استاندارد ملی ایران

۱۲۳۲۵

چاپ اول

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
Institute of Standards and Industrial Research of Iran

ISIRI

12325

1st.edition

آئین کار سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانومواد

Nano technology - Health and safety in nano occupational settings - Code of Practices

ICS:07.30 ; 13.100

به نام خدا

آشنایی با مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن‌ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی(رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه* صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود 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 واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های 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 می‌شود.

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، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین‌ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد(ISO)[1] ،کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به‌عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی(CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، 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 شورای‌عالی استاندارد، اجباری نماید. مؤسسه می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش ، مؤسسهٔ استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این مؤسسه است.

---

* موسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

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

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

" آئین کار سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانومواد "

رئیس:	**سمت و/یا نمایندگی**
قاضی خوانساری، محمود (دکترای تخصصی سم شناسی)	عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی تهران و عضو کمیته فنی متناظر فناوری نانو (ISIRI/TC229)
دبیر:	
نادری، علیرضا (کارشناس ارشد بهداشت حرفه ای)	سرپرست HSE سایت ۲ منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (عسلویه)
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفباء)	
اسماعیل پور، سوسن (کارشناس شیمی)	کارشناس گروه پژوهشی شیمی سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
پاشای آهی، لیلا (کارشناس ارشد شیمی)	کارشناس گروه پژوهشی سلولزی و بسته بندی مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
پوی پوی، حسن (کارشناس ارشد شیمی)	کارشناس ستاد ویژه توسعه فناوری نانو و عضو کمیته فنی متناظر فناوری نانو (ISIRI/TC229)
حاجی قاسم خان، علی رضا (کارشناس ارشد سم شناسی)	عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
ذبیحی، هادی (کارشناس ارشد بیوتکنولوژی)	کارشناس دفتر نانوفناوری سازمان محیط زیست
رایگان، زهرا (کارشناس شیمی)	کارشناس سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
رضا زاده، یزدان (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)	مدیر R&D شرکت نرمین شیمی
سهیلی، فرشید (دکترای الکترونیک)	معاون تحقیق و توسعه شرکت نانوپاک پرشیا

کمیسیون فنی تدوین استاندارد (ادامه)

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفباء)	**سمت و/یا نمایندگی**
سیفی، مهوش (کارشناس ارشد مدیریت دولتی)	مشاور رئیس سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
قهرمانی، محمد حسین (دکترای داروشناسیَ سم شناسی مولکولی)	عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی تهران و عضو کمیته نانوفناوری وزارت بهداشت
مختاری، فهیم دخت (کارشناس ارشد ایمونولوژی)	مسئول آزمایشگاه بیولوژی مولکولی سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
مصطفوی، بیتا (کارشناس ارشد شیمی)	کارشناس دفتر امور تدوین استاندارد سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
نوربخش، رؤیا (کارشناس ارشد سم شناسی)	کارشناس گروه پژوهشی مواد غذایی سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
آشنایی با مؤسسهٔ استاندارد	الف
کمیسیون فنی تدوین استاندارد	ب
پیش‌گفتار	ه
مقدمه	و
۱ هدف	۱
۲ دامنهٔ کاربرد	۱
۳ مراجع الزامی	۱
۴ اصطلاحات و تعاریف	۳
۵ استقرار سیستم مدیریت سلامت، ایمنی و زیست محیطی (**HSE**)	۶
۶ ارزیابی ریسک منابع و فعالیت‌های دارای پتانسیل مواجهه با نانوذرات	۷
۷ بسته بندی، حمل و نقل و نگهداری نانومواد	۹
۸ روش‌های کنترل مواجهه با نانوذرات	۹
۸ ۱ کنترل‌های مهندسی	۹
۸ ۲ کنترل‌های مدیریتی	۱۵
۸ ۳ تجهیزات حفاظت فردی	۲۰
۹ علامت‌گذاری و برچسب‌زنی نانومواد	۲۵
۱۰ دفع پسماندهای آلوده به نانوذرات	۲۶
۱۱ اطلاع رسانی خطرات بالقوه	۲۶

پیش گفتار

استاندارد " آئین کار سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانومواد " که پیش نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط توسعه فناوری نانو مستقر در نهاد ریاست جمهوری در سال ۱۳۸۸ تهیه و تدوین شده در دویست و چهل و دومین اجلاس کمیته ملی استاندارد میکروبیولوژی مورخ ۱۲/۵/ ۸۸ طرح و تصویب گردید. اینک این استاندارد به استناد بند ۳ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

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

منابع و مآخذی که برای تدوین این استاندارد مورد استفاده قرارگرفته به شرح زیر است:

۱ عموعابدینی، قاسم، نادری، علیرضا، ملکوتی خواه، جواد، *راهنمای حمل، استفاده و دفع ایمن نانومواد در محیط های کاری*، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۱۳۸۷

2- ISO/TS 27687:2008, *Nanotechnologies- Terminology and definitions for nano-objects- Nanoparticle, nanofibre and nanoplate*

3- ISO/TR 12885:2008, *Nanotechnologies-Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies*

4- BSI PD 6699-2:2007, *Nanotechnologies – Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials*

5- RJ Aitken, KS Creely, CL Tran, *Nanoparticles: An Occupational Hygiene Review*, HSE, UK, 2004

6- Claude Ostiguy, et al. *Nanoparticles – Actual Knowledge about Occupational Health and Safety Risks and Prevention Measures*, IRSST, report R-470, Montréal (Québec), September 2006

7- U.S. National Institute for Occupational Safety and Health, Centers for Disease Control and Prevention, *Approaches to Safe Nanotechnology-An Information Exchange with NIOSH*, July 2006

8- Department of Energy, Nanoscale Science Research Centers, *Approach to Nanomaterial ES&H,* USA, Rev. 2 – June 2007

9- Claude Ostiguy, et al. *Best Practices Guide to Synthetic Nanoparticle Risk Management,* IRSST, report R-599, Montréal (Québec), January 2009

10- Gina Gerritzen, et al. *A Review of Current Practices in the Nanotechnology Industry*, *Phase two reports: survey of current practices in the nanotechnology workplace,* the International Council on Nanotechnology, November 13, 2006

11- University of New Hampshire, *Nanomaterials Safety Program*, May 21, 2007

12- European Commission, Health & Consumer Protection Directorate, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), *The appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies*, 10 March 2006

13- Virginia Commonwealth University, Office of Environmental Health and safety, *Nanotechnology and Nanoparticles- Safe Working Practices Information,* 2007

14- David Mark, *Nanomaterials: a risk to health at work*?, First International Symposium on Occupational Health Implications of Nanomaterials, Palace Hotel, Buxton, Derbyshire, UK, 12-14 October 2004

15- Eileen Senn, et al. *Controlling Chemical Exposure*, *Concise guidance on 16 components of industrial hygiene controls,* New Jersey Department of Health and Senior Services, Division of Epidemiology, Environmental and Occupational Health Service, October 2000

16- Texas A&M University, *Interim Guideline for Working Safely with Nanotechnology*, USA, 2005

17- Massachusetts Institute of Technology (MIT), *Chemical Hygiene Plan,* Department of Aeronautics & Astronautics, USA, January 2008

18- Elaine L. Chao, John L. Henshaw, *How to Plan for Workplace Emergencies and Evacuations,* U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, OSHA 3088, 2001 (Revised)

19- Iowa State University, *Laboratory Safety Manua*l, USA

20- Stanford Linear Accelerator Center, *Nanomaterial Safety Plan*, August 2008

21- Joseph A. Conti, et al. *Health and Safety Practices in the Nanomaterials Workplace: Results from an International Survey*, American Chemical Society, Environmental Science & Technology, 2008

22- D K Pritchard, *Literature review – explosion hazards associated with nanopowders*, Health & Safety Laboratory (HSL), UK, 2004

23- Occupational Safety and Health Administration, *Hazard Alert: Combustible Dust Explosions*, OSHA FactSheet, DSG 3/2008

24- Health and Safety Executive, *Nanotechnology – Horizons Scanning Information*, Note NOHSIN 1, UK, 2004

مقدمه

فناوری نانو یک حوزه در حال رشد و گسترش می‌باشد. اما همراه با این گسترش و خلق فرصت‌های نو برای ایجاد صنایع، کاربردها و محصولات جدید ممکن است اثرات زیان آوری را بر سلامت انسان و محیط زیست تحمیل کند. در مقیاس نانو، خصوصیات مواد دستخوش تغییرات بسیاری می‌شود. به تبع این تغییرات، پیش‌بینی، شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسک‌های بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی ناشی از نانومواد نیز با چالش مواجه می‌شود.

آزمایشات انجام شده روی خرگوش‌ها نشان داده است نانوذراتی که در ناحیه بینی جایگزین می‌شوند قادرند از طریق اعصاب بویایی مستقیماً به مغز منتقل شوند. بطور کلی، نانوذرات استنشاق شده نسبت به ذرات بزرگتر به میزان بیشتری در ناحیه میانی و تحتانی سیستم تنفسی جایگزین می‌شوند.

مواجهه با نانومواد ممکن است از طریق استنشاق، تماس پوستی و بلع اتفاق افتد. مطالعات حیوانی نشان می‌دهد ذرات بسیار ریز کم محلول ممکن است نسبت به ذرات بزرگتر سمی‌تر باشند. این ذرات به دلیل اندازه بسیار کوچکشان می‌توانند به اعماق ریه نفوذ نموده و از طریق ورود به جریان خون به سایر بخش‌های بدن منتقل شوند.

