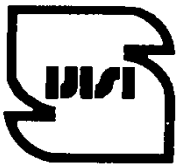
INSO
19816-1
1st. Edition
2015

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران
۱۹۸۱۶-۱
چاپ اول
۱۳۹۴

فناوری‌نانو- مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی‌شده

قسمت۱: اصول و رهیافت‌ها

Nanotechnologies -Occupational risk management applied to engineered nanomaterials

Part 1:
Principles and approaches

ICS:13.100

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد. نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است. تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود. پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود . بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره-گیری می‌شود. سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه-بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سامانه‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران اینگونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«فناوری نانو- مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی‌شده- قسمت ۱: اصول و رهیافت‌ها»

رئیس :	**سمت و/ یا نمایندگی:**
کوهی، محمدکاظم (دکترای سم‌شناسی)	عضو هیئت علمی دانشگاه تهران
دبیر :	
گلبابایی، فریده (دکترای مهندسی بهداشت حرفه ای)	عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی تهران
اعضاء : (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اسلامی پور، الهه (کارشناس ارشد زیست شناسی)	کارشناس ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
پوی پوی، حسن (کارشناس ارشد شیمی)	کارشناس ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
جعفری نژاد، سمیه (کارشناس ارشد نانو تکنولوژی پزشکی)	دانشجوی دکترای نانو تکنولوژی پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
سیفی، مهوش (کارشناس ارشد مدیریت دولتی)	نایب رئیس کمیته فنی متناظر فناوری نانو
شیرخانلو، حمید (دکترای شیمی تجزیه)	عضو هیئت علمی پژوهشکده سلامت صنعت نفت
فرهنگ دهقان، سمیه (کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای)	دانشجوی دکترای دانشگاه علوم پزشکی تهران
قاضی خوانساری، محمد (دکترای سم‌شناسی)	عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی تهران
منهاج بنا، رابعه (کارشناس ارشد سم‌شناسی)	دانشجوی دکترای سم‌شناسی دانشگاه تهران

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران الف
کمیسیون فنی تدوین استاندارد ب
فهرست مندرجات ت
پیش‌گفتار ج
مقدمه ح
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها ،اختصارات و یکاها ۳
۴ انواع نانومواد و ویژگی‌های آنها ۹
۴-۱ کلیات ۹
۴-۲ فلورن‌ها ۹
۴-۳ نانولوله‌های کربنی ۹
۴-۴ نانوسیم‌ها ۱۰
۴-۵ نقاط کوانتومی ۱۰
۴-۶ فلزات، اکسیدهای فلزی و سرامیک‌ها ۱۰
۴-۷ کربن سیاه ۱۱
۴-۸ درخت سانان ۱۱
۴-۹ نانورس‌ها ۱۱
۵ مخاطرات مواجهه و ریسک نانومواد ۱۲
۵-۱ کلیات ۱۲
۵-۲ ملاحظات مرتبط باریسک‌های بالقوه سلامتی در اثر استنشاق NOAAS ۱۲
۵-۳ ملاحظات مرتبط باریسک‌های بالقوه سلامتی ناشی از مواجهه‌های پوستی یا خوراکی ۱۴
۵-۴ نانواشیاء NOAAS به عنوان موادی مخاطره‌آمیز ۱۵
۵-۵ خطر حریق و انفجار NOAAS ۱۵
۶ رویکردکلی مدیریت ریسک NOAAS ۱۶
۷ شناسایی و تعیین صلاحیت ارزیاب ریسک ۱۸

۸ جمع‌آوری اطلاعات ۱۸
۹ ارزیابی ریسک سلامتی ۱۹
۹-۱ کلیات ۱۹
۹-۲ ارزیابی مخاطره ۱۹
۹-۳ ارزیابی مواجهه ۲۰
۹-۴ ارزیابی و اولویت بندی ریسک سلامتی ۲۱
۹-۵ مستند سازی و بازنگری ۲۲
۱۰ کنترل ریسک ۲۲
۱۰-۱ سلسله مراتب کنترل ۲۲
۱۰-۲ کنترل مواجهه ۲۳
۱۰-۳ انتخاب روش کنترل ۲۶
۱۰-۴ ارزیابی اثربخشی و کارایی اقدامات کنترلی ۲۸
۱۰-۵ اطلاعات، دستورالعمل و آموزش ۲۸
۱۱ روش‌های سنجش برای ارزیابی اقدامات کنترلی ۲۹
۱۱-۱ نیاز به سنجش ۲۹
۱۱-۲ انتخاب تجهیزات و وسایل ۳۰
۱۱-۳ راهبرد نمونه‌برداری ۳۲
۱۱-۴ محدودیت ۳۳
۱۲ مراقبت‌های سلامتی ۳۵
۱۳ ریخت‌وپاش و رهایش اتفاقی ۳۵
۱۴ روش های دفع ۳۷
۱۴-۱ برنامه‌ریزی برای انبارش و دفع نانومواد ۳۷
۱۴-۲ انبارش نانومواد زاید قبل از دفع ۳۸
۱۴-۳ دفع نانومواد زاید ۳۸
۱۵ پیشگیری از حریق و انفجار ۳۹
پیوست الف: رویکردهای کنترل (اطلاعاتی) ۴۱
پیوست ب: کتابنامه (اطلاعاتی) ۵۴

پیش گفتار

استاندارد "فناوری نانو- مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی‌شده، قسمت ۱: اصول و رهیافت‌ها" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط ستاد توسعه فناوری نانو مستقر در دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری تهیه و تدوین شده است و در نوزدهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مورخ ۹۴/۲/۲۹ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظرخواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد .

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO/TS 12901-1: 2012, Nanotechnologies - Occupational risk management applied to engineered nanomaterials - Part 1: Principles and approaches.

مقدمه

رشته فناوری نانو با پیشرفت مواد، محصولات و کاربردهای جدید به سرعت در حال پیشرفت است. در عین حال، سوالات بسیاری در رابطه با ریسک‌های بالقوه‌ای مطرح شده است که سلامت انسان و محیط کاربری برخی از نانومواد جدید را تهدید می‌کند. در سطح بین‌المللی، برنامه جامع تحقیقاتی برای درک بهتر و شناسایی این ریسک‌ها تحت بررسی است. اگرچه نتایج برخی تحقیقات منتشر شده‌اند، اما باید این تلاش‌ها ادامه داشته باشد. هرچند لازم است در مورد افرادی که دست‌اندرکار تولید و استفاده از نانومواد هستند، ارزیابی ریسک‌ها انجام و رویکردهای مدیریتی موثر ریسک اجرا شود. استانداردسازی بین‌المللی در فناوری نانو باید به درک پتانسیل این فناوری برای بهبود و پایداری جهان از طریق توسعه اقتصادی کمک کرده و کیفیت زندگی و همچنین بهداشت عمومی و محیط را ارتقاء و از آن محافظت نماید.

این قسمت از استاندارد ملی ایران به‌علت شرح اصول چارچوب مدیریت ریسک شغلی از این روند حمایت می‌کند و توصیه‌های کاربردی را در رابطه با اجرای آن بر اساس بهترین شواهد موجود در رابطه با ریسک‌های بالقوه نانومواد‌ها ارائه می‌کند. این استاندارد که در حال تکمیل است، رهیافت ویژه‌ای را بر اساس گروه‌بندی اقدامات کنترلی به منظور حمایت از اجرای عملیات ایمن در این حوزه شرح می‌دهد.

«فناوری نانو- مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی‌شده- قسمت ۱: اصول و رهیافت‌ها»

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد ارائه راهنمایی در مورد معیارهای سلامت و ایمنی شغلی در رابطه با نانومواد مهندسی‌شده است که شامل: استفاده از کنترل‌های مهندسی و تجهیزات حفاظت فردی مناسب، راهنمایی در مورد ریخت‌وپاش[۱] و رهایش تصادفی نانومواد و دفع ایمن آنها می‌شود. این استاندارد برای استفاده افرادی مانند مدیران سلامت و ایمنی، مدیران تولید، مدیران محیط زیست، متخصصین بهداشت صنعتی/حرفه‌ای و سایر افراد با مسئولیت ایمن سازی تولید، جابجایی، فرآوری و دفع نانومواد مهندسی شده کاربرد دارد.

این استاندارد برای نانومواد مهندسی شده شامل نانو-اشیائی[۲]چون نانوذرات[۳]، نانوالیاف[۴]، نانولوله‌ها[۵]، نانوسیم‌ها[۶] و و همچنین حالت انبوهه[۷] و کلوخه[۸] این مواد [۹](NOAAs) کاربرد دارد. عبارت NOAAs که در این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته است، به موادی اطلاق می‌شود که در شکل‌های اصلی خود یا به‌صورت ترکیب با مواد دیگر یا از فرآیندهایی آزاد می‌شوند که در چرخه حیات شانس انتشار از آنها را می‌یابند، به‌عنوان‌مثال می‌توان به فعالیت‌های پایین دستی مانند دفع، اشاره کرد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آنها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن ها مورد نظر است.

1- Spills
2- Nano-objects
3- Nano Particles
4- Nanofibers
5- Nanotubes
6- Nanowires
7- Agglomerates
8- Aggregates
9- Nano Object- Aggregates and Agglomerate

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی: ۱۳۸۸:۱۲۰۹۸، فناوری نانو- واژه‌ها، اصطلاحات و تعاریف اصلی

۲-۲ استاندارد ملی ۱۲۳۲۵: ۱۳۸۸، آیین کار سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانومواد

2-3 ISO/TS 12901-1: 2012, Nanotechnologies - Occupational risk management applied to engineered nanomaterials - Part 1: Principles and approaches

2-4 ISO/TS 12901-1: 2014, Nanotechnologies - Occupational risk management applied to engineered nanomaterials - Part 2: Use of the control banding approach

2-5 ISO/TR 13121: 2011, Nanomaterials Risk Evaluation

2-6 ISO/DTS 12901-2: 2014, Nanotechnologies - Occupational risk management applied to engineered nanomaterials - Part 1: Principles and approaches.

2-7 EN 14907: 2006, Ambient air quality - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM 2.5 mass fraction of suspended particulate matter.

2-8 ISO/TR 12885: 2008, Health and safety in occupational settings relevant to anotechnologies

2-9 ISO/TR 13329: 2012, Nanomaterials - Preparation of Material Safety Data Sheet (MSDS)

2-10 ISO/TS 27687: 2008, Nanotechnologies - Terminology and def initions for nano-objects - Nanoparticle, nanof ibre a, Nanotechnologies and nanoplate

2-11 ISO 80004-1: 2010, Vocabulary -Part 1: Core terms

2-12 ISO 14698-2: 2003, Cleanrooms and associated controlled environments - Biocontamination control - Part 2: Evaluation and interpretation of biocontamination data

2-13 ISO 10993-17: 2002, Biological evaluation of medical devices - Part 17: Establishment of allowable limits for leachable substances

2-14 ISO/IEC Guide 51: 1999, Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards

2-15 BSI/PAS 6699-2: 2007, Guide to Safe Handling and Disposal of Manufactured Nanomaterials, British Standards Institution

۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها، اختصارات و یکاها

۳-۱

کلوخه (Agglomerate)

مجموعه‌ای از ذرات با اتصال سست یا انبوهه‌ها یا مخلوط‌های دوتایی که مساحت سطح خارجی آنها مشابه مجموع مساحت‌های سطح تک تک اجزاء است (به استاندارد ملی شماره ۱۲۰۹۸ مراجعه شود).

یادآوری ۱- نیروهائی که یک کلوخه را یکپارچه نگه دارد، نیروهای ضعیفی هستند. به‌عنوان مثال می‌توان به نیروهای واندروالس[1] یا گره خوردگی فیزیکی[2] ساده اشاره کرد.

یادآوری ۲- کلوخه‌ها را ذرات ثانویه و ذرات منشاء اصلی را ذرات اولیه نیز می نامند.

۳-۲

انبوهه (Aggregate)

ذره‌ای است شامل ذرات جوش خورده یا با پیوند قوی که مساحت سطح خارجی آن می‌تواند به‌طور چشمگیری از مجموع مساحت‌های سطح محاسبه شده برای تک تک اجزاء کوچکتر باشد (به استاندارد ملی شماره ۱۲۰۹۸ مراجعه شود).

یادآوری ۱- نیروهایی که انبوهه را یکپارچه نگه می‌دارد، نیروهای قوی مانندپیوندهای اشتراکی[3]، یا نیروهای ناشی از تف جوشی[4] جوشی[4] یا درهم تنیدگی فیزیکی پیچیده هستند.

یادآوری ۲- انبوهه‌ها را ذرات ثانویه نیز می‌نامند.

۳-۳

نانومواد مهندسی شده (Engineered Nanomaterial)

نانومواد‌ی که برای اهداف و کارکردهای خاصی طراحی شده‌اند.

۳-۴

مواجهه (Exposure)

1- Van der Waals forces
2- Phyical entanglement
3- Covalent bonds
4- Sintering

تماس با عوامل شیمیایی یا فیزیکی یا زیستی از طریق بلعیدن، استنشاق یا تماس با پوست یا چشم است.

یادآوری- مواجهه ممکن است برای مدت کوتاهی رخ دهد (مواجهه حاد) یا اینکه میان مدت یا بلند مدت (مواجهه مزمن) باشد.

۵-۳

مخاطره (Hazard)

عوامل بیولوژیکی، شیمیایی، فیزیکی یا عواملی است که اثرات زیان‌آوری بر افراد، محیط، فرایند و یا محصول دارند.

۶-۳

مخاطرات سلامتی (Health Hazards)

منابع بالقوه آسیب و صدمه به سلامتی است.

۷-۳

نانولیف (Nanofibre)

نانوشیئی است با دو بعد بیرونی مشابه در مقیاس نانو و بعد سومی که به شکل معنی داری بزرگتر از دو بعد دیگر است (به استاندارد ملی شماره ۱۲۰۹۸ مراجعه شود).

یادآوری ۱- نانولیف می‌تواند قابل انعطاف یا سخت باشد.

یادآوری ۲- دو بعد بیرونی مشابه از نظر اندازه حداقل سه برابر کوچکتر از بعد بزرگتر است و بعد بزرگتر حداقل سه برابر بزرگتر از دو بعد کوچکتر است.

یادآوری ۳- بعد بیرونی بزرگتر الزاماً در مقیاس نانو نیست.

۸-۳

نانوشیء (Nano_object)

ماده‌ای است که یک، دو یا سه بعد خارجی آن در مقیاس نانو است (به استاندارد ملی شماره ۱۲۰۹۸ مراجعه شود).

یادآوری- این یک اصطلاح عمومی برای تمامی نانواشیاء مجزا است.

۹-۳

نانوذره(Nanoparticle)

نانوشیئی است که هر سه بعد آن در مقیاس نانو است.

یادآوری ۱- اگر طول بلندترین تا کوتاه‌ترین محور نانو شیئی به شکل معنی داری متفاوت باشد (تا سه برابر)، عبارت نانو میله[1] یا نانو صفحه[2] به جای نانوذره به کار گرفته می‌شود.

یادآوری ۲- به استاندارد ملی شماره ۱۲۰۹۸ مراجعه شود.

۱۰-۳

نانو صفحه (Nanoplate)

نانو شیئی است که دارای یک بعد خارجی در مقیاس نانو است و دو بعد دیگر به‌صورت قابل ملاحظه‌ای بزرگتر هستند (به استاندارد ملی شماره ۱۲۰۹۸ مراجعه شود).

یادآوری ۱-کوچکترین بعد خارجی ضخامت نانو صفحه است.

یادآوری ۲- دو بعد بزرگتر تا سه برابر بعد کوچکتر هستند.

۱۱-۳

نانومقیاس (Nano scale)

محدوده اندازه‌ای از ۱ نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر است (به استاندارد ملی شماره ۱۲۰۹۸ مراجعه شود).

یادآوری ۱- خواصی که در مقیاس‌های بزرگتر مشاهده نمی‌شوند و معمولاً در این مقیاس مشاهده می‌شوند. در مورد چنین ویژگی‌هایی اندازه بصورت تقریبی در نظر گرفته می‌شود.

یادآوری ۲- مرز پایینی در این تعریف (تقریبا ۱ نانومتر) به این منظور مشخص شده است که تک اتم‌ها و گروه‌های کوچک اتم‌ها از نانواشیاء یا عناصر نانوساختار قابل تمیز باشند.

۱۲-۳

ذره (Particle)

1- Nanorod
2- Nanoplate

جزءریز ماده با مرزهای فیزیکی مشخص است.

یادآوری ۱- مرز فیزیکی را می‌توان بصورت سطح تماس[1] نیز تعریف کرد.

یادآوری ۲- ذره می‌تواند به عنوان یک واحد مجزا حرکت کند.

یادآوری ۳- این تعریف عمومی از ذره در مورد نانواشیاء نیز کاربرد دارد.

۱۳-۳

ریسک (Risk)

ترکیبی از احتمال و پیامد ناشی از وقوع یک رخداد خطرناک است (به استاندارد ملی شماره ۱۲۳۲۵ مراجعه شود).

۱۴-۳ نمادها و اختصارات

ADME[2] جذب، توزیع، متابولیسم و حذف

ACGIH [۳] انجمن دولتی بهداشت صنعتیآمریکا

BMD [۴] دز معیار

BMDL [۵] حد پایین اطمینان دز معیار

CB [۶] دسته‌بندی اقدامات کنترلی

COSHH [۷] کنترل مواد مخاطره‌آمیز مطابق مقررات بهداشتی

CPC [۸] شمارشگر ذرات متراکم شده

DMPS [۹] سنجشگر اندازه ذرات بر اساس اختلاف در تحرک آنها

EDX [۱۰] اسپکتروفتومتری (طیف‌سنجی) پراش پرتو ایکس

ELPI [۱۱] ایمپکتور الکترواستاتیک فشار پایین

ES[۱۲] استاندارد مواجهه

1- Interface
2- Adsorption, Distribution, Metabolism and Elimination
3- American Conference of Governmental Industrial Hygienists
4- Benchmark Dose
5- Benchmark Dose Lower Confidence Limit
6- Control Banding
7- Control of Substances Hazardous to Health Regulations
8- Condensation Particle Counter
9- Differential Mobility Particle Sizer
10- Energy Dispersive X-Ray Analysis
11- Electrostatic Low Pressure Impactor
12- Exposure Standard

GHS[1] سامانه یکپارچه‌سازی جهانی

HEPA[2] فیلترهای حذف ذرات معلق با کارایی بالا

LCL[3] حد پایین اطمینان

LEV[4] تهویه مکنده موضعی

LOAEL[5] پایین‌ترین سطح مشاهده شده اثرات زیان‌آور

MWCNT[6] نانولوله کربنی چنددیواره

NEAT[7] روش ارزیابی مواجهه با نانوذرات

NIOSH[8] موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی

NOAA[9] نانوشیء، انبوهه و کلوخه بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر

NOAEL[10] سطح اثرات زیان‌آور غیر قابل مشاهده (سطحی که در آن اثرات زیان‌آور مشاهده نمی شود)

OECD[11] سازمان توسعه همکاری اقتصادی

OEL[12] حد مواجهه شغلی

OPC[13] شمارشگر نوری ذرات

PB-ECL[14] عملکرد مبتنی بر حد کنترل مواجهه

PPE[15] تجهیزات حفاظت فردی

RPE[16] تجهیزات حفاظتی تنفسی

SEM[17] میکروسکوپ الکترونی روبشی

SWCNT[18] نانولوله‌کربنی تک جداره

TEM[19] میکروسکوپ الکترونی عبوری

1- Globally Harmonized System
2- High-efficiency Particulate Matter
3- Lower Confidence Limit
4- Local Exhaust Ventilation
5- Lowest-observed-adverse-effect-level
6- Multi-wall Carbon Nanotube
7- Nanoparticles Exposure Assessment Technique
8- National Institute for Occupational Safet y and Health
9- Nano-objects, and their agglomerates and aggregates greater than 100 nm
10- No-observed-adverse-effect-level
11- Organization for Economic Cooperative Development
12- Occupational Exposure Limit
13- Opticla Particle Counter
14- Performance Based Exposure Control Limit
15- Personal Protective Equipment
16- Respiratory protective equipment
17- Scanning Electron Microscopy
18- Single Wall Carbon Nanotube
19- Transmission Electron Microscopy

TEM EDX[1] طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس توسط میکروسکوپ انتقال الکترونی

TEOM[2] میکروبالانس عنصرباریک نوسان کننده

TLV[3] حد آستانه مجاز

WEL[4] حد مواجهه در محیط کار

۴ انواع نانومواد و ویژگی‌های آنها

۴-۱ کلیات

در این بخش بعضی از انواع متداول نانومواد مهندسی‌شده شرح داده شده است. هدف از این بخش ارائه راهنما یا تعریف جامع و کامل این نوع نانومواد نیست.

