

تعیین ضریب دیفیوژن فیلتر EPS، به روش‌های فعال و غیر فعال

خدارحم قندی^{۱*}، مجتبی رحیمی^۱، علی نگارستانی^۲، حسن رنجبر عسکری^۱

۱- رفسنجان - دانشگاه ولی عصر (عج) - گروه فیزیک

۲- تهران - سازمان انرژی اتمی ایران، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی ماهان

چکیده

با توجه به اهمیت و نقش فیلتر در طراحی آشکارسازهای رادن، اندازه‌گیری ضریب دیفیوژن فیلترها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. در این مقاله نحوه‌ی اندازه‌گیری ضریب دیفیوژن به روش‌های فعال و غیر فعال مورد مطالعه قرار می‌گیرد. که در روش فعال از دستگاه Rad 7 و در روش غیر فعال از آشکارسازهای پلی‌کربنات CR-39 استفاده شده است. به علت یکسان نبودن نحوه‌ی اندازه‌گیری روش‌ها، مقادیر به‌دست آمده‌ی ضریب دیفیوژن از این دو روش متفاوت می‌باشد هر چند که جنس ماده‌ی مورد استفاده یکسان می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که علاوه بر جنس موادی که فیلتر از آن ساخته می‌شود، همچنین نحوه‌ی اندازه‌گیری شرایط محیطی از جمله دما و فشار نیز نقش به‌سزایی در مقدار ضریب دیفیوژن دارند.

کلیدواژه: فیلتر، ضریب دیفیوژن، رادن، آشکارساز CR-39، Rad 7

مقدمه

رادن (^{222}Rn) یک گاز نجیب رادیواکتیو است که از واپاشی سری اورانیوم ۲۳۸ تولید می‌شود. هسته‌های دختر آن نیز که رادیواکتیو هستند پلونیوم ۲۱۸ (^{218}Po) و پلونیوم ۲۱۴ (^{214}Po) می‌باشند. با توجه به نیمه عمر هسته ^{222}Rn ($3/88 d$)، کسری از گاز ^{222}Rn تولیدشده در اثر واپاشی در درون خاک می‌تواند فاصله‌ی زیادی را طی کرده و به سطح زمین برسد و وارد اتمسفر شود. لذا از تغییر غلظت گاز رادن در سطح زمین در پیش‌نشانگرهای زلزله، تعیین گسل‌های فعال و کشف معادن اورانیوم استفاده می‌شود. دخترهای رادیواکتیو رادن، در شرایط عادی معلق هستند. غلظت مواد رادیواکتیو ^{222}Rn و دخترانش در جو از جایی به جای دیگر متفاوت است و بستگی به وجود اورانیوم در زمین اطراف آن ناحیه دارد. رادن یک گاز نجیب است که می‌تواند در مواد متفاوت نفوذ کند و از نظر میکروسکوپی موجب عیوبی همانند ترک، درز و عیب ساختاری در عناصر می‌شود [1]، [2] نفوذ رادن بین ماده‌های متفاوت برای وجود رادن و اندازه‌گیری آن، یک پدیده‌ی جالب و هدفی مهم است. با توجه به موارد استفاده، از آشکارساز غیر فعال معمولاً به دو صورت با فیلتر یا بدون فیلتر انجام می‌گیرد، اما آشکارسازی بدون فیلتر مشکلاتی بوجود می‌آورد، از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱- در طول زمان پرتودهی ذرات غبار و بخار آب می‌توانند و بر روی آشکارساز بنشینند، بخار آب می‌تواند چگالیده شود و یک لایه نوار نازک از آب را بر روی آشکارساز ایجاد کند، بنابراین ذرات α ایجاد شده از رادن و دخترانش توسط ذرات غبار و بخار آب در هوا و روی سطح، جذب یا باعث کاهش انرژی‌شان می‌شود.

۲- مشکل دوم که خیلی بنیادی‌تر از اولی است، این است که رادن در هوا وجود دارد و غیر از اینکه خود α تشعشع می‌کند دخترانش نیز α تشعشع می‌کنند بنابراین ردهای که آشکارساز ثبت می‌کند نه تنها متعلق به رادن است بلکه متعلق به دخترهای آن نیز می‌باشد استفاده از ضریب کالیبراسیون، تنها برای تخمین گاز رادن درست نمی‌باشد و سهم دختران آن نیز باید در نظر گرفته شود.

