

بررسی کیفیت ماسکهای یکبار مصرف در راستای تدوین استاندارد آنها

اصغر صدیق زاده و عبدلی ارمکی
مرکز تحقیقات استانداردهای هسته ای
سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

در این تحقیق کیفیت ۴ نوع ماسک یکبار مصرف، از هر نوع به تعداد ۳ عدد مورد بررسی قرار گرفت. دو نوع از آنها ساخت خارج و دو نوع دیگر ساخت داخل کشور است. میزان جریان گاز حامل ذرات گذرنده از ماسک ها در گستره ۱۲۰-۱۵۰ l/min قرار داشت که به ترتیب مربوط به حجم هوای تنفسی در حالت های استراحت و فعالیت شدید انسان است. در این بررسی ذرات مایع روغن دی اکتیل فتالات (DOP) و ذرات جامد کلرور سدیم به ترتیب در گستره های $1/3\mu\text{m}$ - $0/35\mu\text{m}$ و $0/4\mu\text{m}$ - $0/2\mu\text{m}$ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل نشان می دهد که در گستره آهنگ شارش^۱ مورد آزمایش، با زیاد شدن اندازه ذرات از $0/35\mu\text{m}$ به $0/1\mu\text{m}$ کارایی^۲ ماسکها کاهش و در گستره $0/1\mu\text{m}$ تا $1\mu\text{m}$ افزایش می یابد. کارایی ماسک ها در گستره اندازه ذرات مورد مطالعه با افزایش آهنگ شارش (دبی) بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. محاسبه نشان می دهد که عامل کیفیت^۳ ماسک ها نسبت به هم بسیار متفاوت است.

حفاظت تنفسی کاربرد بسیار وسیعی در صنایع دارند و استفاده از آنها در بسیاری از موارد حساس صنعتی و اتاق های تهیز الزامی است.

نظریه

روشهای استاندارد متعددی برای آزمودن ماسکها وجود دارد. در کلیه این روش ها نفوذپذیری^۴ یا کارایی به دام اندازی ذرات تک

مقدمه

در بسیاری از صنایع از جمله صنایع هسته ای، سیمان، چوب، شیشه سازی، معدن، داروسازی، بیمارستانها، کارکنان در معرض تنفس ذرات معلق در هوا (هوامیزه ها یا آئروسول ها) [۱] بویژه ذراتی با ترکیبات شیمیائی مسموم کننده، پرتوزا، زیست-هوامیزه های خطرناک و غیره می باشند. آلاینده های مذکور با توجه به خواص فیزیکی و شیمیائی و زیست شناختی شان ممکن است در صورت ورود به دستگاه تنفسی، اثرهای نامطلوبی بر سلامت انسان بر جای گذارند. ماسکهای

۱- Flow rate

۲- Efficiency

۳- Quality factor

۴- Penetration

است با نسبت حاصل ضرب سرعت ورودی جریان به صافی (U_0) در قطر یک تار الیافی (D_f) به ضرب پخش براونی D_B ؛

η_{Di} تابعی از پارامتر برخورد مستقیم (R) است؛ R برابر است با نسبت قطر هوآمیز (D_p) به قطر تار الیافی،

η_{ii} تابعی از عدد استوکس St است.

$$Pe = \frac{U_0 D_f}{D_B} \quad (3)$$

$$R = \frac{D_p}{D_f} \quad (4)$$

$$St = C \frac{\rho_p U_0^2 D_f^3}{9 \mu_g D_f} \quad (5)$$

در رابطه های فوق، C و ρ_p و μ_g به ترتیب ضرب تصحیح کانینگ هام^۸، چگالی ذره و چسبناکی یا لزجت (ویسکوزیته) دینامیکی هوا هستند.