نانوذرات، به دلیل اندازه کوچک و سطح زیاد، واکنش پذیری بسیار زیادی از خود نشان می‌دهند. همین خصوصیت سبب می‌شود تا نسبت به ذرات درشت‌تر ریسک حریق و انفجار بیشتری ایجاد نمایند. سالهاست که از نانوذرات مهندسی شده و مواد متخلخل نانوساختار، بعنوان کاتالیست، برای افزایش سرعت واکنش‌ها یا کاهش دمای لازم برای واکنش گازها و مایعات به شکل موثری استفاده می‌شود. بسته به ترکیب و ساختار آنها، تعدادی از نانومواد ممکن است باعث واکنش‌های کاتالیستی اولیه (آغازگر) و افزایش خطر آتش گرفتن و انفجار شوند که تنها با توجه به ترکیب شیمیایی آنها قابل پیش بینی نیست. نانوذرات، به علت داشتن سطح وسیع ویژه، ممکن است در زمان استفاده دارای الکتریسیته ساکن زیادی شوند، بطوریکه با پخش شدن در هوا ابر قابل انفجاری را تشکیل داده و می‌توانند خود به خود مشتعل شوند (مانند: نانوپودر آهن).

با توجه به همین ضرورت‌ها، فرضیه‌ها و یافته‌های اولیه، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو در سال ۱۳۸۶ تدوین راهنمایی تحت عنوان " راهنمای حمل، استفاده و دفع ایمن نانومواد" را آغاز نمود. این پروژه در اسفند ۱۳۸۶ به وسیله پارک علم و فناوری دانشگاه تهران شروع و در پاییز ۱۳۸۷ به ستاد ویژه توسعه فناوری نانو تحویل گردید. بنابراین آنچه که در این استاندارد ارائه شده به طور عمده نتایج حاصل از پروژه مذکور می‌باشد، ولیکن آخرین مستندات منتشر شده در فاصله زمانی پاییز ۱۳۸۷ تا زمان تدوین این استاندارد نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

بنابراین ضروری است کلیه مسئولین و مدیران محیط‌های کاری نانو، پس از انجام ارزیابی های لازم، جهت کنترل ریسک‌های بهداشتی و ایمنی نانومواد، اقدام‌های لازم را بعمل آورند. اگرچه هنوز استانداردها و راهنماهای ویژه‌ای برای ارزیابی و کنترل ریسک‌های مذکور وجود ندارد، لیکن تحقیقات اولیه نشان می‌دهند

مقدمه (ادامه)

روش‌ها یا سامانه‌های کنترلی مورد استفاده برای آزمایشگاه‌ها یا کنترل آئروسل‌ها، برای کنترل ریسک‌های بهداشتی و ایمنی نانومواد موثر خواهند بود.

این استاندارد راهنمایی برای انتخاب روش‌های مناسب کاهش مواجهه با نانوذرات و حذف یا کاهش ریسک فاکتورها جهت تأمین سلامت و ایمنی کارکنان و کاهش اثرات زیست محیطی می‌باشد. لذا این راهنماها به هیچ‌وجه مانع از تلاش مدیران و مسئولین محیط‌های کاری نانو برای ایجاد یا بهبود شیوه‌های اختصاصی ارزیابی و کنترل خطرات و تأیید کفایت کنترل‌های بکارگرفته شده برای حفاظت از سلامت کارکنان نمی‌باشد. در حال حاضر، با توجه به فقدان اطلاعات کافی و متقن در زمینه سمیت انواع نانومواد، روش ارزیابی ریسک ناشی از آن‌ها و اثربخشی شیوه‌های مختلف کنترل، این استاندارد مورد استفاده قرار می گیرد.

آئین کار سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانومواد

۱ هدف

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه راهنمایی‌هایی است که بتواند در محیط‌های کاری نانو به ایجاد کنترل‌های اختصاصی و در نتیجه حفظ سلامت و ایمنی کارکنان و محیط زیست کمک کند.
این استاندارد همچنین راهنمایی‌هایی برای موارد نامعلوم موجود در زمینه نانومواد‌ی که خطرات آن‌ها هنوز تعیین نشده است را ارائه می‌دهد که به کاهش ریسک آسیب دیدگی کارکنان، سلامت ایشان و اثرات منفی زیست محیطی ناشی از آن‌ها به یک سطح قابل پذیرش کمک می کند.

۲ دامنه کاربرد

این استاندارد در کلیه محیط‌های کاری نانو کاربرد داشته و بایسته است توسط مدیران، متخصصین و کارکنان کلیه محیط‌های کاری نانو با هدف ایجاد محیط کار سالم، حفظ سلامت کارکنان، آموزش کارکنان، تهیه آئین های کار اختصاصی و تهیه تجهیزات و امکانات ایمنی مورد نیاز بکار گرفته شود. راهنماهای ارائه شده در این استاندارد می‌تواند جهت مدیریت موضوعات بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی مرتبط با موارد زیر مورد استفاده قرار گیرد:

الف نانومواد مهندسی شده؛

ب نانوذرات؛

پ مواد اولیه مورد استفاده در سنتز نانومواد و مواد بینابینی و پسماندهای حاصل از سنتز آنها؛

ت آزمایشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی نانو.

۳ 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 می‌شود.
در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن موردنظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است .
استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

3-1 ISO/TR 27628:2007 *Workplace Atmospheres - Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols – Exposure characterization and assessment,* First edition

3-2 ASTM E-2535:2007 *Standard Guide for Handling Unbound Engineered Nanoscale Particles in Occupational Settings*

3-3 BSI OHSAS 18001:1999, *Occupational Health and Safety Management Systems – Specification*

۴ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر بکار می رود:

۱ ۴

محیط‌های کاری نانو

به محیط‌هایی اطلاق می‌شود که در آنها ذرات نانومقیاس مهندسی شده ساخت، تولید، استفاده یا فرآوری می‌شوند. برخی از این محیط‌های کاری عبارتند از: مراکز تحقیق و توسعه، مراکز صنعتی و آزمایشگاه‌های کنترل کیفی.

۲ ۴

نانومقیاس[1]

محدوده اندازه از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر متغیر است.

[استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۰۹۸ : ۱۳۸۸]

۳ ۴

نانو شیء[2]

ماده‌ای است که یک، دو یا سه بعد خارجی آن در مقیاس نانو است.

یادآوری- این یک اصطلاح عمومی برای اشیای نانومقیاس مجزا است.

[استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۰۹۸ : ۱۳۸۸]

۴ ۴

نانوذره [3]

نانوشیئی (به بند ۴ ۳ مراجعه شود) که هر سه بعد آن در مقیاس نانو می‌باشد.

[استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۰۹۸ : ۱۳۸۸]

1 - Nanoscale
2 - Nano-Object
3 -Nanoparticle

یادآوری چنانچه طول درازترین و طول کوتاهترین محورهای یک نانوشی تفاوت بیش از سه برابر داشته باشد اصطلاح نانومیله یا نانوصفحه باید منظور شود.

۴ ۵

نانوذرات مهندسی شده[1]

نانوذراتی هستند که بطور عمدی و با هدف ایجاد خصوصیات ویژه تولید شده‌اند.

[ISO/TR 27628:2007]

۴ ۶

ذرات نانومقیاس مهندسی شده پیوند نشده[2] **(UNP)**

آن دسته از ذرات نانومقیاسی هستند که درون یا روی یک ماتریکس (مانند: یک ماتریکس پلیمری) قرار نداشته و در دما و فشار محیط می‌توانند در هوا پخش شده و مدت ها معلق باقی بمانند.

[ASTM E 2535:2007]

۴ ۷

ذره اولیه[3]

ذره‌ای که از تجمع ذرات کوچک‌تر بوجود نیامده باشد و در خلال مرحله هسته زایی[4] در فاز بخار و قبل از انعقاد تشکیل می‌شود.

[ISO/TR 27628:2007]

۴ ۸

انبوهه [5]

ذره‌ای است شامل ذرات جوش خورده یا با پیوند قوی که مساحت سطح خارجی حاصل آن می‌تواند به طور چشمگیری از مجموع مساحت های سطح محاسبه شده برای تک تک اجزاء کوچک‌تر باشد.

[استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۰۹۸ : ۱۳۸۸]

یادآوری ۱ نیروی که یک انبوه را یکپارچه نگه می دارد نیروهای قوی‌اند، مانند: پیوندهای اشتراکی، یا نیروهای ناشی از تف جوشی یا گره خوردگی فیزیکی پیچیده.

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

1 - Engineered Nanoparticles
2 - Unbound Engineered Nanoscale Particles (UNP)
3 - Primary Particle
4 - Nucliation
5- Aggregate

۹ ۴

کلوخه[1]

مجموعه‌ای از ذرات با اتصال سست یا انبوهه‌ها یا مخلوط هایی دوتایی که مساحت سطح خارجی منتجه آن مشابه مجموع مساحت های سطح تک تک اجزاء است.

[استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۰۹۸ : ۱۳۸۸]

یادآوری ۱ نیروهایی که کلوخه را یکپارچه نگه می دارد نیروهای ضعیف اند، مانند: نیروهای واندروالس و همین طور گره خوردگی فیزیکی ساده.

یادآوری ۲ کلوخه ها را ذرات ثانویه نیز می نامند.

