



رئاست جمهوری  
سازمان علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان  
گروه فناوری های نانو میکرو



# گزارش تجمیعی استانداردهای ملی بهداشت و ایمنی در محیطهای کاری نانومواد

گروه استاندارد و ایمنی فناوری نانو  
[www.nanostandard.ir](http://www.nanostandard.ir)

بهار ۱۴۰۴



## گزارش تجمیعی استانداردهای ملی بهداشت و ایمنی در محیطهای کاری نانومواد

### ستاد توسعه فناوریهای نانو و میکرو گروه استاندارد و ایمنی فناوری نانو

۰۲۱۶۳۱۰۰

nanosafety@nano.ir

IranNationalStandardCommittee

تلفن

پست الکترونیک

لینکدین

گروه استاندارد و ایمنی ستاد نانو

www.nanostandard.ir

۱۴۰۴

پایگاه اینترنتی

سال انتشار

### فهرست مطالب

- ۱ ..... چکیده
- ۲ ..... مقدمه
- ۴ ..... ۱ استاندارد ملی «فناوری نانو - بسته بندی و حمل و نقل ایمن نانومواد - آیین کار»
- ۱۴ ..... ۲ استاندارد ملی «فناوری نانو - تهیه برگه اطلاعات ایمنی ماده»
- ۳ ..... ۳ استاندارد ملی «فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی شده -  
قسمت ۱: اصول و رهیافتها»
- ۱۹ ..... ۴ استاندارد ملی «فناوری نانو - آموزش سلامت و ایمنی برای نیروی کار - راهنما»
- ۲۹ ..... ۵ استاندارد ملی «فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی شده -  
قسمت ۲: استفاده از رویکرد دسته بندی اقدامات کنترلی»
- ۳۲ ..... ۶ استاندارد ملی «فناوری نانو - بررسی اجمالی چارچوب موجود برای ارائه حدود مجاز  
مواجهه شغلی و دسته بندیهای آن برای نانو اشیاء و انبوهه و کلوخه های آنها»
- ۴۶ ..... ۷ استاندارد ملی «فناوری نانو - شیوه نامه بهداشت و ایمنی در محیطهای کار»
- ۵۴ ..... ۸ منابع
- ۶۴ ..... ۹

## چکیده

پیشرفت‌های دهه‌های اخیر در زمینه نانوفناوری، نویدبخش تولید نانومواد جدید با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص است. این پیشرفت‌ها اجازه استفاده از نانومواد در مهندسی ساختار<sup>۱</sup>، الکترونیک، اپتیک، کالاهای مصرفی، تولید و ذخیره انرژی، حفظ خاک و آب، همچنین در پزشکی به منظور اهداف درمانی و تشخیصی را داده است. اما با ظهور نانوفناوری، نانومواد که در صنایع یا آزمایشگاه‌ها تولید یا مصرف می‌شوند، کارکنان، مصرف کنندگان و محیط زیست را در معرض نسل جدیدی از مخاطرات قرار داده اند. نگرانی‌ها وقتی در مورد نانومواد بیشتر شد که مطالعات *in vivo* و *in vitro* اثرات بیولوژیکی و سمی برخی از نانومواد را برای موجودات زنده تایید کردند.

استانداردسازی و تدوین استانداردها، به عنوان گامی اساسی در ارزیابی و کنترل مخاطرات فناوری نانو می‌باشد. همزمان با ظهور و پیشرفت بسیار سریع فناوری نانو، سازمان‌های مختلف در سراسر جهان اقدام به تدوین و انتشار استانداردها<sup>۲</sup>، راهنماها<sup>۳</sup>، چارچوب‌ها<sup>۴</sup>، روش‌ها<sup>۵</sup> و شیوه‌ها<sup>۶</sup>ی جدید برای کار با نانومواد کرده‌اند. در ایران نیز، ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو، اقدام به تدوین و انتشار استانداردهای مختلف در زمینه‌های متنوع فناوری نانو، از جمله ایمنی کار با نانومواد، کرده است.

لذا در این گزارش، به بررسی استانداردهای کاربردی، درباره جنبه‌های مختلف بهداشت و ایمنی کار با نانومواد، خواهیم پرداخت. هدف از این گزارش، آشنایی کارکنان، مسئولین ایمنی و بهداشت و کارفرمایان مشاغل درگیر با نانومواد، با استانداردهای ملی موجود درباره جنبه‌های ایمنی و بهداشتی نانوفناوری است، تا در مواقع لزوم، بتوانند از آنها، در راستای حفاظت از کارکنان و محیط کار، استفاده کنند.

- 
1. Structural engineering
  2. Standards
  3. Guidelines
  4. Frameworks
  5. Methods
  6. Approches

## مقدمه

تاکنون تحقیقات گسترده ای در مورد اثرات نانومواد بر انسان و محیط زیست صورت گرفته و همچنان ادامه دارد. در این میان، شاید بتوان گفت که بررسی مواجهه شغلی با نانومواد اهمیت بیشتری دارد؛ چراکه کارکنان مشاغل درگیر با نانومواد، جزء اولین کسانی هستند که در معرض مواجهه با این مواد قرار می گیرند. مواجهه با نانومواد در محیط های کاری ممکن است ناشی از رها شدن نانومواد از پودرها، مایعات و یا یک ماتریکس جامد باشد، که در حین تولید، مصرف و یا بازیافت آن ها اتفاق می افتد. کار با پودرهای خشک، بیشترین ریسک رها شدن و در نتیجه تماس را دارد. پیش بینی ها حاکی از آن است که تا سال ۲۰۲۹، بیش از هشت میلیون نفر در سرتاسر جهان به صورت شغلی با نانومواد در تماس خواهند بود.

تدوین استانداردها، به عنوان گامی اساسی در ارزیابی و کنترل مخاطرات فناوری نانو دانسته می شود. همزمان با ظهور و پیشرفت بسیار سریع فناوری نانو، سازمان های مختلف در سراسر جهان اقدام به تدوین و انتشار استانداردها<sup>۱</sup>، راهنماها<sup>۲</sup>، چارچوب ها<sup>۳</sup>، روش ها<sup>۴</sup> و شیوه ها<sup>۵</sup>ی جدید برای کار با نانومواد کرده اند. یکی از مهمترین سازمان های فعال در این زمینه، سازمان جهانی استاندارد (ISO) است. در این سازمان یک کمیته فنی تحت عنوان کمیته فنی فناوری های نانو<sup>۶</sup> (ISO/TC 229: Nanotechnologies) به تدوین و انتشار استانداردهای مربوط به کار با نانومواد می پردازد. این کمیته از هفت کارگروه مختلف تشکیل شده است که هرکدام از آن ها در زمینه (های) خاصی فعالیت دارند. یکی از کارگروه های فعال در این کمیته، کارگروه "جنبه های بهداشتی، ایمنی و محیط زیستی فناوری های نانو"<sup>۷</sup> است. اولویت های این کارگروه برای تدوین استانداردها عبارتند از:

(۱) روش های استاندارد برای پایش سم شناختی نانومواد

(۲) روش های استاندارد برای کنترل مواجهه شغلی با نانومواد

(۳) روش های استاندارد برای تعیین نسبی سمیت / خطر بالقوه نانومواد

- 
1. Standards
  2. Guidelines
  3. Frameworks
  4. Methods
  5. Approches
  6. Nanotechnologies
  7. Health, Safety and Environmental Aspects of Nanotechnologies (ISO/TC 229/WG

۴) روش‌های استاندارد برای استفاده درست محیط زیستی از نانومواد

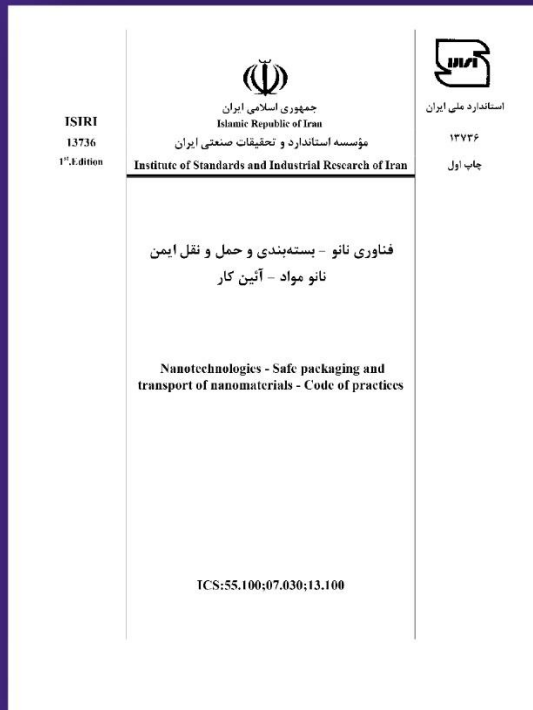
۵) روش‌های استاندارد برای اطمینان از ایمنی محصولات نانومواد .

در ایران نیز با توجه به استقبال زیاد محققان و صنعت گران از فناوری نانو و رشد روزافزون شرکت‌های دانش بنیان و آزمایشگاه‌های تخصصی نانومواد، نیاز به تدوین استانداردهای ملی در زمینه نانومواد احساس شده است. به موجب قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، مصوب ۱۴۰۰/۱۱/۲۸، سازمان ملی استاندارد تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی را بر عهده دارد. خوشبختانه، سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) است؛ لذا، 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 نیز بهره‌گیری می‌شود .

در ایران کمیته فنی متناظر استانداردسازی فناوری نانو با مشارکت سازمان ملی استاندارد ایران و ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، با عنوان کمیته فنی ISIRI/TC229 در تیرماه ۱۳۸۵ تشکیل شد. این کمیته به صورت متناظر با کمیته بین‌المللی استانداردسازی فناوری نانو (ISO/TC229) با هدف تهیه و تدوین استانداردهای مورد نیاز در حوزه فناوری نانو فعالیت می‌کند . کمیته استانداردسازی فناوری نانو ایران دارای ۴ کمیته تخصصی است، که به صورت متناظر با کمیته بین‌المللی فعالیت می‌کنند. در این کمیته‌ها تعداد زیادی از اساتید دانشگاهی، پژوهشگران فعال در مؤسسات تحقیقاتی و شرکت‌های فعال در حوزه نانو عضویت دارند.

حاصل کار این کمیته، تاکنون تدوین استانداردهای مختلفی بوده است که در زمینه‌های مختلف فناوری نانو تدوین و منتشر شده‌اند.

با توجه به آنچه گفته شد، این گزارش با هدف آشنایی کارکنان، مسئولین ایمنی و بهداشت و کارفرمایان مشاغل درگیر با نانومواد، با استانداردهای ملی موجود درباره جنبه‌های ایمنی و بهداشتی نانوفناوری تدوین شده است، تا در مواقع لزوم، بتوانند از آن‌ها، در راستای حفاظت از کارکنان و محیط کار، استفاده کنند.



## ۱ خلاصه استاندارد ملی

فناوری نانو- بسته‌بندی و حمل و نقل ایمن نانومواد - آئین‌کار

شماره استاندارد: ۱۳۷۳۶

سال تصویب: ۱۳۹۰

این استاندارد به شماره ۱۳۷۳۶ در سال ۱۳۹۰ تدوین شده است و همچنان دارای اعتبار است. این استاندارد از محدود استانداردهایی است که به صورت چندمنبعی تالیف شده است.

هدف از تدوین آن، موارد زیر عنوان شده است:

الف- ایمنی برای عموم و آن دسته از افرادی که در فرآیند بسته بندی و حمل و نقل نانومواد شرکت دارند؛

ب- پیشگیری از آلودگی محیط زیست در اثر حوادث احتمالی هنگام حمل و نقل نانومواد؛

پ- پیشگیری از وارد آمدن خسارت به تجهیزات حمل و نقل و سایر کالاها؛

ت- حذف یا به حداقل رساندن ریسک نانومواد جهت حمل و نقل ایمن

دامنه کاربرد این استاندارد وسیع بوده و شامل موارد زیر است:

- نانومواد خالص
- اقلام آورده به نانومواد مثل ظروف، مواد آزمایشگاهی یکبار مصرف مورد استفاده در فعالیت‌های تحقیقاتی، پارچه‌ها یا کاغذهای مورد استفاده جهت خشک کردن یا تمیزکردن نانومواد، تجهیزات حفاظت فردی یکبار مصرف یا غیرقابل استفاده
- سوسپانسیون‌های مایع حاوی نانومواد
- ماتریکس‌های جامد حامل نانومواد که ترد و شکننده بوده یا دارای ساختارهایی هستند که خیلی محکم به سطح ماتریکس متصل نیستند و ممکن است در اثر تماس با هوا یا آب یا نیروی مکانیکی، خیلی زود شکسته شوند و از بین بروند
- این استاندارد همچنین می‌تواند توسط مدیران و متخصصین در کلیه محیط‌های کاری نانو، برای آموزش کارکنان و تهیه روش‌های اختصاصی بسته‌بندی و حمل و نقل نانومواد مورد استفاده قرار گیرد.

این استاندارد در موارد زیر کاربرد ندارد:

آ. بسته‌هایی از نانومواد که وزن خالص آن‌ها بیش از ۴۰۰ کیلوگرم باشد

ب. بسته‌هایی از نانومواد که حجم آن‌ها بیش از ۴۵۰ لیتر باشد.

این استاندارد شامل تعاریف و اصطلاحاتی است که به منظور استفاده درست از محتوای استاندارد، آشنایی با آن‌ها ضروری است. برخی از مهمترین تعاریف و اصطلاحات ارائه شده عبارتند از:

## محیط‌های کاری نانو

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.

### بسته

محصول کامل حاصل از یک بسته بندی، بسته نامیده می‌شود و شامل ظروف و مواد داخل آن به شکل آماده برای حمل است.

### مواد خطرناک

ماده‌ای که می‌تواند هنگام حمل و نقل ریسک نامطلوبی را برای سلامتی و ایمنی افراد یا اموال و محیط زیست ایجاد کند.

### بسته بندی

به ظروف و یا مواد و اجزاء لازم برای تشکیل ظروفی که بتواند خاصیت نگهداری داشته بیاشد، اطلاق می‌شود.

مواد خطرناک براساس درجه خطرناکی به سه گروه بسته بندی زیر تقسیم می‌شوند:

الف- گروه بسته بندی I = برای مواد با خطر زیاد؛

ب- گروه بسته بندی II = برای مواد با خطر متوسط؛

پ- گروه بسته بندی III = برای مواد با خطر جزئی

### بسته بندی مرکب

ترکیبی از بسته بندی‌هایی هستند که برای مقاصد حمل و نقل مورد استفاده قرار گرفته و شامل یک یا چند بسته بندی داخلی هستند که در یک بسته بندی خارجی قرار می‌گیرند. این بسته بندی از بسته بندی‌های ترکیبی متمایز است.

## بسته بندی ترکیبی

شامل یک بسته بندی خارجی و یک محفظه داخلی بوده و طوری شاخته شده اند که محفظه داخلی و خارجی یک بسته یکپارچه را ایجاد می‌کنند. به این ترتیب که پس از مونتاژ و ساخت برای همیشه به صورت یکپارچه باقی خواهند ماند و پرکردن، انبار کردن، حمل و نقل و تخلیه آن‌ها نیز در حالت یکپارچه عملی می‌شود.

## بسته بندی خارجی

پوشش خارجی یک بسته بندی ترکیبی یا مرکب بوده و ممکن است شامل ماده ای جاذب، ضربه گیر و یا هر جزء دیگری که برای نگهداری و حفظ کپسول و یا بسته داخلی لازم است نیز باشد.

## بسته بندی داخلی

بسته‌هایی هستند که برای اجرای عمل نگهداری به یک بسته خارجی نیاز دارند.

استاندارد حاضر، به اصول طبقه بندی نانومواد برای قرارگرفتن در گروه بسته بندی مناسب می‌پردازد. این طبقه بندی، بر مبنای اصول مطرح شده در استاندارد زیر انجام می‌گیرد:

United Nations (UN):2007, Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Model Regulations, Fifteenth Revised Edition ([Link](#)).