در عمل، نفوذپذیری ماسک به میزان نفوذ ذرات در ماسک یعنی نسبت غلظت ذرات پس از عبور از ماسک (n_2) به غلظت ذرات پیش از ورود به ماسک (n_1) اطلاق می شود [۵]. همچنین نسبت ذرات

توزیعی^۱ و یا چند توزیعی^۲ که به طریقه^۳ مصنوعی به دست می آیند، به وسیله ماسک تعیین می شود. ذرات تک توزیعی به ذرات هم اندازه با ترکیب شیمیائی مشابه اطلاق می شود. در عمل به مجموعی از ذرات معلق در هوا تک توزیعی می گویند که انحراف معیار نسبی قطر آنها کمتر از ۰/۲ باشد. ذرات معلق در هوای گذرنده از یک صافی الیافی در اثر سازوکارهای پخش^۳، برخورد مستقیم^۴ و برخورد لختی^۵ روی الیاف صافی گیر می افتند [۳].

نفوذپذیری (P) صافی بوسیله رابطه ۱ محاسبه می شود [۴]:

$$P = \exp\left(\frac{-4L(1-\varepsilon)\eta_t}{\pi \varepsilon d_f}\right) \quad (1)$$

که در آن ε و L به ترتیب میزان تخلخل و ضخامت صافی، D_f و η_t به ترتیب قطر و کارائی کل هر یک از تارهای الیافی تشکیل دهنده صافی می باشند. η_t از جمع سه کارائی گیراندازی ذرات در اثر سازوکارهای:

- پخش η_D ،

- برخورد مستقیم η_{Di} ،

- اینرسی η_{ii} ، حاصل می شود (رابطه ۲).

$$\eta_t = \eta_D + \eta_{Di} + \eta_{ii} \quad (2)$$

- η_D تابعی از عدد پکلت^۶ (Pe) است؛ Pe برابر

۱ - Monodisperse

۲ - Polydisperse

۳ - Diffusion

۴ - Direct Impact

۵ - Inertia Impact

۶ - Peclet

۷ - Stokes

۸ - Cunningham

ذرات تولیدی نشوند؛ همچنین این مرحله برای ثابت نگه داشتن فشار هوای ذره ساز مورد استفاده قرار می‌گیرد. مرحله دوم مولد برای تبدیل مایع داخل مخزن (محلول نمک طعام یا روغن DOP) به هوامیزه و تولید ذرات چندتوزیعی بکار می‌رود. در مرحله سوم ذرات چندتوزیعی حاصل از مرحله دوم با عبور از لوله‌ای که دمای آن بسته به اندازه ذرات تنظیم می‌شود، در اثر تبخیر و تراکم به ذرات تک توزیعی تبدیل می‌شوند. یک خنثی‌گر مدل ۳۰۱۲ از نوع TSI جهت خنثی کردن بار الکتریکی ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرد. افت فشار ماسک به وسیله یک فشارسنج مدل APM 50K ساخت کارخانه ایرفلو^۲ و یک فشارسنج شیب دار تعیین می‌شود. برای اندازه‌گیری تراکم ذرات در دو طرف ماسک از یک شمارنده هسته تراکم ذرات، مدل ۳۰۲۲۸ ساخت کارخانه TSI استفاده می‌شود. تونل باد مورد استفاده برای نصب ماسک متشکل از قسمت‌های محل نصب ماسک، پروب‌های نمونه برداری ذرات و اندازه‌گیری افت فشار و نیز دستگاه‌های یکنواخت ساز جریان براساس عدد رینولدز^۳ است. این دستگاه‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که جریان هوا در تونل لایه‌ای^۴ باشد.

بدام افتاده در ماسک به ذرات ورودی به آن راکارایی ماسک می‌نامند. بنابراین رابطه‌های ۶ و ۷ همواره برقرارند:

$$P = n_2/n_1 \quad (۶)$$

$$E = 1 - P \quad (۷)$$

در رابطه ۷، E کارایی ماسک است.

افت فشار در ماسک عامل دیگری است که در برآورد کیفیت ماسکها بکار می‌رود و آن مقدار مقاومتی است که ماسک بر روی سیستم تنفسی فرد اعمال می‌کند [۶]. در حقیقت پارامتر اصلی برای مقایسه ماسکها عامل کیفیت «Qf» آنها است که از رابطه ۸ حساب می‌شود [۷].

$$Qf = \ln(1/P) / \Delta P \quad (۸)$$

ΔP افت فشار در ماسک است.