۱۰ ۴

نانوهواسل[2]

هواسل‌های نانومقیاس که در آن نانوذرات یا قطره های نانومقیاس درون مواد فاز گازی پراکنده شده‌اند.

[ISIRI]

۱۱ ۴

ذره نانوساختار[3]

ذره‌ای با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر است که ممکن است خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و یا زیستی آن را تحت تأثیر قرار دهد. ذره نانوساختار ممکن است در یکی از ابعاد، بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر باشد. بطور مثال یک کلوخه با قطر ۵۰۰ نانومتر متشکل از تعدادی نانوذره، یک ذره نانوساختار درنظر گرفته می‌شود.

[ISO/TR 27628:2007]

۱۲ ۴

نانومواد[4]

موادی که یا نانوشی یا نانوساختار هستند.

[استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۰۹۸ : ۱۳۸۸]

۱۳ ۴

فیلتر HEPA[5]

1- Agglomerate
2 - Nanoaerosol
3 - Nanostructured Particle
4 - Nanomaterials
5 - High-efficiency Particulate Air (HEPA) Filter

فیلتری که قادر است ذرات ۳۰۰ نانومتر را با بازده حداقل ۹۹/۹۷٪ جمع آوری و نگهداری کند. به عبارتی از هر ۱۰۰۰۰ ذره ۳۰۰ نانومتری فقط ۳ ذره می‌تواند از این فیلتر عبور کند.

۴ ۱۴

فیلتر ULPA[1]

فیلتری که قادر است ذرات ۱۲۰ نانومتر را با بازده حداقل ۹۹/۹۹۹٪ جمع آوری و نگهداری کند.
[ASTM E 2535:2007]

۴ ۱۵

فاکتور حفاظت[2] (APF)

سطحی از حفاظت تنفسی است که پیش‌بینی می‌شود در محیط کار توسط یک وسیله حفاظت تنفسی یا گروهی از وسایل حفاظت تنفسی، به شرط اجرا و نگهداری موثر برنامه حفاظت تنفسی، برای کارکنان تأمین گردد. فاکتور حفاظت که در واقع نشانگر کارآیی و راندمان وسیله حفاظت تنفسی است از طریق آزمون‌های کمی تناسب[3] تعیین می‌شود که مقدار عددی آن برابر است با غلظت آلاینده در خارج از ماسک تقسیم بر غلظت آلاینده در داخل ماسک. برای مثال، اگر فردی در محیطی که غلظت آلاینده مورد نظر در آن برابر ppm ۱۰۰ است از ماسکی با فاکتور حفاظتی ۲۰ استفاده کند، انتظار می‌رود که غلظت آلاینده در درون ماسک از ppm ۵ بیشتر نباشد. مقادیر فاکتور حفاظتی بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و با در نظر گرفتن فاکتورهای متنوعی از قبیل؛ نشت به داخل بدلیل نفوذ از فیلتر و اطراف ماسک بدست آمده است. در حال حاضر اطلاعات خاصی درباره نشت ذرات نانو به داخل ماسک در دسترس نیست.

۴ ۱۶

ریسک

ترکیبی از احتمال و پیامد ناشی از وقوع یک رخداد خطرناک است.
[BSI OHSAS 18001:1999]

۴ ۱۷

ارزیابی ریسک[4]

فرآیند کلی برآورد بزرگی ریسک و تصمیم در زمینه پذیرش یا عدم پذیرش آن است.
[BSI OHSAS 18001:1999]

1 - Ultra Low Penetration Air (ULPA) Filter
2 - Assigned Protection Factor (APF)
3 -Quantitative Fit Test
4 - Risk Assessment

۱۸ ۴

برگه اطلاعات ایمنی مواد[1] (MSDS)

این برگه یک بولتن حاوی جزئیات و اطلاعات مفصل است که توسط سازنده یا تأمین‌کننده یک ماده شیمیایی تهیه می‌شود و حاوی اطلاعاتی مانند: خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، خطرات فیزیکی (ایمنی) و بهداشتی، راههای مواجهه، احتیاط‌های لازم برای حمل و نقل و استفاده ایمن، روش‌های واکنش در مواقع اضطراری و ارائه کمک های اولیه و روش‌های کنترل مواجهه می‌باشند.

۵ استقرار سیستم مدیریت سلامت، ایمنی و زیست محیطی[2] (HSE)

۵ ۱ در کلیه محیط‌های کاری نانو برای دستیابی به اهداف کنترلی و به حداقل رساندن مواجهه افراد با ذرات نانومقیاس باید برنامه‌ای تهیه شود. این برنامه باید کلیه فعالیت‌های سازمان طی مراحل مدیریت، برنامه ریزی و اجرا را در برگیرد.

۵ ۲ خط مشی مکتوبی باید توسط مدیر ارشد سازمان تهیه شود. در این خط مشی باید برای به حداقل رساندن مواجهه شغلی با ذرات نانومقیاس تا پائین‌ترین حد قابل اجرا[3] (ALARP) اشاره شود. این خط مشی باید به اطلاع کلیه کارکنان سازمان رسانده شده و در روش‌های اجرایی، دستورالعمل‌ها و مواد آموزشی، طراحی امکانات و تأسیسات، دستورالعمل‌های صادره برای طراحان، فروشندگان و استفاده کنندگان منعکس شود.

۵ ۳ برای اجرای موثر برنامه کاهش مواجهه افراد به میزان ALARP، براساس توصیه‌های این آئین‌کار و سایر مستندات معتبر، باید ساختار سازمانی مورد نیاز ایجاد و مسئولیت‌ها مشخص شود.

۵ ۴ کلیه فعالیت‌های برنامه کاهش مواجهه با ذرات UNP باید مستند شوند. با توجه به مشخصات این برنامه مستنداتی که باید تهیه، نگهداری و به روزآوری شوند باید حداقل شامل موارد زیر باشند:

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

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

پ- نتیجه ارزیابی‌های کیفی و یا کمی مواجهه با ذرات UNP، ارزیابی ریسک و تجزیه و تحلیل خطر؛

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

1 - Material Safety Data Sheets (MSDS)
2- Health, Safety and Environmental Management System (HSE-MS)
3 - As Low As Reasonably Practicable (ALARP)

ث- مقررات کار، آئین‌های کار، روش‌های اجرای کار[1](SOP)، خط‌مشی‌ها و روش‌های مقابله با وضعیت‌های اضطراری؛
ج- مواد آموزشی کارکنان و گواهی های تأئیدکننده گذراندن آموزش‌های قبل از شروع کار و بازآموزی آن‌ها؛
چ- برنامه زمان‌بندی و روش‌های بازنگری متناوب و اصلاح برنامه کاهش مواجهه، به روزآوری مستندات برنامه و گزارش نتایج؛
خ- برنامه زمان‌بندی تعمیر و نگهداری، صدور گواهی (مانند: صدور گواهی جهت تأیید عملکرد و اثربخشی تجهیزات کنترلی) و کالیبراسیون تجهیزات (مانند: تجهیزات اندازه گیری و پایش ذرات نانومقیاس در محیط کار).

۶ ارزیابی ریسک منابع و فعالیت‌های دارای پتانسیل مواجهه با نانوذرات

۶ ۱ باید فهرستی از فرآیندها و فعالیت‌های دارای پتانسیل مواجهه با نانوذرات تهیه شود.

۶ ۲ با استفاده از اطلاعات نوشته شده در برگه اطلاعات ایمنی مواد (MSDS)، اطلاعات آماری و شواهد حاصل از مطالعات علمی، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، حالت و شکل حضور نانوذرات در محیط کار (ذرات اولیه یا به شکل توده اگریگیت/آگلومره) باید مورد ارزیابی قرارگیرد. در صورت عدم وجود اطلاعات اختصاصی در مورد یک ماده باید از استانداردهای موجود برای مواد مشابه (در اندازه های درشت تر) برای ارزیابی کیفی ریسک و پیش بینی خطرات بالقوه از نانوذرات/مواد استفاده شود.

۶ ۳ برای ارزیابی ریسک مواجهه افراد با نانوذرات می‌توان از سوالات زیر کمک گرفت:
الف نانومواد به چه شکل مورد استفاده قرار می‌گیرند (پودر، سوسپانسیون یا محلول و یا روی یا درون یک ماتریکس)؟
ب آیا امکان آزاد شدن نانوذرات و مواجهه با آن‌ها وجود دارد؟
پ نانوماده/مواد مورد استفاده دارای چه خطرات شناخته شده‌ای (مانند: قابلیت اشتعال[2]، سمیت[3]، سرطان زایی[4] یا واکنش پذیری زیاد[5]) می‌باشد؟
ت نانوذرات در محیط به کدام یک از اشکال ذرات اولیه، آگلومره یا اگریگیت وجود دارند؟
ث مکان‌هایی که امکان وجود نانوذرات در هوا، روی سطوح محیط کار یا مکان‌های دیگری که ممکن است افراد در معرض قرار گیرند کدام‌اند؟

1 - Standard Operating Procedures (SOP)
2 - Flammability
3 - Toxicity
4 - Carcinogenicity
5 - High Reactivity

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

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

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

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

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

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

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

ر مقدار نانومواد مورد استفاده چقدر است؟

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

ز تمایل نانومواد به انتشار در هوا[1] (به شکل ذرات جامد یا ذرات اسپری یا قطرات کوچک) چقدر است؟

س منبع انتشار نانوذرات به چه میزان محصور[2] است یا فرد در معرض به چه میزان حفاظت شده است؟

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

۴ ۶ قبل از اقدام به تعمیر و تمیزکاری تجهیزات یا خارج کردن آنها از محیط کار باید کاملاً از آنها رفع آلودگی شود، چون تعمیر و نگهداری سیستم‌های تولید (مانند: تمیز کردن و تخلیه مواد از سیستم‌های جمع کننده نانوذرات) ممکن است سبب مواجهه با نانوذرات در اثر پخش شدن مجدد نانوذرات ته‌نشین شده شود.