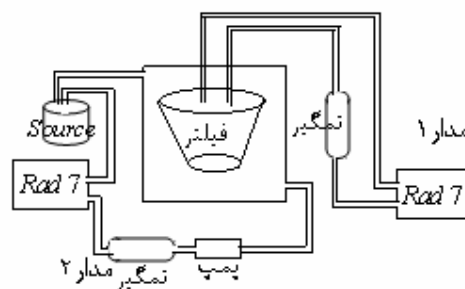
۳- از مشکلات دیگر، گاز تورن (^{220}Rn) و دخترانش در هوا می‌باشند که از سری توریوم (^{232}Th) ناشی می‌شوند. اگر چه غلظت تورن در بسیاری از مناطق کوچک است و مقدار متوسط آن تنها ۵٪ از غلظت ^{222}Rn است، در بعضی از نقاط از جمله بعضی از خانه‌های هنگ کنگ، غلظت تورن خیلی مهم می‌باشد [3]، [4]، [5] بنابراین مقدار در نظر گرفته شده برای غلظت ^{222}Rn در این مناطق بیشتر از مقدار واقعی آن می‌باشد لذا بهتر است برای اندازه‌گیری غلظت رادن از سیستم بسته یعنی از فیلتر استفاده کرد. فیلتر ایده‌آل فقط اجازه عبور گاز رادن (^{222}Rn) را می‌دهد و از عبور غبار، بخار آب، دختران کوتاه عمر رادن و تورن جلوگیری می‌کند. بنابراین شناخت پارامترهای مختلف فیلتر مورد استفاده از جمله ضریب دیفیوژن آن از اهمیت به‌سزائی برخوردار است. ضریب نفوذپذیری فیلترهای از یک جنس ممکن است به دلایل مختلف از

جمله تکنولوژی ساخت، که منجر به تغییر بعضی خصوصیات فیزیکی آن می‌شود، متفاوت باشد و مقادیر بدست آمده برای ضریب نفوذپذیری آن فیلترهای از یک جنس، مقداری نوسان دارد [6]. پس لازم است در طراحی آشکارسازهای بسته، ابتدا ضریب نفوذپذیری فیلترها اندازه‌گیری گردد. در این مقاله ضریب نفوذپذیری بعضی از مواد را که می‌توان به عنوان فیلتر استفاده نمود به دو روش فعال و غیر فعال مورد مطالعه قرار داده و در مورد نحوه‌ی انجام کار و نتایج بدست آمده از این دو روش بحث می‌گردد.

روش کار

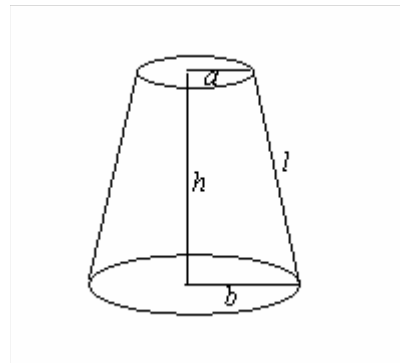
روش فعال

در این روش، از دو دستگاه Rad 7 با کالیبراسیون یکسان یکی جهت غلظت رادن درون فیلتر، و دیگری برای خارج فیلتر استفاده گردید ابتدا فیلترها را، از عناصری از جنس پلکسی با ضخامت 2 mm ، فیبر استخونی با ضخامت 3 mm و پلیکا با ضخامت 3 mm استفاده گردید، ولی نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان داده که این عناصر هیچگونه رادنی عبور نمی‌دهند و مقادیر انداره‌گیری شده، در دامنه‌ی خطای دستگاه بوده‌اند، پس از یک لیوان پلیمری EPS به عنوان فیلتر استفاده شده، و سیستم را به صورت زیر وصل کرده‌ایم (شکل ۱).



شکل ۱

فیلتر EPS یک مخروط ناقصی، است با ارتفاع $h = 92.7\text{ mm}$ ، شعاع سطح قاعده‌های کوچک و بزرگ به ترتیب برابر با $a = 20.9\text{ mm}$ ، $b = 34.09\text{ mm}$ و ضخامت $\delta = 2.26\text{ mm}$ می‌باشد. و جای دو شلینگ به شعاع $\xi = 4.89\text{ mm}$ روی سطح قاعده‌ی بزرگ در آورده شد. محفظه‌ی فیلتر در شکل ۲ مشخص شده است.