چنانچه در مقطعی از زمان، به دلایلی مانند ملاحظات فنی، امکان طبقه بندی و بسته بندی نانومواد براساس معیارهای استاندارد بالا وجود نداشته باشد، هریک از نانومواد پسماندهای آلوده به آنها باید جزء مواد خطرناک محسوب شده و در گروه بسته بندی ا، بسته بندی شوند.

اگر برای حمل نانومواد از هواپیما و کشتی استفاده شود، باید مطابق مقررات سازمان بین المللی هوانوردی (ICAO) و سازمان بین المللی دریانوردی (IMO) بسته بندی، علامت گذاری، برچسپ زنی و حمل شوند.

بسته بندی‌های گروه ۱ دارای دو بسته بندی داخلی و خارجی هستند. بسته بندی داخلی جهت پیشگیری از نشت نانومواد به بیرون، باید کاملاً پلمپ باشد. بسته بندی خارجی باید از مواد جاذب ضربه پر شود.

روی بسته بندی داخلی، باید برچسبی به اطلاعات شکل یک، نصب گردد.

### احتیاط

بسته حاوی نانومواد است

مشخصات ماده:

(اطلاعات فنی ماده مانند: ترکیب شیمیایی آنرا در این قسمت وارد کنید)

نام فرد مسئول:

شماره فرد مسئول:

در صورت شکستن یا پاره شدن بسته‌بندی مطابق زیر عمل کنید:

(اقدامات اضطراری لازم را در این قسمت بنویسید)

نانوذرات می‌توانند واکنش پذیری و سمیت غیرمعمولی از خود نشان دهند. از استنشاق، تماس پوستی و بلع این ذرات اجتناب کنید.

### شکل ۱: برچسب بسته بندی داخلی

دستورالعمل‌های بسته بندی، معمولاً، در خصوص سازگاری مواد با ظروف، راهنمایی‌های کافی را ارائه نمی‌کنند. به همین دلیل، استفاده کنندگان از این ظروف، باید از سازگاری آن‌ها با نانومواد، اطمینان حاصل کنند.

در این استاندارد، نسبت به آموزش افراد درگیر با نانومواد توضیح داده می‌شود. همه افرادی که در حمل و نقل نانومواد دخالت دارند، باید متناسب با مسئولیت‌های خود، این آموزش‌ها را دریافت کنند. این افراد شامل

آ. مسئول طبقه بندی نانومواد

ب. بسته بند

پ. علامت زن و برچسب زن

ت. آماده کننده مستندات حمل و نقل

ث. فرستنده و گیرنده نانومواد

ج. هر حمل کننده ای (فرد، سازمان، دولت) که قصد حمل و نقل نانومواد را از طریق هوا، جاده، خط آهن و یا آب را داشته باشد

چ. بارکنندگان و تخلیه کنندگان نانومواد

ح. و نفرات دیگری که به طور مستقیم در حمل و نقل نانومواد دخالت دارند

می‌شوند. این آموزش‌ها، موارد زیر را دربر می‌گیرد:

## آگاهی یا آشنایی عمومی، شامل:

الف- شرایط و ضوابط عمومی حمل و نقل نانومواد؛

ب- توضیح دسته بندی‌های مختلف نانومواد، برچسپ زنی، علامت گذاری، پلاکاردگذاری و بسته بندی، الزامات مربوط به جداسازی و سازگاری نانومواد، توضیح اهداف و محتوای دستورالعمل‌های حمل و نقل و شیوه‌های موجود واکنش در برابر وضعیت‌های اضطراری

## آموزش‌های ایمنی، شامل:

الف- روش‌های پیشگیری از وقوع حادثه بطور مثال: از طریق استفاده از وسایل جابه‌جایی بسته بندی‌ها و روش‌های درست چیدن بسته بندی‌ها؛

ب- اطلاعات مربوط به واکنش در مواقع اضطراری و نحوه استفاده از آن‌ها؛

پ- خطرات ناشی از دسته‌های مختلف نانومواد و نحوه پیشگیری از مواجهه با آن‌ها مانند: استفاده از وسایل حفاظت فردی؛

ت- اقدامات فوری که پس از نشت ناگهانی نانومواد باید انجام گیرد

## آموزش‌های امنیتی:

منظور از آموزش‌های امنیتی، شیوه‌ها یا احتیاط‌هایی هستند که با هدف به حداقل رساندن احتمال سرقت یا سوءاستفاده از نانومواد، به افراد درگیر در حمل و نقل آن‌ها آموزش داده می‌شود. این آموزش‌ها شامل موارد زیر هستند:

الف- ماهیت ریسک‌های امنیتی

ب- طبقه‌شناسایی ریسک‌های امنیتی؛

پ- شیوه‌های کاهش این ریسک‌ها و اقداماتی که باید هنگام برهم خوردن امنیت انجام پذیرد.

**موارد مهم احتیاطی امنیتی، به قرار زیر هستند:**

فرستندگان نانومواد، حمل و نقل نانومواد را باید تنها به افراد یا شرکت‌هایی واگذار کنند که کاملاً شناخته شده و مورد تایید هستند.

تمام محل‌های موقت انبارش نانومواد باید به خوبی حفاظت و مشخص شده و از دسترسی عموم و افراد غیرمجاز جلوگیری به عمل آید.

در این استاندارد، به الزامات بسته بندی و حمل و نقل نانومواد ویژه ای که فقط می‌توانند در مقادیر محدود (Limited Quantities) جابجا شوند، پرداخته می‌شود.

نانومادی که به شکل نانو هواسل (نانو آئروسول) بسته بندی می‌شوند نیازی به بسته بندی داخلی نخواهند داشت (می‌توانند در بسته بندی‌های ترکیبی یا تکی بسته بندی شوند).

اگر چند بسته حاوی هواسل، در یک بسته بزرگتر قراردادده شوند، کل بسته بندی نباید بیشتر از ۳۰ کیلوگرم وزن داشته باشد.

فیلم‌های جمع‌پذیر پیچشی می‌تواند به عنوان بسته بندی خارجی نانومواد در مقادیر محدود مورد استفاده قرار گیرد. به شرط اینکه بسته بندی‌های داخلی به راحتی شکسته یا سوراخ نشوند و از جنس شیشه، چینی، سفال یا برخی از پلاستیک‌ها یا مواد آسیب پذیر دیگر نباشند. کل جرم بسته ی نهایی نباید از ۲۰ کیلوگرم بیشتر باشد.

نانومواد مختلف که در مقادیر محدود بسته بندی شده‌اند می‌توانند با هم در یک بسته بندی خارجی قرار داده شوند به شرط اینکه در صورت نشت ایجاد واکنش‌های خطرناک نکنند.

روی بسته بندی خارجی و بسته ی نهایی باید واژه " نانومواد در مقادیر محدود " و واژه " LTD QTY " نوشته شود.

در این استاندارد، به الزامات بسته بندی و حمل و نقل نانومواد در مقادیر سفارشی (Quantities Expected) پرداخته شده است.

بسته بندی‌های مورد استفاده برای مقادیر سفارشی باید مشخصات زیر را دارا باشند:

بسته بندی‌های داخلی باید از جنس پلاستیک ( زمانی که برای بسته بندی نانومواد مایع استفاده می‌شوند نباید ضخامت کمتر از ۰/۲ میلی متر داشته باشند )، شیشه، سفال، چینی، سرامیک یا فلز باشند.

بسته بندی داخلی را درون بسته بندی میانی که حاوی مواد جاذب ضربه و جاذب مایع می‌باشد قرار دهید. درپوش بسته بندی‌های داخلی باید با محتوای بسته سازگار باشد.

روی بسته های داخلی برچسب "احتیاط - نانومواد" را نصب کنید.

بسته بندی میانی را درون یک بسته بندی خارجی محکم و سفت از جنس چوب، تخته فیبری یا مواد دیگر با استحکام و سفتی مشابه قرار دهید.

بسته‌های حاوی نانومواد در مقادیر سفارشی باید با علامت شکل ۲ علامت گذاری شوند. ابعاد این علامت باید حداقل در اندازه‌های ۱۰۰ میلی‌متر در ۱۰۰ میلی‌متر باشد. خط‌های شکل باید به رنگ قرمز یا مشکی در زمینه سفید یا هر زمینه دیگر با تباین مناسب باشد.



\* محل درج کلاس اصلی و فرعی خطر نانوماده (اگر تعیین شده باشد).  
 \*\* محل درج نام فرد، سازمان یا دولت فرستنده و گیرنده کالا (اگر در جای دیگری این نام‌ها آورده نشده باشد).

### شکل ۲: علامتی که باید روی بسته‌های نانومواد سفارشی قرار گیرد

امکان و الزامات استفاده مجدد و چندباره از بسته‌بندی‌های نانومواد مورد بررسی قرار گرفته است.

بسته‌بندی‌هایی که از آنها برای بسته‌بندی و حمل و نقل چندین باره نانومواد استفاده می‌شوند باید قبل از استفاده مجدد سرتاسر داخل و بیرون آنها شسته، دستمال‌تر کشیده یا وکیوم شوند. اگر درون بسته‌بندی خالی نانومواد مشابهی ریخته خواهد شد، تنها تمیز کردن بیرون بسته‌بندی کفایت خواهد کرد.

اگر از کیسه پلاستیکی به عنوان بسته‌بندی داخلی استفاده می‌شود، این کیسه باید از نوع پلاستیک ضد الکتریسیته ساکن باشد. این کیسه‌ها نباید مورد استفاده مجدد قرار گیرند. سطح بیرونی کلیه بسته‌بندی‌های قابل حمل حاوی نانومواد باید قبل از خروج از کارگاه (به طور مثال: قبل از ورود به انبار) تمیز شوند.

نحوه و شرایط حمل و نقل نانومواد در بیرون از محیط‌های کاری نانومواد، نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

حمل و نقل نانومواد در بیرون از محیط‌های کاری باید فقط توسط شرکت‌ها یا افراد صلاحیت دار، واجد شرایط و شناخته شده انجام شود.

راننده خودروی حامل باید دارای گواهینامه متناسب با نوع خودرو مورد استفاده باشد. خودروی حامل باید در شرایط مکانیکی خوب قرار داشته و دارای برگه معاینه فنی معتبر باشد. خودروی حامل باید دارای حداقل بیمه‌های تعیین شده از سوی مراجع قانونی باشد.

راننده باید از کلیه قوانین و مقررات راهنمایی و رانندگی پیروی کند.

راننده باید دارای اطلاعات مقدماتی از خطرات نانومواد در حال حمل مانند: نام مواد، مقدار، شکل و در صورت وجود، برگه اطلاعات ایمنی نانومواد (MSDS) باشد.

مستندات حمل و نقل نانومواد به شرح زیر باید تهیه گردد:

الف- برگه بارنامه یا اظهارنامه حمل نانومواد که توسط فرد واجد شرایط کامل و امضا شده است؛

ب- توضیحات و اطلاعات موجود در خصوص نانومواد در حال حمل مانند: برگه اطلاعات ایمنی نانومواد (MSDS)؛

پ- برگه اعلام وصول که باید توسط فرد یا واحد گیرنده تایید شود.

نحوه و شرایط حمل و نقل نانومواد در داخل محیط‌های کاری نانومواد، مورد بررسی قرار گرفته است.

مسئولین محیط‌های کاری نانو باید جهت تامین ایمنی جابجایی نانومواد در محیط‌های کاری خود اقدام به تهیه مستندات اختصاصی نمایند. آنچه مسلم است الزامات این مستندات نباید با الزامات این استاندارد مغایرت داشته باشد.

فرد مسئول ایمنی حمل و نقل نانومواد یا فرد معادل وی باید در خصوص الزامات مرتبط با بسته‌بندی، علامت گذاری مستندسازی مورد نیاز دارای اطلاعات کافی باشد.

مستندات زیر را درون بسته‌بندی‌ها قرار دهید :

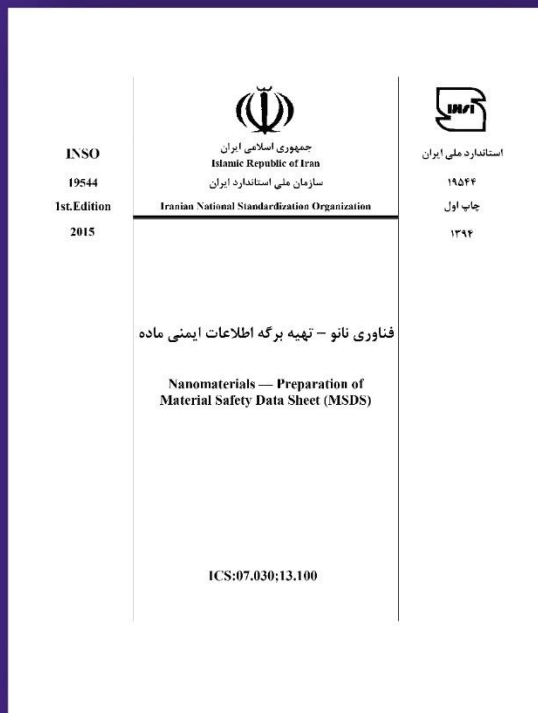
الف- نتایج حاصل از ارزیابی اثرات بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی نانوماده

ب- در صورت وجود، یک نسخه از برگه اطلاعات ایمنی نانوماده (MSDS) یا یک برگه مشابه که خطرات احتمالی آن نانوماده را توضیح می‌دهد.

پ- برگه اعلام وصول که باید توسط فرد یا واحد گیرنده تایید شود.

درباره دفع پسماند آلوده به نانومواد، توضیح داده شده است. در اینجا تصریح شده است که کلیه مواد آلوده به نانومواد، باید به عنوان مواد خطرناک یا بالقوه خطرناک، دفع شوند.

به تجهیزات حفاظت فردی در هنگام بسته بندی و حمل و نقل نانومواد اشاره شده است. در این بخش تصریح شده است که از تجهیزات معرفی شده در استاندارد ملی شماره ۱۲۳۲۵ استفاده شود.



خلاصه استاندارد ملی

فناوری نانو - تهیه برگه اطلاعات ایمنی ماده

شماره استاندارد: ۱۶۵۴۴

سال تصویب: ۱۳۹۴

این استاندارد به شماره ۱۹۵۴۴ در سال ۱۳۹۴ تدوین شده است. هدف از تدوین این استاندارد و دامنه کاربرد آن به صورت زیر عنوان شده است:

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه راهنمایی برای تدوین محتوا، تطابق و ارتباط اطلاعات در مورد ایمنی، بهداشت و مسائل زیست محیطی در برگه‌های اطلاعات ایمنی برای موادی است که به عنوان نانومواد ساخته شده طبقه‌بندی شده اند و همچنین برای محصولات شیمیایی حاوی نانومواد ساخته شده است. این استاندارد، مکملی برای ISO 11014:2009 در تهیه اطلاعات ایمنی به طور کلی، جهت آماده سازی برگه اطلاعات ایمنی برای نانومواد ساخته شده و مخلوط‌های حاوی نانومواد تولید شده می‌باشد.

اصطلاحات و تعاریف لازم برای درک و استفاده از استاندارد، ارائه شده اند که برخی از مهمترین‌های آن‌ها عبارت از موارد زیر هستند:

## برگه اطلاعات ایمنی

سندی است که اطلاعات آن خواص مواد شیمیایی مخاطره آمیز، چگونگی اثرات آنها بر سلامت و ایمنی محیط کار و چگونگی مدیریت مواد شیمیایی مخاطره آمیز در محیط کار را ارائه می‌کند.

## ماده

عناصر شیمیایی و مخلوط‌های آنها در حالت طبیعی یا حاصل شده از فرایندهای ساخته شده که شامل هرگونه مواد افزودنی لازم جهت حفظ پایداری محصول و هرگونه ناخالصی‌های مشتق از فرایندهای استفاده شده می‌باشد، به استثنا هرگونه حلالی که ممکن است بدون تاثیر در پایداری ماده یا تغییر مخلوط آن جدا شده باشد.

