

بررسی نظری و عملی سازوکارهای حذف ذرات و تعیین کیفیت صافی‌های الیافی با کارایی بالا در صنایع هسته‌ای

اصغر صدیق‌زاده، سیدمحمد حسینی، محمدرضا اسدی
آزمایشگاه جابربین حیان، سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

در این کار پژوهشی به مطالعه نظری و عملی سازوکارهای مؤثر در حذف ذرات پرتوزا و دامنه کارایی صافی‌های مصرفی HEPA^(۱) و ULPA^(۲) در صنایع هسته‌ای، به منظور بالا بردن ضریب ایمنی آنها پرداخته شده است. در بخش نظری تغییرات سازوکارهای انتشار، برخورد مستقیم و لختی (اینرسی) برحسب قطر ذره و الیاف، سرعت جریان ذرات و تخلخل بستر صافی بررسی شده است. در بخش عملی پس از طراحی و ساخت سیستم آزمون صافی‌های با کارایی بالا به روش DOP^(۳)، دامنه کارایی این صافی‌ها، در رابطه با قطر ذرات، سرعت جریان آنها و سطح مؤثر صافی مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات افت فشار، برحسب سرعت جریان، نیز از جمله پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق است. نتایج این بررسیها نشان می‌دهد که:

- بیشینه نفوذپذیری این صافی‌ها در گستره ۰/۱ تا ۰/۱۲ میکرون اتفاق می‌افتد.
- دامنه کارایی صافی‌های ULPA به مراتب بیشتر از صافی‌های HEPA است.
- کارایی کلی صافی، با افزایش سرعت جریان، قطر الیاف و تخلخل بستر، در گستره ذرات مورد بررسی کاهش می‌یابد.
- در دبی ثابت، با افزایش سطح مؤثر صافی، کارایی کلی صافی افزایش و افت فشار کاهش می‌یابد.
- افت فشار با سرعت جریان رابطه مستقیم دارد.

۱- مقدمه

غلظت عددی (p/m^3) و تعیین توزیع اندازه ذرات پرتوزا بسیار مشکل است. با وجود این ابعاد این ذرات را می‌توان در گستره ۰/۱ تا ۱ میکرون در نظر گرفت [۲]. این ذرات سریعاً بر روی سطوحی که به آنها نزدیک هستند می‌نشینند. ذرات پرتوزا پس از برخورد با ذرات موجود در اتمسفر بر روی آنها نشست و تثبیت می‌شوند و ذرات ائروسولی بوجود می‌آورند که محور آلودگی را تشکیل می‌دهند. این ذرات از راه تنفس وارد بدن شده و ضایعاتی در آن ایجاد می‌کنند.

مایعات - مواد پرتوزا در حالت مایع قابلیت بالایی در ایجاد آلودگی سطحی دارند. همچنین اگر در اثر گرم شدن، به صورت بخار منتشر شوند، و یا در معرض جریان هوا قرار گیرند، آلودگی اتمسفری ایجاد می‌کنند.

مواد جامد - مواد پرتوزای جامد بطور مستقیم ائروسول تولید

خطرهای آلودگی ناشی از تأسیسات هسته‌ای برای انسان، در مواردی که بتوان آنها را مهار کرد ناچیز و به مراتب کمتر از خطرات ناشی از سایر تأسیسات مشابه، مانند نیروگاههای حرارتی است [۱].

در تأسیسات هسته‌ای، آلودگی ناشی از مواد پرتوزا ممکن است دارای دو منشأ باشد.

الف - منشأ عملیاتی: امکان آلودگی در تمام تأسیسات هسته‌ای وجود دارد. تأسیسات هسته‌ای به محلی اطلاق می‌شود که در آن مواد پرتوزا تولید و پالایش شده، مورد استفاده قرار می‌گیرند یا انبار می‌شوند.

ب - منشأ حادثه‌ای: در این مورد بروز آلودگی غیرقابل پیش‌بینی و کنترل است.

