J. of Nuclear Sci. and Tech.
No. 42, pp. 26-30, 2008

مجله علوم و فنون هسته‌ای
شماره ۴۲، صفحات ۳۰-۲۶، ۱۳۸۶

مطالعه انتخاب ماسک‌ها برای استفاده در صنایع هسته‌ای

اصغر صدیق‌زاده*، مریم علی‌ابراهیمی، سپیده سرکاری
گروه پژوهشی شیمی، پژوهشکده علوم هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۳۶-۱۴۸۹۳، تهران- ایران

چکیده: کنترل آلاینده‌ها برای حفظ محیط زیست و سلامت کارکنان، یکی از مهمترین اهداف ایمنی در یک کارخانه تولیدی است. ایده‌آل آن است که ماشین‌آلات طوری طراحی شوند که گرد و غبار تولید نشود. هنگامی که کنترل گرد و غبار در محل تولید امکان نداشته باشد، روش‌های کنترلی دیگر، مانند مسدود کردن محل تولید، نصب دستگاه‌های تهویه موضعی و کنترل‌های فردی باید مورد استفاده قرار گیرند. در این کار پژوهشی، کیفیت ماسک‌های یک‌بار مصرف برای استفاده در صنایع، بویژه صنایع هسته‌ای، بررسی شده‌اند. از ۱۰ شرکت مورد استعلام، جمعاً ۲۱ نمونه برای انتخاب مناسبترین ماسک دریافت شد. با روش ذرات اتمسفری کارایی ماسک‌ها تعیین و با اندازه‌گیری افت فشار، فاکتور کیفیت آنها حساب شد. مطالعات ما نشان می‌دهد که کیفیت ماسک‌های مورد بررسی بسیار متفاوت می‌باشد، بطوریکه کوچکترین، میانگین و بالاترین عامل کیفیت ماسک‌ها در این کار پژوهشی به ترتیب برابر ۰/۰۰۲، ۰/۰۴۴ و ۰/۲۴۷ است.

واژه‌های کلیدی: ماسک تنفسی، آلودگی هوا، کنترل گرد و غبار، فاکتور کیفیت، کارآیی، افت فشار، صنعت هسته‌ای

Appropriate Mask Selection Study for Nuclear Industries Activities

A. Sadighzadeh*, M. Aliebrahimi, S. Sarkari
Chemistry Research Group, Nuclear Science Research School, Nuclear Science and Technology Institute, AEOI, P.O. Box:14893-836, Tehran-Iran

Abstract: The pollution control is one of the major aims to a factory for preserving employee's health and outside environment. The best way to control the dust is to design machines in such a way that either producing the dust is prevented or the amount of produced dust which goes to the environment be less than a defined limit. If dust control is not possible, other ways such as blocking the production area, using localized air control system, and personal controls can be applied. In this work, an attempt was made to examine the quality of different disposable personal masks to be used in industry, especially in nuclear industries. To accomplish the purpose of the study, 21 samples were collected from 10 different companies. In order to choose the most appropriate mask, these masks were examined for their effectiveness with the atmospheric particle method. The quality factor was calculated by examining the pressure drop. This research indicated that there was a significant difference between the qualities of the examined masks. The lowest, average and highest quality factors for different masks, are about 0.002. 0.044 and 0.247, respectively.

Keywords: ***Respirator Mask, Air pollution, Dust Control, Quality Factor, Efficiency, Pressure Drop, Nuclear Industry***

*email: asadigzadeh@aeoi.org.ir
تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۱۱/۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۶/۴/۲۶

۱- مقدمه

در صنایع هسته‌ای، بویژه در کارخانجات چرخه سوخت هسته‌ای، پرسنل تولید در معرض عوامل زیان‌آور مختلفی قرار دارند. در این صنایع علاوه بر آلاینده‌های گازی، بخارها، حلال‌ها و ذرات ائروسل در محیط پخش و از راه استنشاق وارد بدن می‌شوند. آنها بسته به ترکیب شیمیایی، غلظت، مدت تماس و اندازه ذرات عوارضی را در پرسنل و محیط زیست ایجاد می‌کنند. بنابراین در این صنایع لازم است تمهیدات کنترلی اعم از کنترل محیطی و فردی در راستای حفاظت از محیط زیست و پرسنل و بطور کلی اهداف مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) به‌عمل آید. روش‌های کنترل مهندسی گرد و غبار مواد رادیوآکتیو، مشابه سایر روشهای کنترل، گرد و غبارها می‌باشد، با این تفاوت که کارایی سیستم‌های مورد استفاده در صنعت هسته‌ای باید بسیار بالا باشد و بطور مداوم از عملکرد آنها اطمینان حاصل شود.

