INSO
20960
1st Edition
2020
Identical with ISO/TR 19601: 2017

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۰۹۶۰
چاپ اول
۱۳۹۸

دارای محتوای رنگی

# فناوری نانو- تولید هواسل برای مطالعات مواجهه با نانواشیاء و انبوهه‌ها و کلوخه‌های آنها از طریق هوا (NOAA)

# Nanotechnologies - Aerosol generation for air exposure studies of nano-objects and their aggregates and agglomerates (NOAA)

ICS: 07.120; 13.040.30

**استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۹۶۰ (چاپ اول): سال ۱۳۹۸**

**سازمان ملی استاندارد ایران**

تهران، ضلع جنوب میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی:۶۱۳۹ - ۱۴۱۵۵تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱-۵

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج - شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی ۱۶۳-۳۱۵۸۵کرج- ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱(۰۲۶)

دورنگار:۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: http:// www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@ isiri.org.ir

Website: http://www. isiri.gov.ir

## به نام خدا

## آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی 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 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 درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

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

سازمان ملی استاندارد 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 محیط‌زیستی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. هم‌چنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سامانه‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی 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، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقاء سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

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

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

## «فناوری نانو- تولید هواسل برای مطالعات مواجهه با نانواشیاء و انبوهه‌ها و کلوخه‌های آنها از طریق هوا (NOAA)»

| **رئیس:** | **سمت و/ یا محل اشتغال:** |
|---|---|
| گلبابایی، فریده<br>(دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای) | عضو هیئت علمی- دانشگاه علوم پزشکی تهران |
| **دبیر:** | |
| فرهنگ دهقان، سمیه<br>(دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای) | عضوهیئت علمی- دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی |
| **اعضاء :**(به ترتیب حروف الفبائی) | |
| اسلامی‌پور، الهه<br>(کارشناسی ارشد زیست‌شناسی) | کارشناس مسئول- ستاد ویژه توسعه فناوری نانو |
| سهرابی جهرمی، ابوذر<br>(دکتری فناوری نانو) | رئیس هیئت مدیره- شرکت راصد توسعه فناوری‌های پیشرفته |
| سیفی، مهوش<br>(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی | نایب رئیس- کمیته فنی متناظرفناوری نانو |
| غیبی، علی<br>(کارشناسی ارشد مهندسی نساجی) | کارشناس- شرکت فناوران نانومقیاس |
| فرهنگیان، محدثه<br>(کارشناسی مهندسی بهداشت حرفه‌ای) | عضو مستقل |
| منهاج‌نیا، رابعه<br>(دکتری سم‌شناسی) | کارشناس مسئول- کمیته نانو سازمان دامپزشکی |
| کلانتری، صبا<br>(دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای) | عضو مستقل |
| **ویراستار:** | |
| سیفی، مهوش<br>(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی) | نایب رئیس- کمیته فنی متناظرفناوری نانو ISIRI/TC229 |

## فهرست مندرجات

**عنوان** **صفحه**


پیش‌گفتار ح
مقدمه ط
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۲
۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها ۱۱
۵ ملاحظات طراحی مطالعه ۱۴
۵-۱ کلیات ۱۴
۵-۲ سناریوی مواجهه در محیط کار ۱۴
۵-۳ راهنماهای آزمون سمیت تنفسی موجود ۱۴
۵-۴ سامانه هماهنگ جهانی طبقه‌بندی و برچسب‌گذاری مواد شیمیایی ۱۴
۶ ملاحظات در انتخاب مولدهای مناسب ۱۵
۶-۱ طرحواره اصلی ۱۵
۶-۱-۱ روند نما ۱۵
۶-۱-۲ انتخاب مطالعه ۱۷
۶-۱-۳ مشخصه‌یابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نانومواد ۱۸
۶-۱-۴ اطلاعات مواجهه در مورد استفاده، ساخت و جابه‌جایی ۱۹
۶-۱-۵ مشخصات مواجهه ۱۹
۶-۱-۶ انواع روش‌های مواجهه تنفسی ۱۹
۶-۱-۷ روش‌های مشخصه‌یابی ذرات ۱۹
۶-۱-۷-۱ پایش قرائت مستقیم ۱۹
۶-۱-۷-۲ پایش برون‌خط ۲۰
۶-۱-۷-۳ تعیین پایداری ۲۰
۶-۱-۷-۴ انتخاب مولد ۲۰
۷ مولدهای هواسل NOAA ۲۱
۷-۱ کلیات ۲۱
۷-۲ پخش به روش‌خشک ۲۴
۷-۲-۱ تغذیه‌کننده گردوغبار رایت ۲۴
۷-۲-۱-۱ اصول عملیات ۲۴
۷-۲-۱-۲ مزایا ۲۴
۷-۲-۱-۳ محدودیت‌ها ۲۴

۷-۲-۲ مولد هواسل برس‌دار ۲۵
۷-۲-۲-۱ اصول عملیات ۲۵
۷-۲-۲-۲ مزایا ۲۶
۷-۲-۲-۳ محدودیت‌ها ۲۶
۷-۲-۳ پراکنشگر پودری مقیاس کوچک ۲۶
۷-۲-۳-۱ اصول عملیات ۲۶
۷-۲-۳-۲ مزایا ۲۷
۷-۲-۳-۳ محدودیت‌ها ۲۷
۷-۲-۴ مولد هواسل با بستر سیال ۲۸
۷-۲-۴-۱ اصول عملیات ۲۸
۷-۲-۴-۲ مزایا ۲۹
۷-۲-۴-۳ محدودیت‌ها ۲۹
۷-۲-۵ تفکیک‌کننده و مولد آکوستیکی هواسل خشک ۳۰
۷-۲-۵-۱ اصول عملیات ۳۰
۷-۲-۵-۲ مزایا ۳۰
۷-۲-۵-۳ محدودیت‌ها ۳۰
۷-۲-۶ مولد هواسل ویلنیوس ۳۲
۷-۲-۶-۱ اصول عملیات ۳۲
۷-۲-۶-۲ مزایا ۳۲
۷-۲-۶-۳ محدودیت‌ها ۳۲
۷-۲-۷ مولد طبلکی دوار ۳۳
۷-۲-۷-۱ اصول عملیات ۳۳
۷-۲-۷-۲ مزایا ۳۴
۷-۲-۷-۳ محدودیت‌ها ۳۴
۷-۳ پخش به روش‌تر ۳۵
۷-۳-۱ پخشانک/ مه‌پاش ۳۵
۷-۳-۱-۱ کلیات ۳۵
۷-۳-۱-۲ مزایا ۳۵
۷-۳-۱-۳ محدودیت‌ها ۳۶
۷-۳-۲ پخشانک محوری- الکترواستاتیکی ۳۹
۷-۳-۲-۱ اصول عملیات ۳۹
۷-۳-۲-۲ مزایا ۳۹
۷-۳-۲-۳ محدودیت‌ها ۳۹
۷-۴ تغییر فاز ۴۰
۷-۴-۱ مولد تراکمی/ تبخیری ۴۰
۷-۴-۱-۱ اصول عملیات ۴۰

۷-۴-۱-۲ مزایا ۴۰
۷-۴-۱-۳ محدودیت‌ها ۴۰
۷-۴-۲ مولد جرقه‌ای ۴۱
۷-۴-۲-۱ اصول عملیات ۴۱
۷-۴-۲-۲ مزایا ۴۱
۷-۴-۲-۳ محدودیت‌ها ۴۱
۷-۴-۳ نانوهواسل‌های تراکمی ۴۲
۷-۴-۳-۱ اصول عملیات ۴۲
۷-۴-۳-۲ مزایا ۴۳
۷-۴-۳-۳ محدودیت‌ها ۴۳
۷-۵ واکنش شیمیایی ۴۴
۷-۵-۱ احتراق ۴۴
۷-۵-۱-۱ اصول عملیات ۴۴
۷-۵-۱-۲ مزایا ۴۴
۷-۵-۱-۳ محدودیت‌ها ۴۴
۷-۶ پراکنش/فیلتراسیون فاز مایع – خشک‌کردن نقطه بحرانی (تصعید بوتیل الکل نوع سوم) و سامانه تزریق مستقیم برای مطالعات تنفسی تمام بدن ۴۶
۷-۶-۱ اصول عملیات ۴۶
۷-۶-۲ مزایا ۴۷
۷-۶-۳ محدودیت‌ها ۴۷
۸ یک‌پارچه‌سازی تجربی ۵۳
۸-۱ کلیات ۵۳
۸-۲ مشخصه‌یابی مواجهه ۵۳
۸-۳ خواص ذرات ۵۳
۸-۴ ملاحظات مربوط به سامانه مواجهه درون‌تنی ۵۴
۹ ملاحظات در مورد استفاده از مولد نانو-هواسل برای مطالعه برون‌تنی ۵۵
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) مولدهای NOAA، روش اندازه‌گیری و توزیع اندازه ذرات آنها ۵۷
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) سامانه رقیق‌ساز هواسل ۶۴
کتاب‌نامه ۶۸

## پیش گفتار

استاندارد «فناوری نانو- تولید هواسل برای مطالعات مواجهه با نانواشیاء و انبوهه‌ها و کلوخه‌های آنها از طریق هوا (NOAA)» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تهیه و تدوین شده، در هشتادوسومین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد نانومورخ ۹۸/۱۱/۷ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران، شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم وخدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

ISO / TR 19601: 2017, Nanotechnologies — Aerosol generation for air exposure studies of nano-objects and their aggregates and agglomerates (NOAA)

## مقدمه

تنفس[1] به عنوان اولین راه مواجهه با نانواشیاء و انبوهه‌ها و کلوخه‌های آنها (NOAA) محسوب می‌شود. نانواشیاء و انبوهه‌ها و کلوخه‌های آنها شامل نانواشیاء با یک، دو یا سه بعد خارجی در مقیاس نانو، در حدود ۱ نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر هستند که ممکن است به شکل کُره، لیف، لوله و یا سایر ساختارهای اولیه موجود باشند. ساختارهای اولیه مجزا NOAAs می‌تواند در مقیاس نانو و ساختارهای انبوهه و کلوخه‌ای آنها بزرگتر از اندازه ۱۰۰ نانومتر باشد. به‌منظور ارزیابی سمیت تنفسی NOAA، این موضوع حائز اهمیت است که پارامترهای معینی که آزمون سمیت را به مواجهه انسانی مرتبط می‌سازد، درنظر گرفت. سه جنبه حیاتی که هنگام طراحی و انجام مطالعات سمیت تنفسی با نانومواد درنظرگرفته می‌شود، شامل موارد زیر است:

**الف**- تولید یکنواخت و تکرارپذیر هواسل نانومقیاس مرتبط با شرایط واقعی مواجهه؛

**ب**- مشخصه‌یابی دقیق نانومواد طی مدت زمان انجام آزمون از شروع تا پایان تولید مواد، و

**پ**- استفاده از حدود مجاز مواجهه شغلی (OEL)[2] و غلظت مرجع (RfC)[3] (که از مطالعات موجود و یا اطلاعات پایش مواجهه قرائت مستقیم[4] اقتباس شده است) برای انجام دوزیمتری.

بنابراین به منظور انجام مطالعات درون‌تنی[5] و برون‌تنی[6] NOAA، انتخاب مولد مناسب هواسل NOAA و استفاده از روش‌های برخط[7] و برون‌خط[8] به منظور مشخصه‌یابی نانواشیاء اهمیت زیادی دارد.

فنون تولید هواسل به‌خوبی ایجاد شده‌اند و سال‌هاست در مطالعات آزمایشگاهی، در صنعت و همچنین درمان از طریق تنفس مورداستفاده قرار گرفته‌اند. تعدادی از فنون تولید هواسل که به‌طور معمول برای سایر مواد استفاده می‌شود را می‌توان برای مطالعات سمیت تنفسی نانواشیاء پذیرفت. دراصل، تولید هواسل، شامل به‌کارگیری برخی از شکل‌های انرژی به‌منظور کاهش اندازه و یا تولید ذرات کوچک معلق در جریان هوا است.

این استاندارد شرحی از وضعیت مولدهای هواسل نانوشیء را ارائه می‌دهد. علاوه‌براین، مزایا و محدودیت‌های مولدهای نانوشیء اشاره شده را مورد بحث قرار می‌دهد، که می‌تواند به انتخاب مولد مناسب برای مطالعات سمیت تنفسی نانوشیء کمک کند. بدون درنظر گرفتن این که کدام سامانه تولیدی در مطالعات سم‌شناسی استفاده می‌شود، توصیه می‌شود اتمسفرهای تولیدشده به دقت مشخصه‌یابی شوند تا امکان مقایسه با

1- Inhalation
2- Occupational exposure limits
3- Reference concentations
4- Real-time
5- In vivo
6- In vitro
7- Online
8- Off-line

اتمسفرهای مواجهه شغلی فراهم شود، به‌طوری‌که بتوان یک فرایند ارزیابی ریسک و یا حدمجاز مواجهه شغلی(OEL) معتبر ایجاد نمود. بنابراین، این استاندارد اطلاعاتی را در خصوص اندازه هواسل نانوشیء تولیدشده از مولدهای مربوطه همراه با روش‌های مشخصه‌یابی مناسب نانواشیاء ارائه می‌دهد. این استاندارد تکمیل کننده فعالیت سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD)، کارگروه نانومواد ساخته‌شده (WPMN) و سایر مستندات بنیادی[1] مرتبط است. در این استاندارد، توصیه‌ها و راهنماهایی برای کمک به محققان در انتخاب مناسب مولد هواسل برای NOAAs موردنظر، ارائه شده است.

1- Framework documents

# فناوری نانو- تولید هواسل برای مطالعات مواجهه با نانواشیاء و انبوهه‌ها و کلوخه‌های آنها از طریق هوا (NOAA)

## ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدون این استاندارد توصیف روش‌های تولید هواسل‌های نانواشیاء و انبوهه‌ها و کلوخه‌های آنها (NOAA) به‌منظور انجام مطالعات درون‌تنی و برون‌تنی مرتبط با مواجهه از طریق هوا است. هدف این استاندارد کمک به انتخاب مولد مناسب به‌منظور انجام طراحی مطالعات سم‌شناسی است. این استاندارد مشخصه‌های روش‌های تولید هواسُل، شامل مزایا و محدودیت‌های آنها را بیان می‌کند. این استاندارد برای هواسُل‌سازی[1] نانواشیاء خاص رهنمونی ارائه نمی‌کند.

## ۲ مراجع الزامی

در مرجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شود.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

**2-1** ISO/TS 80004-1, Nanotechnologies — Vocabulary — Part 1: Core terms

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱- ۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو- واژه نامه- قسمت ۱: اصطلاحات اصلی با استفاده از استاندارد ISO/TS 80004-1:2015 تدوین شده است.

**2-2** ISO/TS 80004-2, Nanotechnologies — Vocabulary — Part 2: Nano-objects

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۲- ۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو- واژه نامه- قسمت ۲: نانواشیاء با استفاده از استاندارد ISO/TS 80004-2: 2015 تدوین شده است.

**2-3** ISO/TS 80004-4, Nanotechnologies — Vocabulary — Part 4: Nanostructured materials

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران شماره ۴- ۱۸۳۹۲: سال ۱۳۹۳، فناوری نانو- واژه نامه- قسمت ۴ مواد نانوساختاریافته با استفاده از استاندارد ISO/TS 80004-4: 2011 تدوین شده است.

1- Aerosolization

## ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استانداردهای ISO/TS 80004-1، ISO/TS80004-2 و ISO/TS80004-4، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به‌کار می‌رود[۱].

**۳-۱**

**قطر آئرودینامیکی**

**aerodynamic diameter**

قطر کره‌ای با چگالی همگن،که سرعت رسوب گرانشی معادل با سرعت ته‌نشینی گرانشی *ذره* (۳-۲۹) دارد.

[منبع: زیربند ۲-۲، استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۴۸۳: سال ۱۳۹۶]

**یادآوری** - قطر آئرودینامیکی مربوط به خواص اینرسیایی ذرات هواسل است و معمولاً برای توصیف ذرات بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر به‌کار می رود.

**۳-۲**

**هواسُل**

**aerosol**

تعلیق کم‌ثبات *ذرات* (۳-۲۹) جامد یا مایع در یک محیط گازی است.

[منبع: زیربند ۳-۲، استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۴۸۳: سال ۱۳۹۶]

**۳-۳**

**کلوخه**

**agglomerate**

مجموعه‌ای از *ذرات* (۳-۲۹) که به‌صورت ضعیف یا نسبتا قوی به‌هم متصل شده‌اند، به‌طوری که مساحت سطح خارجی منتجه آنها، مشابه مجموع مساحت تک‌تک اجزا تشکیل‌دهنده باشد.

**یادآوری ۱**- نیروهایی که یک کلوخه را نزدیک به‌هم نگه می‌دارد، نیروهای ضعیفی هستند، به‌عنوان مثال، نیروهای واندروالس[۲] یا درهم‌تنیدگی فیزیکی ساده.

**یادآوری ۲**- کلوخه‌ها، به عنوان ذرات ثانویه نیز درنظر گرفته می‌شوند و ذرات اصلی منشاء، ذرات اولیه نامیده می‌شوند.

[منبع: زیربند 2.8 ،استاندارد ISO/TS 80004-4: 2011]

---

۱ - اصطلاحات و تعاریف به‌کار رفته در استانداردهای ISO و IEC در وبگاه‌های http://www.iso.org/obp و http://www.electropedia.org/ در دسترس است.

2- Van der Waals

**۳-۴**

**انبوهه**

**aggregate**

ذره متشکل از *ذرات* (۳-۲۹) با پیوندهای قوی یا جوش‌خورده که مساحت سطح خارجی منتجه آنها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مجموع مساحت سطوح تک‌تک اجزای تشکیل دهنده باشد.

**یادآوری ۱-** نیروهایی که یک انبوهه را کنار یکدیگر نگه‌می‌دارد، نیروهای قوی هستند، به عنوان مثال، پیوندهای کوالانسی[1] یا یونی یا نتیجه جوش خوردن و گره‌خوردگی فیزیکی یا درغیراین‌صورت، ذرات اولیه به هم چسبیده قبلی.

**یادآوری ۲-** انبوهه‌ها، به عنوان ذرات ثانویه نیز درنظر گرفته می‌شوند و ذرات اصلی منشاء، ذرات اولیه نامیده می‌شوند.

[منبع: زیربند 2.7، استاندارد ISO/TS 80004-4: 2011]

**۳-۵**

**انعقاد**

**coagulation**

فرایند تشکیل *ذرات* (۳-۲۹) بزرگتر، از طریق برخورد و چسبندگی ذرات کوچکتر است.

[منبع: زیربند ۶-۲، استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۴۸۳: سال ۱۳۹۶]

**۳-۶**

**طبقه‌بندی‌کننده تحرک الکتریکی تفاضلی**

**differential electrical mobility classifier**

**DEMC**

یک طبقه‌بندی‌کننده که قادر به انتخاب هواسُل‌ها بر اساس تحرک الکتریکی آنهاست.

**یادآوری ۱-** هر DEMC ذرات هواسل را با ایجاد تعادل در نیروهای الکتریکی موجود در سطح هر یک از آنها و با استفاده از نیروی کششی آئرودینامیکی در یک میدان الکتریکی طبقه‌بندی می‌کند.

[منبع: زیربند 2.7، استاندارد ISO 15900: 2009]

1 -Covalent bond

**۳-۷**

**سامانه تحلیل تحرک تفاضلی**

**differential mobility analysing system**

**DMAS**

سامانه‌ای برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات هواسُل کوچکتر از میکرومتر است که شامل یک *DEMC* (۳-۶)، جریان سنج، آشکارساز ذره، سامانه لوله‌کشی داخلی، رایانه و یک نرم افزار مناسب می‌باشد.

[منبع: زیربند 2.8 استاندارد ISO 15900: 2009]

**۳-۸**

**غبارزایی**

**dustiness**

گرایش یک ماده برای تولید گردوغبار هوابرد در طول کار با آن است.

[منبع: EN 1540: 2011]

**۳-۹**

**نانوماده مهندسی شده**

**engineered nanomaterial**

*نانوماده* (۳-۲۱) طراحی‌شده به‌منظور هدف و یا عملکرد خاص است.

[منبع: زیربند 2.8 استاندارد، ISO/TS 80004-1: 2015، تغییریافته]

**۳-۱۰**

**رده مخاطره**

**hazard category**

تقسیم معیارها در هر *درجه مخاطره* (۳-۱۱) مطابق سامانه هماهنگ جهانی طبقه‌بندی و برچسب‌گذاری مواد شیمیایی (GHS) است

[منبع: GHS, 2015]

**۳-۱۱**

**طبقه مخاطره**

**hazard class**

ماهیت مخاطره فیزیکی، سلامتی و محیط‌زیستی که در سامانه هماهنگ جهانی طبقه‌بندی و برچسب‌گذاری مواد شیمیایی(GHS) استفاده می‌شود.

[منبع: GHS, 2015]

**۳-۱۲**

**قطر میانگین هندسی**

**geometric mean diameter**
**GMD**

مقیاسی از گرایش مرکزی توزیع اندازه ذرات با استفاده از لگاریتم قطر ذرات است.

**یادآوری ۱** – قطر میانگین هندسی معمولاً از طریق شمارش ذرات محاسبه می‌شود و ممکن است بر اساس *مساحت سطحی* (۳-۳۲) یا حجم ذرات با وزن‌دهی مناسب بیان شود، مانند:

$$\ln(\mathrm{GMD}) = \frac{\sum_{i=m}^{n} \Delta N_i \ln(d_i)}{N}$$

که در آن:

$d_i$ قطر مرکزی برای گستره اندازه i ام؛

$N$ غلظت کلی؛

$\Delta N_i$ غلظت برای گستره اندازه i ام؛

$M$ کران اول؛

$n$ کران آخر؛

[منبع: زیربند ۳-۵، استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۱۱۱: سال ۱۳۹۳، تغییریافته]

**۳-۱۳**

**انحراف معیار هندسی**

**geometric standard deviation**
**GSD**

مقیاسی از عرض یا گستره اندازه ذرات است که برای *DMAS* (۳-۷) از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\ln(\mathrm{GSD}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=m}^{n} N_i \left[\ln d_i - \ln(\mathrm{GMD})\right]^2}{N-1}}$$

[منبع: زیربند ۳-۶، استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۱۱۱: سال ۱۳۹۳]

**۱۴-۳**

**قطر میانه شمارشی (عددی)**

**count median diameter**
**CMD**

قطری معادل *GMD* (۳-۱۲) برای شمارش ذرات با فرض نرمال بودن توزیع لگاریتمی آنها است.

[منبع: زیربند ۳-۷، استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۱۱۱: سال ۱۳۹۳، تغییریافته]

**۱۵-۳**

**قطر آئرودینامیکی میانه جرمی**

**mass median aerodynamic diameter**
**MMAD**

*قطر آئرودینامیکی* (۳-۱) محاسبه شده که *ذرات* (۳-۲۹) یک *هواسل* (۳-۲) را بر اساس جرم ذرات به دو نیم تقسیم می‌کند.

**یادآوری ۱** – بر اساس جرم، ٪۵۰ ذرات بزرگتر از قطر میانه و ٪۵۰ ذرات کوچک‌تر از قطر میانه خواهند بود.

[منبع: واژه نامه EPA IRIS]

**۱۶-۳**

**نانومواد ساخته‌شده**

**manufactured nanomaterial**

*نانومواده‌ای* (۳-۲۱) که برای داشتن خواص و یا ترکیبی خاص به‌طور هدفمند تهیه شده است.

[منبع: زیربند 2.9 استاندارد، ISO/TS 80004-1:2015، تغییریافته]

**۱۷- ۳**

**مخلوط**

**mixture**

محلول مرکب از دو یا چند *ماده* (۳-۳۳) که بین آنها واکنشی رخ نمی‌دهد.

**یادآوری**– یک محلول نیز یک مخلوط محسوب می‌شود.

[منبع: GHS, 2015]

**۳ -۱۸**

**تحرک‌پذیری**

**mobility**

<هواسل‌ها> تمایل ذرات هواسل برای حرکت در پاسخ به اثرات خارجی، مانند میدان الکترواستاتیک، میدان حرارتی یا انتشار است.

[منبع: زیربند ۹-۲، استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۴۸۳: سال ۱۳۹۶]

**۳ -۱۹**

**نانو هواسُل**

**nano-aerosol**

نانوپراکنش سیال دارای ماتریس گازی و حداقل یک مایع یا جامد نانوفاز که شامل *نانواشیاء* (۳-۲۲) است.

[منبع: زیربند 3.5.4 استاندارد ISO/TS 80004-4: 2015]

**۳ -۲۰**

**نانولیف**

**nanofiber**

*نانوشیئی* (۳-۲۲) با دو بعد خارجی در *مقیاس نانو* (۳-۲۵) و بعد سومی که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بزرگتر است.

**یادآوری ۱–** بزرگترین بعد خارجی لزوماً در مقیاس نانو نیست.

**یادآوری ۲–** اصطلاحات نانولیفچه و نانورشته نیز می‌تواند استفاده شود.

[منبع: زیربند 4.5 استاندارد، ISO/TS 80004-2: 2015، تغییریافته]

**۳ -۲۱**

**نانوماده**

**nanomaterial**

ماده‌ای که هر بعد خارجی آن *نانومقیاس* (۳-۲۵) است یا ساختار داخلی یا ساختار سطحی آن نانومقیاس است.

**یادآوری ۱–** این اصطلاح عمومی شامل نانوشیء و ماده نانو ساختار است.

**یادآوری ۲-** *نانو ماده مهندسی شده* (۳-۹)، *نانوماده ساخته‌شده* (۳-۱۶)و نانو ماده تصادفی[1] نیز مشاهده شوند.

**مثال-** مواد نانو بلورین، پودر نانوذرات، موادی با رسوبات نانو مقیاس، فیلم‌های نانو مقیاس، مواد نانو متخلخل، امولسیون‌های نانومقیاس و مواد با بافت‌های نانو قیاس در سطح. محصولات نهایی حاوی نانومواد (به عنوان مثال لاستیک، تجهیزات الکترونیکی، دی‌وی‌دی‌های روکش‌شده) نانومواد محسوب نمی‌شوند.