شکل ۲

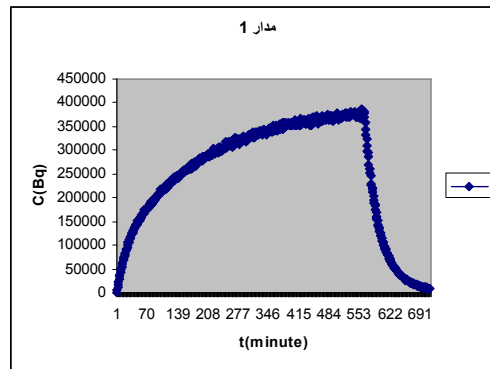
ابتدا هر دو دستگاه با پمپ مربوطشان را روشن کرده با توجه به وجود منبع رادن در مدار ۲ ابتدا غلظت رادن درون محفظه‌ی اطراف فیلتر بالا می‌رود و افزایش غلظت رادن، باعث می‌شود رادن به خود محفظه‌ی فیلتر EPS نفوذ کند تا به تعادل برسد. در این صورت با داشتن غلظت رادنی که هر دستگاه نشان می‌دهد، نفوذپذیری فیلتر p (بر حسب cm^2s^{-1}) از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود [2]، [7]

$$p = \frac{V \delta \lambda}{S} \left(\frac{C_2}{C_1 - C_2} \right) \quad (1)$$

به طوری که S ، δ به ترتیب مساحت و ضخامت فیلتر، V حجم محفظه‌ی فیلتر و محفظه‌ی آشکارساز، λ ثابت واپاشی رادن ^{222}Rn ($2.09 \times 10^{-6} s^{-1}$) و C_1 ، C_2 به ترتیب غلظت بیرون و درون اتاقک فیلتر بر حسب Bq می‌باشد. و با جایگزاری مقادیر بالا، در رابطه‌ی ۱ مقدار اندازه‌گیری شده برای ضریب نفوذپذیری برابر با:

$$p_a = (6.11353 \pm .25) \times 10^{-5} cm^2s^{-1}$$

به طوری که p_a نفوذپذیری در دستگاه فعال را نشان می‌دهد. چون در این حالت نفوذپذیری مربوط به شیلنگها و خود دستگاهها نادیده گرفته شده است، بنابراین انتظار می‌رود جواب کاملاً دقیق بدست نیاید. لذا دوباره دستگاه‌های Rad 7 را روشن نمود، و صبر می‌کنیم تا غلظت درون محفظه‌ی فیلتر کاملاً با غلظت بیرون به تعادل برسد. در این حالت با برداشتن دستگاه Rad 7 و منبع رادن را از مدار ۲ به طوری که مدار ۲ باز مانده ولی مدار ۱ هم‌چنان بسته باشد چون مدار ۲ باز می‌باشد لذا غلظت رادن درون محفظه‌ی فیلتر شروع به دیفوزن به خارج می‌کند، تا زمانی که خالی شود (شکل ۳).



شکل ۳

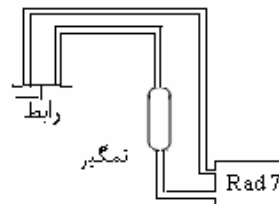
این آزمایش در دمای اتاق دمای 25° ، چرخه زمانی ۱۰ دقیقه و رطوبت ۱۳٪ انجام شد. بر روی قسمت دوم نمودار شکل ۳ که مربوط به حالت خالی شدن محفظه‌ی فیلتر است با استفاده از نرم افزار Origin، معادله‌ی زیر را برازش کردیم.

$$C = C_0 + Be^{\frac{T-t_0}{t_1}} \quad (2)$$

که $C_0 = 8598.041 Bq$, $B = 8.8996 Bq$, $t_0 = .00001 min$, $t_1 = -26.48976 min$ با توجه به مقادیر بالا، ثابت زمانی به صورت زیر بدست می‌آید.

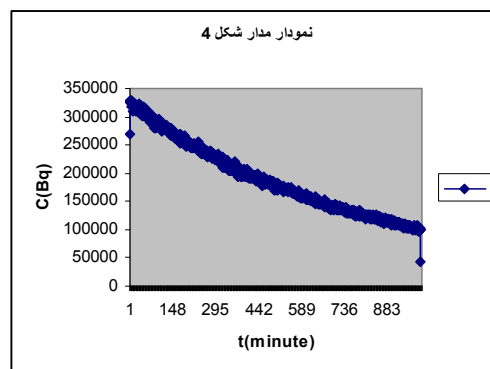
$$T = 1.5893862 \times 10^4 s$$

در مرحله دوم نفوذپذیری مربوط به شیلنگها و خود دستگاه را بدست آورده شد (شکل ۴).