## نانومقیاس

محدوده اندازه از تقریباً ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد.

## نانوشی

ماده‌ای که یک یا دو یا سه بعد خارجی آن نانومقیاس است.

## نانوماده

ماده‌ای که دارای بعد خارجی یا ساختار داخلی یا ساختار سطحی در مقیاس نانو باشد.

## نانوذره

نانوشی که هر سه بعد خارجی آن نانومقیاس است.

## نانوماده تولیدشده

نانوماده‌ای که به منظور تجاری تولید شده تا خواص مشخصی یا اجزای ترکیبی مشخص داشته باشد.

## نانومواد تصادفی

نانوموادى که به عنوان محصول فرعى یک فرایند به صورت غیر عمدی تولید می‌شود. استاندارد، به آماده سازی برگه اطلاعات ایمنی مواد می‌پردازد. این بخش، شامل کلیات و محتوا و طرح کلی برگه اطلاعات ایمنی است. کلیات، به مواردی عمومی درباره شکل برگه و تطابق آن با برخی استانداردهای دیگر پرداخته است. توصیه می‌شود این استاندارد جهت آماده‌سازی برگه اطلاعات ایمنی برای همه نانومواد ساخته شده بدون توجه به اینکه آیا توده (غیرنانویی) مواد به عنوان مخاطره‌آمیز طبقه‌بندی شده‌اند یا خیر، استفاده شود.

توصیه می‌شود اطلاعات در برگه اطلاعات ایمنی به شیوه‌ای روشن و مختصر نوشته شود. توصیه می‌شود برگه اطلاعات ایمنی توسط یک فرد یا افراد متخصص، با توجه به نیازهای خاص مخاطبان مورد نظر شناخته شده، تهیه شود

اگر اطلاعات مرتبط با هر یک از بخش‌های شانزده‌گانه مورد نیاز برگه اطلاعات ایمنی مواد را نمی‌توان یافت، توصیه می‌شود این موضوع را در برگه اطلاعات ایمنی مواد در بخش مناسب با استفاده از عباراتی مانند "در دسترس نیست" نشان داد. توصیه می‌شود برگه اطلاعات ایمنی مواد در هیچ یک از سرعنوان‌های بخش‌ها جای خالی نداشته باشد.

در محتوا و طرح کلی برگه اطلاعات ایمنی، به ۱۴ مورد اشاره می‌شود که باید در برگه اطلاعات ایمنی گنجانده شود.

- مشخصات شرکت و محصول شیمیایی،
- شناسایی خطر،
- مخلوط مواد تشکیل دهنده و اطلاعات مرتبط،
- اقدامات کمک‌های اولیه
- اقدامات اطفاء حریق
- اقدامات انتشار تصادفی
- حمل و نقل و ذخیره سازی
- کنترل‌های مواجهه و حفاظت فردی
- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی
- پایداری و واکنش پذیری
- اطلاعات سم شناسی
- اطلاعات بوم شناسی
- ملاحظات دفع و اطلاعات حمل و نقل

۱۴ مورد اطلاعاتی هستند که می‌بایست در برگه گنجانده شوند.

در استاندارد، به بخشی دیگر از محتوای برگه اشاره می‌شود به نام مقادیر کات آف/حدود غلظت. منظور از این بخش، ارائه حدود مجاز مواجهه برای انواع سمیت‌ها است. توصیه شده است که به شکل جدول شماره یک، این اطلاعات گزارش شوند. اما به نظر نمی‌رسد، با اطلاعات فعلی درباره سم شناسی نانومواد، بتوان اطلاعات زیادی در این بخش گنجاند.

جدول ۱: مقادیر کات آف / حدود غلظت

| مقادیر cut off/حدود غلظت                                                                 | گروه خطر                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| $\geq 1\%$                                                                               | سمیت حاد                        |
| $\geq 1\%$                                                                               | سوزش / خوردگی پوست              |
| $\geq 1\%$                                                                               | آسیب جدی چشم/سوزش چشم           |
| $\geq 0.1\%$                                                                             | حساسیت پوستی/تنفسی              |
| $\geq 0.1\%$                                                                             | جهش زایی سلول جنینی (دسته ۱)    |
| $\geq 1\%$                                                                               | جهش زایی - سلول جنینی (دسته ۲)  |
| $\geq 0.1\%$                                                                             | سرطانزایی                       |
| $\geq 0.1\%$                                                                             | سمیت تناسلی                     |
| $\geq 1\%$                                                                               | سمیت ارگان مشخص (یک بار مواجهه) |
| $\geq 1\%$                                                                               | سمیت ارگان مشخص (مواجهه مکرر)   |
| ۱۰٪ اجزا دسته ۱ و گرانروی سینماتیکی $\geq 20/5$ میلی متر مربع بر ثانیه در ۴۰ درجه سلسیوس | خطر تنفسی (دسته ۱)              |
| ۱۰٪ اجزا دسته ۲ و گرانروی سینماتیکی $\geq 14$ میلی متر مربع بر ثانیه در ۴۰ درجه سلسیوس   | خطر تنفسی (دسته ۲)              |
| $\geq 1\%$                                                                               | مخاطره آمیز برای محیط آبی       |

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

فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی نانومواد

مهندسی شده

قسمت ۱: اصول و رویکردها

Nanotechnologies -Occupational risk  
management applied to engineered  
nanomaterials

Part 1:  
Principles and approaches

ICS:13.100

خلاصه استاندارد ملی

فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی شده  
قسمت ۱: اصول و رویکردها

شماره استاندارد: ۱-۱۹۸۱۶

سال تصویب: ۱۳۹۴

این استاندارد در سال ۱۳۹۴ و به شماره ۱-۱۹۸۱۶، منتشر شده است. هدف و دامنه کاربرد استاندارد به این صورت بیان شده است:

هدف از تدوین این استاندارد ارائه راهنمایی در مورد معیارهای سلامت و ایمنی شغلی در رابطه با نانومواد مهندسی شده است که شامل: استفاده از کنترل‌های مهندسی و تجهیزات حفاظت فردی مناسب، راهنمایی در مورد ریخت‌وپاش 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، فراوری و دفع نانومواد مهندسی شده کاربرد دارد. اصطلاحات و تعاریف لازم برای درک و استفاده از استاندارد، ارائه شده‌اند. در این بخش، اختصارات و نمادهای لازم نیز توضیح داده شده‌اند.

## مخاطره

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

## مخاطرات سلامتی

منابع بالقوه آسیب و صدمه به سلامتی است.

## ریسک

ترکیبی از احتمال و پیامد ناشی از وقوع یک رخداد خطرناک است.

## مواجهه

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

## انبوهه

ذره‌ای است شامل ذرات جوش خورده یا با پیوند قوی که مساحت سطح خارجی آن می‌توان به‌طور چشمگیری از مجموع مساحت‌های سطح محاسبه شده برای تک تک اجزا کوچکتر باشد.

## کلوخه

مجموعه‌ای از ذرات با اتصال سست یا انبوهه‌ها یا مخلوط‌های دوتایی که مساحت خارجی آنها مشابه مجموع مساحت‌های سطح تک تک اجزا است.

## NOAA

نانوشی، انبوهه و کلوخه آن‌ها

استاندارد، شامل انواع نانومواد و ویژگی‌های آن‌ها است. در این بخش برخی از متداول‌ترین گروه‌های نانومواد معرفی شده اند که شامل فولرن‌ها، نانولوله‌های کربنی، نانوسیم‌ها، نقاط کوانتومی، فلزات، اکسیدهای فلزی، سرامیک‌ها، کربن سیاه، درخت سانان و نانورُس‌ها می‌شوند.

استاندارد، به مخاطرات، مواجهه و ریسک نانومواد نیز می‌پردازد. در اینجا بیشتر به مخاطرات بهداشتی و ایمنی ناشی از کار با نانومواد پرداخته است و ملاحظات زیست محیطی را در نظر نگرفته است. مباحث مطرح شده در این بخش شامل:

- ملاحظات مرتبط با ریسک‌های بالقوه سلامتی در اثر استنشاق NOAAAs
- ملاحظات مرتبط با ریسک‌های بالقوه سلامتی ناشی از مواجهه‌های پوستی یا خوراکی
- نانوآشیاء NOAAAs به عنوان موادی مخاطره آمیز
- خطر حریق و انفجار NOAAAs

می‌شود.

الف- به دلیل اندازه کوچک، نانوشی می‌تواند به بخش‌هایی از سامانه زیستی برسد که معمولاً ذرات بزرگتر نمی‌توانند به آن راه یابند.

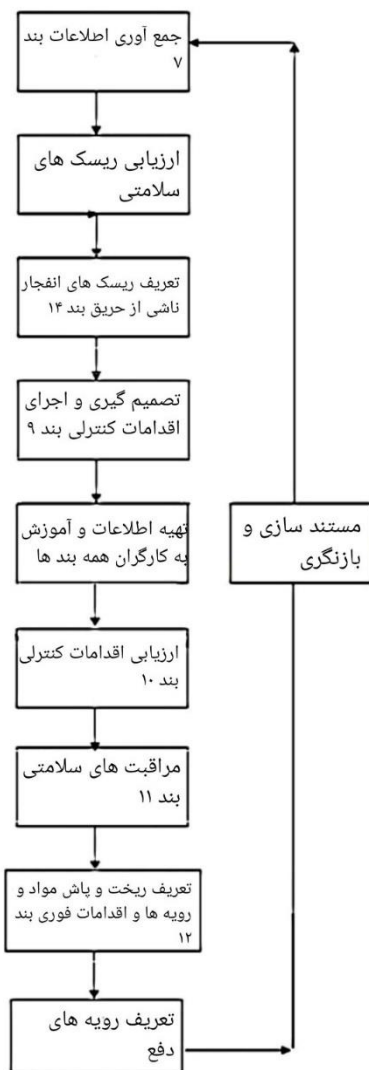
ب- نانو اشیا NOAA<sub>s</sub> دارای مساحت سطحی بیشتری نسبت به ذرات بزرگتر با جرم مشابه هستند. از آنجا که مساحت سطحی عاملی برای سمیت محسوب می‌شود، امکان مسمومیت با این مواد بسیار بیشتر است.

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.

ث- علاوه بر این، در برخی از NOAA<sub>s</sub>، کاهش اندازه باعث افزایش قابلیت انحلال آنها می‌شود. این اثر ممکن است منجر به افزایش قابلیت دسترسی زیستی مواد شود که غیرقابل حل بوده یا در اندازه‌های درشت‌تر، قابلیت انحلال کمی دارند.

در استاندارد، به رویکرد کلی مدیریت ریسک NOAA<sub>s</sub> در این استاندارد اشاره شده است. این رویکرد، که در شکل سه نشان داده شده است، هشت هدف را، به شرح زیر، دنبال می‌کند:

- مخاطرات شناسایی و ریسک آن‌ها ارزیابی شوند.
- در مورد احتیاط‌های لازم تصمیم‌گیری شود.
- پیش‌گیری یا کنترل مواجهه صورت گیرد.
- از انجام اقدامات کنترلی اطمینان حاصل شود.
- میزان مواجهه پایش گردد.
- نظارت‌های موردنیاز سلامتی انجام شود.
- برنامه‌ها و رویه‌های برخورد با حوادث، رخدادها و فوریت‌ها آماده شوند.
- از اینکه کارکنان به طور کامل از ریسک این مواد اطلاع داشته، در مورد آنها آموزش دیده و حفاظت می‌شوند، اطمینان حاصل شود.



شکل ۳: رویکرد کلی مدیریت ریسک NOAAS

در استاندارد، به شناسایی و تعیین صلاحیت فرد ارزیاب ریسک پرداخته شده است. در اینجا به صورت کلی توصیه شده است که افرادی که ارزیابی ریسک فعالیت‌های درگیر با نانومواد را انجام می‌دهند، اطلاعات پایه ای درباره این فعالیت‌ها، نانومواد و فرآیند کلی ارزیابی ریسک داشته باشند.

در استاندارد، به جمع آوری اطلاعات پرداخته شده است. این گام شامل جمع آوری همه اطلاعات ممکن درباره محیط کار درگیر با نانومواد، شغل درگیر با نانومواد، فعالیت درگیر با نانومواد و بویژه خود نانومواد تولید/مصرفی است. همچنین شناسایی کارکنان در معرض مواجهه اهمیت دارد.

استاندارد، ارزیابی ریسک سلامتی را بررسی می‌کند. ارزیابی ریسک، خود شامل مراحل

- ارزیابی مخاطره
- ارزیابی مواجهه
- ارزیابی و اولویت بندی ریسک سلامتی
- مستندسازی و بازنگری

است. ارزیابی مخاطره، معمولا براساس اطلاعات جمع آوری شده درباره سمیت نانومواد انجام می‌گیرد. ارزیابی مواجهه نیز با بررسی سناریوها و مسیرهای احتمالی مواجهه انجام می‌گیرد. سپس با ترکیب مخاطره و مواجهه، ریسک ارزیابی شده و براساس شدت ریسک‌ها، اولویت بندی انجام می‌گیرد؛ به این معنی که ریسک‌های با شدت بیشتر، در اولویت حذف/کنترل قرار می‌گیرند. این اقدامات مستندسازی شده و به صورت دوره ای مورد بازنگری قرار می‌گیرند و در صورت نیاز مراحل پیش گفت، مجددا انجام می‌گیرند.

استاندارد، به کنترل ریسک پرداخته است. کنترل ریسک در بهداشت حرفه ای، معمولا براساس سلسله مراتب کنترل انجام می‌گیرد (شکل چهار).



شکل ۴: سلسله مراتب کنترل

حذف، به معنای از بین بردن / از مدار خارج کردن کامل عامل مخاطره آمیز است. برای مثال، نانوماده مخاطره آمیز را کاملاً حذف کنیم و از ماده ای دیگر استفاده کنیم.

جایگزینی، به معنای استفاده از ماده ای با خطرات کمتر به جای ماده فعلی است، به شرطی که همان کارایی ماده اولیه را داشته باشد. با این کار، هم فعالیت ادامه پیدا خواهد کرد و هم از میزان مخاطرات کاسته خواهد شد.

محصورسازی، که گاهی به عنوان جزئی از کنترل‌های مهندسی هم مطرح می‌شود، به معنای این است که همه عملیات درگیر با نانومواد، از دیگر فعالیت‌ها جدا شود و در محیطی محصور و جدا انجام گیرد.

منظور از کنترل‌های مهندسی، استفاده از همه تکنولوژی‌ها و تجهیزات موجود برای کاهش و یا حذف مواجهه با نانومواد است. از جمله این تجهیزات می‌توان به انواع هودها، تهویه‌ها و جعبه‌های دستکش دار اشاره کرد.

کنترل‌های مدیریتی، به معنای تمرکز روی کارکنان، به جای تمرکز روی کار و فعالیت است. از جمله این اقدامات می‌توان به کاهش تعداد کارکنان درگیر با نانومواد، کاهش تعداد ساعات مواجهه با نانومواد، چرخش کار و مواردی از این دست اشاره کرد.

تجهیزات حفاظت فردی، آخرین اولویت کنترلی و شامل استفاده از تجهیزاتی است که مستقیماً توسط کارکنان استفاده می‌شوند و آخرین سنگر کنترلی هستند. مهمترین آن‌ها برای نانومواد، شامل تجهیزات حفاظت تنفسی و پوستی هستند.

اصولا انتخاب هریک (یا ترکیبی) از کنترل‌های بالا به فاکتورهای متعددی از جمله نتایج ارزیابی ریسک، در دسترس بودن، هزینه، قابلیت اجرا و مواردی از این دست بستگی دارد. استاندارد، به روش‌های سنجش برای ارزیابی اقدامات کنترلی می‌پردازد. سنجش می‌تواند برای اهداف زیر انجام گیرد:

الف- شناسایی منابع انتشار نانو مواد .