[منبع: زیربند 2.4 استاندارد، ISO/TS 80004-1: 2015، تغییریافته]

**۳-۲۲**

**نانوشیء**

**nano-object**

هر قطعه مجزا از یک ماده با یک، دو و یا سه بعد خارجی در *نانومقیاس*(۳-۲۵) است.

**یادآوری ۱-** ابعاد خارجی دوم و سوم عمود بر بعد اول و همچنین عمود بر یکدیگر هستند.

[منبع: زیربند 2.5 استاندارد ISO/TS 80004-1: 2015]

**۳-۲۳**

**نانوذره**

**nanoparticle**

*نانوشیئی* (۳-۲۲) با تمام ابعاد خارجی در *مقیاس نانو* (۳-۲۵) که در آن طول بلندترین و کوتاه‌ترین محورهای نانوشیء به طور قابل ملاحظه‌ای بایکدیگر تفاوت نداشته باشد.

**یادآوری۱-** چنانچه ابعاد به‌طور قایل‌ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوت داشته باشند (معمولا بیشتر از سه برابر)، ممکن است اصطلاحاتی مانند *نانولیف* (۳-۲۰) یا *نانوصفحه* (۳-۲۴) بر نانوذره ترجیح داده شود.

[منبع: زیربند 4.4 استاندارد ISO/TS 80004-2: 2015]

**۳-۲۴**

**نانوصفحه**

**nanoplate**

*نانوشیئی* (۳-۲۲) که با یک بعد خارجی در *مقیاس نانو* (۳-۲۵) و دو بعد خارجی دیگر که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بزرگترند.

**یادآوری ۱-** ابعاد خارجی بزرگتر لزوما در مقیاس نانو نیستند.

[منبع: زیربند 4.6 استاندارد، ISO/TS 80004-2، تغییریافته]

1- Incidental nano-object

**۳-۲۵**

**نانومقیاس**

**nanoscale**

گستره اندازه بین تقریبا ۱ نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر است.

**یادآوری** – خواصی که از اندازه‌های بزرگتر برون‌یابی نمی‌شوند غالبا در این گستره اندازه نشان داده می‌شوند.

[منبع: زیربند 2.1 استاندارد، ISO/TS 80004-1: 2015، تغییریافته]

**۳-۲۶**

**نانوساختار**

**nanostructure**

ترکیبی از اجزای تشکیل‌دهنده مرتبط با هم که یک یا بیشتر از یک جزء آنها در محدوده *نانومقیاس* (۳-۲۵) قرار دارند.

**یادآوری** – یک ناحیه به صورت یک مرز مشخص شده از ناپیوستگی در خواص تعریف می‌شود.

[منبع: زیربند 2.6 استاندارد، ISO/TS 80004-1: 2015، تغییریافته]

**۳-۲۷**

**ماده نانوساختاریافته**

**nanostructured material**

ماده‌ای که دارای *نانوساختار* (۳-۲۶) داخلی و یا نانوساختار سطحی است.

**یادآوری** – این تعریف امکان این که *نانوشیء* (۳-۲۲) ساختار داخلی یا ساختار سطحی *نانومقیاس* (۳-۲۵) داشته باشد را رد نمی‌کند. اگر ابعاد خارجی شیء در *مقیاس نانو* (۳-۲۵) باشند، عبارت نانوشیئی توصیه می‌شود.

[منبع: زیربند 2.7 استاندارد، ISO/TS 80004-2: 2015، تغییریافته]

**۳-۲۸**

**نانولوله**

**nanotube**

*نانولیف* (۳-۲۰) توخالی است.

[منبع: زیربند 4.8 استاندارد ISO/TS 80004-2: 2015]

**۳-۲۹**

**ذره**

**particle**

قطعه کوچکی از ماده با مرزهای فیزیکی معینی است.

**یادآوری ۱–** مرز فیزیکی را به می‌توان به عنوان سطح مشترک نیز توصیف کرد.

**یادآوری ۲–** ذره می‌تواند به عنوان یک واحد جابه جا شود.

**یادآوری ۳–** این تعریف کلی از ذره برای *نانو اشیاء*(۳-۲۲) به کار گرفته می‌شود.

[منبع: زیربند 1.1 استاندارد ISO/TS 26824: 2013]

**۳ -۳۰**

**ذره اولیه**

**primary particle**

*ذره* (۳-۲۹) اصلی منشا از *کلوخه‌ها* (۳-۳) یا *انبوهه‌ها* (۳-۴) یا *مخلوطی* (۳-۱۷) از هر دو است.

**یادآوری ۱–** ذرات سازنده کلوخه‌ها یا انبوهه‌ها در برخی موارد واقعی ممکن است ذرات اولیه باشد ولی در بیشتر موارد اجزای سازنده انبوهه‌ها است.

**یادآوری ۲–** کلوخه‌ها و انبوهه‌ها، *ذرات ثانویه* (۳-۳۱) نیز نامیده می‌شود.

[منبع: زیربند 1.4 استاندارد ISO 26824: 2013]

**۳ -۳۱**

**ذره ثانویه**

**secondary particle**

تشکیل *ذره* (۳-۲۹) از طریق واکنش‌های شیمیایی در فاز گازیی (تبدیل گاز به ذره) است.

[منبع: ۲-۱۷، استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۴۸۳: سال ۱۳۹۶]

**۳ -۳۲**

**مساحت سطح**

**surface area**

مجموع مساحت سطح خارجی وسطح داخلی قابل دستری حفرات ماکرو[1] و مزو[2] است.

**یادآوری–** شامل مساحت سطحی ویژه جرمی یا مساحت سطحی ویژه حجمی است.

1 - Macropore
2 - Mesopore

[منبع: زیربند ۲-۲۸ استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۲۰۶: سال ۱۳۹۵]

**۳-۳۳**

**ماده**

**substance**

عناصر شیمیایی و ترکیبات آنها در حالت طبیعی یا به‌دست آمده از هر فرآیند تولیدی است که شامل هر نوع افزودنی لازم برای حفظ ثبات محصول و هرگونه ناخالصی حاصل از فرآیند مورد استفاده است، ولی با حذف جزء حلال که می‌تواند بدون تأثیر در ثبات ماده یا تغییر ترکیب آن، جدا شده باشد.

[منبع: GHS:2015]

**۳-۳۴**

**ذره بسیار ریز**

**ultrafine particle**

*ذره‌ای* (۳-۲۹) با قطر اسمی (مانند هندسی، آیرودینامیک، *تحرک‌پذیری* (۳-۱۸)، مساحت تصویرشده[1] ودرغیراین‌صورت) ۱۰۰ نانومتر یا کمتر است

**یادآوری**– این اصطلاح اغلب در خصوص ذرات تولید شده به عنوان محصول جانبی یک فرآیند (ذرات تصادفی) استفاده می‌شود مانند دمه[2] جوشکاری و دمه حاصل از منابع احتراق.

[منبع: زیربند ۲-۲۱، استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۴۸۳: سال ۱۳۹۶]

**۳-۳۵**

**غلظت مرجع**

**reference concentration**

تخمین معیاری از ارزیابی کمی دوز-پاسخ در خصوص سمیت غیرسرطانی مزمن برای یک ماده شیمیایی منفرد تنفسی است.

[منبع: EPA,1994 ]

## ۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها

| | |
|---|---|
| ADS | Aerosol Dilution System |
| ADAGE | Acoustic Dry Aerosol Generator Elutriator |

سامانه رقیق سازی هواسل

تفکیک‌کننده و مولد آکوستیکی هواسل خشک

1- Projected- area
2- Fume

| | | |
|---|---|---|
| AERCON | Aerosol Control Unit | واحد کنترل هواسل |
| ALI | Air–Liquid Interface | فصل مشترک هوا - مایع |
| APS | Aerodynamic Particle Sizer | سنجشگر اندازه آیرودینامیکی ذرات |
| CMD | Count Median Diameter | قطر میانه شمارشی |
| CNT | Carbon Nanotube | نانولوله کربنی |
| DEHS | Diethylhexyl Sebacate | دی‌اتیل‌هگزیل سباسات |
| DEMC | Differential Electrical Mobility Classifier | طبقه‌بندی‌کننده تحرک الکتریکی تفاضلی |
| DI | Deionized | دوبار تقطیر |
| DMAS | Differential Mobility Analysing System | سامانه تحلیل تحرک تفاضلی |
| DOP | Dioctyl Phthalate | دی اکسیل فتالات |
| EDX | Energy Dispersive X-Ray Analyser | تحلیل‌گر پرتو ایکس بر اساس تفکیک انرژی |
| ELPI | Electrical Low Pressure Impactor | برخوردگر الکتریکی با فشار پایین |
| EM | Electron Microscopy | میکروسکوپی الکترونی |
| EPA | Environmental Protection Agency | آژانس حفاظت از محیط زیست |
| EU | European Union | اتحادیه اروپا |
| FBG | Fluidized Bed Aerosol Generator | مولد هواسل با بستر سیال |
| GD | Guidance Document | سند راهنما |
| GHS | Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals | سامانه هماهنگ جهانی طبقه‌بندی و برچسب‌گذاری مواد شیمیایی |
| GLP | Good Laboratory Practice | شرایط خوب آزمایشگاهی |
| GMD | Geometric Mean Diameter | قطر میانگین هندسی |
| GSD | Geometric Standard Deviation | انحراف معیار هندسی |
| MAD | Mutual Acceptance of Data | پذیرش متقابل داده‌ها |
| MFC | Mass Flow Controller | کنترل‌کننده دبی جرمی |
| MMAD | Mass Median Aerodynamic Diameter | قطر آئرودینامیکی میانه جرمی |
| MOUDI | Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor | برخوردگر نشست یکنواخت میکرواریفیس |
| MWCNT | Multi-Walled Carbon Nanotube | نانولوله کربنی چنددیواره |
| NM | Nanomaterial | نانوماده |
| OECD | Organization for Economic Cooperation and | سازمان همکاری و توسعه اقتصادی |

| | | |
|---|---|---|
| | Development | |
| OEL | Occupational Exposure Limit | حد مجاز مواجهه شغلی |
| OPC | Optical Particle Counter | شمارشگر نوری ذرات |
| OPPTS | Office of Pollution Prevention and Toxic Substances | اداره پیشگیری از آلودگی و مواد سمی |
| PSL | Polystyrene Latex | لاتکس پلی استایرن |
| RfC | Reference Concentration | غلظت مرجع |
| RPM | Revolutions Per Minutes | دور بر دقیقه |
| SEM | Scanning Electron Microscope | میکروسکوپ الکترونی روبشی |
| SNPS | Scanning Nanoparticle Sizer | سنجشگر روبشی اندازه نانوذرات |
| SPSF | Standard Project Submission Form | فرم ثبت پروژه استاندارد |
| SSPD | Small Scale Powder Disperser | پراکنشگر پودری مقیاس کوچک |
| SWCNT | Single-Walled Carbon Nanotube | نانولوله کربنی تک‌دیواره |
| TEM | Transmission Electron Microscope | میکروسکوپ الکترونی عبوری |
| TEOM | Tapered Element Oscillating Microbalance | ریزترازو نوسانگر مخروطی |
| TG | Test Guideline | راهنمای آزمون |
| TGA | Thermogravimetric Analysis | آنالیز گرماوزن‌سنجی |
| VAG | Vilnius Aerosol Generator | مولد هواسل ویلنیوس |
| WPMN | Working Party on Manufactured Nanomaterials | کارگروه نانومواد ساخته‌شده |

## ۵ ملاحظات طراحی مطالعه

### ۵-۱ کلیات

مطالعات سمیت تنفسی برای ارزیابی ریسک سلامتی کارگران و جمعیت عمومی در معرض مواجهه با NOAA هواسُل‌شده، مهم است. در طراحی یک مطالعه تنفسی NOAA و انتخاب مولد مناسب، توجه به سناریوهای احتمالی مواجهه در محیط کار و دستورالعمل‌های آزمون سمیت تنفسی موجود، اهمیت دارد.

### ۵-۲ سناریوی مواجهه در محیط کار

هنگام طراحی یک مطالعه سمیت تنفسی برای مواجهه با NOAA، توصیه می‌شود سناریوی مواجهه در محیط کار واقعی درنظر گرفته شود. تولید هواسل NOAA باید شرایط واقعی انتشار و مواجهه NOAA در محیط کار را از نظر غلظت (جرمی یا عددی بسته به مشخص بودن هر یک)، شکل، اندازه و توزیع اندازه NOAA، دفعات مواجهه و شرایط به‌کارگیری و ساخت، شبیه‌سازی کند. برای تجربه‌های آزمایشگاهی تنفسی، NOAA اولیه می‌تواند به شکل پودر تعلیق‌شده در محیط مایع یا مواد جامد باشد که به‌وسیله فرایند غلظت/تبخیر یا تولید جرقه[1] ایجاد می‌شود. روش‌های مختلفی در خصوص تولید NOAA می‌تواند اتخاذ شود تا هواسل NOAA متناسب با شرایط واقعی مواجهه، تولید شود.

### ۵-۳ راهنماهای آزمون سمیت تنفسی موجود

تولید هواسل باید مطابق با نیازهای تعریف شده در راهنماهای آزمون تنفسی موجود باشد، مانند راهنمای آزمون OECD (TG) 412، 413، 436، یا سند راهنمایی GD 39 [6][7][8][14][15] و یا راهنمای‌های ملی یا بین‌المللی مرتبط یا معادل. راهنمای OECD (۲۰۱۶) درحال‌حاضر سمیت تنفسی TGs را به نانومواد نسبت می‌دهد و تحقیقات در مورد اثرات بر روی ریه، پس از مواجهه با نانوذرات را نیز به آن افزوده است. اندازه‌ای که برای نانوذرات شرح داده شده است، شامل قطر آئرودینامیکی میانه جرمی بدون تغییر (MMAD) حداکثر دو میکرومتر با انحراف معیار هندسی (GSD) تا سه است.

### ۵-۴ سامانه هماهنگ جهانی طبقه‌بندی و برچسب‌گذاری مواد شیمیایی

نتایج مطالعات سمیت تنفسی ممکن است برای ارزیابی مخاطره، طبقه‌بندی و برچسب‌گذاری مواد شیمیایی مطابق GHS مورد استفاده قرار گیرد. در GHS، محدوده غلظتی برای توصیف شدت سمیت استفاده می‌شود و این محدوده‌های غلظتی برای سمیت تنفسی NOAA در محتوی GHS نیز معتبر است. واحد غلظتی مورد

1- Spark generation

استفاده میلی‌گرم بر لیتر (mg/L) در واحد زمان (به‌صورت ساعت یا چهار ساعت و یا روز) است و مقادیر دسته‌بندی شده از ۰٫۰۵ تا ۵ است. برای اطلاعات بیشتر به جدول ۱ تا جدول ۳ مراجعه کنید. در مورد GHS، از وب‌گاه[1] سازمان ملل استفاده کنید.

**جدول ۱- رده مخاطره سمیت تنفسی**

| راه مواجهه | رده ۱ | رده ۲ | رده ۳ | رده ۴ |
|---|---|---|---|---|
| گردوغبار و مه[1] (mg/L) | ۰٫۰۵ | ۰٫۵ | ۱٫۰ | ۵ |

1- Mist

**جدول ۲- مقادیر راهنما برای سمیت اندام هدف خاص (یک مرتبه مواجهه)**

| راه مواجهه | واحد | رده ۱ | رده ۲ |
|---|---|---|---|
| تنفس (موش) گردوغبار/مه/ دمه | mg/L/۴ h | C ≤ ۱٫۰ | ۵٫۰≥ C ≥۱٫۰ |

**جدول ۳- مقادیر راهنما برای سمیت اندام هدف خاص ( مواجهه مکرر)**

| راه مواجهه | واحد | رده ۱ | رده ۲ |
|---|---|---|---|
| تنفس (موش) گردوغبار/مه/ دمه | mg/L/۶ h | C ≤۰٫۰۲ | ۰٫۰۲ < C ≤ ۰٫۲ |

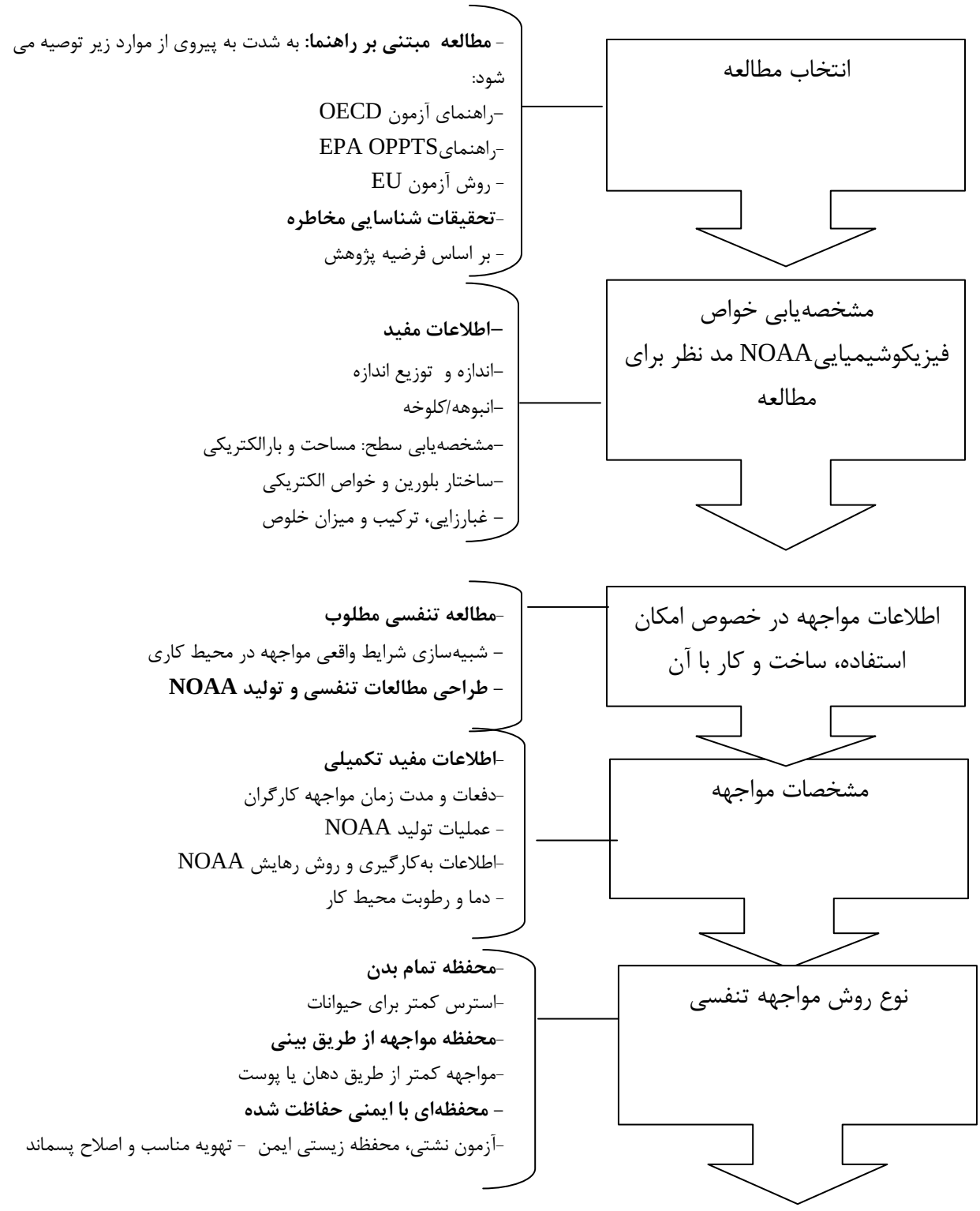
## ۶ ملاحظات در انتخاب مولدهای مناسب

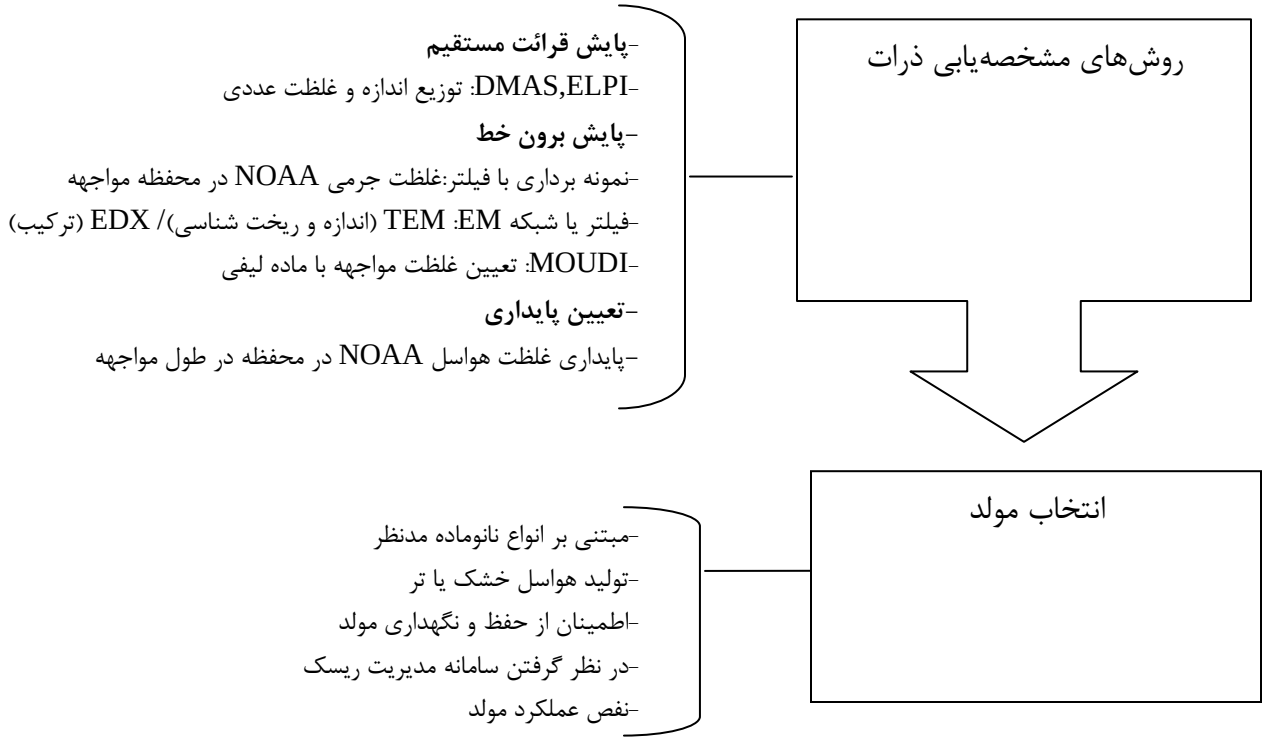
### ۶-۱ طرحواره اصلی

#### ۶-۱-۱ روندنما

طرحواره اصلی در شکل ۱ نشان داده شده است.

1- https:// www .unece .org/ fileadmin/ DAM/ trans/ danger/ publi/ ghs/ ghs _rev04/ English/ ST -SG -AC10 -30 - Rev4e .pdf.


انتخاب مطالعه
- مطالعه مبتنی بر راهنما: به شدت به پیروی از موارد زیر توصیه می شود:
-راهنمای آزمون OECD
-راهنمایEPA OPPTS
- روش آزمون EU
-تحقیقات شناسایی مخاطره
- بر اساس فرضیه پژوهش
مشخصه‌یابی خواص فیزیکوشیمیاییNOAA مد نظر برای مطالعه
-اطلاعات مفید
-اندازه و توزیع اندازه
-انبوهه/کلوخه
-مشخصه‌یابی سطح: مساحت و بارالکتریکی
-ساختار بلورین و خواص الکتریکی
- غبارزایی، ترکیب و میزان خلوص
اطلاعات مواجهه در خصوص امکان استفاده، ساخت و کار با آن
-مطالعه تنفسی مطلوب
- شبیه‌سازی شرایط واقعی مواجهه در محیط کاری
- طراحی مطالعات تنفسی و تولید NOAA
مشخصات مواجهه
-اطلاعات مفید تکمیلی
-دفعات و مدت زمان مواجهه کارگران
- عملیات تولید NOAA
-اطلاعات به‌کارگیری و روش رهایش NOAA
- دما و رطوبت محیط کار
نوع روش مواجهه تنفسی
-محفظه تمام بدن
-استرس کمتر برای حیوانات
-محفظه مواجهه از طریق بینی
-مواجهه کمتر از طریق دهان یا پوست
- محفظه‌ای با ایمنی حفاظت شده
-آزمون نشتی، محفظه زیستی ایمن - تهویه مناسب و اصلاح پسماند




**شکل۱-طرحواره در انتخاب مولدهای مناسب**

### ۶-۱-۲ انتخاب مطالعه

توصیه می‌شود مطالعات بر اساس راهنماهای آزمون استانداردشده مانند موارد ارائه‌شده در راهنمای آزمون OECD (436، 413، 412 ,403 TG) [6][7][8][14]، EPA OPPTS (870.1300,870.3465,870.4100) [16][17][18] و یا اتحادیه اروپا انجام شود. توصیه می‌شود برای تعیین تعداد حیوانات در مطالعه، مدت زمان مواجهه و مدت زمان مشاهده و مشخصه‌یابی مواد آزمون (مانند غلظت و تعیین اندازه ذرات و تعداد آنها) از دستورالعمل‌های آزمون مربوطه به‌ور جدی استفاده شود. مطالعه می‌تواند مطابق با شرایط مطلوب آزمایشگاهی (GLP) که در برخی مناطق برای مطالعات جدید، یک الزام مقرراتی است و یا (ترجیحا) خارج از اصول GLP انجام شود.

همچنین، می‌توان برای تعیین مخاطره NOAA از منابع پژوهشی علمی استفاده کرد و طرح مطالعه معمولاً انعطاف‌پذیرتر از یک مطالعه مبتنی بر راهنمای آزمون است. نکته قابل‌توجه در اینجا این است که معمولاً چنین مطالعاتی برای اثبات یک فرضیه پژوهشی انجام می‌شود و از طریق اصل پذیرش متقابل داده‌های (MAD) OECD مورد تصدیق قرار نمی‌گیرد. نتایج مطالعه را می‌توان در مجله علمی منتشر کرد یا برای مصارف داخلی استفاده کرد.