میزان آلودگی به حالت فیزیکی مواد مورد آزمایش بستگی دارد

و موارد زیر را شامل می‌شود:

ذرات ائروسول - اندازه‌گیری دقیق غلظت جرمی ($\mu g/m^3$)،

1- High Efficiency Particulate Air filter

2- Ultra Low Penetration Air filter

3-Di Octyl Phtalate



- جریان ذرات در جهت عمود بر لیف است - سازوکارهای عمده راپیش ذرات در صافی های الیافی عبارتند از: انتشار، برخورد مستقیم و اینرسی، الکتروستاتیک، گرانش و غربالی. در مورد ذرات DOP در گستره بررسی، سازوکارهای الکتروستاتیکی، گرانشی و غربالی و اثر محسوسی ندارند. کارایی یک صافی الیافی از رابطه زیر حساب می شود [۵]:

$$E = 1 - \exp \left[- \frac{4h(\gamma - \epsilon)\eta_t}{\pi \epsilon d_f} \right] \quad (1)$$

که در آن h ضخامت بستر صافی، ϵ میزان تخلخل بستر، η_t احتمال راپیش کل یک تار الیافی و d_f قطر یک لیف بستر است. با چشم پوشی از تأثیر متقابل سازوکارهای مختلف بر یکدیگر، احتمال راپیش کل یک لیف از رابطه زیر بدست می آید:

$$\eta_t = \eta_D + \eta_i + \eta_1 \quad (2)$$

در این رابطه η_D ، η_i و η_1 به ترتیب احتمال راپیش ذره به وسیله سازوکارهای انتشار، برخورد مستقیم و اینرسی می باشد. سازوکار انتشار، عامل اصلی در راپیش ذرات کوچکتر از ۰/۱ میکرون است. حرکت این ذرات در هوا، تحت تأثیر برخورد مولکولهای هوا با آنها قرار می گیرد؛ در نتیجه این ذرات هنگام عبور از صافی، بطور تصادفی با لیف برخورد کرده و در اثر نیروی واندروالس به آن می چسبند و از جریان هوا حذف می شوند [۶]. این سازوکار بستگی به قطر، سرعت ذرات و دمای هوا دارد. با افزایش دمای هوا و کاهش قطر ذره، شدت تأثیر این سازوکار افزایش می یابد. لیو^(۵) و همکاران، کارایی یک لیف منفرد، ناشی از سازوکار انتشار را به صورت زیر بیان کرده اند [۸،۷]:

$$\eta_D = 1.6 \left[\frac{\alpha}{Ku} \right]^{1/2} pe^{-2/3} Cd \quad (3)$$

در این رابطه اعداد بدون بعد، α ، pe ، Ku و Cd به ترتیب عبارتند از: فاکتور هیدرودینامیکی کوبارا، عدد پکلت، ضریب فشردگی بستر صافی و ضریب تصحیح سازوکار انتشار Ku معرف انحراف مسیر جریان گاز در اطراف یک لیف است که از فشردگی الیاف ناشی می شود. این فاکتور تنها به تخلخل صافی بستگی

نمی کنند و خطر ایجاد آلودگی قابل توجهی ندارند؛ اما اگر در معرض فرایندهایی مانند آسیاب کردن، و سایر عملیات مشابه قرار گیرند مقدار زیادی ائروسول خطرناک تولید خواهند کرد.

در کلیه تأسیسات حفاظت در برابر آلودگی، از انواع سیستم های پالایش هوا استفاده می شود، اما برای حذف نهایی همه ذرات تنها صافی های الیافی با کارایی بالا جوابگو بوده و کاربرد گسترده ای به ویژه در تأسیسات هسته ای دارند [۳].

در این کار پژوهشی به بررسی سازوکارهای مؤثر بر دامنه کارایی و کیفیت صافی های با کارایی بالا در دو بخش نظری و عملی پرداخته شده است. در بخش نظری تغییرات سازوکارهای مؤثر در تصفیه با صافی ها، برحسب قطر ذرات، سرعت جریان ذرات، قطر الیاف و تخلخل بستر صافی مورد بررسی قرار گرفته است.

در بخش عملی به بررسی کیفیت ۳ صافی HEPA و ۶ صافی ULPA پرداخته شده است. کارایی این صافی ها برای راپیش ذرات کروی شکل DOP به قطرهای ۰/۳ و ۰/۱۲ میکرون به ترتیب حدود ۹۹/۹۷ و ۹۹/۹۹ درصد می باشد. بستر آنها عموماً از الیاف شیشه ای (فایبرگلاس) با قطر کمتر از یک میکرون و فشردگی زیاد ساخته می شود.