1 - Dustiness
2 - Containment

۶ ۵ در صورت امکان، استفاده از فناوری‌های تمیز کردن در محل[1] توصیه می‌شود. این فناوری ممکن است نیاز به باز شدن در مخازن فرآیند را حذف و در نتیجه احتمال آزاد شدن نانوذرات در زمان تمیز کردن را به حداقل برساند.

۶ ۶ فعالیت‌های تعمیر و نگهداری باید به گونه‌ای طرح‌ریزی شوند تا از طریق به حداقل رساندن تعداد فعالیت‌ها و زمان تعمیرات، موجب کاهش زمان مواجهه افراد با نانوذرات شوند.

۶ ۷ نشت اتفاقی نانوذرات در اثر بروز نقص در تجهیزات فرآیندها باید پیش‌بینی شده و تدابیر لازم اتخاذ شود. بطور مثال در فرآیندهای با فشار بالا (مانند: تکنیک های با سیال فوق بحرانی[2]) یا با نیروهای مکانیکی بسیار قوی، نشت اتفاقی نانوذرات در اثر نقص درزبندی رآکتور یا آسیاب‌ها محتمل می‌باشد.

۷ بسته بندی، حمل و نقل و نگهداری نانومواد

سفارش می‌شود تا زمان دستیابی به اطلاعات متقن علمی در زمینه ماهیت و سطح خطرات هر یک از نانومواد، نانومواد و پسماندهای آلوده به آن‌ها جزء مواد خطرناک درنظرگرفته شده و مطابق با مقررات و استانداردهای موجود برای مواد خطرناک با آن‌ها رفتار شود.

۸ روش‌های کنترل مواجهه با نانوذرات

۸ ۱ کنترل‌های مهندسی

۸ ۱ ۱ با توجه به کمبود اطلاعات، نانوذرات نباید بعنوان ذرات بسیار کوچکی از موادی تلقی شوند که ریسک آن‌ها، بویژه ریسک سم شناسی‌شان[3]، کاملاً شناخته‌شده بوده و مستند می‌باشند. به همین دلیل، بکارگیری اقدامات احتیاطی[4] به شدت توصیه می‌شود. اقدامات احتیاطی باید:

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

ب با سطح حفاظت مورد نظر متناسب باشند.

پ دائماً بازنگری شوند.

۸ ۱ ۲ راهبردهای مختلف کنترل مواجهه شغلی با نانومواد عبارتند از: حذف خطر[5]، جایگزینی مواد و فرآیندهای پرخطر با مواد و فرآیندهای کم خطر[6]، محصورکردن[7]، کنترل‌های مهندسی[8]، کنترل‌های

1 - Clean in Place (CIP)
2 -Supercritical Fluid Techniques
3 -Toxicological Risk
4 - Precautionary Measures
5 - Elimination
6 - Substitution
7 -Enclose
8 - Engineering Controls

مدیریتی[1] و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی[2] . برای دستیابی به اثربخشی موردنظر، ترتیب اجرای این کنترل‌ها را (از بالا به پایین) مطابق شکل ۱ رعایت نمائید. در عمل معمولاً ترکیب مناسبی از این استراتژی ها، بهترین شیوه کنترل مواجهه را فراهم خواهد کرد.

شکل ۱ نمایشی از ترتیب اجرای روشهای کنترل مواجهه براساس اولویت

۸ ـ ۳ طراحی دقیق و موثر فرآیندها نقش موثری در پیشگیری از وقوع مواجهه‌های شغلی با نانوذرات دارد. در برخی شرایط، نصب برخی تجهیزات یا فرآیندها، با هدف اصلاح نواقص موجود در طرح اولیه، می‌تواند بسیار مشکل باشد. به همین دلیل در مرحله طراحی باید به جانمایی تجهیزات و تأسیسات[3]، نصب، فرآیندها، نحوه کار تجهیزات و ایستگاه‌های کار[4] توجه ویژه‌ای شود. فعالیت‌های مرحله طراحی عبارتند از: تهیه طرح‌های ساختمانی، طرح ریزی فرآیند خرید، تولید، بسته بندی، انبارداری، حمل و نقل و دیگر سیستم های مورد نیاز.
طراحی موثر از طریق شناسایی ریسک فاکتورهای مواجهه[5] (مانند: اندازه ذرات، ماهیت یا رفتار ذرات) در فرآیندها و روش‌های مختلف تولید و حذف یا به حداقل رساندن آن‌ها از وقوع مواجهه‌های شغلی افراد با نانوذرات پیشگیری می‌نماید.

۸ ـ ۴ در صورت امکان، از مواد و فرآیندهای کم خطرتر استفاده نمائید. جایگزینی مواد و فرآیندهای پرخطر با مواد و فرآیندهای کم خطرتر علاوه بر حذف احتمال مواجهه می‌تواند سبب کاهش یا حذف

1 - Administrative Controls
2 - Personal Protective Equipments (PPE)
3 - Positioning the Plant
4 - Workstations
5 - Exposure Risk Factors

پسماندها و هزینه های ناشی از دفع یا برطرف نمودن اثرات زیست محیطی شود. نمونه‌هایی از جایگزینی عبارتند از:

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

ب- استفاده از نانوساختارهایی که روی مواد جامد محکم شده‌اند؛

پ تغییر شکل فیزیکی مواد یا محصول مانند استفاده از نانوذرات به شکل معلق در مایعات[1]، خمیر[2]، گرانول یا کامپوزیت به جای استفاده از پودرها یا آئروسل‌ها؛

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

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

ج استفاده از تجهیزاتی که از مقادیر کمتر مواد سمی یا مواد با سمیت کمتر استفاده نموده یا تولید می‌کنند؛

چ اصلاح ذره مانند پوشش دهی. برای مثال پوشش دهی ذرات نقاط کوانتومی با یک پوشش از جنس سیلیس به طور موفقیت آمیزی مانع از فعل و انفعال کادمیم(Cd)، سلنیوم(Se)، روی(Zn) و گوگرد(S) با پروتئین ها و DNA در هسته شده و در نتیجه از اثر سمی آن‌ها روی ژن[3] ممانعت می‌کند. همچنین اصلاح ساختارهای مفتولی شبه فلز از جنس کادمیوم سلنیوم[4](CdSe) از طریق افزایش پایداری ترمودینامیکی سبب کاهش امکان تجزیه این ساختارها به اجزاء کادمیم(Cd) و سلنیوم(Se) می‌شود.

۸ ـ ۵ انتخاب روش‌های مختلف کنترل مهندسی در محیط‌های کار باید براساس نتیجه حاصل از ارزیابی و تعیین سطح ریسک انجام شود. مطابق اصول کنترل مواد خطرناک برای سلامتی[5]، برای کنترل آلاینده‌های هوابرد شیوه های زیر رعایت شوند:

الف بیشترین ریسک دریافت مشاوره از متخصصین مربوط

ب ریسک زیاد محصور کردن فرآیند

پ ریسک کم اجرای کنترل‌های مهندسی موضعی مانند تهویه مکشی موضعی[6](LEV)

عملکرد سامانه‌های تهویه مکشی موضعی ارتباط زیادی با کیفیت و کارآیی طراحی و نگهداری آن‌ها دارد. لذا کنترل سامانه‌ها و نگهداری سوابق آن‌ها مهم است. همچنین استفاده از تجهیزات پایش in-line در نقاط کلیدی این سامانه‌ها (مانند: پشت هود و میان فیلترها) ضروری است. یک سامانه تهویه خوب طراحی شده به خوبی می‌تواند برای کنترل نانومواد مهندسی شده هوابرد استفاده شود به شرط اینکه ورودی سامانه مکش به درستی و در جای مناسب قرار گرفته و سرعت ربایش کافی بطور مداوم تأمین شود. چنانچه سرعت مکش

1 - Dispersions
2 - Paste
3 - Genotoxicity
4 - CdSe metalloid Core structures
5 - Control of Substances Hazardous to Health (COSHH) Essentials
6 - Local Exhaust ventilation (LEV)

هوا در دهانه هود خیلی بالا باشد، آشفتگی ایجاد شده در جریان هوا[1] ممکن است سبب فرار مواد از دهانه هود و در نتیجه اتلاف مواد و تنفس آنها توسط کارکنان شود. سیستم‌های LEV موثرترین روش کنترل در عملیاتی همچون مخلوط کردن، بازیافت، بسته بندی و وزن کردن (که امکان محصور کردن و انجام آن در مدارهای بسته وجود ندارد) می‌باشد. تهویه موضعی بطور متداول در فرآیندهای جوشکاری و برشکاری فلزات استفاده می‌شود. این فرآیندها که سال‌هاست مورد استفاده هستند تعداد قابل ملاحظه‌ای از ذرات در ابعاد نانو تولید می کنند.

ت کم ترین ریسک انجام تهویه عمومی[2]

تهویه عمومی از طریق رقیق کردن یا جابجایی هوا و در نتیجه کاهش غلظت نانوذرات زمینه ممکن است به حذف نانوذرات در منبع تولید کمک کند.