### ۶-۱-۳ مشخصه‌یابی خواص فیزیکوشیمیایی نانومواد

مشخصه‌یابی خواص فیزیکوشیمیایی (NM) ساخته‌شده قبل از تولید هواسُل NOAA یا تولید در محل[1] (درجا مهم است. نانومواد با استفاده از روش‌های متنوعی تولید می‌شوند که خصوصیات منحصربه‌فرد طراحی‌شده برای برنامه‌های خاص را انتقال می‌دهند. در نتیجه، مواد ممکن است دارای ساختار پیچیده‌ای شامل ناخالصی‌ها و دارای خواص سطحی مختلف (از طریق پوشش‌دهی یا سایر تغییرات) باشند. چنین خصوصیات فیزیکوشیمیایی اثرات توکسیکولوژیکی نانومواد را القاء می‌کند و بنابراین باید کاملاً مشخص شوند. اطلاعات مفید در مورد خصوصیات فیزیکوشیمیایی شامل موارد زیر است ولی محدود به آنها نمی‌شود: اندازه ذرات، توزیع اندازه، شکل، انبوهه/کلوخه، خصوصیات سطحی مانند مساحت و بارالکتریکی، ساختار بلورین، غبارزایی، ترکیب و خلوص. ناخالصی‌های با مقادیر کم مانند وجود اندوتوکسین[2]، باقیمانده کاتالیست فلزی یا ناخالصی‌های حاصل از مواد خام ممکن است روی نتیجه سمیت تأثیر بگذارد[12][19] تا [25]. بنابراین، مشخصه‌یابی نانومواد بسیار مهم است تا تعیین شود که خصوصیات آنها مطابق ادعاهای سازنده قبل از شروع مطالعه است. درحال‌حاضر، چندین استاندارد بین‌المللی برای مشخصه‌یابی نانومواد در دسترس است. به‌عنوان مثال، برای مشخصه‌یابی نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره (SWCNT)، استانداردهایی برای استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) [26]، میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌سنج پرتو ایکس براساس تفکیک انرژی (SEM-EDX) [27]، طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (NIR)[28]، آنالیز گرماوزن‌سنجی (TGA)[29]، مشخصه‌یابی اجزای فرار در نمونه‌های SWCNT با استفاده از آنالیز گاز تکاملی[3] / طیف سنجی گاز کروماتوگرافی‌جرمی [30] و مشخصه‌یابی نانولوله‌های کربنی چند دیواره (MWCNT) عوامل مزوسکوپی[4]، وجود دارد [31]. برخی روش‌های دیگر مانند طیف‌سنجی رامان[5] که دارای استاندارد بین‌المللی نیستند در استاندارد ISO / TR 13014 یافت می‌شود. با این وجود تجربه‌های آزمایشگاهی NOAA قبل از شروع مطالعه مورد نیاز است تا مشخص شود که توزیع اندازه ذرات نماینده توزیع اندازه مشاهده‌شده حین کار با آن و استفاده معمول است. مواجهه با انبوهه‌های ذرات اولیه در اکثر محیط‌های کاری وجود دارد.

### ۶-۱-۴ اطلاعات مواجهه در مورد استفاده، ساخت و جابه‌جایی

یک مطالعه تنفسی مطلوب باید شرایط واقعی مواجهه را شبیه‌سازی کند. در طراحی مطالعه تنفسی، اطلاعات مواجهه در مورد NOAA از نقطه نظر جرم ذرات، غلظت، تعداد، اندازه، پراکندگی (پراکنده‌شده یا انبوهه /

1- In situ
2- endotoxin
3- Evolved gas analysis
4- Mesoscopic factors
5- Raman

کلوخه‌شده) یا شکل بسیار مفید است. بسته به این اطلاعات، می‌توان شکل و غلظت ذرات مشابه مواجهات واقعی را تعیین کرد.

### ۶-۱-۵ مشخصات مواجهه

علاوه بر اطلاعات مواجهه ذکر شده در بالا، اطلاعات در مورد ویژگی‌های مواجهه مانند دفعات و مدت زمان مواجهه کارگران، فعالیت‌های کارگر، عملیات ساخت NOAA، سناریوهای رهایش از منبع NOAA و اطلاعات به‌کارگیری در طراحی یک مطالعه تنفسی بسیار مفید خواهد بود. اطلاعات تکمیلی در مورد دما و رطوبت محیط کار نیز مفید است.

### ۶-۱-۶ انواع روش‌های مواجهه تنفسی

درحال‌حاضر دو نوع محفظه مواجهه به‌طور گسترده برای مطالعات تنفسی درون‌تنی[1] استفاده می‌شود: محفظه تمام بدن[2] و محفظه مواجهه از طریق بینی[3]. روش ترجیحی مواجهه تمام بدن است زیرا بیشترین ارتباط را با مواجهه انسانی دارد و کمترین درد، رنج و پریشانی را برای حیوانات ایجاد می‌کند. مواجهه بینی، احتمال مواجهه دهان و پوست را کاهش می‌دهد و به مقدار کمتری از مواد آزمون در مقایسه با مواجهه تمام بدن نیاز دارد. انتخاب محفظه مواجهه باید بر اساس طرح مطالعه باشد. توصیه می‌شود محفظه‌ها با اقدامات ایمنی از قبیل سازه ضد نشت و آزمون نشتی، استفاده از محفظه زیستی ایمن، تهویه مناسب با کنترل انتشار گازهای خروجی و اصلاح پسماند مصون شوند.

### ۶-۱-۷ روش‌های مشخصه‌یابی ذرات

#### ۶-۱-۷-۱ پایش قرائت مستقیم

استفاده از وسایل پایش عددی و اندازه ذرات به‌صورت قرائت مستقیم[4] مطلوب است. چنین پایشگرهایی، از جمله جمله سامانه تحلیل تحرک تفاضلی (DMAS) و برخوردگر الکتریکی با فشار پایین (ELPI)، اطلاعات مربوط به توزیع اندازه ذرات و همچنین غلظت عددی ذرات را در همان لحظه پایش ارائه می‌دهند. با کمک این وسایل، می‌توان پایداری غلظت اتمسفر آزمونه را در همان لحظه کنترل کرد.

1- In vivo
2- Whole-body
3- Nose-only
4- Real-time

### ۶-۱-۷-۲ پایش برون‌خط

نمونه برداری با فیلتر به‌صورت برون‌خط[1] می‌تواند برای تعیین غلظت جرمی NOAA در محفظه تنفسی نیز استفاده شود. به‌عنوان مثال، برخوردگر ته‌نشینی یکنواخت میکرو-اوریفس (MOUDI) می‌تواند به کمک روش طیف‌سنجی بر اساس زمان طی‌شده[2] برای تعیین غلظت جرمی بر حسب اندازه هواسل شامل مواد لیفی به‌کار رود. علاوه بر آن، نمونه برداری برون خط با کمک فیلتر یا شبکه EM می‌تواند از طریق مشاهدات TEM برای تعیین اندازه و ریخت شناسی[3] NOAA مورد پردازش قرار گرفته و ترکیب آن با تحلیل‌گر پرتو ایکس بر اساس تفکیک انرژی (EDX) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد. همچنین، نمونه‌های فیلتر را می‌توان برای تعیین ترکیب شیمیایی، آنالیز کرد.

### ۶-۱-۷-۳ تعیین پایداری

غلظت نانومواد باید مطابق راهنماها یا پروتکل‌های آزمون تعیین شود. توصیه می‌شود پایداری غلظت هواسل NOAA در محفظه تنفسی طی دوره مواجهه به‌طور منظم، ترجیحا به‌صورت قرائت مستقیم پایش شود. اگر غلظت بیش از ٪۲۰ در طول دوره مواجهه انحراف داشته باشد، بهتر است شرایط پایداری، بهبود یابد [8].

### ۶-۱-۷-۴ انتخاب مولد

طبق زیر بند ۵-۱ تا ۵-۴، برای انتخاب مولد هواسل، توصیه می‌شود خنثی‌سازی بار الکتریکی و رقیق سازی یا حذف محصولات جانبی نامطلوب طی فرآیند تولید را در نظر داشته باشید. پس از انتخاب مولد برای NOAA، توصیه می‌شود از شرایط نگهداری مناسب مولد اطمینان حاصل شود. برای پیشگیری از ریسک غیرقابل قبول، مانند نقص عملکرد مولد، انفجار گردوغبار و حریق، توصیه می‌شود رویکرد مدیریت ریسک درنظرگرفته شود و از موقعیت‌های با ریسک بالا جلوگیری شود. بهتر است توضیحات مربوط به انواع مولدهای بند ۶ و مشخصات آنها در انتخاب مولد مناسب برای مطالعه مورد استفاده قرار گیرد. ارزیابی عملکرد مولد برای مطالعه پیشنهادی و NOAA ای که قرار است تولید شود، با توجه به زمان تولید مورد نیاز، سهولت در نگهداری و پر کردن مجدد بسیار مهم است.

1- Off-line
2- Time-resolved
3- Morphology

## ۷ مولدهای هواسل NOAA

### ۷-۱ کلیات

مزایا و محدودیت‌های فنون تولید در جدول ۴ فهرست شده‌است.

**جدول ۴ - مزایا و محدودیت‌های فنون تولید**

| حالت تولید | فنون تولید | مزیت | محدودیت |
|---|---|---|---|
| پخش به روش خشک [1] | تغذیه‌کننده گردوغبار رایت [2] | - نیاز به مقدار کمی از مواد برای تولید دارد.<br>- ساختار جمع‌وجور [3]، ساده و کوچک دارد.<br>- نانومواد ساخته شده می‌تواند پراکنده شود. | - غلظت ناپایدار دارد.<br>- این تغذیه‌کننده برای هر نوع گردوغباری قابل استفاده نیست. |
| | مولد هواسل برس‌دار [4] | - ساختار جمع‌وجور، ساده و کوچک دارد.<br>- امکان استفاده از آزمونه به همان شکل که ساخته می‌شود، فراهم است.<br>- آزمونه کمتری مورد نیاز است. | - در هنگام برس زدن مواد از روی قرصک [5] ممکن است بار تریبوالکتریک [6] ناشی از اصطکاک ایجاد شود. |
| | پراکنشگر پودری مقیاس کوچک [7] | - امکان استفاده از آزمونه به همان شکل که ساخته می‌شود، فراهم است.<br>- ساختار جمع‌وجور، ساده و کوچک دارد. | - غلظت ناپایدار، که متاثر از شکل یا چسبندگی ذره هنگام مکش شیار پرشده از ذرات است.<br>- نانولوله‌های کربنی درهم‌تنیده و درهم‌پیچیده ممکن است به‌طور مساوی مکش نشوند یا ذرات ممکن است به‌هم بچسبند.<br>- از نیروهای نسبتاً ضعیف برای پراکنش کلوخه استفاده می‌کند. |
| | مولد هواسل با بستر سیال [8] | - ساختار جمع‌وجور، ساده و کوچک دارد.<br>- امکان استفاده از خود آزمونه وجود دارد. | - غلظت متغیر هواسل و تغییر آزمونه<br>- رطوبت محیط، شکل و یا چسبندگی ذرات ممکن است باعث ناپایداری غلظت شود<br>- سازوکار نسبتاً ضعیف برای پراکنش کلوخه<br>- در خصوص مواد لیفی آزمونه، ممکن است شکستگی الیاف منفرد رخ دهد. |

| حالت تولید | فنون تولید | مزیت | محدودیت |
|---|---|---|---|
| پخش به روش خشک | تفکیک‌کننده و مولد آکوستیکی هواسل خشک[9] | - یک هواسل پایدار تولید می‌کند.<br>- مناسب برای پودر با چسبندگی کم مانند سیلیس ($SiO_2$) است.<br>- امکان استفاده از خود آزمونه وجود دارد. | - تحت‌تأثیر رطوبت محیط قرار می‌گیرد. |
| | مولد هواسل ویلنیوس[10] | - امکان استفاده از آزمونه به همان شکل که ساخته می‌شود، وجود دارد.<br>- مناسب برای تولید هواسل برای مقادیر کم پودر است.<br>- ساختار ساده دارد.<br>- امکان تولید مقدار زیادی (۱ میلی‌گرم در مترمکعب تا ۲۵۰۰ میلی‌گرم در مترمکعب) از هواسل آزمونه برای مدت طولانی (۰٫۵ ساعت تا ۶ ساعت) دارد. | - غلظت ناپایدار دارد.<br>- سازوکارهای ضعیف برای پراکنش کلوخه دارد.<br>- ذرات آزمونه ممکن است به پره‌ها چسبیده شوند، که در روند تولید هواسل ممانعت ایجاد می‌کند.<br>- برای تولید هواسل از مواد لیفی مناسب نیست. |
| | مولد طبلک دوار[11] | - امکان استفاده از خود آزمونه وجود دارد.<br>- ساختار جمع‌وجور، ساده و کوچک دارد. | - غلظت هواسل تولیدی ناپایدار بوده و تحت تأثیر شکل یا چسبندگی ذرات قرار می‌گیرد.<br>- سازوکارهای نسبتاً ضعیف برای پراکنش کلوخه دارد.<br>- برای تولید هواسل از مواد لیفی مناسب نیست.<br>- غلظت هواسل تولید شده به مرور زمان تغییر می‌کند. |
| پخش به روش تر[12] | پخشانک/ مه‌پاش[13] | - ذرات معلق یا پراکنده در مایع می‌توانند به عنوان هواسل تولید شوند.<br>- ساختار جمع‌وجور، ساده و کوچک دارد. | - ذراتی ممکن است از ناخالصی‌های موجود در حلال مانند آب دوبار تقطیر (DI) تشکیل شوند.<br>- امکان تغییر خصوصیات نانواشیاء مانند CNTs در تماس با مایع وجود دارد.<br>- با تبخیر مایع، غلظت هواسل نیز می‌تواند به مرور زمان افزایش یابد.<br>- وقتی ذرات به خوبی و یا بطور یکنواخت پراکنده نشوند، تولید ذرات دشوار است. |
| | پخشانک محوری- الکترواستاتیکی[14] | - پراکندگی موثر CNT با استفاده از انرژی فراصوت انجام می‌شود. | - احتمال آسیب دیدن آزمونه توسط امواج فراصوت و ظهور ناخالصی‌های مانند عوامل بیولوژیکی از آب دوبار تقطیر وجود دارد. |

| حالت تولید | فنون تولید | مزیت | محدودیت |
|---|---|---|---|
| تغییر فاز [15] | مولد تبخیری - تراکمی [16] | - روشی ساده و پایدار برای تولید نانوذرات فلزی است.<br>- نانوذرات تولیدشده می‌توانند کاملاً عاری از آلودگی باشند.<br>- با این مولد، می‌توان نانوذرات با غلظت بالا و غیرانبوهه را به‌دست آورد. | - تولید مواد با دمای ذوب بالا و آهنگ تبخیر پایین مشکل است. |
| | مولد جرقه‌ای [17] | - می‌تواند هواسل نانوذره‌ای را در کل محدوده (۱ نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر) تولید کند.<br>- نانوذرات تولید شده می‌توانند کاملاً عاری از آلودگی باشند و بسته به نیاز و سامانه مورد استفاده از یک یا چند ماده ترکیب شده باشند. | - تعداد الکترود تجاری موجود برای تولید هواسل کم است.<br>- به هنگام استفاده از آن، ویژگی‌هایی متفاوت از NOAA واقعی که کارگران در هوای محیط کار با آن مواجهه دارند، دیده می‌شود. |
| | نانو هواسل‌های تراکمی [18] | - ممکن است تنها راه تهیه یک منبع کنترل‌شده‌ای از هواسل با اندازه و غلظت مناسب باشد. | - محدود به مواد با مشخصات مناسب دما-فشار بخار و پایدار در دمای اعمال شده است.<br>- انعقاد در اثر رشد اندازه ذرات طی زمان ممکن است توانایی تولید غلظت‌های بالا را محدود کند. |
| واکنش شیمیایی [19] | واکنش شیمیایی | - روش کارآمد و ساده برای تولید نانومواد است. | - محصولات جانبی تولید می‌شوند.<br>- استفاده از گاز بی اثر ممکن است در آزمون تنفسی تأثیر بگذارد و ممکن است رقیق‌سازی و سایر تنظمیات مربوط به گازها لازم شود. |
| پراکنش- فیلتراسیون فاز مایع [20] | خشک کردن‌نقطه‌بحرانی و تزریق مستقیم [21] | - ذراتی با پراکندگی بالا بدون تغییر در توزیع طول و قطر تولید می‌شوند. | - بقایای سطح و اصلاح آن باید در نظر گرفته شود. |

1- Dry dissemination
2- Wright dust feeder
3- Compact
4- Brush type aerosol generator
5- Pellet
6- Triboelectric
7- Small scale powder disperser
8- Fluidized bedaerosol generator
9- Acoustic dry aerosol generator elutriator
10- Vilnius aerosol generator
11- Rotating drum generator
12- Wet dissemination

13- Atomizer/nebulizer
14- Electrostatic assist axial atomizer
15- Phase change
16- Evaporation/condensation generator
17- Spark generator
18- Condensation nano-aerosols
19- Chemical reaction
20- Liquid phasefiltration/dispersion
21- Critical point drying and direct injection

### ۷-۲ پخش به روش خشک

#### ۷-۲-۱ تغذیه کننده گردوغبار رایت (شکل ۲)

##### ۷-۲-۱-۱ اصول عملیات

پودر خشک در حین آماده‌سازی درون سیلندر فشرده می‌شود. در حین استفاده، سیلندر به هنگام پایین آمدن می‌چرخد، که این امکان را فراهم می‌آورد که پودر فشرده شده توسط چاقو تراشیده شود و در امتداد تیغه به سمت یک لوله مرکزی منتقل شود. هوای تحت‌فشار وارد شده در بخش الف شکل ۲، پودر تشکیل‌دهنده هواسل را پراکنده می‌کند. هواسل از بخش ب خارج می‌شود. بخش ب به بقیه سامانه جهت ورود به منطقه مواجهه متصل است. غلظت هواسل تولید شده از طریق سرعت چرخش تعیین می‌شود. به‌عنوان مثال، به نتایج توزیع اندازه در پیوست **الف** [32][33] مراجعه شود.

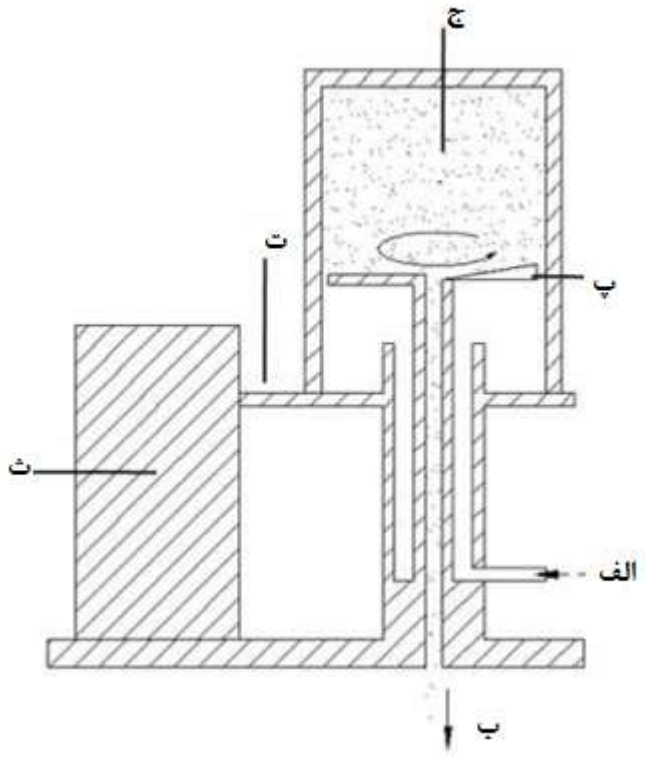
##### ۷-۲-۱-۲ مزایا

مزایا شامل تناسب دستگاه برای تولید مقادیر کمی از مواد مورد نیاز است. ساختار و اندازه مولد کوچک، ساده و جمع‌وجور است. نانومواد ساخته‌شده می‌توانند پراکنده شوند. توزیع اندازه ذرات CNTs اندازه‌گیری‌شده به‌وسیله برخوردگرآبشاری[1] بیانگر MMAD ۲٫۲ ~ ۲٫۹ میکرومتر و GSD ۲٫۶ ~ ۱٫۷ و اندازه‌گیری‌شده به‌وسیله سنجشگر APS، بیانگر MMAD ۱٫۹ ~ ۲٫۰ میکرومتر و GSD ۱٫۷ ~ ۱٫۶ است [32].

##### ۷-۲-۱-۳ محدودیت‌ها

محدودیت‌ها شامل غلظت ناپایدار است. یکنواختی خوراک بستگی به نحوه قرارگیری گردوغبار در ظرف مربوطه دارد. از تغذیه‌کننده نمی‌توان برای همه انواع گردوغبار، به‌ویژه مواد نرم با نیروی چسبندگی زیاد (به‌عنوان مثال گردوغبار زغال) استفاده کرد. درجه کلوخگی منوط به غلظت بخار آب در هوا است [34].

1- Cascade impactor




**راهنما**

الف هوای تمیز

ب هواسل

پ تیغه دوار

ت سیلندر

ث موتور

ج پودر

**شکل ۲- طرحواره تغذیه‌کننده گردوغبار رایت**

### ۷-۲-۲ مولد هواسل برس‌دار (شکل ۳)

#### ۷-۲-۲-۱ اصول عملیات

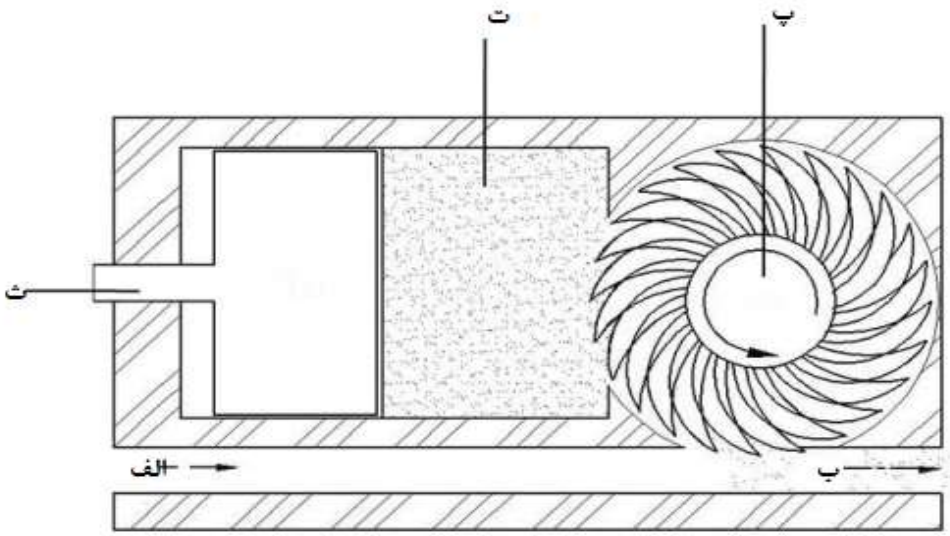
انرژی جنبشی حاصل از موهای فلزی روی یک برس سیمی مدور در حال چرخش، ذرات را از جای خود بیرون رانده و پراکنده می‌کند. هوای فشرده برای تعلیق و حمل مواد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. تنظیم مقدار گردوغبار تولیدی با تغییر سرعت چرخش برس در دقیقه و آهنگ تأمین پودر انجام می‌شود [33][34][35].

### ۷-۲-۲-۲ مزایا

مزایا شامل ساختار ساده، جمع‌وجور و اندازه کوچک آن است. این امکان وجود دارد که از ماده مورد آزمون همانطور که ساخته شده است، استفاده کرد. برای پراکندگی ذرات می‌توان از انرژی کافی استفاده کرد. ماده مورد آزمون کمتری نسبت به روش مه‌پاشی مورد نیاز است و برای پودرهای خشک مناسب‌تر است [37].

### ۷-۲-۲-۳ محدودیت‌ها

در هنگام برس زدن مواد از روی یک قرصک ممکن است بار تریبوالکتریک ناشی از اصطکاک ایجاد شود. بار ایجاد شده ممکن است بر اندازه ذرات تولیدی تأثیر بگذارد [37].




**راهنما**

الف هوای تمیز

ب هواسل

پ برس

ت پودر

ث پیستون

**شکل ۳- طرحواره مولد هواسل برس‌دار**

### ۷-۲-۳ پراکنشگر پودری مقیاس کوچک (SSPD، شکل ۴)

### ۷-۲-۳-۱ اصول عملیات

این مولد از یک خارج‌کننده[1] گاز و یک صفحه گردان تشکیل شده است که دارای یک شیار مارپیچ پرشده از پودر است تا یک منبع پایدار ذرات بهنگام چرخش صفحه فراهم شود. کاهش فشار ناشی از منبع هوای فشرده

1- Ejector

در خارج‌کننده متشکل از لوله مستقر در نازل ونتوری[1]، باعث مکش پودر از شیار می‌شود و به دنبال آن مخلوط شدن با هوای نازل برای ایجاد هواسُل رخ می‌دهد. میزان خروجی از طریق سرعت چرخش صفحه گردان و فشار منبع هوای فشرده کنترل می‌شود [39][40].

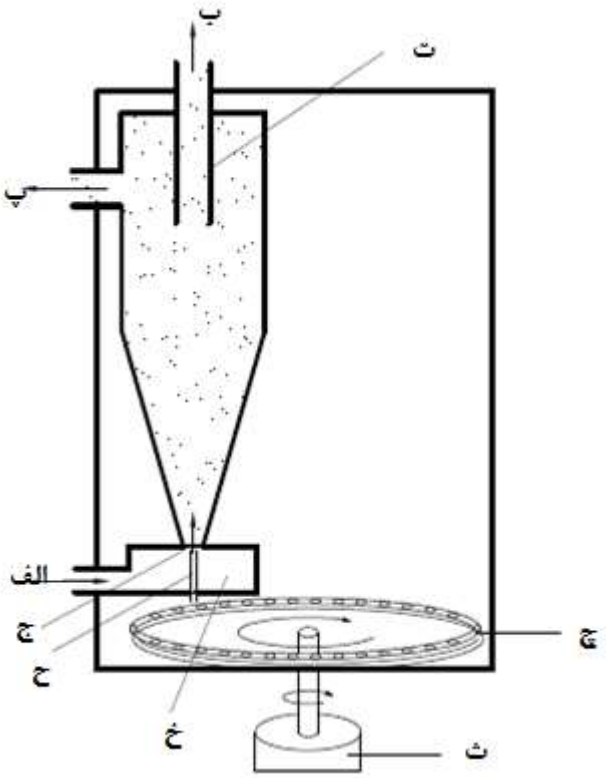
### ۷-۲-۳-۲ مزایا

مزایای این دستگاه شامل این موارد است: امکان استفاده از آزمونه همانطور که ساخته شده است، این مولد جمع‌وجور و از نظر اندازه کوچک است. همچنین برای تولید هواسل از مواد لیفی مناسب است [38].