۴-۲ فولرن‌ها[5]

فولرن‌ها یکی از چهار نوع اشکال طبیعی کربن هستند که برای اولین بار در دهه ۱۹۸۰ کشف شد. مولکول‌های آن تماماً از اتم‌های کربن ساخته شده و به شکل یک کره تو خالی آرایش پیدا کرده‌اند. فولرن‌ها از نظر ساختار شبیه به گرافیت و شامل صفحاتی از حلقه‌های کربن هشت گوش هستند، اما در عین‌حال شامل حلقه‌های پنج-گوش و هفت‌گوش نیز می‌باشند، که سبب می‌شود ساختارهای سه بعدی شکل گیرد. یکی از متداول‌ترین فولرن‌ها، C60 است، که تحت عنوان فولرن باک مینستر[6] یا باکیبال[7] شناخته می‌شود. فولرن‌ها از نظر شیمیایی شیمیایی پایدار بوده و درمحلول‌های آبی حل نمی‌شوند. کاربردهای بالقوه این مواد درداورسانی، پوشش‌دهی و ذخیره‌سازی هیدروژن است.

۴-۳ نانولوله‌های کربنی

نانولوله‌های کربنی، آلوتروپ‌های[8] کربن با ساختارهای استوانه‌ای، نسبت ابعاد بالا، قطر و طول‌های متفاوت و همچنین ساختارهای لوله‌ای می‌باشند که اصولاً شامل یک تا چند لایه لوله‌ای ورقه‌های گرافنی هستند. انواع اصلی آن شامل تک‌دیواره (SWCNT)، دودیواره (DWCNT[9]) و چنددیواره (MWCNT) هستند. قطر این

1- Transmission Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray Analysis
2 -Tapered Element Oscillating Microbalance
3- Threshold Limit Value
4- Workplace Exposure Limit
5- Fullerenes
6- Buckminster
7- Buckyball

۸-Allotropes : جسمی که مستعد تبدیل به‌چند صورت یا ماده باشد.

9- Double Walled Carbon Nanotube

لوله‌ها ممکن است از ۱ نانومتر برای SWCNT تا بیش از ۱۰۰ نانومتر برای MWCNT متغیر باشد. طول این لوله‌ها ممکن است تا چند صد میکرومتر برسد. نانولوله‌های کربنی تجاری معمولاً دارای مقادیر قابل توجهی از دیگر آلوتروپ‌های کربن و کاتالیست‌های معدنی نانوذرات هستند.

۴-۴ نانوسیم‌ها

نانوسیم‌ها عبارت از نانوالیاف هادی جریان الکتریسیته با یک ساختار بلوری و قطری کمتر از ۱۰ نانومتر و نسبت ابعاد بالا هستند. فلزات مختلفی برای ساخت نانوسیم‌ها کاربرد دارند که شامل کبالت، طلا و مس می‌باشد. نانوسیم‌های سیلیکونی نیز ساخته شده‌اند. کاربردهای متداول این مواد به عنوان اتصال دهنده‌های داخلی[۱] در دستگاه‌های نانوالکترونیک[۲]، فوتوولتائیک[۳] و حسگرها[۴] هستند.

۴-۵ نقطه‌های کوانتومی[۵]

نقطه‌های کوانتومی ساختارهای کوچکی (۲ نانومتر تا ۱۰ نانومتر) از مواد نیمه‌رسانا هستند که دارای ویژگی‌های الکترونیکی، نوری، مغناطیسی و کاتالیستی جدیدی هستند. معمولاً از ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ اتم ساخته شده‌اند. نقاط کوانتومی فضای مابین ساختارهای جامد و یک مولکول مجزا هستند. نقطه‌های کوانتومی نیمه‌رسانا ویژگی‌های فوتوالکتریکی متفاوتی از خود نشان می‌دهند که مستقیماً مربوط به اندازه آنها است. برای مثال، با تغییر اندازه ذره، نور منتشر شده توسط ذره در حال تهییج[۶] را می‌توان در طول‌موج خاصی تنظیم کرد. کاربردهای این مواد در کاتالیست ها، تصویر برداری پزشکی، تجهیزات نوری، و حسگرها می‌باشد.

۴-۶ فلزات، اکسیدهای فلزی، سرامیک ها

این گروه شامل گستره وسیعی از اشکال فشرده نانوذراتی مانند دی اکسید تیتانیوم فوق‌العاده ریز، و دمه‌های[۷] سیلیکا هستند. چنین نانوذراتی را می‌توان از مواد مختلفی به‌دست آورد از جمله فلزات، اکسیدها، و سرامیک‌ها. اگرچه ذرات اولیه دارای شکل فشرده شده هستند، این مواد معمولاً تنها به‌صورت انبوهه یا کلوخه یافت می‌شوند. این مواد ممکن است چندسازه‌ای[۸] (کامپوزیتی) مرکب از هسته‌ای فلزی با پوشش اکسیدی یا آلیاژی

1- Inter-connector
2- Nano-electronic
3- Photovoltaics
4- Sensors
5- Quantum dots
6- Excitation
7- Fume
8- Composites

فلزی باشند. این گروه از نانوذارت معمولاً از نظر اندازه و شکل کمتر پرداخته شده و به‌صورت توده‌های بزرگتر از سایر اشکال نانوذرات تولید می‌شوند. کاربردهای این مواد در روکش‌ها، رنگدانه‌ها، کاتالیست‌ها، محصولات بهداشت فردی، آرایشی، و مواد چندسازه‌ای است.

۴-۷ کربن‌سیاه[1]

کربن‌سیاه (کربن بلک) در حقیقت عنصر خالص کربن می‌باشد که به شکل ذره‌ای یافت شده و در اثر سوختن ناقص یا تجزیه گرمایی هیدروکربن‌های گازی یا مایع تحت شرایط کنترل شده تولید می‌شود. ظاهر فیزیکی این ماده سیاه، و به صورت پودر یا پلت[2] است. کاربرد این ماده در تایر، لاستیک، و پلاستیک، جوهر چاپ، و پوشش‌دهی به ویژگی‌هایی مثل مساحت سطحی ویژه، اندازه و ساختار ذره، رنگ و هادی بودن آن بستگی دارد. اندازه ذره اولیه کربن‌سیاه معمولاً کمتر از ۱۰۰ نانومتر است اما نمونه‌های تجاری آن بصورت انبوهه با ابعاد بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر ارائه می‌گردند. کربن‌سیاه بر اساس میزان تولید سالیانه یکی از ۵۰ ماده شیمیایی برتر صنعتی است.

۴-۸ درخت سانان[3]

درخت‌سانان ذرات پلیمری هستند که در آنها اتم‌ها در ساختارهای خوشه‌ای و معمولاً متقارن نسبت به یک نقطه مرتب شده‌اند. درخت‌سانان معمولا ًتک‌اندازه (مونودیسپرس[4]) بوده و توسط گروه‌های عاملی متعددی احاطه شده‌اند. درحال حاضرکاربرد این مواد درسامانه‌های دارورسانی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۴-۹ نانورس ها[5]

نانورس‌ها نانوذرات سرامیکی ساخته شده از سیلیکات‌های لایه‌ای هستند. این مواد را می‌توان در طبیعت یافت و یا اینکه برای رسیدن به ویژگی‌های خاصی، مهندسی و تولید می‌شوند. شکل‌های طبیعی آنها شامل: مونوتموریلونیت[6]، بنتونیت[7]، کاولینیت[8]، هکتوریت[9]و هالوسیت[10]است. نانورس‌ها در عین حال شامل خاک

1- Carbon black
2- Pellet
3- Dendrimers
4- Monodisperse
5- Nano Clays
6- Montmorillonite
7- Bentonite
8- Kaolinite
9- Hectorite
10- Halloysite

رس‌های آلی نیز هستند، برای مثال خاک رسی که تحت تبادل کاتیونی-آنیونی قرار گرفته است و معمولاً دارای مولکول‌های آلی بزرگ هستند که به‌صورت جزئی یا کامل ورقه‌های اولیه را از حالت لایه‌ای خارج می‌کنند.

۵ مخاطرات، مواجهه و ریسک نانومواد

۵-۱ کلیات

مواجهه استنشاقی با انواع مختلف ذرات، مانند نانوذرات می‌تواند باعث صدمه به سلامتی افراد شود. داده‌های موجود حاصل مطالعات انجام گرفته روی انسان، حیوان، و جمعیت‌هایی است که در معرض مواجهه با هوای آلوده با این ذرات بوده‌اند. اثر بر روی ریه‌ها بستگی به دز ذرات، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آنها و همچنین حساسیت افراد دارد. مطالعات حیوانی نشان داده است که نانوذرات می‌تواند نسبت به ذرات بزرگتر زیان‌آورتر بوده و باعث اثرات زیان‌آور ریوی جدی‌تری گردند که علت آن مساحت سطحی بیشتر نانوذرات در واحد جرم می‌باشد. موارد مختلفی از صدمات ریوی در اثر فعالیت‌های صنعتی و آلودگی‌های محیطی وجود دارد. برای مثال، در یک محیط شغلی، مواجهه با غبار ذغال ارتباط مستقیمی با ابتلا به بیماری‌های ریوی از جمله پنوموکونیوزیس[۱] و بیماریهای انسدادی مزمن ریوی[۲] دارد، و مواجهه با آزبست ارتباط مستقیمی با آزبستوزیس[۳]، آزبستوزیس[۳]، مزوتلیوما[۴] و سرطان ریه دارد. مطالعات ارتباط بین آلودگی ذره‌ای هوا و افزایش مرگ‌ومیر حاصل از از اثرات تنفسی و قلبی عروقی را، مخصوصاً در جمعیت‌های حساس از جمله افراد مسن یا کسانی که از قبل با مواد تماس داشته‌اند، تائید کرده‌اند.

هر چند میلیون‌ها نفر به علت آلودگی هوا هر روزه با این مواد مواجهه دارند اما اثرات آشکاری از بیماری در آنها مشاهده نشده است. در مورد هر ماده، ریسک یا احتمال بیماری با بالارفتن دز، افزایش پیدا می‌کند. معنی دز در اینجا، میزان دریافت ماده مورد نظر توسط اندام‌های بدن و مدت ماندگاری ماده در آن اندام است. سمیت خصوصاً برای مواد غیرقابل حل به مساحت سطحی ذرات بستگی دارد. هرچند عوامل فیزیکوشیمیایی دیگری نیز وجود دارد که می‌تواند بر سمیت نانومواد از جمله سمیت بعضی نانولوله‌های‌کربنی لیف مانند تاثیر گذار باشد.

۵- ۲ ملاحظات مرتبط با ریسک‌های بالقوه سلامتی در اثر استنشاق NOAAS

1- Pneumoconiosis
2- Chronic Obstructive Pulmonary Disease
3- Asbestosis
4- Mesothelioma

بیش از ۳۰ مورد مطالعه و مقاله به بررسی ریسک‌های بالقوه سلامتی در نتیجه مواجهه استنشاقی NOAAs پرداخته‌اند. ریسک بالقوه سلامتی در اثر استنشاق NOAAs، مخصوصاً NOAAs زیست پایدار را می‌توان به شکل زیر جمع بندی کرد:

الف- به دلیل اندازه کوچک، نانوشیء می‌تواند به بخش‌هائی از سامانه زیستی برسد که معمولاً ذرات بزرگتر نمی‌توانند به آن راه یابند. این امر ناشی از افزایش احتمال عبور این ذرات از مرزهای بین سلولی یا عبور از ریه و وارد شدن به جریان خون و سپس تمام بدن می‌باشد. حتی این ذرات از طریق ته نشت در بینی، مستقیماً به مغز انتقال می‌یابند. این فرایند را جابجایی می‌نامند و در کل، نانوشیءها بسیار ساده‌تر از ساختارهای بزرگتر جابجا می‌شوند.

ب- نانواشیاء NOAAs دارای مساحت سطحی بیشتری نسبت به ذرات بزرگتر با جرم مشابه هستند. از آنجا که مساحت سطحی عاملی برای سمیت محسوب می‌شود، امکان مسمومیت با این مواد بسیار بیشتر است.

پ- یک منطق مهم برای توسعه نانومواد این است که آنها در مقایسه با ذرات درشت‌تر همان ماده، ویژگی‌های جدید، اصلاح شده و پیشرفته‌تری دارند. ممکن است ویژگی‌های شیمیایی و یا فیزیکی با ویژگی‌های زیستی همراه باشند که برخی از آنها می‌توانند بر افزایش سمیت دلالت داشته باشند.

ت- موضوع دیگر مقایسه بین مقاومت زیستی ذراتی با نسبت منظر[1] بالا(نسبت طول به قطر)، NOAAs (به-طورمثال برخی اشکال نانولوله‌های کربنی و نانوسیم‌ها) و آزبست است. برخی از ذرات لیفی زیست پایدار موجب بیماری می‌شوند. این ذرات پس از استنشاق به ناحیه حبابچه‌های ریوی رسیده و به آسانی از آنجا حرکت نمی‌کنند. ابعاد فیزیکی آنها به گونه‌ای است که بواسطه مکانیسم‌های پاکسازی ریه از بین نمی‌روند، و آنها بسیار بادوام بوده و در مایعات ریوی حل نمی‌شوند. به همین دلیل به مدت طولانی در ریه باقی می‌مانند و باعث التهاب و سرانجام بیماری می‌شوند. آزبست نمونه‌ای از این الیاف زیست پایدار است. نانواشیاء NOAAs با نسبت ابعاد بالا نیز دارای ریخت‌شناسی[2](شکل و استحکام) مشابه و دوام زیاد بوده و در صورت استنشاق در ریه‌ها ماندگار می‌شوند.

ث- علاوه بر این، در برخی از NOAAs، کاهش اندازه باعث افزایش قابلیت انحلال آنها می‌شود. این اثر ممکن است منجر به افزایش قابلیت دسترسی زیستی موادی شود که غیرقابل حل بوده یا در اندازه‌های درشت‌تر، قابلیت انحلال کمی دارند.

1- Aspect Ratio
2- Morphology

با افزایش حجم تولید، قیمت و هزینه پائین‌تر و کاربرد بیشتر نانومواد در صنعت و بازرگانی، نیاز بیشتری برای ارزیابی ریسک‌های بالقوه NOAAs و اعمال اقدامات کنترلی محتاطانه و مناسب در هنگام استفاده، جابجایی و دفع آنها وجود دارد.

احتمال بروز بیماری (یا ریسک آن) به ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی نانومواد و دز آن در اندام هدف بستگی دارد. دز در انسان‌ها مستقیماً ارزیابی نشده، بلکه بر اساس مواجهه باذرات هوابرد[1] تخمین زده می‌شود که ترکیبی است از تراکم ذرات در هوا، نرخ استنشاق، میزان نشست ذرات در مجاری تنفسی بر حسب اندازه آنها و طول مدت زمان مواجهه با ماده. در صورتی که هیچ نوع مواجهه ای با ماده وجود نداشته باشد، هیچ دزی تجمع نیافته و علیرغم سمیت بالقوه ذرات، ریسکی برای سلامتی وجود نخواهد داشت.

یک پاسخ مناسب برای ریسک‌های بالقوه NOAAs، مخصوصاً زمانی که اطلاعات مخاطرات در دسترس نیست، درک پتانسیل مواجهه با مواد است که می‌تواند در طول چرخه حیات نانومواد رخ دهد و لازم است برای حذف و یا به حداقل رساندن مواجهه اقدامات مقتضی را بکار گرفت، بدین ترتیب، می‌توان ریسک‌ها را کنترل کرد.

۳-۵ ملاحظات مرتبط با ریسک‌های بالقوه سلامتی ناشی از مواجهه‌های پوستی یا خوراکی

نگرانی‌هایی در مورد ریسک‌های سلامتی ناشی از مواجهه پوستی با برخی از انواع NOAAs وجود دارد. این نگرانی‌ها بدلیل احتمال نفوذ این مواد در پوست و ورود به جریان خون است. تا امروز، مطالعات اندکی در مورد این تاثیر بر مدل‌های پوستی وجود داشته و میزان نفوذ NOAAs به پوست نشان داده نشده است. هرچند این مطالعات مقدماتی بوده و تاثیر این مواد بر پوست آسیب دیده در نظر گرفته نشده است.

مطالعات اخیر نشان می‌دهد که مقادیر اندکی روی از ذرات اکسید روی (ZnO) که در کرم‌های ضدآفتاب استفاده می شود، از طریق پوست انسان جذب می‌گردند. در این مطالعه، داوطلبان دو محصول ضد آفتاب را استفاده نمودند که یکی ضد آفتاب حاوی نانوذرات ۱۹ نانومتری و دیگری ضد آفتاب حجمی حاوی ذرات بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر بودند. ردیابی ایزوتوپی پایا[2] برای تشخیص روی استفاده شد. افزایش اندکی از روی در خون و ادرار تشخیص داده شد. هرچند مشخص نشده که آیا روی (Zn) به شکل ذرات اکسید روی یا روی محلول بوده یا هر دو شکل آن جذب شده است.

مطالعات دیگری در جریان است اما اجماع بر آن است که باید یک رویکرد محتاطانه در خصوص محدود کردن مواجهه پوستی اتخاذ شود. تاثیرات بالقوه این مواد بر سلامتی از طریق بلع بر اساس احتمال انتقال نانوذره از

1- Airborne
2- Stable isotope tracing

دیواره معده- روده‌ای اثبات شده است. هرچند هیچ مدرکی دال بر عوارض زیان‌آور بلع NOAAs وجود ندارد اما کاهش مواجهه از راه گوارشی، باید مد نظر قرار گیرد.

۵-۴ نانواشیاء NOAAS به عنوان موادی مخاطره‌آمیز

مواد مخاطره‌آمیز می‌توانند به شکل ذیل شناسایی شوند:

- اسامی آنها در نشریات ملی درج شده باشد. این نشریات موادی را فهرست می‌کند که دارای حد مواجهه شغلی(OEL) می‌باشند.
- بر اساس سامانه یکپارچه‌سازی جهانی سازمان ملل، به عنوان ماده سرطان‌زا، جهش زا، یا بسیار سمی، سمی، مضر، حساسیت زا (برای مثال آسم شغلی)، خورنده، محرک یا سمی برای تولید مثل طبقه بندی شده باشد.
- در برگه داده‌های ایمنی (MSDS)[1] به عنوان ماده ای مخاطره‌آمیز با اطلاعاتی در مورد مخاطرات خاص مانند سرطان زایی یا جهش زایی شناخته‌شده باشد.
- اسامی آنها در نشریات ملی یا بین المللی به عنوان مواد شیمیایی مخاطره‌آمیز فهرست شده باشد.

هرچند با دانش محدود در مورد سمیت برخی از NOAAs و این نگرانی که برگه داده‌های ایمنی فعلی به حد کافی ماهیت مخاطره‌آمیز چنین موادی را بیان نمی‌کنند، توصیه می‌شود که تمام نانومواد در شکل ذره‌ای یا به شکلی که امکان انتشار ذرات از آن وجود دارد، به عنوان ماده مخاطره‌آمیز در نظر گرفته شود مگر اینکه اطلاعات کافی، خلاف آن را نشان دهد.

۵-۵ خطرحریق و انفجار NOAAS

ابرهای ذره‌ای قابل انفجار از بیشتر مواد آلی، بسیاری از فلزات و حتی برخی از مواد معدنی غیر فلزی تولید می‌شوند. عامل اولیه‌ای که بر اشتعال‌پذیری و شدت انفجار ابر غبار تاثیر می‌گذارد، اندازه ذره یا مساحت سطح ویژه (مساحت کلی سطحی ذره در واحد جرم یا حجم ذره) است. با کاهش اندازه ذره، مساحت سطحی ویژه افزایش می‌یابد. روند کلی چنین است که با کاهش اندازه ذره اشتعال‌پذیری و شدت انفجار افزایش می‌یابد، اگرچه برای بسیاری از ذرات این روند در اندازه‌های میکرومتری آغاز می شود. در این زمینه داده‌های تجربی محدودی در دسترس است. میزان رطوبت نیز در قابلیت اشتعال و انفجار نقش مهمی را ایفا می‌کند. میزان رطوبت بالا منجر به ویژگی‌های انفجاری کمتر می‌شود. به‌طور کلی، قابلیت انفجار NOAAs به‌میزان زیادی مشابه پودرها در مقیاس میکرون است. بنابراین نسبت بالای سطح به حجم، شدت انفجار بیشتری را در مقایسه

1- Material Safety Data Sheet

با همان ماده در مقیاس میکرون ایجاد نمی‌کند. اما حداقل انرژی اشتعال پذیری برخی از NOAAs پایین تر از مقدار آن برای همان ماده در مقیاس میکرون است. این امر نشان می‌دهد که ممکن است برخی از NOAAs دارای استعداد بیشتری برای اشتعال باشند اما به محض اشتعال، شدت انفجار بیشتر از پودرهای میکرونی نخواهد بود.