۸ ۱ ۶ مشخصات فنی و کیفیت سامانه‌های تهویه موضعی مدنظر برای جمع آوری نانوذرات، باید مشابه مشخصات فنی و کیفیت سامانه‌های مورد استفاده برای جمع آوری گازها و بخارات باشد.

۸ ۱ ۷ از طریق ایجاد فاصله، موانع، اتاق‌های کنترل، کابین‌ها یا اتاقک‌های جداسازی (در جاهایی که فرآیند بسیار آلوده می‌باشد)، فرآیندهای بسته، فناوری ربوتیک یا تهویه موضعی، خود را از عملیات، فرآیندها، تجهیزات یا محیط‌های خطرناک که امکان مواجهه با نانومواد وجود دارد جدا و در نتیجه ایمن نگهدارید. کربن سیاه، دمه‌های[3] سیلیس، دی اکسید تیتانیم (TiO_2)، فلزات و اکسیدهای فلزی از جمله نانوذراتی هستند که توصیه می‌شود در مدارهای بسته تولید شوند. در غیر اینصورت، عملیات در برگیرنده این نانوذرات باید محصور شوند.

۸ ۱ ۸ از کار کردن با نانوذرات یا نانومواد‌ی که امکان انتشار ذرات نانو از آنها وجود دارد در هوای باز پرهیز کنید. این فعالیت‌ها را در فضاهای محصور انجام دهید. نمونه این فضاها عبارتند از: هودهای آزمایشگاهی، هودهای فیوم، کیسه‌های دستکش‌دار[4]، جعبه‌های دستکش‌دار یا کابینت‌های ایمنی زیستی[5] (BSC). در صورت عدم امکان محصور کردن فعالیت یا فرآیند کار، از هودهای خارجی مثل هودهای دریافت کننده و هود اسنورکل[6] استفاده کنید. هودهای فیوم معمول‌ترین کنترل مهندسی هستند که توسط برخی از سازمان‌ها برای کنترل انواع متنوعی از نانومواد مانند نانوپودرها، نانولوله های کربنی، تعلیق‌های کلوئیدی، فولرین‌ها، ذرات کوانتومی، پلیمرها، نانوسیم‌ها، نانوبلورها و کربن سیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یکی از مشکلات استفاده از کیسه‌های دستکش‌دار تولید الکتریسته ساکن است که می تواند هنگام کار با نانومواد قابل اشتعال یا قابل انفجار مشکل ایجاد کنند. کابینت‌های ایمنی زیستی برای حفاظت کارکنان در

1 -Turbulence
2 - General Ventilation
3 -Fume
4 - Glove Bags
5 - Biological Safety Cabinet (BSC)
6 - Snorkel Hood

برابر عوامل بالقوه خطرناک طراحی شده‌اند که هم اکنون توسط برخی از سازمان‌های تولید یا مصرف کننده نانومواد مورد استفاده قرار می‌گیرند. کابینت‌های ایمنی زیستی کلاس۳ یک فضای بسته غیرقابل نفوذ در برابر گاز است که بیشترین حفاظت را برای محیط و کارکنان فراهم می‌کنند. در این کابینت‌ها هم هوای ورودی و هم هوای خروجی از کابینت توسط فیلتر HEPA فیلتر می‌شود.

۸ ـ ۹ در جاهایی که فرآیند یا منبع آلودگی محصور شده‌است فشار هوای داخل این فضا باید نسبت به هوای اطراف (به ویژه هوای محوطه تنفسی فرد) منفی باشد تا از انتشار آلودگی به بیرون جلوگیری شود. بالعکس چنانچه فرد توسط اتاقک‌های جداکننده یا اتاقک‌های کنترل، از فرآیند یا عملیات خطرناک جدا شده باشد این فضا باید دارای فشار مثبت باشد.

۸ ـ ۱۰ از هودهای لامینار با جریان افقی[1] که سبب هدایت جریان هوای فیلتر شده (با فیلتر HEPA) به سمت صورت کاربر می‌شوند برای کار با نانومواد استفاده نکنید.

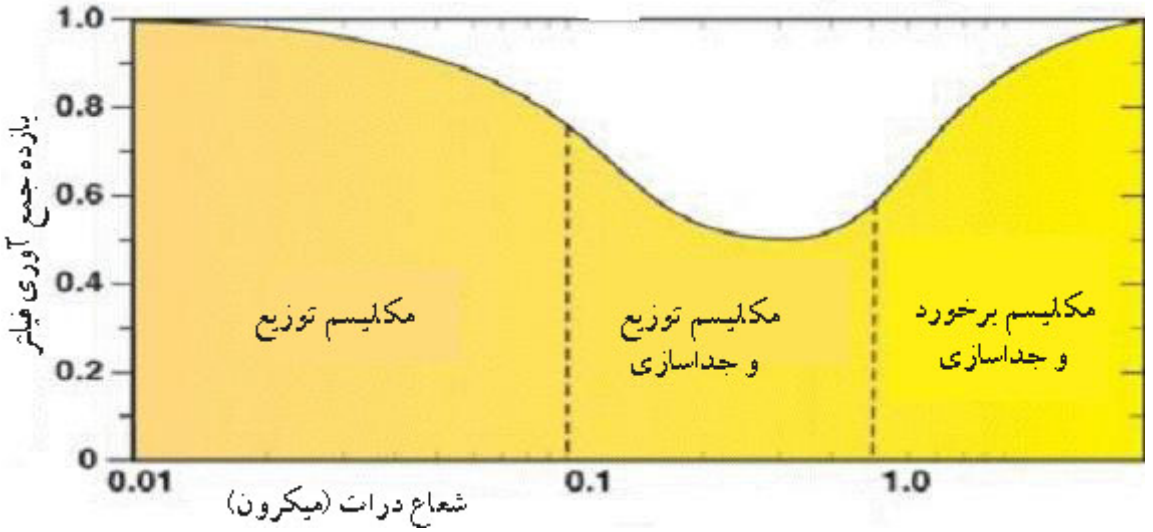
۸ ـ ۱۱ بین ناحیه جدا شده و نواحی دیگر نباید از طریق سیستم تهویه، محفظه‌های یکنواخت کننده فشار در سقف[2]، مسیرهای عبور لوله‌ها و حفره‌های داخل دیوارها ارتباطی وجود داشته باشد. سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع (HVAC) نیز در محیط های کاری نانو باید به‌گونه‌ای طراحی، نصب و نگهداری شوند که سبب انتقال نانوذرات از محیط تولید به فضاهای کاری مجاور نشوند.

۸ ـ ۱۲ سیستم های تهویه موضعی و مکنده‌های مورد استفاده برای جمع آوری ذرات نانو باید به فیلترهای HEPA و یا فیلترهای ULPA تأیید شده مجهز باشند. این فیلترها فیلتر موثری برای جمع آوری نانوذرات در سیستم‌های مکنده می‌باشند. با توجه به ابعاد و خصوصیات فیزیکی نانوذرات، بازده فیلترهای HEPA برای جمع‌آوری اکثر نانوذرات حتی از ۹۹/۹۷٪ هم بیشتر خواهد بود. تعویض این فیلترها باید به طریق ایمن و بدون آزاد شدن نانوذرات در هوای محیط کار انجام پذیرد. شکل ۲ مکانیسم‌های جمع‌آوری ذرات توسط فیلترها و میزان بازده آنها را نشان می‌دهد. ذرات بزرگتر از ۳۰۰ nm، با بیشترین بازده، به‌وسیله مکانیسم‌های برخورد[3]، جداسازی[4] و ته نشینی ثقلی جمع‌آوری می‌شوند. در ذرات کمتر از ۱۰۰ nm مهمترین مکانیسم، مکانیسم توزیع[5] برونین می‌باشد. با توجه به این مکانیسم، با افزایش حرکات تصادفی ناشی از توزیع برونین و کاهش اندازه ذره، بازده فیلتر افزایش می‌یابد. به همین دلیل فیلترها، جمع‌کننده های خوبی برای ذرات نانو خواهند بود. لیکن در ذرات بین ۳۰۰ nm ۱۰۰ nm با توجه به نقش بسیار

1 - Horizontal Laminar- Flow Hood (clean benches)
2 -Ceiling Plenums
3 - Impaction
4 -Interception
5 -Diffusion

ضعیف این مکانیسم‌ها پائین‌ترین میزان بازده وجود دارد. بنابراین افزایش بازده در این طیف به عواملی مانند جنس فیلتر و میزان جریان عبوری از آن بستگی خواهد داشت.

۸ ـ ۱۳ هوای جمع آوری شده به‌وسیله سیستم‌های تهویه موضعی باید پس از گذر از مرحله فیلتراسیون، در مرحله نهایی توسط وسایل تمیزکننده هوا مانند اسکرابرهای تر یا رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک تمیز شود. این وسایل به ویژه رسوب دهنده‌های الکترواستاتیک به طور خاص برای به دام انداختن ذرات بسیار ریز موثر می‌باشند. صفحات جمع آوری‌کننده این وسایل در زمان‌های مشخص باید توسط اسپری آب تمیز شوند.



شکل ۲ نمودار بازده جمع‌آوری فیلتر با توجه به اندازه ذره و مکانیسم های جمع آوری

۸ ـ ۱۴ برای جمع‌آوری نانوذرات قابل احتراق و قابل انفجار از روش تر استفاده نمائید. پساب حاوی نانوذرات جمع‌آوری شده نباید بدون انجام فرآیند تصفیه به محیط تخلیه شود.

