



Sci. and Tech. note

یادداشت علمی و فنی

## مطالعه‌ی سیستم پالایش و تصفیه‌ی آلاینده‌های گازی تأسیسات فرآوری اورانیم اصفهان

اصغر صدیق‌زاده\*، مهدی رستمی، صولت ثنا

پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران - ایران

**چکیده:** سیستم پالایش و تصفیه‌ی آلاینده‌های گازی تأسیسات فرآوری اورانیم (UCF) متشکل از چهار دستگاه فوم اسکرابر برای جذب آلاینده‌های گازی خطرناک و چهار مجموعه‌ی ۲۴ تایی از فریم فیلتر برای ربایش ذرات می‌باشد. در این مقاله، فرایندهای شستشو و جذب گازهای خطرناک در فوم تاورها و تصفیه و ربایش ذرات در فیلترها ارائه می‌شود. آلاینده‌های گازی این تأسیسات فرآوری، حاوی ترکیبات شیمیایی و پرتوزا می‌باشد. بنابراین کارآیی بالا باید از ویژگی‌های این سیستم پالایش باشد. برای نیل به این هدف، مطالعات نظری و تجربی برای انتخاب بسترهای فریم فیلترها انجام شد. مطالعات نظری نشان داد که بهترین بستر فیلتر دارای ضخامت و تخلخل بالا و قطر الیاف پایین می‌باشد. مطالعات تجربی برای انتخاب بسترهای مناسب به صورت تابعی از کارآیی، افت فشار، مقاومت شیمیایی و مکانیکی بر روی ۳۰ عدد بستر فیلتر انجام شد. هم‌چنین نمونه‌ی سیستم پالایش در مقیاس نیمه‌صنعتی طراحی و ساخته شد و کارآیی جذب آن برای آلاینده‌های گازی و پارامترهای اثرگذار مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بررسی‌های تجربی نشان داد که کارآیی حذف آلاینده‌های ذره‌ای و گازی سیستم پالایش تأسیسات فرآوری اورانیم اصفهان، به ترتیب، بیش از ۹۹٫۷٪ و ۹۷٪ است. با توجه به این نتایج و استانداردهای مورد استفاده در تأسیسات فرآوری اورانیم اصفهان و میزان آلودگی کارگاه‌ها، سطح آلاینده‌ها در خروجی دودکش نباید بیش از حد مجاز باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پالایش و تصفیه، آلاینده‌های گازی، تأسیسات فرآوری اورانیم، سیستم فوم اسکرابر

## Study of Gaseous Pollutants Purification and Filtration System of Uranium Conversion Facility (UCF)

A. Sadighzadeh\*, M. Rostami, S. Sana

Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O. Box: 11365-8486, Tehran-Iran

**Abstract:** Gaseous pollutants purification and filtration system of Uranium Conversion Facility includes four Foam Scrubbers and four groups of 24 frame filters to remove dangerous gases and particles from polluted air. In this paper, the purification processes of the dangerous gases in foam towers and removal of the particles in filters are presented. The gas pollution of this facility includes dangerous chemical and radioactive compounds; as a result the high efficiency can be one of the main properties of this purification system. For achieving this goal, theoretical and experimental studies are made to select filter frame media. Our theoretical studies show that the characteristics of the best filter media are: upper thickness, high porosity and formed by fine fibers. The experimental studies to select suitable media concerning efficiency, pressure drop, chemical and mechanical resistance are done in 30 filter media. The efficiency of chosen media is determined of about 99.7% by the experiment. In addition, a semi industrial sample of foam scrubber system was designed and built. The absorption efficiency of the system for acidic gas, the same as in UCF, was measured to be about 97%. Considering these results and prevailing the standards used in UCF and also the level of air pollution in workshops, the air pollution level in the stack outlet must not surpass the authorized amount.

**Keywords:** Purification and Filtration, Gaseous Pollutants, Uranium Conversion Facility, Foam Scrubbers System

\*email: asadigzadeh@aeoi.org.ir



## ۱- مقدمه

حدود  $3 \text{ m}^3/\text{hr}$  می‌باشد. در این فوم تاورها از محلول سدیم کربنات ۱٪ به عنوان محلول جاذب استفاده می‌شود. فوم تاورها دارای دیواره‌های بتونی بوده و توسط یک لایه‌ی محافظ از جنس وینیل استر پوشش داده شده‌اند تا از خوردگی آن‌ها توسط فلوریدریک اسید جلوگیری شود. در فوم تاورها از سه طبقه سینی‌های مشبک بدون ناودان برای تماس فازهای مایع و گاز استفاده شده است. آلاینده‌های گازی با حل شدن و از طریق واکنش با محلول جاذب، از هوا حذف می‌شوند. واکنش‌های اصلی عبارت‌اند از:



جریان جاذب مایع و آلاینده گازی در این برج از نوع متقابل می‌باشد. به این ترتیب که مایع از بالای برج و گاز از قسمت پایین برج وارد می‌شود. فشار فاز گاز در ورودی سینی باعث تجمع مایع و همچنین ایجاد کف در روی سینی‌ها می‌شود که این امر موجب تماس بیش‌تر فاز مایع و فاز گاز و در نهایت منجر به افزایش جذب مواد آلاینده‌ی موجود در فاز گاز توسط فاز مایع می‌گردد.

چنان‌که گفته شد، جاذب مایع درون برج، محلول ۱٪ سدیم کربنات است. این مایع در داخل سیستم به صورت بسته گردش می‌کند و پس از آن که حد آلاینده‌ها به ویژه آلاینده‌های پرتوزا در آن به مقدار از پیش تعیین شده رسید، محلول آلوده با محلول تازه جای‌گزین شده و محلول آلوده به واحدهای تصفیه منتقل می‌شود.

در قسمت فوقانی فوم تاورها برای جلوگیری از حمل ریزقطرات توسط جریان هوا، یک مرحله‌ی رطوبت‌گیری طراحی شده است. استفاده از رطوبت‌گیر از به هدر رفتن جاذب مایع و مرطوب شدن فیلترهای مرحله‌ی بعدی تصفیه و در نتیجه افزایش افت فشار آن‌ها جلوگیری می‌کند. این رطوبت‌گیرها از حلقه‌های راشینگ از جنس پلی‌وینیل کربن (PVC) ساخته شده‌اند. مقدار زیادی از آلاینده‌ها به خصوص بخش گازی آن‌ها توسط فوم تاورها جذب می‌شود. برای ربایش ذرات آلاینده و رساندن مقدار آن‌ها به حد استاندارد قابل رهاسازی در اتمسفر ( $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  برای اورانیم) از فیلترهای هوا استفاده می‌شود. بستر

در کلیه‌ی تأسیسات فرآوری که فرایند تولید در آن‌ها با ایجاد آلاینده‌های گازی و ذره‌ای همراه است، نصب سیستم‌های پایش و پالایش الزامی است. این یک ضرورت برای حفاظت پرسنل، مردم و محیط زیست است.

در تأسیسات فرآوری اورانیم اصفهان، تصفیه‌ی آلاینده‌های گازی حاصل از واحدهای فرایندی، در واحد پایش و پالایش آلاینده‌های گازی، انجام می‌شود؛ این واحد فصل مشترک کارخانه و محیط زیست، محسوب می‌شود.

حجم کل گازهای ورودی به این واحد، حدود  $300,000 \text{ m}^3/\text{hr}$  می‌باشد. این گازها بعد از تصفیه، از طریق دودکش ۸۰ متری در اتمسفر رها می‌شود. سیستم‌های پایش آلاینده‌های هوا برای ارزیابی میزان آلودگی گازهای خروجی در سطوح ۲۰ و ۶۰ متری دودکش، در نظر گرفته شده‌اند.

## ۲- سیستم پالایش و تصفیه‌ی آلاینده‌های گازی

مرکز پالایش و تصفیه‌ی آلاینده‌های گازی تأسیسات فرآوری اورانیم (UCF)<sup>(۱)</sup>، برای تصفیه‌ی گازهای خروجی واحدهای تولید  $\text{UO}_2$ ،  $\text{UF}_4$ ،  $\text{UF}_6$  و واحدهای تولید اورانیم فلزی طراحی شده است. در حال حاضر همه‌ی واحدها به جز اورانیم فلزی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. مجموع دبی گازهای ورودی به واحد پایش و پالایش آلاینده‌های گازی در حال حاضر حدود  $210,000$  متر مکعب بر ساعت می‌باشد که از این مقدار، ۶۰ درصد سهم کارگاه تولید  $\text{UF}_6$  می‌باشد.

گازهای ورودی واحد پایش و پالایش آلاینده‌های گازی، حاوی ترکیبات شیمیایی و پرتوزا می‌باشند. این گازها حاوی ترکیبات  $\text{UO}_2$ ،  $\text{HF}$ ،  $\text{F}_2$ ،  $\text{UF}_6$ ،  $\text{UF}_4$ ،  $\text{UO}_2\text{F}_2$  و مقدار کمی  $\text{Cl}_2$  می‌باشند که باید قبل از ورود به اتمسفر تا حد استاندارد قابل رهاسازی در اتمسفر (مقدار  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  برای اورانیم و  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  برای فلوئور)، تصفیه شوند [۱].