روشها و وسایل

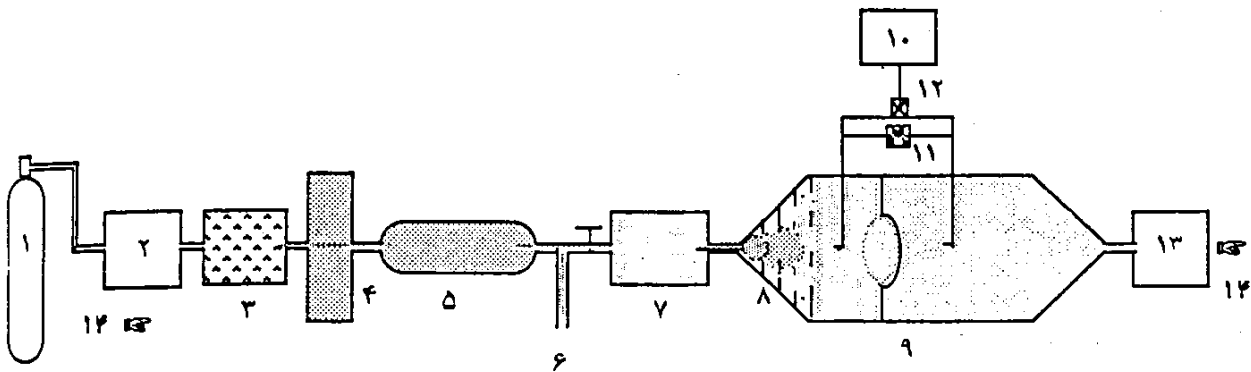
ذرات مورد استفاده در این مطالعه عبارتند از ذرات جامد تک توزیعی نمک طعام و ذرات مایع تک توزیعی DOP، که توسط دستگاه مولد هوامیزه سه مرحله‌ای مدل‌های ۳۰۷۲، ۳۰۷۴، ۳۰۷۶، ساخت کارخانه TSI^۱ تولید می‌شوند. در مرحله اول، هوای حاصل از یک کمپرسور یا یک کیپسول هوا که برای تبدیل مایع به هوامیزه بکار می‌رود خشک و پالوده می‌شود تا ذرات یا بخار آب موجود در هوای ورودی موجب تداخل در توزیع اندازه

۱- Technical and Scientific Instrumentation

۲- Air Flow

۳- Reynolds number

۴- Laminar flow



شکل ۱- طرح ساده دستگاه آزمون ماسک

- ۱- کپسول هوا ۲- رطوبت گیر ۳- ذره ساز ۴- تک توزیع کننده ۵- خنثی گر بار الکتریکی ۶- بطرف هود ۷- دستگاه رقیق کننده هوا ۸- همگن ساز ۹- تونل آزمون ماسک ۱۰- شمارنده ذرات ۱۱- فشارسنج ۱۲- شیر سه راه ۱۳- پمپ مکنده هوا ۱۴- جهت جریان هوا

- تک توزیعی بودن ذرات حاصل از مولد،
- بررسی درجه بندی شارش سنج (فلومتر)

یافته ها و نتایج

در این مطالعه، نفوذپذیری، افت فشار و از آنجا عامل کیفیت ۱۲ ماسک برای ذرات با اندازه های متفاوت بررسی شده است. آهنگ شارش (Q) هوای حامل ذرات مورد آزمایش ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ لیتر در دقیقه بوده که به ترتیب مربوط به آهنگ شارش هوای تنفسی یک فرد در حالت استراحت تا

دستگاه ابتکاری رقیق کننده ذرات که در این آزمایشگاه طراحی و ساخته شده است، امکان دسترسی به غلظتهای متفاوت را می دهد. توزیع آماری ذرات با یک برخورددهنده بهمشار^۱ هشت مرحله ای مدل ۲۷۴۰ نوع اندرسن^۲ مشخص می شود و گردش هوا در سیستم توسط یک پمپ مکشی صورت می گیرد.