۶ رویکرد کلی مدیریت ریسک NOAAs

در بسیاری از کشورها، قانون مربوط به استفاده از مواد شیمیایی یا سایر مواد مخاطره‌آمیز در محل کار ایجاب می‌نماید که کارفرمایان، مواجهه با مواد مخاطره‌آمیز را به‌منظور پیشگیری از بیماری کارکنان و سایر افرادی که می‌توانند در معرض این مواد قرار گیرند، کنترل کنند. به‌عنوان مثال در انگلیس، طبق مقررات سال ۲۰۰۲ کنترل مواد مخاطره‌آمیز برای سلامتی که برمبنای روش ارزیابی ریسک است، چارچوبی را برای ارزیابی و مدیریت ریسک‌های بالقوه NOAAs ارائه می‌دهد. این چارچوب شامل هشت گام اصلی می‌باشد:

الف- مخاطرات و ارزیابی ریسک آنها شناسایی شوند.

ب- در مورد احتیاط‌های لازم تصمیم‌گیری شود.

پ- پیش‌گیری یا کنترل مواجهه صورت گیرد.

ت- از انجام اقدامات کنترلی اطمینان حاصل شود.

ث- میزان مواجهه پایش گردد.

ج- نظارت‌های مورد نیاز سلامتی انجام شود.

چ- برنامه‌ها و رویه‌های برخورد باحوادث، رخدادها و فوریت‌ها آماده شوند.

ح- از اینکه کارکنان به‌طور کامل از ریسک این مواد اطلاع داشته، در مورد آنها آموزش دیده و حفاظت می‌شوند، اطمینان حاصل شود.

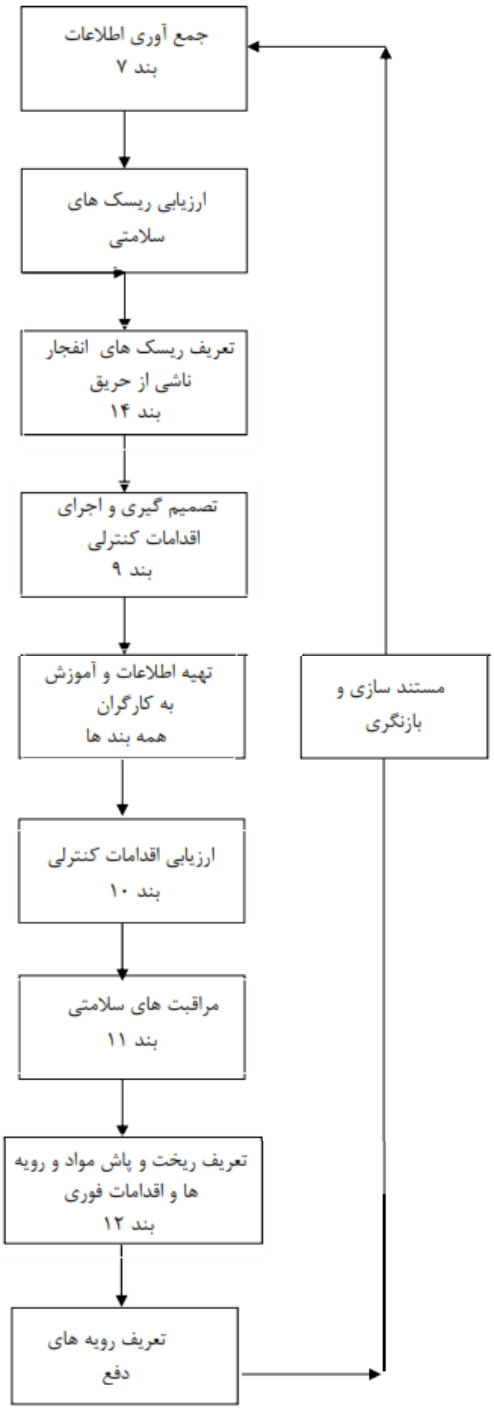
روش پیشنهاد شده در این استاندارد به دقت از این چارچوب پیروی می‌کند.

این رویکرد بر کسب اطلاعات مناسب در مورد ماهیت مخاطره‌آمیز مواد، اثربخشی اقدامات کنترل و روش‌های مناسب و قابل دسترس پایش میزان مواجهه متکی است. یکی از مشکلات استفاده از این رویکرد برای نانومواد آن است که اطلاعات موجود ممکن است ناقص، اشتباه یا نادرست باشند (این امر همچنین برای مواد با حجم بسیار کم نیز صادق است).

خلأ‌های علمی در مورد مخاطرات سلامتی ناشی از نانومواد جدید، عدم قطعیت قابل توجهی را در فرآیند ارزیابی ریسک آنها ایجاد می‌کند. با توجه به فقدان دانش لازم، فرض این نکته که شکل نانوذره‌ای مواد، پتانسیل

مخاطره‌ای مشابه شکل بزرگتر ذره را داراست، فرضی نادرست است. به‌طور کلی، هرچه خلاء علمی بیشتر باشد، بهتر است احتیاط‌های بیشتری در راهبردهای کنترلی لحاظ گردد.

رویکرد کلی پذیرفته شده در این راهنما برای مدیریت ریسک NOAAs در شکل ۱ نشان داده شده است، که راهنمایی برای مابقی این بخش نیز می‌باشد. این شکل روش گام به گامی را برای مدیریت ریسک‌های NOAAs، شناسایی عدم قطعیت های مرتبط و توسعه و اجرای راهبردهای موثر برای کنترل مواجهه و مدیریت ریسک ارائه می‌دهد .



شکل ۱- رویکرد مدیریت ریسک NOAAs

۷ شناسایی وتعیین صلاحیت فرد ارزیاب ریسک

تصمیم اولیه به کسی مربوط است که ارزیابی ریسک را انجام می‌دهد. همانند فرآیندهای ارزیابی ریسک مواد شیمیایی معمول، افراد مختلفی درگیر این کار می‌شوند مانند افراد مرتبط با توسعه یا اجرای فرآیندهای کاری، مدیران و متخصصین بهداشت حرفه‌ای. وضعیت فعلی علم مربوط به NOAAs حاکی از آن است که این روند برای فردی که هیچ اطلاعات زمینه ای در مورد مسائل ریسک نانوذرات ندارد ، تصمیم‌گیری و قضاوت مناسب

برای اتخاذ مراحل اجرای ارزیابی ریسک، دشوار است. علیرغم آن که این استاندارد به رفع این مشکل کمک می‌کند، توصیه جدی بر آن است، آن دسته از افرادی که درگیر ارزیابی ریسک NOAAs هستند، باید اطلاعات بیشتری را در مورد این مسائل جستجو کرده یا آموزش جامع تری ببینند. برای اطلاعات بیشتر در مورد ارزیابی ریسک نانومواد به استاندارد ISO/TR 13121 مراجعه نمایید.

۸ جمع‌آوری اطلاعات

این گام، مرحله اصلی در ارزیابی ریسک است. در صورتی که اطلاعات مختصری در مورد مواد داشته باشیم، لازم است با آن به عنوان یک ماده مخاطره‌آمیز برخورد کنیم و اقدامات جدی کنترل مواجهه را برای آن بکار ببریم. بنابراین لازم است تا این فرآیند را با جمع‌آوری اطلاعات در مورد ماده مورد نظر، کار و روش‌های کاری شروع کنیم. در نظر گرفتن روش‌های عملیاتی و سایر فعالیت‌ها مانند تعمیر و نگهداری و تمیز کردن، شامل فعالیت‌ها و اعمال غیر معمول، حائز اهمیت است. این روند باید بر جمع‌آوری اطلاعاتی تمرکز کند که می‌تواند به هدایت و انجام ارزیابی جامع ریسک کمک کند. موارد ذیل نمونه‌هایی از انواع این اطلاعات می‌باشند که شامل مواردی از استاندارد BSI/PAS 6699-2 بوده و جامع و کامل نیز نیستند.

الف- نام‌های تجاری (متداول) و اسامی فنی این ماده چیست؟

ب- آیا برگه داده ایمنی برای آن وجود دارد[۱]؟

پ- ترکیب شیمیایی ماده چیست؟

ت- این نانوماده به چه شکلی می باشد (به عنوان مثال پودر، انبوهه، پلت)؟

ث- آیا نانوماده وجود دارد؟ به چه نسبتی؟

ج- آیا ذرات قطور یا طویل هستند؟

چ- توزیع اندازه ذره چگونه است؟

ح- ذره‌زائی[۲] این ماده چقدر است؟ ذرات به چه میزان در هوا منتشر می‌شوند؟

خ- آیا این ماده در آب قابل حل است؟

د- ماده به چه میزان مخاطره‌آمیز یا سمی است؟

۱- راهنمای تهیه برگه داده ایمنی نانومواد ساخته شده در استاندارد ISO/TR13329 ارائه شده است.

2- Dusty

ذ- آیا موادی وجود دارند که بتوان به جای نانوماده از آنها استفاده کرد؟ درحالیکه هم مخاطرات کمتری داشته و هم بتوان با استفاده از آن به ویژگی‌های نهایی مورد نظر دست یافت؟

مستندسازی اطلاعات قابل دسترس و همچنین شکاف‌های اطلاعاتی موجود هر دو حائز اهمیت می‌باشد. برای NOAAs تجاری، برخی اطلاعات در برگه داده‌های ایمنی مواد در دسترس است. هرچند هنگام استفاده از این برگه‌ها، ارزیابی این مورد ضروری است که بدانیم سازندگان تا چه حدی ماهیت نانومقیاسی این مواد را در نظر گرفته‌اند.

همچنین شناسایی آن دسته از افرادی که ممکن است در معرض مواجهه باشند، ضروری است. این افراد شامل کارکنان تولید، دستیاران یا کارمندان خدمات پشتیبانی مانند نظافت‌چیان یا تعمیرکاران، پیمانکاران در محل کار، بازدیدکنندگان، سرپرستان و مدیران، دانشجویان، کارمندان بخش اداری و افراد خارج از محل کار می‌باشند.

۹ ارزیابی ریسک سلامتی

۹-۱ کلیات

ریسک‌ها با سمیت ماده و مواجهه افراد با آن مواد مرتبط می باشند. برای کمک به ارزیابی ریسک‌های احتمالی باید اطلاعاتی را جمع‌آوری کرد.

۹-۲ ارزیابی مخاطره

برای اکثر ذراتی که می‌توانند به صورت هوابرد درآمده و استنشاق شوند، به‌ویژه ذراتی که قابلیت انحلال کمی دارند، موضوع نگران کننده از دیدگاه سلامتی در درجه اول، تاثیرات حاصل از استنشاق آنها است. این امر باید اولین موضوع مورد توجه برای هر نانوماده‌ای باشد که تولید یا استفاده می‌شود. هرچند باید به سایر راه‌های مواجهه با مواد مانند تماس پوستی یا خوراکی (بلع) و سایر مخاطرات بالقوه مانند حریق و انفجار نیز توجه داشت (به بند ۱۴ مراجعه شود).

ارزیابی مخاطره (همراه با ارزیابی احتمال مواجهه) می‌تواند برای تصمیم‌گیری در مورد نوع راهبرد کنترلی مفید باشد. بدیهی است هرچه اطلاعات بیشتری در دسترس باشد، این طبقه‌بندی بهتر انجام خواهد شد. اطلاعات در مورد ماهیت مخاطرات NOAAs رو به افزایش بوده و اکنون منابعی دردسترس است که می‌تواند اطلاعاتی را برای تصمیم‌گیری در اختیار قرار دهد. لازم است اطلاعات از لحاظ کمیت و کیفیت ارزیابی شوند. خلاء علمی مربوط به مخاطرات نیز باید مشخص گردد. تصمیمات را می‌توان از طریق منابع علمی، مدارک تجربی یا

قضاوت‌های حرفه ای و کارشناسی شده، به اطلاع رساند. انتشار و ارائه شواهد و مدارک علمی باید به‌طور خاصی مورد توجه قرار گیرد و باید برای به‌روز نگه‌داشتن اطلاعات همواره کوشید. اطلاعات مرتبط در برگه داده‌های ایمنی موجود است، اما مشخص شده است که در حال حاضر، بسیاری از آنها به میزان کافی اشکال نانویی ماده را بیان نمی‌کنند.

برای تمام طبقات NOAAs شناسایی شده، فرض منطقی بر آن است که این مواد توان بالقوه مخاطره‌آمیزی مساوی یا بیشتر از اشکال آن در مقیاس غیر نانویی(در صورت موجود بودن) دارند.

۹-۳ ارزیابی مواجهه

نکته کلیدی حاصل از این مرحله، ارائه مشخصه‌های مواجهه ، خلاصه و جمع‌بندی اطلاعات گردآوری شده است. مشخصه‌های مواجهه، شامل موارد ذیل می‌باشند:

الف- بیان هدف، دامنه، میزان جزئیات و رویکرد استفاده شده در ارزیابی.

ب- تخمین مواجهه با ماده از راه‌های مرتبط، هم برای تک تک افراد و هم برای کل جمعیت (مانند گروه‌های کارگران).

پ- ارزشیابی کیفیت روش ارزیابی و درجه اطمینان از میزان تخمین مواجهه با ماده و نتایج حاصله شامل منابع و میزان عدم قطعیت.

برای پشتیبانی از اطلاعات گردآوری شده، بهتر است سوالاتی شامل موارد زیر را مورد توجه قرار داد:

- فرآیندهایی که می‌توانند منجر به انتشار NOAAs در هوا یا روی سطح شوند، کدامند؟
- وظایفی که از طریق آن افراد به صورت بالقوه در معرض NOAAs قرار می‌گیرند ،کدامند (برای مثال تولید، پاکسازی، رهایش اتفاقی، تعمیر و نگهداری، حمل و نقل، انبارش و دفع)؟
- چه افرادی در حین انجام وظیفه به‌طور جدی در معرض مواجهه قرار می‌گیرند؟ فردی که آن وظیفه را انجام می‌دهد، کارگران مجاور، بازدیدکنندگان، پیمانکاران، مدیران و سایر افرادی که ممکن است در معرض مواجهه با ماده قرار گیرند؟
- راه‌های اصلی مواجهه انسان کدامند (مثلا تنفس، بلع، نفوذ پوستی و تزریق تصادفی)؟
- احتمال مواجهه با ماده چقدر است؟ فعالیت‌های عملیاتی، رهایش تصادفی و تعمیر و نگهداری (شامل تعمیر و نگهداری برنامه ریزی نشده) را در نظر بگیرید.
- مواجهه هر چند وقت یکبار رخ می‌دهد (مثلاً به‌طور مستمر در شیفت کاری، متناوب یا به‌ندرت)؟

- افراد با چه تراکمی و برای چه مدت زمانی با مواد مواجهه دارند؟ ممکن است این امر نیازمند جمع‌آوری و ارزیابی داده‌های موجود یا گردآوری داده‌های جدید باشد (بند ۱۰ را ببینید).
- چه اقدامات کنترلی می‌تواند برای هر وظیفه مورد استفاده قرار گیرد؟ این موارد عبارتند از: جداسازی کارکنان از منبع آلودگی بوسیله محصور کردن افراد یا فرآیند و یا استفاده از تهویه موضعی، آموزش کارگران و تامین تجهیزات حفاظت فردی (PPE).

علاوه بر این، هرگونه داده‌های اندازه‌گیری شده مرتبط باید گردآوری شوند. با در نظر گرفتن دانش فعلی در مورد نانوذرات، این احتمال وجود دارد که اطلاعات گردآوری شده کافی نباشد. همزمان با افزایش عدم قطعیت در مورد میزان مواجهه، نیاز به احتیاط در ارزیابی نیز افزایش می‌یابد. بنابراین لازم است به‌منظور جلوگیری از خطا، جانب احتیاط را در نظر گرفته و موارد شک‌برانگیز را تعیین نماییم. بر اساس این ارزیابی، توصیه می‌شود یک برنامه اولویت بندی‌شده برای گردآوری اطلاعات تکمیلی در مورد میزان مواجهه اتخاذ گردد که شامل برنامه سنجش مواجهه با ماده، و روش‌هایی باشد که در بند ۱۰ خلاصه شده‌اند.

۹-۴ ارزیابی و اولویت بندی ریسک سلامتی

در این مرحله، باید مخاطرات بالقوه شناسایی و احتمال مواجهه با ماده ارزیابی شود. توجه به مخاطره و مواجهه با ماده منجر به ارزیابی ریسک‌ها می‌شود. مرحله بعد تصمیم‌گیری در مورد اقداماتی است که در مورد آنها چه باید انجام شود. اگر ریسک‌ها قابل توجه باشند یا درصورتی که قطعیتی در مورد سطح ریسک وجود نداشته باشد، لازم است احتیاطات لازم اتخاذ شود.

تمام ریسک‌ها را نمی‌توان بلافاصله کنترل کرد بلکه لازم است اولویت‌ها تعیین شود. بر اساس ارزیابی‌های زیر در مورد اولویت‌ها تصمیم‌گیری می‌شود:

- جدی‌ترین ریسک‌های سلامت.
- تعداد کارگرانی که بطور بالقوه با این ماده مواجهه دارند .
- ریسک‌هایی که احتمالاً به زودی رخ می‌دهند.
- توان بالقوه ایجاد بیماری‌های مزمن بواسطه تکرار مواجهه با مواد (برای مثال کارگران).
- ریسک‌هایی که می‌توانند در اسرع وقت مدنظر قرار گیرند.

مهم‌ترین این موارد، میزان جدیت ریسک است. درصورتی که یک ریسک جدی باشد، باید بلافاصله مورد بررسی قرار گیرد. ریسک‌هایی که چندان جدی نیستند، نباید بدلیل آن که برخورد با آن ساده‌تر است یا ممکن است سریع‌تر رخ دهد، از اولویت بالاتری برخوردار شوند.

۹-۵ مستند سازی و بازنگری

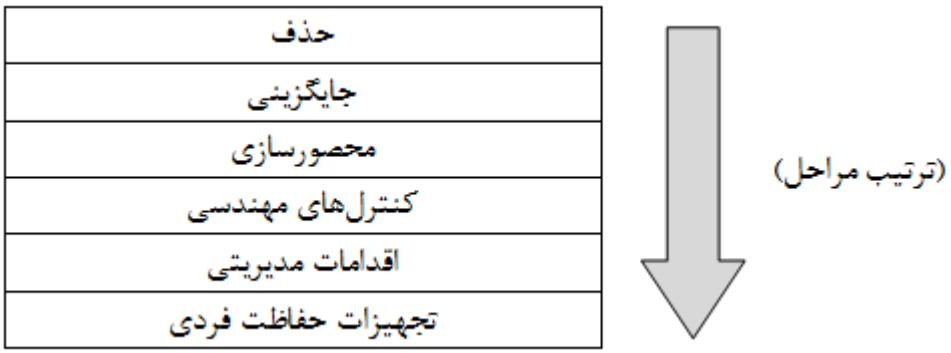
یافته‌های ارزیابی ریسک باید بلافاصله پس از ارزیابی ریسک، یا در اولین فرصت پس از آن ثبت شود. در برخی موارد، همه یافته‌ها یک زمان بدست نمی‌آیند. برخی ممکن است پیش از حل شدن مسئله، به اطلاعات دیگری نیاز داشته باشند. مانند زمانی‌که لازم باشد یک عملیات آزمایشی قبل از ارزیابی جامع بصورت مقطعی اجرا شود و یا مواردی که باید منتظر نتایج پایش هوا بود. در این موارد، ثبت یافته‌های مهم باید پس از فراهم شدن اطلاعات، کامل و به روز رسانی شود.

وقتی اطلاعات مربوط به ریسک‌های NOAAs بدست آمد ، باید توجه داشت که این اطلاعات مربوط به زمان بررسی بوده و احتمال دارد با گذشت زمان، اطلاعات جدیدی حاصل شود. بنابراین لازم است حداقل سالی یکبار ارزیابی‌ها بازنگری شوند تا از به‌روز بودن داده‌ها و اطلاعات اطمینان بعمل آید.