۲- فرآیند تصفیه با صافی

در فرآیند تصفیه با صافی، ذرات در اثر سازوکارهای مختلف بر روی الیاف می نشینند و در اثر نیروی واندروالس^(۴) به آنها می چسبند. پارامترهای عمده ای که در فرآیند تصفیه با صافی مؤثرند [۴] عبارتند از:

- مشخصه های جریان: سرعت و دما

- مشخصه های فیزیکی ذرات: توزیع اندازه، غلظت و چگالی

- ویژگی های بستر صافی: قطر الیاف، فشردگی و ضخامت بستر صافی

۱-۲- بررسی نظری

در بررسی سازوکارهای حذف ذرات به وسیله صافی، فرضیات زیر مورد توجه اند:

- ذرات کروی شکل و غلظت آنها کم است

- سازوکارهای راپیش ذرات برای یک لیف استوانه ای شکل

منفرد و مجزا در نظر گرفته می شوند



دارد [۹]

$$Ku = -(\frac{1}{2}) \ln \alpha + \alpha - (\alpha^2/4) - (3/4) \quad (4)$$

pe بستگی به سرعت جریان (U)، قطر لیف (d_p) و ضریب انتشار براونی (D_B) دارد:

$$Pe = Ud_f / D_B \quad (5)$$

$$D_B = KT Cu / 3\pi d_p \quad (6)$$

در این رابطه K، T، Cu، m و d_p به ترتیب عبارتند از ثابت بولتزمن، دما هوا، ضریب تصحیح کانیگهام، ویسکوزیته دینامیکی هوا و قطر ذره. Cd (ضریب تصحیح سازوکار انتشار) نیز از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$Cd = 1 + 0.388 Kn \left[\frac{\alpha Pe}{Ku} \right]^{-1/3} \quad (7)$$

Kn که عدد نادسین^(۶) نامیده می‌شود، برابر است با:

$$Kn = 2\lambda / d_f \quad (8)$$

که در آن، λ میانگین پویش آزاد مولکولهای گاز است.

در صافی‌های با کارایی بالا، سازوکار برخورد مستقیم در مورد ذراتی که قطر آنها از ۰/۱ تا ۰/۵ میکرون است بر سازوکارهای دیگر غلبه دارد. Liu و همکاران، کارایی یک لیف منفرد حاصل از برخورد مستقیم را به صورت زیر عرضه کرده‌اند.

$$\eta_i = 0.6 \left[\frac{(1-\alpha) R^2}{Ku (1+R)} \right] Cr \quad (9)$$

در این رابطه، R پارامتر برخورد مستقیم می‌باشد که برابر نسبت قطر ذره به قطر لیف است:

$$R = dp/d_f \quad (10)$$

Cr (ضریب تصحیح سازوکار برخورد مستقیم)، از رابطه زیر بدست می‌آید [۱۰]:

$$Cr = 1 + 1/996 Kn/R \quad (11)$$

ذرات درشت موجود در جریان هنگامی که به لیف می‌رسند، به علت داشتن اینرسی بیشتر، از خط جریان منحرف شده و پس از برخورد با الیاف از جریان حذف می‌شوند. این سازوکار حذف ذرات را سازوکار اینرسی نامیده‌اند.

سازوکار عمده رایش ذرات بزرگتر از یک میکرون به وسیله الیاف در سرعت‌های بالا براساس اینرسی است استکتینا^(۷) و همکاران در ۱۹۶۹، برای محاسبه کارایی رایش ذرات ناشی از سازوکار

اینرسی رابطه تجربی زیر را بکار برده‌اند [۱۱].

$$\eta_f = 0.0334 STK^{3/2} [1 + 0.0334 STK^{3/2}]^{-1} \quad (12)$$

STK عدد استوکس می‌باشد که برابر است با نسبت طول توقف ذره (Sp) به قطر لیف [۱۲]:

$$STK = Sp/d_f \quad (13)$$

و Sp از این رابطه حساب می‌شود:

$$S_p = d_p^2 \rho_p Cu U (18\mu)^{-1} \quad (14)$$

ρ_p چگالی ذره است.

۲-۲- مواد و تجهیزات مورد استفاده

برای بررسی نظری سازوکارهای رایش ذرات و کارایی کلی صافی، نرم‌افزاری با توجه به عوامل و پارامترهای مؤثر در آن تهیه شد که توانایی محاسبه تغییرات سازوکارها و کارایی کلی صافی وابسته به قطرهای ذره و الیاف، میزان تخلخل بستر صافی و سرعت جریان را دارد.

در بخش آزمایشگاهی، برای بررسی کیفیت صافی‌های

HEPA و ULPA (ساخت کشور)، سیستم آزمونی به روش DOP

[۱۲، ۱۳، ۱۴] طراحی و اجرا شد. این سیستم مشتمل است بر:

- ۱- کمپرسور هوا، برای تأمین هوای فشرده مورد نیاز مؤلفه آئروسول
- ۲- دستگاه مؤلفه ذرات DOP، این دستگاه از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است که مجموعاً وظیفه تولید ذراتی با قطر معین و دلخواه را به عهده دارد.