### ۷-۲-۳-۳ محدودیت‌ها

محدودیت‌های آن شامل غلظت ناپایدار است که در هنگام مکش کردن شیار، تحت‌تأثیر شکل یا چسبندگی ذرات قرار می‌گیرد. ذراتی مانند CNTs درهم‌تنیده و درهم پیچیده ممکن است به‌طور مساوی مکش نشوند یا ممکن است ذرات به‌هم بچسبند. مولد SSPD از نیروهای نسبتاً ضعیف برای پراکنش کلوخه‌ها استفاده می‌کند. آزمونه ممکن است به‌علت چسبندگی سطحی یا نیروهای الکترواستاتیکی ذرات به صفحه گردان بچسبد. تفاوت در مقدارهواسل تولید شده ممکن است به میزان چسبندگی پودرهای مختلف بستگی داشته باشد. مولد SSPD همچنین به فشار خط خروجی حساس است که محدودکننده استفاده از سیکلون‌ها یا برخوردگرها در پایین دست برای کاهش نسبت ذرات بزرگ است.

1- Venturi




**راهنما**

| | | |
|---|---|---|
| الف هوای تمیز | ت تقسیم‌کننده هواسل | چ صفحه گردان |
| ب هواسل | ث موتور | ح لوله |
| پ جریان اضافی | ج نازل | خ گلوگاه ونتوری |

**شکل ۴- طرحواره پراکنشگر پودری مقیاس کوچک**

### ۷-۲-۴ مولد هواسل با بستر سیال (FBG، شکل ۵)

#### ۷-۲-۴-۱ اصول عملیات

ذرات از طریق وارد کردن مهره‌های[1] (دانه تسبیحی) کوچک (قطر در حدود ۱ میلی‌متر) به جریان هوا با استفاده از هوای پرفشار پراکنده می‌شوند. آزمونه به سطح دانه‌های برنزی یا سیلیسی می‌چسبد (به شکل ۵ مراجعه شود). حرکت دانه‌ها به پراکنش پودر کمک می‌کند. اثر متقابل بین مهره‌ها باعث شکسته شدن کلوخه‌های پودر آزمونه به ذرات ریز می‌شود. با استفاده از تغییر دور بر دقیقه (RPM) موتور[2] تا زنجیر انتقال پودر و آهنگ جریان منبع، می‌توان مقدار هواسل تولیدی را تنظیم کرد.

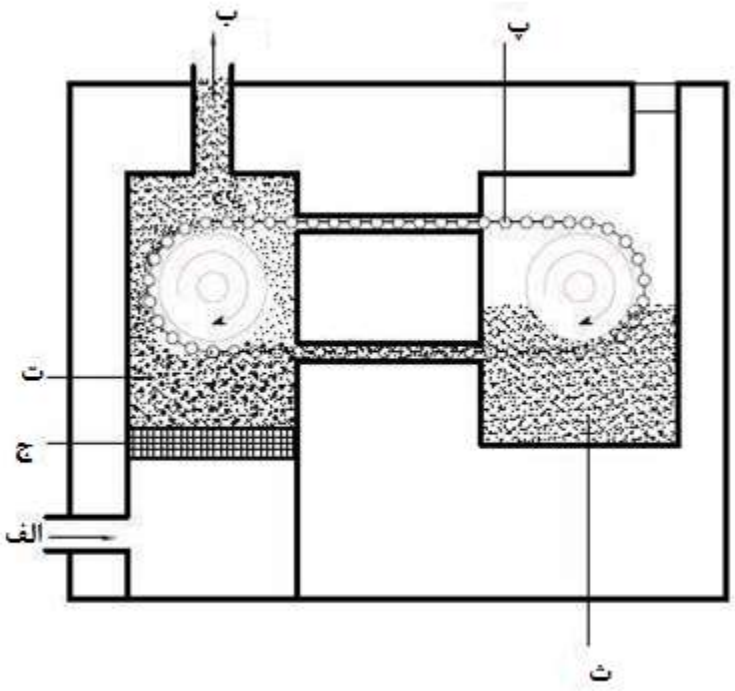
1-Beads
2-Drive

### ۷-۲-۴-۲ مزایا

مزایا شامل ساختار ساده، جمع‌وجور و اندازه کوچک آن است. استفاده از خود آزمونه امکان پذیر است.

### ۷-۲-۴-۳ محدودیت‌ها

محدودیت‌ها شامل غلظت متغیر هواسل و تغییر ماده آزمون است. رطوبت محیط و همچنین شکل یا چسبندگی ذرات ممکن است باعث غلظت ناپایدار شود. برای موادی مانند CNT، تغییر غلظت تا حد زیادی به زمان وابسته است [41]. سازوکار نسبتاً ضعیف برای پراکنش کلوخه‌ها نیز یک مساله است. ممکن است در مواد لیفی آزمونه، شکستگی لیف‌های منفرد رخ دهد.




**راهنما:**

| | |
|---|---|
| الف هوای تمیز | ت دانه‌های معلق شده در هوا |
| ب هواسل | ث پودر |
| پ زنجیر انتقال پودر | ج صفحه متخلخل |

**شکل ۵- طرحواره مولد هواسل با بستر سیال**

### ۷-۲-۵ تفکیک‌کننده و مولد آکوستیکی هواسل خشک (ADAGE، شکل ۶)

#### ۷-۲-۵-۱ اصول عملیات

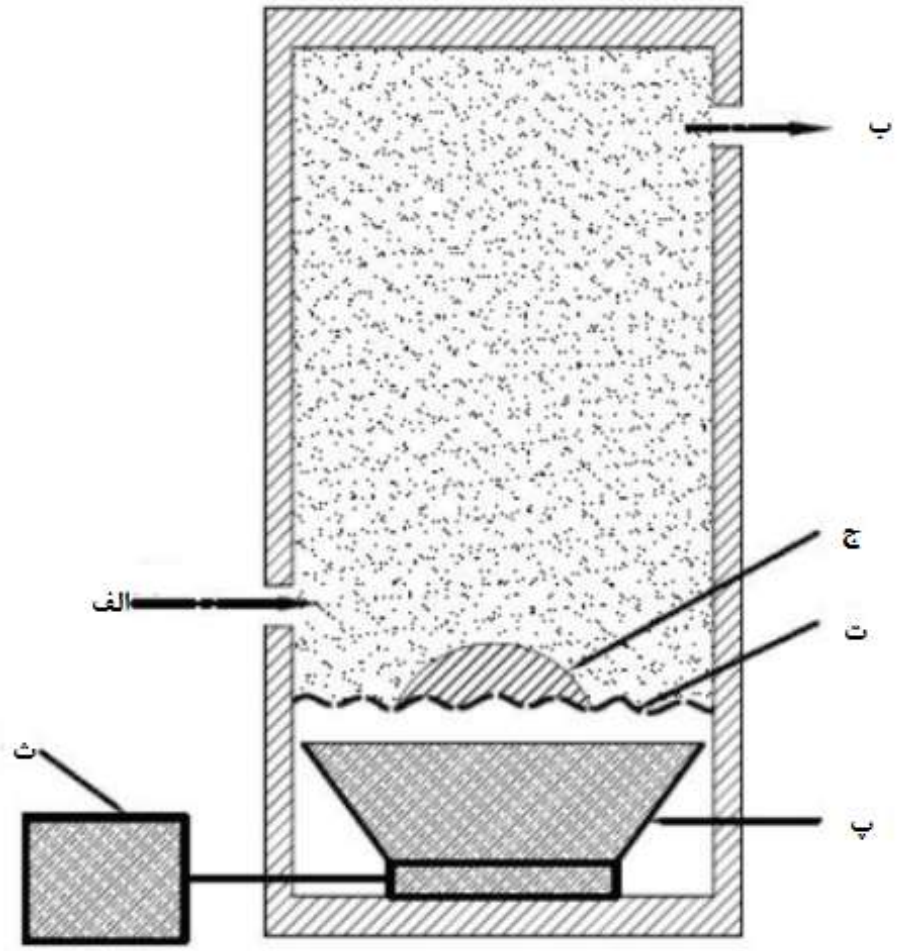
این مولد، آزمونه را از طریق انرژی آکوستیک پراکنده می‌کند. انبوهه‌ها/ کلوخه‌ها می‌توانند بسته به فرکانس و دامنه انرژی اعمال شده از حالت اولیه خود خارج شوند. مقدار هواسل تولیدی با تغییر فرکانس امواج صوتی، مقدار آزمونه و آهنگ دبی تنظیم می‌شود [33][42][43][44].

#### ۷-۲-۵-۲ مزایا

مولد ADAGE، هواسل نسبتاً پایدار تولید می‌کند و به‌عنوان یک مولد هواسل خشک بهترین عملکرد را دارد. مولد ADAGE به‌ویژه برای پودرهای با چسبندگی کمتر مانند سیلیس ($SiO_2$) مناسب است [41]. امکان استفاده از خود آزمونه نیز وجود دارد.

#### ۷-۲-۵-۳ محدودیت‌ها

محدودیت‌ها شامل این است که ADAGE تحت‌تأثیر رطوبت محیط قرار دارد. غلظت مواد دیگر ممکن است به هنگام مقایسه پایداری تولید ADAGE با پراکنشگر پودری مقیاس کوچک (SSPD) با استفاده از $TiO_2$، $SiO_2$ و SWCNT وابسته به زمان [41] باشد. مشخص شده است غلظت $SiO_2$ تولیدشده توسط ADAGE تنها حدود ۴ درصد از متوسط غلظت طی یک دوره زمانی تقریباً ۳۰ دقیقه‌ای نوسان دارد. این مولد بزرگ و دارای ساختار پیچیده‌ای است. تولید توسط ADAGE ممکن است تحت‌تأثیر شکل یا چسبندگی ذره باشد.




**راهنما:**

الف هوای تمیز
ب هواسل
پ بلندگو
ت صفحه لاتکس
ث تقویت‌کننده و مولد فرکانس
ج پودر

**شکل ۶- طرحواره تفکیک‌کننده و مولد آکوستیکی هواسُل خشک**

### ۷-۲-۶ مولد هواسل ویلنیوس (VAG، شکل ۷)

#### ۷-۲-۶-۱ اصول عملیات

مولد از یک محفظه کوچک با پره‌های دوار آزاد و یک قسمت تحتانی لرزنده[1] تشکیل شده است. این دستگاه پودر را پراکنده کرده و یک هواسل پودری خشک تولید می‌کند. مولد VAG از یک کنترلگر و یک پراکنشگر تشکیل شده است. پراکنشگر آن برای شکستن و هواسل‌سازی پودر، ترکیبی از جت هوا ، غشای لرزنده و توربین همزن به حرکت درآمده به‌وسیله هوا[2] را مورد استفاده قرار می‌دهد [45]. هواسُل به‌وسیله چهار جت تولید می‌شود، که پودر آزمونه را چرخانده و بلند می‌کند. تنظیم مقدار هواسُل تولیدی از طریق سرعت جریان جت‌ها انجام می‌شود.

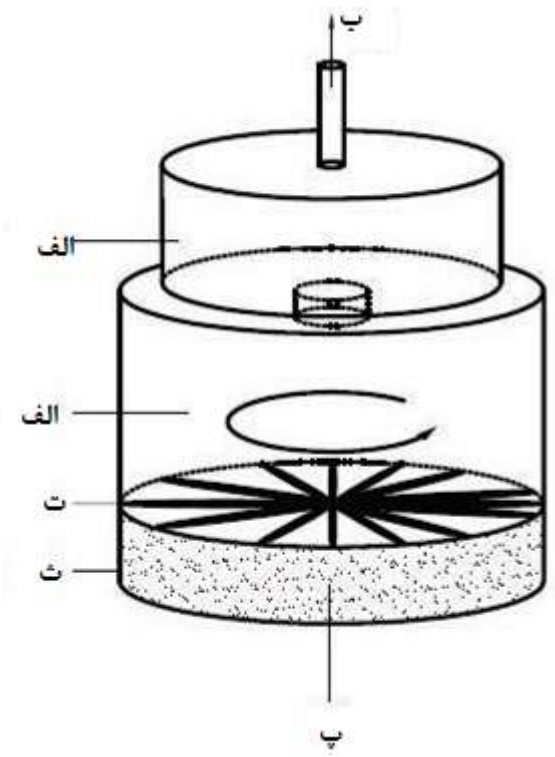
#### ۷-۲-۶-۲ مزایا

مزایای این دستگاه شامل استفاده از آزمونه همانطور که ساخته شده است، می‌باشد. یکی دیگر از مزایای VAG مناسب بودن آن برای تولید هواسل از مقادیر کم پودر است. ساختار VAG ساده است. همچنین می‌توان مقادیر زیادی (۱میلی‌گرم بر مترمکعب تا ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر مترمکعب) از هواسل آزمونه را برای مدت طولانی (۰٫۵ ساعت تا ۶ ساعت) تولید کرد. این دستگاه برای آزمایش مواجهه برون‌تنی هوا [47] و همچنین مطالعه مواجهه تنفسی گردوغبار استفاده می‌شود [47].

#### ۷-۲-۶-۳ محدودیت‌ها

محدودیت‌ها شامل غلظت ناپایدار است که تحت‌تأثیر شکل یا چسبندگی ذره قرار می‌گیرد. سازوکارهای نسبتاً ضعیفی برای پراکندگی کلوخه‌ها وجود دارد. ذرات آزمون ممکن است به پره‌ها بچسبند، که روند تولید هواسل را مختل می‌کند. مولد VAG برای تولید هواسل از مواد لیفی نامناسب است. تفاوت در مقدار هواسل تولیدشده به چسبندگی پودر نیز بستگی دارد.

1- Vibrating
2- Air-driven stirring turbine




**راهنما:**

الف هوای تمیز

ب هواسل

پ محفظه گردوغبار

ت توربین چرخشی ارتعاشی

ث غشاء

**شکل ۷- طرحواره مولد هواسل ویلنیوس**

### ۷-۲-۷ مولد طبلکی دوار (شکل ۸)

#### ۷-۲-۷-۱ اصول عملیات

این مولد، آزمونه را از طریق حرکت رو به پایین[1] پودر در یک استوانه[2] (درام) چرخان، تبدیل به هواسل می‌کند. آزمونه در قسمت استوانه قرار گرفته و سپس ریخته می شوند و شبیه‌ساز ریزش پودر است. هدف این کار، تولید گردوغبار نماینده عملیات صنعتی با مقادیر و مشخصات مشابه است. از جریان هوای فشرده شده و RPM می‌توان برای تنظیم مقادیرخروجی استفاده کرد [48][49][50]. این روش برای آزمون استاندارد گردوغبارزایی پودرها استفاده می‌شود [3].

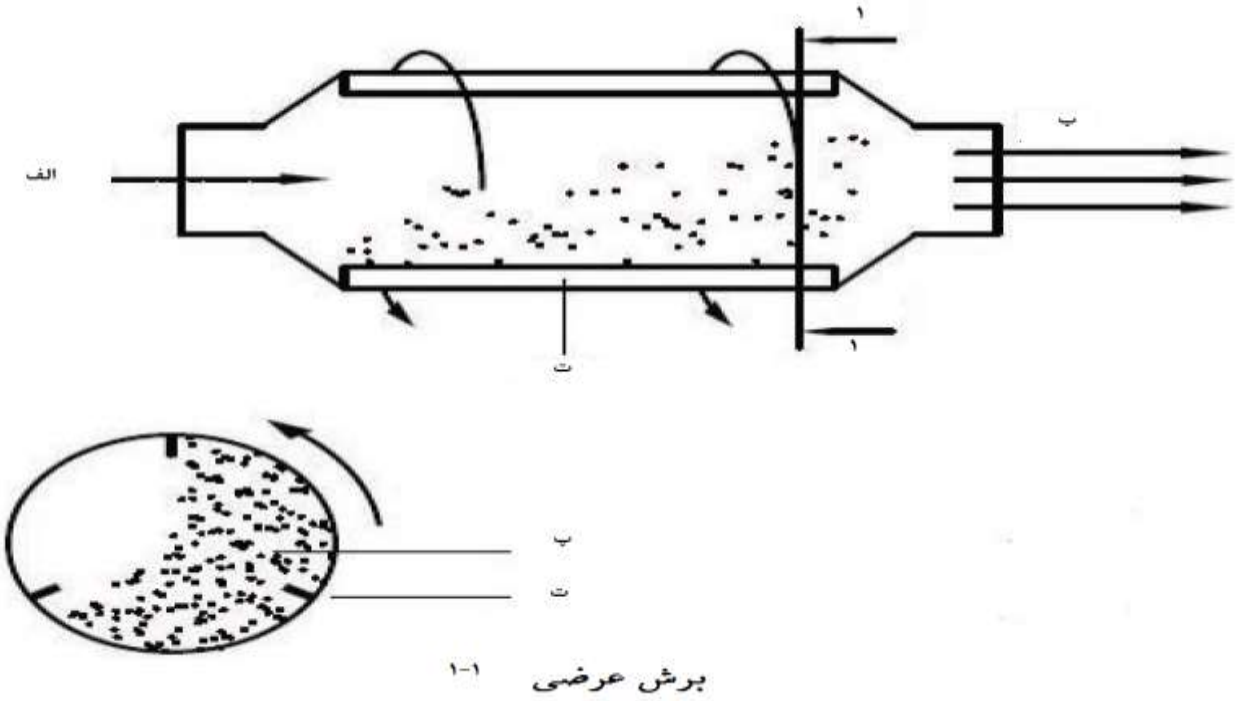
1- Falling motion
2- Drum

### ۷-۲-۷-۲ مزایا

مزایای آن شامل امکان استفاده از خود آزمونه و کوچک بودن اندازه طبلک دوار است. همچنین این مولد جمع‌وجور و از نقطه نظر استفاده ساده است. ارتباط یک مطالعه تنفسی با یک روش استاندارد گردوغبارزایی می‌تواند مطلوب باشد.

### ۷-۲-۷-۳ محدودیت‌ها

محدودیت‌ها شامل ناپایداری غلظت هواسل تولیدی بوده و تحت‌تأثیر شکل یا چسبندگی ذرات قرار می‌گیرد. استوانه چرخشی سازوکارهای نسبتاً ضعیفی را برای پراکنش کلوخه‌ها دارد. برای تولید هواسل لیفی نامناسب است. همچنین غلظت هواسل تولیدی در طول زمان دچار تغییر می‌شود.




**راهنما:**

الف هوای تمیز

ب هواسل

پ پودر

ت پارویی

**شکل ۸- طرحواره مولد طبلکی دوار**

## ۷-۳ پخش به روش‌تر

### ۷-۳-۱ پخشانک/ مه‌پاش (شکل ۹ تا شکل ۱۱)

#### ۷-۳-۱-۱ کلیات

پخشانک/مه‌پاش برای تولید هواسل از مواد محلول (به‌عنوان مثال NaCl و KCl) و تعلیقه[1] ذرات نامحلول مناسب است (به عنوان مثال لاتکس پلی استایرن (PSL) و CNT. پخشانک‌ها و مه‌پاش‌ها طبق روش اعمال انرژی به مایع طبقه‌بندی می‌شوند، برای مثال فشار هوا یا ارتعاش فراصوت. پخشانک/مه‌پاش می‌تواند با تغییر تعداد نازل‌ها و میزان جریان هوا از غلظت‌های مختلف ذرات، هواسل تولید کند. پخشانک‌های مرسوم، به یک منبع در دسترس هوای فشرده یا از تجهیزات داخلی[2] و یا یک کمپرسور قابل حمل نیاز دارند. اندازه ذرات خشک تولیدی پس از تبخیر، بستگی به غلظت ذرات معلق و مواد جامد محلول و اندازه قطرات تولیدی توسط مه‌پاش دارد[51] [52] [53] [54] [55] [56]. اندازه قطرات تولید شده معمولاً با انحراف معیار هندسی حدود ۲ پخش می‌شود [57]. اگر فقط مواد جامد محلول مه‌پاشی شوند، ذرات خشک باقی‌مانده پس از تبخیر مایع، انحراف معیار هندسی مشابه قطرات اصلی خواهند داشت و اندازه آنها بستگی به حجم قطره از دست رفته در اثر تبخیر خواهد داشت. نتایج ذرات نامحلول پیچیده‌تر است. بخش بزرگی از جزء اندازه قطره ممکن است پس از خشک شدن، باعث شکل‌گیری انبوهه‌ها از ذرات اصلی شود، زیرا ممکن است چندین ذره در قطره اصلی وجود داشته باشد. بخش کوچکی از توزیع اندازه قطرات ممکن است تنها حاوی مواد جامد محلول باشد و پس از خشک شدن، باعث شکل‌گیری ذرات کوچک‌تر شود. معمولاً غلظت تعلیقه ذرات به گونه‌ای تنظیم می‌شود تا بیشتر ذرات خشک باقیمانده فقط حاوی یکی از انواع ذرات اصلی باشند [38].

نوع دیگر مه‌پاش، مه‌پاش فراصوت است. مه‌پاش فراصوت دارای یک نوسانگر الکترونیک برای تولید سیگنالی با فرکانس بالا است که این امر باعث ایجاد ارتعاش فراصوت مکانیکی یک بلور پیزوالکتریک می‌شود. این عنصر نوسانگر در تماس با یک مخزن مایع است و ارتعاش فرکانس بالای آن برای تولید مه[3] کافی می‌باشد [58].

#### ۷-۳-۱-۲ مزایا

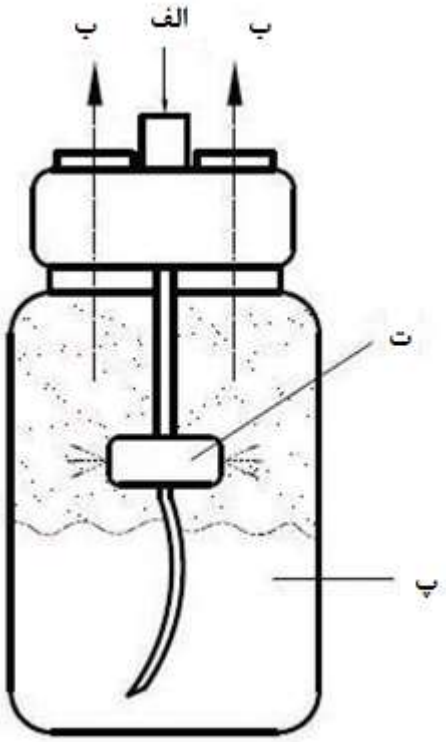
مزایای استفاده از پخشانک/ مه‌پاش این است که ذرات معلق یا پراکنده در مایع می‌توانند به‌عنوان هواسل تولید شوند. همچنین دستگاه پخشانک/مه‌پاش از نظر اندازه کوچک، از نظر شکل جمع‌وجور و در مقایسه با پراکنشگرهای خشک کاربری آسان‌تری دارند.

1- Suspension
2- In-house
3- Mist

در مقایسه، مه‌پاش‌های فراصوت از طریق ارتعاش فراصوت هواسل تولید می‌کنند. آنها مولدهای سبکی هستند. مزیت دیگر این است که ارتعاش فراصوت تقریبا بی‌صدا است.

### ۷-۳-۱-۳ محدودیت‌ها

محدودیت‌ها شامل احتمال تشکیل ذرات از ناخالصی‌های موجود در حلال مانند آب دوبار تقطیر (DI) (در این مورد، ناخالصی‌های بیولوژیکی) است. ممکن است هنگام تماس با مایع، خواص نانو اشیاء مانند نانو لوله کربنی‌ها (CNT) تغییر یابد. همچنین غلظت هواسل می‌تواند هنگام تبخیر مایع به مرور زمان افزایش یابد. در شرایطی‌که ذرات به خوبی یا به‌طور یکنواخت پراکنده نشوند، پخشانک‌ها/ مه‌پاش‌ها برای تولید ذرات مشکل دارند.




