

بررسی توزیع گاز رادون منتشرشده از آبگرم‌های معدنی در فضای بسته و مقایسه نتایج تجربی با

مقادیر شبیه‌سازی عددی

بهاره آذروند^{۱*} و رضا ایمانی راد^۲

^۱دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

^۲دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

* تهران، دانشگاه پیام نور، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، کد پستی: ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷

پست الکترونیک: Ba_azarvand@yahoo.com

چکیده

گاز رادون یک ماده رادیواکتیو است که توسط فروپاشی عناصر رادیوم، اورانیوم و توریم ایجاد می‌شود. یکی از راه‌های ورود این گاز به محیط پیرامون، آب‌ها هستند، به‌خصوص آب‌های معدنی که به دلیل عبور از بین سنگ‌های رسوبی املاح متفاوتی از اورانیوم و توریم دارند و می‌توانند در اثر تجزیه، تبدیل به گاز رادون شوند. گاز رادون محلول در آب، به راحتی می‌تواند از محیط آبی وارد هوای پیرامون خود گردیده و در صورت تجمع و عدم تهویه مناسب به مرور زمان بر مقدار آن افزوده شده و به محدوده خطرناکی از پرتوایی برسد. لذا توجه به میزان و نحوه توزیع غلظت این گاز در مکان‌های بسته و طراحی سیستم‌های تهویه مناسب جهت تخلیه این گاز از فضاهای بسته ضروری است. با توجه به مطالب فوق، مطالعه بر روی آبگرم‌های معدنی شهر سرعین که اخیراً مسقف گردیده‌اند، به عنوان مورد مناسبی برای تحقیق و مطالعه تعیین غلظت رادون در فضای آبگرم، به روش تجربی و با استفاده از آشکارسازهای CR-39 و مقایسه مقادیر حاصل با نتایج تحلیل عددی انتخاب شده است. در طرح مذکور از نرم‌افزار محاسبات عددی دینامیک سیالات FLUENT که روشی بسیار کم هزینه در تعیین الگوهای سیال هوایی و غلظت آلاینده‌ها در مکان‌های بسته می‌باشد، جهت تعیین توزیع گاز رادون استفاده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در نمونه استخر مسقف بررسی شده، نتایج عددی انطباق خوبی با مقادیر به دست آمده از آزمایشات تجربی نشان می‌دهد.

کلید واژگان: رادون، CFD، آشکارساز، Fluent، شبیه‌سازی، آبگرم معدنی.

۱. مقدمه

وارد می‌کند، به طوری که به عنوان دومین عامل سرطان ریه در کل دنیا شناخته شده است [۲].
گاز رادون و محصولات واپاشی کوتاه عمر آن به دلیل نقش قابل ملاحظه آن‌ها در پرتوگیری انسان از منابع طبیعی، به ویژه در درون ساختمان‌های مسکونی، در سال‌های اخیر مورد توجه بسیار گسترده پژوهشگران و سازمان‌های مسئول بهداشت عمومی در کشورهای مختلف جهان قرار گرفته است [۳ و ۴].
به طوری که مقررات و توصیه‌های بین‌المللی در خصوص سطح مرجع غلظت رادون در محیط‌های بسته مطرح شده، آخرین توصیه کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه (ICRP)

رادون یک گاز رادیواکتیو طبیعی است که در خاک، آب، هوا و بعضی گازهای طبیعی وجود دارد و محصول واپاشی ^{226}Ra و ^{238}U در خاک، سنگ و آب می‌باشد. گاز رادیواکتیو رادون اگرچه در محیط باز می‌تواند واپاشی کند و نابود شود، در داخل محیط بسته در صورت تجمع و عدم تهویه مناسب انباشته شده و در اثر افزایش غلظت آن، کیفیت هوای داخل را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱].

رادون از طریق تنفس وارد بدن شده و در صورت استنشاق طولانی مدت این گاز صدمات جدی به سیستم تنفسی بدن

در سال ۲۰۰۹ سطح مرجع غلظت رادون در مکان‌های بسته 300 Bq/m^3 پیشنهاد کرده است [۵]. توجه به اینکه یکی از راه‌های ورود این گاز به محیط پیرامون، آب‌ها هستند، به‌خصوص آب‌های معدنی که به دلیل عبور از بین سنگ‌های رسوبی املاح متفاوتی از اورانیوم و توریم دارند و می‌توانند در اثر واپاشی تبدیل به گاز رادون شوند. لذا بررسی‌های وسیعی نیز در جنبه‌های مختلف مربوط به آب‌ها، در زمینه منابع و چگونگی آزاد شدن این گاز در هوا، عملکرد گاز و محصولات واپاشی آن در محیط، شیوه‌های اندازه‌گیری آن‌ها در محیط، عملکرد بیولوژیکی و دزیمتری داخلی آن‌ها، برآوردهای ریسک و نیز شیوه‌های کنترل آن‌ها در محیط (به ویژه محیط داخل ساختمان‌ها) صورت گرفته است [۶، ۷، ۸] به طوری که یکی از منابع عمده انتشار گاز رادون در محیط زیست بعد از خاک، منابع آبی به ویژه آب‌های معدنی می‌باشند. لذا توجه به میزان و نحوه توزیع غلظت این گاز در مکان‌های بسته و طراحی سیستم‌های تهویه مناسب جهت تخلیه این گاز از فضاهای بسته ضروری است [۹].