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.

برای انجام سنجش، تجهیزات زیادی در دسترس هستند که برخی به صورت قرائت مستقیم و در لحظه نتایج را نشان می‌دهند و برخی به صورت غیرمستقیم کار می‌کنند و نیاز به آنالیزهای بعدی دارند. علاوه بر تجهیزات اشاره شده در استاندارد حاضر، برای اطلاعات تکمیلی می‌توان به استاندارد ISO/TR 27628 مراجعه کرد. در ادامه این بخش به بررسی امکان نمونه برداری از نانو مواد و محدودیت‌های کلی سنجش نانو مواد پرداخته شده است.

در استاندارد، به صورت بسیار خلاصه و کلی، از مراقبت‌های سلامتی در مواجهه‌های شغلی با نانو مواد صحبت شده است.

در حال حاضر، در مطالعات اندکی ارتباط میان مواجهه با شکل‌های جدید NOAAs مهندسی شده و عوارض زیان آور آن بر سلامتی نشان داده شده است. اما بر اساس تجربیات مربوط به ذرات دیگر مانند بلورهای سیلیکات و آزیست، این انتظار می‌رود که یک دوره نهفتگی طولانی در ایجاد بیماری مربوط به چنین مواجهه‌هایی وجود داشته باشد. هرچه مطالعات حیوانی عوارض زیان آور (مانند فیبروز و التهاب ریه) را در دزهای پایین‌تر 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 به کار گرفته شده و مدت استفاده آنها جمع آوری گردد. چنین اطلاعاتی به ساخت یک شناسه مواجهه کمک خواهد کرد که می‌تواند برای مطالعات همه‌گیرشناسی آتی، بر هر یک از اثرات بهداشتی که در جمعیت در معرض مواجهه پدیدار می‌شود، حائز اهمیت باشد.

در استاندارد، ریخت و پاش و رهایش اتفاقی نانومواد در محیط‌های کاری و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. در اینجا تصریح شده است که مدیریت ریخت و پاش‌ها، باید بخشی از برنامه جامع ایمنی و بهداشت محیط کار درگیر با نانومواد باشد. در اینجا همچنین درباره نحوه پاکسازی محیط آلوده شده به نانومواد، توضیحاتی داده شده است.

در صورت ریخت و پاش یا رهایش تصادفی، کارکنان محل باید مساحتی که به طور 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 گسترش انتشار NOAAs را از منطقه متاثر شده کاهش دهند، برای مثال استفاده از پادری‌های ثابت در خروجی‌ها.

تمام باقیمانده‌های حاصل از پاکسازی ریخت‌وپاش یا رهایش تصادفی (شامل فیلترها، خشک‌کن‌ها، دستمال‌های جاذب و مواد) باید به عنوان پسماند آلوده به نانومواد در نظر گرفته شوند.

در استاندارد، به روش‌های دفع پرداخته شده است. دفع، شامل مواردی است که در زیر به آن‌ها اشاره شده است:

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

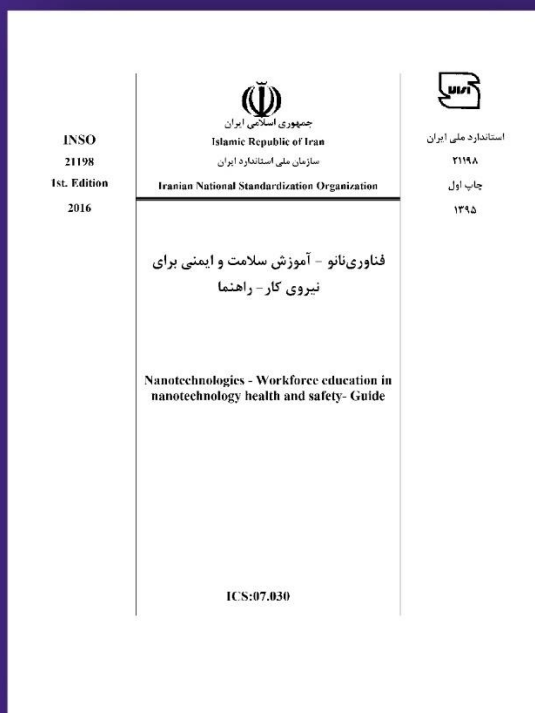
این بخش، با

- برنامه ریزی برای انبارش و دفع نانومواد
- انبارش نانومواد زاید قبل از دفع و
- دفع نانومواد زاید

به این موضوع می‌پردازد.

در استاندارد، به رویکرد ایمنی درباره محیط‌های کاری درگیر با نانومواد پرداخته شده است و توصیه‌هایی درباره پیشگیری از حریق و انفجار ارائه شده است.

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 قابل رویت است. بهتر است اصول مشابهی در مدیریت پودرها، گردوغبارها یا مواد ذره‌زا برای نانوذرات به ویژه برای غبارات فلزی قابل اکسید شدن در نظر گرفته شود. اقداماتی حفاظتی انفجار برای گردوغبار منتشره و مقادیر مخاطره‌آمیز مواد با اندازه بزرگتر شرح داده شده است و این امر می‌تواند در جابجایی نانو ذرات قابل انفجار استفاده می‌شود توصیه فعال کاتالیتیکی، از تماس با مواد ناسازگار پیشگیری بعمل آید.



## ۴ خلاصه استاندارد ملی

فناوری نانو - آموزش سلامت و ایمنی برای نیروی کار - راهنما

شماره استاندارد: ۲۱۱۹۸

سال تصویب: ۱۳۹۵

این استاندارد به شماره ۲۱۱۹۸ و در سال ۱۳۹۵ منتشر شد و کماکان دارای اعتبار است. در این استاندارد، به هدف و دامنه کاربرد آن اشاره شده است. در اینجا تصریح شده است که:

هدف از تدوین این استاندارد ارائه دستورالعملی برای آموزش پایه‌ای نیروی کار در موضوع سلامت و ایمنی مرتبط با فناوری نانو است که در سطح کارشناسی دانشگاه تدریس می‌شود. توصیه می‌شود این آموزش به اندازه‌ای گسترده باشد که افراد را برای کار ایمن در مراکز تحقیقاتی، توسعه یا ساخت فناوری نانو آماده نماید. افراد آموزش دیده ممکن است در جابجایی نانومواد، ساختن، توزیع، انبار کردن، استفاده یا امحاء مواد نانومقیاس درگیر باشند.

این استاندارد ممکن است برای تدوین و ارزشیابی یک برنامه آموزشی در مسائل سلامت و ایمنی در زمینه فناوری نانو استفاده شود. این استاندارد فهرستی از موضوعات کلیدی را فراهم می‌کند که توصیه می‌شود در برنامه آموزش فناوری نانو گنجانده شود، اما مواد آموزشی خاص دوره را که باید در این قبیل برنامه استفاده شود ارائه نمی‌کند. این رویکرد به منظور مجوز دادن به نهادهای آموزش نیروی کار در نظر گرفته شده است تا اطمینان حاصل شود برنامه‌های آنها محتوی آموزشی مورد نیاز را پوشش می‌دهد. همچنین این نهادها را در تنظیم برنامه‌های خود برای پاسخگویی به نیازهای کارفرماهای محلی توانمند می‌سازد.

این استاندارد همه نگرانی‌های ایمنی، در صورت وجود، در رابطه با استفاده از پشتیبانی نمی‌کند. پیاده‌سازی اقدامات ایمنی و بهداشتی لازم و تعیین قابلیت اجرای محدودیت‌های مقرراتی پیش از استفاده، از مسئولیت‌های کاربر این استاندارد است. مخاطرات آبی و طولانی مدت، در صورت وجود، برای تعدادی از مواد ناشناخته وجود دارد. این استاندارد در مورد نگرانی‌های مرتبط با استفاده و امحاء نهایی محصولات حاوی نانومواد کاربرد ندارد.

توصیه می‌شود عمق موضوعات به اندازه‌ای کافی باشد که در فرایندهای مختلف فناوری نانو از قبیل ساخت نانومواد، مشخصه یابی نانومواد، نانولیتوگرافی و الگودهی قابل استفاده باشد.

ویژگی منحصر به فرد مواد نانومقیاس ممکن است مخاطرات سلامتی و زیست محیطی خاصی داشته باشد. مخاطرات ناشی از نانومواد ممکن است با مخاطرات ناشی از مواد بزرگ، خیلی تفاوت داشته باشد.

در استاندارد، به اصطلاحات و تعاریف موردنیاز برای درک و استفاده از استاندارد حاضر پرداخته شده است. این اصطلاحات و تعاریف، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف موجود در استاندارد ISO/TS 27687 است.

## نانومواد

ماده‌ای که یا نانوشی یا نانو ساختار است.

## نانومقیاس

محدوده اندازه از ۱ نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر است.

## نانوساخت

ساخت مواد با استفاده از نانومواد در محصولات دیگر است.

در اهمیت و کاربرد استاندارد، به حداقل محتوای توصیه شده برای دوره آموزشی سلامت و ایمنی فناوری نانو برای نیروی کار، پرداخته شده است. این حداقل‌ها شامل موارد زیر است:

آموزش ریسک‌های سلامتی شناخته شده و بالقوه، شیوه انجام کار در محیط کار فناوری نانو، ایمنی آزمایشگاه فناوری نانو و آزمایشگاه عمومی و درک برگه‌های اطلاعات ایمنی (SDSs)

در این بخش، ابتدا به محتوای مربوط به سلامتی، شامل

- تعاریف مسائل سلامتی
- فهرست ویژگی‌ها و خواص منحصر بفرد نانومواد
- نانومواد پرکاربرد و
- شناسایی راه‌های مواجهه با برهمکنش نانوذرات

پرداخته شده بود. در ادامه به مطالبی که باید درباره نگرانی‌های سلامتی مربوط به ابزارهای فراوری رایج مورد استفاده در نانوساخت وجود دارد، می‌پردازد. سپس، مطالب لازم درباره روش کار ایمن در آزمایشگاه‌های استفاده کننده از فناوری نانو یا در محیط‌های نانوساخت، مورد بررسی قرار می‌گیرند. به دنبال آن، مطالب مورد نیاز درباره پایش محیطی نانومواد مورد اشاره قرار می‌گیرند. در نهایت، برگه‌های اطلاعات ایمنی نانومواد مورد بررسی قرار می‌گیرند.

|                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>ISO<br/>19816-2<br/>1st Edition<br/>2018<br/>Identical with<br/>ISO/TS12901-2:<br/>2014</p> | <div>  <p>جمهوری اسلامی ایران<br/>Islamic Republic of Iran<br/>سازمان ملی استاندارد ایران<br/>Iranian National Standardization<br/>Organization</p> </div> <hr/> <p>فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی<br/>نانومواد مهندسی شده -<br/>قسمت ۲: استفاده از رویکرد<br/>دسته بندی اقدامات کنترلی</p> <p>Nanotechnologies — Occupational<br/>risk management applied to<br/>engineered nanomaterials —<br/>Part 2: Use of the control banding<br/>approach</p> <p>ICS: 13.100.07.120</p> | <div>  <p>استاندارد ملی ایران<br/>۱۹۸۱۶-۲<br/>چاپ اول<br/>۱۳۹۷</p> </div> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## خلاصه استاندارد ملی

فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی شده - قسمت ۲  
استفاده از رویکرد دسته بندی اقدامات کنترلی

شماره استاندارد: ۱۹۸۱۶-۲

سال تصویب: ۱۳۹۷

این استاندارد به شماره ۲-۱۹۸۱۶ در سال ۱۳۹۷ منتشر شده است و هم اکنون دارای اعتبار است. در ابتدای استاندارد حاضر، مقدمه نسبتاً مفصل، روشنگر و مفیدی درباره رویکرد "دسته بندی اقدامات کنترلی" آورده شده است. محتوای این مقدمه شامل توصیف رویکرد، مبنای عملی رویکرد، تاریخچه رویکرد، رویکردهای مشابه و دلایل مناسب بودن این رویکرد برای نانومواد، است. در هدف و دامنه کاربرد این استاندارد تصریح شده است که:

دسته بندی اقدامات کنترلی برای به کارگیری در زمینه مدیریت ایمنی، محیط زیست یا حمل و نقل در نظر گرفته نشده است؛ این رویکرد تنها به عنوان یک بخش از فرایند جامع مدیریت مخاطره در نظر گرفته شده است.

هدف از تدوین این استاندارد، توصیف استفاده از رویکرد دسته بندی اقدامات کنترلی برای کنترل ریسک‌های مرتبط با مواجهه‌های شغلی به نانو اشیا، انبوهه و کلوخه‌های بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر (NOAAs) است، حتی اگر دانش در مورد سمیت و تخمین مقدار مواجهه آنها وجود نداشته و یا محدود باشد.

هدف نهایی دسته بندی اقدامات کنترلی برای کنترل مواجهه، به منظور پیشگیری از هر نوع اثرات نامطلوب ممکن بر سلامت کارگران است. ابزار دسته بندی اقدامات کنترلی توصیف شده در اینجا به ویژه برای کنترل استنشاقی طراحی شده است.

این استاندارد، برای تولید هدفمند NOAAs که شامل نانو اشیا مانند نانو ذرات، نانوپودرها، نانو الیاف، نانو لوله‌ها، نانوسیم‌ها و نیز انبوهه و کلوخه‌های آن مواد می‌شود کاربرد دارد.

این استاندارد، برای کمک به مشاغل و موارد دیگر شامل سازمان‌های تحقیقاتی درگیر در ساخت، پردازش یا کار با NOAAs، از طریق ارائه یک رویکرد عملگرایانه برای کنترل مواجهه‌های شغلی در نظر گرفته شده است.

دسته بندی اقدامات کنترلی برای مباحث مرتبط با بهداشت شغلی در توسعه، ساخت و کاربرد NOAAs تحت شرایط قابل پیش بینی معمول یا منطقی، به کار می‌رود که شامل عملیات نگهداری و پاکسازی به جز برای موقعیت‌های تصادفی و اتفاقی است.

در اینجا تصریح شده است که این استاندارد برای موادی با منشاء زیستی، کاربرد ندارد.

به اصطلاحات و تعاریف به کاربرده شده در این استاندارد اشاره شده است.

## ماده توده‌ای

موادی با همان ترکیب شیمیایی نانوشی و کلوخه و انبوهه آن، که در مقیاس بزرگتر از مقیاس نانو هستند.

## ماده مشابه

موادی از یک طبقه شیمیایی مشابه، و با ترکیب مشابه و/ یا حالت بلوری و خواص فیزیکوشیمیایی ثبت شده مشابه (اکسیدهای فلزی، گرافیت، سرامیک‌ها، مانند آن) هستند.

## دسته شیمیایی

گروهی از مواد شیمیایی که خواص فیزیکوشیمیایی و سلامت انسان و/ یا زیست شناختی و/ یا خواص زیست محیطی احتمالاً مشابه‌ای دارند یا معمولاً در نتیجه داشتن شباهت ساختاری، از یک الگوی معین پیروی می‌کنند.

## گرد و غبارزایی

گرایش ذرات به جدایی از توده اصلی پودر و سپس پراکنده شدن در اتمسفر است.

## مواجهه

تماس با یک عامل شیمیایی، فیزیکی یا زیستی از طریق بلع، تنفس، یا تماس پوستی یا چشمی است.

## مخاطره بهداشتی

منبع بالقوه آسیب و صدمه به سلامتی است.

## ریسک بهداشتی

ترکیبی از احتمال پیامد ناشی از وقوع صدمه به سلامتی است.