**راهنما:**

الف هوای تمیز

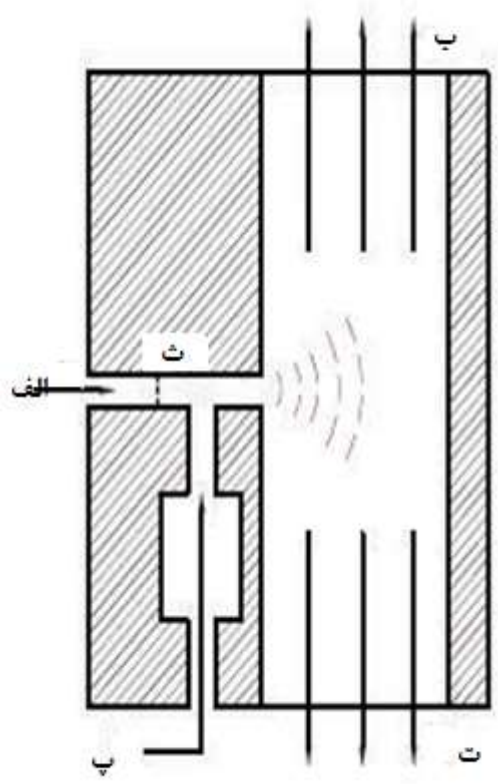
ب هواسل

پ محلول/ تعلیقه مایع

ت نازل‌های چند جته

**شکل ۹- طرحواره پخشانک نازل‌دار چند جته**[1]

1- Multi-jet nozzle




**راهنما:**

الف هوای تمیز

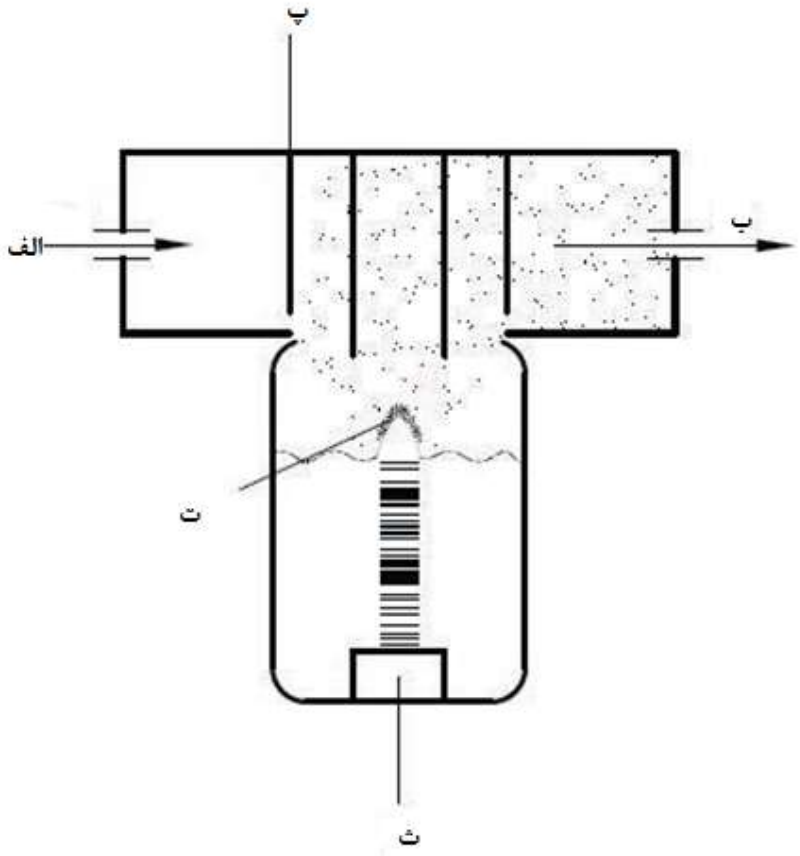
ب هواسل

پ مایع وارد شده

ت مایع اضافه

ث اریفیس

**شکل ۱۰- طرحواره از برش عرضی پخشانک نازل‌دار**




**راهنما:**

الف هوای تمیز

ب هواسل

پ موج‌گیر

ت فواره، تولید شده

ث مبدل پیزوالکتریک

**شکل ۱۱- طرحواره مه‌پاش فراصوت**

### ۷-۳-۲ پخشانک محوری-الکترواستاتیکی (شکل ۱۲)

#### ۷-۳-۲-۱ اصول عملیات

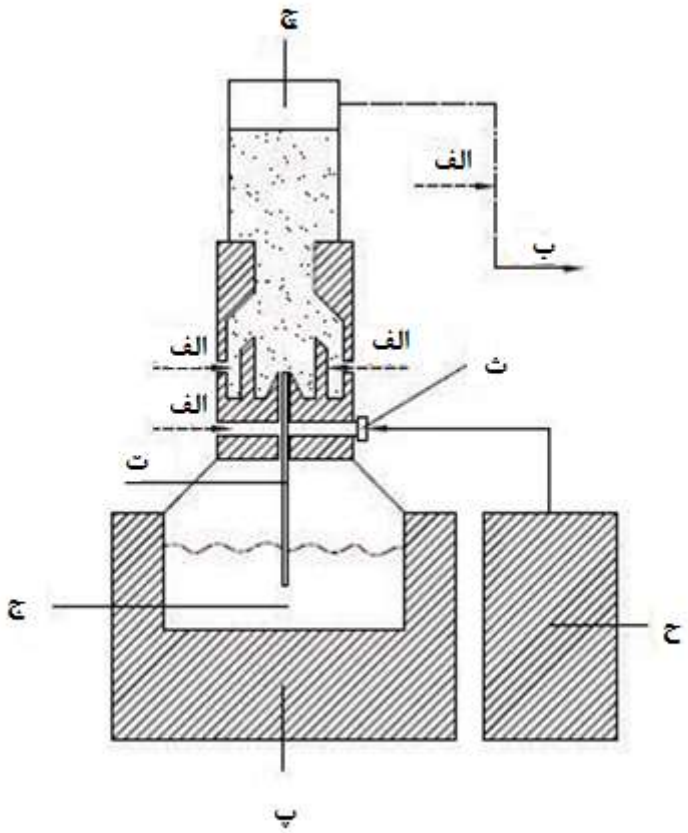
مولد، آزمونه را با استفاده از انرژی فراصوت و اعمال میدان‌های الکتریکی پراکنده می‌کند. غلظت با تغییر غلظت محلول و آهنگ جریان تنظیم می‌شود [59].

### ۷-۳-۲-۲ مزایا

مزایای آن شامل پراکندگی مؤثر نانولوله کربنی (CNT) با استفاده از انرژی فراصوت است. گرفتگی لوله‌های موئینه با استفاده از یک لوله با قطر نسبتاً بزرگ قابل پیشگیری است.

### ۷-۳-۲-۳ محدودیت‌ها

محدودیت‌ها شامل احتمال آسیب دیدن ماده آزمون توسط امواج فراصوت و ورود ناخالصی‌هایی مانند عوامل زیستی از آب دوبار تقطیر (آب DI) است.




**راهنما:**

الف هوای تمیز
ب MWCNT هواسل شده
پ اولتراسونیک و حمام گرم
ت لوله موئینه
ث اتصال‌دهنده با ولتاژ بالا
ج تعلیقه MWCNT
چ خنثی‌کننده
ح منبع تغذیه ولتاژ بالا

**شکل ۱۲- طرحواره مولد هواسل CNT وMWCNT**

## ۷-۴ تغییر فاز

### ۷-۴-۱ مولد تراکمی / تبخیری (شکل ۱۳)

#### ۷-۴-۱-۱ اصول عملیات

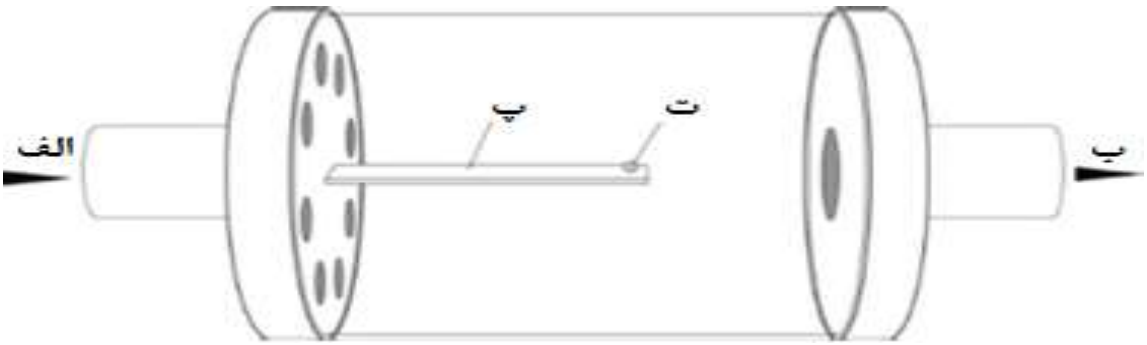
مولد از گرمکن تماسی[1] استفاده می‌کند، بطوری‌که از ماده خالص، ذرات (نقره، طلا و غیره) را با استفاده از انرژی گرمایی تولید می‌کند. غلظت با تغییر دمای گرمکن و سرعت جریان تنظیم می‌شود [60][61][62][63].

#### ۷-۴-۱-۲ مزایا

این یک روش ساده و پایدار برای تولید نانوذرات فلزی است. نانوذرات تولیدشده می‌توانند کاملاً عاری از آلودگی باشند. با وجود هوا به‌عنوان گاز حامل تحت‌فشار آتمسفری، نانوذرات فلزی مانند نقره و طلا را می‌توان به راحتی تولید کرد. با کمک این روش ساده می‌توان غلظت‌های بالا و نانوذرات غیر انبوهه را به‌دست آورد. توزیع اندازه نانوذرات را می‌توان با تغییر دمای سطح گرمکن دقیقاً کنترل کرد [65]. قطر میانگین هندسی و تعداد کل غلظت نانوذرات باقی‌مانده می‌تواند حدود ۲۴ ساعت پایدار بماند [60].

#### ۷-۴-۱-۳ محدودیت‌ها

محدودیت‌ها شامل وجود مسائلی در تولید مواد با دمای ذوب بالا و میزان تبخیر پایین است.




**راهنما:**

الف هوای تمیز

ب هواسل

پ گرمکن

ت صفحه فلزی

**شکل ۱۳- طرحواره مولد صفحه داغ**

1- Contact-heater

### ۷-۴-۲ مولد جرقه‌ای

#### ۷-۴-۲-۱ اصول عملیات (به شکل ۱۴ مراجعه شود)

این مولد با تأمین یک جریان ولتاژ بالا در میله الکترودی که از مواد توده[1] ساخته شده است، جرقه ایجاد می‌کند (شکل ۱۴). نانواشیاء از سطح میله الکترودی (مواد توده) که با موتور پله‌ای[2] کار می‌کنند، منتشر می‌شوند. غلظت با تغییر بسامد[3] جرقه و آهنگ جریان تنظیم می‌شود [65][66].

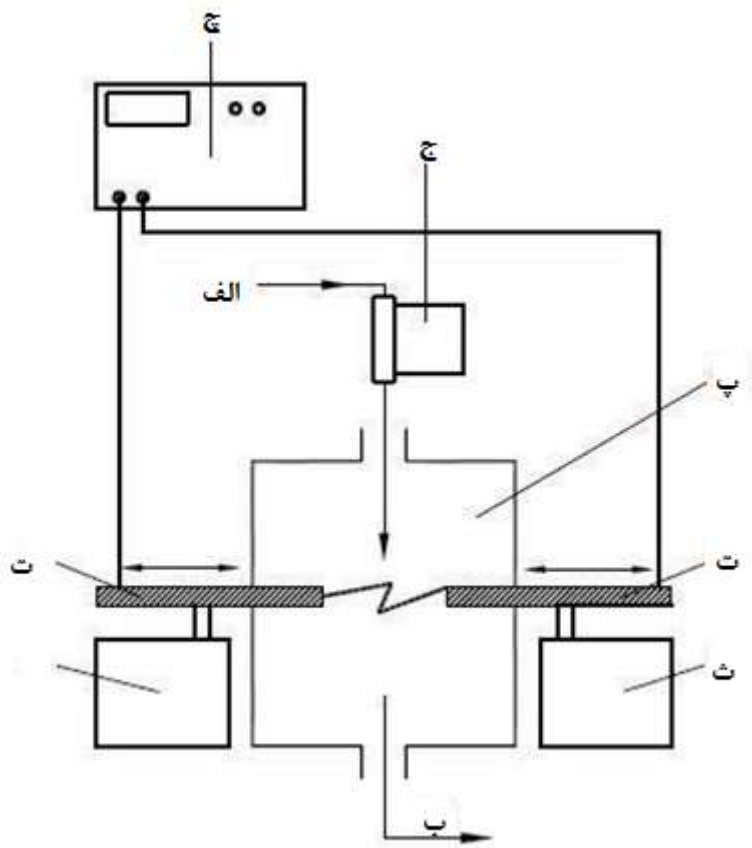
#### ۷-۴-۲-۲ مزایا

مولد جرقه‌ای می‌تواند هواسل‌های نانوذره در تمام محدوده (یک نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر) را تولید کند. نانوذرات تولیدشده بسته به نیاز و سامانه مورد استفاده می‌توانند کاملاً عاری از آلودگی باشند و از یک یا چند ماده تشکیل شده باشند [66].

#### ۷-۴-۲-۳ محدودیت‌ها

محدودیت‌ها شامل تعداد کم الکترودهای تجاری در دسترس برای تولید هواسل و تفاوت ویژگی‌ها با NOAA واقعی در مواجهه با کارگران در هوای محیط کار است.

1- Bulk
2- Stepping motor
3- frequency




**راهنما:**

الف گاز حامل
ب هواسل
پ محفظه تولید جرقه
ت الکترود
ث موتور پله‌ای
ج کنترل دبی جرمی
چ منبع تغذیه

**شکل ۱۴- طرحواره مولد جرقه‌ای**

### ۷-۴-۳ نانو هواسل‌های تراکمی

#### ۷-۴-۳-۱ اصول عملیات

بندهای دیگر این استاندارد موضوع NOAA متشکل از ذرات فاز جامد با فراریت کم را پوشش داده است. موضوع این زیربند، هواسل‌های نانو مقیاس متشکل از ذرات نیمه فرار است. اصول عملکرد آن یک روش کلاسیک تولید هواسل است که در مرجع [67] توضیح داده شده است. ابتدا نانوذرات جامد با قطر چند نانومتر (به نام جوانه)[1] تولید می‌شوند. سپس جوانه با آتمسفر حاوی بخار که با گرم کردن یک ماده نیمه‌فرار تولید شده

1- Nuclei

است، ترکیب می‌شود. بعد ازآن، با خنک کردن بخار و جوانه تحت‌شرایط جریان آرام[1] کنترل شده هواسل‌های تقریباً هم‌اندازه[2] تشکیل می‌شود. با تغییر شرایط تولید و مواد، هواسل‌ها در محدوده ۳۰ نانومتر تا بزرگتر از ۲۰۰۰ نانومتر با انحراف هندسی از ۱٫۲ تا ۱٫۳ در غلظت‌هایی به اندازه $10^{13}$ ذرات در متر مکعب تولید می‌شوند [68]. نسخه تجاری برای تولید هواسل‌ها با قطر ذرات بیشتر از ۱۰۰ نانومتر با استفاده از موادی از قبیل دیاتیل هگزیل‌سباسات (DEHS)، دی‌اکسیل فتالات (DOP)، امری3004[3] یا پارافین یا واکس کارنوبا[4] در دسترس است.

### ۷-۴-۳-۲ مزایا

برای دستیابی به یک هدف خاص در مطالعه، ممکن است تولید نانوهواسل‌های تراکمی مورد نیاز باشد. روش سینکلر لامار[5] ممکن است تنها راه تولید منبع کنترل شده هواسل در اندازه و غلظت مناسب ذرات باشد.

### ۷-۴-۳-۳ محدودیت‌ها

استفاده از این روش برای موادی که در مطالعات موید قبلی وجود ندارد ممکن است نیازمند تلاش زیادی برای توسعه آن باشد. این روش به‌طور کلی محدود به موادی با مشخصه‌های دمایی و فشار بخار مناسب و همچنین ثبات لازم در دماهای اعمال شده است. به‌طور بالقوه، تولید یک ماده جدید ممکن است نیازمند توسعه تجهیزات متداول باشد. در مطالعات مرتبط با سلامتی، بایددر خصوص ماده انتخاب‌شده برای تولید ذرات جوانه به‌علاوه ماده تغلیظ شده، ملاحظات خاصی درنظر گرفت. از آنجا که مولد هواسل درگیر فرآیندهای حرارتی است، برای مطالعات توکسیکولوژیکی لازم است دمای هواسل تولیدی تا حد مناسب کاهش یابد. ایجاد پدیده لخته‌سازی[6] با رشد اندازه ذرات تولیدی طی زمان، ممکن است توانایی تولید غلظت‌های بالا را محدود کند.

## ۷-۵ واکنش شیمیایی

### ۷-۵-۱ احتراق

#### ۷-۵-۱-۱ اصول عملیات

شکل ۱۵ نمودار طرح کلی مولد نوع کوره‌ای را نشان می‌دهد. برای تولید ذره از واکنش‌های شیمیایی و انرژی گرمایی در کوره استفاده می‌شود. استفاده از پیش‌ماده[7] مختلف، تولید ذراتی با ترکیب بندی و خواص فیزیکی

1- Laminar
2- Monodisperse
3- Emery 3004
4- Carnnauba wax
5 -Sinclair LaMar
6- Coagulation
7- Precursors

کنترل‌شده را ممکن می‌سازد. شکل ۱۶ طرحواره تولید ذرات در مولد نوع شعله‌ای را نشان می‌دهد. تنظیم غلظت با تغییر دما، آهنگ جریان و مواد اولیه انجام می‌شود [70][71][72][73].

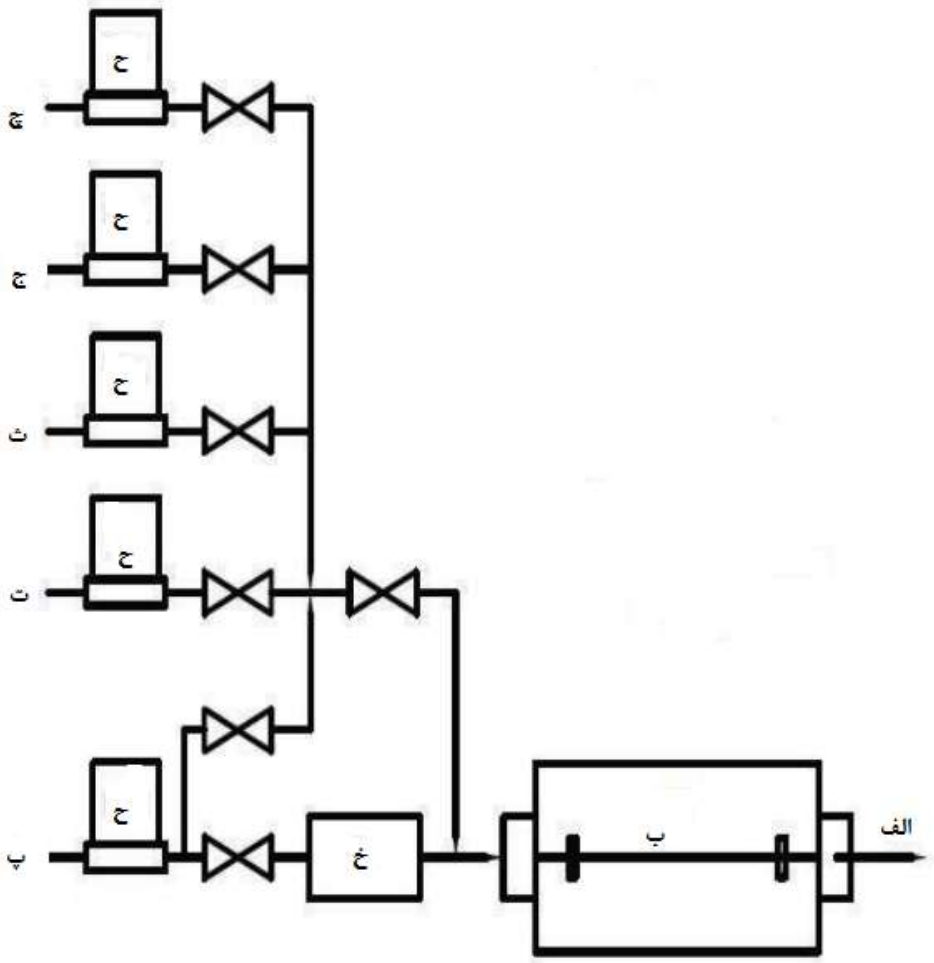
### ۷-۵-۱-۲ مزایا

مزایا شامل اثربخشی آن در تولید نانومواد است. همچنین استفاده از آن در مقایسه با سایر روش‌های تولیدی ساده‌تر است.

### ۷-۵-۱-۳ محدودیت‌ها

محدودیت‌ها شامل تفاوت بین خواص نانومواد‌ی که در آزمایشگاه تولید می‌شود و نانومواد‌ی که در مقیاس صنعتی ساخته می‌شود، است. در فرآیند احتراق، به دلیل واسطه‌های واکنشی[1]، از مواد اولیه، فرآورده‌های جانبی تولید می‌شوند. استفاده از گاز بی‌اثر ممکن است در آزمون تنفسی تأثیر بگذارد. رقیق‌سازی و دیگر روش‌های تهویه هوا ممکن است قبل از مواجهه موردنیاز باشد. احتمالاً ممکن است یک رویکرد برای سنتز نانواشیاء و به دام انداختن آنها بر روی یک فیلتر و سپس استفاده از یک روش پراکندگی برای مطالعه سمیت مورد نیاز باشد.

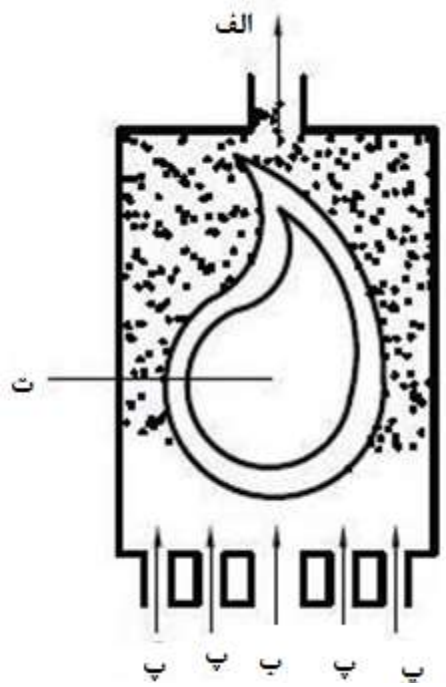
1- Reaction intermediates




**راهنما:**

الف هواسل
ب کوره
پ هوای تمیز
ت گاز واکنش‌دهنده ۱
ث گاز واکنش‌دهنده ۲
ج گاز واکنش‌دهنده ۳
چ گاز واکنش‌دهنده ۴
ح کنترل‌کننده دبی جرمی
خ ماده اولیه

**شکل ۱۵- طرحواره مولد کوره‌ای**




**راهنما:**

الف هواسل

ب گاز حامل+ ماده اولیه

پ گاز ایجادکننده شعله

ت شعله

**شکل ۱۶- طرحواره مولد نوع شعله‌ای**

## ۷-۶ پراکنش/فیلتراسیون فاز مایع - خشک کردن نقطه بحرانی (تصعید بوتیل الکل نوع سوم) و سامانه تزریق مستقیم برای مطالعات تنفسی تمام بدن

### ۷-۶-۱ اصول عملیات

این فن شامل دو مرحله است: پراکنش/فیلتراسیون فاز مایع و به دنبال آن خشک کردن نقطه بحرانی و تزریق مستقیم نمونه خشک پراکنده به محفظه تنفسی. نانولوله‌کربنی چنددیواره (MWCNT) موجود در تعلیقه بوتیل الکل سوم که در فاز مایع است با استفاده از مش ریز (مش ۲۵ میلی‌متر برای میتسوی[1] MWNT-7) فیلتر می‌شود تا انبوهه‌ها / کلوخه‌ها را از نمونه حذف کند و ذرات بسیار پراکنده بدون تغییر در اندازه و توزیع طول ایجاد نماید (شکل ۱۷). پس از آن، تصعید MWCNT در تعلیقه بوتیل الکل سوم اجازه می‌دهد تا نمونه‌ها خشک شوند و طی فرآیند خشک شدن، به‌واسطه نیروی کشش سطحی، بدون تولید مجدد انبوهه، در داخل

1- Mitsui

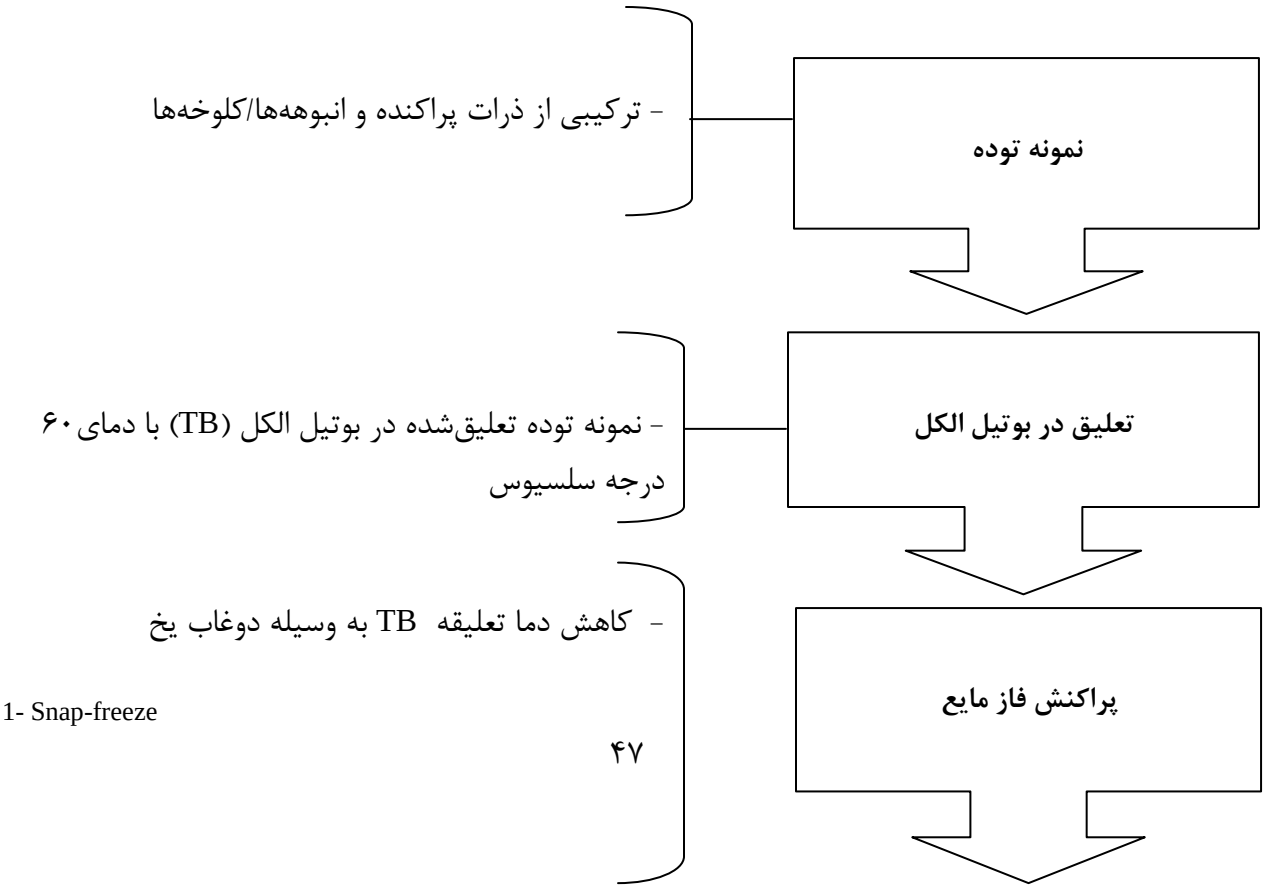
کارتریج بارگذاری شوند (شکل ۱۸). نمونه بارگذاری شده در کارتریج، به زیر محفظه متصل به جریان بالادستی محفظه تنفسی تمام بدن، تزریق می‌شود (به شکل‌های ۱۹ و ۲۰ مراجعه شود) [74].