شکل ۴

و نمودار مربوط به نفوذپذیری و رخنه‌ی شیلنگها و خود دستگاه را به صورت زیر رسم می‌شود (شکل ۵)



شکل ۵

در این حالت چرخه زمانی ۵ دقیقه‌ای است، و مانند حالت قبلی بر روی نمودار معادله‌ی زیر را برازش کردیم.

$$C' = C'_0 + B'e^{-\frac{t-t_0}{t_{leak}}} \quad (3)$$

که $t'_1 = 606.06 \text{ min}$ ، $t_0 = .0000001 \text{ min}$ ، $C'_0 = 42083.47 \text{ Bq}$ ، $B' = 290386.197 \text{ Bq}$ با توجه به مقادیر بالا ثابت زمانی به صورت زیر بدست می‌آید.

$$t_{leak} = 2.23863048 \times 10^6 \text{ s}$$

با توجه به ثابتهای زمانی که از هر دو حالت بدست آورده شده و همچنین زمان واپاشی خود رادن، می‌توان زمان نفوذپذیری را بدست آورد [8].

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{t_{ch}} + \frac{1}{t_{leak}} \quad (4)$$

به طوری که T و t_{ch} به ترتیب ثابت زمانی کل و مربوط به محفظه‌ی فیلتر و خود رادن است که بر حسب ثانیه اندازه‌گیری شده است، و از طرفی داریم [8].

$$\frac{1}{t_{ch}} = \frac{1}{t_{dif}} + \frac{1}{t_{Rn}} \quad (5)$$

با توجه به داده‌های بالا $t_{dif} = 27174.5037 \text{ s}$ و با توجه به معادله نفوذپذیری D (بر حسب $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$) که به صورت زیر داریم [8].

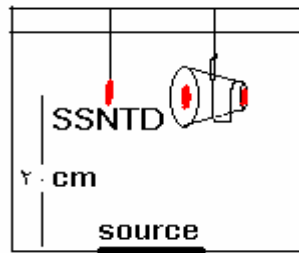
$$D = \frac{\delta V}{t_{dif} S} \quad (6)$$

ضریب نفوذپذیری فیلتر پس از چندین مرتبه اندازه‌گیری، و به صورت زیر بدست آمد.

$$D = (1.7949465 \pm 0.181) \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

روش غیر فعال

در این حالت از آشکارسازهای حالت جامد CR-39 استفاده می‌کنیم. دو تا آشکارساز را در هر دو قاعده از محفظه‌ی فیلتر (درون فیلتر) با ابعاد و اندازه‌ی استفاده شده در مرحله قبل نصب می‌کنیم و یک آشکارساز دیگر در بیرون محفظه‌ی فیلتر به فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متر از کف ظرف آویزان کردیم (شکل ۶) و پشت این آشکارساز را لایه نازک دستمال کاغذی چسبانده‌ایم تا از یک طرف



شکل ۶

ذرات را ثبت کند. منبع رادن با اکتیویته پایین که به صورت سنگ می‌باشد (از این منبع امکان واپاشی گاز سنگین تورن ^{220}Rn با نیمه عمر ۵۶ ثانیه وجود دارد) در کف ظرف قرار داده شد. مدت زمان حرکت گاز تورن، از کف ظرف تا آشکارسازها (فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متری از کف ظرف) بیشتر از نیمه عمرش می‌باشد بنابراین واپاشی کرده و از بین می‌رود. در نتیجه آلفاهای که در سطح آشکارسازهای $CR-39$ رد ایجاد کرده تنها ناشی از آلفاهای تولید شده از گاز رادن و دخترانش می‌باشد. این آزمایش در دمای اتاق اندازه‌گیری شد و آشکارسازها به مدت یک هفته در معرض پرتو قرار گرفته‌اند و مراحل زیر را برای خواندن اثرات α های تولید شده از این گاز رادن و دخترانش بر روی آنها انجام می‌شود. سپس آشکارسازها را برای بزرگ نمودن ردپاها و انجام خوردگی شیمیایی برای مدت ۳-۵ ساعت در محلول ۶ نرمال $NaOH$ و در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد تحت عمل خوردگی قرار می‌دهیم. سپس آنها را با آب معمولی شستشو داده و خشک کرده تا آماده شمارش شوند. بعد آشکارسازهای $CR-39$ در زیر میکروسکوپ نوری، با بزرگنمایی موردنظر قرار داده و ردهای حاصل را برای مکانهای مختلف از سطح آشکارساز که به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند، شمارش می‌کنیم. نکته جالبی که انتظار می‌رفت تعداد ردها در آشکارسازی که در سطح قاعده بزرگ قرار گرفته است بیشتر از تعداد ردها در آشکارسازی که در سطح قاعده کوچک قرار گرفته است می‌باشند، زیرا حجم موثر آن بیشتر است. بعد از چندین مرتبه اندازه‌گیری، با داشتن غلظت درون و بیرون محفظه‌ی فیلتر و معادله‌ی ۱، نفوذپذیری در حالت غیر فعال بدست می‌آید.