جهت اطمینان از عدم تداخل هوامیزه های محیطی در اندازه گیری نفوذپذیری و عدم نشست در سیستم، قبل از شروع هر دسته آزمایش، موارد زیر رعایت شده است:

- آزمون عدم وجود هوامیزه های محیطی و تداخل آنها با ذرات تک توزیعی حاصل از مولد،

۱-Cascade impactor

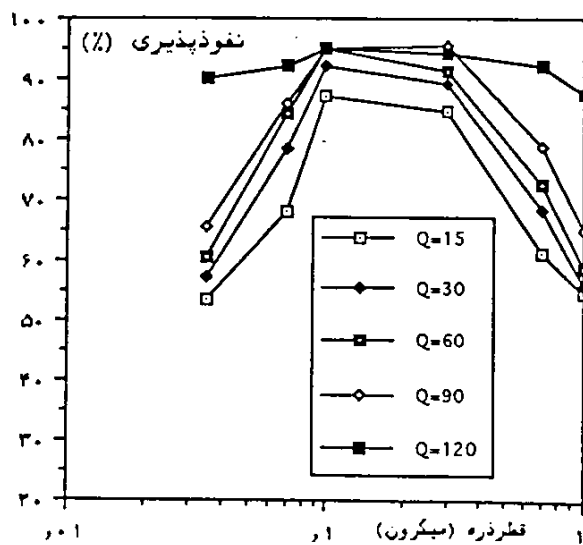
۲-Anderson

بطوریکه ملاحظه می شود اختلاف معنی داری بین این نتایج مشاهده نمی شود.

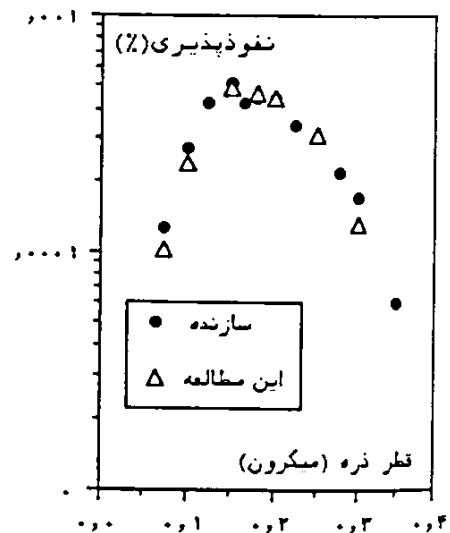
مطالعات آزمایشگاهی ما نشان می دهند که نفوذپذیری همه این ماسکها برای ذرات ریز کم بوده است و با بزرگتر شدن اندازه آنها، نفوذپذیری به یک حد بیشینه می رسد نتایج حاصل، این حد را در حدود ۰/۱ میکرون مشخص می کند. نفوذپذیری ماسکها برای ذرات بزرگتر از این حد دوباره کاهش می یابد. ما پائین بودن نفوذپذیری ذرات ریز را با توجه به روابط ۱ تا ۵، به بالا بودن دام اندازی ذرات توسط سازوکار انتشار در این محدوده از قطر ذرات

کار سخت می باشند. اندازه ذرات مایع DOP و جامد کلرورسیدیم مورد استفاده به ترتیب در گستره $0.035\mu\text{m}$ تا $1/3\mu\text{m}$ و $0.02\mu\text{m}$ تا $0.04\mu\text{m}$ قرار داشت. ذرات در گستره این اندازه ها به راحتی تا اعماق ریه نفوذ کرده و سبب بروز انواع بیماریها به ویژه آسم می شوند.

برای اطمینان از درستی کاردستگاه آزمون ماسک و روند اندازه گیری، نفوذپذیری یک صافی مطلق^۱ استاندارد، ساخت کارخانه لیدال^۲، تعیین و با داده های مربوط به خود صافی نمونه مقایسه شد. در این مطالعه توافق بسیار خوبی بین نتایج بدست آمده و داده های ارائه شده توسط تولیدکننده صافی نمونه نشان داده شده است (شکل ۲).