در کارخانه‌های چرخه سوخت هسته‌ای، افرادی که در فرایندهای فرآوری اورانیوم یا معادن اورانیوم کار می‌کنند در معرض مواد پرتوزا، یا ترکیبات آنها قرار می‌گیرند [۱]. این آلاینده‌ها ممکن است علاوه بر انتشار پرتوهای یونیزان خطرناک، مسمومیت شیمیایی هم داشته باشند. به عنوان مثال میزان سمیت اورانیوم برابر سمیت آرسنیک می‌باشد (جدول ۱).

آلاینده‌های پرتوزا بعد از ورود به بدن وارد جریان خون شده و بر اساس ویژگیهای شیمیایی و نقش فیزیولوژیکی خود، همچنین ویژگیهای ترکیب حامل، در یک یا چند بافت جذب می‌گردند و بر اساس ویژگیهای بیولوژیکی، مدتهای متفاوتی در بافتها یا اعضا باقی می‌مانند. بدین ترتیب ماده رادیوآکتیو تا هنگام دفع با مکانیسم بیولوژیکی و واپاشی مواد پرتوزا، سلول‌های بدن را با پرتوهای یونساز تحت تأثیر قرار می‌دهد. سرعت دفع این مواد به طبیعت شیمیایی ایزوتوپ بستگی دارد.

استنشاق، عمده‌ترین راه انتقال آلاینده‌های پرتوزا به بدن در محیط‌های کاری است. مقدار مواد پرتوزا که به دستگاه تنفسی وارد می‌شود به میزان آلودگی محیط، مدت حضور در بدن و حجم هوای استنشاق شده بستگی دارد. بنابراین می‌توان با اطمینان گفت که برای حفاظت پرسنل، علاوه بر کنترل آلاینده‌های رادیوآکتیو هوا با استفاده از روشهای پیشرفته پالایش هوا، استفاده از وسایل حفاظت تنفسی فردی یک ضرورت است [۲].

یکی از روش‌ها، که آخرین اقدام کنترلی در ایمنی می‌باشد، استفاده از ماسک‌های تنفسی است که باید دارای کیفیت و کارایی بالایی باشند. در صنایع هسته‌ای کیفیت و مرغوبیت ماسک‌ها باید مورد تأیید مراجع ذیصلاح باشد. اگر ماسک از استاندارد تعیین شده برخوردار نباشد، استفاده از آن گمراه‌کننده بوده و هیچگونه حفاظتی را ایجاد نخواهد کرد، چه بسا تماس پرسنل با آلاینده و عوامل زیان‌آور افزایش می‌یابد، زیرا افراد به تصور اینکه از وسیلهٔ حفاظتی استفاده می‌کنند، خود را در معرض تماس قرار داده و ناآگاهانه مواجهه خود را افزایش می‌دهند.

استفاده از روش‌های استاندارد برای آزمون ماسک‌های مختلف مورد مصرف در صنایع چرخه سوخت هسته‌ای برای تعیین کیفیت و انتخاب مناسبترین آنها ضروری است. در آزمایشگاه مهندسی محیط زیست جابربن‌حیان، با تجربه طولانی در تست فیلترها و ماسک‌های تنفسی، کلیه ماسک‌های مورد استفاده در کارخانجات صنایع تولید سوخت هسته‌ای مورد آزمون قرار گرفته و فاکتور کیفیت و کارایی آنها بررسی می‌شود. هدف از انجام این آزمون‌ها انتخاب ماسک‌های مناسب برای فعالیت‌های صنایع هسته‌ای بویژه چرخه سوخت می‌باشد.

جدول ۱- طبقه‌بندی درجه سمیت ترکیبات اورانیوم.