### ۷-۶-۲ مزایا

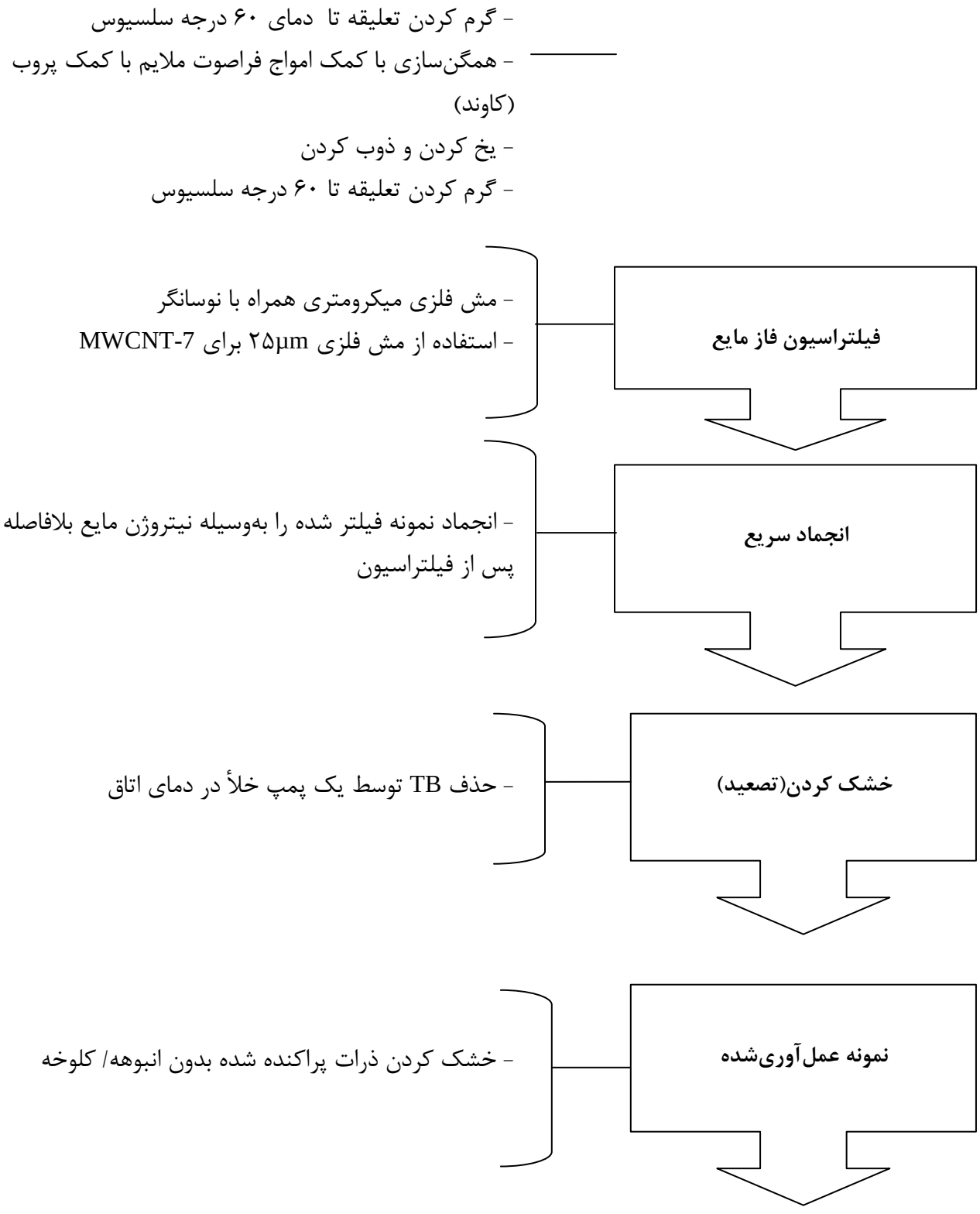
با استفاده از پمپ خلاء بازیابی حلال، نمونه‌ها به راحتی تهیه و در کارتریج تزریق مستقیم، بارگذاری می‌شوند که می‌توان از آن برای ورود هواسل MWCNT به سامانه مواجهه تنفسی استفاده کرد. این سامانه قادر به تولید غلظت موردنظر از هواسل با توزیع اندازه مشابه ذرات اولیه، در نمونه‌های توده است. به دلیل قرار گرفتن نمونه در فاز مایع، تا زمان تصعید و محصور شدن آن در محفظه خلاء، میزان مواجهه برای محققان کمینه می‌شود. به دلیل اتلاف ناچیز مواد در هنگام آماده‌سازی، کمترین مقدار نمونه برای آزمایشات سامانه تنفسی مورد نیاز است.

### ۷-۶-۳ محدودیت‌ها

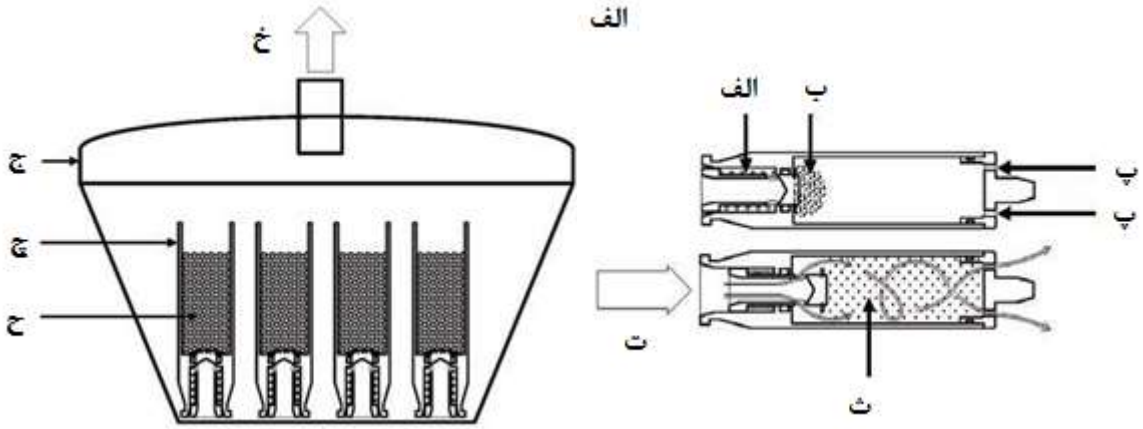
محدودیت‌ها شامل احتمال جذب سطحی بوتیل الکل در نمونه خشک‌شده است. بسته به هدف مطالعه، پسماندهای سطحی و تغییرات سطحی لازم است درنظر گرفته شوند. گرم کردن در طول یا بعد از فرایند تصعید ممکن است برای کمینه کردن پسماندها انجام شود [74]. نمونه‌های قابل حل در بوتیل الکل، باعث تغییر اندازه و شکل ذرات در طی فرآیند تصعید و انجماد سریع[1] می‌شود (در مورد فولرین، بسته به غلظت محلول اولیه، نانوالیاف بسیار کوچک تشکیل می‌شود).




1- Snap-freeze




**شکل ۱۷- روش اجرایی مشروح پراکنش / فیلتراسیون فاز مایع – روش‌خشک کردن نقطه بحرانی (روش Taquann)**

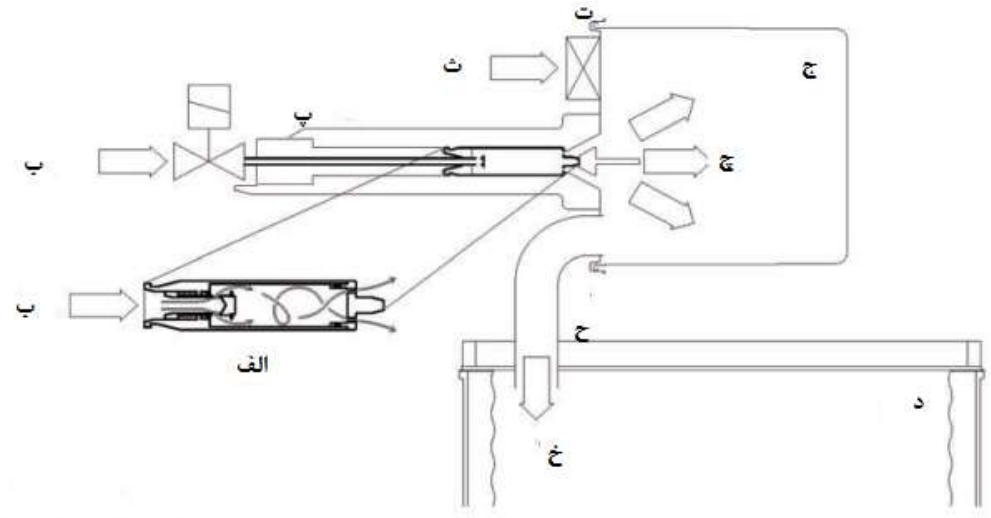



**الف- کارتریج (استوانه) برای تزریق مستقیم** **ب- بارگذاری نمونه در کارتریج‌ها**

**راهنما:**

الف شیر کشویی
ب نمونه‌های پراکنده- خشک‌شده
پ خروجی‌ها
ت ورودی هوای تمیز فشرده‌شده
ث تولید هواسل
ج خشک‌کن خلاء
چ کارتریج (بدون درپوش)
ح تعلیقه نمونه یخ‌زده از بوتیل الکل نوع سوم
خ محل اتصال به پمپ خلاء

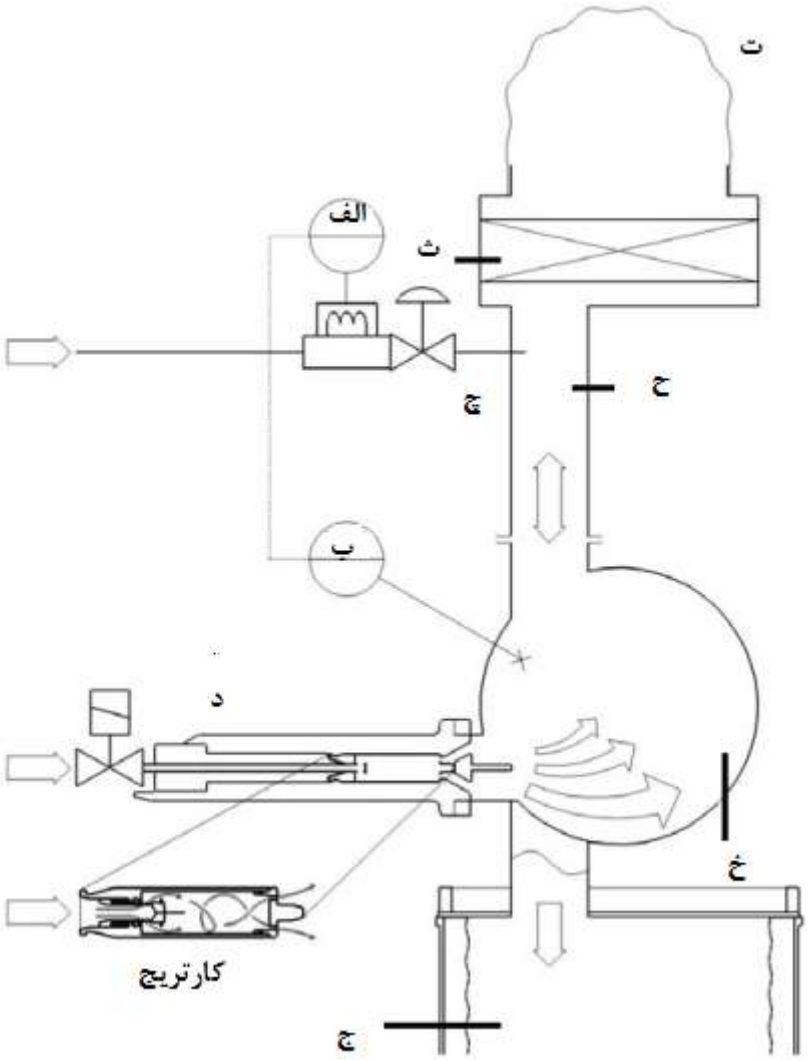
**شکل ۱۸- پراکنش نمونه فیلترده (نمونه عمل‌آوری‌شده با تعلیق مجدد) حاوی مقدار اندازه‌گیری‌شده نمونه به کارتریج‌ها برای استفاده در روش تزریق مستقیم سامانه تنفسی تمام بدن (سامانه تزریق مستقیم Taquann)**




**راهنما**

الف کارتریج برای تزریق مستقیم
ب هوای فشرده شده برای تزریق
پ بارگذارنده کارتریج
ت فیلتر HEPA
ث هوای جریان ثابت (هوای اتاق)
ج زیرمحفظه
چ هواسل
ح لوله اتصال
خ هواسُل
د محفظه اصلی

**شکل ۱۹- طرحواره روش تزریق مستقیم سامانه تنفسی تمام بدن**




**راهنما:**

الف کنترگر/ نشانگر جریان
ب کنترگر/ نشانگر فشار
پ دمپر کمکی فشار هوا
ت فیلم پلاستیکی اقابل نعطاف برای عایق سازی
ث واحد فیلتر ULPA
ج کارتریج محفظه تنفس (با قفس حیوانات) حاوی بخشی از نمونه پراکنده خشک
چ در هنگام تزریق، ورودی اصلی جریان قطع می‌شود
ح مجرای دمپر فشار هوا
خ زیرمحفظه
د تزریق‌کننده / بارگذارنده کارتریج

**شکل ۲۰- نمودار برش عرضی از سامانه تزریق مستقیم**

## ۸ یک‌پارچه‌سازی تجربی

### ۸-۱ کلیات

در بندهای قبلی، راهنمایی در خصوص انتخاب یک مولد هواسل NOAA با توجه به خواص ماده و طراحی مطالعه ارائه شده است. هرچند، لازم است مولد هواسل NOAA با بقیه برنامه تجربی (آزمایشگاهی) یکپارچه شود. به‌ویژه، توصیه می‌شود آتمسفر تولیدی با روش مواجهه، برون‌تنی یا درون‌تنی، با توجه به غلظت هواسل NOAA و خواص ذرات، بار الکتریسیته، آهنگ جریان، غلظت گاز، دما و رطوبت نسبی سازگار باشد. ممکن است نیاز باشد تا جریان گاز مولد هواسل از قبل، مورد آماده سازی قرار گیرد و قبل از ورود به سامانه مواجهه پایش شود. نمونه‌ای از سامانه رقیق سازی در پیوست **ب** شرح داده شده است که ممکن است در این خصوص مفید باشد. این موارد باید مورد ملاحظه قرار گیرد:

- مشخصه‌یابی مواجهه

- خواص ذره

- سامانه‌های مواجهه

### ۸-۲ مشخصه‌یابی مواجهه

مشخصه‌یابی دقیق NOAA برای یک مطالعه مواجهه از طریق هوا ضروری است. هدف از چنین مطالعه‌ای، برقراری ارتباط کمی بین پیامدهای مشاهده‌شده توکسیکولوژیکی و مشخصه‌های نانوماده که مسبب این موضوع هستند (به‌عنوان مثال معیارهای دوز و مقدار دوز مورد استفاده آن بر حسب ماده آزمودنی و خواص فیزیکی و شیمیایی آن). بنابراین، مشخصه‌یابی دقیق NOAA برای یک مطالعه مواجهه تنفسی ضروری است.

### ۸-۳ خواص ذرات

لازم است ذرات NOAA کاملاً مشخصه‌یابی شوند تا اطلاعاتی در مورد خواص فیزیکوشیمیایی آن‌ها از جمله ترکیب‌بندی، تعداد و غلظت جرمی، میانه و میانگین اندازه و توزیع اندازه، خواص سطح (به‌عنوان مثال مساحت سطحی) ، بار الکتریکی، رطوبت‌پذیری[1] و شکل به‌دست آورد. توصیه می‌شود خواص شیمیایی و فیزیکی مرتبط با نانوذرات تا حد امکان مشخص شود. با این حال، ممکن است این موارد مشابه آنچه که در زیربند ۶-۱-۲ توضیح داده شده است و مانند بسیاری از پارامترهایی که به‌طور عملی باید تعیین شوند، به‌عنوان اولویت شناخته نشوند. ترکیب‌بندی نانوذرات و نانواشیاء، غلظت جرمی و عددی، میانه و میانگین اندازه و توزیع اندازه، مساحت

1- Hygroscopicity

سطحی، بار الکتریکی، خواص سطح، رطوبت‌پذیری و شکل ممکن است پارامترهای مهم دوزیمتری باشند. برخی از حداقل پارامترهای مشخصه‌یابی در ISO / TR 13329 و در کتاب‌نامه توصیه شده است. (پارامترهای ضروری شامل ترکیب‌بندی، تعداد و غلظت جرمی، شکل، میانه و میانگین اندازه و توزیع اندازه هستند. پارامترهای پیشنهادی شامل مساحت سطحی، بار الکتریکی، خواص سطح و رطوبت‌پذیری هستند)

**۸-۴ ملاحظات مربوط به سامانه مواجهه درون‌تنی**

**۸-۴-۱** در حین توسعه سامانه تولید NOAA و قبل از ایجاد اتصال با محفظه(های) مواجهه، توصیه می‌شود پایش‌هایی برای تأیید ترکیب‌بندی ذرات هواسل، توزیع اندازه، میزان خلوص و ایجاد ثبات در طول مدت مواجهه انجام شود.

در طی انجام آزمایشات مواجهه، تجزیه و تحلیل (آنالیز) باید به‌طور مداوم و یا متناوب بسته به روش تجزیه و تحلیل انجام شود تا ثبات توزیع اندازه ذرات بدون ایجاد اختلال در مواجهه تنفسی تعیین شود.

**یادآوری ۱**- سامانه تولید نانوذره برای نقره و سایر فلزات در استاندارد ISO 10801[1] شرح داده شده است.

**یادآوری ۲**- راهنمایی عمومی برای تولید هواسل در استاندارد ISO 12025[2] شرح داده شده است.

**۸-۴-۲** محفظه‌های تنفسی و تجهیزات پشتیبانی باید مطابق با راهنماهای OECD GD 39، OECD TG 403 ، OECD TG 412 و OECD TG 413 و یا سایر راهنماهای پیشنهادی تهیه شود [6][7][8][16].

**۸-۴-۳** محفظه‌های تنفسی و تجهیزات پشتیبانی باید برای مطالعات مواجهه نانوذره آماده شوند.

**یادآوری ۱**- نانوذرات هواسل‌شده می‌توانند توسط سازوکار نفوذ/پخش براونی[3] بر روی دیواره‌های محفظه نهشت[4] شوند و اندازه ذرات می‌تواند به دلیل تشکیل انبوهه / کلوخه تغییر کند. فرآیند نهشت بستگی به اندازه ذرات، بار الکتریکی، غلظت عددی ذرات و زمان ماند دارد. به متون استاندارد علوم هواسل مراجعه کنید[79] [80] [81].

**یادآوری ۲**- خنثی‌سازی بار الکتریکی NOAA ممکن است بسته به هدف مطالعه مورد نیاز باشد.

اگر توزیع بار الکتریکی به‌عنوان یک الزام مشخصه‌یابی درنظر گرفته شود، باید در مطالعه مشخص و اندازه‌گیری شود.

---

۱- **یادآوری**- استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۱۵۲: سال ۱۳۹۰، فناوری نانو- تولید نانو ذرات فلزی برای آزمون سمیت استنشاقی با استفاده از روش تبخیر – تراکم با استفاده از استاندارد ISO 10801: 2010 تدوین شده

۲- **یادآوری**- استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۱۴۹: سال ۱۳۹۲، فناوری نانو- تعیین کمی رهایش نانو شی ء از پودرهای ناشی از تولید هواسل‌ها با استفاده از استاندارد ISO/TS 12025:2012 تدوین شده است

3- Brownian diffusion

4- Deposited

**یادآوری ۳**- به‌منظور کاهش اتلاف ناشی از فرآیند نهشت، لوله‌های رسانا با حداقل طول عملی ممکن برای استفاده با قطر لوله‌گذاری برای هم‌کنش بودن با ابزارآلات، انتخاب می‌شوند.

**یادآوری ۴**- در مواردی که آب در روش تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ممکن است یک خشک‌کن نفوذی مورد نیاز باشد. در بعضی موارد ممکن است یک حباب‌ساز[1] برای افزایش رطوبت مورد نیاز باشد.

باید منیفولدها[2] مشخصه‌یابی شوند تا از انطباق آن‌ها با راهنماهای OECD GD 39، OECD TG 403، OECD TG 412 و OECD TG 413، برای تعیین هرگونه سوگیری[3] در نمونه‌برداری، اطمینان حاصل شود.

**یادآوری ۵**- منیفولد نمونه‌برداری شامل لوله‌کشی، شیرهای برقی[4] و /یا سایر عناصر مورد نیاز برای جابجایی(مسیریابی) نمونه‌ها از محفظه به تجهیزات پایش برخط است.

**۸-۴-۴** سامانه تحلیل تفاضل تحرک (DMAS) باید به‌طور منظم کالیبره و نتایج آن مستند شود. کالیبراسیون اولیه ممکن است در کارخانه انجام شود.

## ۹ ملاحظات در مورد استفاده از مولد نانو-هواسل برای مطالعه برون‌تنی

همانطور که در گزارش شورای تحقیقات ملی ایالات متحده در سال ۲۰۰۷ با عنوان «آزمایش سمیت در قرن بیست‌ویکم: یک چشم‌انداز و یک راهبرد» مورد بحث قرار گرفت و با توجه به زمان قابل‌ملاحظه، هزینه و تعداد حیوانات مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های سنتی سمیت برون‌تنی، نیاز به توسعه بیشتر و استفاده از روش‌های مبتنی بر سلول‌های انسانی وجود دارد [82][83]. برای اینکه آزمایشات برون‌تنی پیش‌بینی‌کننده اثرات انسانی باشد، لازم است پارامترهای خاصی در طراحی آزمایش درنظر گرفته شود شامل: الف) انتخاب انواع سلول‌های مرتبط در یک پیکربندی مرتبط از نظر فیزیولوژیکی، ب) مشخصه‌یابی ماده آزمایش در طول مدت آزمون، از جمله تحولات چرخه زندگی پ) انتخاب غلظت واقعی و شکل آزمونه مرتبط به مواجهه واقعی، ت) استفاده از یک پراکنشگر خاص مرتبط وث) استفاده از مسیر و مدت زمان مناسب مواجهه. به‌ویژه برای ارزیابی سمیت تنفسی NOAA، یک سامانه مواجهه سلولی فصل مشترک هوا - مایع[5] (به جای سامانه مواجهه سلول غوطه‌ورشده) ترجیح داده می‌شود، زیرا بیشتر شبیه به شرایط داخل بدن در ریه‌ها است و امکان انتقال فیزیولوژیکی نانوذرات هواسل‌شده به سلول‌ها را فراهم می‌کند [84]. برای داشتن چنین مدلی برای انعکاس دقیق شرایط انسان در ارتباط با مواجهه داخل بدن، انتخاب فنون مناسب برای تولید، مواجهه و مطالعه NOAA هواسل‌شده در کشت‌های سلولی در فصل مشترک هوا - مایع (ALI) بسیار مهم است.

1- Bubbler
2- Manifolds
3- Bias
4- Solenoid
5- Air-liquid interface

در این استاندارد برخی از مولدهای هواسل برای تولید NOAA برای مطالعات برون‌تنی مورد استفاده قرار گرفته است، جایی‌که NOAA هواسل‌شده در سلول‌ها تهیه و در محفظه مواجهه در فصل مشترک هوا - مایع مستقر شده‌اند [85][86][87][88][89]. تعدادی از سامانه‌های مواجهه هواسل در دسترس هستند که امکان ارزیابی سمیت تنفسی NOAA را فراهم می‌آورد و از لحاظ نحوه رسوب نانومواد بر روی سلول‌ها با یکدیگر متفاوت هستند (گرانش در مقابل الکترواستاتیک) [86][87][88][89][90]. این سامانه‌های مواجهه تنفسی درون‌تنی، شامل کنترل‌های مهندسی از جمله کنترل دما، رطوبت و تبادل گاز می‌باشد تا محیط مناسبی را برای کشت طولانی مدت سلول‌ها فراهم نماید. این سامانه‌های مواجهه، در رابطه با مولدهای هواسل، قادر به مشخصه‌یابی NOAA در طول مدت زمان آزمون از نظر حمل، جذب و تأثیرات آن بر سلول‌های ریه در طی مواجهه با NOAA می‌باشند.