۳- دستگاه شمارنده ذرات متراکم^(۸) مدل 3022 A، این دستگاه توان تعیین غلظتهایی از ۰/۰۱ تا ۱۰^۷ ذره در سانتی متر مکعب را دارد.

۴- دبی‌سنج مدل TA2 و میکرومانومتر مدل APM50K، که به ترتیب دبی جریان و میزان افت فشار در صافی را اندازه می‌گیرند. هواکش، در انتهای تونل آزمون یک هواکش با سرعت ۲۸۷ دور در دقیقه، امکان ایجاد دبی حداکثر تا ۶۰۰ m³/hr را در سیستم فراهم می‌کند.

موادی که در این تحقیق بکار رفته‌اند عبارتند از:

6- Knudsen

7- Stechkina

8- Condensation nuclei particle counter



سرعت جریان، قطر ذره و تخلخل بستر صافی به ترتیب برابر $d_f = 1 \mu m$ ، $4/75 \text{ cm/s}$ و $\varepsilon = 0/08$ درصد پرداخته شد.

از طرف دیگر تغییرات کارایی، در رابطه با تخلخل بستر صافی در دامنه ۰/۰۱ تا ۰/۱۱، برای سرعت جریان $4/75 \text{ cm/s}$ و قطرهای الیاف و ذره به ترتیب ۱ و ۰/۱۲ میکرون بررسی شد.

در این کار تحقیقاتی، سیستم آزمون صافی‌های HEPA و ULPA با ابعاد به ترتیب $305 \times 305 \times 150$ و $305 \times 305 \times 298$ میلی‌متر مکعب و با سطح مؤثر تصفیه به ترتیب برابر $3/3$ و $1/7$ مترمربع طراحی و ساخته شد.

در جریان آزمون، ابتدا تمام ذرات موجود در هوای ورودی به سیستم، توسط یک صافی ULPA گرفته می‌شود؛ سپس ذرات تک توزیعی DOP که به وسیله یک مولد ائروسول تولید می‌گردند در جریان هوا تزریق می‌شوند؛ غلظت ذرات، قبل و بعد از گذر از صافی به وسیله شمارنده ذرات تراکم شمارش و بطور همزمان، افت فشار در صافی نیز سنجیده می‌شود. در انتهای تونل آزمون، یک سیستم کنترل دبی جریان، تنظیم سرعت عبور هوا از صافی را امکان‌پذیر می‌سازد.

۱- ائروسول DOP که به دلیل پایداری، کروی بودن ذرات و نداشتن خاصیت خوردندگی، در آزمون انواع صافیهای با کارایی بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- اتانول و بوتانل

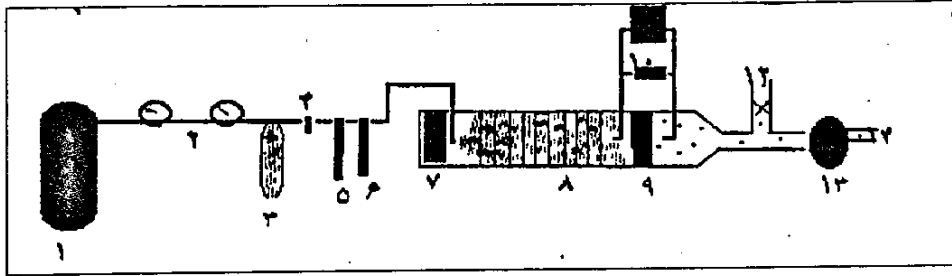
۳- روش تحقیق

در بخش نظری، ابتدا به تغییرات سازوکارهای انتشار، برخورد مستقیم و اینرسی، برحسب قطر ذرات در گستره ۰/۰۲ تا ۰/۳ میکرون، در مورد یک صافی با مشخصات $d_f = 1 \mu m$ ، $\varepsilon = 0/08$ درصد و سرعت جریان $4/75 \text{ cm/s}$ بررسی شد. سپس تغییرات این سازوکارها در رابطه با سرعت جریان هوا در گستره ۰/۲ تا ۴ سانتی‌متر بر ثانیه، برای همان صافی با ذرات ۰/۱۲ میکرون مورد بررسی قرار گرفت.