۱۰ کنترل ریسک

۱۰-۱ سلسله مراتب کنترل

مواجهه با ماده مخاطره‌آمیز باید از طریق جایگزینی آن با ماده کم خطرتر یا فرآیند مخاطره‌آمیز با فرآیند ایمن‌تر (در صورت وجود) پیشگیری کرد. از آنجاکه جایگزینی همیشه ممکن نیست، مواجهه باید از طریق استفاده از اقدامات محافظتی متناسب با فعالیت‌ها و در راستای اولویت‌بندی‌های مشخص شده در شکل۲، که سلسله مراتب کنترل را شرح می‌دهد، کنترل شود.



شکل ۲- سلسله مراتب کنترل

۱۰-۲ کنترل مواجهه

درصورتی که نتوان از مواجهه پیشگیری کرد، توصیه می‌شود، آن را به میزان کافی کنترل کرد. سلسله مراتب اقدامات کنترلی که برای ریسک‌های استنشاقی و پوستی کاربرد دارند، عبارتند از:

الف- حذف

اجتناب از استفاده ماده مخاطره‌آمیز یا فرآیندهایی که باعث مواجهه با این مواد می‌شوند. درصورتی که نانوماده بخاطر ویژگی‌های خاصش انتخاب شده باشد، احتمال حذف آن وجود ندارد. هرچند باید توجه داشت که آیا خواص بهبود یافته نانوماده سبب افزایش ریسک‌های آن از جمله انتشار به محیط می‌شود.

ب - جایگزینی/ اصلاح

جایگزینی نانوماده یا فرآیند با ماده یا فرآیندی با ریسک کمتر یکی دیگر از اقدامات کنترلی ریسک‌های سلامت، ایمنی و محیط زیست است. اگرچه احتمال دارد این امکان وجود نداشته باشد که بتوان بدون تاثیر بر ویژگی‌های نهایی مورد نظر، نسبت به جایگزینی ماده یا اصلاح آن اقدام نمود. با این حال ممکن است بتوان احتمال مواجهه را (به عنوان مثال بوسیله پیوند[1] نانوماده پودری در محیط مایع یا جامد) کاهش داد. درصورتی که از لحاظ فنی امکان‌پذیر باشد، به جای مواد پودری، مواد به صورت پخش در مایع[2]، خمیری و یا پلتی استفاده شوند.

پ-محصورسازی/ ایزولاسیون

تمام عملیاتی که در آن احتمال انتشار تصادفی یا عمدی NOAAs به هوا وجود دارد، باید در تاسیسات محصور یا در جایی که کارکنان از فرآیند جدا می‌شوند (مانند یک کابین)، انجام گیرد. این عملیات شامل تولید نانوماده فازگازی و اسپری خشک‌کن است. توصیه می‌شود تمام فرآیندهای دیگری که از نانومواد خشک استفاده می‌کنند، درصورت امکان در اتاقک‌های محصور انجام شوند.

ت- کنترل‌های مهندسی

تمام فرآیندهایی که در آن احتمال تشکیل گردوغبار وجود دارد، باید به سامانه تهویه مکشی مجهز باشند. انواع مختلفی از سامانه‌های تهویه مانند هودهای شیمیایی[3] و مکنده‌های گرد وغبار موجود هستند. انتخاب شیوه کنترلی مناسب به سطح ریسک بستگی دارد. تعمیر و نگهداری معمول و آزمون عملکرد این تجهیزات باید انجام گیرد. هوای خروجی نباید بدون عملیات پالایش مجدداً وارد محیط کار شود. ممکن است تهویه عمومی نیز مناسب باشد. مواجهه پوستی را می توان از طریق مهندسی مجدد فرآیند کار به‌منظورجلوگیری از پاشش یا غوطه ور شدن کاهش داد.

ث- اقدامات مدیریتی

1-Binding
2-Dispersions
3- Fume hoods

اقدامات کنترل مدیریتی باید با کنترل‌های مهندسی همراه باشد، هرچند ممکن است ارزیابی ریسک نشان دهد که کنترل‌های مدیریتی در برخی از شرایط به تنهایی کافی هستند. این اقدامات شامل کاهش تعداد کارکنان در معرض یا زمان کار در فرآیند مورد نظر، محدود کردن انجام فرآیند در نواحی خاص و عدم مجوز حضور افراد غیرمجاز به این نواحی می‌باشد. کارکنان فرآیندهای فوق باید از مخاطرات خاص نانوذرات، نیاز به اقدامات خاص و تاثیرات بالقوه مواجهه بر سلامتی اطلاع داشته باشند. لازم است اطلاعات مربوطه در دستورالعمل‌های اجرایی نیز گنجانده شوند. درصورت نیاز، باید پالایش‌های معمول و نظارت‌های پزشکی مدنظر قرار گیرد. توصیه‌هایی در مورد استفاده از مراقبت‌های پزشکی برای کارگرانی که در معرض NOAAs هستند، توسط NIOSH منتشر شده است. بهتر است موضوع تمیزی پوشش کارکنان توسط کارفرما کنترل شود و این پوشش جدای از لباس‌های شخصی آنان نگهداری شود. توصیه می‌شود پاک سازی محیط کار به‌صورت منظم و همزمان با برنامه‌های کنترل ریسک انجام شود.

ج- تجهیزات حفاظت فردی

حفاظت فردی، گزینه آخر یا گزینه مکمل دیگر روش‌های کنترل مواجهه می باشد:

۱- محافظت از مواجهه استنشاقی- ماسک‌های تایید شده می توانند سطح حفاظتی مناسبی را در برابر NOAAs تامین کنند. این وسایل می‌توانند یک رکن مهم راهبرد کنترلی محسوب شوند، زمانی که کنترل انتشار در منبع عملی نیست .اطلاعات لازم در مورد انتخاب و استفاده از ماسک‌های تنفسی را می‌توان در مستندات و راهنماهای مختلف، به‌عنوان مثال طبقه‌بندی بین‌المللی استانداردها[1](ICS 13.340) یافت. تجهیزات حفاظت فردی شامل ماسک‌های دهانی یکبار مصرف، ماسک‌های صورت نیمه و کامل و انواع مختلفی از سامانه‌های تامین هوا، کلاه‌های ایمنی، بلوزها و لباس‌ها هستند. افرادی که از ماسک‌های صورت نیمه و کامل استفاده می‌کنند، بهتراست برای تضمین متناسب بودن دقیق ماسک با صورت و جلوگیری از نشتی هوای آلوده به داخل ماسک، آزمون شوند. وسایل حفاظت فردی مخصوصاً تجهیزات حفاظت تنفسی، مستلزم سرمایه‌گذاری قابل توجه در بخش آموزش، نظارت و نگهداری می‌باشند، تا از این طریق محافظت کافی را ایجاد کنند. انتخاب نادرست و عدم تناسب آن با صورت و یا استفاده ناکافی می‌تواند استفاده از آن را بی‌تاثیر کند.

۲- محافظت از مواجهه پوستی- ممکن است نتایج ارزیابی ریسک، بیانگر نیاز به دستکش‌های حفاظتی، عینک‌های حفاظتی با محافظ‌های جانبی و لباس حفاظتی باشد.

1- International Classification for Standards

در مطالعه‌ای دیده شد که در تعداد زیادی از دستکش‌های مورد آزمون، هیچ نوع نانوذره‌ای به پوست نفوذ نکرده است (به مرجع ۱۹ در پیوست ب مراجعه شود). اما این دستکش‌ها نسبت به هلیم نفوذپذیر بوده و نفوذپذیری آنها بسته به نوع دستکش متفاوت است. برنامه ایمنی اتحادیه اروپا (نانوایمن دو[1]) اشاره می‌کند که این نتایج اطلاعاتی را در مورد کارایی دستکش‌ها در پیشگیری از نفوذ نانوذرات ارائه نمی‌دهد و استفاده از دستکش دو لایه را توصیه می‌کند. تعدادی از نشریه‌های دیگر نیز اعلام می‌دارند که ممکن است استفاده از دو لایه دستکش مفید باشد .در رابطه با لباس حفاظتی، در مطالعه مذکور چنین گزارش شده است که ''برای لباس‌های حفاظتی، به نظر می‌رسد پارچه‌های غیرقابل نفوذ نسبت به هوا که از پارچه‌های بافته نشده تهیه شده‌اند برای حفاظت کارگران در مقابل نانوذرات نسبت به لباس‌های کتان موثرتر باشند. هرچند پوشیدن این نوع لباس‌های حفاظتی راحتی کمتری دارد''(به مرجع ۱۹ در پیوست ب مراجعه شود).

انتخاب ساده دستکش‌ها صرفاً بر اساس داده‌های منتشر شده توسط تولیدکنندگان دستکش، برای تضمین محافظت آنها کافی نیست. چهار معیار اصلی برای انتخاب دستکش‌های حفاظتی وجود دارد: دستکش‌ها باید برای ریسک‌ها و شرایطی که از آن استفاده می شود، مناسب باشند، باید متناسب با الزامات ارگونومیکی و وضعیت سلامت فرد باشند، باید دقیقاً با ابعاد دست فرد مورد نظر متناسب بوده و بدون افزایش ریسک کلی، از مواجهه پیشگیری نمایند. دستکش‌ها بشرط داشتن معیارهای فوق و نگهداری صحیح تایید می‌شوند.

مدیریت دستکش، بر عواملی که باید درنظر گرفته شود، تاکید کرده، و مواردی نظیر چگونگی ارتباط این عوامل با یکدیگر و زمان بازنگری را به‌منظور تامین حفاظت کافی شرح می‌دهد. در مطالعه دیگری بر چند رکن اصلی که بهتر است در مدیریت دستکش موردتوجه قرار گیرد، شامل ارزیابی وظایف/سناریوی مواجهه، انتخاب جنس ماده دستکش، اصول ارگونومیک، آموزش(مدیر و نیروی کار)، پایش مدیریت، ذخیره و انبارش، تعمیر و نگهداری و دفع تاکید دارد (به مرجع ۲۲ در پیوست ب مراجعه شود).

۱۰-۳ انتخاب روش‌های کنترل

۱۰-۳-۱ کلیات

به‌طور کلی، هدف از بکارگیری اقدامات کنترلی، اطمینان از آن است که مواجهه افراد در پایین‌ترین حد ممکن نگه‌داشته شود. به‌طور کلی، روش‌های ذکر شده در مراحل بالایی سلسله مراتب کنترل (شکل ۲) توصیه می‌شود، به‌شرطی که از لحاظ فنی و اقتصادی عملی باشند. هرچند این امر مستلزم ایجاد تعادل بین سطح اقدام کنترلی

1 -Nanosafe 2

مورد نیاز برای فراهم آوردن محیط کاری ایمن و کارایی اقدامات کنترلی است. ارزیابی ریسک باید به تصمیم‌گیری در مورد انتخاب روش کنترلی مناسب، بررسی ضرورت، قابلیت اجرا و هزینه آن کمک نماید. در تمام موارد، توجه شود انتخاب روش کنترلی حداقل براساس مقررات ملی بوده و درصورت نیاز کنترل‌های مکمل، اضافه شود.

علاوه براین، ارائه توصیه‌های خاص در مورد روش‌های کنترل در موقعیت‌های خاص مواجهه، دشوار است. هرچند استفاده از روش‌های مختلف معمول، ممکن است مفید باشند.

۱۰-۳-۲ کنترل بر اساس مخاطره

مبنای این رویکرد، تخصیص روش‌های کنترل بر اساس دانش یا فرضیاتی در مورد ماهیت مخاطره‌آمیز مواد مورد استفاده است. به‌عنوان مثال این رویکرد توسط هیئت اجرایی بهداشت و ایمنی[1]انگلیس(۲۰۰۶) در سند راهنمای خود در مورد مدیریت ریسک نانولوله‌های کربنی استفاده شده است (به مرجع ۲۳ در پیوست ب مراجعه شود). در این سند، آنها اعلام می‌دارند که همه انواع CNTs به عنوان مواد نگران‌کننده بوده و باید رویکردی احتیاطی برای مدیریت ریسک آنها در نظر گرفته شود. هیئت اجرایی بهداشت و ایمنی انگلیس اعلام می‌دارد که اگر نتوان از کاربرد CNTs اجتناب کرد، لازم است کنترل سخت‌گیرانه‌ای در این خصوص مدنظر گرفته شود. این مورد شامل توصیه‌هایی برای کنترل مواجهه در منبع از طریق انجام تمام وظایف شامل بسته‌بندی مواد دفعی در زیر هودهای قفسه ای فیوم متصل به کانال[2] و مجهز به فیلتر هپا، یا استفاده از دیگر روش‌های تهویه موضعی موثر مجهز به فیلتر هپا می‌باشد. در زمان استفاده از سایر انواع LEV، سعی شود فرآیند تا حدامکان محصور شود. رویکرد مشابهی در ایالات متحده آمریکا در سند NIOSH (۲۰۰۹) تحت عنوان "رویکردهای مدیریت ایمنی و بهداشت فناوری نانو مرتبط با نانومواد مهندسی شده" استفاده می‌شود (به مرجع ۲۴ در پیوست ب مراجعه شود).

۱۰-۳-۳ دسته بندی اقدامات کنترلی

دسته بندی اقدامات کنترلی(CB[3]) رویکردی است که توسط آن روش‌های کنترل بر اساس دانش و فرضیه‌هایی در مورد ماهیت مخاطره‌آمیز مواد مورد استفاده و پتانسیل مواجهه با آنها انتخاب می‌شوند. اغلب CB در

1-Health and Safety Executive (HSE)
2-Ducted fume cupboard
3- Control Banding

راهنمای مدیریت ریسک سایر ذرات و دیگر مواد شیمیایی استفاده می شود. روشCB بر پایه ماتریسی بنا شده که در آن رویکردهای مختلف کنترل بر اساس دو محور مواجهه و مخاطره مشخص شده است. بنابراین CB مستلزم آن است که کاربر اطلاعاتی در مورد مخاطره نسبی ماده مورد استفاده و یا احتمال مواجهه با مواد و آن موقعیت داشته یا بدست آورده باشد.

در مطالعه‌ای ابزاری برای دسته‌بندی روش‌های کنترل NOAAs به‌صورت آزمایشی شرح داده شده است (به مرجع ۲۵ در پیوست ب مراجعه شود). استاندارد ISO/TS 12901-2 ابزار ویژه‌ای مبتنی بر دسته‌بندی اقدامات کنترلی، برای پشتیبانی بیشتر از اجرای عملیات مناسب در این زمینه شرح می‌دهد.

۱۰-۳-۴ رویکردهای موجود

تعداد محدودی از مطالعات منتشر شده‌اند که کاربرد و اثربخشی رویکردهای کنترلی مختلف برای سناریوهای مختلف مواجهه را شرح می‌دهند. در حالیکه این مطالعات رویکردهای احتمالی استفاده از روش‌های نوین را ارزیابی می‌کنند، به‌طوراختصاصی بهینه نشده و قطعی نیستند. برای سناریوهای شرح داده شده، این مطالعات به ارزیابی رویکردهای فعلی کنترل می‌پردازند. مطالعات منتشر شده در پیوست الف-۱ فهرست شده‌اند.

در حالیکه رویکردهای کنترلی به‌طورکلی موثر به نظر می‌رسند، مدارکی وجود دارد که نشان‌دهنده پتانسیل انتشار ذرات به هوای محیط کار علی‌رغم استفاده از رویکردهای کنترلی است. بنابراین در صورت استفاده از تمام اقدامات کنترلی باید در حدامکان نسبت به سنجش میزان مواجهه یا سنجش میزان انتشار ذرات اقدام نمود.

۱۰-۳-۵ ارزیابی اثربخشی و کارایی اقدامات کنترلی

توصیه می‌شود اثربخشی و کارایی اقدامات کنترلی ارزیابی شود. روش‌های سنجشی که می‌توانند برای انجام این نوع ارزیابی استفاده شوند، در بند ۱۰ ارائه شده است. کاربرد اقدامات کنترلی به عنوان بخشی از رویکرد پیشگیرانه، هنگامی که اطلاعات مخاطرات قابل دسترس نیست یا زمانی که اطلاعات محدودی در این مورد وجود دارد، مواجهه نیروی کار را تا پایین ترین حد امکان تضمین می‌کند. مجموعه اطلاعات مواجهه همراه با اجرای اقدامات کنترلی ، امکان اثبات و مستند سازی کنترل موثر را تامین می‌کند. روش‌های سنجش مواجهه و انتشار مواد در بند ۱۱ ارائه گردیده است. قضاوت در مورد اثر بخشی اقدامات کنترلی می‌تواند به واسطه مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با موارد زیر اتخاذ شود :

- حد آستانه مجاز مواجهه در سطح ملی و متداول
- حدود مجاز ملی و بین المللی پیشنهاد شده مخصوصاً برای انواع NOAAs

- سایر حدود مجاز مواجهه محلی، با در نظر گرفتن حاشیه‌های ایمنی پیشنهاد شده که تفاوت‌های شناخته‌شده و فرضی سمیت NOAAs را در مقایسه با سمیت همان ماده در اندازه‌های بزرگتر مد نظر قرار دهد.

مثالی که برای آن، حدود آستانه مجاز ویژه NOAAs وجود دارد و از اشکال بزرگتر همان ماده متمایز شده است، دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) است (برای بعضی نانومواد نیز که به شکل انبوهه و کلوخه هستند مثل کربن سیاه و دمه سیلیکا، حد آستانه مجاز وجود دارد). در بند الف-۲ ملاحظات کلی در مورد چگونگی ایجادحدود آستانه مجاز ویژه NOAAs مبتنی بر اندازه ماده شرح داده شده است. مثال این روش در بند الف-۳ ارائه گردیده که ایجاد حد آستانه مجاز را برای TiO_2 شرح می‌دهد. در بند الف-۴ مجموعه‌ای از میزان حدود مجاز مواجهه شرح داده شده است.

۱۰-۳-۶ اطلاعات، دستورالعمل و آموزش

برای حصول اطمینان از اینکه تمام اقدامات کنترل صحیح بوده و بطور کامل به‌کارگرفته شده‌اند، نیاز به انجام مراحل مقدماتی است. تخصیص شفاف مسئولیت‌های مدیریتی به‌طور اخص در این زمینه حائز اهمیت است. مراحل مقدماتی شامل آموزش و بازآموزی آن دسته از افرادی است که باید از رویه‌ها و اقدامات کنترلی برای تضمین عملکرد مورد انتظار آنها بهره‌گیرند.

بهتر است اطلاعات، دستورالعمل‌ها و آموزش مورد نیاز برای تضمین ایمنی افرادی که درگیر این امر هستند یا ممکن است متاثر از آن باشند، تامین شود. آگاهی و مشارکت دادن کارکنان در فرآیند ارزیابی ریسک ضروری است. بدون مشارکت آگاهانه و شایسته آنها، این احتمال وجود دارد که اقدامات مدیریت ریسک به‌عنوان امری ضروری در فرآیند ارزیابی ریسک، کاملاً موثر نباشند. بنابراین ضروری است که کارکنان حداقل در خصوص موارد ذیل اطلاعاتی داشته باشند:

- اسامی موادی که با آنها مواجهه دارند و ریسک‌های بهداشتی که ایجاد می نمایند؛
- هر نوع حد آستانه مجاز مرتبط یا حدود مجاز محلی که برای مواد استفاده می‌شود؛
- اطلاعات برگه ایمنی آن مواد؛
- یافته‌های قابل توجه حاصل از فرآیند ارزیابی ریسک؛
- احتیاط‌هایی که آنها باید برای محافظت خود و همکارانشان در نظر بگیرند؛
- نتایج پایش‌های مواجهه، مخصوصاً در صورتی که میزان آنها از حدود مجاز فراتر رود؛
- نتایج جامع مراقبت‌های سلامتی (به بند ۱۱ مراجعه شود).

۱۱ روش‌های سنجش برای ارزیابی اقدامات کنترلی

۱۱-۱ نیاز به سنجش

بند ۱۰ بر ارزیابی NOAAs هوابرد متمرکز است. نمونه برداری و اندازه‌گیری اغلب برای درک میزان مواجهه و تعیین ریسک در شرایط عملیاتی کارگاه مورد نیاز است. اندازه‌گیری‌ها می‌توانند جهت حمایت از انجام فعالیت‌های مختلف مانند موارد ذیل استفاده شوند:

الف- شناسایی منابع انتشار نانومواد.

ب- ارزیابی اثربخشی و کارایی هر یک از اقدامات کنترلی انجام شده.