## انحلال پذیری

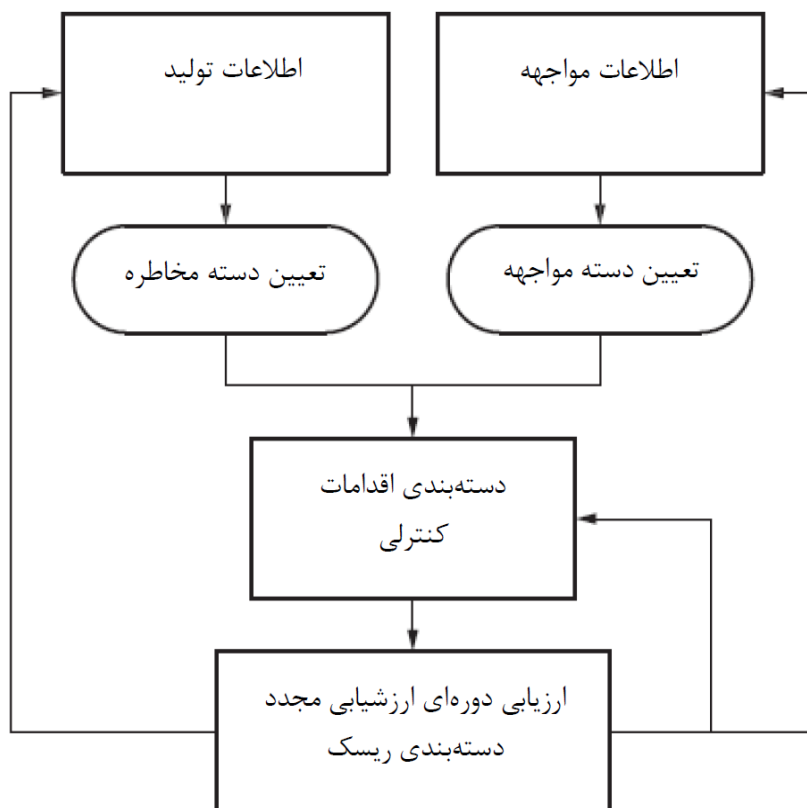
حداکثر جرمی از یک نانوماده که در یک حجم معین از یک حلال خاص تحت شرایط مشخص قابل حل است.

در استاندارد همچنین نمادها و کوتاه نوشت‌های استفاده شده در استاندارد، تشریح شده‌اند.

|       |                                                                                |                                                   |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| COSHH | Control of Substances<br>Hazardous to Health                                   | اصول کنترل مواد<br>مخاطره‌آمیز برای سلامتی        |
| NOAAs | Nano-Object and their<br>Aggregates and<br>Agglomerates greater<br>than 100 nm | نانواشیا، کلوخه و انبوهه<br>بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر |
| CMAR  | Carcinogenicity<br>Mutagenicity<br>Reprotoxicity or<br>Sensitization           | سرطان‌زا، جهش‌زا، آسم‌زا<br>یا تولیدمثلی          |

استاندارد، اصول عمومی دسته بندی اقدامات کنترلی جهت کاربرد برای NOAAs را توصیف می‌کند. این اصول عمومی، که در شکل ۵ نیز نمایش داده شده اند، به شرح زیر هستند:

- جمع‌آوری اطلاعات؛
- ارجاع NOAAs به یک محدوده مخاطره: دسته‌بندی مخاطره؛
- توصیف مشخصات مواجهه بالقوه: دسته‌بندی مواجهه؛
- توصیه‌های محیط کار و شیوه‌های انجام آنها: دسته‌بندی اقدامات کنترلی؛
- ارزیابی راهبرد کنترل یا دسته‌بندی ریسک.



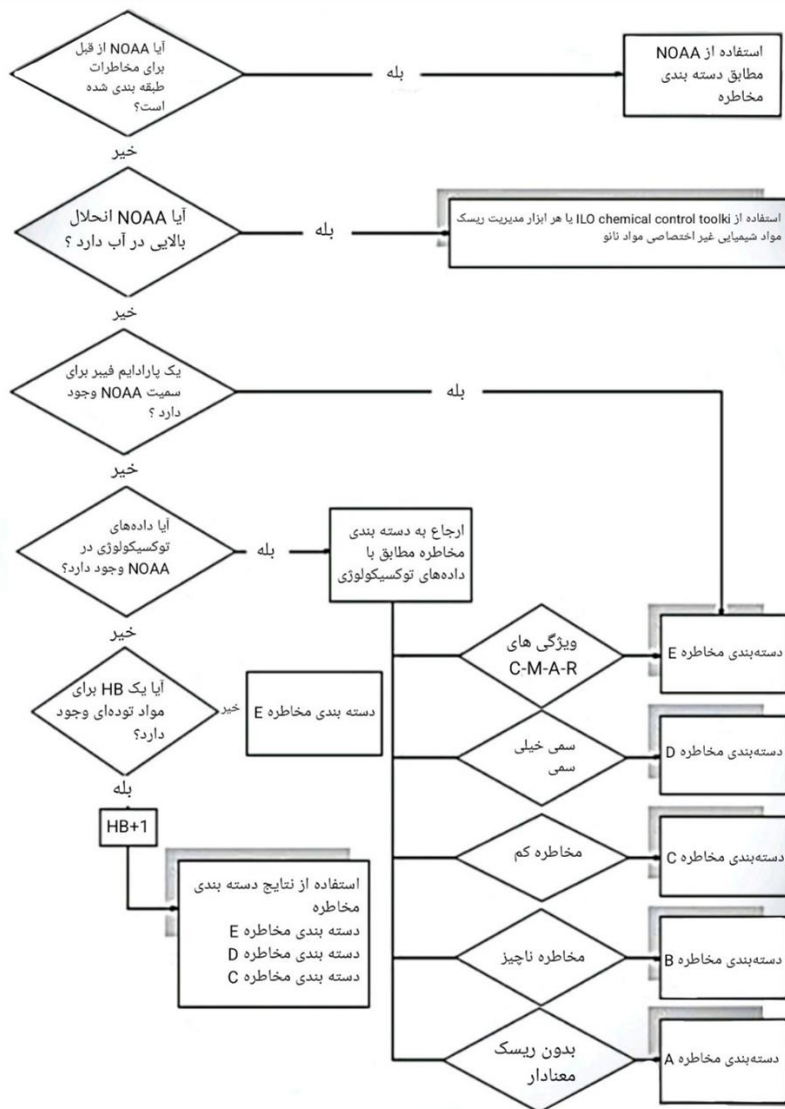
شکل ۵: اصول عمومی دسته بندی اقدامات کنترلی

داده‌های ورودی، پیش‌نیازی برای پیاده سازی دسته بندی اقدامات کنترلی است. لذا جمع آوری اطلاعات و ثبت داده‌ها، یکی از مهمترین مراحل انجام این روش به حساب می‌آیند. دسته بندی مخاطره، شامل ارجاع یک محدوده خطر به NOAAs، براساس ارزیابی جامع همه داده‌های در دسترس برای آن‌ها است. دسته بندی مواجهه، به معنی ارجاع سناریوی مواجهه (شرایط معینی که مواجهه ممکن است تحت آن رخ دهد) به یک محدوده مواجهه است. این ارجاع نیز براساس ارزیابی اطلاعات و داده‌های جمع آوری شده انجام می‌گیرد. دسته بندی اقدامات کنترلی در این روش، هم می‌تواند پیشگیرانه باشد و هم گذشته نگر. رویکرد پیشگیرانه برای تعیین اقدامات کنترلی مناسب برای فرآیندهایی

به کار می‌رود که یا کنترل‌های موجود به عنوان متغیر ورودی در فرآیند دسته بندی مواجهه مورد استفاده قرار نگرفته اند یا در شرایط موجود کنترلی، ارزیابی شده اما سطح ریسک واقعی آن‌ها تعیین نشده است. در رویکرد گذشته نگر، دسته بندی اقدامات کنترلی می‌تواند برای ارزشیابی روش‌های کنترلی توصیه شده به عنوان خروجی‌های رویکرد پیشگیرانه، یا برای ارزشیابی ریسک به تنهایی استفاده شود. در صورت هرگونه تغییر در فرآیند بررسی شده و با دستیابی به اطلاعات جدید، نیاز است که مرور و بروزرسانی دسته بندی اقدامات کنترلی انجام گیرد.

استاندارد، به شکل مفصل به مرحله اول فرآیند، یعنی جمع آوری اطلاعات می‌پردازد. همه اطلاعات در دسترس درباره مشخصه‌های NOAAs (شامل فاکتورهای شناسایی ماده، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ماده و داده‌های سم شناختی ماده)، مشخصه‌های مواجهه (شامل اجزای عمومی مشخصه یابی مواجهه، شکل فیزیکی ماده، مقدار ماده، پتانسیل هوابردشدن و اندازه گیری کمی مواجهه) و مشخصه‌های اقدامات کنترلی (شامل کاهش انتشار، کاهش انتقال، کاهش برگیرش و داده‌های پایش فردی و محیط کار)، باید جمع آوری و ثبت و مستند شوند.

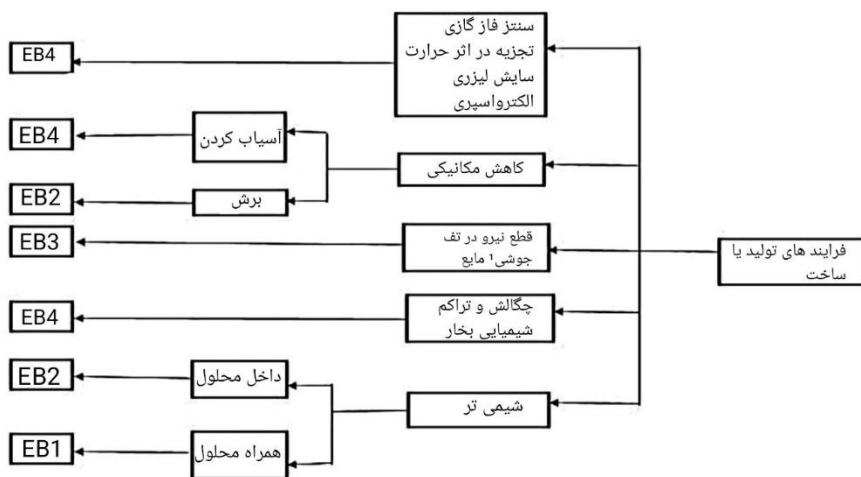
استاندارد، به تشریح فرآیند اجرای دسته بندی اقدامات کنترلی می‌پردازد. پس از آنکه همه اطلاعات جمع آوری و ثبت شد، نخستین گام، دسته بندی مخاطره است. براساس اطلاعات به دست آمده و نیز براساس شیوه ارائه شده در این روش (پرسش‌های پی در پی) (شکل ۶)، گروه مخاطره نانوماده تعیین می‌شود که به ترتیب از کمترین به بیشترین مخاطره عبارتند از E، D، C، B، A.



شکل ۶: ساختار درختی تعیین گروه مخاطره (HB)

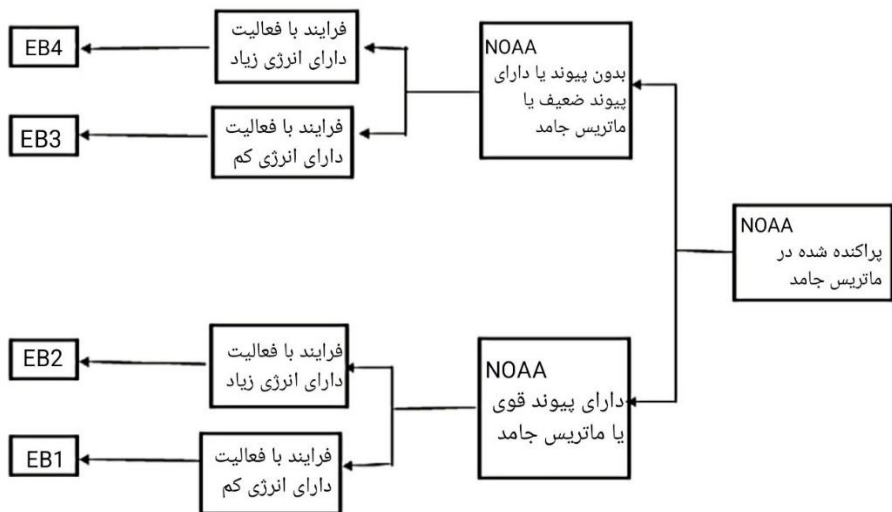
## 1. Hazard Band

پس از دسته بندی مخاطره، نوبت به تعیین گروه مواجهه می‌رسد. این فرآیند نیز براساس آنالیز اطلاعات جمع آوری شده در بخش ششم انجام می‌گیرد. گروه‌های مواجهه به ترتیب از کم به زیاد، عبارت از EB1، EB2، EB3 و EB4 هستند. گروه مواجهه، برای هریک از فعالیت‌ها و حالات فیزیکی مشهور نانومواد، به صورت جداگانه صورت می‌گیرد. برای فعالیت‌های سنتز، ساخت و تولید NOAA از درخت شکل هفت برای تعیین گروه مواجهه استفاده می‌شود.



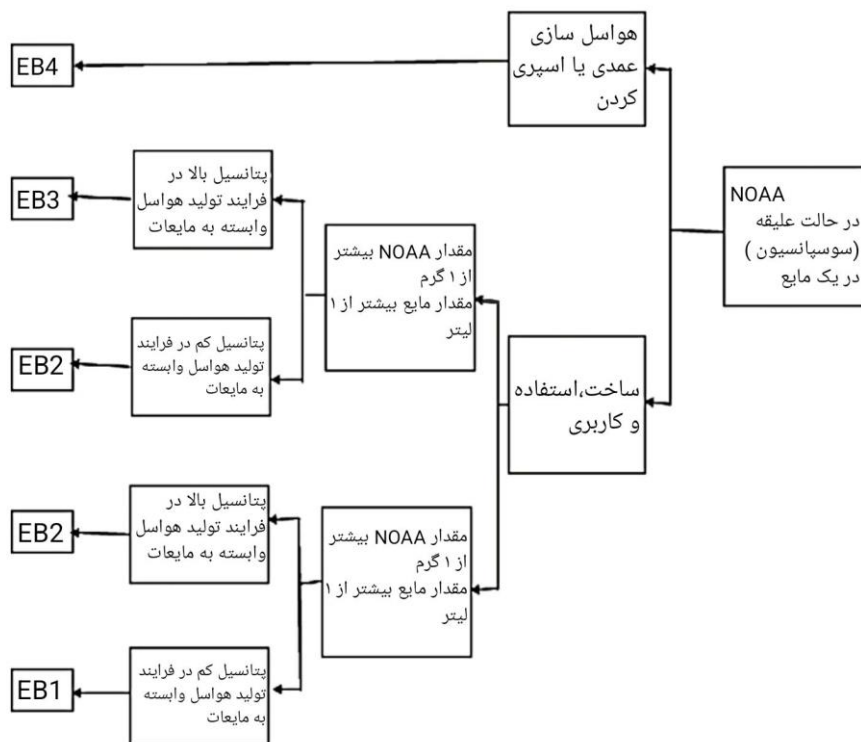
شکل ۷: ساختار درختی تعیین گروه مواجهه (EB1) در فعالیت‌های سنتز، ساخت و تولید NOAA

برای نانومواد پراکنده شده در یک زمینه جامد، از درخت نشان داده شده در شکل هشت استفاده می‌شود.