شکل ۳- نفوذپذیری ماسک شماره ۱ برحسب قطر ذرات برای دبی های مختلف

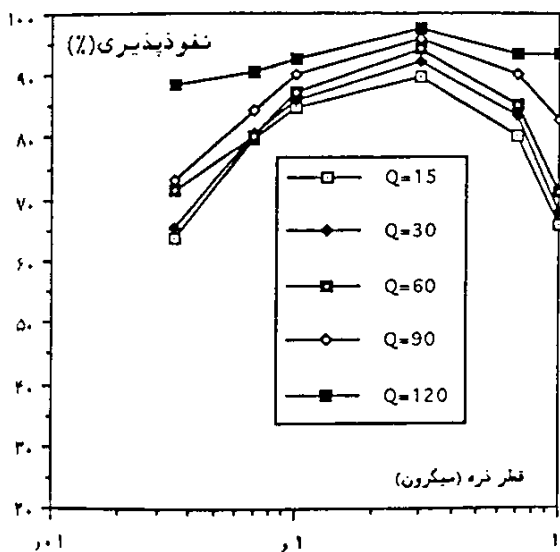


شکل ۲- مقایسه نفوذپذیری داده های سازنده صافی و نتایج این مطالعه

۱ - Absolute filter

۲ - Lydall-Inc

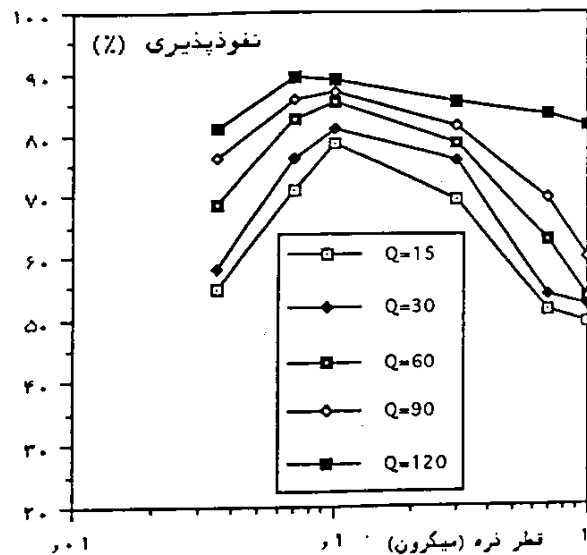
تا ۶ ملاحظه می شود برای ماسکهای شماره ۱ تا ۴ کمینه نفوذپذیری برای آهنگ شارش ۱۵۱/min و برای ذرات $0.35\mu\text{m}$ بدست آمده است که مقادیر



شکل ۵- نفوذپذیری ماسک شماره ۳ برحسب قطر ذرات برای دبی های مختلف

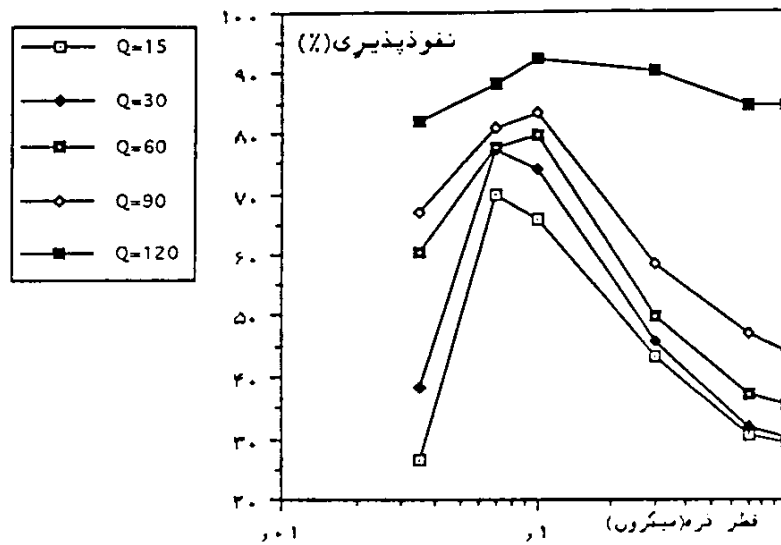
آنها برای ماسکهای ۱ تا ۴ به ترتیب برابر ۵۳٪، ۵۵٪، ۶۳٪ و ۲۵٪ می باشند. ماکزیمم نفوذپذیری تمام این ماسکها برای ذرات به قطر حدود $0.1\mu\text{m}$ و برای بالاترین آهنگ شارش مورد آزمایش یعنی 120l/min تعیین شده است که مقادیر آنها برای ماسکهای شماره ۱ تا ۴ به ترتیب ۹۴٪، ۹۰٪، ۹۲٪ و ۹۲٪ می باشند. بطوریکه ملاحظه می شود ماسک های به ظاهر کاملاً مشابه ممکن است از نظر کیفیت کاملاً متفاوت باشند. برای مثال نفوذپذیری