فرمول شیمیایی	درجه سمیت
$UO_2\ (NO_3)_2$-$6H_2O$ UO_2F_2-UCL_4-UCL_5	شدید
UO_3 $Na_2U_2O_7$-$(NH_4)_2U_2O_7$	متوسط
UF_4-UO_2-UO_4-U_3O_8	بدون خاصیت سمی

۲- تئوری

روش‌های استاندارد متعددی برای آزمون ماسک‌ها وجود دارد، برای مثال می‌توان به استاندارد کشور انگلیس شماره‌های EN 405:2002، EN 141:2000، AS1715:1991 [۳، ۴ و ۵] اشاره کرد. در کلیه این روش‌ها نفوذپذیری(۱) یا کارایی رهایش ذرات تک توزیعی(۲) و یا چند توزیعی(۳) به وسیلهٔ ماسک تعیین می‌شود.

ذرات تک توزیعی به ذرات هم اندازه که ترکیب شیمیایی مشابه دارند اطلاق می‌شود. در عمل به آن دسته از ذرات معلق در هوا تک توزیعی می‌گویند که انحراف معیار نسبی قطر آنها کمتر از ۰/۲ باشد. ذرات معلق در هوای عبوری از یک صافی الیافی اساساً در اثر سازوکارهای پخش(۴)، برخورد مستقیم(۵) و برخورد لختی(۶) روی الیاف صافی گیر می‌افتند [۶].

کارایی E صافی بوسیله رابطه (۱) حساب می‌شود:

$$E = 1 - \exp\left(\frac{-4L(1-\varepsilon)\eta_t}{D_f \pi \varepsilon}\right) \qquad (۱)$$

که در آن ε و L به ترتیب میزان تخلخل و ضخامت صافی، D_f و η_t به ترتیب قطر و احتمال ربایش کل ذرات توسط هر یک از تارهای الیافی تشکیل‌دهنده صافی می‌باشند. با فرض قابل اغماض بودن ربایش ذرات در اثر مکانیسم‌های گرانش، الکتروستاتیک و غربالی η_t از جمع سه احتمال گیراندازی ذرات در اثر سازوکارهای ذکر شده حاصل می‌شود.

$$\eta_t=\eta_i+\eta_D+\eta_R \qquad (۲)$$

۲-۱ اینرسی η_i

احتمال برخورد یک ذره و گیر افتادن آن تابعی از عدد استوکس (St)[۷] می‌باشد. چنانکه در رابطه (۳) ملاحظه می‌شود؛ ذرات بزرگ و یا با سرعت بالا با این مکانیسم توسط ماسک ربایش و حذف می‌شوند.

$$St = C\frac{\rho_P U_0 D_P^2}{9\mu_g D_f} \qquad (۳)$$

۲-۲ برخورد مستقیم η_R

احتمال برخورد یک ذره و گیر افتادن آن تابعی از عدد بدون بعد برخورد مستقیم R است. از این رابطه نتیجه می‌شود که کارایی ماسکها با این فرایند برای ذرات بزرگ و ماسکهای ساخته شده از الیاف ریز مؤثرتر است.

$$R = \frac{D_P}{D_f} \qquad (۴)$$

۲-۳ پخش η_D

احتمال برخورد یک ذره و گیر افتادن آن تابع معکوسی از عدد بدون بعد Pe می‌باشد. به این ترتیب ذرات ریز، یا کم‌سرعت، با این مکانیسم، ربایش و حذف می‌شوند.

$$Pe = \frac{U_0 D_f}{D_B} \qquad (۵)$$

در این روابط C، ρ_p، μ_g و D_P به ترتیب ضریب تصحیح کانینگ هام[۸]، چگالی ذره، چسبندگی یا ویسکوزیته دینامیکی و قطر ذرات هوا، هستند. و U_0 و D_B به ترتیب سرعت ورودی جریان به صافی و ضریب پخش براونی هستند.

در عمل، کارایی یک ماسک، نسبت ذرات بدام افتاده در ماسک به ذرات ورودی است:

$$E = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \qquad (۶)$$

که در آن n_1 و n_2 به ترتیب غلظت ذرات قبل از ورود به ماسک و بعد از آن هستند.