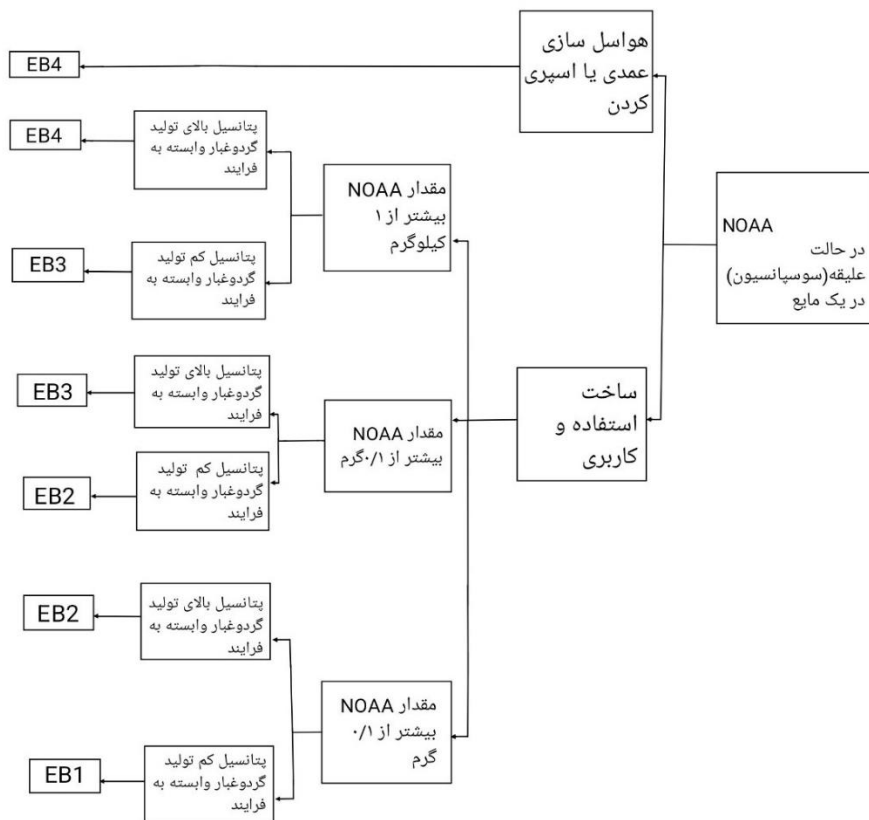
شکل ۸: ساختار درختی تعیین گروه مواجهه در فعالیت‌های مربوط به NOAAs پراکنده شده در یک زمینه جامد

در فعالیت‌های درگیر با نانومواد تعلیق در یک مایع، از درخت شکل نه برای تعیین گروه مواجهه استفاده می‌شود.



شکل ۹: ساختار درختی تعیین گروه مواجهه در فعالیتهای درگیر با نانومواد تعلیقه در یک مایع

برای تعیین گروه مواجهه در فعالیتهای درگیر با نانومواد پودری شکل، از درخت شکل ۱۰ استفاده می‌شود.



شکل ۱۰: ساختار درختی تعیین گروه مواجهه در درگیر با نانومواد پودری

پس از اینکه گروه‌های مخاطره و مواجهه تعیین شد، نوبت به تعیین گروه کنترلی و راهبرد کنترلی می‌رسد. تعیین گروه و راهبرد کنترلی، براساس گروه‌های مخاطره و مواجهه و با استفاده از ماتریس شکل ۱۱ صورت می‌گیرد.

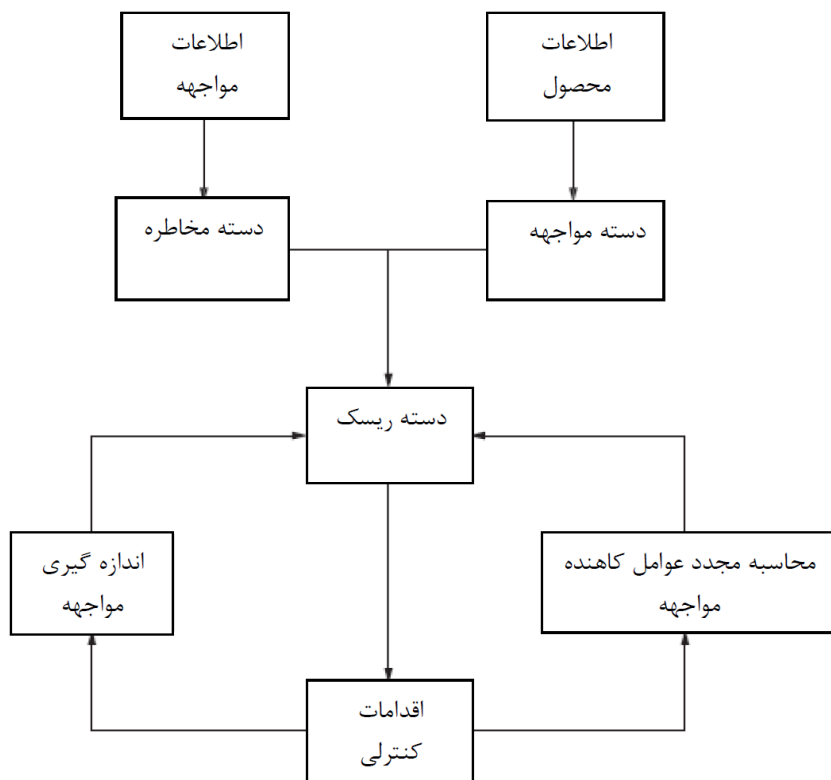
| دسته مواجهه بالقوه |     |     |     | دسته   |
|--------------------|-----|-----|-----|--------|
| EB4                | EB3 | EB2 | EB1 | مخاطره |
| CB2                | CB1 | CB1 | CB1 | A      |
| CB3                | CB2 | CB1 | CB1 | B      |
| CB4                | CB3 | CB3 | CB2 | C      |
| CB5                | CB4 | CB4 | CB3 | D      |
| CB5                | CB5 | CB5 | CB4 | E      |

شکل ۱۱: ماتریس تعیین گروه کنترلی (CB)

راهبردهای کنترلی به ترتیب کارایی به شرح زیر هستند:

- CB1: تهویه عمومی طبیعی یا مکانیکی
- CB2: تهویه موضعی: هود مکشی، هودشکافدار، هود بازویی، هود رومیزی، و مانند آن
- CB3: تهویه بسته: اتاقک تهویه، فیوم هود، راکتور بسته با ورودی معین
- CB4: مهار کامل: کیسه‌ها و جعبه‌های دستکش‌دار، سامانه‌های بسته مداوم
- CB5: مهار کامل و بررسی مجدد توسط یک فرد متخصص نظر فرد متخصص را جویا شوید.

در نهایت، کنترل‌های پیشنهادشده باید به صورت دوره ای مورد ارزیابی قرار گیرند (مرحله ارزیابی کنترل‌ها). تا اینجای کار، رویکرد پیشگیرانه و گذشته نگر، مشترک هستند. اما رویکرد گذشته نگر یک مرحله دیگر نیز دارد که دسته بندی ریسک است. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳، نحوه انجام رویکرد گذشته نگر، نشان داده شده است.

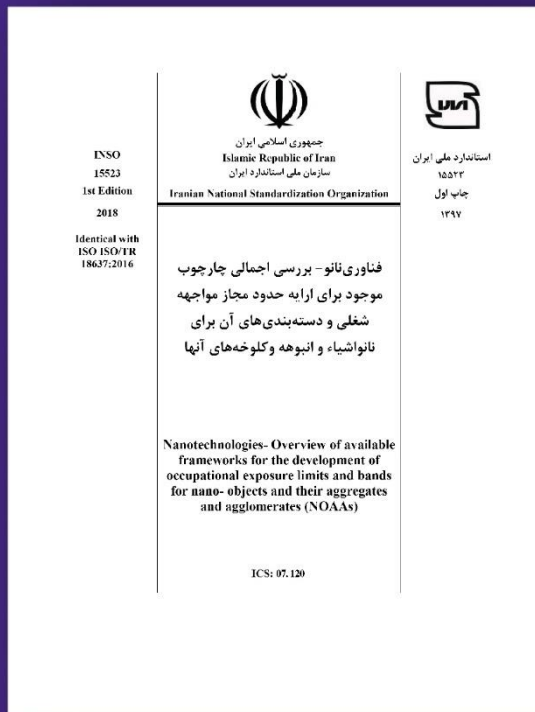


شکل ۱۲: فرآیند دسته بندی (ارزیابی) ریسک در رویکرد گذشته نگر

| دسته مواجهه |       |       |       | دسته مخاطره |
|-------------|-------|-------|-------|-------------|
| ۴           | ۳     | ۲     | ۱     |             |
| متوسط       | کم    | کم    | کم    | A           |
| بالا        | متوسط | کم    | کم    | B           |
| بالا        | متوسط | متوسط | کم    | C           |
| بالا        | بالا  | متوسط | متوسط | D           |
| بالا        | بالا  | بالا  | متوسط | E           |

شکل ۱۳: تعیین سطح/اولویت ریسک در رویکرد گذشته نگر

در استاندارد، به اجرا، مرور و بهبود مستمر کنترهای اعمال شده اشاره شده است. پس از اینکه براساس دسته بندی اقدامات کنترلی، کنترل‌های مناسب تشخیص داده شدند، باید نسبت به اجرا و اعمال این کنترل‌ها (در رویکرد پیشگیرانه) در محیط کاری و یا مقایسه آن‌ها با کنترل‌های موجود (در رویکرد گذشته نگر) اقدام کرد. این کنترل‌ها باید به صورت دوره ای مرور و بررسی شوند و در صورت امکان مورد بازبینی و ارتقاء قرار گیرند. پس از هر تغییر در محیط کاری یا دستیابی به اطلاعات جدید، می‌بایست نسبت به بروزرسانی دسته بندی اقدامات کنترلی، عمل شود.



## خلاصه استاندارد ملی

فناوری نانو - بررسی اجمالی چارچوب موجود برای ارائه حدود مجاز مواجهه  
شغلی و دسته بندی‌های آن برای نانواشیاء و انبوهه و کلوخه‌های آن‌ها

شماره استاندارد: ۱۵۵۲۳

سال تصویب: ۱۳۹۷

این استاندارد به شماره ۱۵۵۲۳ و در سال ۱۳۹۷ منتشر شده است. در ابتدای این استاندارد، مقدمه ای جامع آورده شده است که با توصیف نانومواد و NOAAs آغاز می‌شود. سپس به تعریف و تبیین حدود مجاز مواجهه شغلی<sup>۱</sup> و دسته بندی‌های مواجهه شغلی<sup>۲</sup> می‌پردازد. در ادامه چالش‌های ارزیابی مواجهه با نانومواد مطرح می‌شوند. سپس درباره چالش‌های تعیین حدود مواجهه شغلی صحبت شده و اعلام می‌گردد که به علت کمبود اطلاعات، این چالش‌ها درباره نانومواد چندین برابر هستند. در دنباله بحث، به بررسی امکان استفاده از روش‌های موجود، برای نانومواد پرداخته می‌شود.

در هدف و دامنه کاربرد این استاندارد تصریح شده است که:

هدف از تدوین این استاندارد، بررسی اجمالی روش‌ها و فرایندهای در دسترس، برای ارائه حدود مجاز مواجهه شغلی و دسته‌بندی‌های مواجهه شغلی برای نانوآشیا ساخته شده و انبوهه و کلوخه‌های آن، به منظور استفاده در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت ریسک بهداشت شغلی است.

به تشریح اصطلاحات و تعاریف استفاده شده در استاندارد پرداخته شده است.

## حد مجاز مواجهه شغلی

حداکثر تراکم قابل قبول آلاینده هوا بر د است که توسط مراجع قانونی صلاحیت‌دار تایید می‌شود.

## بسته‌بندی مواجهه شغلی

بیان کمی از دسته‌بندی مخاطرات است که به عنوان مخاطرات بالقوه یک ماده خاص یا گروهی از مواد موجود در هوای محیط کار توصیف می‌شوند.

## ناحیه تنفسی

فضای اطراف صورت یک کارگر که او در آن نفس می‌کشد.  
نمادها و کوته‌نوشت‌های استفاده شده در استاندارد نیز توصیف شده‌اند.

- 
1. Occupational Exposure Limits (OELs)
  2. Occupational Exposure Bands (OEBs)

|       |                                                                         |                                                       |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| BEI   | Biological Exposure Index                                               | شاخص مواجهه زیستی                                     |
| BEL   | Benchmark Exposure Level                                                | میزان مواجهه معیار                                    |
| CMAR  | Carcinogenic<br>Mutagenic<br>Asthmagenic or<br>Reproductive Toxicant    | سموم سرطان‌زا، جهش‌زا، آسم‌زا<br>یا تولیدمثلی         |
| DMEL  | Derived Minimum Exposure Level                                          | حداقل میزان مواجهه                                    |
| GHS   | Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals | سامانه جهانی طبقه‌بندی و برچسب‌گذاری مواد شیمیایی     |
| LOAEL | Lowest Observed Adverse Effect Level                                    | پایین‌ترین میزان مشاهده‌شده اثر زیان‌آور              |
| REACH | Regulation Evaluation Authorization And Restriction of Chemicals        | قوانین ثبت، ارزیابی، صدور مجوز و محدودیت مواد شیمیایی |

استاندارد، به شرح فرآیندهای موجود برای تعیین OELs و OEBS می‌پردازد. در ملاحظات کلی، آمده است که مواجهه با مواد می‌تواند از طریق استنشاق، جذب پوستی و یا جذب خوراکی صورت گیرد. پاسخ بدن به این مواجهه‌ها، براساس فاکتورهای متعدد شغلی، مواجهه ای، فنی و فردی، می‌تواند متفاوت باشد. هدف از حدود مجاز مواجهه شغلی، پیشگیری از اثرات زیان‌آور بهداشتی "تقریباً در همه کارکنان" حتی با مواجهه‌های مکرر/روزانه در طول عمر کاری آنها است. مهمترین OELهای موجود مربوط به سازمان‌های ACGIH

(صرفاً براساس داده‌های اثرات بهداشتی)، NIOSH (براساس داده‌های اثرات بهداشتی و با درنظر گرفتن ملاحظات امکان سنجی فنی) و OSHA (براساس داده‌های اثرات بهداشتی و امکان سنجی اقتصادی سنجش و کنترل مواجهه‌ها) هستند. برای مواد سرطان زای قطعی و یا مشکوک انسانی، اصولاً نمی‌توان (و نباید) به دنبال حدود مجاز مواجهه بود. این حدود معیار کلی سمیت مواد نیستند. همچنین معیار قطعی سلامت در مواجهه با حدود کمتر از خود نیز نمی‌توانند باشند. برای مواجهه‌های محیطی و دیگر مواجهه‌های غیرشغلی نیز نباید استفاده شوند.

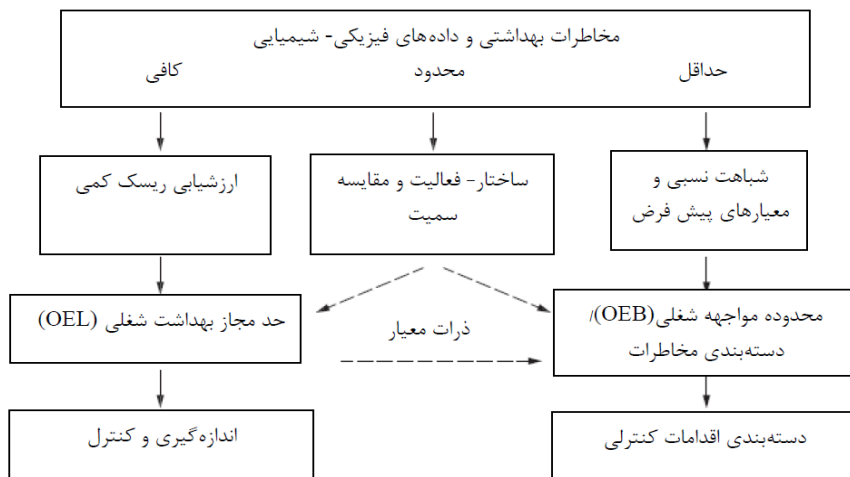
سه نوع حدود مجاز مواجهه شغلی وجود دارد:

حد میانگین وزنی زمانی (TWA)؛

حد مواجهه شغلی کوتاه مدت (STEL)؛

حد سقف یا پیک؛

این بخش همچنین، به شرح فرآیند مبتنی بر شواهد می‌پردازد. این فرآیند در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۴: فرآیند مبتنی بر شواهد برای تعیین حدود مجاز مواجهه

| مقدار راهنما                        | میزان شواهد     | داده‌ها، ابزارهای تجزیه و تحلیل و روش‌ها                                                                                  |
|-------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| حد مجاز مواجهه شغلی (OEL) خاص- ماده | کافی            | داده‌های دوز- پاسخ ماده خاص برای ارزشیابی ریسک کمی؛ روش تجزیه و تحلیل و نمونه ماده خاص در دسترس است.                      |
| حد مجاز مواجهه شغلی (OEL) قطعی      | محدوده (متمرکز) | سمیت نسبی، دسته‌بندی و طبقه‌بندی برای تخمین مخاطرات یا ریسک براساس خصوصیات فیزیکی- شیمیایی و داده‌های نحوه عمل زیستی است. |
| محدوده مواجهه شغلی (OEB)            | حداقل یا ناکافی | شباهت نسبی؛ دسته‌های مخاطره پیش فرض و گزینه‌های کنترلی به کار می‌رود.                                                     |

شکل ۱۵: داده‌ها و روش‌های مورد نیاز برای تعیین حدود مجاز مواجهه براساس فرآیند مبتنی بر شواهد

در ادامه این بخش، به حدود مجاز مواجهه شغلی ماده خاص، پرداخته شده است. برخی از حدود، اختصاصاً بر مبنای معیارهای نمونه برداری ذره متناظر با ناحیه نشست آن‌ها در مجاری تنفسی (قابل تنفس، سینه ای و قابل استنشاق) بنا شده اند. برخی دیگر برای شکل‌های مختلف گردوغبار/دمه به صورت اختصاصی وجود دارند. یادآوری می‌شود که این حدود، همانقدر که براساس اندازه متفاوت اند، از منظر ترکیب شیمیایی نیز تفاوت دارند.