نسبت می دهیم و بالا بودن نفوذپذیری برای ذرات در حدود $0.1\mu\text{m}$ را قابل اغماض بودن تمامی سازوکارهای دام اندازی در این محدوده از قطر ذرات می دانیم، همچنین کاهش نفوذپذیری با افزایش قطر ذرات بزرگتر از $0.1\mu\text{m}$ را به چگونگی دام اندازی ذرات توسط سازوکار برخورد مستقیم تعبیر می کنیم.



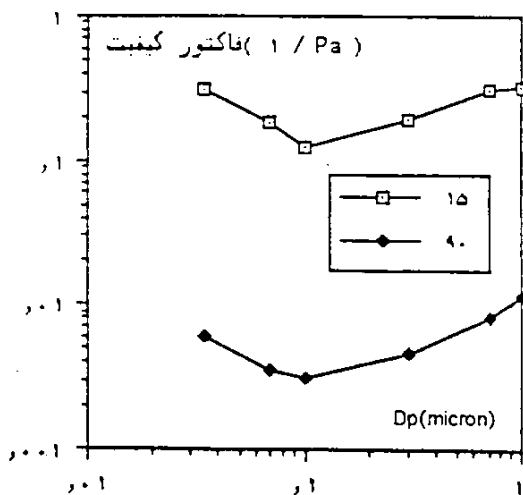
شکل ۴- نفوذپذیری ماسک شماره ۲ برحسب قطر ذرات برای دبی های مختلف

شکلهای ۳ تا ۶ نمودارهای نفوذپذیری ذرات را به ترتیب در گستره قطرهای $0.35-1\mu\text{m}$ و برای آهنگ شارش های $120-15\text{l/min}$ نشان می دهند. بطوری که ملاحظه می شود، حداقل نفوذپذیری در تمام ماسکها برای ریزترین قسمت توزیع اندازه ذرات حاصل شده است. بطوریکه در شکلهای ۳



شکل ۶- نفوذپذیری ماسک شماره ۴ برحسب قطر ذرات برای دبی های مختلف

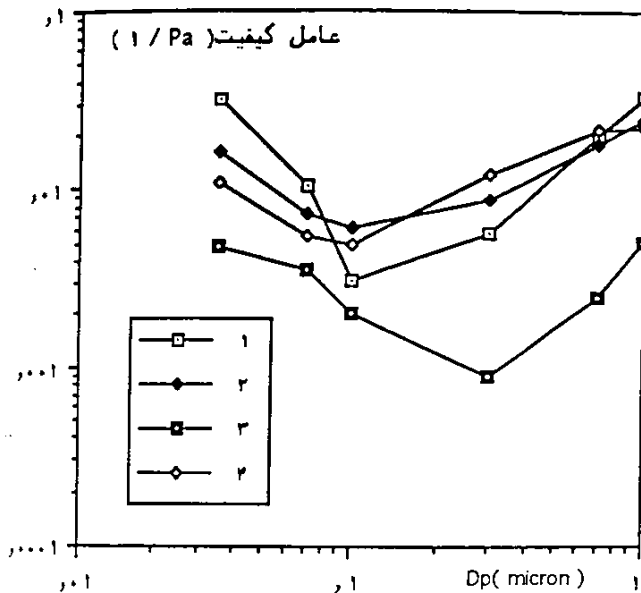
نظرفرگفتن روابط ۸، ۳ و ۱ قابل توجه است. در حقیقت در آهنگ های جریان کم، افت فشار و نفوذپذیری ماسکها پایین است. شکل ۷، عامل