معمولاً بستر صافی‌هایی که کارایی بالایی دارند از الیافی به قطر چند دهم تا چند میکرون ساخته می‌شوند. با تغییر قطر الیاف، کارایی صافی تغییر می‌کند. در اینجا به تغییرات سازوکار مؤثر بر کارایی صافی برحسب قطر الیاف در گستره ۰/۵ تا ۲ میکرون، برای

جدول ۱- مشخصات صافی‌های مورد استفاده در این تحقیق

شماره صافی	نوع صافی	ابعاد صافی (میلی متر)	کارایی اسمی (درصد)	افت فشار اسمی (پاسکال)
۱	ULPA	$305 \times 305 \times 150$	۹۹/۹۹۹	۲۲۰
۲	ULPA	$305 \times 305 \times 150$	۹۹/۹۹۹	۲۲۰
۳	ULPA	$305 \times 305 \times 150$	۹۹/۹۹۹	۲۲۰
۴	ULPA	$305 \times 305 \times 298$	۹۹/۹۹۹	۲۰۰
۵	ULPA	$305 \times 305 \times 298$	۹۹/۹۹۹	۲۰۰
۶	ULPP	$305 \times 305 \times 298$	۹۹/۹۹۹	۲۰۰
۷	HEPA	$305 \times 305 \times 298$	۹۹/۹۹۷	۱۸۰
۸	HEPA	$305 \times 305 \times 298$	۹۹/۹۹۷	۱۸۰
۹	HEPA	$305 \times 305 \times 298$	۹۹/۹۹۷	۱۸۰



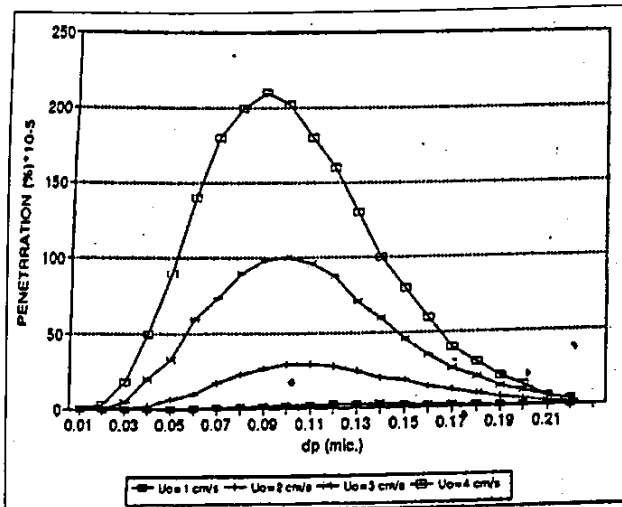
- | | | |
|----------------------------|------------------------|--------------------|
| ۱-کمپرسور هوا | ۶-دستگاه تبخیر و تراکم | ۱۱-شمارنده ذرات |
| ۲-تنظیم کننده فشار | ۷-صافی اولیه ULPA | ۱۲-کنترل کننده دبی |
| ۳-رطوبت گیر با کارایی بالا | ۸-همگن ساز | ۱۳-هواکش |
| ۴-صافی با کارایی بالا | ۹-صافی آزمون | ۱۴-خروجی هوا |
| ۵-ذره پاش (تمیزر) | ۱۰-میکرومانومتر | |

شکل ۱-نمایی از سیستم آزمون صافی

۳-۱- بررسی داده ها

در گستره ۰/۰۴ تا ۱ میکرون و با سرعت های مختلف جریان اندازه گیری شد.

در آغاز، تغییرات نفوذپذیری صافیها، برحسب قطر ذرات بررسی شد. نتایج این بررسی نشان می دهند که کارایی صافی برای ذرات ۰/۱ تا ۰/۱۲ میکرون دارای کمترین مقدار است. شکل ۳ تغییرات نفوذپذیری دو صافی HEPA و ULPA، با ابعاد ۲۹۸×۳۰۵×۳۰۵ میلیمتر مکعب را برحسب قطر ذره نشان می دهد. آزمایش در سرعت جریان ۲/۲۲ سانتی متر بر ثانیه (۲۶۶m³/h) انجام گرفت. بطوریکه در این شکل مشاهده می شود، میزان نفوذپذیری صافی HEPA نسبت به ULPA بیشتر است؛ به عنوان مثال، نفوذپذیری صافی HEPA برای ذراتی به قطر ۰/۱۲ میکرون، حدود ۱۲۰ برابر صافی ULPA می باشد.



شکل ۲- تغییرات نظری کارایی صافی برحسب قطر ذره

در بخش نظری، تغییر سازوکارهای انتشار، برخورد مستقیم و اینرسی برحسب قطر ذره، قطر ایفای، سرعت جریان و تخلخل بستر صافی بررسی شد. این بررسی نظری نشان می دهد که:

- در گستره اندازه ذرات از ۰/۰۱ تا ۰/۲۱ میکرون، با افزایش قطر ذره، تأثیر سازوکار انتشار کاهش ولی تأثیر سازوکار برخورد مستقیم و اینرسی افزایش می یابد.