پ- اطمینان از رعایت تراکم هر یک از مواد مورد بررسی بر اساس حدود مجاز مواجهه یا استانداردهای محلی.

ت- شناسایی نواقص یا خرابی‌های احتمالی هر یک از روش‌های کنترلی که می‌تواند باعث تاثیر جدی بر سلامتی شود.

هریک از این وظایف نیازمند وسایل خاص و اغلب متفاوت است. دامنه‌ای از وسایل در دسترس هستند (به بند ۱۰-۲ مراجعه شود). در محیط کار، NOAAs هوابرد ترکیبی از ذرات اولیه، کلوخه (عمدتاً) و انبوهه هستند. نیاز به کشف و اندازه گیری تمام این اشکال، عامل مهمی در تعیین راهبرد مناسب نمونه‌برداری محسوب می شود (به بند ۱۰-۳ مراجعه شود). اطلاعات بیشتر در مورد این وسایل و اندازه گیری ذره در ISO/TR 27628 ارائه شده است.

۱۱-۲ انتخاب تجهیزات و وسایل

وسایل بسیاری در دسترس هستند که می‌توانند برای اندازه‌گیری NOAAs هوابرد استفاده شوند. وسایل جدیدی نیز توسعه یافته‌اند. خلاصه‌ای از تجهیزات و روش‌های موجود برای اندازه‌گیری مستقیم تعداد، جرم و مساحت سطح در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ - وسایل سنجش مستقیم تعداد، جرم و مساحت سطحی (برگرفته شده از ISO/TR 27628)

سنجه	تجهیزات	ملاحظات
تراکم عددی ذرات	شمارشگر ذرات متراکم شده (CPC)	دستگاه CPC تراکم عددی ذرات را بر حسب اندازه آنها بصورت مستقیم (قرائت مستقیم) ارائه می‌کند. در این وسیله بخارات متراکم شده و به‌صورت ذره نمونه‌برداری شده و سپس این ذرات تشخیص و شمارش می‌شوند. معمولاً ذراتی را در ردیف ۱۰۰۰-۱۰ نانومتر شمارش می‌کند.
	وسیله سنجش اندازه ذرات بر اساس اختلاف تحرک آنها (DMPS)	در این وسیله تراکم عددی ذرات در اندازه‌های مختلف سنجش و ارائه می‌شود.
	میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری (SEM and TEM)	تجزیه و تحلیل نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی، اطلاعاتی را در مورد تراکم عددی ذرات در اندازه‌های مختلف آن ارائه می‌دهد.
تراکم جرمی ذرات	نمونه‌بردار استاتیک بر حسب اندازه ذره (اندازه انتخابی)*	سنجش جرم نانواشیاء با استفاده از یک نمونه‌بردار فردی انجام می‌شود که بر حسب اندازه (اندازه انتخابی) با نقطه برش تقریبی ۱۰۰ نانومتر عمل می‌کند و سپس نمونه‌ها به روش وزنی (گراویمتری) یا شیمیایی تجزیه می‌شوند. هرچند در حال حاضر نوع تجاری این وسایل وجود ندارد، برخی از انواع کاسکید ایمپکتورها (نوع بنر** با فشار پایین یا ایمپکتورهای میکرواوریفیس) که ذرات حدود ۱۰۰ نانومتر را جمع‌آوری می‌کند، برای این منظور مناسب است.
	TEOM	پایشگرهای قرائت مستقیم حساس نظیر TEOM را می‌توان برای تعیین تراکم جرمی نانوهواسل‌ها (نانوآئروسل) بصورت برخط (آنلاین) استفاده نمود . در این پایشگر ورودی بر اساس اندازه مورد نظر انتخاب می‌شود.
مساحت سطحی ذرات	شارژر دیفیوژن***	اندازه‌گیری قرائت مستقیم مساحت سطح فعال هواسل‌ها را انجام می‌دهد: توجه داشته باشید مساحت سطح فعال ذرات بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر با مساحت سطح هندسی سنجش نمی‌شود. البته تمامی شارژهای دیفیوژن تجاری نمی‌توانند مساحت سطح ذرات کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر را سنجش کنند. شارژهای دیفیوژن تنها مخصوص نوع ویژه‌ای از نانواشیاء است، البته درصورتی که دارای ورودی مناسب مجهز به پیش جداکننده باشد.
	ایمپکتور الکترواستاتیک با فشار پایین (ELPI)	وسایل قرائت مستقیم تعیین تراکم برحسب مساحت رویه ذرات بر اساس اندازه ذرات عمل می‌کنند (قطر آئرودینامیکی)، توجه داشته باشید که مساحت رویه فعال نمی‌تواند در مورد ذرات بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر مستقیماً با مساحت رویه هندسی سنجش شود.
	میکروسکوپ SEM,TEM	تجزیه برون خط (آفلاین) نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نمی‌تواند اطلاعاتی را در مورد مساحت سطح بر حسب اندازه ذرات ارائه کند. تجزیه با استفاده از TEM اطلاعات مستقیمی را در مورد تصویر

		مساحت ذرات جمع‌آوری شده که در رابطه با مساحت هندسی برخی از اشکال ذرات است، ارائه می‌دهد.

*Size Selective Static Sampler
**Bener-Type
***Diffusion Charger

وسایل و روش‌های فهرست شده در جدول ۱ اطلاعاتی را در مورد اندازه ذره‌ای که قرار است تولید شود، ارائه می‌دهند. جدول ۲ روش‌هایی را برای تخمین غیر مستقیم تراکم عددی، جرم و مساحت سطحی فراهم می‌سازد، با این فرض که بین روش‌های فوق ارتباط وجود دارد.

جدول ۲- وسایل سنجش غیر مستقیم تراکم عددی، جرم و مساحت سطحی (برگرفته شده از ISO/TR 27628)

سنجه	تجهیزات	ملاحظات
تراکم عددی محاسبه شده ذرات	ELPI	دستگاه سنجش قرائت مستقیم تراکم ذرات از طریق مساحت سطح فعال بر حسب اندازه ذره (قطر آئرودینامیکی) ، توزیع اندازه ذرات را ارائه می‌کند. داده ها ممکن است پردازش شده و به‌صورت تراکم عددی نمایش داده شوند. نمونه‌های فوق ممکن است به روش‌های دیگری نیز به طور غیر مستقیم مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند.
تراکم جرمی محاسبه شده ذرات	ELPI	دستگاه سنجش قرائت مستقیم تراکم ذرات از طریق مساحت سطح فعال بر حسب اندازه ذره (قطر آئرودینامیکی)، توزیع اندازه ذرات را ارائه می کند. تراکم جرمی هواسل‌ها صرفاً در صورتیکه شارژ و چگالی ذرات مشخص بوده یا فرض می‌شود، قابل محاسبه است. نمونه‌های فوق ممکن است به روش‌های دیگری نیز به طور غیر مستقیم مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند.
	DMPS	تشخیص تراکم عددی ذرات بصورت قرائت مستقیم و برحسب اندازه (قطر تحرک پذیری) و توزیع اندازه ذرات را ارائه می‌کند. تراکم جرمی ذرات در صورتیکه شکل و چگالی ذرات مشخص بوده یا فرض شود، قابل محاسبه می باشد.
مساحت سطح محاسبه شده ذرات	DMPS	تشخیص تراکم عددی ذرات بصورت قرائت مستقیم و برحسب اندازه (قطر تحرک پذیری) و توزیع اندازه ذرات را ارائه می کند. تراکم جرمی ذرات در صورتیکه شکل و چگالی ذرات مشخص بوده یا فرض شود، قابل محاسبه می باشد.
	استفاده همزمان ELPI و DMPS	از اختلاف در مقادیر اندازه‌گیری شده می‌توان قطر آئرودینامیکی و تحرک پذیری، برای پی‌بردن به ابعاد جزئی‌تر استفاده نمود. سپس از این ابعاد برای تخمین مساحت سطح استفاده می شود.

این جدول نشان‌دهنده اکثر وسایل اندازه‌گیری موجود می باشد. وسایل جدید دائماً در حال توسعه هستند اما اغلب تجربه استفاده از آنها کم است.

۳-۱۱ راهبرد نمونه برداری

در حال حاضر، روش نمونه‌برداری واحدی وجود ندارد که بتواند جهت تعیین میزان مواجهه برای تمام شکل‌های نانومواد بکار رود. بنابراین، تلاش‌ها برای تعیین میزان مواجهه با NOAAs در محیط کار معمولاً شامل روش چندوجهی (بکارگیری بیش از یک روش نمونه برداری اشاره شده در بالا) می باشد. هرچند روش‌های جدید نمونه برداری برای ارزیابی میزان انتشار NOAAs در محیط‌های کاری در حال توسعه هستند، این روند معمولاً فرآیند تدریجی است که شامل ارزیابی اولیه تراکم عددی ذرات با استفاده از ابزار ساده‌ای مانند CPC (همراه با یک OPC برای وقتی که شکل‌های بزرگتر کلوخه NOAAs وجود دارد) می‌باشد. مشخص کردن میزان انتشار می‌تواند برای در نظر گرفتن مجدد اقدامات کنترلی و اتخاذ روش‌های کنترل مهندسی موثرتر کافی باشد.

در صورتی که میزان انتشار احتمالی شناسایی شوند، بدنبال آن مشخصه‌های جامع تری از انتشار ذرات صورت می‌گیرد. این کار می‌تواند به اشکال مختلفی انجام شود. روشNEAT[1] پیشنهاد می‌کند که نمونه جمع‌آوری شده بر روی فیلتر توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و اسپکتروفتومتری پراش اشعه X (TEM- EDX) برای بررسی توزیع اندازه و ترکیب شیمیایی مواد تجزیه و تحلیل گردد (به مرجع ۲۸ در پیوست ب مراجعه شود). میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) با پراش اشعه X(EDX) و سایر روش‌های تجزیه شیمیایی مانند اسپکترومتری جرمی توسط پلاسمای جفت شده القایی (ICPMS[2]) نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. این امر در تعیین این نکته که آیا مواد شناسایی شده به منبع تولید مربوط هستند، مفید است. سایر روش‌های تجزیه شیمیایی به شرطی مورد استفاده قرار می‌گیرند که حساسیت کافی برای تضمین اندازه گیری‌های مواجهه داشته باشند (به بند ۴-۱۰ مراجعه شود).

به‌عنوان روش جایگزین (یا همزمان) مخصوصاً در صورتی که هیچ گونه دسترسی به TEM وجود نداشته باشد، عمده اطلاعات در زمینه تراکم ذرات بر اساس توزیع اندازه، تعداد، جرم و مساحت سطحی با استفاده از ابزارهای شرح داده شده در بالا گردآوری می‌شود.

روش‌های بالا تنها اطلاعاتی را در مورد انتشار نانومواد ارائه می‌دهند. در صورتی که سنجش مواجهه با NOAAs خاص مد نظر باشد، باید نمونه برداری‌های فردی با استفاده از فیلترها یا شبکه‌های[3] مناسب برای تجزیه توسط

1- Nanoparticle Emission Assessment Technique
2- Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
3- Grids

میکروسکوپ الکترونی یا روش‌های شناسایی شیمیایی صورت گیرد. میکروسکوپ الکترونی با EDX می‌تواند برای شناسایی ذرات استفاده شده و تخمینی از توزیع اندازه ذره مورد نظر را ارائه دهد. استفاده از کاسکید ایمپکتورهای فردی یا نمونه بردار سیکلونی قابل استنشاق مجهز به فیلتر ، علیرغم محدودیت، به حذف ذرات درشت‌تر از هوا کمک می‌کند و امکان تعیین قطعی‌تر اندازه ذره را فراهم می‌سازند. تجزیه این فیلترها برای آلاینده‌های مورد نظر هوا می‌تواند به شناسایی منبع ذرات قابل استنشاق کمک کند. روش‌های استاندارد تجزیه شیمیایی، شامل تجزیه وزنی، باید مورد استفاده قرار گیرند. با استفاده توام این روش‌ها می توان میزان مواجهه کارگران با NOAAs را ارزیابی کرد. این رویکرد اجازه می‌دهد حضور NOAAs و هویت آنها و همچنین خصوصیات مهم هواسل‌ها مد نظر، تعیین شود.

۴-۱۱ محدودیت

اندازه‌گیری تراکم عددی ذره به تنهایی می‌تواند گمراه کننده باشد. در تمام اندازه گیری‌های تراکم عددی ذره، مجموعه محدودیت‌های تجهیزات مورد استفاده در درک نتایج گزارش شده حائز اهمیت می‌باشد. تجهیزاتCPC برای سنجش ذرات کوچکتر از ۲۰ نانومتر حساسیت لازم را ندارند. تراکم های اندازه‌گیری شده با ابزارهایی که دارای حساسیت‌های متفاوت هستند، می‌توانند اساساً متفاوت باشند، به‌ویژه اگر قطر میانه شمارش ذره[1] نزدیک به این دامنه بوده یا در این دامنه قرار داشته باشد. در این مورد، ابزارها به‌طورقابل توجهی تراکم عددی هواسل نانومواد را پایین تر از مقدار واقعی تخمین می‌زنند.

پیچیدگی بیشتر مربوط به ذرات هوابرد محیطی یا زمینه می شوند و در واقع ابزارهای قرائت مستقیم باید بین انتشار ذرات از وظیفه شغلی یا فرآیند کاری و زمینه را تشخیص دهند. مگر اینکه محیط کار تحت شرایط یک اتاق تمیز[2](پاک) عمل کند. ذرات هوابرد از منابع خارجی وارد محیط کار شده و به میزان NOAAs حاصل از فرآیند کار می‌افزاید که باید در نظر گرفته شود، درغیراین صورت این امر می‌تواند منجر به تخمین بیش از مقدار واقعی NOAAs منتشر شده از فرآیند تحت بررسی گردد. سایر نانوذرات که ممکن است در مجاورت وظیفه شغلی یا فرآیند کاری تولید شوند، به‌عنوان مثال از هیترها یا از موتورهای الکتریکی، نیز می‌توانند سبب تخمین بیش از مقدار واقعی شوند. یک راه فائق آمدن به این مشکل، تعیین تراکم ذرات زمینه یا محیط پیش از شروع تولید یا پردازش NOAAs است. روش دیگر، اندازه‌گیری همزمان در میدان نزدیک[3](در مجاورت وظیفه/ فرآیند) و میدان دور[4](دوراز وظیفه شغلی یا فرآیند کاری) است. میدان دور باید بیانگر زمینه مجاور به میدان نزدیک

1- Particle Count Median Diameter
2- Clean Room
3- Near Field
4- Far Field

باشد. در برخی موارد، میدان دور، خارج از کارگاه قرار می‌گیرد. مقادیر میدان دور از مقادیر میدان نزدیک کم می‌شود تا امکان تخمین سهم آلودگی وظیفه شغلی یا فرآیند کاری تولید فراهم شود. در این روش فرض می‌شود که ذرات میدان دور دارای اندازه‌های مشابه با ذرات میدان نزدیک هستند که ممکن است همیشه این موضوع صادق نباشد. روش دیگر، استفاده از تفاوت‌ها در ترکیب بین NOAAs تولید شده در محیط کار و هواسل زمینه برای اهداف تشخیصی است.

نمونه برداری نانوذرات هوابرد به روش فیلتراسیون، جرم بسیار کمی از ذرات را جمع‌آوری می‌کند (کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم) و خطاهای متعدی در رابطه با تجزیه وزنی چنین نمونه‌هایی با جرم کم را به همراه دارد. خطاهای حاصل از الکتریسیته ساکن، ارتعاش و آلودگی ذرات باید حذف شوند و فیلترها باید تحت پروتکل‌های سختگیرانه کنترل اثرات دما و رطوبت آماده سازی و وزن شوند. برای فیلترهایی که بارگیری بسیار کمی داشته‌اند (به عنوان مثال کمتر از ۰/۰۵ میلی‌گرم)، اصلاحات مربوط به تغییر چگالی هوا (شناخته‌شده به عنوان اصلاحات شناوری) توصیه می‌شود.

در مورد فیلترهای با میزان بارگیری کم، لازم است ICP-MS با حساسیت بالا(در مقایسه با طیف سنج نشرنوری[1]) برای اطمینان از رعایت حد تشخیص کمی استفاده شود. شایان ذکر است که لازم است برای جلوگیری از آلوده شدن نمونه‌های فیلتر با ذرات یا فلزات به هنگام گذاشتن و خارج کردن قاب فیلتر در سرتاسر مراحل تجزیه و تحلیل، احتیاط‌های لازم به عمل آید. در مورد فیلترهای بارگذاری شده سبک، سهم فلزات از آلودگی‌های غیرعمدی ممکن است بیش از سهم ذراتی باشد که نمونه برداری شده‌اند. مثال‌هایی از این احتیاط‌ها شامل استفاده از دستکش‌های نیتریل هنگام جابه جایی فیلترها و گذاشتن و خارج کردن آنها از قاب‌ها در زیر هود با جریان پاک وتک سویه (لامینار[2]) می‌باشد.

۱۲ مراقبت های سلامتی

در بیشتر قوانین حقوقی، معیار اولیه مراقبت‌های سلامتی، احتمالی منطقی از بروز یک بیماری یا اثر بیماری قابل تشخیص- مربوط به مواجهه با ماده‌ای خاص در محیط کار مورد نظر را نشان می‌دهد. همچنین ضروری است که روش‌های پذیرفته شده پزشکی برای تشخیص بیماری یا اثر بیماری بر سلامتی وجود داشته باشد.

در حال حاضر، در مطالعات اندکی ارتباط میان مواجهه با شکل‌های جدید NOAAs مهندسی‌شده و عوارض زیان‌آور آن بر سلامتی نشان داده شده است . اما بر اساس تجربیات مربوط به ذرات دیگر مانند بلورهای

1- Optical Emission Spectroscopy
2- Laminar

سیلیکات و آزبست، این انتظار می‌رود که یک دوره نهفتگی طولانی در ایجاد بیماری مربوط به چنین مواجهه‌هائی وجود داشته باشد. هرچند مطالعات حیوانی عوارض زیان آور(مانند فیبروز[1] و التهاب ریه) را در دزهای پایین تر از ذرات بزرگتر همان ترکیب شیمیایی نشان داده است. این موضوع بیانگر در نظر گرفتن این نکته است که آیا آزمایشات غربالگری پزشکی مانند موارد استفاده شده برای تشخیص بیماری تنفسی شغلی می‌تواند برای کارگرانی که در معرض مواجهه NOAAs قرار دارند، مناسب باشد یا خیر.

در هر مورد، رویکرد محتاطانه در عدم قطعیت آن است که حداقل برخی اطلاعات محدود در خصوص مواد به‌کار گرفته شده و مدت استفاده آنها جمع‌آوری گردد. چنین اطلاعاتی به ساخت یک شناسه مواجهه کمک خواهد کرد که می‌تواند برای مطالعات همه‌گیرشناسی آتی، برای هر یک از اثرات بهداشتی که در جمعیت در معرض مواجهه پدیدار می شود، حائز اهمیت باشد.

۱۳ ریخت‌وپاش و رهایش اتفاقی

به‌علت توان بالقوه ریخت‌وپاش و رهایش تصادفی NOAAs، ضروری است که کارفرمایان خط مشی و رویه‌هایی محلی را مستندسازی کنند که مبتنی بر فعالیت‌های کافی از پیش برنامه‌ریزی شده باشند. این مستندات باید شامل ریخت و پاش ، رهایش جزئی(کوچک) یا اضطراری (کنترل نشده) باشد.

ضروری است که ارزیابی ریسک مناسب و کافی به منظور تعیین دوره آموزش عملی در خصوص ریخت‌وپاش یا رهایش تصادفی انجام گیرد. بهتر است روش‌های مورد استفاده هماهنگ با میزان مخاطره و مقدار نانومواد موجود در ریخت‌وپاش باشند. پاکسازی به نحوی انجام شود که تضمین کند کارکنان کمترین مواجهه را پیدا می‌کنند. توصیه می‌شود، کارکنانی که ممکن است در چنین رخدادهایی درگیر باشند، اطلاعات و دستورالعمل‌ها را دانسته و در مورد ارزیابی میزان ریخت‌وپاش و رهایش تصادفی، اقدامات پاکسازی که قرار است انجام شود، تجهیزات حفاظت فردی که باید پوشیده شود، و همچنین راهنمای دفع ایمن هر نوع پسماند جمع شده در طول پاکسازی آموزش کافی ببینند.