شکل ۷- عامل کیفیت ماسک ۲، تابع قطر ذرات برای دو دبی ۹۰ و ۱۵ لیتر در دقیقه

ماسک ۴ برای تمام آهنگ های شارش و اندازه ذرات به مراتب کمتر از سایر ماسکها است. نفوذپذیری آن برای آهنگ های شارش پایین تر از ۶۰ l/min در حدود ۵۰٪ از سایر ماسکها کمتر است. برای آهنگ های شارش بالاتر از ۶۰ l/min که به فعالیت تنفسی شدیدتر فرد مربوط می شود، نفوذپذیری تمام ماسکها خیلی بالا است؛ یعنی در موقع فعالیت شدید، کارایی این ماسکها خیلی پایین است و استفاده از آنها تاثیر زیادی در آلودگی زدایی ندارد.

قبلاً نیز گفته شد که برای مقایسه ماسکها از عامل کیفیت استفاده می شود. مطالعات آزمایشگاهی ما نشان می دهد که عامل کیفیت ماسکها برای آهنگ های شارش کم، بالا بوده و با افزایش آن شدت کاهش می یابد. این پدیده با:



شکل ۸- عامل کیفیت ماسکهای ۱ تا ۴ تابع قطر ذرات برای دبی ۶۰ لیتر در دقیقه

قرار می‌گیرد عامل بسیار مهم در انتخاب نوع ماسک است.

بطوریکه نتایج این مطالعه نشان می‌دهند، بهترین پارامتر برای مقایسه ماسکها عامل کیفیت آنها است. امکان دارد که کارایی دو ماسک برای یک آهنگ شارش و یک قطر ذره مشخص برابر باشد، ولی به دلیل افت فشارهای متفاوت Qf آنها خیلی فرق بکند. به عنوان مثال نفوذپذیری ماسکهای ۲ (شکل ۴) و ۳ (شکل ۵) برای ذرات به قطر $0.35\mu\text{m}$ و آهنگ شارش 60 l/min برابر و در حدود 70% می‌باشد. در صورتیکه عامل کیفیت ماسک ۲

کیفیت ماسک شماره ۲، تابع قطر ذرات برای آهنگ‌های شارش ۱۵ و ۹۰ لیتر در دقیقه را نشان می‌دهد. بطوریکه ملاحظه می‌شود، تغییرات عامل کیفیت برحسب قطر ذرات نسبت به تغییرات آن برحسب آهنگ شارش هوای گذرنده به مراتب پایین‌تر است. عامل کیفیت آهنگ شارش 15 l/min در حدود ۳۵ برابر آهنگ شارش 90 l/min می‌باشد، یعنی در آهنگ شارش پایین‌تر فرد به مراتب راحت‌تر تنفس می‌کند و کارایی دام‌اندازی ذرات توسط ماسک خیلی بالاتر است. در آهنگ شارش بالاتر فشار زیادی بر روی اعضای تنفسی وارد می‌شود و کارایی ماسک هم پایین‌تر است.

از طرف دیگر عامل کیفیت انواع ماسکها نیز بسیار متفاوت است. شکل ۸ عامل کیفیت ماسکهای شماره ۱ تا ۴ را برای آهنگ شارش 60 l/min نشان می‌دهد. چنانکه ملاحظه می‌شود در گستره اندازه ذرات کوچکتر از $1\mu\text{m}$ و بزرگتر از $3\mu\text{m}$ عامل کیفیت ماسک ۱ بالاتر از سایر ماسکها است. در گستره قطر ذرات $0.3\mu\text{m}$ تا $1\mu\text{m}$ که به گودال کارایی صافیها مربوط می‌شود، عامل کیفیت ماسکها پایین و تغییرات آن شدید است. در این گستره عامل کیفیت ماسکهای ۲ و ۴ بالاتر است. در مجموع ماسکهای مورد مطالعه برحسب کیفیت به ترتیب ۱، ۲، ۴ و ۳ طبقه‌بندی می‌شود.