حدود مجاز مواجهه شغلی قطعی، معمولاً برای مواد کم/بی خطری مطرح می‌شوند که اصطلاحاً به آن‌ها گردوغبارهای آزاددهنده/با سمیت کم، گفته می‌شود. لذا برای مواد شناخته شده با سمیت سیستمیک یا سمیت تنفسی خاص، مانند آزیست و سرب، نیاز و دلیلی برای تعیین این حدود قطعی نیست. البته این حدود قطعی مزایایی نیز دارند:

- استفاده موثر از داده‌ها؛
- کاهش هزینه‌ها؛
- کاهش استفاده از حیوانات؛
- افزایش حجم نمونه؛
- ثبات بیشتر نتایج؛
- افزایش قابلیت اطمینان زیستی برای مواد در همان دسته از نظر نحوه عملکرد

هنگامی که داده‌ها برای ارائه یک OEL اختصاصی کافی نباشد، اغلب برای تسهیل تصمیم‌گیری درمیان گزینه‌های کنترل مهندسی، از رویکردهای دسته بندی مخاطرات (استاندارد شماره پنج بررسی شده در این گزارش) استفاده می‌شود. اما گزینه دیگر در چنین موقعیتی، استفاده از دسته‌های مواجهه شغلی (OEBs) پیش فرض/اولیه است. این دسته‌ها براساس خصوصیات فیزیکی-شیمیایی مرتبط با سمیت در نقطه ورود یا سمیت سیستمیک، و نیز هرگونه شواهد از جهش زایی، سرطان زایی و سمیت تولیدمثلی نانوماده و یا ماده مادر، پیشنهاد می‌شوند.

استاندارد، به حدود مجاز مواجهه شغلی ماده خاص برای نانومواد می‌پردازد. درحال حاضر هیچ OEL اختصاصی که برای نانومواد ایجاد شده باشد، وجود ندارد. آنچه هست، مقایسه موقت و پیشنهادی براساس مشابهت نسبی با OELهای سایر ذرات و الیاف است که نمونه‌های آن را در شکل ۱۶ می‌توانید ببینید.

| حد مجاز مواجهه ی شغلی<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | نانو ماده                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۶۱۰ <sup>a</sup>                                      | تیتانیوم دی اکسید ( بسیار ریز )                                                                                                                          |
| ۳۰۰                                                   |                                                                                                                                                          |
| ۱۷                                                    |                                                                                                                                                          |
| ۳۹۰ <sup>a</sup>                                      | فولرن (C <sub>60</sub> )                                                                                                                                 |
| ۷/۴                                                   |                                                                                                                                                          |
| ۵۰                                                    | نانولوله کربنی چندجداره<br>(Baytubes®)<br>نانولوله های کربنی<br>نانولوله کربنی چندجداره<br>نانوالیاف کربنی و نانوالیاف<br>نانولوله های کربنی و نانوالیاف |
| ۳۰ <sup>a</sup>                                       |                                                                                                                                                          |
| ۲ تا ۱                                                |                                                                                                                                                          |
| ۱                                                     |                                                                                                                                                          |
| ۰/۰۱ لیف بر سانتی متر مکعب                            |                                                                                                                                                          |
| ۰/۶۷ تا ۰/۳۳                                          | نقره (نانوذرات)                                                                                                                                          |

a.OEL در بازه محدود (۱۵ ساله).

#### شکل ۱۶: نمونه هایی از حدود مجاز مواجهه پیشنهادی برای نانومواد

در ادامه این بخش، به حدود مجاز مواجهه شغلی ماده خاص موجود، پرداخته شده است. ازجمله به نحوه پیشنهاد این حدود برای نانولوله های کربنی، تیتانیوم دی اکسید نانومقیاس و فولرن ها پرداخته شده است. سپس در این بخش، به ارزیابی روش های حدمجاز مواجهه شغلی اشاره شده است. در حال حاضر، بیشتر حدود مربوط به نانومواد، با استفاده از روش های ارزشیابی ریسک استاندارد تکمیل می شوند که شامل پنج مرحله زیر است:

الف- ارزیابی داده های موجود؛

ب- به انتخاب پاسخ های زیان آور (غیر قابل برگشت، از نظر بالینی مهم و قابل توجه)؛

پ- تعیین دوز بحرانی (مانند NOAEL یا BMDL)؛

ت- محاسبه دوز معادل انسانی (با در نظر گرفتن تفاوت‌های خاص گونه‌ها که می‌تواند روی دوز بافت هدف تأثیرگذار باشد مانند نرخ و میزان تهویه و رسوب ذرات و تکنیک پاکسازی)؛

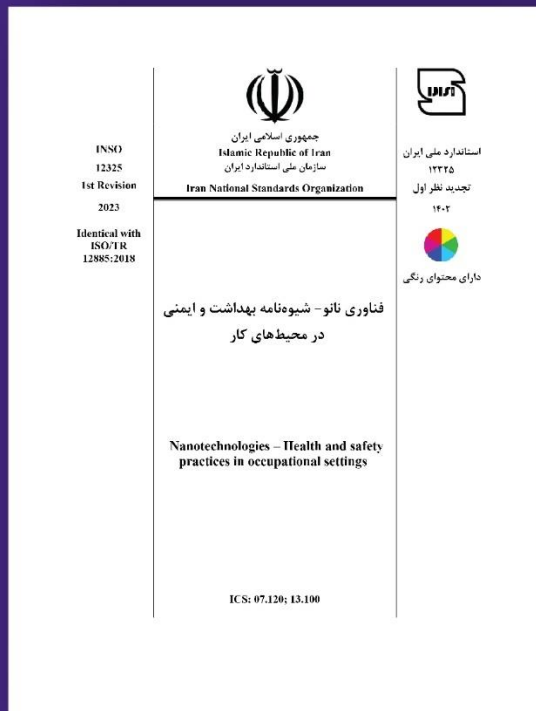
ث- تعیین تراکم مورد مواجهه در مدت زمان کاری که منجر به تعیین این دوز می‌شود (شامل ملاحظات ته نشینی، جذب و پاکسازی)

در این استاندارد به حدود مجاز مواجهه شغلی قطعی برای نانومواد، پرداخته شده است. در اینجا گزینه‌های پیشنهادی موسسات مختلف برای حدود مجاز مواجهه قطعی نانومواد مورد بررسی قرار گرفته اند. مقادیر پیشنهادی و رویکردهای موسسه استاندارد انگلیس، وزارت کار و امور اجتماعی فدرال آلمان، موسسه ایمنی و بهداشت شغلی آلمان، موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا، موسسه ملی علم و فناوری پیشرفته صنعتی ژاپن و سازمان توسعه و همکاری اقتصادی، در این بخش مورد بررسی قرار گرفته اند. در ادامه به ارزیابی OEL‌های قطعی پیشنهادی از طرف این موسسات پرداخته شده و شباهت و تفاوت‌ها و علل آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته اند. همچنین مقایسه این حدود با آخرین یافته‌های علمی، پایان‌بخش این موضوع است.

در استاندارد، به دسته بندی مواجهه شغلی و دسته بندی اقدامات کنترلی برای نانومواد پرداخته شده است. مطالب این بخش، بیشتر حول محتوای استاندارد ISO/TS 12901-2 می‌چرخد که همان استاندارد شماره پنج بررسی شده در این گزارش است. لذا خواننده محترم می‌تواند به آن مراجعه کند.

در استاندارد، به ملاحظات امکان سنجی در فرآیند تعیین OELs و OEBs اشاره شده است. در اینجا تصریح شده است که:

ارائه و استفاده از OELs و OEBs با اقدامات مدیریت ریسک موجود توأم شده است تا میزان ریسک قابل قبول حفظ شود. اغلب، تعیین یک OEL شامل هر دو ملاحظات داده‌های مرتبط با اثرات بهداشتی و امکان سنجی فنی اندازه‌گیری و کنترل مواجهه‌ها در آن تراکم یا کمتر از آن تراکم است. تنظیم OELs همچنین امکان سنجی اقتصادی را نیز در بر می‌گیرد. همانند سایر مخاطرات شغلی، توصیه یک OEL برای یک NOAA خاص می‌تواند مشروط به داشتن اطلاعات کافی از اثر بهداشتی، روش نمونه برداری و تجزیه و تحلیل مناسب، و توانایی کنترل مواجهه‌ها در حد مجاز مواجهه شغلی باشد.



خلاصه استاندارد ملی

فناوری نانو - شیوه نامه بهداشت و ایمنی در محیط های کار

شماره استاندارد: ۱۳۳۲۵

سال تصویب: ۱۴۰۲

این استاندارد به شماره ۱۲۳۲۵ در سال ۱۴۰۲ منتشر شده است.

در هدف و دامنه کاربرد استاندارد تصریح شده است که:

هدف از تدوین این استاندارد، توصیف شیوه‌نامه بهداشت و ایمنی در محیط‌های کار مرتبط با فناوری نانو است. این استاندارد بر ساخت و کاربرد شغلی نانوآشیا و انبوهه‌ها و کلوخه‌های ساخته شده آنها بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر (NOAAs) متمرکز است. در این استاندارد، به شیوه‌نامه و مسائل بهداشت و ایمنی مرتبط با NOAAs ایجاد شده از طریق فرایندهای طبیعی، فرایند عمل آوری داغ و سایر عملیات استاندارد که NOAAs به طور ناخواسته ایجاد می‌شوند یا به کاربرد یا مواجهه بالقوه مصرف کننده پرداخت نشده است، اگرچه برخی از اطلاعات موجود در این استاندارد می‌تواند مربوط به آن حوزه نیز باشد.

به اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در مجموعه استاندارد ملی ایران - ایزو شماره ۸۰۰۰۴، به عنوان تعاریف و اصطلاحات کاربردی در این استاندارد، ارجاع داده شده است.

تشریح نمادها و کوتاه نوشت‌هایی که در این استاندارد به کار برده شده اند، در ادامه آماده است.

|     |                           |                            |
|-----|---------------------------|----------------------------|
| APR | Air-Purifying Resirator   | رسمپیراتور تصفیه کننده هوا |
| BEI | Biological Exposure Index | شاخص مواجهه زیستی          |
| BMD | Benchmark Dose            | دز معیار                   |

استاندارد، با عنوان نانومواد: توصیف و ساخت، در ابتدا به بررسی جایگاه نانومواد ساخته شده (نانومواد مهندسی شده) در تقسیم بندی و نامگذاری استاندارد نانومواد می‌پردازد. این تقسیم بندی و نامگذاری به صورت کامل در استاندارد ملی ایران - ایزو شماره ۸۰۰۰۴-۱ (لینک) ارائه شده است. در ادامه، فرایندهای تولید نانومواد مورد بررسی قرار می‌گیرند. روش‌های معمول تولید این مواد به قرار زیر هستند:

- تولید هواسل مانند تف کافت شعله، تبخیر در دمای بالا و سنتز پلاسما.
- نهشت بخار
- روش‌های فاز مایع: کلوئیدی، خودآرایی، سل-ژل ؛
- الکتروپسپارش و الکترونهشت ؛

- الکتروریسی برای سنتز نانوالیاف بسپاری (پلیمری)؛
- فرایندهای مکانیکی از جمله خردایش، آسیا کاری و آلیاژکاری.

در ادامه، چند مورد از این روش‌ها، بیشتر مورد بررسی قرار گرفته اند.

استاندارد، به مشخصه یابی مخاطرات نانومواد می‌پردازد. این بخش مخاطرات سلامتی و مخاطرات فیزیکی را بررسی می‌کند. نخست، با ارائه اطلاعات مختلف از کلیات، اصول اساسی و عدم قطعیت‌های موجود درباره نانومواد، ارتباط بالقوه اطلاعات اثرات سلامتی مربوط به نانومواد تصادفی و طبیعی با نانومواد ساخته شده، رابطه بین سمیت با مساحت سطح، شیمی سطح، تعداد ذرات و به صورت کلی با تمام ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نانومواد، پاسخ التهابی به نانومواد و مشاهدات حاصل از مطالعات همه گیرشناختی مربوط به ذرات ریز و نانومقیاس، سعی شده است امکان و نحوه بروز اثرات سلامتی ناشی از نانومواد، بررسی شود. سپس، به مخاطرات فیزیکی (ایمنی)، که ممکن است در اثر کار با نانومواد ایجاد شود، اشاره شده است. مهمترین این خطرات، که مربوط به خود نانومواد می‌شوند، شامل حریق و انفجار هستند. دیگر مخاطرات ایمنی، می‌توانند ناشی از دستگاه‌های مختلف درگیر در فناوری نانو باشند.

در این استاندارد، به ارزیابی مواجهه با نانومواد پرداخته شده است. رویکردهای مختلفی برای این منظور پیشنهاد شده است. اگرچه در حال حاضر اطلاعات کافی برای تعیین OEL‌های خاص هر نانوماده وجود ندارد، اما حدود مجاز مواجهه، بوسیله سازمان‌های مختلف برای نانومواد مختلف پیشنهاد شده اند و می‌توانند با احتیاط مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از "رویکرد ارزیابی انتشار نانومواد" و "رویکرد لایه ای برای ارزیابی مواجهه" (شکل ۱۷)، از دیگر روش‌هایی است که می‌توان استفاده کرد. اما اگر بخواهیم چارچوب علمی برای ارزیابی مواجهه نانومواد را رعایت کنیم، در وهله اول باید مسیرهای مواجهه با این مواد را تعیین و بررسی کنیم. چهار مسیر اصلی عبارتند از تنفس، گوارش، تماس پوستی و مسیر تزریقی. سپس مقیاس سنجش مناسب برای ارزیابی مواجهه با نانومواد هوابرد را مشخص می‌کنیم. باید بدانیم که به دنبال غلظت جرمی نانومواد هستیم، یا غلظت عددی و یا غلظت مساحت سطح آن‌ها. در گام بعد، با مروری بر روش‌های مشخصه یابی مواجهه با نانومواد ساخته شده، نسبت به تعیین هدف مشخصه یابی اقدام می‌کنیم. هدف ما می‌تواند یک یا ترکیبی از موارد زیر باشد:

- ۱- ارزیابی مواجهه فردی به منظور انطباق با مقررات؛
- ۲- ارزیابی مواجهه فردی برای ارتباط دادن با اثرات زیان آور بالقوه سلامتی در مطالعات همه‌گیر شناختی؛
- ۳- شناسایی منابع اصلی انتشار برای ایجاد برنامه کنترل هدفمند؛
- ۴- ارزیابی کارایی سامانه‌های کنترل به کار گرفته شده.