جریان گازهای ورودی واحد به وسیله‌ی چهار دستگاه فن با توان  $355 \text{ kW}$  ایجاد می‌شود. آلاینده‌های گازی ابتدا وارد برج‌های جذب می‌شوند. این برج‌ها از نوع جذب واکنشی بوده و اصطلاحاً فوم تاور یا فوم اسکرابر<sup>(۲)</sup> نامیده می‌شوند. در واحد پایش و پالایش آلاینده‌های گازی، چهار فوم تاور وجود دارد که سه فوم تاور در حال کار و فوم تاور چهارم در حالت آماده‌باش می‌باشد. ظرفیت هر یک از این فوم تاورها در



- سازوکارهای ربایش ذرات برای یک لیف استوانه‌ای شکل منفرد و مجزا در نظر گرفته شده است،  
- جریان ذرات در جهت عمود بر لیف است.  
سازوکارهای عمده‌ی ربایش ذرات در فیلترهای الیافی، انتشار، برخورد مستقیم، برخورد لختی، الکترواستاتیک، گرانشی، غربالی و غیره هستند که در این مطالعه، اثرگذارترین آن‌ها یعنی سه سازوکار اول در نظر گرفته شد.

کارآیی یک فیلتر الیافی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود [۲]

$$E = 1 - \exp[-4h(1-\varepsilon)\eta_t / (\pi \varepsilon d_f)] \quad (2)$$

که در آن،  $h$  و  $\varepsilon$ ، به ترتیب، ضخامت بستر فیلتر و میزان تخلخل بستر است و  $\eta_t$  و  $d_f$ ، به ترتیب، احتمال ربایش کل یک تار الیافی و قطر یک لیف بستر هستند. با چشم‌پوشی از تأثیر متقابل سازوکارهای مختلف بر یک‌دیگر، احتمال ربایش کل یک لیف از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

$$\eta_t = \eta_D + \eta_i + \eta_l \quad (3)$$

در این رابطه،  $\eta_D$ ،  $\eta_i$  و  $\eta_l$ ، به ترتیب، احتمال ربایش ذره از طریق سازوکارهای انتشار، برخورد مستقیم و برخورد لختی می‌باشد. سازوکار انتشار، عامل اصلی در ربایش ذرات کوچک‌تر از  $0.1$  میکرون است. حرکت این ذرات در هوا، تحت تأثیر برخورد مولکول‌های هوا با آن‌ها قرار می‌گیرد؛ در نتیجه این ذرات هنگام عبور از فیلتر، به طور تصادفی با لیف برخورد کرده و در اثر نیروی واندروالس به آن می‌چسبند و از جریان هوا حذف می‌شوند. اهمیت این سازوکار بستگی به قطر، سرعت ذرات و دمای هوا دارد. با افزایش دمای هوا و کاهش قطر ذره، شدت تأثیر این سازوکار افزایش می‌یابد. لیو و همکارانش، کارآیی ناشی از سازوکار انتشار یک لیف منفرد را به صورت زیر بیان کردند [۳]

$$\eta_D = 1.6 \left[ \frac{\alpha}{Ku} \right]^{1/3} pe^{-2/3} Cd \quad (4)$$

در این رابطه،  $\alpha$ ،  $pe$ ،  $Ku$  و  $Cd$ ، به ترتیب، ضرایب هیدرودینامیکی کوبارا، عدد پکلت، ضریب فشردگی بستر فیلتر و

فیلترهای مورد استفاده از جنس پلی‌اکریلیک بوده و آب‌گریز می‌باشند. در هر فوم تاور از بیست و چهار عدد فیلتر استفاده شده است که به صورت موازی کار می‌کنند. برای آب‌بندی فیلترها از آب به ارتفاع ۲۵-۲۲ cm در پایه‌ی فریم فیلترها استفاده می‌شود. افت فشار فیلترها به صورت دائمی کنترل می‌شود. این فیلترها در حالت خشک  $300-400 Pa$  افت فشار دارند و زمانی که میزان افت فشار فیلترها به  $1700-1500 Pa$  رسید، فیلترها باید شسته شوند. عمل شستشو حدود چهار مرتبه در سال انجام می‌شود. شستشو توسط دستگاه حمام فراصوتی انجام می‌شود. فیلترها بعد از شستشو و خشک‌شدن جهت ارزیابی کارآیی، مورد آزمون کارآیی قرار می‌گیرند. از روش آزمون استاندارد DOP برای تست ضریب کیفیت فیلترها استفاده می‌شود. میزان کارآیی ( $E$ ) فیلترها از طریق شمارش ذرات پایین دست و بالادست فیلترها و مقایسه‌ی آن‌ها تعیین می‌شود.

$$E = (1 - C_2/C_1) \times 100 \quad (1)$$

که در آن،  $C_1$  و  $C_2$  به ترتیب، غلظت عددی ذرات قبل و بعد از فیلتر شدن می‌باشد.