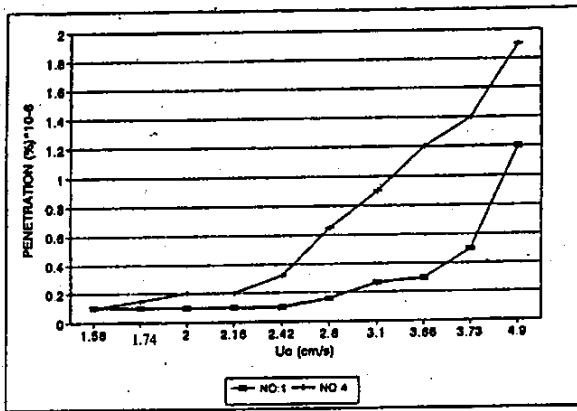
- نمودار شکل ۲ نشان می دهد که با افزایش قطر ذره از ۰/۰۱ تا ۰/۱ میکرون نفوذ پذیری صافی افزایش می یابد، ولی از ۰/۱ میکرون به بالا کاسته می شود. در مورد ذراتی که در گستره ۰/۰۹ تا ۰/۱ میکرون قرار دارند کلاً تأثیر سه سازوکار انتشار، برخورد مستقیم و اینرسی بر نفوذپذیری حداکثر است.

- در گستره قطر ایفای از ۰/۵ تا ۲ میکرون تأثیر این سه سازوکار، با افزایش قطر ایفای کاهش می یابد.

- با افزایش سرعت جریان، تأثیر سازوکار انتشار کاهش و تأثیر سازوکار اینرسی افزایش می یابد. سازوکار برخورد مستقیم، مستقل از سرعت است.

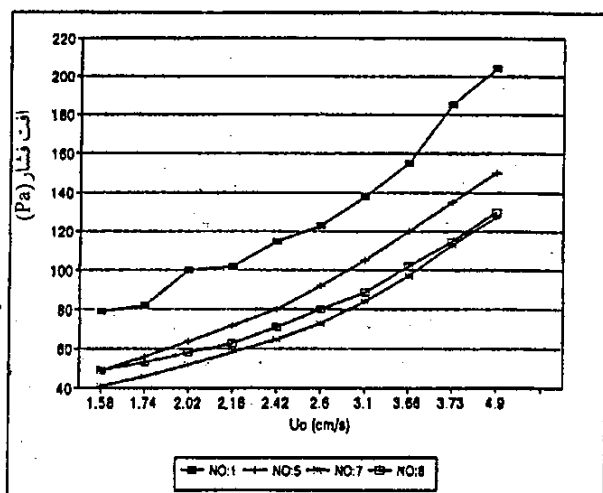
- با افزایش تخلخل بستر صافی، تأثیر سازوکارهای انتشار و برخورد مستقیم در رایش ذرات کاهش می یابد اما تغییرات سازوکار اینرسی مستقل از کیفیت تخلخل بستر است.

در بخش عملی پس از تکمیل سیستم آزمون، کارایی و افت فشارش صافی ULPA و سه صافی HEPA، با ذرات DOP



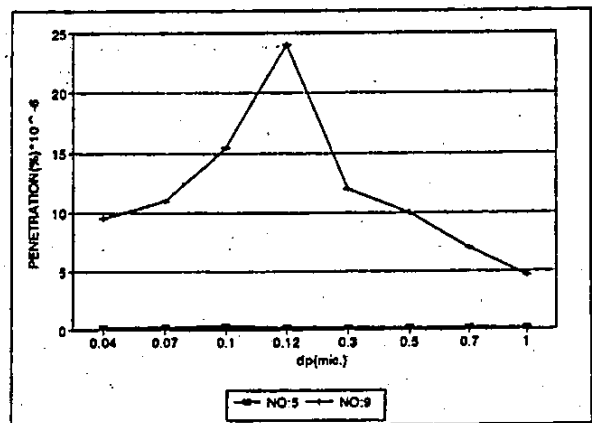
شکل ۵- تغییرات نفوذپذیری صافی ULPA، برحسب سرعت جریان هوا برای دو سطح صافی متفاوت

یکی از عوامل مهم و تعیین کننده در انتخاب و بکارگیری دستگاه پالایش هوا، میزان مصرف انرژی و هزینه راهبری این دستگاه است. در فرآیند تصفیه، میزان مصرف انرژی رابطه مستقیمی با افت فشار دارد. با افزایش سرعت عبور جریان گاز از صافی، افت فشار در آن نیز افزایش می‌یابد. افت فشار چهار نوع صافی برحسب سرعت جریان عبور هوا در شکل ۶ نشان داده شده است. بطوری که مشاهده می‌شود، افت فشار صافی‌های ULPA و HEPA با هم خیلی متفاوتند، اما افت فشار صافی‌های مشابه به هم نزدیک است.