۸ ـ ۱۵ بیشتر سیلندرهای تحت فشار مورد استفاده در تولید نانومواد دارای سطح خطر بهداشتی ۳ یا ۴ (براساس سطح بندی سازمان حفاظت در برابر حریق آمریکا[1]) می‌باشند. از این سیلندرها فقط در زیر کابینت‌های در حال تهویه استفاده نمائید.

۸ ـ ۱۶ انتظار می‌رود نانوپودرها در مقایسه با پودرهای درشت‌تر و مشابه خیلی آسان‌تر مشتعل شوند. بطوریکه در برخی از فلزات با کاهش اندازه ذره ریسک انفجار به شدت افزایش می‌یابد. لذا علاوه بر اقدامات انجام گرفته برای پیشگیری و کنترل انتشار نانوذرات در محیط کار باید برای جلوگیری از مشتعل شدن آن نیز تدابیر لازم اتخاذ شود. برخی از این تدابیر عبارتند از:

1 -National Fire Protection Association (NFPA)

الف- استفاده از تجهیزات برقی و روش های سیم‌کشی متناسب؛
ب- کنترل الکتریسیته ساکن بطور مثال از طریق اتصال به زمین تجهیزات؛
پ- کنترل کشیدن سیگار، شعله های باز و جرقه ها؛
ت کنترل جرقه‌های ناشی از فعالیت‌های مکانیکی از جمله جرقه های ناشی از اصطکاک؛
ث جدا کردن سطوح گرم از گردوغبار؛
ج جدا کردن سیستم‌های تولید حرارت از گردوغبار؛
چ انتخاب و استفاده درست از وسایل حمل و نقل صنعتی مثل لیفتراک‌ها.

۸ ـ ۱۷ روش‌هایی که برای حفاظت در برابر انفجار گردوغبار و مقادیر خطرناک مواد درشت‌تر ارائه شده‌اند می‌توانند برای حفاظت در برابر انفجار نانوذرات قابل انفجار نیز مورد استفاده قرارگیرند. علاوه براین، از تماس نانوذرات واکنش پذیر یا دارای خاصیت کاتالیستی[1] با مواد ناسازگاز[2] باید پیشگیری شود.

۸ ـ ۱۸ جهت اطفاء حریق‌های ناشی از نانومواد از مواد اطفاء کننده مناسب استفاده نمائید. چون برخی از نانوذرات با آب واکنش داده و محصول خطرناک تولید می‌کنند که بسیار آسان مشتعل شده و به سرعت می سوزد (بطور مثال نانوذرات فلزی با آب واکنش داده و گاز هیدروژن تولید می‌کنند.). برای کاهش ریسک حریق و ممانعت از سوختن سریع[3] نانومواد، همچنین می‌توان از فرآیندهای تولید و نگهداری با اتمسفر تحت کنترل[4]، با استفاده از گازهای دی اکسید کربن، نیتروژن یا گازهای خنثی استفاده نمود. اما هنگام استفاده از این گازها ریسک بروز خفگی ناشی از آن‌ها باید کنترل شود. هم اکنون برای اطفاء حریق های ناشی از پودرهای فلزی قابل اشتعال خاموش کننده های مناسب موجود است.

۸ ـ ۱۹ برای انتقال نانوذرات از یک ظرف یا مخزن به ظرف یا مخزن دیگر (مانند انتقال از مخزن فرآیند به مخزن نگهداری یا از مخزن نگهداری به ظروف حمل و نقل) برتر است از سامانه انتقال خلاء یا پمپ‌های پریستالتیک[5] (با مکانیسم عمل براساس جابجایی مثبت) استفاده نمائید.

۸ ـ ۲ کنترل های مدیریتی

۸ ـ ۲ ـ ۱ در برخی شرایط به دلیل عدم دسترسی به فناوری برتر و مناسب یا هزینه‌های هنگفت، اجرای کنترل‌های مهندسی امکان ناپذیر یا کم‌اثر می باشد. در این شرایط با استفاده از کنترل‌های مدیریتی حفاظت بیشتری را تأمین نمائید. برخی از این کنترل‌ها عبارتند از: کاهش زمان مواجهه، به حداقل رساندن تعداد کارکنان در معرض، ایجاد یا اصلاح روش‌های اجرای کار (SOP)، محدود کردن دسترسی به محیط‌های

1 - Reactive or Catalytically Active Nanoparticles
2 - Incompatible
3 - Deflagration
4 - Controlled-Atmosphere Production and Storage Processes
5 - Peristaltic Pumps

کاری و تعیین افراد مجاز، اجرای اصول بهداشت فردی، اجرای برنامه ضبط و ربط محیط‌کار[1]، آموزش، انجام بازرسی‌های متناوب و برنامه‌ریزی شده (از تجهیزات فرآیندها، ساخت، عملیاتی و تجهیزات کنترل مواجهه با نانوذرات مثل سیستم‌های تهویه) و تعمیرات پیشگیرانه منظم و برنامه‌ریزی شده.

۸ ۲ ۲ تا حد امکان زمان مواجهه افراد با نانوذرات به ویژه در نواحی محصور شده یا تحت کنترل را به حداقل رسانده و انجام عملیات در آن‌ها را به شیفت‌های کاری دوم یا سوم (به علت تعداد افراد کمتر در معرض) محدود کنید.

۸ ۲ ۳ روش‌های اجرای کار (SOP) در محیط‌های کاری نانو باید موارد زیر را پوشش دهند:

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

ب روش‌های کنترل خطر شامل: وسایل محصور کننده، تهویه، تجهیزات حفاظت فردی و تدابیر بهداشتی که توسط برگه‌های MSDS و راهنماهای دیگر توصیه می‌شوند؛

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

ت روش‌های رفع آلودگی؛

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

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

چ نواحی تحت کنترل؛

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

۸ ۲ ۴ رعایت اصول بهداشت فردی در محیط‌های کاری نانو بسیار حائز اهمیت است. در این راستا اقدامات زیر لازم است:

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

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

پ استفاده از هوای تحت فشار برای تمیز کردن لباس ممنوع می‌باشد؛

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

---

1 -Housekeeping

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

۸ ۴ ۵ جارو کردن یا گردگیری به روش خشک و استفاده از هوای تحت فشار یا دمنده ها و یا مکنده‌های معمولی (فاقد فیلترهای HEPA)، به دلیل ایجاد مواجهه وسیع برای کارکنان، ممنوع می‌باشد. جهت تمیز کردن محیط‌کار، تمیز کردن به روش تر و استفاده از سیستم‌های مکنده مرکزی با فیلترهای HEPA ترجیح داده می‌شوند. چون موتور الکتریکی جاروهای الکتریکی ممکن است سبب مشتعل شدن نانومواد قابل اشتعال شود.

۸ ۴ ۶ کلیه سطوح محیط کار از قبیل کف، دیوارها، سقف‌ها، درها، پله‌ها، میزها، صندلی‌ها، ماشین آلات و تجهیزات و ابزار را حداقل در پایان هر شیفت کاری به روش تر و با استفاده از مکنده های HEPA تمیز کنید. از روش‌های دیگر مانند شستشو با حلال، سوزاندن، حل کردن به کمک اسید و تمیز کردن به روش پلاسما[1] نیز می‌توان برای رفع نانومواد از روی تجهیزات استفاده کرد.

۸ ۴ ۷ آزمایشگاه‌های تحقیقاتی یا کنترلی نانو باید نسبت به تدوین برنامه بهداشتی مواد شیمیایی[2] (CHP) اقدام نمایند. این برنامه باید بر محدوده و ماهیت فعالیت‌های هر محیط کاری نانو منطبق باشد. محتوای این برنامه باید موارد زیر را دربرگیرد:

الف- اهداف، خط مشی و دامنه کاربرد؛

ب – نقش‌ها و مسئولیت‌ها؛

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

ت روش‌های اجرایی مقابله با شرایط امنیتی؛

ث تجهیزات حفاظت فردی و اقدامات بهداشتی؛

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

چ تمهیدات لازم برای آموزش و افزایش اطلاعات کارکنان؛

ح مواردی که قبل از اجرا نیازمند کسب تأییدیه لازم از سازمان های ذیربط می‌باشند؛

خ تمهیدات لازم برای ارائه مشاوره و انجام معاینات پزشکی؛

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

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

ر حمل و نقل نانومواد؛

ز ضوابط و مقررات برچسب گذاری؛

---

1 - Plasma Cleaning

2 - Chemical Hygiene Plan (CHP)

س مدیریت پسماندهای آلوده به نانوذرات؛
ش روش‌های مقابله با وضعیت‌های اضطراری مثل ریخته‌شدن و پاشیده‌شدن مواد[1] و پاش‌ها، فوریت‌های پزشکی و اطلاعات مربوط به تخلیه اضطراری آزمایشگاه؛
ص شرح رویدادها، حوادث و اقدامات اصلاحی انجام شده؛
ض سیستم ممیزی و بازرسی؛
ط ایمنی زیستی؛
ظ ایمنی عمومی مانند: ایمنی برق، لیزر، حریق و تجهیزات خلاء و تحت فشار.