### ۳- فرایند جداسازی آلاینده‌های ذره‌ای

در فرایند تصفیه، ذرات در اثر سازوکارهای مختلفی از جمله پخش، برخورد مستقیم، و... با فیلتر برخورد کرده و بنا به فرض، تمام آن‌ها گیرافتاده و در اثر نیروی الکترواستاتیک و اندروالس به فیلترها می‌چسبند. مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار در فرایند تصفیه‌ی هوا با فیلترها عبارت‌اند از:

- مشخصه‌های جریان: سرعت و دما،
- مشخصه‌های فیزیکی ذرات: توزیع اندازه، تراکم و چگالی،
- ویژگی‌های بستر فیلتر: قطر الیاف، فشردگی و ضخامت بستر فیلتر.

#### ۳-۱- مطالعات نظری انتخاب بستر مناسب فریم فیلتر

مشخصات بستر مناسب فیلترهای الیافی برای ربایش ذرات، از مطالعات نظری به دست آمد.

در بررسی مشخصات بستر، برای سهولت در امر محاسبات فرض شده است که:

- ذرات کروی شکل بوده و غلظت آن‌ها کم است،



که در آن،  $R$  پارامتر برخورد مستقیم می‌باشد که برابر نسبت قطر ذره به قطر لیف است

$$R = d_p / d_f \quad (11)$$

$Cr$  (ضریب تصحیح سازوکار برخورد مستقیم) در رابطه‌ی ۱۰، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

$$Cr = 1 + 1.996 Kn/R \quad (12)$$

ذرات درشت موجود در جریان هنگامی که به لیف می‌رسند، به علت داشتن لختی بالا، از خط جریان منحرف شده و پس از برخورد با لیاف از جریان حذف می‌شوند. این سازوکار حذف ذرات را سازوکار برخورد لختی می‌نامند.

اساس سازوکار عمده‌ی ربایش ذرات بزرگ‌تر از یک میکرون به وسیله‌ی لیاف در سرعت‌های بالا لختی است.

استکینا و همکارانش در [۴] ۱۹۶۹، برای محاسبه‌ی کارآیی ربایش ذرات از طریق سازوکار لختی رابطه‌ی تجربی زیر را به کار بردند

$$\eta_i = 0.0334 Stk^{3/2} [1 + 0.0334 Stk^{3/2}]^{-1} \quad (13)$$

که در آن،  $Stk$  عدد استوکس می‌باشد که برابر است با نسبت طول توقف ذره ( $Sp$ ) به قطر لیف

$$Stk = Sp / d_f \quad (14)$$

از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود

$$Sp = Cu \rho_p d_p^2 U / 18 \eta_g \quad (15)$$

که در آن،  $\rho_p$  چگالی ذره است.

چنان که از روابط (۱) تا (۱۴) استنباط می‌شود، بستر فیلتر موردنظر باید دارای خصوصیات قطر لیاف بسیار کوچک، تخلخل و ضخامت بالا باشد.

ضریب تصحیح سازوکار انتشار هستند.  $Ku$  معرف انحراف مسیر جریان گاز در اطراف یک لیف است که از فشردگی لیاف ناشی می‌شود. این ضریب تنها به تخلخل فیلتر بستگی دارد.

$$Ku = -(1/2) \ln \alpha + \alpha - (\alpha^2/4) - (3/4) \quad (5)$$

$Pe$  بستگی به سرعت جریان ( $U$ )، قطر لیف ( $d_f$ ) و ضریب انتشار براونی ( $D_B$ ) دارد

$$Pe = U d_f / D_B \quad (6)$$

$$D_B = kT Cu / 3\pi \eta_g d_p \quad (7)$$

که در آن،  $k$ ،  $T$ ،  $Cu$ ،  $\eta_g$  و  $d_p$ ، به ترتیب، ثابت بولتزمن، دمای هوا، ضریب تصحیح کانینگهام، گران روی دینامیکی هوا و قطر ذره هستند.  $Cd$ ، ضریب تصحیح سازوکار انتشار، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$Cd = 1 + 0.388 Kn \left[ \frac{\alpha Pe}{Ku} \right]^{-1/3} \quad (8)$$

که در آن،  $Kn$  عدد نادسن است

$$Kn = 2\lambda / d_f \quad (9)$$

در این رابطه،  $\lambda$  میانگین پویس آزاد مولکول‌های گاز است. چنانچه ملاحظه می‌شود، کارآیی سازوکار انتشار با کاهش قطر لیف‌ها و افزایش میزان تخلخل افزایش می‌یابد.