درصورت ریخت و پاش یا رهایش تصادفی، کارکنان محل باید مساحتی که به‌طور جدی تحت تاثیر قرار می‌گیرد را تعیین کرده و آن را برای محدود کردن دسترسی توسط کارکنان غیر ضروری نشانه‌گذاری کنند. اقدامات باید در محل انجام شوند تا احتمال پخش شدن و گسترش انتشار NOAAs را از منطقه متاثر شده کاهش دهند، برای مثال استفاده از پادری‌های ثابت در خروجی‌ها.

1- Fibrosis

در موقعیت‌هایی که پیش‌بینی می‌شود کارکنان محل با ریخت و پاش یا رهایش تصادفی NOAAs برخورد داشته باشند، استفاده از روش‌های پاک‌سازی با دستمال مرطوب، گذاشتن موانع برای کاهش جریان‌های هوا در سراسر مناطق متاثر شده و به کارگیری جاروبرقی مجهز به فیلتر هپا (تست شده و تایید شده) برای کار با مواد خشک یا پسماندهای مایعات پخش و خشک شده لازم است. بهتر است از جاروی خشک اجتناب نمود. در زمان استفاده از فیلترهای هپا، توصیه می‌شود که کارایی آنها مطابق توصیه‌های سازنده تایید شده و در صورت امکان جاروبرقی‌های مجهز به فیلتر هپا باید برای عملیات‌های پاک‌سازی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین ثبت نوع ماده جمع‌آوری شده و جلوگیری از مخلوط شدن احتمالی آن با مواد ناسازگار در جاروبرقی یا فیلترها، اقدامی مناسب است. کارفرمایان باید موقعیت‌هایی را که لازم است عملیات تخلیه کارکنان از منطقه متاثر شده را آغاز کنند، در نظرگرفته و مستند نمایند. توصیه می‌شود شدت ریخت‌وپاش‌ها و رهایش تصادفی را که طی آن انتظار می‌رود کارکنان محلی و سایر نهادها مانند خدمات اورژانس و سازمان‌های حفاظت محیط‌زیست درگیرشوند را در نظر بگیرند.

تمام باقیمانده‌های حاصل از پاک‌سازی ریخت‌وپاش یا رهایش تصادفی (شامل فیلترها، خشک کن‌ها، دستمال‌های جاذب و مواد) باید به عنوان پسماند آلوده به نانومواد در نظر گرفته شوند. راهنمای دفع پسماندهای جمع‌آوری شده در بند ۱۳ ارائه شده است.

۱۴ روش‌های دفع

۱۴-۱ برنامه ریزی برای انبارش و دفع نانومواد

توصیه می‌شود برای انبارش و دفع NOAAs یا پسماندهای آلوده به NOAAs برنامه‌ای طرح‌ریزی شود. شناسه مخاطرات مواد و مقادیر کمی آنها نیز مدنظر قرار گیرد.

زمانی که نانومواد شناسه مخاطرات شناخته‌شده‌ای دارند، بهتر است دفع مواد بر اساس این شناسه در راستای قوانین حقوقی مرتبط برنامه‌ریزی شود.

راهنمای مدیریت پسماندی که در این بند ارائه شده بر اساس راهنمایی است که توسط سازمان انرژی آمریکا (DOE[1]) و راهنمای سازمان محیط‌زیست انگلیس (EA[2]) برای دفع مواد مخاطره‌آمیز تدوین و مورد استفاده قرار می‌گیرد (به مراجع ۳۵ و ۳۶ در پیوست ب مراجعه شود) و برای دفع (پسماندهای مایع و جامد) نانومواد خطرناک و بالقوه خطرناک بکاررفته و شامل موارد ذیل می‌باشد:

1- Department of Energy
2- Environment Agency

- NOAAs خالص.
- مواد آلوده به NOAAs مانند ظروف، پارچه‌ها و تجهیزات حفاظت فردی یکبار مصرف.
- محلول‌های سوسپانسیون حاوی NOAAs و
- ماتریکس‌های جامد حاوی NOAAs که شکننده بوده یا ساختار نانویی دارند که به شکل آزادانه به سطح متصل می‌شوند مانند مواردی که می‌توانند در تماس با هوا، آب یا سایر واسطه‌ها به هنگام مواجهه با نیروهای مکانیکی شکسته و آزاد شوند.

توصیه می‌شود هر ماده‌ای که در تماس با NOAAs مهندسی شده قابل پخش (که آلوده زدایی نشده‌اند) قرار می‌گیرد، به‌عنوان ماده پسماند حاوی نانوماده درنظر گرفته شود. این موارد عبارتند از تجهیزات حفاظت فردی، پارچه‌های نظافت، کاغذ و مواد آزمایشگاهی یکبار مصرف که در فعالیت‌های تحقیقاتی استفاده می‌شوند. پسماندهای حاوی نانومواد مخاطره‌آمیز یا بالقوه مخاطره‌آمیز نباید وارد پسماندهای روزانه و معمول شوند. آلاینده سطحی باید ارزیابی و رفع آلودگی گردند. بهتر است تجهیزات مورد استفاده برای تولید و حمل نانومواد مخاطره‌آمیز یا بالقوه مخاطره‌آمیز پیش از دور ریختن یا استفاده مجدد آلودگی‌زدایی شوند. توصیه می‌شود پسماندهای حاصل از آلودگی‌زدایی (محلول شستشو، آب زهکشی، پارچه‌ها، تجهیزات حفاظت فردی یکبار مصرف) به عنوان پسماند حاوی نانومواد در نظر گرفته شوند.

۲-۱۴ انبارش نانومواد زاید قبل از دفع

موارد ذیل رویکردهای مناسب برای جمع‌آوری و انبارش پسماند نانومواد مخاطره‌آمیز یا بالقوه مخاطره‌آمیز پیش از دفع می‌باشند:

الف- **انبارش در ظروف زباله**- بسته‌بندی پسماندهای حاوی نانومواد در ظروف مناسب و سازگار و مجهز به تمهیدات کافی برای پیشگیری از فرار NOAAs، انجام شود. مواد NOAAs یا پسماندها نباید در سیلوهای ذخیره‌سازی یا دیگر ظروف بزرگ نگهداری شوند، مخصوصاً در اشکالی که قابلیت پراکنده‌شدن بیشتری دارند. درصورت آسیب‌دیدن ظروف بزرگ، پاکسازی ریخت‌وپاش‌ها بسیار دشوار خواهد بود. روی ظروف پسماند برچسب زده و نوع پسماند را شرح دهید و اطلاعات قابل‌دسترسی شامل ویژگی‌های شناخته‌شده و مشکوک را روی آن بنویسید.

ب - **انبارش در کیسه‌های پلاستیکی**- کاغذ، پارچه، تجهیزات حفاظت فردی و سایر موارد حاوی آلاینده‌های فرار باید در کیسه پلاستیکی یا سایر ظروف مهروموم شده ذخیره ودر زیر هود آزمایشگاهی قرار داده شوند. زمانی‌که کیسه پر است، بهتر است درب آن را بسته و به‌دقت در کیسه پلاستیکی دوم یا ظرف مهروموم شده دیگری قرار

داد تا از آلودگی قسمت خارجی آن جلوگیری شود. سپس از زیر هود بیرون آورده شده و روی کیسه خارجی برچسب مناسب چسبانده گردد.

۱۴-۳ دفع نانو مواد زاید

بهتر است دفع پسماند نانومواد مطابق قوانین ملی و منطقه‌ای صورت گیرد. برخی از مراجع ملی، توصیه‌های خاص در مورد دفع پسماند حاوی نانومواد را ارائه کرده‌اند. فرآیند دفع به ارزیابی مخاطره و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی وابسته است.

به عنوان مثال در انگلیس، می‌توان به راهنمای ارائه شده توسط سازمان محیط زیست (EA) اشاره کرد که چارچوبی را برای ارزیابی مخاطره‌آمیز بودن پسماند و فرآیند دفع ارائه می‌دهد. به تازگیEA، به‌عنوان یک رویکرد پیشگیرانه، نانولوله‌های کربن با پیوند شکسته شده را به عنوان پسماندهای معدنی حاوی مواد خطرناک با حد آستانه ۰٫۱درصد وزنی طبقه بندی می‌کند. توصیه آنها این است که پسماند به واسطه سوزاندن در دمای بالاتر از ۸۵۰ درجه سانتیگراد، به مدت حداقل دو ثانیه، یا از طریق فعالیت شیمیایی ساختار نانویی ماده سمی را تخریب و به ماده‌ای ایمن تبدیل کند. آنها سوزاندن در کوره مخصوص پسماند خطرناک با دمای بالا را به عنوان یک روش دفعی ارجح می‌دانند. اما این روش برای تمام NOAAs مناسب نخواهد بود و باید از انتشار بالقوه نانوذرات اصلی یا تغییر شکل داده شده پیشگیری کرد. سایر فناوری‌ها در صورتی مفید خواهند بود که پسماندهای ایجاد شده ایمن باشند.

۱۵ پیشگیری از حریق و انفجار

پیشگیری از حریق و انفجار براساس مقررات ملی صورت می‌گیرد. به‌عنوان مثال در مسائل مربوط به آتش‌سوزی و انفجار در انگلیس، مجموعه مقررات مواد مخاطره‌آمیز و محیط‌های انفجاری وجود دارد (به مرجع ۱۰ در پیوست ب مراجعه شود). کارایی روش‌های پیشگیری و کنترل حریق ، انفجار و واکنش‌های کاتالیستی نانوذرات هنوز به‌طور کامل ارزیابی نشده است. خطرات بالقوه ناشی از آتش‌سوزی و انفجار توسط سازمان بهداشت و ایمنی انگلیس بازبینی شده است (به مرجع ۳۶ در پیوست ب مراجعه شود).

برخی از انواع محصولات نانوذرات می‌توانند از یک لایه بوجود آمده و نسبت به محصولات درشت‌تر خیلی آسان‌تر در هوا منتشر شود و برای مدتی طولانی در هوا معلق بمانند. ممکن است مشاهده ابرهای متراکم پودر نانوذرات دشوار باشد، هرچند سوسپانسیون همان ماده در همان غلظت اما با اندازه‌های بزرگتر به سهولت قابل‌رویت است. بهتر است اصول مشابهی در مدیریت پودرها،گردوغبارها یا مواد ذره زا برای نانوذرات به‌ویژه برای

غبارات فلزی قابل‌اکسیدشدن درنظر گرفته شود. اقدامات حفاظتی انفجار برای گردوغبار منتشره و مقادیر مخاطره‌آمیز مواد با اندازه بزرگتر شرح داده شده است و این امر می‌تواند در جابجایی نانوذرات قابل انفجار استفاده شود. توصیه می‌شود برای نانوذرات واکنش پذیر یا فعال کاتالیتیکی، از تماس با مواد ناسازگارپیشگیری بعمل آید.

برای پیشگیری از حریق لازم است مقررات موجود مخصوصاً الزامات الکتریکی رعایت گردند، که در طرح حفاظت از تجهیزات الکتریکی باید گرانولومتری[1]ریز و زمان ته‌نشینی بسیار طولانی نانوذرات که حفاظت در برابر گردوغبار را ایجاب می‌کند ، مد نظر قرار گیرد. علاوه بر این باید برای اجتناب از ریسک خود اشتعالی NOAAs احتیاط لازم بعمل آید. بهتر است در انتخاب عامل اطفای حریق سازگاری یا ناسازگاری نانوماده با آب مورد بررسی قرار گیرد. در میان انواع نانوذرات، برخی از غبارهای فلزی با آب واکنش داده و هیدروژن (که خیلی سریع مشتعل می‌شود) تولید می‌کنند. پودرهای شیمیایی برای اطفای حریق پودرهای فلزی در دسترس هستند، اگرچه سبب می‌شوند غبارات فلزی بصورت سوسپانسیون درآیند و بنابراین ریسک احتراق را افزایش دهند. برای کاهش ریسک حریق و آتش سوزی، ممکن است لازم باشد که فرآیند تولید و انبارش در فضای کنترل شده با استفاده از دی اکسید کربن، نیتروژن یا گازهای بی‌اثر دیگر انجام شود. این امر می‌تواند خطرات دیگری ، برای سامانه مخصوصاً ریسک خفگی را ایجاد کند. توصیه می‌شود، در مناطقی که این مواد جابجا می‌شوند، از کفش‌های ضد بار الکتریسته ساکن[2] استفاده شود. تا از این طریق میزان شارژ بارالکتریکی ساکن که می‌تواند این مواد را محترق سازد، کاهش داده شود.

1- Granulometry
2- Anti-static

پیوست الف
(اطلاعاتی)
رویکردهای کنترل

الف-۱ آخرین دست‌آوردها درارزیابی رویکردهای کنترلی مواجهه

تعداد کمی از مطالعات حاوی اطلاعاتی در زمینه عملکرد روش‌های کنترل (محصورسازی، سیستم تهویه مکنده موضعی(LEV) ، هود شیمیایی) NOAAs می باشند. مطالعات زیر، اطلاعات و جدیدترین فناوری‌های معمول را ارائه می‌دهند.

جدول الف-۱ ارزیابی روش‌های کنترل مواجهه بر اساس مطالعات منتشرشده

ماده	فرآیند	روش کنترلی	میزان مواجهه بدون اقدام کنترلی	میزان مواجهه بعد از اقدام کنترلی	OEL بالک مرتبط	مرجع (پیوست ب)	ملاحظات
نانولوله کربنی (لیف)	ترکیب کردن آن برای تشکیل کامپوزیت‌ها	محصورساز ی	۱۹۳٫۶-۱۷۲٫۹ f/ml	۰٫۰۵-۰٫۰۱۸ f/ml	-	۳۹	-
اکسید روی (غیر قابل حل)	اسپری کردن سل- ژل	LEV	۲۲۵۰۰p/cm^3	۱۲۰۰۰-۷۲۰۰ p/cm3	-	۴۰	-
اکسید منگنز (غیر قابل حل)	پاک سازی رآکتور	LEV	۳٫۶mg/m^3	۰٫۱۵mg/m^3	۰٫۲mg/m^3	۴۱	OEL: TLV سازمان ACGIH برای منگنز (قابل‌استنشاق)
اکسید کبالت (غیر قابل حل)	پاک‌سازی رآکتور	LEV	۰٫۷۱mg/m^3	۰٫۰۴۱mg/m^3	۰٫۰۵mg/m^3	۴۱	OEL: ES ملی استرالیا و TLV سازمان ACGIH (قابل‌استنشاق)

جدول الف-۱ (ادامه)

اکسید نقره	پاک‌سازی رآکتور	LEV	۶/۷mg/m^3	۱/۷mg/m^3	۰/۱mg/m^3 (نقره فلزی)، ۰/۰۱mg/m^3 (برای ترکیبات قابل حل نقره)	۴۱	OEL: ES ملی استرالیا و TLV سازمان ACGIH
نانومواد(نوع آن گزارش نشده) (غیر قابل حل فرض شده)	تولید فاز گازی	محصور سازی	-	۰/۱۸۸ mg/m^3 (عملیات فرایند، پایا و یکنواخت می‌باشد)	۳mg/m^3	۴۲	پیش فرض ACGIH برای گردوغبار آزار دهنده(قابل استنشاق)
نانومواد(نوع آن گزارش نشده) (غیر قابل حل فرض شده)	تولید فاز گازی	محصور سازی	-	۵۹۱۰۰p/cm^3 (عملیات فرایند، پایا و یکنواخت می‌باشد)	-	۴۲	میزان متوسط برای شیفت ۱۰ ساعته تقریباً ۳۳۰۰۰p/cm^3
نانومواد(انواع بسیاری قابل حل و غیر قابل حل)	تولید نانوذرات از طریق پیرولیز اسپری شعله‌ای	هود شیمیایی مکشی	-	۰/۰۳۷ mg/m^3 $PM*1_{حداکثر}$ (متمایز شده از مقدار زمینه)	۳mg/m^3	۴۳	OEL: پیش فرض غیر قابل حل. ACGIH برای گردوغبار آزار دهنده(قابل استنشاق)
نانومواد (انواع بسیاری قابل حل و غیر قابل حل)	تولید نانوذرات از طریق پیرولیز اسپری شعله‌ای	هود شیمیایی مکشی	-	۱۰۰۰۰p/cm^3 (عملیات فرایند، پایا و یکنواخت می‌باشد)	-	۴۳	افزایش حداکثری بر مقدار زمینه ۱۰۳۹۰۰ p/cm^3
نانوآلومینا	ریزش یا انتقال نانومواد	هود شیمیایی مکشی (انواع مختلف)	-	۱۳۲۶۰-۱۵۷۵ p/cm^3	-	۴۴	اندازه‌گیری در ناحیه تنفسی
*Particulate Matter							

الف-۲ رویکردهای کلی برای ایجاد حدود مجاز مواجهه

در محیط‌های کار، حفاظت در برابر مواد سمی بواسطه کاهش مواجهه به کمتر از حدود تعیین شده، حاصل می‌شود که هدف آن محافظت از سلامت کارکنان در طول عمر کاری آنها است. هرچند محدودیت‌های تجهیزاتی(مانند اندازه گیری و کنترل مواجهه) ممکن است سبب شود در بعضی از موارد حدود مجاز نیز برای سلامتی کارگران ریسک‌هایی به همراه داشته باشند. در چنین مواردی، ممکن است اقدامات تکمیلی برای محافظت از کارگران لازم باشد (به‌طورمثال استفاده از تجهیزات حفاظت فردی ، غربالگری پزشکی، به‌علاوه تحقیق برای بهبود روش‌های نمونه برداری و تجزیه). اثرات سم‌شناسی می‌تواند به شکل حدمجاز و غیرمجاز توصیف شود. در مورد اول، می‌توان مقدار مواجهه‌ای را مشخص کرد که مواجهه با مقدار کمتر از آن هیچ نوع اثر زیان‌آوری را بر سلامتی فرد نمی‌گذارد، و برای مورد دوم، مواجهه با این مقدار ماده باعث صفر شدن احتمال وقوع اثرات زیان آور بر سلامتی نمی‌شود. هرچند فرض این مقدار آستانه، منطقی نیست. به‌عنوان مثال زمانی که یک ماده سمی سبب اضافه شدن پاسخ بدن نسبت به مواجهه محیطی دیگری می‌شود. علاوه براین، مقدار متوسط حد آستانه متوسط، توزیع پاسخ‌ها را در جمعیت انسانی مدنظر قرار نمی‌دهد.

توصیه می‌شود، در مورد اثرات سم‌شناسی مقدار حدآستانه، برای تعیین کمی سطوح "ایمن" مراحل زیر انجام گیرد:

الف- تعیین سطح اثرات زیان‌آور غیرقابل‌مشاهده (NOAEL) یا پایین‌ترین سطح مشاهده‌شده اثرات زیان‌آور(LOAEL).

ب- برون‌یابی[1] سطوح حیوانی به سطوح انسانی از طریق تعدیل تفاوت‌های خاص گونه در جذب، توزیع، متابولسیم و حذف (ADME).

بهتر است برای ذرات تنفس‌شده، در برون یابی سطح اثر حیوانی به انسانی تفاوت‌های هوای ورودی به ریه، میزان ته‌نشست، الگوی مواجهه و مدت آن، اندازه بافت هدف (مساحت سطحی، جرم، یا حجم) و همچنین پاک‌سازی، قابلیت انحلال و متابولیسم در صورت امکان، مورد بررسی قرار گیرد.

پ- جمع‌بندی حدود مواجهه شغلی با منظور نمودن امکانات فنی و سایر عوامل.

این رویکرد، نمونه‌ای از روش‌های استفاده شده برای تخمین حدود مجاز مواجهه برای مواد غیر سرطان‌زا است. در این رویکرد، مدل آستانه مفروض است که از عوامل عدم قطعیت برای اقتباس حدود مجاز مواجهه برای

1-Extrapolation

انسان‌ها استفاده می‌شود (اغلب عوامل ۱۰تایی برای برون یابی حیوان به انسان ، متغیرهای بین فردی، مطالعه تحت مزمن، و LOAEL اگر NOAEL موجود نباشد، درنظر گرفته می‌شود). علاوه بر این، راهنمای اخیر ارزیابی ریسک شورای ملی تحقیقات (NRC[1]) (به مرجع ۴۵ در پیوست ب مراجعه شود)، از توسعه و تکمیل حدود مجاز مواجهه با ریسک خاص برای مواد سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا حمایت می‌کند، به‌عنوان مثال از طریق تخمین درصد جمیعت بالای یا زیر ریسک قابل قبول تعریف شده و سطح اطمینان آن (با فرض اینکه برای افراد به هنگام مواجهه با مقادیر کمتر از حدود مجاز هیچ ریسکی وجود ندارد).