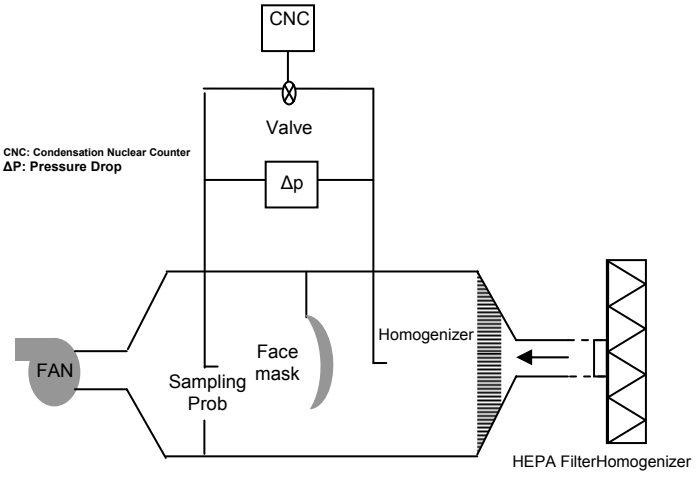
پارامتر اصلی برای مقایسه ماسک‌ها عامل کیفیت Q_f آنها است که از رابطه (۷) حساب می‌شود.

$$Q_f = \frac{Ln(1-E)^{-1}}{\Delta P} \qquad (۷)$$

که در آن ΔP افت فشار ماسک است.

۳- روش تجربی

تونل تست ماسک، از یک محفظه استوانه‌ای شکل، دارای مسیر ورود و خروج هوا از دو سر آن می‌باشد. این تونل در آزمایشگاه مهندسی محیط زیست مجموعه آزمایشگاه‌های جابربن‌حیان طراحی و ساخته شده است. ابعاد این محفظه برای ایجاد جریان یکنواخت و هموار هوای عبوری حساب، طراحی و ساخته شده است. محل استقرار ماسک در قسمت میانی این تونل قرار دارد. در دو طرف محل استقرار ماسک، دو نمونه‌بردار تعبیه شده است تا از ذرات ائروسل قبل و بعد از ماسک نمونه‌برداری شود. از یک شیر سه‌راهی برای تغییر مسیر جریان نمونه‌برداری جهت تعیین تراکم عددی[۹] ذرات هوا قبل و بعد از ماسک استفاده می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- نمایی از تونل تست ماسک.

جریان هوا در کل سیستم به وسیلهٔ دو پمپ هر یک با ظرفیت ۱۰۰ لیتر بر دقیقه انجام می‌گیرد. در این آزمون با توجه به ظرفیت تنفسی انسان در حالت‌های عادی و کار سنگین (۱۵ الی ۱۵۰ l/min)، دبی جریان هوا در سیستم روی ۵۰ لیتر در دقیقه تنظیم می‌شود. برای اندازه‌گیری تراکم عددی ذرات در دو طرف ماسک، از یک شمارنده ذرات متراکم مدل 3022A ساخت کارخانه TSA استفاده شده است. شمارنده ذرات متراکم از یک منبع نوری با دیود لیزری، ریز پردازنده کنترل سیستم داخلی، پمپ مکنده هوای نمونه با دبی ثابت و صفحه دیجیتال جهت تعیین غلظت ذرات و پارامترهای دستگاه، تشکیل شده است. دبی نمونه‌برداری دستگاه از ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر مکعب در ثانیه قابل تنظیم است. گستره شمارش تراکم ذرات با دستگاه CNC[۱۰]، از ۰/۰۱ تا $۹/۹۹\times۱۰^{۶}$ ذره در سانتی‌متر مکعب هوا می‌باشد.