در فیلترهای با کارآیی بالا، برای ذرات با قطر ۰٫۱ تا ۰٫۵ میکرون سازوکار برخورد مستقیم غالب است. لیو و همکارانش، کارآیی یک لیف منفرد برای برخورد مستقیم را به صورت زیر عرضه کرده‌اند [۳]

$$\eta_i = 0.6 \left[ \frac{(1-\alpha) R^2}{Ku (1+R)} \right] Cr \quad (10)$$

#### ۴- روش‌ها و وسایل

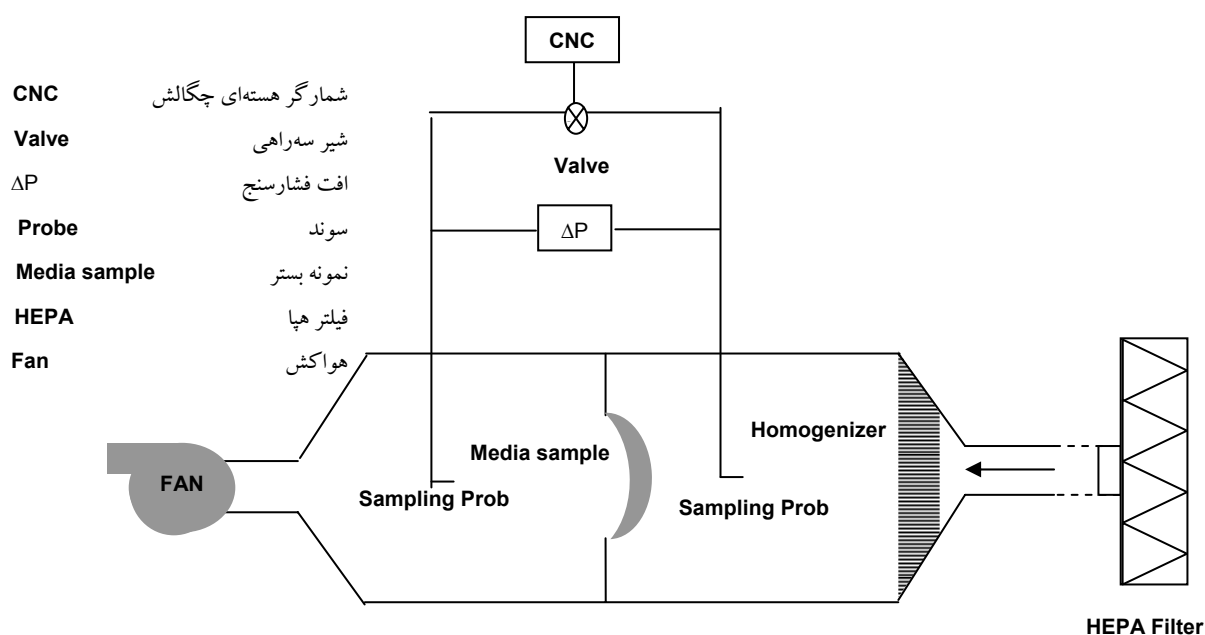
آلاینده‌های کارگاه‌های تأسیسات فرآوری اورانیم اصفهان از نظر شیمیایی و پرتوزایی، خطرناک می‌باشند و به این علت سیستم تصفیه‌ی آن برای حفاظت از پرسنل و محیط زیست، باید از کارآیی بسیار بالایی برخوردار باشد. در این مطالعه برای انتخاب بسترهای فریم فیلترهای مورد استفاده برای ربایش ذرات آلاینده، یک سیستم تست استاندارد DOP مورد استفاده قرار گرفت [۵]. هم‌چنین از یک نمونه‌ی نیمه‌صنعتی فوم اسکرابر برای محاسبه‌ی پارامترهای اثرگذار در طراحی، ساخت و کارآیی جذب آلاینده‌های گازی استفاده شد [۶].

