیت بالا از نظر ایمنی ممانعت می‌کنند. شرکت‌ها همچنین می‌توانند با بررسی استانداردهای محصولات مشابه تولیدات خود در کشورهای دیگر و دریافت و ارایه مستندات مرتبط به کمیته استاندارد ستاد، به تسریع فرآیند تدوین استانداردهای نانو کمک نمایند.

د- دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌های فعال در حوزه فناوری نانو می‌توانند با انتخاب موضوعات مرتبط با استانداردسازی، نقش مهمی در شتاب‌گرفتن فرآیند تدوین استاندارد در کشور داشته باشد.

ح- تولیدکنندگان نانو کامپوزیتها باید آزمون های آزاد شدن نانولوله ها (بعنوان مثال بر اثزسوختن)راازماده اصلی انجام دهند. و مشتریان باید درموردچگونگی کاربرد موادآگاه شوند .

مراجع ومنابع:

۱- موسسه استانداردوتحقیقات صنعتی ایران،۱۳۸۸،چاپ اول،آیین کار سلامت وایمنی در محیط های کار با نانو مواد ISIRI 12325

۲- www.sahandsi.ir

۳- سپهر، پروین، ایمنی و بهداشت در کار با مواد نانو

۴- www.armkits.ir/papers/nanotechnology-fully-described

۵- خالقی ، عبدالمجید ، کاربردهای نانوتکنولوژی در HSE

۶-www.nano.ir

۷- جام جم انلاین

۸- www.nano-atu.ir

۹- رهبری، مانا، مهر ماه ۱۳۸۵، سرمایه گذاری آمریکا درفناوری نانو ،مقایسه ۲۰۰۶ و۲۰۰۷ ، ماهنامه فناوری نانو شماره ۱۰۸

۱۰ -سهرابی جهرمی، ابوذر، ضرورت استانداردسازی نانولوله های کربنی وچالشهای آن ، سایت اینترنتی www.nano.ir

۱۱ - www.iso.com/Press-Releases/2011/ISO-Announces-New-General-Liability-Classifications-forAlternative-Energy-and-Nanotechnology.htm

۱۲ - www.nanoforum.org

۱۳ -شورای مرکزی نظارت برایمنی ، بهداشت ومحیط زیست وزارت نفت ، ۱۳۸۲ ،" راهنمای استقرار وتوسعه سامانه مدیریت ایمنی ، بهداشت ومحیط زیست وزارت نفت " ، انتشارات اموایمنی،بهداشت ومحیط زیست شرکت ملی نفت ایران

۱۴- Rial Track PIC, London, 2000,"Engineering Safety Management"

۱۵ -

Honkasalo, A., 2000, "Occupational Health, Safety and Environment Management Systems", Environmental Science and Policy Journal.

۱۶ -فرجود ،فروغ ،شیمی پایه ، چاپ هفتم، ۱۳۷۵ ، جلد اول ، موسسه انتشارات فاطمی

۱۷- علیمحمدی ایرج ، چاپ دوم ۱۳۸۶، بهداشت حرفه ای ، موسسه انتشاراتی اندیشه رفیع