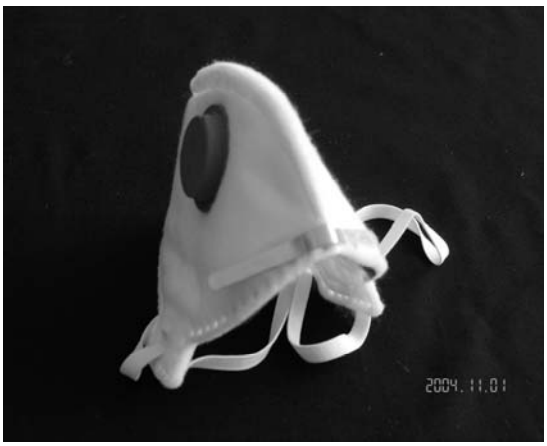
برای اندازه‌گیری افت فشار در ماسک‌ها از یک مانومتر دیجیتال ساخت شرکت Air Flow استفاده شده است.

برای آزمون نشت در تونل تست ماسک، هوای تصفیه شدهٔ تمیز حاصل از یک فیلتر هپا (شکل ۱) را از سیستم عبور داده و تعداد ذرات در واحد حجم سیستم اندازه‌گیری می‌شود. در مرحله بعد با خارج کردن فیلتر هپا از سیستم، هوای آزمایشگاه به سیستم وارد می‌شود. با اندازه‌گیری تراکم عددی ذرات قبل و بعد از استفاده ماسک و کارایی آن از رابطه (۶) محاسبه می‌شود. تراکم عددی ذرات، با محاسبه میانگین غلظت عددی در مدت یک دقیقه مشخص و ثبت می‌گردد.

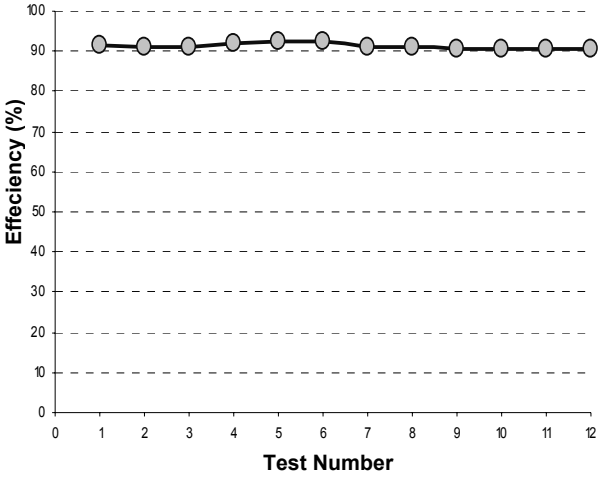
۴- یافته‌ها و بحث

برای انتخاب ماسک مناسب، از ۱۰ شرکت فعال در زمینه وسایل حفاظت فردی استعلام شد، از این شرکت‌ها جمعاً ۲۱ ماسک برای آزمون فاکتور کیفیت آنها دریافت و کارایی هر ماسک با اندازه‌گیری تراکم عددی ذرات قبل و بعد از عبور از ماسک حساب شد.

کارایی هر ماسک، میانگین مقادیر حاصل از ۱۲ آزمون می‌باشد. شکل ۳، نتایج حاصل از آزمون کارایی ماسک ۱۹ را که ۱۲ بار آزمون روی آن انجام شده است، نشان می‌دهد. بطوری که ملاحظه می‌شود، دامنه تغییرات کارایی ۱۲ آزمون ناچیز و قابل اغماض می‌باشد. بنابراین صحت نتایج قابل استناد و اطمینان است.



شکل ۲- نمونه ماسک نیمرخ.

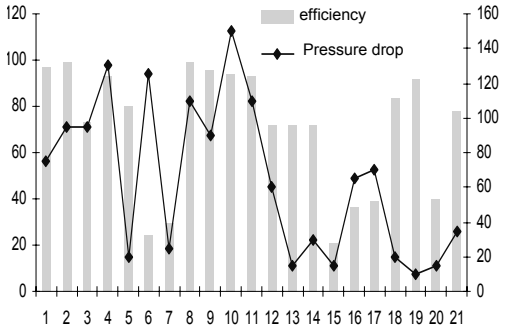


شکل ۳- نتایج کارایی ۱۲ آزمون.