تونل تست فیلتر (شکل ۱)، یک محفظه‌ی استوانه‌ای شکل، با یک مسیر ورود و خروج هوا در دو سر آن می‌باشد. این تونل در آزمایشگاه مهندسی محیط زیست آزمایشگاه‌های جابربن حیان طراحی و ساخته شده است. ابعاد این محفظه برای ایجاد جریان هموار و یکنواخت هوای عبوری، محاسبه، طراحی و ساخته شده است. محل استقرار فیلتر در قسمت میانی این تونل قرار دارد. در دو طرف محل استقرار فیلتر، دو سوند نمونه‌برداری تعبیه شده است تا از ذرات اثر و سول قبل و بعد از فیلتر نمونه‌برداری شود. از یک شیر سه‌راهی برای تغییر مسیر جریان نمونه‌برداری برای تعیین تراکم عددی<sup>(۳)</sup> ذرات هوا در قبل و بعد از فیلتر استفاده می‌شود.

جریان هوا در کل سیستم توسط یک پمپ با ظرفیت ۱۰۰ لیتر بر دقیقه ایجاد می‌شود. برای اندازه‌گیری تراکم عددی ذرات در دو طرف فیلتر از یک شمارگر هسته‌ای چگالش<sup>(۴)</sup> مدل 3022A ساخت کارخانه‌ی TSA استفاده می‌شود. این شمارگر از یک منبع نوری با دیود لیزری، ریزپردازنده‌ی کنترل سیستم داخلی، پمپ مکش هوای نمونه با دبی ثابت و صفحه‌ی دیجیتال برای نمایش غلظت ذرات و پارامترهای دستگاه، تشکیل شده است. دبی‌های نمونه‌برداری دستگاه از ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر مکعب در ثانیه قابل تنظیم است. گستره‌ی شمارش تراکم ذرات با شمارگر هسته‌ای چگالش، از ۰٫۰۱ تا  $9,99 \times 10^6$  ذره در سانتی‌متر مکعب هوا می‌باشد.

برای اندازه‌گیری افت فشار فیلترها از یک فشارسنج دیجیتالی ساخت شرکت ایرفلو<sup>(۵)</sup> استفاده شد.

برای آزمون نشت در تونل تست فیلتر، هوای تمیز حاصل از یک فیلتر هپا از سیستم عبور داده شده و غلظت ذرات در سیستم اندازه‌گیری شد. در مرحله‌ی بعد با خارج کردن فیلتر هپا از سیستم، هوای آزمایشگاه وارد سیستم شد. تراکم عددی ذرات، با محاسبه‌ی میانگین غلظت عددی در مدت یک دقیقه مشخص و ثبت گردید.



شکل ۱- نمایی از تونل تست فیلتر.



## ۵- نتایج و بحث

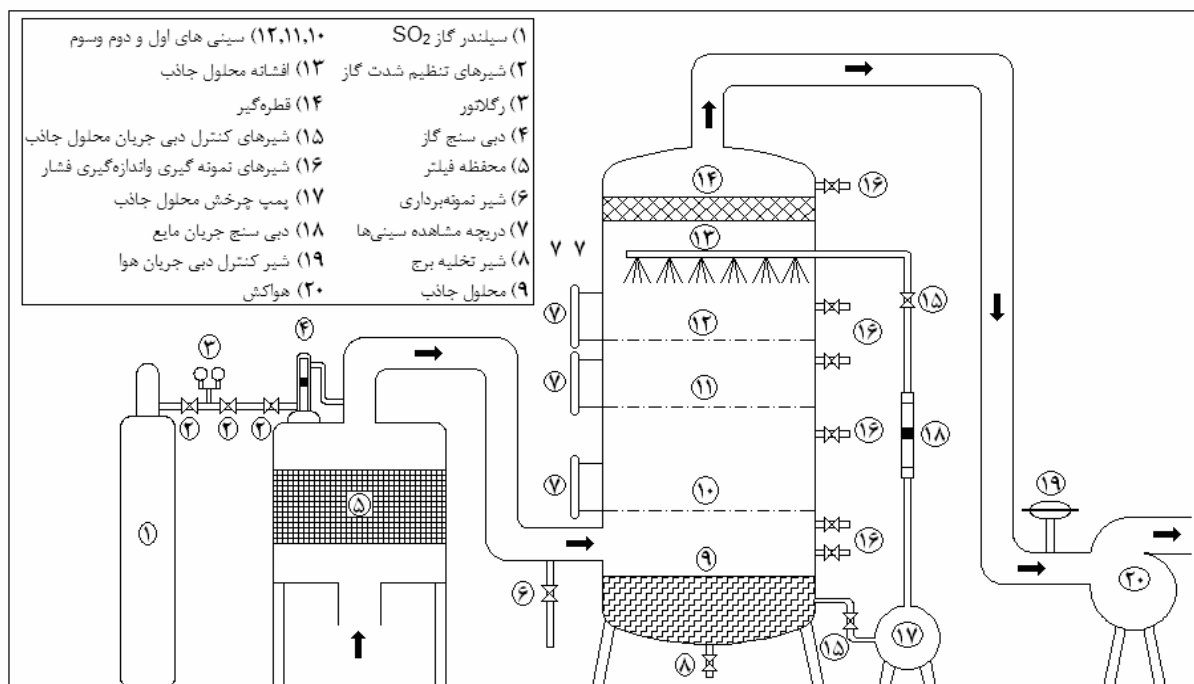
بررسی کارایی جذب آلاینده‌های گازی سیستم پالایش تأسیسات فرآوری اورانیم اصفهان، با روش استاندارد جذب گاز  $SO_2$  و با استفاده از نمونه‌ی نیمه‌صنعتی فوم اسکرابر انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که کارایی سیستم بالای ۹۷ درصد می‌باشد (شکل ۳). چنان که در این شکل مشاهده می‌شود غلظت جذب در محلول جذب در کارایی سیستم عملاً اثری ندارد و اثر آن تنها در مدت زمان بهره‌برداری از سیستم پالایش می‌باشد [۶].