۸ ۴ ۸ کلیه محیط‌های کاری نانو باید برای مقابله با وضعیت‌های اضطراری از قبیل ریخته شدن مواد شیمیایی حاوی نانوذرات، حریق و انفجار پیش‌بینی‌های لازم را از طریق تدوین طرح واکنش اضطراری[2] (ERP) اعمال نمایند. این طرح باید موارد زیر را پوشش دهد:
الف روش شناسایی وضعیت‌های اضطراری و نحوه پیشگیری از وقوع آن‌ها؛
ب روش اعلام یا گزارش وضعیت‌های اضطراری؛
پ روش تخلیه محیط‌کار؛
ت روش‌های فرار اضطراری و تعیین مسیرهای فرار مثل تهیه نقشه‌های طبقات ساختمان، نقشه محیط‌کار و نواحی ایمن یا پناهگاه‌ها؛
ث نام، عنوان، قسمت کاری و شماره تلفن افراد درون و بیرون از محیط‌کار برای دریافت اطلاعات یا تشریح وظایف و مسئولیت‌ها؛
ج تجهیزات حفاظت فردی و تجهیزات مورد لزوم در مواقع اضطراری؛
چ روش‌های راهبری یا توقف عملیات حیاتی[3] ، نحوه استفاده از خاموش کننده‌های حریق یا انجام عملیات ویژه‌ای که توقف آن‌ها در هر وضعیت اضطراری قبل از تخلیه ممکن نیست؛
ح وظایف افراد و روش‌های انجام عملیات امداد و نجات؛
خ روش‌های تمیز کردن نانومو ریخته‌شده و پاشیده‌شده؛
د روش‌های رفع آلودگی؛
ذ روش تجزیه و تحلیل واکنش و پیگیری.

۸ ۴ ۹ دستورالعمل‌های تهیه شده در محیط‌های کاری نانو باید برای ریخته‌شدن های کم (کمتر از ۵ میلی گرم یا میلی لیتر از ماده حاوی نانوذرات) و زیاد مواد، در داخل و بیرون از محیط کار، قابل کاربرد باشد. این دستورالعمل‌ها باید علاوه بر شرح نحوه کاهش احتمال ریخته شدن مواد برای استفاده کننده، نحوه واکنش درست و سریع را نیز دربرگیرد.

1 Spill
2 - Emergency Response Plan (ERP)
3 - Critical Plant Operations

۸ ۴ ۱۰ اگرچه هر حادثه ریخته شدن مواد یک رویداد منحصر بفرد بوده و افراد، مهارت و اقدامات متفاوتی را طلب می‌کند ولیکن اقدامات زیر توصیه می‌شوند:

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

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

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

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

ث از هوای تحت فشار جهت تمیز کردن ریخت و پاش نانومواد بهیچوجه استفاده نکنید؛

ج در صورت آلوده‌شدن لباس به نانومواد سریعاً آن را تعویض کرده و در صورت تماس با پوست محل تماس را ۱۵ الی ۲۰ دقیقه زیر آب نگهداشته و با آب و صابون بشوئید؛

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

ح کلیه تجهیزات ایمنی مورد نیاز در مواقع ریخته‌شدن و پاشیده‌شدن از قبیل؛ چشم شوی، دوش ایمنی، خاموش‌کننده های چند منظوره حریق (ABC)، کیت کمک‌های اولیه، تجهیزات حفاظت فردی و کیت‌های مقابله با ریخت و پاش[1] باید تهیه و همواره سالم و کامل باشند.

۸ ۴ ۱۱ جهت حفاظت از سلامت کارکنان در محیط‌های کاری نانو، برنامه پایش سلامت[2] باید طرح‌ریزی و اجرا شود. کارکنان در معرض ریسک بالای مواجهه مانند محققین مراکز تحقیقاتی و کارکنان تعمیر و نگهداری در اولویت انجام این پایش می‌باشند. این کارکنان باید بطور دوره‌ای مورد آزمایش‌های مختلف مانند تست ریه، کبد، کلیه و عملکرد سامانه خون سازی[3] قرار گرفته و نتایج آنها با نتایج آزمایش‌های بدو استخدام یا ارزیابی‌های پزشکی مبنا[4] مقایسه شود. این برنامه صرفاً باید به وسیله متخصصین بهداشت حرفه‌ای و طب‌کار آگاه به خصوصیات و خطرات بالقوه نانومواد و براساس استانداردها و ضوابط ملی و بین المللی انجام پذیرد. پایش سلامت کارکنان بیش از آنکه تعیین‌کننده ایمنی یا خطرناک بودن میزان مواجهه باشد، نشانگر وقوع مواجهه است. بنابراین با توجه به قابلیت محدود برای اندازه‌گیری غلظت‌های نانوذرات هوابرد، استفاده از

1 - Spill Kits
2 - Health Surveillance
3 - hematopoietic Function
4 - Baseline Medical Evaluations

نشانگرهای زیستی می‌تواند روش بسیار مفیدی برای ارزیابی میزان اثربخشی کنترل‌های مختلف بکار گرفته شده باشد.

۸ ۲ ۱۲ توصیه می‌شود به کارکنانی که در معرض ذرات نانو می‌باشند یا ذرات نانو را استنشاق نموده‌اند شیر و شکر تصفیه نشده[1] داده شود چون این مواد دارای خاصیت پروفیلاتیک در برابر اثرات سمی ذرات نانو می‌باشند.

۸ ۳ تجهیزات حفاظت فردی

۸ ۳ ۱ چنانچه اجرای شیوه‌های مختلف کنترل مهندسی و مدیریتی میسر نبوده و یا قادر به تأمین حفاظت کافی برای افراد نبوده‌اند از تجهیزات حفاظت فردی (PPE) متناسب با سطح ریسک استفاده نمائید. انتخاب و نحوه استفاده از این تجهیزات باید براساس نظر کارشناسی و انجام ارزیابی خطر باشد چون استفاده از تجهیزات حفاظت فردی نامناسب ممکن است سبب مواجهه بیشتر افراد با ذرات نانو شود.

۸ ۳ ۲ پوشاک حفاظتی مورد استفاده در آزمایشگاه‌های شیمی تر[2] می‌توانند برای آزمایشگاه‌های نانو نیز مناسب باشند. ولی به این موارد آنها محدود نیست. این تجهیزات عبارتنداز:

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

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

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

ت گاگل های[3] ایمنی (شکل ۳) و ماسکهای پوشاننده تمام صورت[4] (شکل ۴)

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

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

یادآوری در حال حاضر به دلیل نبودن برخی اطلاعات لازم، استفاده از پوشاک یکبار مصرف[5] توصیه می‌شود.

1 -Unrefined Sugar
2 - Wet-Chemistry Laboratory
3 Goggles
4 -Tight-Fitting Fullfacepiece
5 - Disposable

شکل ۳ تصویر گاگل ایمنی و ماسک پوشاننده نیمه صورت

شکل ۴ تصویر ماسک های پوشاننده تمام صورت

۸ ۳ ۴ در صورت وجود غلظت بیش از اندازه نانوذرات در محیط‌کار (پس از اجرای کلیه کنترل‌های مهندسی، مدیریتی و روش‌های اجرای کار) از وسایل حفاظت تنفسی فشار مثبت[1] (مانند وسیله تصفیه هوا[2]) استفاده نمائید. وسیله تصفیه هوا (PAPR)، وسیله حفاظت تنفسی است که از یک دمنده برای عبور هوای اتمسفر از درون یک تصفیه کننده هوا (مثل فیلتر یا کارتریج) استفاده می‌کند. هوای تمیز و سالم پس از جذب آلودگی توسط قطعه تصفیه کننده وارد محفظه تنفسی ماسک می‌شود (شکل ۵). وسایل حفاظت تنفسی مختلف درجات حفاظت مختلفی را تأمین می‌کنند. استفاده از وسایل حفاظت تنفسی فشار منفی و ماسک‌های جراحی به هیچوجه توصیه نمی‌شوند. وسایل حفاظت تنفسی زیر می‌توانند براساس سطح مورد نظر کاهش مواجهه و مزایا و معایب هر کدام از آنها مورد استفاده قرارگیرند. استفاده از فیلترهای نوع P -۱۰۰ مورد تأکید بیشتر است.

شکل ۵ تصویر وسیله تصفیه هوا (PAPR)

1 - Positive Pressure Respirators
2 - Powered Air-Purifying Respirator (PAPR)