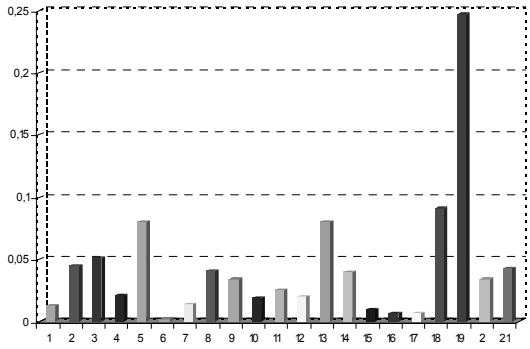
افت فشار هر ماسک قبل از شروع آزمون کارایی و بعد از آن اندازه‌گیری می‌شود؛ بدین ترتیب از دقت تست افت فشار اطمینان حاصل و تغییرات جزئی ثبت شده است. لازم به ذکر است که، بر اساس محاسبهٔ عدد رینولدز تابع دبی هوای عبوری، جریان در داخل تونل تست یکنواخت می‌باشد.

فاکتور کیفیت تمام ماسک‌ها، با قرار دادن داده‌های حاصل از آزمون کارایی و افت فشار، در رابطه (۷) حساب شد.

شکل ۵، فاکتور کیفیت تمام ماسک‌ها را نشان می‌دهد. بهترین ماسک، آن است که دارای بالاترین کارایی و کمترین افت فشار باشد. یعنی دارای بالاترین میزان ربایش ذرات بوده و کمترین فشار را بر سیستم تنفسی کاربر ایجاد کند.



شکل ۴- افت فشار و کارایی ماسک‌های یکبار مصرف.



شکل ۵- عامل کیفیت ماسک‌های یکبار مصرف.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که دامنه افت فشار ماسک‌های یکبار مصرف در دبی ثابت بسیار متفاوت بوده و از ۱۰ تا ۱۵۰ پاسکال تغییر می‌کند. حداقل و حداکثر کارایی ماسک‌ها به ترتیب مربوط به ماسک‌های شماره ۱۵ و ۲ است که مقادیر آنها برابر ۲۱/۱٪ و ۹۹/۲٪ می‌باشد. بطوریکه در شکل ۴ مشاهده می‌شود، ماسک شماره ۱۹ با ۹۱/۶٪ کارایی و ۱۰ پاسکال افت فشار با بالاترین کیفیت و ماسک شماره ۶ با ۲۴/۲٪ کارایی و ۱۲۵ پاسکال افت فشار با پایین‌ترین کیفیت تشخیص داده شدند. همانطور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، به دلیل همین تغییرات در افت فشار و کارایی، فاکتور کیفیت ماسک‌ها تغییرات بسیار فاحشی دارد. بطوریکه مشاهده می‌شود؛ عامل کیفیت ماسک شماره ۱۹، ۱۲۳/۵ برابر ماسک شماره ۶ می‌باشد.

این تغییرات بیانگر تفاوت بسیار بالای کیفیت ماسک‌ها می‌باشد. صاحبان صنایع و دست‌اندرکاران بهداشت حرفه‌ای در کارخانجات بخصوص در صنایع شیمیایی و هسته‌ای باید به این امر واقف بوده و در راستای حفظ سلامت پرسنل و افزایش بازده آنها در انتخاب ماسک دقت به خرج داده و ماسک را با توجه به نوع، اندازه و غلظت آلاینده‌های محیط کار انتخاب کنند.

پی‌نوشت‌ها:

۱- Penetration
۲- Mono Disperse
۳- Poly Disperse
۴- Diffusion
۵- Direct Impact
۶- Inertia Impact
۷- Stokes
۸- Cunningham
۹- Numerical Concentration
۱۰- CNC: Condensation Nuclear Counter

References:

1. Kirk Othmor-Encyclopedia of Chemical Technology, 23, 543.
2. ا. صدیق‌زاده، "ائروسلها در محیط زیست،" انرژی هسته‌ای ۱۶ (۱۳۷۲).
3. "Protective devices valued filtering," British Standard EN 405 (2002).
4. "Respiratory protective devices-gas filters and combined," British Standard EN 141 (2000).
5. "Selection, use and maintenance of respiratory protection device," Australian Standard, AS 1715 (1991).
6. A. Sadighzadeh, "Etude de l'éfficacité de capitation des aérosols par un lit granulaire en l'absence et en présence d'ondes acoustiques," CEA-R-5552 (گزارش کمیساریای انرژی اتمی فرانسه) (1991).