بررسی‌های آزمایشگاهی برای انتخاب بستر فیلترها بعد از حذف بسترهای فاقد ویژگی‌های به دست آمده از مطالعات نظری و بررسی مقاومت مکانیکی، شیمیایی و مقاوت در برابر تابش، انجام پذیرفت [۵]. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که با وجود حذف بسترهایی که مشخصه‌های آن‌ها با نتایج حاصل از مطالعات نظری منافات داشت، بسترهای مورد آزمون دارای کارایی و افت فشار بسیار متفاوتی می‌باشند (شکل ۴). چنان که در این شکل ملاحظه می‌شود بستر شماره ۱۹ دارای بالاترین کارایی می‌باشد. این بستر با کارایی ۹۹٫۷ درصد برای ساخت فریم فیلترها انتخاب شد.

هم‌چنین از یک نمونه‌ی نیمه‌صنعتی فوم اسکرابر در راستای محاسبه‌ی پارامترهای مؤثر بر طراحی، ساخت و کارایی جذب برای آلاینده‌های گازی استفاده شد. در این مطالعه، کارایی و افت فشار شوینده‌های تر به صورتی تابعی از پارامترهای مؤثر دبی جریان گاز و مایع جاذب، غلظت آلاینده و جاذب، بررسی شد. برای انجام آزمون‌ها از یک برج جذب در مقیاس نیمه‌صنعتی با مشخصات زیر استفاده شد:

قطر برج ۶۰۰ mm، تعداد و ضخامت سینی‌های، به ترتیب، برابر با ۳، ۶ mm و قطر سوراخ‌های برابر با ۶ mm استفاده شد (شکل ۲). از خروج ریزقطرات مایع از برج، با استفاده از یک قطره گیر جلوگیری شد.

غلظت گاز آلاینده در جریان‌های ورودی و خروجی برج جذب با دستگاه تجزیه‌ای نووا<sup>(۶)</sup> مدل 613678TK اندازه‌گیری شد. محدوده‌ی اندازه‌گیری این دستگاه برای گاز  $SO_2$  از ۱ الی ۲۰۰۰ ppm است. برای حذف بخار آب از گاز نمونه، از یک چگالنده که قبل از تحلیل‌گر نصب شده بود، استفاده شد. با استفاده از دستگاه APM50K، افت فشار سیستم اندازه‌گیری شد. قابلیت اندازه‌گیری افت فشار با این دستگاه در محدوده‌ی ۰ تا ۵۰۰ میلی‌بار است. برای اندازه‌گیری سرعت جریان گاز از جریان‌سنج پروانه‌ای مدل LCA 30VA ساخت شرکت ایرفلو استفاده شد. گاز گوگرد دی‌اکسید با خلوص ۹۹٫۹٪ و سدیم کربنات صنعتی، به ترتیب، به عنوان آلاینده‌ی گازی مرجع و جاذب به کار گرفته شدند.



شکل ۲- طرح‌واره‌ی سیستم پایلوت.