به‌جای استفاده از LOAEL یاNOAEL، روش‌های مبتنی بر ریسک معمولاً مدل‌های آماری را با استفاده از داده‌های دز- پاسخ تصحیح می‌کند، به نحوی که بتوان دز معیار(BMD) (تخمین احتمال حداکثر دز مربوط به میزان معین ریسک برای دامنه پایین‌تری از داده‌ها به طور مثال ۱۰٪) وBMDL (حد پائین اطمینان ۹۵درصدی از دز معیار) را تخمین زد. حد پائین اطمینان دز معیار معمولاً به‌عنوان نقطه حرکت به سوی برون‌یابی سطوح ریسک پایین‌تر استفاده می‌شود. حد پائین اطمینان ۹۵ درصدی از دز معیار گاهی به‌جایNOAEL برای استفاده از عوامل عدم قطعیت در اقتباس حدود مواجهه به‌کار می‌رود.

ویژگی‌های سم‌شناسی NOAAs می‌تواند از ترکیب شیمیایی ذاتی یک ماده همانطور که برای آن ماده در شکل ذره‌ای با مقیاس غیر- نانو مستند شده، اقتباس شود. جدا از آن، جامعه علمی این موضوع را در نظر می‌گیرد که آیا سمیت اضافی NOAAs به‌واسطه ماهیت ذره ای و ویژگی‌های منحصربفرد مربوط به مقیاس نانو وجود دارد یا خیر. همچنین مطالعات سم‌شناسی نیز در NOAAs جدید مانند نانولوله‌های کربنی که آنالوگ‌های بالک[2] را ندارند، در حال انجام است.

یافته‌های سم‌شناسی مختلفی برای NOAAs گزارش شده است. هر چند در مطالعات سم‌شناسی موجود گاهی اوقات از مواد آزمونی استفاده می‌شود که اکثراً بواسطه محدودیت‌های فنی بخوبی توصیف نشده‌اند. بنابراین در حال حاضر، تنها تعداد محدودی از داده‌های معتبر مرتبط با مخاطرات سم‌شناسی آنها وجود دارد، که می‌تواند برای تدوین حدود مجاز مواجهه شغلی استفاده شود. این باور وجود دارد که این حدود مواجهه در آینده نزدیک صرفاً برای تعداد کمی از مواد نانویی مهندسی شده قابل‌دسترس خواهد بود. یکی از مثال‌های ارزیابی ریسک NOAAs شامل ارزیابی ریسک کمی دی‌اکسیدتیتانیوم بسیارریز[3]، کربن سیاه بسیارریز ، و ذرات خروجی دیزل است. در مطالعات از داده‌های موجود التهاب ریوی و داده‌های تومور ریوی حاصل از استنشاق مزمن و تحت

1- National Research Council
2- Bulk Analogues
3- Ultrafine

مزمن در موش‌های صحرایی استفاده شده است (به مراجع ۴۹ و ۵۰ در پیوست ب مراجعه شود). این داده‌ها با استفاده از رویکردهای مختلف مدل‌سازی برای تخمین ریسک بیماری در کارگرانی ارزیابی شده است که به مدت چهل و پنج سال کاری در معرض دی اکسید تیتانیوم ریز یا بسیار ریز بودند. در مثال دیگری، مطالعه روی موش‌هایی انجام شده که با نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره از طریق تنفس حلقی[1]مواجهه داشتند. داده‌های این مطالعه برای تخمین دز ریوی معادل در انسان‌ها و تراکم هوابرد آنها در محیط کار استفاده شد (به مرجع ۵۳ در پیوست ب مراجعه شود). دز ریوی موش با اثرات ریوی زیان‌آور از جمله واکنش فیبروژنی سریع ارتباط دارد. این داده‌ها برای تخمین کسری از تراکم ذرات هوابرد محیط کار که می‌تواند در ریه انسان ته‌نشست کند، برون‌یابی شده است.

نتایج مدلسازی حاصل از داده‌های دز- پاسخ، مبنای کمی را برای تدوین حدود مجاز مواجهه شغلی با NOAAs فراهم می‌کند. حدود مجاز مواجهه شغلی برحسب تراکم جرمی، برای تعداد محدودی از مواد نانوساختار به شکل نانوذرات انبوهه و کلوخه مانند کربن سیاه، فیوم اکسید روی، فیوم سیلیس و نانولوله یا نانوالیاف کربنی وجود دارد.

در این خصوص، داده های اندکی وجود دارد، مخاطرات مبتنی بر ویژگی‌های سم‌شناسی NOAAs هنوز هم به-طورکامل ارزیابی نشده اند. هرچند معمولاً بدین شکل در نظر گرفته می‌شود که:

- ویژگی‌های سم‌شناسی NOAAs را همواره نمی توان صرفاً از سمیت شناخته‌شده همان ماده در مقیاس ماکروسکوپی پیش بینی کرد.
- برای برخی از NOAAs، جرم، مقیاس مناسبی برای تعیین مواجهه نیست و مساحت سطحی و تعداد ذرات نانومواد جایگزین‌های بهتری می‌باشند.

بنابراین حدود مواجهه شغلی جرمی برای موادی با اندازه‌ای غیر از نانو ممکن است معیار مناسبی برای توصیف میزان مواجهه در دامنه‌ای از اندازه ذرات نباشد. به عنوان مثال در صورتی‌که سمیت به مساحت سطحی ذره مربوط باشد یا در صورتی که میزان مواجهه با این مواد زیر حدود تشخیص جرمی باشد.

تدوین حدود مواجهه در غیاب داده‌های کامل ارزیابی ریسک، موضوع جدیدی نیست (حدود مجاز محلی[2] یا صنعتی[3] به صورت گسترده در غیاب یا در کنار OELs موجود استفاده می شوند). این امر مستلزم تلاش‌های

1- Pharyngeal
2- In-house
3- Industry-wide

مشترک متخصصین صنعتی در زمینه ارزیابی ریسک، متخصصین مخاطرات ویژه و افراد آشنا با فرآیند و شرایط آن محیط کاری خاص می‌باشد.

تدوین روشی با رویکرد استفاده از اطلاعات موجود NOAAs خاص برای استنتاج OELs با استفاده از حدود مجاز حالت بالک همان ترکیب شیمیایی ارزشمند خواهد بود. از این رویکرد در سند BSI/PAS 6699-2 برای ارائه حدود مواجهه معیار[1] استفاده شده است.

یک راه حل جایگزین می‌تواند گروه بندیNOAAs بر اساس پتانسیل مخاطرات آنها و توسعه دامنه‌ها یا دسته‌بندی حدود مواجهه باشد. گروه‌بندی‌های مخاطرات و مواجهه می‌تواند پیشرفت آتی روش‌هایی را تسهیل کند که دسته بندی را برای ارزیابی و طبقه بندی ریسک‌ها بمنظور انتخاب اقدامات کنترلی مناسب برای کار با NOAAs بکار می‌گیرد.

یک روش پیشنهادی، طبقه بندی NOAAs را بر اساس عوامل مختلف ارائه می‌دهد که شامل شیمی سطح، شکل ذره، قطر ذره، قابلیت انحلال، سرطانزا بودن، سمیت برای دستگاه تناسلی، جهش زایی، سمیت پوستی و سمیت مواد اولیه می‌باشد.

درجه بالاتری از تجزیه کیفی احتمال مخاطره در رویکردهای مبتنی بر عملکرد کنترل مواجهه وجود دارد که بر کاهش انتشار متمرکز است. در این رویکرد از داده‌های پایش و پاکسازی هوا برای ارزیابی کارایی روش‌های کنترلی مبتنی بر عملکرد و برای کشف نقایص در سامانه کنترل آلودگی که قبلاً اعتبار آنها تایید شده، استفاده می‌شود. میزان پایش به حدود مواجهه کنترل مخاطره مبتنی بر عملکرد(PB-ECL[2]) وابسته است.

درتدوین حدود مجاز مواجهه و تعریف دسته مواجهه، در نظر گرفتن محدودیت‌های روش‌های موجود اندازه‌گیری مواجهه، حائز اهمیت است.

الف-۳ تدوین حد مواجهه شغلی با TiO_2 بسیار ریز

دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2)، پودر سفید رنگ غیر قابل انحلالی است که بطورگسترده در محصولات بازرگانی بسیاری مانند رنگ، وسایل آرایشی، پلاستیک‌ها، کاغذ و غذا به عنوان عامل سفید کننده استفاده می‌شود. این ماده با توزیع اندازه‌های مختلف ذرات شامل ریز و بسیارریز تولید و استفاده می‌شود.

این سند مبتنی بر ارزشیابی دقیق NIOSH از اکثر اطلاعات علمی جدید موجود در مورد این ماده پر کاربرد می‌باشد.

1- Benchmark Exposure Limits
2- Performance-Based Exposure Control Limit

این سند حدود مواجهه ۲٫۴ میلی‌گرم بر مترمکعب را برای اکسیدتیتانیوم ریز (ذرات با قطر بزرگتر از ۰٫۱ میکرون) و ۰٫۳ میلی‌گرم بر مترمکعب را برای ذرات بسیار ریز با میانگین وزنی -زمانی ۱۰ ساعته روزانه در طول ۴۰ ساعت کار هفتگی توصیه می‌کند. بهتر است میزان مواجهه تا حد ممکن به کمتر از حدود توصیه شده،کاهش یابد.

اخیراً تحلیل‌های بیشتری در مورد این ماده گزارش شده است. تخمین متوسط این مدل از میانگین تراکم دی‌اکسیدتیتانیوم ریز در طول عمر کاری با ۱/۱۰۰۰ ریسک اضافی سرطان ریه برابر ۹ میلی‌گرم بر مترمکعب، با حد پایین اطمینان (LCL) ۹۵درصد برابر۱٫۶میلی‌گرم بر مترمکعب است. تخمین مشابه برای دی‌اکسید تیتانیوم بسیار ریز (نوع مهندسی شده) برابر ۱٫۱ میلی‌گرم بر مترمکعب، با LCL ۹۵ درصد برابر ۰٫۱۹ میلی‌گرم بر مترمکعب می باشد.

مطابق این اسناد، تفاوت در حدود پیشنهادی برای ذرات ریز و بسیارریز بیانگر یافته‌های حاصل از مطالعاتی است که معتقدند ذرات بسیار ریزTiO_2 ممکن است بالقوه خطرناک‌تر از ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم ریز با همان جرم باشد. دلیل این امر آن است که ذرات بسیارریز، مساحت سطحی بسیار بیشتری نسبت به ذرات ریز با همان جرم دارند.

این مدارک اعلام می‌دارند که ارزیابی ریسک TiO_2 می‌تواند به عنوان پایه‌ای منطقی برای توان بالقوه سمیت استفاده شود. با این توجه که سمیت می‌تواند با تغییر فرآیند و ویژگی‌های ذره افزایش یابد. با این توصیه، NIOSH دی اکسید تیتانیوم را از فهرست مواد سرطانزای شغلی برای ذرات ریز حذف کرده اما بر سرطان‌زا بودن بالقوه دی اکسید تیتانیوم بسیارریز اصرار دارد.

مستندات نشان می‌دهند که تحقیقات بیشتری برای ارزیابی مواجهه شغلی با دی‌اکسیدتیتانیوم بسیار ریز درصنایع تولیدی یا مصرفی این ماده مورد نیاز است. تحقیقات دیگری نیز در موارد ذیل لازم هستند:

۱- رابطه پاسخ– مواجهه با دی اکسید تیتانیوم، و سایر ذرات با قابلیت انحلال اندک، سمیت کم و اثرات آن بر سلامتی انسان،

۲- سرنوشت ذرات بسیار ریز درریه و پاسخ‌های ریوی مرتبط و

۳- اثربخشی روش‌های کنترل مهندسی برای کنترل مواجهه با ذرات دی اکسید تیتانیوم ریز و بسیارریز.

الف- ۴ نمونه‌هایی از رویکردهای تنظیم حدود معیار برای نانو-اشیاء

الف-۴-۱ کلیات

در نبود OELهای خاص برای بسیاری از NOAAs، تمرکز بر تنظیم حدود معیار برای ارائه راهنمای عملی جهت تخمین و کنترل مواجهه صورت گرفته است.

الف -۴-۲ رویکردی برای ذرات

در تنظیم مقادیر معیارهای ارزیابی کارائی اقدامات حفاظتی، ذکر این نکته حائز اهمیت است که نباید آنها را با مقادیر حدود شغلی مبتنی بر سلامتی اشتباه گرفت. داده‌های سم‌شناسی محدودی برای پشتیبانی مقادیر معیارهای مذکور وجود دارد.

توصیه می‌شود در پیشنهادات عملی برای ارزیابی کارائی اقدامات حفاظتی در مقابل مواجهه با NOAAs الزامات زیر مورد توجه قرار گیرد:

- به‌علت فقدان اطلاعات کافی در مورد یک محصول، باید رویکرد احتیاطی را در نظر گرفت.
- ممکن است تحت هیچ شرایطی، مقدار حدود کلی گردوغبار (میلی گرم بر مترمکعب) از حد بالای مواجهه فراتر نرود.
- مقدار معیار توصیه شده باید امکان پایش فنی ساده را فراهم سازد. روش‌های مطالعاتی دور از دسترس، پیچیده و تصویری نمی‌توانند در عملیات‌های معمول مورد استفاده قرار گیرند.

برای دستیابی به مقدار معیار، باید ویژگی‌های NOAAs درنظر گرفته شوند.گروه کاری[1] OECD در خصوص فهرستی از اولویت بندی نانومواد ساخته شده به توافق رسیده‌اند (به مرجع۶۴ در پیوست ب مراجعه شود). برای اکثر این مواد، جدول الف-۲ تراکم عددی محاسبه‌شده ذرات ، C_{PN}، را ارائه کرده است که منطبق بر تراکم جرمی۰٫۱ میلیگرم بر مترمکعب برای ذرات کروی با قطرهای (d) ۲۰ ، ۵۰ و ۱۰۰ نانومتر است. ۰٫۱ میلی‌گرم بر مترمکعب، یک مرتبه کوچکتر از حدود توصیه‌شده فعلی است.

1- Working Party

جدول الف-۲ تراکم عددی محاسبه شده ذره، C_{PN}، متناظر باتراکم جرمی۰٫۱ میلی‌گرم بر مترمکعب،برای اندازه‌های مختلف ذرات کروی نانومواد

چگالی $\rho(g/cm^3)$	چگالی عددی محاسبه شده نانوذرات با بعد ۲۰ نانومتر C_{PN} (cm^{-3})	چگالی عددی محاسبه شده نانوذرات با بعد ۵۰ نانومتر C_{PN} (cm^{-3})	چگالی عددی محاسبه شده نانوذرات با بعد ۱۰۰ نانومتر C_{PN} (cm^{-3})
۱٫۰۵	۲۲٫۷۴×۱۰^{۶}	۱٫۴۶×۱۰^{۶}	۱۸۱٫۹۰×۱۰^{۳}
۱٫۳۵	۱۷٫۶۸×۱۰^{۶}	۱٫۱۳×۱۰^{۶}	۱۴۱٫۴۷×۱۰^{۳}
۱٫۶۵	۱۴٫۴۷×۱۰^{۶}	۰٫۹۳×۱۰^{۶}	۱۱۵٫۷۵×۱۰^{۳}
۴٫۲۴	۵٫۶۳×۱۰^{۶}	۰٫۳۶×۱۰^{۶}	۴۵٫۴۰×۱۰^{۳}
۵٫۶۱	۴٫۲۶×۱۰^{۶}	۰٫۲۷×۱۰^{۶}	۳۴٫۰۴×۱۰^{۳}
۷٫۳۰	۳٫۲۷×۱۰^{۶}	۰٫۲۱×۱۰^{۶}	۲۶٫۱۶×۱۰^{۳}
۷٫۸۷	۳٫۰۳×۱۰^{۶}	۰٫۱۹×۱۰^{۶}	۲۴٫۲۶×۱۰^{۳}
۱۰٫۴۹	۲٫۲۸×۱۰^{۶}	۰٫۱۵×۱۰^{۶}	۱۸٫۲۱×۱۰^{۳}
۱۹٫۳۲	۱٫۲۴×۱۰^{۶}	۰٫۰۸×۱۰^{۶}	۹٫۸۹×۱۰^{۳}

تراکم عددی ذره، C_{PN}، برای حصول تراکم جرمی ۰٫۱ میلی‌گرم بر مترمکعب نانوذرات مذکور مورد نیاز می‌باشد.

تراکم عددی نانوذرات ، C_{PN}، از فرمول زیر بدست می‌آید:

معادله (۱)

$$C_{PN} = \frac{c_m}{m_{NP}}$$

که در آن:

c_m تراکم جرمی،

m_{NP} جرم یک ذره نانو است که بر اساس معادله ۲ محاسبه می‌شود:

معادله (۲)

$$m_{NP} = \frac{\pi \rho d^3}{6}$$

که در آن:

π عدد ثابت ریاضی ۳٫۱۴۱۵۹۲۶۵۴،

d قطرنانوذره،

ρ چگالی نانوذره می‌باشد.

یادآوری- به‌طور تقریبی، چگالی ماده بالک ماکروسکوپی استفاده می‌شود و نانو ذرات به‌صورت کروی با قطر d فرض می‌گردند.

برای ذرات ۱۰۰ نانومتری با چگالی ۱۹۳۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب، تراکم عددی ذره برابر۹۸۹۰ ذره در یک سانتیمتر مکعب هوا به تراکم جرمی ۰٫۱ میلی‌گرم بر مترمکعب منجر می‌شود. استفاده از مقدار ۲۰۰۰۰/Cm^3 همانطور که در BSI/ PAS 136 اعلام شده است، برای ذرات با اندازه ۱۰۰ نانومتر باعث تراکم جرمی تقریباً۰٫۲ میلی‌گرم بر مترمکعب می‌شود. این تراکم جرمی به میزان قابل توجهی کمتر از مقدار حدود مجاز غبار کلی ذرات قابل استنشاق بوده و می‌تواند به عنوان یک اصل احتیاطی درنظر گرفته شود. بر عکس، ۲۰۰۰۰ ذره با اندازه ۲۰ نانومتر در هر سانتیمتر مکعب هوا متناظر با تراکم جرمی ۰٫۰۰۱۶ میلی‌گرم بر مترمکعب است. این مقدار کمتر ازحدود مجاز گردوغبار قابل‌استنشاق است. درعین حال، تراکم۱۲۳۵۴۰۰ از این ذرات (۲۰ نانومتری) در هر سانتی‌متر مکعب معادل ۰٫۱میلی‌گرم بر مترمکعب به سادگی قابل اندازه‌گیری بوده و می‌تواند با استفاده از اقدامات حفاظت فنی کاهش یابد.

جدول الف-۲ نشان می‌دهد با افزایش یک برابری در اندازه نانوذرات و همچنین چگالی آنها تراکم عددی ذره بیش از ۳ برابر می‌شود. این دامنه مسائلی را برای ابزارهای فعلی مانند CPC ایجاد می‌کند. علاوه براین، ممکن است تمایز تراکم نانوذرات هوابرد از تراکم ذرات زمینه در کارگاه‌های صنعتی دشوار باشد. بنابراین باید اندازه و چگالی نانو ذرات به عنوان معیار طبقه‌بندی برای دستیابی به سطوح معیار پیشنهادی به‌کار گرفته شود.

الف-۴-۳ رویکردی برای الیاف

با استفاده از همان موارد اشاره‌شده برای نانوالیاف (شامل نانومیله و نانولوله)، معادله ۲ به شکل زیر اصلاح می‌شود:

معادله (۳)
$$m_{NF} = \pi\left(d_e{}^2 - d_i{}^2\right)L\frac{\rho}{4}$$

که در آن:

m_{NF} جرم نانولیف،

L طول لیف،

d_e قطر خارجی لیف،

d_i قطر داخلی لیف (در نانومیله $d_i=0$ و در نانولوله$di\#0$) ،

π ثابت ریاضی ۳٫۱۴۱۵۹۲۶۵۴ و

ρ چگالی نانولیف.

یاد آوری ۱- عبارت نانولیف، نانولوله و نانومیله، مطابق ISIRI 12098 استفاده می‌شوند.

یاد آوری ۲- برای تعریف چگالی نانولوله (تک دیواره)، همانطور که در اینجا درنظر گرفته شده، جرم دیواره بر حجم کلی لوله تقسیم می‌شود. تعریف متفاوت دیگر چگالی می‌تواند به اندازه انبوهه لوله‌ها و جرم مربوطه آنها اشاره داشته باشد که باعث چگالی‌های متفاوت می‌گردد. در هر صورت باید مشخص شود که کدام تعریف چگالی مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین در مثال زیر، نانوالیاف کربنی با چگالی گرافیت ($2,26 g/cm^3$) و نانولوله کربنی چند جداره $0,32 g/cm^3$ (برای ساده سازی ، نانولوله کربنی چند جداره به عنوان میله با همان چگالی در نظر گرفته شده است) مقایسه شده‌اند.