از مطالب فوق نتیجه می‌گیریم که شناخت توزیع اندازه ذرات محیطی که ماسک در آن مورد استفاده

(شکل ۸) برای همان آهنگ شارش و قطر ذره تقریباً ۳ برابر ماسک ۳ است.

نتیجه گیری

در این کار تحقیقاتی، ما ثابت کردیم که ماسکهای به ظاهر مشابه ممکن است از نظر کارایی کاملاً متفاوت باشند. نظر به اینکه تنوع ماسکها بسیار زیاد است و هر ماسکی برای کاربرد خاصی تولید می شود و بدلیل افزایش سریع و بدون کنترل تولید ماسکهای یک بار مصرف، این کار تحقیقاتی می تواند مبنای کنترل کیفیت ماسکها در کشور باشد. در کارخانه ها و کارگاههای شیمیایی، زیست شناختی، هسته ای و غیره که در آنها امکان

انتشار ذرات خطرناک برای سلامت انسان وجود دارد، استفاده از ماسکها ضروری است. بطوریکه متذکر شدیم، عامل کیفیت ماسکها ممکن است به میزان قابل توجهی متفاوت باشد. لذا این ماسکها را باید متناسب با ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و زیست شناختی ذرات معلق در هوا، مانند توزیع اندازه ذرات، ترکیب شیمیایی و ...، انتخاب کرد. در خاتمه توجه خوانندگان عزیز را به ضرورت استفاده از ماسک و انتخاب صحیح آن با روشهای علمی مطابق با استانداردهای مربوط، تابع مشخصه های فیزیکی، شیمیایی و زیست شناختی ذرات منتشر شده از یک صنعت را جلب می کنیم.

References

- ۱- ا. صدیق زاده، آئروسولها در محیط زیست، انرژی هسته ای، ۱۶ (پاییز ۷۲)
2. C.N. Davies, Aerosol Science, Academic press (1966)
- ۳- ا. صدیق زاده، آلودگی ذره ای زمینه هوای شهر تهران از سال ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۲، فیزیک زمین و فضا ۱ و ۲ (۱۳۷۵)
4. S. Payet and al, Pénétration des aérosols liquides dans les filtres á fibres, 7èmes conférence daérosol (1990).
5. B. Y. H. Liu, Fine particles, Academic press (1976).
- ۶- م. ا. عبدلی، ارایه روش تست ماسکهای یکبار مصرف و فیلترهای مصرفی در ماسکها، گزارش پروژه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم پزشکی تهران (۱۳۷۴).
7. T. T. Mercer, "Aerosol technology in hazard evaluation". Academic press (1973).

THE REVIEW OF HALF-MASKS QUALITY FACTOR FOR STANDARDIZATION

A. Sadighzadeh and M. Abdoly Armaky
Research Center for Nuclear standard

Abstracts

In this work the capture efficiency of aerosols, the pressure drop and quality factor of four types of half-masks are studied. The flow rate is ranged from 15 to 120 l/min, this corresponds to the air volume that one person needs in repose or hard work. The dioctyle phtalate (DOP) particle diameter used, is 0, 035-1/3 μ m. Our experimental study shows that in the range of 0/035 to 0/1 μ m by increasing the aerosol size the efficiency of aerosol capture through the mask is decreased. The efficiency increases according to the particle diameter when it is more than 0/1 μ m. We discusse this phenomenon with aerosol filtration theoritical argumentations. The study of airflow on the efficiency variation indicated that the efficiency decreases according to the increase of flow rate. The computation of quality factor proves significant quality difference between two masks that apparently look alike.