## پیوست الف
## (آگاهی‌دهنده)

## مولدهای NOAA، روش اندازه‌گیری و توزیع اندازه ذرات آنها

این پیوست شامل اطلاعاتی است که از منابع مطالعاتی که قبلاً گزارش شده‌اند، جمع‌آوری شده است. جزئیات مهم مربوط به مشخصه‌های مواد اولیه، پارامترهای دستگاهی و فرآوری مواد در این منابع مطالعاتی گنجانده شده است، اگرچه برای خلاصه نویسی از جدول حذف شده است. دانستن این جزئیات برای درک توزیع اندازه ذرات جدول‌بندی‌شده بسیار ضروری است، چون توزیع اندازه ذرات می‌تواند به‌شدت وابسته به ویژگی‌های مواد اولیه و شرایط فرآوری باشد.

| نانومواد مورد نظر | نوع | مولد | توزیع اندازه ذره | روش اندازه‌گیری | مرجع |
|---|---|---|---|---|---|
| نانولوله کربنی | انتشاربه روش‌خشک | تفکیک‌کننده و مولد آکوستیکی هواسل خشک | ~۴μm | برخوردگر آبشاری، DMAS، APS | [40] |
| | انتشاربه روش‌خشک | تفکیک‌کننده و مولد آکوستیکی هواسل خشک | برخوردگر آبشاری<br>MMAD: ۱٫۵ μm<br>GSD:۱٫۶۵ ~ ۱٫۷ μm<br>برخوردگر فشار پایین الکتریکی<br>CMD: ۰٫۴۵ μm<br>GSD : ۲٫۰۹<br>DMAS<br>CMD: ۰٫۳۶ μm<br>GSD: ۱٫۷ | برخوردگر آبشاری، نمونه‌برداری فیلتر، برخوردگر فشار پایین الکتریکی، DMAS | [43] |
| | انتشاربه روش‌خشک | تغذیه‌کننده سطلی | MMAD: ۱/۹ ~ ۳٫۳ μm<br>GSD: ۲/۰ ~ ۳٫۱ | سیکلون، برخوردگر آبشاری، نمونه‌برداری فیلتر | [91] |

| نانومواد موردنظر | نوع | مولد | توزیع اندازه ذره | روش اندازه‌گیری | مرجع |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| نانولوله کربنی | انتشاربه روش‌خشک | تغذیه‌کننده گردوغبار رایت | برخوردگر آبشاری<br>MMAD: ۲٫۲ ~ ۲٫۹ µm<br>GSD: ۱٫۷ ~ ۲٫۶<br>APS<br>MMAD: ۱٫۹ ~ ۲٫۰ µm<br>GSD: ۱٫۶ ~ ۱٫۷ | نمونه‌برداری فیلتر، برخوردگر آبشاری، APS | [32] |
| | انتشاربه‌روش تر | مولد نانولوله کربنی | N/A | نمونه‌برداری فیلتر | [59] |
| | انتشاربه روش‌خشک | مولد هواسل برس‌دار | برخوردگر آبشاری<br>MMAD: ۰٫۵ ~ ۱٫۳ µm<br>GSD : ۳٫۱ ~ ۵٫۴<br>DMAS<br>CMD: ۵۸ ~ ۶۴ nm<br>GSD: ۱٫۷ ~ ۱٫۸<br>OPC<br>CMD: ۰٫۶ µm | برخوردگر آبشاری، DMAS، OPC، نمونه‌برداری فیلتر | [35] |
| نانولوله کربنی، گرافن کربن سیاه | انتشاربه روش‌خشک | مولد هواسل برس‌دار | برخوردگر آبشاری<br>MMAD: ۱٫۱ ~ ۲٫۰ µm<br>GSD : ۳٫۰ ~ ۳٫۷<br>DMAS<br>CMD: ۹۶ ~ ۱۴۵ nm<br>OPC<br>CMD: ۴۹۴ ~ ۵۳۳ nm | برخوردگر آبشاری، DMAS، OPC | [93] |
| نانولوله کربنی | انتشاربه روش‌خشک | تفکیک‌کننده و مولد آکوستیکی هواسل خشک | MMAD: ۱٫۵ µm<br>GSD : ۱٫۷ | برخوردگر آبشاری | [92] |
| نانو لوله کربنی چنددیواره | انتشاربه روش‌خشک | مولد برس‌دار چرخان | طول میانگین شمارشی ۴ تا ۶ µm | SEM | [94] |

| نانومواد | نوع | مولد | توزیع اندازه ذره | روش اندازه‌گیری | مرجع |
|---|---|---|---|---|---|

| موردنظر | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| نانولوله کربنی | انتشاربه‌روش تر | پخشانک/ مه‌پاش (عامل پراکنش) | طول میانگین هندسی: ۰٫۷ µm (SD:۱٫۷)<br>عرض میانگین هندسی: ۰٫۲ µm (SD:۱٫۷) | آنالیز تصویری TEM | [54] |
| | انتشاربه‌روش تر | پخشانک/ مه‌پاش (در اتانول)، تغذیه‌کننده گردوغبار رایت | برخوردگر آبشاری<br>MMAD: ۲٫۷ ~ ۳٫۴ µm<br>GSD : ۱٫۹۸ ~ ۲٫۱۴<br>APS<br>CMD: ۱٫۷ ~ ۲٫۲ nm<br>GSD: ۱٫۶۷ ~ ۱٫۷۶ | برخوردگر آبشاری، APS، DMAS | [95] |
| | انتشاربه‌روش تر | پخشانک/ مه‌پاش | ۲۵ ~ ۲۸۴۰ nm<br>CMD: ۲۰۹ nm<br>GSD: ۱٫۹۸ | TEM | [53] |
| | انتشاربه روش‌خشک | تغذیه‌کننده گردوغبار رایت | مد قطر آیرودینامیکی جرمی: ۴٫۲ µm | برخوردگر آبشاری | [33] |
| نانو لوله کربنی تک‌دیواره | تغییر فاز | الکترواسپری | ۳۵ nm، ۸۰ nm | TEM | [96] |
| نانو لوله کربنی چنددیواره | تغییر فاز | الکترواسپری | ۲۰ تا ۵۰۰ nm در قطر | SMPS | [97] |
| نانو لوله‌ی کربنی چنددیواره | انتشاربه روش‌خشک | بستر سیال با سیکلون | مد قطرnm ۳۰۰<br>مد قطرµm ۲ تا ۱ | SMPS<br>LPI | [98] |
| کربن سیاه | تغییر فاز | مولد جرقه‌ای | CMD: ۹۰ ~ ۱۰۵ nm<br>GSD: ۱٫۵۳ ~ ۱٫۵۵ | DMAS | [99] |

| نانومواد | نوع | مولد | توزیع اندازه ذره | روش اندازه‌گیری | مرجع |
|---|---|---|---|---|---|

| نانومواد | نوع | مولد | توزیع اندازه ذره | روش اندازه‌گیری | منبع |
|---|---|---|---|---|---|
| الیاف کربن | انتشاربه روش‌خشک | پراکنشگر پودری مقیاس کوچک | CMD: ۹۰ ~ ۱۰۵ nm<br>(GSD: ۱٫۱۱)<br>CML: ۱۴٫۸۳ nm<br>(GSD: ۴٫۰) | آنالیز تصویری | [100] |
| دی اکسید تیتانیم | انتشاربه روش‌خشک | مولد هواسل برس‌دار | ۱٫۲۹ ~ ۱٫۴۴ µm<br>MMAD:<br>GSD : ۲٫۶۰ ~ ۳٫۶۵ | OPC، برخوردگر آبشاری | [36] |
| دی‌اکسید تیتانیم | انتشاربه‌روش تر | پخشانک/ مه‌پاش | MMAD: ۰٫۷ ~ ۱٫۱ µm | اندازه‌گیری پتانسیل زتا | [56] |
| دی‌اکسید تیتانیم | انتشاربه‌روش تر | پخشانک/ مه‌پاش | CMD: ۱۲۸ nm<br>GSD: ۱٫۷ | DMAS | [101] |
| دی اکسید تیتانیم | انتشاربه روش‌خشک | مولد هواسل برس‌دار | برخوردگر آبشاری<br>MMAD: ۰٫۷ ~ ۱٫۱ µm<br>GSD : ۲٫۳ ~ ۳٫۴<br>DMAS<br>CMD: ۰٫۲ ~ ۰٫۲۵ µm<br>OPC<br>CMD: ۰٫۴۵ µm | DMAS، OPC، برخوردگر آبشاری، نمونه برداری فیلتر | [92] |
| دی‌اکسید تیتانیم، اکسید نیکل | انتشاربه‌روش تر | پخشانک/ مه‌پاش | CMD: ۱۳۹ nm (NiO)<br>CMD: ۵۱ nm (TiO2) | DMAS | [102] |
| دی‌اکسید تیتانیم | انتشاربه روش‌خشک | پراکنشگر پودری مقیاس کوچک | برخوردگر آبشاری<br>۰٫۲۹ ~ ۰٫۴۴ µm<br>MMAD: | برخوردگر آبشاری، BET | [103] |
| دی‌اکسید تیتانیم | تغییر فاز | مولد جرقه‌ای | CMD: ۲۰ ~ ۲۵ nm<br>GSD: ۱٫۶ | DMAS | [65] |

| موردنظر | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| دی‌اکسید تیتانیم، Y-زیرکونیا، تالک و غیره | انتشاربه روش‌خشک | مولد درام چرخشی | | APS, DMAS | [49] |
| دی‌اکسید سیلیسیم | واکنش شیمیایی | مولد کوره | CMD: ۳۷ ~ ۸۳ nm | DMAS | [71] |
| دی‌اکسید سیلیسیم | انتشاربه روش‌خشک | پراکنشگر پودری مقیاس کوچک | ~ ۳ µm | OPC، برخوردگر آبشاری | [65] |
| نانوذره نقره | انتشاربه‌روش تر | پخشانک/ مه‌پاش | CMD: ۳۳ nm | OPC | [65] |
| نانوذره نقره | تغییر فاز فیزیکی | مولد صفحه داغ | CMD: ۱۶ nm<br>GSD: ۱٫۴ | DMAS | [65] |
| نانوذره نقره | واکنش شیمیایی | مولد کوره | CMD: ۶ nm<br>GSD: ۲٫۰ | آنالیز تصویریTEM | [65] |
| نانوذره نقره | تغییر فاز | مولد صفحه داغ | CMD: ۱۸ nm<br>GSD: ۱٫۴۵ | DMAS | [105] |
| نانوذره نقره | تغییر فاز | مولد جرقه‌ای | CMD: ۱۷ nm<br>GSD: ۱٫۳۸ | DMAS | [106] |
| نانوذره پلاتین | تغییر فاز | مولد جرقه‌ای | CMD: ۲۵ nm<br>GSD: ۱٫۵ | DMAS | [107] |
| نانوذره مس | انتشاربه‌روش تر | پخشانک/ مه‌پاش | CMD: ۶۰ nm<br>GSD: ۱٫۸ | DMAS | [108] |
| نانوذره طلا | تغییر فاز | مولد صفحه داغ | DMAS<br>GMD: ۵ nm<br>آنالیز تصویری TEM<br>GMD: ۲٫۴۷ nm<br>GSD: ۱٫۴۲ | DMAS، آنالیز تصویری TEM | [62] |

| نانومواد | نوع | مولد | توزیع اندازه ذره | روش اندازه‌گیری | منبع |
|---|---|---|---|---|---|

| موردنظر | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| نانوذره طلا | انتشاربه‌روش‌تر | پخشانک/ مه‌پاش | CMD: ۷۶ ~ ۷۹ nm | DMAS، برخوردگر فشار کم برقی | [109] |
| نانوذره طلا | تغییر فاز | مولد جرقه‌ای | CMD: ۵ ~ ۸ nm | DMAS | [64] |
| نانوذره طلا | انتشاربه‌روش‌تر | پخشانک/ مه‌پاش | TEM آنالیز تصویری<br>CMD: ۱۲٫۸ nm<br>GSD: ۱٫۱۴ | آنالیز تصویری TEM | [110] |
| گردوغبار لونار | انتشاربه‌روش‌خشک | مولد هواسل ویلنیوس | برخوردگر آبشاری<br>MMAD: ۲٫۰ ~ ۲٫۴ µm<br>GSD : < ۱٫۶<br>APS<br>MMAD: ۲٫۴ ~ ۲٫۸ µm<br>GSD:<۱٫۳ | برخوردگر آبشاری، APS | [111] |
| بنتونیت، سولفات باریم، تالک و غیره | انتشاربه‌روش‌خشک | مولد طبلکی دوار | | TEOM | [48] |
| نانولوله کربنی، دی اکسید تیتانیم | پراکنش / فیلتراسیون فاز مایع – خشک‌کردن‌نقطه بحرانی (تصعید بوتیل الکل نوع سوم) و سامانه تزریق مستقیم برای مطالعات تنفسی تمام بدن | تزریق مستقیم نمونه پراکنده شده توسط هوای فشرده | نانو لوله کربنی (Mitsui MWNT-7)<br>میانگین حسابی طول: ۷٫۳ µm<br>(SD ۴٫۹، Max. ۳۳ µm)<br>دی اکسید تیتانیم<br>MMAD: ۰٫۷ ~ ۰٫۹ µm<br>GSD : ۳٫۳ ~ ۳٫۵ | نمونه برداری فیلتر، برخوردگر آبشاری، آنالیز تصویری TEM | [74] |
| $Al_2O_3$ | انتشاربه‌روش‌خشک | تغذیه کننده گردوغبار برس دار | MMAD (GSD) ۱٫۲ (۲٫۶)<br>OPC ۰٫۵؛ SMPS ۰٫۲ | MMAD، برخوردگر آبشاری | [37] |
| نانوپودر آلومینیم | انتشاربه‌روش‌خشک | مولد هواسل ویلنیوس | MMAD: ۱۵۵<br>GSD: ۴٫۸ | | [46] |

| نانومواد | نوع | مولد | توزیع اندازه ذره | روش اندازه‌گیری | منبع |
|---|---|---|---|---|---|
| CuO | انتشاربه روش‌خشک | تغذیه کننده گردوغبار برس‌دار | MMAD (GSD) ۰٫۵۲ (۳٫۰)<br>OPC ۰٫۴۲؛ SMPS ۰٫۱۵ | MMAD، برخوردگر آبشاری | [37] |
| اکسید روی (ZnO) | انتشاربه روش‌خشک | تغذیه کننده گردوغبار برس‌دار | MMAD (GSD) ۰٫۸ (۲٫۶)<br>OPC ۰٫۴۱؛ SMPS ۰٫۱۳ | MMAD، برخوردگر آبشاری | [37] |
| اکسید زیرکونیم (ZrO2) | انتشاربه روش‌خشک | تغذیه کننده گردوغبار برس‌دار | MMAD (GSD) ۰٫۸ (۳٫۵)<br>OPC ۰٫۵؛ SMPS ۰٫۱۸ | MMAD، برخوردگر آبشاری | [37] |
| اروزیل [1] R104 | انتشاربه روش‌خشک | تغذیه کننده گردوغبار برس‌دار | MMAD (GSD) ۰٫۱ (۷٫۵)<br>OPC ۰٫۴۲؛ SMPS ۰٫۲۰ | MMAD، برخوردگر آبشاری | [37] |
| اروزیل R106 | انتشاربه روش‌خشک | تغذیه کننده گردوغبار برس‌دار | MMAD (GSD) ۰/۱ (۵/۲)<br>OPC ۰٫۴؛ SMPS ۰٫۴ | MMAD، برخوردگر آبشاری | [37] |
| سیلیس بی‌شکل [2] | انتشاربه روش‌خشک | تغذیه‌کننده گردوغبار برس‌دار | MMAD (GSD) ۰٫۵ (۴٫۳)<br>OPC ۰٫۴۵؛ SMPS ۰٫۲۵ | MMAD، برخوردگر آبشاری | [37] |

1- Amorphous SiO2
2- Aerosil

## پیوست ب

## (آگاهی‌دهنده)
## سامانه رقیق‌ساز هواسل

### ب-۱ کلیات

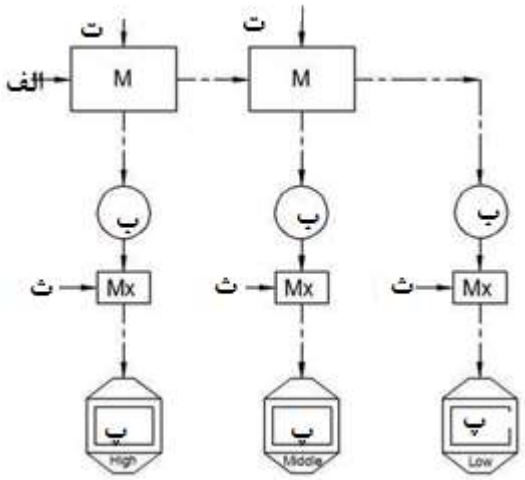
در آزمایشات سمیت تنفسی، تولید غلظت کنترل‌شده NOAA برای به‌دست آوردن نتایج قابل‌اعتماد و تکرارپذیر ضروری است. علاوه بر این، حفظ پایداری مشخصات ذرات در طول مدت مواجهه و محفظه مواجهه برای دستیابی به داده‌های کیفی بسیار مهم است. علاوه‌براین، استفاده از مولدهای هواسل منفرد (به جای استفاده از مولدهای هواسل چندگانه) هزینه آزمایش‌ها را کاهش داده و از تنوع داده‌ها می‌کاهد. استفاده از یک سامانه رقیق‌ساز هواسل (ADS)[1] می‌تواند در سرتاسر محفظه‌های تنفسی، غلظت‌های مختلف کنترل‌شده NOAA را فراهم کند و در عین حال خواص پایداری ذرات را حفظ کند. چندین مطالعات تنفسی در خصوص نانوذرات یا نانولوله‌های کربنی از سامانه رقیق‌سازی هواسل استفاده کرده‌اند، مانند: مطالعات تنفسی تحت مزمن نانوذره نقره [106]، مطالعات تنفسی تحت مزمن نانوذرات طلا [59]، مطالعات حاد و تحت حاد نانولوله کربنی چنددیواره [112].

### ب-۲ مثال پیکربندی سامانه رقیق‌ساز هواسل

یک نمونه سامانه رقیق‌ساز هواسل شامل یک محفظه مخلوط شدن، واحد کنترل هوا، مخلوط‌کننده، شیر فشار پشتی و کنترلگر دبی جرمی (MFC)[2] است که در شکل ب-۱ نشان داده شده است.

سامانه رقیق‌ساز هواسل قادر است کنترل دقیقی بر آهنگ جریان هواسل ایجاد کند و بر آهنگ جریانی که وارد محفظه مواجهه در زمان واقعی می‌شود، نظارت کند.

1- Aerosol Dilution System
2- Mass Flow Controller

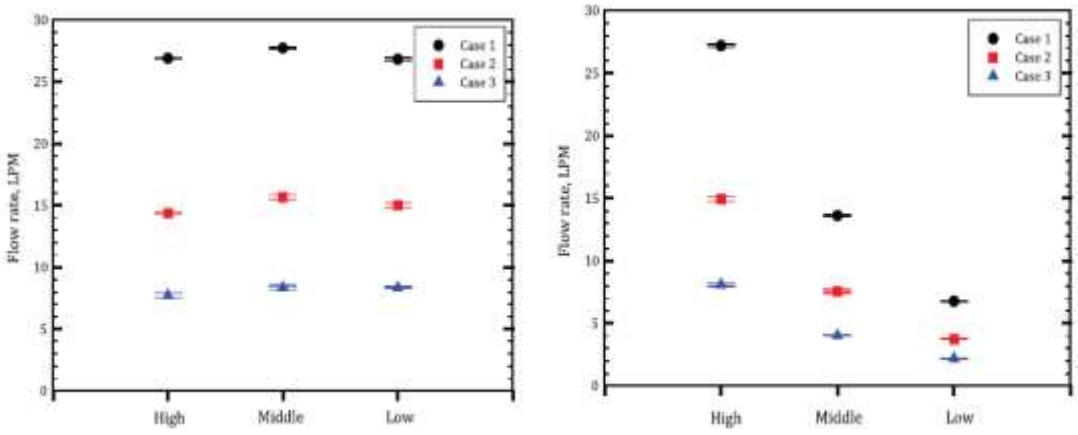



**راهنما**

الف هواسل
ب واحد کنترل هواسل
پ محفظه مواجهه
ت رقیق‌سازی اولیه
ث رقیق‌سازی ثانویه

**شکل ب-۱- طرحواره سامانه رقیق‌ساز هواسل**

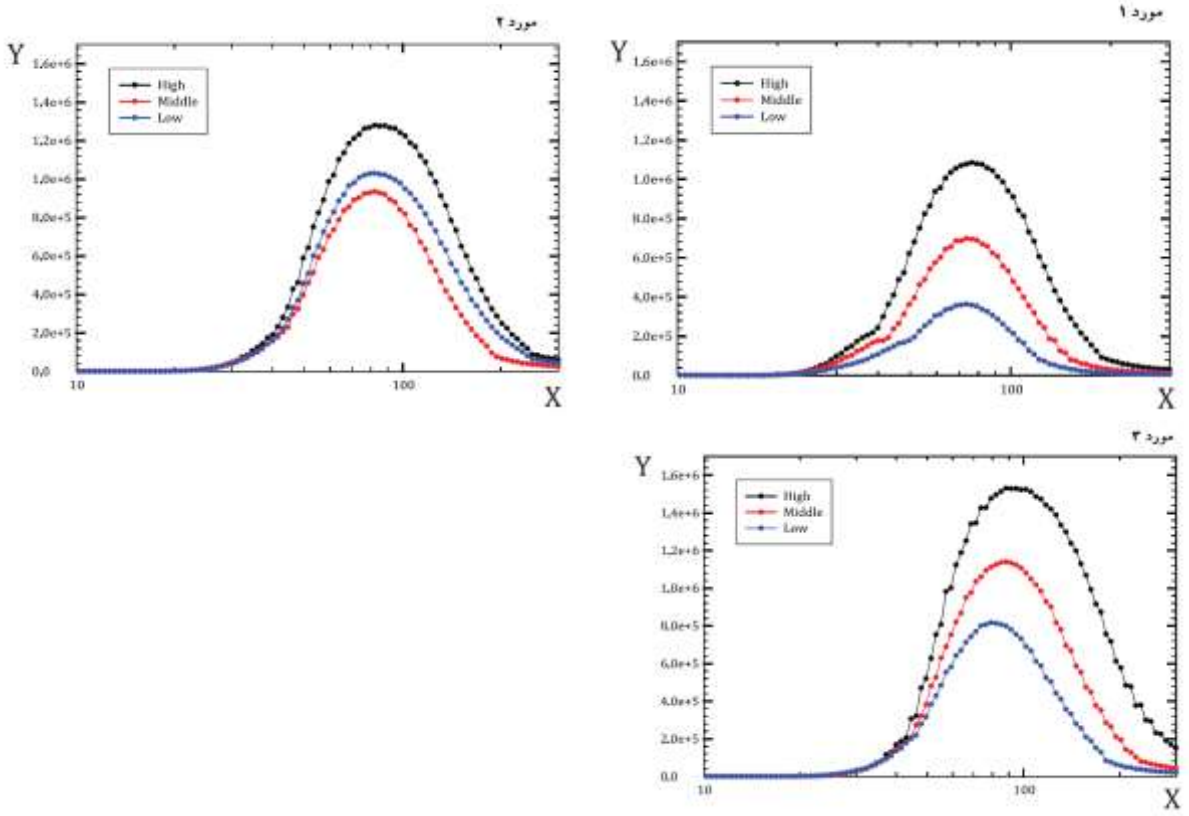
شکل ب-۲ شرایط آزمایش را با استفاده از یک ADS نشان می‌دهد. هر دو آزمایش در شرایط یکسان شامل جریان هواسل ۳۶٫۶ لیتر در دقیقه، هوای رقیق‌کننده ۷۱٫۴ لیتر در دقیقه و جریان هواسل توزیع‌شده در هر محفظه انجام شده است.




**الف- واحد کنترل هواسل (یک نمونه تجاری)** **ب- واحد کنترل هواسل + مخلوط کننده**

**شکل ب-۲- نتایج کنترل آهنگ جریان رقیق‌ساز هواسل**

شکل ب-۳ نتایج اندازه‌گیری DMAS را نشان می‌دهد. این آزمایش برای موارد ذکر شده در جدول ب-۱ با استفاده از مولد کوره‌ای انجام شده است. توزیع اندازه بسته به نسبت رقیق‌سازی، تغییر قابل‌توجهی را نشان می‌دهد.




**راهنما:**

X قطر (نانومتر)

Y غلظت (# / سی‌سی)

**یادآوری**- مطالعه موردی نشان داده شده در جدول ب-۱، در شکل‌ها ارائه شده است. شکل‌ها توزیع ذره مشابهی را پس از چند مرتبه رقیق سازی، نشان می‌دهند.

**شکل ب-۳- توزیع اندازه نانوذرات $SiO_2$**

**جدول ب-۱- اعتبارسنجی تجربی**

| | رقیق‌سازی | غلظت تعداد ذرات (#/cc) | توزیع اندازه (GMD) |
|---|---|---|---|
| مورد یک | غلظت بالا | $۳/۱۹ \times ۱۰^{۷}$ | ۷۸/۰ |
| | متوسط × ۲ | $۱/۸۲ \times ۱۰^{۷}$ | ۷۳/۴ |
| | کم × ۴ | $۸/۹۲ \times ۱۰^{۷}$ | ۶۹/۴ |
| مورد دو | غلظت بالا | $۴/۵۹ \times ۱۰^{۷}$ | ۸۹/۸ |
| | متوسط × ۲x | $۲/۶۰ \times ۱۰^{۷}$ | ۸۲/۸ |
| | کم × ۴ | $۱/۳۵ \times ۱۰^{۷}$ | ۷۶/۸ |
| مورد سه | غلظت بالا | $۴/۵۹ \times ۱۰^{۷}$ | ۱۰۱/۴ |
| | متوسط × ۲ | $۲/۶۰ \times ۱۰^{۷}$ | ۸۲/۸ |
| | کم × ۴ | $۱/۳۵ \times ۱۰^{۷}$ | ۷۶/۸ |

## کتاب‌نامه

[۱] استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۴۸۳: سال ۱۳۹۶، اتمسفرهای محیط کار- ذرات معلق بسیار ریز هواویزها، نانوذرات و نانوساختار- خصوصیات و ارزیابی مواجهه استنشاق

[2] ISO 15900:2009, *Determination of particle size distribution — Differential electrical mobility analysis for aerosol particles*

[3] EN 1540:2011, *Workplace exposure — Terminology*

[4] GHS (Rev.6) 2015, Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)

[5] ISO 11014:2009, *Safety data sheet for chemical products — Content and order of sections*

[6] OECD Test Guideline (TG) 403 (2009). *Acute Inhalation Toxicity*. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) publication

[7] OECD Test Guideline (TG) 412 (2009). *Subacute Inhalation Toxicity: 28-Day Study*. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) publication

[8] OECD Test Guideline (TG) 413 (2009). *Subchronic Inhalation Toxicity: 90-day Study*. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) publication

[۹] استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۱۱۱: سال ۱۳۹۳، فناوری نانو-تعیین مشخصات نانوذرات در محفظه‌های مواجهه استنشاقی برای آزمون سمیت استنشاقی

[10] US EPA. Vocabulary catalog list detail — Integrated Risk Information System (IRIS) glossary. Terminology Services, 2011

[11] ISO/TR 26824:2013, *Particle characterization of particulate systems — Vocabulary*

[12] ISO/TR 13014, *Nanotechnologies — Guidance on physico-chemical characterization of engineered nanoscale materials for toxicologic assessment*

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۲۰۶: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو-راهنمای مشخصه‌یابی فیزیکو-شیمیایی مواد نانومقیاس مهندسی‌شده برای ارزیابی توکسیکولوژیک با استفاده از استاندارد ISO/TR 13014: 2012 تدوین شده است.