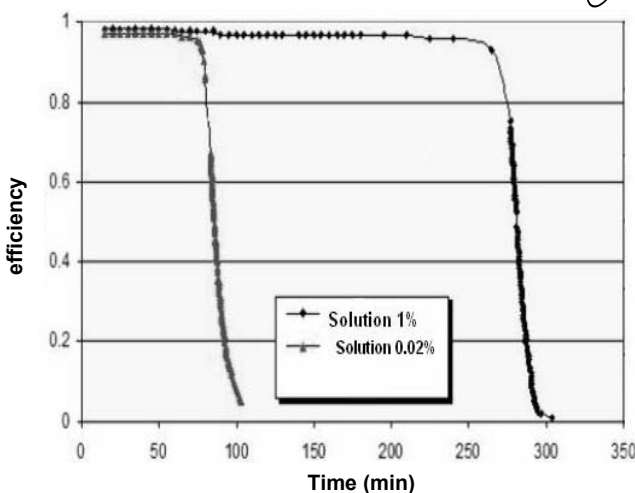


### پی‌نوشت‌ها:

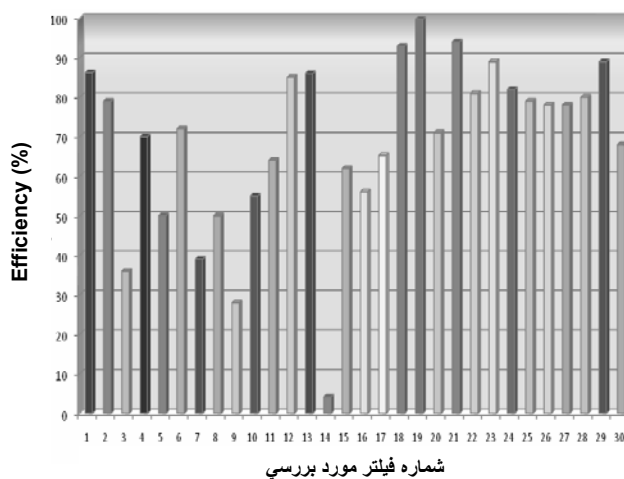
- ۱- UCF: Uranium Conversion Facility
- ۲- Foam Scrubber
- ۳- Numerical Concentration
- ۴- CNC: Condensation Nuclear Counter
- ۵- Air Flow
- ۶- NOVA Analytical System

### References:

۱. صدیق‌زاده و ف. مبصر، "گزارش شبیه‌سازی دستگاه برج جذبی"، گزارش داخلی سازمان انرژی اتمی ایران (۱۳۸۱).
۲. م. حسینی، "بررسی روش‌های آزمون فیلترهای الیافی هوای با کارایی بالا"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد (۱۳۷۸).
۳. ا. صدیق‌زاده، م. حسینی، م.ر. اسدی، "بررسی نظری و علمی ساز و کارهای حذف ذرات و تعیین کیفیت صافی‌های الیافی با کارایی بسیار بالا"، نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۲۲ (۱۳۷۹).
۴. W.S. Norman, Absorption, "Distillation and Cooling Tower," Longmans (1961).
۵. ا. صدیق‌زاده، م. علی‌ابراهیمی، س. سرکاری، "گزارش آزمون مدیای فریم فیلترها"، گزارش داخلی سازمان انرژی اتمی ایران (۱۳۸۱).
۶. ن. طاهرخانی، "طراحی، ساخت و بهینه‌سازی یک پایلوت اسکرابر"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد (۱۳۸۴).



شکل ۳- تغییرات کارایی جذب گاز  $SO_2$  در سیستم فوم اسکرابر با زمان و غلظت جاذب در محلول جذب.



شکل ۴- نتایج آزمون کارایی برای انتخاب بستر فیلتر.

### ۶- نتیجه‌گیری

بررسی‌های آزمایشگاهی به عمل آمده برای انتخاب بستر فریم فیلترها و تعیین پارامترهای تأثیرگذار بر کارایی جذب آلاینده‌های گازی منجر به ساخت سیستم تصفیه در کارخانه‌ی فرآوری اورانیم شد که کارایی حذف آلاینده‌های ذره‌ای و گازی آن به ترتیب بیش از ۹۹٫۷٪ و ۹۷٪ است. از طرف دیگر، حداکثر میزان غلظت مجاز رهاسازی در اتمسفر برای اورانیم و فلوتور، به ترتیب، برابر ۲ و  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  است. با فرض ناکارایی فوم اسکرابرها برای حذف آلاینده‌های ذره‌ای، مقدار بیشینه‌ی آلاینده‌های ذره‌ای اورانیم و گاز فلوتور در کارگاه‌های تولیدی نباید از ۶۶ و  $3333 \mu\text{g}/\text{m}^3$  تجاوز کند.