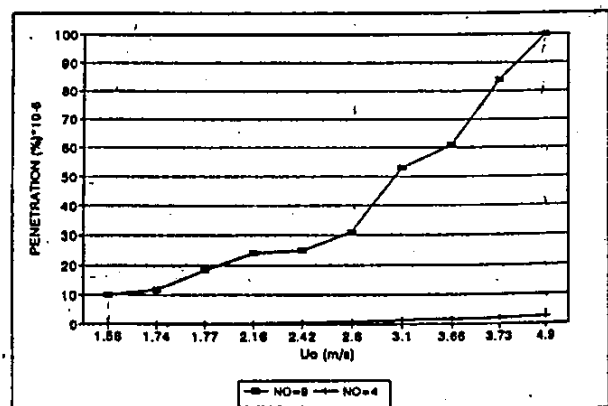


شکل ۶- تغییرات افت فشار صافی، برحسب سرعت جریان هوا

در مرحله بعد، نفوذپذیری صافیها برحسب سرعت جریان عبور گاز از آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان می‌دهند که با افزایش سرعت جریان، میزان نفوذپذیری صافیها بسته به قطر ذرات افزایش می‌یابد. شکل ۴ یافته‌های ما را از نفوذپذیری دو صافی HEPA و ULPA نشان می‌دهد: با افزایش سرعت از ۱/۵۸ به ۴/۹ سانتی متر بر ثانیه، میزان نفوذپذیری از 10^{-5} تا عملاً 10^{-4} درصد افزایش می‌یابد. با افزایش سطح مؤثر صافی در دبی ثابت، نفوذپذیری صافی کاهش می‌یابد. شکل ۵ نشان می‌دهد که در دبی ثابت $250 \text{ m}^3/\text{h}$ ($3/66 \text{ cm/s}$) با افزایش سطح مؤثر صافی ULPA از $1/7$ به $3/42$ متر مربع، مقدار نفوذپذیری از $1/2 \times 10^{-6}$ تا $0/3 \times 10^{-6}$ کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با دو برابر شدن سطح صافی، مقدار نفوذپذیری تقریباً چهار برابر کاسته می‌شود.



شکل ۳- تغییرات کارایی صافی HEPA و ULPA برحسب قطر ذرات در $U_o = 2.22 \text{ cm/s}$



شکل ۴- تغییرات نفوذپذیری صافیهای HEPA و ULPA، برحسب سرعت جریان هوا



حداکثر نفوذپذیری را دارند.

- با افزایش سرعت جریان هوا، تأثیر سازوکارهای انتشار و اینرسی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. سازوکار برخورد مستقیم مستقل از سرعت است.

- در دبی ثابت، با افزایش سطح مؤثر صافی، کارایی صافی افزایش ولی افت فشار در آن کاهش می‌یابد. یافته‌های ما نشان می‌دهند که با دو برابر شدن سطح مؤثر صافی، میزان نفوذپذیری صافی تا هفت برابر کاهش می‌یابد. بنابراین با توجه به رعایت جوانب اقتصادی ساخت صافی می‌توان با افزودن سطح صافی، کیفیت صافیها را افزایش داد.

- برای ساخت صافی‌های با کارایی بالا، استفاده از بسترهای با الیاف باریک و تخلخل کم، توصیه می‌شود.

- با توجه به کارایی بالای این صافیها در ربایش ذرات، می‌توان گفت که استفاده از آنها تنها روش ایجاد ایمنی در تأسیسات هسته‌ای است. نتایج بدست آمده از بخش آزمایشگاهی، بحث نظری ما را تایید می‌کنند.

بستر صافی‌های ULPA به سبب دارا بودن الیاف باریکتر و فشردگی بیشتر، در عبور هوا با سرعت ثابت افت فشار بیشتری نسبت به صافی‌های HEPA دارند. بعنوان مثال، در سرعت $2/02 \text{ cm/s}$ ، افت فشار صافی شماره ۱ (ULPA)، حدود ۲ برابر صافی شماره ۷ (HEPA) است. همچنین با افزایش سطح صافی، افت فشار کاهش می‌یابد. مثلاً افت فشار صافی شماره ۱، که سطح آن کوچکتر است به مراتب بیشتر از صافی شماره ۵ می‌باشد.