$$p_p = (3.22 \pm 0.3) \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

به طوری که p_p نفوذپذیری در دستگاه غیر فعال را نشان می‌دهد. با استفاده از روابط زیر می‌توان کمیت‌های، n_1 (تعداد ذرات در ناحیه V_1 که مربوط به منبع است) و n_2 (تعداد ذرات در ناحیه V_2 که مربوط به فیلتر است) را برای دو حالت فعال و غیر فعال بدست آورد [9].

$$\frac{dn_1}{dt} = -\lambda n_1 + A - \frac{S D}{\delta V_1} (n_1 - n_2) \quad (7)$$

$$\frac{dn_2}{dt} = -\lambda n_2 - \frac{S D}{\delta V_2} (n_1 - n_2) \quad (8)$$

به طوری که D نفوذپذیری فیلتر، A اکتیویته منبع و S مساحت فیلتر می‌باشد. شرایط مرزی در نظر گرفته شده $n_2(t=0) = 0$ ، $n_1(t=0) = 0$ می‌باشد، حال، با تعریف بازدهی فیلتر R به صورت زیر:

$$R = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{(1 + \lambda \delta V_2 / S D)} \quad (9)$$

می‌توان R را برای دو حالت فعال (R_a) و غیر فعال (R_p) به صورت زیر بدست آورد.

$$R_a = 0.95, R_p = 0.61$$

بحث و نتیجه گیری

نفوذپذیری فیلتر EPS را برای روش فعال به دو حالت، یک حالت بدون در نظر گرفتن نفوذپذیری شیلنگها و خود دستگاه و حالت بعد با در نظر گرفتن آنها بدست آورده‌ایم چون شرایط برای هر دو حالت یکسان می‌باشد پس می‌توان هر دو حالت را مقایسه و اختلاف را ناشی از نفوذپذیری شیلنگها و خود دستگاه دانست. ولی با حالت غیر فعال چون شرایط یکسان نیستند نمی‌توان مقایسه کرد، اما می‌توان مشاهده کرد که علاوه بر جنس فیلترها شرایط (از جمله فشار و دما.....) نقش به‌سزایی در ضریب نفوذپذیری فیلتر دارند. و با داشتن ضریب نفوذپذیری فیلتر می‌توان بازده آن را بدست آورد.

مراجع

- [1] Espinosa, G., Castano, V.M., Golzarri, J.I., Gammage, R., 1991. Permeability of some materials to radon. Nucl. Track Radiat. Meas. 19 (1-4), 307-308.
- [2] M.A. Sharaf, M. Abo-Elmagd 'Thermal effects on CR-39 detector response and permeability of some membranes used in radon measurements' Radiation Measurements 39 (2005) 441 - 445
- [3] K.N. Yu, E.C.M. Young, M.J. Stokes, Z.J. Guan, K.W. Cho, Health Phys. 73 (1997) 373.
- [4] K.N. Yu, T. Cheung, Z.J. Guan, W.N. Mui, Y.T. Ng, J. Environ. Radioact. 48 (2000) 211.
- [5] K.N. Yu, Z.J. Guan, M.J. Stokes, E.C.M. Young, J. Environ. Radioact. 17 (1992) 31.
- [6] Waffa Arafa 'permeability of radon-222 through some materials' Radiation Measurements 35 (2002) 207 - 211
- [7] Ramachandran, T.V., Lalit, B.Y., Mishra, U.C., 1987. Measurements of radon permeability through some membranes. Nucl. Track Radiat. Meas. 13 (1), 81-84.
- [8] Fleischer R. L., Giard W. R., Mogro-campero A., Turner L. G., Alter H. W. and Gingrich J. E. (1980). Dosimetry of environmental radon: methods and theory for low-dose integrated measurements. Health Phys., 39, pp. 957-962.
- [9] Ward W. J. III, Fleischer R. L. and Mogro-Campero A. (1977). Barrier techniques for separate Measurement of radon isotopes. Rev. Sci. Instrum., 48, pp. 1440-1441.

استاد راهنما دکتر حسن رنجبر عسکری