پس از آنکه هدف و مقیاس موردنظر برای انجام مشخصه یابی مشخص شد، باید تجهیزات موردنیاز انتخاب شوند. در حالت کلی، تجهیزات لازم برای اندازه‌گیری‌های بهداشت حرفه ای باید مشخصات زیر را داشته باشند:

- قابل حمل؛
- قادر به اندازه‌گیری چندین مشخصه NOAAs (شمارش ذرات، جرم، مساحت سطح، بار الکتریکی؛ توزیع اندازه، افتراق ذرات ساخته شده از ذرات زمینه، تغییرات زمانی و غیره)؛
- امکان تهیه نمونه‌هایی از منطقه تنفسی؛
- باتری دار؛
- آبی؛
- نسبتاً ارزان.

اینها ویژگی‌های کلی تجهیزات هستند که معمولاً هم به طول کامل برآورده نمی‌شوند. جدول شماره یک در محتوای استاندارد، ابزارها و فنون موردنیاز برای پایش مواجهه با نانومواد هوابرد را نشان می‌دهند. در گام بعد، به ارزیابی غبارزایی پرداخته شده است. داده‌های مربوط به غبارزایی در برخی از روش‌های کیفی ارزیابی ریسک نانومواد مورد استفاده قرار می‌گیرند. این داده‌ها به پیشبینی رفتار نانومواد در هوا نیز کمک می‌کنند. غبارزایی به عامل مختلفی از جمله حالت فیزیکی مواد توده (به عنوان مثال پودر، گرانول، قرص و مقدار رطوبت)، خواص فیزیکوشیمیایی ذرات موجود در مواد توده (به عنوان مثال اندازه و شکل، چگالی مربوطه، نوع پوشش، خواص آبریزی و آبدوست بودن، انبوهگی ذرات)، محیط (به عنوان مثال رطوبت، دما)، شرایط مواد توده، نوع تولید هواسل (انرژی فعال‌سازی یا ورودی انرژی،

مشخصه‌های زمانی انرژی ورودی) و برهم‌کنش بین ذرات درهنگام تلاطم ناشی از هم زدن (به عنوان مثال برش اصطکاک، نیروهای واندروالسی) بستگی دارد.

روش‌های زیادی برای ارزیابی غبارزایی پیشنهاد شده اند که از مهمترین آنها می‌توان به درام چرخان، ریزش پیوسته، درام چرخان کوچک و لرزنده ورتکس اشاره کرد.

سپس در این بخش، به ارزیابی مواجهه پوستی پرداخته شده است. نمونه برداری برای ارزیابی مواجهه پوستی می‌تواند به شکل‌های آبکشی پوست، پاک کردن (وایپینگ) پوست و نمونه برداری با چسب انجام گیرد. همچنین می‌توان از روش‌های پیچ (وصله ای)، روش دستکش، روش دزیمتری کل بدن، ردیاب‌های فلورسنت و نیز بررسی سطوح آلوده در محیط کار، استفاده کرد. برای مشخصه یابی این نمونه‌ها نیز می‌توان از اقسام روش‌های دستگاهی و میکروسکوپی بهره برد.

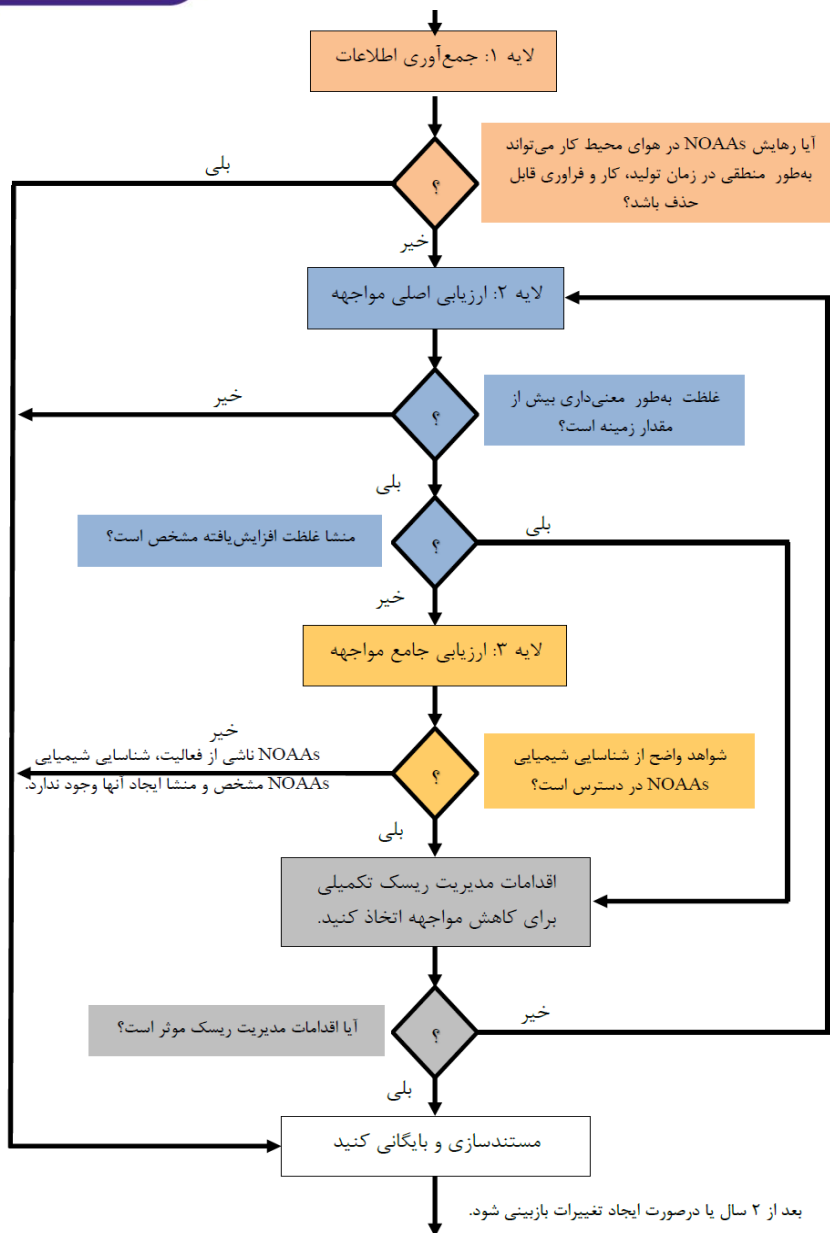
در پایان، به ارزیابی دز (مواجهه داخلی) اشاره شده است. مهمترین روش برای این منظور، استفاده از بیومارکرها است. در چند سال اخیر، استفاده از بیومارکرها برای بررسی مواجهه افراد با نانومواد، بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

استاندارد، به ارزیابی ریسک در محیط‌های شغلی نانومواد می‌پردازد. ارزیابی ریسک، چه کیفی باشد و چه کمی، دارای مولفه‌های ثابتی به قرار زیر است:

- شناسایی مخاطرات: مخاطراتی که سهم قابل توجهی در بروز ریسک دارند، شناسایی می‌شوند.
- ارزیابی پاسخ - مواجهه: اثرات زیان‌آور بالقوه سلامتی مرتبط با مخاطرات مدنظر در محیط کار شناسایی می‌شوند.
- ارزیابی مواجهه: مسیرهایی را که افراد می‌توانند در معرض مخاطرات موجود در یک محیط کار قرار گیرند ارزشیابی می‌شوند.
- مشخصه‌یابی ریسک: شامل اطلاعات سه بند قبلی برای ارزشیابی ریسک بالقوه افراد در محیط کار است.

از آنجایی که ارزیابی ریسک کمی، مبتنی بر وجود اطلاعات کمی در هرسه مولفه نخست است، و با توجه به اینکه در زمینه نانومواد با کمبود و بعضاً نبود اطلاعات کمی در این زمینه‌ها مواجه هستیم، اقبال و توصیه محققین به استفاده از روش‌های کیفی، برای ارزیابی ریسک فعالیت‌های درگیر با نانومواد است.

منظور از شناسایی مخاطرات، پایش و پیدا کردن مخاطراتی است که سهم قابل توجهی در ریسک دارند. تمرکز در این مورد، بیشتر بر مخاطرات مواد سمی (نانومواد و دیگر مواد شیمیایی) و مخاطرات فیزیکی (عمدتاً ناشی از تجهیزات محیط‌های کاری نانومواد) است. ارزیابی مواجهه - پاسخ، مبتنی بر بررسی مخاطرات سم شناختی و فیزیکی ناشی از نانومواد، در سطحی عمیقتر از صرفاً شناسایی است. در این مرحله ما به دنبال داده‌هایی برای برآورد میزان این مخاطرات هستیم و درصدد ایجاد ارتباط بین این میزان مخاطره و سطحی از مواجهه هستیم که معمولاً در محیط‌های کاری وجود دارد. در ارزیابی مواجهه، نسبت به مشخصه یابی مواجهه اقدام می‌شود. این مرحله شامل بررسی سناریوهای انتشار نانومواد در محیط کاری و مسیرهای مواجهه محتمل و اصلی کارکنان با نانومواد است.



شکل ۱۷: فرآیند رویکرد لایه ای برای ارزیابی مواجهه

در مشخصه یابی ریسک، با استفاده از اطلاعات و نتایج به دست آمده در سه مرحله قبل، نسبت به تخمین/تعیین سطح ریسک اقدام می‌شود.

در استاندارد، به روش‌های کاهش ریسک پرداخته شده است. دو نکته در این بخش حائز اهمیت است. یکی اینکه راهبردها/روش‌های کنترلی و سطح ریسک، براساس دسته بندی اقدامات کنترلی (بررسی شده در استاندارد شماره پنج گزارش حاضر)، قابل تبدیل به یکدیگر هستند. بر این اساس، دسته‌های یک تا پنج اقدامات کنترلی، همان سطوح ریسک هستند؛ به این معنی که دسته یک، همان کمترین سطح ریسک است و دسته پنج، بالاترین سطح ریسک را نشان می‌دهد:

دسته ۱: تهویه عمومی مکانیکی یا طبیعی

دسته ۲: تهویه موضعی: هود مکنده، هود شکافدار، هود بازوی، هود میزی و غیره

دسته ۳: تهویه محصور: اتاقک تهویه شده، هود فیوم، رآکتور بسته با دهانه قابل تنظیم

دسته ۴: مهار کامل: کیسه / جعبه دستکش‌دار، سامانه‌های مداوم بسته

دسته ۵: مهار کامل و مراجعه به مشاور متخصص.

نکته دوم این است که این راهبردها، معمولاً براساس "سلسله مراتب کنترلی" هستند. این سلسله مراتب برای اولین بار بوسیله NIOSH پیشنهاد شد و به ترتیب بالاترین اولویت و کارایی در کنترل مخاطره، عبارتند از حذف، جایگزینی، محصورسازی، کنترل‌های مهندسی، کنترل‌های مدیریتی (اجرایی) و تجهیزات حفاظت فردی. از آنجایی که حذف نانومواد از فعالیت‌های درگیر با نانومواد ممکن نیست، معمولاً به جای گزینه حذف از بحث‌های مربوط به طراحی موثر و "پیشگیری از طریق طراحی (PtD)" استفاده می‌کنند. در بحث جایگزینی نیز نمی‌توان به جایگزینی نانومواد با یکدیگر فکر کرد، اما دیگر مواد شیمیایی مورد استفاده در فعالیت‌های درگیر با نانومواد و نیز تجهیزات و وسایل مخاطره آمیز، قابل جایگزینی با موارد ایمن‌تر هستند. در زمینه کنترل‌های مهندسی قابل استفاده برای نانومواد نیز پیشنهادات متنوعی وجود دارد که برخی از آن‌ها را در شکل ۱۸ مشاهده می‌کنید.

| فرایند/وظیفه                              | کنترل مهندسی                                    | صنعت                    |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|
| انتشارات مواد فرار از رآکتور <sup>۱</sup> | محصولسازی                                       | فناوری نانو             |
| برداشت محصول                              | هود دستکش دار                                   | فناوری نانو             |
| تمیزکردن رآکتور                           | سامانه تهویه مکنده موضعی<br>نقطه‌ای/ مکنده فیوم | فناوری نانو             |
| توزین در مقیاس کوچک                       | هود فیوم شیمیایی                                | فناوری نانو             |
|                                           | قفسه ایمنی زیستی                                | فناوری نانو و آزمایشگاه |
|                                           | هود دستکش دار <sup>۲</sup>                      | داروسازی                |
|                                           | هود نانو فیوم                                   | داروسازی                |
|                                           | هود محصورکننده به کمک پرده هوا                  | فناوری نانو/ تحقیق      |
| تخلیه محصول و پر کردن کیسه                | هود تخلیه‌کننده /لبه‌دار <sup>۳</sup>           | داروسازی و تولید سیلیس  |
|                                           | پوشش (آستر) پیوسته <sup>۴</sup>                 | داروسازی                |
|                                           | درزگیری با نوارهای بادی <sup>۵</sup>            | داروسازی                |
| تخلیه ظرف/ کیسه                           | ایستگاه تخلیه کیسه                              | تولید سیلیس             |
| جابه‌جایی و توزین در مقیاس بالا           | اتاقک تهویه‌شده                                 | داروسازی                |
|                                           | سرعت بالا - حجم پایین                           | چوب‌بری                 |
| ماشین‌کاری نانوچندسازه                    | ته‌نشینی مرطوب                                  | فناوری نانو             |
| تعویض فیلتر هوا                           | کیسه داخل-کیسه خارج <sup>۶</sup>                | داروسازی                |

3- Discharge/collar

1 6- Bag in-bag out

شکل ۱۸: فعالیت درگیر با نانومواد، صنعت درگیر با نانومواد و کنترل مهندسی پیشنهادی

رویکرهای مدیریتی (اجرایی) به عنوان جایگزین رویکردهای مهندسی عمل نمی‌کنند، بلکه مکملی برای آنها هستند. مهمترین موارد این رویکرد، عبارت از آموزش نیروی کار، بهداشت فردی، گردش کار، کاهش دوره‌های کاری، ضبط و ربط محیط کار و دفع مناسب پسماند است. تجهیزات حفاظت فردی، آخرین اولویت در سلسله مراتب کنترلی هستند. برای نانومواد، تجهیزات حفاظت فردی اختصاصی پیشنهاد نشده است. مهمترین این تجهیزات عبارتند از تجهیزات حفاظت تنفسی، حفاظت پوستی و حفاظت چشمی.

۱. استاندارد ملی " فناوری نانو - بسته بندی و حمل و نقل ایمن نانومواد - آیین کار" - شماره ۱۳۷۳۶ - سال ۱۳۹۰
۲. استاندارد ملی " فناوری نانو - تهیه برگه اطلاعات ایمنی ماده" - شماره ۱۶۵۴۴ - سال ۱۳۹۴
۳. استاندارد ملی "فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی شده - قسمت ۱: اصول و رهیافت ها" - شماره ۱۹۸۱۶-۱ - سال ۱۳۹۴
۴. استاندارد ملی " فناوری نانو - آموزش سلامت و ایمنی برای نیروی کار - راهنما" - شماره ۲۱۱۹۸ - سال ۱۳۹۵
۵. استاندارد ملی "فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی شده - قسمت ۲: استفاده از رویکرد دسته بندی اقدامات کنترلی" - شماره ۱۹۸۱۶-۲ - سال ۱۳۹۷
۶. استاندارد ملی "فناوری نانو - بررسی اجمالی چارچوب موجود برای ارائه حدود مجاز مواجهه شغلی و دسته بندی های آن برای نانو اشیاء و انبوهه و کلوخه های آن ها" - شماره ۱۵۵۲۳ - سال ۱۳۹۷
۷. استاندارد ملی " فناوری نانو - شیوه نامه بهداشت و ایمنی در محیط های کار" - شماره ۱۲۳۲۵ - سال ۱۴۰۲