جدول ۶ وسایل حفاظت تنفسی با فیلترهای تصفیه کننده ذرات

نوع وسیله حفاظت تنفسی	فاکتور حفاظت (APF)	مزایا	معایب
ماسک نیم صورت از جنس الاستومر با فیلتر P-۱۰۰، R-۱۰۰، N-۱۰۰ (شکل ۳)	۵ (اگر آزمون تناسب کیفی شده) ۱۰ (اگر آزمون تناسب کمی شده)	تعمیر و نگهداری کم، ماسک قابل استفاده برای دفعات متعدد و فیلترها و کارتریج‌های قابل تعویض، عدم تأثیر در تحرک	عدم حفاظت چشم‌ها، ایجاد بار گرمایی، نشت به داخل از فضاهای بین ماسک و صورت، مشکل در مکالمه، نیاز به ماسک با سایز مناسب برای انجام آزمون تناسب، ایجاد مشکل هنگام استفاده از برخی از تجهیزات حفاظت چشم
وسایل تصفیه هوا (PAPR) با فیلتر HEPA و کلاهی که ناحیه سر و گردن را می پوشاند[1] (شکل ۶).	۱۰۰۰ ۲۵ (فاکتور ۱۰۰۰، تنها در صورتی که سازنده یا مصرف کننده بتواند تأمین آنرا اثبات کند.)	تأمین حفاظت چشم‌ها، تأمین حفاظت برای افراد دارای ریش، زخم صورت یا بدون دندان، مقاومت تنفسی کم، احساس خنکی در اثر جریان هوا، عدم نیاز به آزمون تناسب، امکان استفاده همزمان از عینک طبی، مشکلات مکالمه کمتر نسبت به ماسک های نیم و تمام صورت، قطعات قابل استفاده برای دفعات متعدد و فیلترهای قابل تعویض	وزن بیشتر ناشی از دمنده و باتری، تحمیل گرفتن وضعیت نامناسب بدن هنگام انجام برخی کارها، نیاز به شارژ باتری، آزمون میزان جریان هوا قبل از استفاده
ماسک تمام صورت از جنس الاستومر با فیلتر P ۱۰۰، N ۱۰۰، R ۱۰۰ (شکل ۴)	۱۰ (اگر آزمون تناسب کیفی شده) ۵۰ (اگر آزمون تناسب کمی شده)	تأمین حفاظت چشم‌ها، تعمیر و نگهداری کم، ماسک قابل استفاده برای دفعات متعدد و فیلترها و کارتریج های قابل تعویض، عدم تأثیر در تحرک، حفاظت بیشتر نسبت به ماسکهای الاستومر نیم صورت	ایجاد بار گرمایی، نشت به داخل از فضاهای بین ماسک و صورت، نیاز به ماسک با سایز مناسب برای انجام آزمون تناسب، محدود کردن میدان دید نسبت به ماسک‌های نیم صورت، بخار کردن لنز ماسک در ماسک‌های فاقد قطعه روی بینی یا برطرف کننده بخار، نیاز به کیت عینک برای استفاده از عینک
وسایل تصفیه هوا (PAPR) با فیلتر HEPA و ماسک تمام صورت که محکم روی صورت می نشیند (شکل۴).	۱۰۰۰(اگر آزمون تناسب کمی شده)	تأمین حفاظت چشم‌ها، مقاومت تنفسی کم، قطعات قابل استفاده برای دفعات متعدد و فیلترهای قابل تعویض، احساس خنکی در اثر جریان هوا، نشت معمولاً به سمت بیرون	وزن بیشتر ناشی از دمنده و باتری، تحمیل گرفتن وضعیت نامناسب بدن هنگام انجام برخی کارها، نیاز به ماسک با اندازه مناسب برای انجام آزمون تناسب، نیاز به شارژ باتری، مشکل در مکالمه،، نیاز به کیت عینک برای استفاده از عینک، آزمون جریان هوا قبل از استفاده

1 - Loose-Fitting Helmet/hood

۸ ۴ ۳ چنانچه وسایل حفاظت تنفسی جدول ۱ حفاظت کافی را تأمین نکنند، استفاده از دستگاه تنفسی همراه[1] (SCBA) یا دستگاه هوا رسان[2] (SAR) ضروری خواهد بود.

۸ ۴ ۵ در صورت نیاز به استفاده از وسایل حفاظت تنفسی، برای رعایت استانداردهای مربوطه و رسیدن به اثربخشی مورد نیاز، برقراری برنامه حفاظت تنفسی[3] الزامی است. این برنامه باید شامل اجزاء زیر باشد:

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

ب آموزش منظم افراد؛

پ پایش متناوب محیط‌کار؛

ت آزمون تناسب وسیله حفاظت تنفسی؛

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

شکل ۶ تصویر کلاهی که ناحیه سر و گردن را می پوشاند

۸ ۴ ۶ استفاده از وسایل حفاظت تنفسی اغلب زمانی مورد نیاز است که کنترل‌های مهندسی و مدیریتی قادر به حفظ مواجهه کارکنان در کمتر از حدود قانونی یا اهداف کنترلی داخل یک سازمان نباشد. در حال حاضر هیچ حد مجاز مواجهه ویژه‌ای برای مواجهه با نانوذرات مهندسی شده (به جز نانوذرات TiO_2) وجود

1 - Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA)
2 - Supplied-Air/Airline Respirator (SAR)

3 - Respiratory Protection Program (RPP)

ندارد. این در حالی است که چنین حدود و راهنماهایی از طریق سازمان‌هایی مانند: اداره ایمنی و بهداشت حرفه‌ای آمریکا [1](OSHA)، انجمن ملی ایمنی و بهداشت حرفه ای آمریکا[2] (NIOSH)، کمیته دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا[3] (ACGIH)، و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی کشور برای ذرات درشت‌تر با ترکیب شیمیایی مشابه وجود دارد. شواهد علمی نشان می‌دهد نانوذرات ممکن است به لحاظ بیولوژیکی فعال‌تر از ذرات درشت‌تر با ترکیب شیمیایی مشابه باشند. به همین دلیل ممکن است در صورت استنشاق، ریسک بهداشتی بیشتری تحمیل نمایند. بنابراین در یک رویکرد محافظه کارانه، برای تعیین اثربخشی کنترل‌های اعمال شده یا تعیین ضرورت نیاز به استفاده از تجهیزات حفاظت تنفسی، حدود مواجهه یا راهنماهای فعلی (مانند: PELs[4] ، RELs[5]، TLVs[6] و AOE[7]) و افزایش فعالیت بیولوژیکی ذرات باید تواماً در نظر گرفته شوند.

یادآوری به علت افزایش سطح و فعالیت بیولوژیکی ذره، هنگام استفاده از حدود مجاز ذرات درشت‌تر با ترکیب مشابه با ذره نانو، باید حاشیه ایمنی[8] بیشتری لحاظ شود.

۹ علامت گذاری و برچسب زنی نانومواد

۹ ۱ در ورودی محل‌هایی که نانوذرات مهندسی شده در حال استفاده می‌باشد علامت‌هایی را نصب نمائید که به وضوح خطرات، تجهیزات حفاظت فردی و کنترل‌های مدیریتی لازم را نشان دهند. این محل‌ها ممکن است کل یا بخشی از فضای یک محیط‌کاری نانو یا یک وسیله مورد استفاده برای کار با نانوذرات مهندسی شده مثل یک هود آزمایشگاهی یا یک جعبه دستکش دار باشد (شکل ۷).

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

احتیاط

در حال استفاده از نانومواد

لطفاً دست نزنید.

شماره تماس فرد مسئول : .....

مدت انجام کار : .....

نانوذرات می توانند سمیت و واکنش پذیری غیر معمولی از خود نشان دهند.
از استنشاق، مواجهه پوستی و بلع تصادفی این ذرات اجتناب کنید.

شکل ۷ تصویر یک نمونه علامت مورد استفاده در آزمایشگاه

۹ ۲ کلیه ظروف مورد استفاده برای نگهداری مواد حاوی نانوذرات مهندسی شده و یا جابجایی آن‌ها در داخل یا بیرون از محیط‌های کاری نانو باید دارای برچسب مناسب باشند.

۱۰ دفع پسماندهای آلوده به نانوذرات

۱۰ ۱ کلیه مواد یا وسایل آلوده به نانوذرات (مثل فیلترهای مستعمل HEPA، کف‌پائی‌ها، مواد جاذب مصرف‌شده، پارچه و کاغذ، محلول‌های سوسپانسیون حاوی نانوذرات و PPE غیر قابل استفاده) را تحت عنوان مواد خطرناک یا بالقوه خطرناک دفع نمائید.

۱۱ اطلاع رسانی خطرات بالقوه

۱۱ ۱ کارفرمایان محیط‌های کاری نانو باید براساس نتایج حاصل از ارزیابی ریسک، اطلاعات زیر را به کلیه کارکنانی که ممکن است با نانوذارت (در شرایط نرمال کار یا شرایط اضطراری) مواجهه داشته باشند اطلاع رسانی کنند و آموزش‌های لازم را ارائه نمایند:

الف خطرات بهداشتی و ایمنی (فیزیکی) شناسایی شده؛

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

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

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

ث مقررات لازم جهت کاهش میزان مواجهه؛

ج جمع‌آوری و دفع بهداشتی و ایمن پسماندهای آلوده به نانوذرات؛

چ آگاهی‌های امنیتی[1] مانند شیوه‌های شناسایی و پاسخ به تهدیدهای امنیتی احتمالی، اهداف و ساختار امنیتی سازمان، شیوه های امنیتی ویژه و مسئولیت‌های کارکنان.

۱۱ ۲ کارفرمایان محیط‌های کاری نانو باید در زمان های مشخص از طریق اجرای آزمون‌های متناسب با آموزش‌های ارائه شده (موارد بند ۱۱ ـ ۱)، از اثربخشی این آموزش‌ها اطمینان حاصل کنند.

۱۱ ۳ ارائه اطلاعات و آموزش‌های بند ۱۱ ـ ۱ برای کارکنان جدید الاستخدام الزامی می‌باشد.

۱۱ ۴ این اطلاع‌رسانی و آموزش باید پیمانکاران، بازدیدکنندگان و یا هر فرد دیگری که ممکن است با نانوذرات مهندسی شده مواجهه داشته باشند را نیز در برگیرد.

۱۱ ۵ مسئولین و مدیران محیط‌های کاری نانو باید برگه‌های اطلاعات ایمنی (MSDS) نانومواد‌ی را که ساخت، تولید، استفاده یا فرآوری می‌کنند ایجاد و یا از طریق تأمین کنندگان این مواد تهیه نمایند. این برگه ها باید در تمام ساعات کار در دسترس کارکنان مربوطه قرار داشته باشد.

1- Security Awareness