[13] US EPA. 1994). *Methods for Derivation of Inhalation Reference Concentration (RfCs) and Application of Inhalation Dosimetry.* Office of Research and Development, Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC, EPA/600/8-90/066F

[14] OECD Test Guideline (TG) 436 (2009). *Acute Inhalation Toxicity — Acute Toxic Class Method*. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) publication

[15] OECD Guidance Document (GD) 39 (2009). *Acute Inhalation Toxicity Testing*. Environmental, Health and Safety Monograph Series on Testing and Assessment, Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) publication

[16] US EPA. Health Effects Test Guidelines OPPTS 870.1300. Acute Inhalation Toxicity. EPA-712-C-98-193. Office of Prevention, Pesticides, and Toxic Substances, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1998

[17] US EPA. Health Effects Test Guidelines OPPTS 870.3465. 90-Day Inhalation Toxicity. EPA-712-C-98-204. Office of Prevention, Pesticides, and Toxic Substances, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1998

[18] US EPA. Health Effects Test Guidelines OPPTS 870.4100. Chronic Toxicity. EPA-712-C-98-210. Office of Prevention, Pesticides, and Toxic Substances, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1998

[19] ISO/TS 13278, *Nanotechnologies — Determination of elemental impurities in samples of carbon nanotubes using inductively coupled plasma mass spectrometry*

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۹۹۳: سال ۱۳۹۳، فناوری نانو- تعیین ناخالصی های عنصری در نمونه های نانو لوله های کربنی با استفاده از طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی با استفاده از استاندارد ISO/TS 13278:2011 تدوین شده است.

[20] ISO 29701, *Nanotechnologies — Endotoxin test on nanomaterial samples for in vitro systems — Limulus amebocyte lysate (LAL) test*

[21] Ech R.K., Han L., Ensor D.S., Foarde K.K. Endotoxin contamination of engineered nanomaterials. *Nanotoxicology*. 2009, **4** (1) pp. 73–83

[22] Schindler S., von Aulock S., Daneshian M., Hartung T. Development, validation and applications of the monocyte activation test for pyrogens based on human whole blood. *ALTEX*. 2009, **26** (4) pp. 265–277

[23] Haniu H., Matsuda Y., Takeuchi K., Kim Y.A., Hayashi T., Endo M. Proteomics-based safety evaluation of multi-walled carbon nanotubes. *Toxicol. Appl. Pharmacol*. 2010, **242** (3) pp. 256–262. DOI: 10 .1016/ j .taap .2009 .10 .015

[24] Hamilton R.F., Buford M., Xiang C., Wu N., Holian A. NLRP3 inflammasome activation in murine alveolar macrophages and related lung pathology is associated with MWCNT nickel contamination. *Inhal. Toxicol*. 2012, **24** (14) pp. 995–1008. DOI: 10 .3109/ 08958378 .2012 .745633

[25] Aldieri E., Fenoglio I., Cesano F., Gazzano E., Gulino G., Scarano D. The role of iron impurities in the toxic effects exerted by short multiwalled carbon nanotubes (MWCNT) in murine alveolar macrophages. *J. Toxicol. Environ. Health A*. 2013, **76** (18) pp. 1056–1071. DOI: 10 .1080/ 15287394 .2013 .834855

[26] ISO/TS 10797, *Nanotechnologies — Characterization of single-wall carbon nanotubes using transmission electron microscopy*

**یادآوری**- استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۰۸۵: سال ۱۳۹۳، فناوری نانو- تعیین مشخصات نانولوله‌های کربنی تک جداره با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) با استفاده از استاندارد ISO/TS 10797: 2012 تدوین شده است

[27] ISO/TS 10798, *Nanotechnologies — Characterization of single-wall carbon nanotubes using scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry analysis*

**یادآوری**– استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۰۹۵: سال ۱۳۹۰، - فناوری نانو- تعیین مشخصات نانولوله های کربنی تک جداره با استفاد از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز طیف سنجی پرتو ایکس براساس توزیع انرژی(EDX) با استفاده از استاندارد ISO/TS 10798: 2011 تدوین شده است

[28] ISO/TS 10867, *Nanotechnologies — Characterization of single-wall carbon nanotubes using near infrared photoluminescence spectroscopy*

**یادآوری**– استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۷۳۱: سال ۱۳۹۰،فناوری نانو- تعیین مشخصات نانو لوله های کربنی تک جداره با استفاده از طیف سنجی فتولومینسانس فروسرخ نزدیک با استفاده از استاندارد ISO/TS 10867:2010 تدوین شده است

[29] ISO/TS 11308, *Nanotechnologies — Characterization of single-wall carbon nanotubes using thermogravimetric analysis*

**یادآوری**– استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۵۶۴: سال ۱۳۹۱، فناوری نانو- تعیین مشخصات نانو لوله های کربنی تک جداره به روش آنالیز جرم سنجی حرارتی با استفاده از استاندارد ISO/TS 11308: 2011 تدوین شده است

[30] ISO/TS 11251, *Nanotechnologies — Characterization of volatile components in single-wall carbon nanotube samples using evolved gas analysis/gas chromatograph-mass spectrometry*

**یادآوری**– استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۳۰۰: سال ۱۳۹۳، فناوری نانو -تعیین مشخصات اجزای فرار در نمونه های نانو لوله کربنی تک جداره با استفاده از آنالیز گاز خروجی -کروماتوگرافی گازی -طیف سنجی جرمی با استفاده از استاندارد ISO/TS 11251: 2010 تدوین شده است

[31] ISO/TS 11888, *Nanotechnologies — Characterization of multiwall carbon nanotubes — Mesoscopic shape factors*

**یادآوری**– استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۴۶۳: سال ۱۳۹۲، فناوری نانو – تعیین مشخصات نانولوله‌های کربنی چند جداره -فاکتورهای شکل مزوسکوپی با استفاده از استاندارد ISO/TS 11188: 2011 تدوین شده است

[32] Ellinger-Ziegelbauer H., & Pauluhn J. Pulmonary toxicity of multi-walled carbon nanotubes (Baytubes (R)) relative to alpha-quartz following a single 6 h inhalation exposure of rats and a 3 months post-exposure period. *Toxicology*. 2009, **66** pp. 16–29

[33] Shvedova A.A., Kisin E., Murray A.R., Johnson V.J., Gorelik O., Arepalli S. Inhalation vs. aspiration of single-walled carbon nanotubes in C57BL/6 mice: inflammation, fibrosis, oxidative stress, and mutagenesis. *Am. J. Physiol. Lung Cell. Mol. Physiol.* 2008, **295** (4) pp. L552–L565. DOI: 10 .1152/ ajplung .90287 .2008

[34] Liu B. 1976) *Fine Particles: Aerosol Generation, Measurement, Sampling, and Analysis* (Ed.). New York, Academic Press, Inc. p. 153–154

[35] Ma-Hock L., Treumann S., Strauss V., Brill S., Luizi F., Mertler M. Inhalation toxicity of multiwall carbon nanotubes in rats exposed for 3 months. *Toxicol. Sci*. 2009, **112** pp. 468–481

[36] Bermudez E., Mangum J.B., Wong B.A., Asgharian B., Hext P.M., Warheit D.B. Pulmonary responses of mice, rats, and hamsters to subchronic inhalation of ultrafine titanium dioxide particles. *Toxicol. Sci*. 2004, **77** pp. 347–357

[37] Ma-Hock L., Gamer A.O., Landsiedel R., Leibold E., Frechen T., Sens B. Generation and characterization of test atmospheres with nanomaterials. *Inhal. Toxicol*. 2007, **19** pp. 833–848

[38] Chen B.T. Instrument calibration. Aerosol Measurement. K. Wileke and P. A. Baron. Chapman & Hall, New York, 1993, pp. 500–1.

[39] Scabilloni J.F., Wang L., Antonini J.M., Roberts J.R., Castranova V., Mercer R.R. Matrix metalloproteinase induction in fibrosis and fibrotic nodule formation due to silica inhalation. *Am. J. Physiol. Lung Cell. Mol. Physiol*. 2005, **288** pp. L709–L717

[40] Baron P.A., Deye G.J., Chen B.T., Schwegler-Berry D.E., Shvedova A.A., Castranova V. Aerosolization of single-walled carbon nanotubes for an inhalation study. *Inhal. Toxicol*. 2008, **20** pp. 751–760

[41] Schmoll L., Elzey S., Grassian V., O' shaughnessy P. Nanoparticle aerosol generation methods from bulk powders for inhalation exposure studies. *Nanotox*. 2009, **3** (4) pp. 265–275

[42] McKinney W., Chen B., Frazer D. Computer controlled multi-walled carbon nanotube inhalation exposure system. *Inhal. Toxicol*. 2009, **21** (12) pp. 1053–1061

[43] Chen B.T., Schwegler-Berry D., McKinney W., Stone S., Cumpston J.L., Friend S. Multi-walled carbon nanotubes: sampling criteria and aerosol characterization. *Inhal. Toxicol*. 2012, **24** (12) pp. 798–820

[44] Porter D.W., Hubbs A.F., Chen B.T., McKinney W., Mercer R.R., Wolfarth M.G. Acute pulmonary dose–responses to inhaled multi-walled carbon nanotubes, Acute pulmonary dose–responses to inhaled multi-walled carbon nanotubes. *Nanotoxicology*. 2012, **7** (7) pp. 1179–1194. DOI: 10 .3109/ 17435390 .2012 .719649

[45] Rissler J., Asking L., Dreyer J. A Methodology to study impactor particle reentrainment and a proposed stage coating for the NGI. *J. Aerosol Med. Pulm. Drug Deliv*. 2009, **22** (4) pp. 309–316

[46] Hussain S., Grabinski C., Schaeublin N., Maurer E., Sankaran M., Pandey R., Leszczynski J., Trickler W. *Toxicity evaluation of engineered nanomaterials: Risk evaluation tools (phase 3 studies)*. Air Force Research Laboratory, AFRL-RH-WP-TR-2013-0079; PA # 88ABW-2013-4073

[47] Scully R.R., Lam C.W., Kames J.T. Estimating safe human exposure levels for lunar dust using benchmark dose modeling of data from inhalation studies in rats. *Inhal. Toxicol*. 2013, **25** (14) pp. 785–793

[48] Breum N.O. The rotating drum dustiness tester: Variability in dustiness in relation to sample mass, testing time and surface adhesion. *Ann. Occup. Hyg*. 1999, **43** (8) pp. 557–566

[49] Schneider T., & Jensen K.A. Combined single-drop and rotating drum dustiness test of fine to nanosize powders using a small. *Ann. Occup. Hyg*. 2008, **52** (1) pp. 23–34

[50] Teague S.V., Veranth J.M., Aust A.E., Pinkerton K.E. Dust Generator for Inhalation Studies with Limited Amounts of Archived Particulate Matter. *Aerosol Sci. Technol.* 2005, **39** pp. 85–91

[51] Vo E., & Zhuang Z. Development of a new test system to determine penetration of multi-walled carbon nanotubes through filtering facepiece respirators. *J. Aerosol Sci*. 2013, **61** pp. 50–59

[52] Shvedova A.A., Kisin E.R., Mercer R., Murray A.R., Johnson V.J., Potapovich A.I. Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice. *Am. J. Physiol. Lung Cell. Mol. Physiol*. 2005, **289** pp. L698–L708

[53] Shimada M., Wang W.N., Okuyama K., Myojo T., Oyabu T., Morimoto Y. Development and evaluation of an aerosol generation and supplying system for inhalation experiments of manufactured nanoparticles. *Environ. Sci. Technol*. 2009, **43** (14) pp. 5529–5534

[54] Morimoto Y., Hirohashi M., Kobayashi N., Ogami A., Horie M., Oyabu T. Pulmonary toxicity of well-dispersed single-wall carbon nanotubes after inhalation. *Nanotox.* 2012, **6** (7) pp. 766–775

[55] Schinwald A., Murphy F.A., Jones A., MacNee W., Donaldson K. Graphene-based nanoplatelets: a new risk to the respiratory system as a consequence of their unusual aerodynamic properties. *ACS Nano.* 2012, **6** pp. 736–746

[56] Eydner M., Schaudien D., Creutzenberg O., Ernst H., Hansen T., Baumgärtner W. Impacts after inhalation of nano- and fine-sized titanium dioxide particles: morphological changes, translocation within the rat lung, and evaluation of particle deposition using the relative deposition index. *Inhal. Toxicol*. 2012, **24** (9) pp. 557–569

[57] May K.R. The collison nebulizer: description, performance and application. *J. Aerosol Sci*. 1973, **4** (3) pp. 235–243

[58] Rau J.L. Design principles of liquid nebulization devices currently in use. *Respir. Care*. 2002, **47** (11) pp. 1257–1275

[59] Kim J.S., Sung J.H., Song K.S., Lee J.H., Kim S.M., Lee G.H., Ahn K.H., Lee J.S., Shin J.H.,Park.J.D., Yu I.J. Persistent DNA damage measured by comet assay of Sprague Dawley rat lung cells after five days of inhalation exposure and 1 month post-exposure to dispersed multi-wall carbon nanotubes (MWCNTs) generated by new MWCNT aerosol generation system. *Toxicol. Sci*. 2012, **128** (2) pp. 439–448

[60] Ji J.H., Jung J.H., Yu I.J., Kim S.S. Long-term stability characteristics of metal nanoparticle generator using a small ceramic heater for inhalation toxicity studies. *Inhal. Toxicol*. 2007, **19** pp. 745–751

[61] Sung J.H., Ji J.H., Yoon J.U., Kim D.S., Song M.Y., Jeong J. Lung function changes in Sprague-Dawley rats after prolonged inhalation exposure to silver nano-objects. *Inhal. Toxicol*. 2008, **20** (6) pp. 567–574

[62] Sung J.H., Ji J.H., Park J.D., Song M.Y., Song K.S., Ryu H.R. Subchronic inhalation toxicity of gold particles. *Part. Fibre Toxicol*. 2011, **8** p. 16

[63] Jung J.H., Oh H.C., Ji J.H., Kim S.S. In-situ gold nanoparticle generation using a small-sized ceramic heater with a local heating area. *Materials Science Forum*. 2007, 544-545, pp. 1001–1004. DOI: 10.4028/www .scientific .net/ MSF .544 -545 .1001

[64] Takenaka S., Karg E., Kreyling W.G., Lentner B., Möller W., Behnke-Semmler M. Distribution pattern of inhaled ultrafine gold particles in the rat lung. *Inhal. Toxicol*. 2006, **18** pp. 733–740

[65] Kreyling W.G., Biswas P., Messing M., Gibson N., Geiser M., Wenk A. Generation and characterization of stable, highly concentrated titanium dioxide nano-object aerosols for rodent inhalation studies. *J. Nanopart. Res*. 2011, **13** pp. 511–524

[66] Meuller B.O., Messing M.E., Enberg D.L.J., Jansson A.M., Johansson L.I.M., Norlen S.M. Review of spark discharge generators for production of nanoparticle aerosols. *Aerosol Sci. Technol*. 2009, **46** (11) pp. 1256–1270

[67] Sinclair D., & LaMer V.K. Light scattering as a measure of particle size in aerosols the production of monodisperse aerosols. *Chem. Rev*. 1949, **44** pp. 245–267 [paper on nanoparticles]

[68] Chen B.T., Fletcher R.A., Cheng Y.S. Calibration of aerosol instrumentation. In: Aerosol Measurement, Principles, Techniques, and Applications, (Kulkarni P., Baron P.A., Willeke K. eds.). John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, 2011, pp. 449–379.

[69] Incorporated T.S.I. http:// www .tsi .com/ Condensation -Monodisperse -Aerosol -Generator -3475/ [last accessed on 30 Sept 2016]

[70] Muir D.C.F., & Cena K. Generation of ultrafine silver aerosols for inhalation studies. *Aerosol Sci. Technol*. 1987, **6** (3) pp. 303–306

[71] Sayes C.M., Reed K.L., Glover K.P., Swain K.A., Ostraat M.L., Donner E.M. Changing the dose metric for inhalation toxicity studies: Short-term study in rats with engineered aerosolized amorphous silica nano-objects. *Inhal. Toxicol*. 2010, **22** (4) pp. 348–354

[72] Demokritou P., Büchel R., Molina R.M., Deloid G.M., Brain J.D., Pratsinis S.E. Development and characterization of a versatile engineered nanomaterial generation system (VENGES) suitable for toxicological studies. *Inhal. Toxicol*. 2010, **22** pp. 107–116

[73] Ostraat M.L., Swain K.A., Krajewski J.J. $SiO_2$ aerosol nanoparticle reactor for occupational health and safety studies. *J. Occup. Environ. Hyg*. 2008, **5** p. 390

[74] Taquahashi Y., Ogawa Y., Takagi A., Tsuji M., Morita K., Kanno J. Improved dispersion method of multi-wall carbon nanotube for inhalation toxicity studies of experimental animals. *J. Toxicol. Sci*. 2013, **38** (4) pp. 619–628

[75] ISO/TR 13329, *Nanomaterials — Preparation of material safety data sheet (MSDS)*

[76] Ostraat M.L., Mills K.C., Guzan K.A., Murry D. The nanomaterial registry: facilitating the sharing and analysis of data in the diverse nanomaterial community. *Int. J. Nanomedicine*. 2013, **8** () pp. 7–13

[77] ISO 10801, *Nanotechnologies — Generation of metal nanoparticles for inhalation toxicity testing using the evaporation/condensation method*

**یادآوری**– استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۱۵۲: سال ۱۳۹۰، فناوری نانو- تولید نانو ذرات فلزی برای آزمون سمیت استنشاقی با استفاده از روش تبخیر – تراکم با استفاده از استاندارد ISO 10801: 2010 تدوین شده است.

[78] ISO/TS 12025, *Nanomaterials — Quantification of nano-object release from powders by generation of aerosols*

**یادآوری**– استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۱۴۹: سال ۱۳۹۲، فناوری نانو-تعیین کمی رهایش نانو شیء از پودرهای ناشی از تولید هواسل‌ها با استفاده از استاندارد ISO/TS 12025: 2012 تدوین شده است.

[79] Hinds W.C. Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. Wiley Interscience, 1999

[80] Willeke K., & Baron P.A. Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, 1993

[81] Friedlander S.K. Smoke Dust and Haze. Wiley Interscience, New York, 2000

[82] NRC. Toxicity Testing in the 21st Century: A Vision and a Strategy. The National Academies Press, Washington, DC, 2007

[83] Krewski D., Acosta D., Andersen M., Anderson H., Bailar J.C., Boekelheide K. Toxicity testing in the 21st century: a vision and a strategy. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev*. 2010, **13** (2–4) pp. 51–138

[84] Paur H.R., Cassee F.R., Teeguarden J., Fissan H., Diabate S., Aufderheide M. In-vitro cell exposure studies for the assessment of nanoparticle toxicity in the lung—A dialog between aerosol science and biology. *J. Aerosp. Sci*. 2011, **42** (10) pp. 668–692

[85] Rothen-Rutishauser B., Mueller L., Blank F., Brandenberger C., Muehlfeld C., Gehr P. A newly developed in vitro model of the human epithelial airway barrier to study the toxic potential of nanoparticles. *ALTEX.* 2008, **25** (3) pp. 191–196

[86] Savi M., Kalberer M., Lang D., Ryser M., Fierz M., Gaschen A. A novel exposure system for the efficient and controlled deposition of aerosol particles onto cell cultures. *Environ. Sci*. *Technol.* 2008, **42** pp. 5667–5674

[87] Aufderheide M., Scheffler S., Möhle N., Halter B., Hochrainer D. Analytical in vitro approach for studying cyto and genotoxic effects of particulate airborne material. *Anal. Bioanal*. *Chem*. 2011, **401** (10) pp. 3213–3220

[88] Jeannet N., Fierz M., Kalberer M., Burtscher H., Geiser M. Nano aerosol chamber for in-vitro toxicity (NACIVT) studies. *Nanotox*. 2015, **9** pp. 34–42

[89] Herzog F., Clift M.J.D., Piccapietra F., Behra R., Schmid O., Petri-Fink A. Exposure of silver-nanoparticles and silver ions to lung cells in vitro at the air-liquid interface. *Part. Fibre Toxicol*. 2013, **10** p. 11

[90] Klein S.G., Serchi T., Hoffmann L., Blömeke B., Gutleb A.C. An improved 3D tetraculture system mimicking the cellular organisation at the alveolar barrier to study the potential toxic effects of particles on the lung. *Part. Fibre Toxicol*. 2013, **10** (1) p. 31

[91] Delorme M.P., Muro Y., Arai T., Banas D.A., Frame S.R., Reed K.L. Ninety-day inhalation toxicity study with a vapor grown carbon nanofiber in rats. *Toxicol. Sci*. 2012, **128** pp. 449–460

[92] Ma-Hock L., Burkhardt S., Strauss V., Gamer A.O., Wiench K., van Ravenzwaay B. Development of a short-term inhalation test in the rat using nano-titanium dioxide as a model substance. *Inhal. Toxicol*. 2009, **21** pp. 102–118

[93] Ma-Hock L., Strauss V., Treumann S., Küttler K., Wohlleben W., Hofmann T. Comparative inhalation toxicity of multi-wall carbon nanotubes, graphene, graphite nanoplatelets and low surface carbon black. *Part. Fibre Toxicol*. 2013, **10** p. 23

[94] Myojo T., Oyabu T., Nishi K., Kadoya C., Tanaka I., Ono-Ogasawara M. Aerosol generation and measurement of multi-wall carbon nanotubes. *J. Nanopart. Res*. 2009, **11** pp. 91–99

[95] Pauluhn J. Subchronic 13-week inhalation exposure of rats to multiwalled carbon nanotubes: toxic effects are determined by density of agglomerate structures, not fibrillar structures. *Toxicol. Sci*. 2010, **113** (1) pp. 226–242

[96] Ku B.K., & Kulkarni P. Morphology of single-wall carbon nanotube aggregates generated by electrospray of aqueous suspension. *J. Nanopart. Res*. 2009, **11** pp. 1393–1403

[97] Wang J., & Yui D.Y.H. Dispersion and filteration of carbon nanotubes (CNTs) and measurement of nanoparticle agglomerates in Diesel exhaust. *Chem. Eng. Sci*. 2011, **85** pp. 69–76

[98] Fujitani Y., Furuyama A., Hirano S. Generation of airborne multi-walled carbon nanotubes for inhalations studies. *Aerosol Sci. Technol*. 2009, **43** pp. 881–890

[99] Bitterle E., Carg E., Schroeppel A., Kreyling W.G., Tippe A., Ferron G.A. Dose-controlled exposure of A549 epithelial cells at the air-liquid interface to airborne ultrafine carbonaceous particles. *Chemosphere*. 2006, **65** pp. 1784–1790

[100] Su W.C., & Cheng Y.S. Deposition of fiber in the human nasal airway. *Aerosol Sci. Technol*. 2005, **39** pp. 888–901

[101] Grassian V.H., O' shaughnessy P.T., Adamcakova-Dodd A., Pettibone J.M., Thorne P.S. Inhalation exposure study of titanium dioxide nano-objects with a primary particle size of 2 to 5 nm. *Environ. Health Perspect*. 2007, **115** (3) pp. 397–402

[102] Morimoto Y., Oyabu T., Ogami A., Myojo T., Kuroda E., Hirohashi M. Investigation of gene expression of MMP-2 and TIMP-2 mRNA in rat lung in inhaled nickel oxide and titanium dioxide nano-objects. *Ind. Health*. 2011, **49** pp. 344–352

[103] Warheit D.B., Brock W.J., Lee K.P., Webb T.R., Reed K.L. Comparative pulmonary toxicity inhalation and instillation studies with different $TiO_2$ particle formulations: impact of surface treatments on particle toxicity. *Toxicol. Sci*. 2005, **88** (2) pp. 514–524

[104] Ji J.H., Jung J.H., Kim S.S., Yoon J.U., Park J.D., Choi B.S. Twenty-eight-day inhalation toxicity study of silver nano-objects in Sprague-Dawley rats. *Inhal. Toxicol*. 2007, **19** (10) pp. 857–871

[105] Sung J.H., Ji J.H., Park J.D., Yoon J.U., Kim D.S., Jeon K.S. Subchronic inhalation toxicity of silver nanoparticles. *Toxicol. Sci*. 2009, **108** (2) pp. 452–461

[106] Takenaka S., Karg E., Roth C., Schulz H., Ziesenis A., Heinzmann U. Pulmonary and systemic distribution of inhaled ultrafine silver particles in rats. *Environ. Health Perspect*. 2001, **109** () pp. 547–551

[107] Diabaté S., Weiss C., Mülhopt S., Paur H.R., Niedetzky , Seipenbusch M. 2009). *Biological effects in human lung cells exposed to platinum nanoparticle aerosol.* European Aerosol Conference, Karlsruhe, Abstract T013A02

[108] Kim J.S., Peters T.M., O'Shaughnessy P.T., Adamcakova-Dodd A., Thorne P.S. Validation of an in vitro exposure system for toxicity assessment of air-delivered nanomaterials. *Toxicol. In Vitro*. 2013, **27** pp. 164–173

[109] Yu L.E., Balasubramaniam K.S., Yung L.Y.L., Hartono D., Ong C.N., Shui G. Translocation and effects of gold nano-objects after inhalation exposure in rats. *Nanotoxi*. 2007, **1** (3) pp. 235–242

[110] Han S.G., Lee J.S., Ahn K., Kim Y.S., Kim J.K., Lee J.H. Size-dependent clearance of gold nanoparticles from lungs of Sprague-Dawley rats after short-term inhalation exposure. *Arch. Toxicol*. 2014, **89** (7) pp. 1083–1094. DOI: 10 .1007/ s00204 -014 -1292 -9

[111] Lam C., Scully R.R., Zhang Y., Renne R.A., Hunter R.L., McCluskey R.A. Toxicity of lunar dust assessed in inhalation-exposed rats. *Inhal. Toxicol*. 2013, **25** (12) pp. 661–678

[112] Kim J.S., Sung J.H., Choi B.G., Ryu H.R., Song K.S., Shin J.H. In vivo genotoxicity evaluation of lung cells from Fischer 344 rats following 28 days of inhalation exposure to MWCNTs, plus 28 days and 90 days post-exposure. *Inhal. Toxicol*. 2014, **26** (4) pp. 222–234