۴ - نتیجه‌گیری

در این کار پژوهشی به بررسی سازوکارهای مؤثر در ربایش ذرات و تعیین کارایی صافی‌های الیافی با کارایی بالا پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که:

- با افزایش قطر ذرات، در گستره اندازه ذرات مورد آزمون، تأثیر سازوکارهای انتشار کاهش ولی تأثیر سازوکارهای برخورد مستقیم و اینرسی افزایش می‌یابد. مجموع تأثیر این سه سازوکار، در مورد ذرات در گستره اندازه‌های $0/1$ تا $0/12$ میکرون حداقل است. بنابراین در این دامنه اندازه ذرات، صافی‌های HEPA و ULPA

مراجع:

۱- ادوارد وانتوانت پارکر، حقایقی در باره انرژی هسته‌ای، ترجمه سیروس کشاورزی و یوسف متولدی نویر، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۵۹).

۲- ا. صدیق‌زاده، س. م. حسینی، بررسی روشهای آزمون صافی‌های با کارایی بالا و انتخاب طراحی و ساخت بهترین روش آزمون، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه شیراز، (۱۳۷۸).

۳- ا. صدیق‌زاده، «آئروسولها در محیط زیست» نشریه انرژی هسته‌ای، شماره ۱۶، صفحات ۲۲-۱۴

۴- ا. صدیق‌زاده، س. م. حسینی، «بررسی کارایی صافی‌های مورد مصرف در اتاقهای تمیز» نشریه حرارت و برودت، شماره ۶۴، صفحات ۴۳-۳۹، اردیبهشت (۱۳۷۸).

5 - C.N. Davies, "Air filtration", Academic Press (1973).

6 - Hinds, C. William, "Aerosol technology properties behavior and measurement of airborne particles", John Wiley and Sons (1982).

7 - Jaime Benitz, "Process Engineering and desing for air pollution control", Prentic Hall, New jersey (1993).



- 8 - K. W. Lee and B.Y.H. Liu, "On the minimum efficiency and the most p.30,40,377-381(1980).
- 9 - S. Payet and et al., " Penetration des aerosols lipidiques dans les filters a fibers", 7 emes conference d'aerosol (1990).
- 10 - B. V. Ramaro, Chi tien and Mohan, "Calculation of single fiber efficiencies for interception and impaction with superposed Brownian motion, "J. Aerosol sci. Vol. 25, No.2, pp.295-313(1994).
- 11 - A. Renous, D.Boulaud, "Physique et Metrologie des Aerosols," TES and DOC, Paris(1998).
- 11 - A. Sadig Zadeh, "Etude de l "efficacite de captation des aerosols par unlit granulaire en l'absense et en presence d'ondes acoustiques, "Rapport CEA-R-5552(1991).
- 13 - G.A. Stevens, E.S.Moyer, "Worst case aerosol testing Parameter," Am. Ind. Hyg. Assos. J. 50(5), 264-267.
- 14 - P. A. F. White, " High efficiency air filtration, Butter Worths," London (1964).
- 15- W. Whyte, "Clean romm desing," John Willey and Sons(1991).

Theoretical and experimental evaluation of aerosol capture mechanisms and the determination of the quality of fibers filters (HEPA & ULPA) as used in nuclear industry

A. Sadigzadeh, S.M. Hosseini and M.R. Assadi Jaber

ibn Hayan Research Laboratories

Atomic energy Organization of Iran

Abstract

In this paper, theoretical and experimental evaluation of aerosol capture mechanisms and the determination of the efficiency of fiber filters (HEPA & ULPA) as used in the nuclear industry is reported. The contribution of diffusion, interception and inertia impaction mechanisms on the filter efficiency was considered theoretically. A filter test tunnel was designed and constructed in order to serve for the study of particles capture efficiency of the fiber filter by the Di Octhyl Phtalate method. The filter efficiency as a function of particle sizes, air flow and filter characteristics has been studied. Other factors such as, pressure drop of the filter verous the air flow was also determined.

Our investigations show that:

- The maximum penetration of the filters are in the range of 0.1 to $0.12\mu\text{m}$ of the particle diameters.
- The Ultra Low Penetration Air (ULPA) filter efficiency is cosiderably higher than the High Efficiency Particulate Air filter(HEPA).
- The filter efficiency is directly proportional to the air flow rate, fiber diameter and porosity of the filter media in the range of particles size.
- With a fixed flow rate, the efficieny and the pressure drop decreases as the filter area increases.
- The pressure drop of these filters is directly proportional to the air flow rate.