مثال: جدول الف-۳- بیانگرتراکم عددی لیف است که برای رسیدن به تراکم جرمی ۰٫۱ میلیگرم بر مترمکعب برای الیافی با طول ۵ میکرون، قطرهای داخلی و خارجی و چگالی‌های متفاوت لازم است.

جدول الف-۳ تراکم عددی محاسبه شده لیف،C_F، متناظر با ترکم جرمی ۰٫۱ میلی‌گرم بر مترمکعب،برای نانوالیاف کربنی و نانولوله کربنی چند جداره با طول ۵ میکرون و قطرهای مختلف

C_F (cm^{-3})	C_F (m^{-3})	d_i(nm)	d_e(nm)	ρ(g/cm^3)
$4,5\times10^{7}$	$4,5\times10^{13}$	۰	۰٫۵	۲٫۲۶
$1,1\times10^{7}$	$1,1\times10^{13}$		۱	
3×10^{6}	3×10^{12}		۲	
5×10^{5}	5×10^{11}		۵	
$1,10\times10^{8}$	$1,10\times10^{14}$	۰٫۴	۰٫۵	
$8,7\times10^{7}$	8×10^{13}	۰٫۹	۱	
$7,8\times10^{7}$	$7,8\times10^{13}$	۱٫۹	۲	
$7,3\times10^{7}$	$7,3\times10^{13}$	۴/۹	۵	
$3,18\times10^{8}$	$3,18\times10^{14}$	-	۰/۵	۰/۳۲
$7,96\times10^{7}$	$7/96\times10^{13}$		۱	
2×10^{7}	2×10^{13}		۲	
3×10^{6}	3×10^{12}		۵	

تراکم‌های عددی لیف، C_F، برای دستیابی به تراکم جرمی ۰٫۱ میلی‌گرم بر مترمکعب با الیافی با طول ۵ میکرومتر، چگالی‌ها، قطرهای خارجی و ضخامت‌های دیواره متفاوت (۰٫۱ نانومتر) مورد نیاز هستند. تمام مقادیر گرد می‌شوند.

در اینجا فرمول اصلاح شده استفاده می‌شود:

معادله (۴)
$$C_F = \frac{c_m}{m_{NF}}$$

که در آن:

C_F تراکم عددی لیف،

c_m تراکم جرمی و

m_{NF} جرم نانولیف منفرد.

برخلاف این نتایج، در استاندارد BSI PAS 6699-2 تراکم عددی $۱۰^۴$لیف در هر مترمکعب برای NOAAs لیفی آزبست را با توجه به مقدار پیشنهادی انگلیس توصیه شده است. زیرا نانولوله‌های مقاوم-زیستی لیف مانند (مطابق تعریف سازمان بهداشت جهانی از لیف) که ابعاد مشابهی با لیف دارند می‌تواند تاثیراتی مانند آزبست داشته باشند.

هرچند اندازه‌گیری نانولوله کربنی تک جداره درمحیط کاری، تراکم حدود ۱ میکروگرم بر مترمکعب را نشان داده است. همانطور که مثال بالا نشان داده است، ۱ میکروگرم بر مترمکعب حدوداً مساوی با $۱۰^۹$تا$۱۰^{۱۱}$ لیف در هر مترمکعب است که اختلاف زیادی بین مقادیر معیار عددی[1] و تجربی را نشان می‌دهد.

به علت فقدان روش‌های نمونه برداری و تجزیه معتبر و نیز فقدان معیار شمارش و تعیین تراکم الیاف، امکان پایش مقادیر بالای $۱۰^۴$ لیف در هر مترمکعب در کارخانه‌ها وجود ندارد.

در عمل وسایل قرائت مستقیم مانند CPC برای ارزیابی تراکم‌های پایین مناسب نیستند. میزان $۱۰^۴$ لیف در هر مترمکعب معادل ۱۰^{-2}لیف در هر مترمکعب در مقایسه با حد تشخیص پایین $۱۰^۲$لیف در هر مترمکعب برای این وسایل هستند. علاوه بر این، مقادیر حدود مجاز موجود برای آزبست، مربوط به الیاف آزاد در هوای کارگاه است در حالیکه تعداد زیادی از نانولوله‌های کربنی تجاری موجود در ساختارهای پیچیده (از بسته‌های در هم تنیده تا به شکل پلت) وجود دارند. هیچ قانون یا قراردادی وجود ندارد که چگونگی بررسی این ساختارهای پیچیده را شرح دهد. لذا تدوین روش‌های تجزیه و تحلیل و تفسیر ضروری است.

1- Number-based benchmark

الف-۴-۴ نتیجه‌گیری

اندازه و چگالی نانو ذرات باید به عنوان معیار طبقه‌بندی برای دست‌یابی به حدود مجاز مواجهه استفاده شود. در غیر این صورت به تفاوت‌های بزرگی (برحسب تراکم جرمی) میان مواجهه با هواسل‌هائی با تراکم عددی مشابه می‌گردد.

مقدار معیار مواجهه با NOAAs لیفی، تراکم عددی $۱۰^{۴}$ در هر متر مکعب است. هرچند ممکن است بخاطر کمبود روش‌های شمارش استاندارد برای نانوالیاف، این امر عملی نباشد (شمارش ساختارهای پیچیده و ترکیبی مشکل است). علاوه بر این، حد کمی نانولوله‌های کربنی بر مبنای جرم برابر ۱ میکروگرم بر مترمکعب است که تقریبا معادل $۱۰^{۹}$ تا $۱۰^{۱۱}$ لیف در هر مترمکعب است. این امر نیاز به توسعه روش‌های نمونه برداری و تجزیه و تحلیل حساس برای شناسایی و تعیین مقدارنانولوله کربنی در حدود مجاز مواجهه دارد.

پیوست ب
(اطلاعاتی)
کتابنامه

1- Kroto H.W., Heath J.R., O'Brian S.C., Curl R.F., Smalley R.E. C60: Buckminsterfullerene. *Nature*. 1985, vol. 318, pp. 162–163.
2- Iijima S. 'Helical Microtubules of Graphitic Carbon'. *Nature*. 1991, vol.354, pp. 56–58.
3- Current Intelligence Bulletin N.I.O.S.H.63. *Occupational Exposure to Titanium Dioxide*, 2011. www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/.
4- Pope C.A., Burnett R.T., Thurston G.D. et al. 'Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease'. *Circulation*. 2004, vol.109, pp. 71–74.
5- Donaldson K., Murphy F.A., Duffin R., Poland C. 'Asbestos, carbon nanotubes, and the pleural mesothelium: A review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura inflammation and mesothelioma'. Part. *Fibre Toxicol*. 2010, vol. 7, pp. 1–17.
6- Tinkle S.S., Antonini J.M., Rich B.A., Roberts J.R., Salmen R., DePree K. et al. 'Skin as a route of exposure and sensitization in chronic beryllium disease'. Environ. *Health Perspect*. 2003, vol.111, no. 9, pp. 1202–1208.
7- Ryman-Rasmussen J.P., Riviere J.E., Monteiro-Riviere N.A.Penetration of intact skin by quantum dots with diverse physicochemical properties'. *Toxicol. Sci*. 2006, vol.91, no. 1, pp. 159–165 Epub 2006 Jan 27.
8- Gulson B. et al. Small amounts of zinc from zinc oxide particles in sunscreens applied outdoors are absorbed through human skin. *Toxicol. Sci*. 2010, vol. 118, no. 1, pp. 140–149.
9- The control of hazardous substances regulations (COSHH) 2002 (as amended). SI 2002, No. 2677. London: HMSO.
10- Fire and explosion properties of nanopowders, RR782 Health and Safety Executive, 2010.
11- Engineered Nanoparticles – *Review of Health and Environmental Safety* (ENHRES) Final report, available at: http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/whats-new/enhres-final-report .
12- NIOSH *Nanotechnology* web page: www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/default.html.
13- Australia S.A.F.E.W.O.R.K.(SWA). 2010, *An Evaluation of MSDS and Labels associated with the use of Engineered Nanomaterials*, Commonwealth of Australia. www.safeworkaustralia.gov.au/NR/rdonlyres/9E6C8E6F-AB31-4A0A-BCD8D31742F25F79/0/AnEvaluationofMSDSandLabelsassociatedwiththeuseofengineerednanomaterials_June_2010.pdf

14- Solids Handling and Processing Association (SHAPA). The webpage can be accessed at:www. shapa.co.uk/dust-collection-control.php.
15- Balazy A ., T oivola M . , R eponen T. , P odgorski A . e t a l . B a s e d p e r f o r m a n c e e v a l u a t i o n o f N 9 5 f i l t e r i n g facepiece respirators challenged with nanoparticles. *Ann. Occup.Hyg.* 2006, vol **50, no.** 3, pp. 259–269.
16- Rengasamy S., King W.P., Eimer B.C., Shaffer R.E. Filtration performance of NIOSH-approved N95 and P100 filtering facepiece respirators against 4 to 30 nanometer-size nanoparticles. *J. Occup. Environ. Hyg*. 2008, vol. 5, no. 9, pp. 556–564.
17- Health and Safety Executive. OC 282/28: Fit testing of respiratory protective equipment. 2003 http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/ocs/200-299/282_28.pdf.
18- Shaffer R., & Rengasamy S. Respiratory Protection Against Airborne Nanoparticles: A Review. *J. Nanopart. Res*. 2009, vol. 11, pp. 1661–1672.
19- Golanski L., Guiot A., Rouillon F., Pocachard J., Tardif F. 'Experimental evaluation of personal protection devices against graphite nanoaerosols: Fibrous filter media, masks, protective clothing, and gloves'. *Hum. Exp. Toxicol*. 2009, vol. 28, pp. 353–359.
20- NANOSAFE dissemination report, 'Are conventional protective devices such as fibrous filter media, respirator cartridges, protective clothing and gloves also efficient for nanoaerosols?' Available at: www.nanosafe.org/scripts/home/publigen/content/templates/show.asp?P=63&L=EN&ITEMID=13.
21- Department of Energy Nanoscale Science Research Centres. Nanoscale science research center: Approach to Nanomaterial ES&H. Revision 2 – June 2007.
22- Packham C. Gloves as chemical protection – Can they really work? *Ann. Occup. Hyg*. 2006, vol. 50, no. 6, pp. 545–548.
23- Health and Safety Executive. Risk Management of Carbon Nanotubes, 2006.
24- NIOSH. *Approaches to Safe Nanotechnology*, Managing Health and Safety Concerns with Engineered Nanoparticles, 2009.
25- Paik S.Y., Zalk D.M., Swuste P. Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposure. *Ann. Occup. Hyg*. 2008, vol. 52, no. 6, pp. 419–428.
26- US EPA US Code of Federal Regulations Title 40, Part 50 Appendix L, Reference method for the determination of fine particulate matter as PM2.5 in the atmosphere, 1998.
27- Brouwer D.H., Gijsbers J.H., Lurvink M.W. Personal Exposure to Ultrafine Particles in the Workplace: Exploring Sampling Techniques and Strategies. *Ann. Occup. Hyg*. 2004, vol.48, no. 5, pp. 439–453.
28- Methner M., Hodson L., Geraci C. Nanoparticle emission assessment technique (NEAT) for the identification and measurement of potential inhalation expsoure to engineered nanomaterails – Part A. *J. Occup. Environ. Hyg*. 2010, vol.7, no.3, pp. 127–132.
29- OECD. 2009. 'No 11: Emmision Assessment for Identification of Sources and Release of Airborne Manufactured Nanomaterials in the Workplace: Compilation of Existing Guidance', ENV/JM/ MONO, 2009, pp.16.

30- Brouwer D., van Duuren-Stuurman B., Berges M., Jankowska E., Bard D., Mark D. From workplace air measurement results toward estimates of exposure? Development of a strategy to assess exposure to manufactured nano-objects. *J. Nanopart. Res*. 2009, vol.11 , pp. 1867–1881.
31- Maynard A.D.,& Aitken R.J. 'Assessing exposure to airborne nanomaterials: Current abilities and future requirements'. *Nanotoxicology*. 2007, vol.1, no. 1, pp. 26–41 [Available at: www informahealthcare.com/doi/abs/10.1080/17435390701314720 and www.informahealthcare.com/doi/abs/10.1080/17435390701314720].
32- Rasmussen P.E., Gardner H.D., Niu J. Buoyancy-corrected Gravimetric Analysis of Lightly Loaded Filters. *J. Air Waste Manag. Assoc*. 2010, vol.60, no. 9, pp. 1065–1077.
33- Rasmussen P.E., Wheeler A., Hassan N., Filiatreault A., Lanouette M. 'Monitoring personal, indoor, and outdoor exposures to metals in airborne particulate matter: risk of contamination during sampling, handling and analysis'. *Atmos. Environ*. 2007, vol.41, pp. 5897–5907.
34- NIOSH. Current Intelligence Bulletin 60: Interim Guidance for Medical Screening and Hazard Surveillance for Workers Potentially Exposed to Engineered Nanoparticles. Available at, 2009www.cdc.gov/niosh/docs/2009-116/.
35- Department of Energy Nanoscale Science Research Centres. Nanoscale science research center: Approach to Nanomaterial ES&H. Revision 2 – June 2007.
36- UK Environment Agency. 'What is a Hazardous Waste?' A guide to the Hazardous Waste Regulations and the List of Waste Regulations in England and Wales (HWR01). Bristol: 2005.
37- Environment Agency. Interim Advice on Wastes containing unbound Carbon Nanotubes, 19 May 2008.
38- Health and Safety Executive. HSG 103: Safe Handling of combustible dusts: Precautions against explosions, 2003.
39- Han J.H. et al. Monitoring multiwalled carbon nanotube exposure in carbon nanotube research facility. *Inhal. Toxicol.* 2008, vol.20, no. 8, pp. 741–749 [Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18569096].
40- Möhlmann C., Welter J., Klenke M., Sander J. Workplace exposure at nanomaterial production processes. Nanosafe 2008. International conference on safe production and use of nanomaterials. *J. Phys.: Conf. Ser*. 2009, vol.170, pp. 012004.
41- Methner M.M. Engineering case reports. Effectiveness of local exhaust ventilation (LEV) in controlling engineered nanomaterial emissions during reactor cleanout operations. *J. Occup. Environ.* Hyg. 2008, vol.5, no. 6, pp. D63–D69 [Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18432476].
42- Demou E., Peter P., Hellweg S. Exposure to manufactured nanostructured particles in an industrial pilot plant. *Ann. Occup. Hyg.* 2008, vol.52, no. 8, pp. 695–706 [Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18931382].
43- Demou E., Stark W.J., Hellweg S. Particle emission and exposure during nanoparticle synthesis in research laboratories. *Ann. Occup. Hyg*. 2009, vol.53, no. 8, pp. 829–838 [Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19703918].
44- Tsai S . - J .C ., Huang R . F. , Ellenbecker M.J. Airborne nanoparticle exposures while using constantflow, constant-velocit y, and air-curtain-isolated fume hoods.

Ann. Occup. Hyg. 2010, vol. **54, no.** 1, pp. 78–87 [Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19933309].

45- NRC [2009]. Science and Decisions: Advancing Risk Assessment. Committee on Improving Risk Analysis Approaches Used by the U.S. EPA, Board on Environmental Studies and Toxicology, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies. Washington, D.C.: The National Academies Press.

46- Nel A.E., Xia T., Madler L., Li N. Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science*. 2006, vol.311, no. 5761, pp. 622–627.

47- Dankovic D., Kuempel E., Wheeler M. An approach to risk assessment for TiO2. *Inhal. Toxicol*. 2007, vol.19, no. 1, pp. 205–212.

48- Kuempel E.D., Tran C.L., Castranova V., Bailer A.J. Lung dosimetry and risk assessment of nanoparticles: Evaluating and extending current models in rats and humans. *Inhal. Toxicol.* 2006, vol.18, pp. 717–724.

49- Tran C.L., Cullen R.T., Buchanan D., Jones A.D., Miller B.G., Searl A. et al. Investigation and prediction of pulmonary responses to dust'. Part II. In: *Investigations into the pulmonary effects of low toxicity dusts. Parts I and II.* Suffolk, UK : Health and Safety Executive, Contract Research Report 216/1999, 1999.

50- Cullen R.T., Jones A.D., Miller B.G., Tran C.L., Davis J.M.G., Donaldson K. et al.*Toxicity of volcanic ash from Montserrat.* Edinburgh, UK: Institute of Occupational Medicine. IOM Research Report TM/02/01, 2002.

51- Lee K.P., Trochimowicz H.J., Reinhardt C.F. Pulmonary response of rats exposed to titanium dioxide (TiO2) by inhalation for two years. *Toxicol. Appl. Pharmacol*. 1985, vol.79, pp. 179–192.

52- Heinrich U., Fuhst R., Rittinghausen S., Creutzenberg O., Bellmann B., Koch W., Levsen K.Chronic inhalation exposure of wistar rats and 2 different strains of mice to diesel-engine exhaust, carbon-black, and titanium-dioxide'. *Inhal. Toxicol*. Vol. 7, no. 4, 199, pp. 533–466.

53- Shvedova A.A., Kisin E.R., Mercer R., Murray A.R., Johnson V.J., Potapovich A.I. et al. Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice. *Am. J. Physiol. Lung Cell. Mol. Physiol*. 2005, vol. 289, no. 5, pp. L698–L708.

54- The Japan Society for Occupational Health. Recommendation of Occupational Exposure Limits (2007-2008). *J. Occup. Health*. 2007, vol.49, pp. 328–344.

55- Kaluza S. et al. Workplace exposure to nanoparticles. European Agency for Safety and Health at Work, Spain, 2009.

56- Greim H. *Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe: Amorphe Kieselsäuren, Toxikologischarbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten*. Wiley-VCH, 1989.

57- Ausschuss für Gefahrstoffe, Technische Regeln für Gefahrstoffe 900 (TRGS 900):Arbeit splatzgrenzwerte, accessed on June 26, 2009. www.baua.de/de/Themen-vonA-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-900.html.

58- NIOSH. Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanof ibers,2010. Av a i l a bl e a t , 2 010 w w w.cdc.gov/ Kuempel niosh/docket/review/docket161A/pdfs/carbonNanotubeCIB_PublicReviewOfDraft.pd f.

59- Kuempel E.D., Geraci C.L., Schulte P.A.Risk assessment approaches and research needs fornanoparticles: An examination of data and information from current studies. In: *Nanotechnology Toxicological Issues and Environmental Safety*, (Si meonova P. P. , O popol N., Luster M.I.eds.). *Springer-Verlag, New York,* 2007, pp. 119–45.
60- Hansen S .F. , L arsen B . H. , Olsen S.L. et al. 'Categorization framework to aid hazard identification of nanomaterials'. *Nanotoxicology*. 2007, vol.**1,** pp. 243–250.
61- Naumann B.D., Sargent E.V., Starkman B. S., Fraser W.J., Becker G.T., Kirk G. D. 'Performance based exposure control limits for pharmaceutically active ingredients'. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1996, vol.**57,** pp. 33–42.
62- Schulte P. A., & Murashov V. Zumwal de , R. Kuempel, E. D. Geraci, C. L. 'Occupational exposurelimits for nanomaterials: state-of-the-art'. *J. Nanopart. Res.* 2010, vol.**12,** pp. 1971–1987.
63- Institut fuer Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) www.dguv.de/ifa/en/fac/nanopartikel/beurteilungsmassst aebe/index.jsp.
64- 'List of Manufactured Nanomaterials and List of Endpoints for phase one of the OECD testing programme'. The website is: www.olis.oecd.org/olis/2008doc.nsf/LinkTo/NT000034C6/$FILE/JT03248749.PDF, OECD (2008).
65- Maynard A.D., Baron P.A., Foley M., Shedova A.A., Kisin E.R., Ca s t r a nova V. 'Exposure to carbon nanotube material: Aerosol release during the handling of unrefined single-wall carbon nanotube material'. *J. Toxicol. Environ. Health A.* 2004, vol. **67,** pp. 87–107.
66- Kuhlbusch T.A., Asbach C., Fissan H., Ghler D., Stintz M. Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review. *Part. Fibre Toxicol.* 2011, vol. 8, p. 22.
67- PAS 136: 2007, Terminology for nanomaterials, British Standards Institution.