به دلیل محدودیت روش‌های تجربی و افزایش راندمان و دقت کامپیوترها، شبیه‌سازی عددی به عنوان یک روش جایگزین در تعیین الگوهای سیال هوایی و غلظت آلاینده‌ها جهت پیش‌بینی و طراحی کیفیت هوای داخلی در مکان‌های بسته مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲].

اصلی‌ترین هدف این تحقیق تعیین غلظت گاز رادون منتشر شده از حوضچه‌های آبگرم در فضای مسقف و مقایسه مقادیر تجربی با نتایج شبیه‌سازی شده و صحت‌سنجی آن است.

بدین منظور روش‌های مختلف دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، در تعیین کیفیت هوای داخل و به دست آوردن معادلات و مشخصه‌های عددی شبیه‌سازی جریان سیالات برای این هدف انتخاب شد.

در دهه گذشته، تلاش‌های فراوانی در جهت توسعه نرم‌افزارهای ویژه CFD در ارتباط با تهویه و توزیع غلظت آلاینده‌ها صورت گرفته است. در اغلب موارد، نتایج پیش‌بینی شده با اطلاعات تجربی موجود انطباق داشته است [۱۱].

در سال (۲۰۰۱) و K.Akbari در سال (۲۰۰۹)، دینامیک محاسبات عددی CFD را برای مطالعه توزیع غلظت رادون در هوای داخل ساختمان به کار بردند. براساس مطالعات ایشان، روش‌های عددی، ابزار قابل اطمینان جهت شبیه‌سازی الگوی جریان، توزیع رادون و تغییرات انرژی در فضای بسته و تحت تهویه مسکونی می‌باشد [۱۰ و ۱۲].

Neetika و همکاران در سال (۲۰۱۵) طی مقایسه مدل CFD با نتایج تجربی در هوای داخل ساختمان‌ها، به انطباق قابل قبول بین آن نتایج دست یافتند [۱۳].

شهر سرعین واقع در استان اردبیل، یکی از مناطق مهم گردشگری استان اردبیل است و چشمه‌های آبگرم و مراکز آب‌درمانی سرعین، مهم‌ترین انگیزه سفر توریست‌ها به این شهر می‌باشد. با توجه به کوهستانی و سردسیر بودن منطقه اردبیل، در سال‌های اخیر تمایل بسیاری جهت مسقف‌سازی آبگرم‌های معدنی مشاهده شده است. و از آنجایی که گاز رادون محلول در آب، به راحتی می‌تواند از محیط آبی وارد هوای پیرامون خود گردیده و در صورت تجمع و عدم تهویه مناسب به مرور زمان بر مقدار آن افزوده شده و به محدوده خطرناکی از پرتوایی برسد. لذا مطالعه عددی توزیع گاز رادون در فضای آبگرم‌های معدنی شهر سرعین که اخیراً مسقف گردیده‌اند، برای اولین بار در مقاله حاضر مورد تحقیق و مطالعه قرار گرفته است.

۲. متد و روش‌ها

روش‌های عددی جهت حل معادلات بقای جرم، منتم، غلظت، انرژی و همچنین لایه‌های مرزی و توربولانسی به کار گرفته می‌شوند. این معادلات قوانین پایه فیزیکی جریان سیال را بیان می‌کنند. سپس معادلات جداسازی و خطی‌سازی می‌شوند و دامنه محاسبات توسط شرایط مرزی تعیین می‌گردد. و دستگاه معادلات جبری حاصل به صورت تکرار حل می‌گردند تا توزیع فشار، دما و سرعت را پیش‌بینی کنند.

Fluent به عنوان نرم‌افزار قدرتمند قادر به مدل‌سازی انتقالی و اختلاطی گونه‌های شیمیایی با حل معادلات بقا برای هریک از گونه‌هاست [۱۴].

۱.۲. معادلات سیالات

۱.۱.۲. معادلات بقای جرم

معادله بقای جرم یا پیوستگی به صورت ذیل بیان می‌شود:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0$$

که ρ دانسیته، u و v و w مولفه‌های سرعت در جهات x, y, z است. این معادله شکل عمومی معادله بقای جرم است و برای جریان غیرقابل تراکم همانند جریان قابل تراکم کاربرد دارد.

۲.۱.۲. معادلات بقای ممتم

معادلات ممتم که معادلات ناویراستوکس نامیده می‌شود. برای جریان هوای توربولانت (با ویسکوزیته توربولانس و ضریب انتشار توربولانس) در اتاق تهویه و با کمی خلاصه‌سازی در سه جهت x, y, z به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\left(\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot u_j \cdot u_i) \right) = -\nabla \cdot P + \nabla \cdot (\mu_e \nabla u_i) + S$$

و ρ دانسیته هوا می‌باشد.

۳.۱.۲. معادله بقای گونه‌ها

زمانی که مدل انتقال گونه‌ها انتخاب می‌شود و گونه‌های منفرد در مدل تعریف می‌گردند، معادله بقا که شامل ترم‌های جابجایی و انتشار است، برای هر گونه حل می‌گردند. کسر جرمی هر گونه توسط Fluent پیش‌بینی می‌گردد و معادله بقا برای انتقال گونه‌ها به شکل عمومی ذیل است:

$$\frac{\partial(\rho C)}{\partial t} = S_C + \nabla \cdot (D * \nabla C) - \nabla \cdot (uC)$$

که در آن، D بیانگر ضریب انتشار مؤثر، ρ دانسیته مخلوط، S نرخ تولید غلظت و C غلظت متوسط است.

۴.۱.۲. بقای انرژی گرمایی

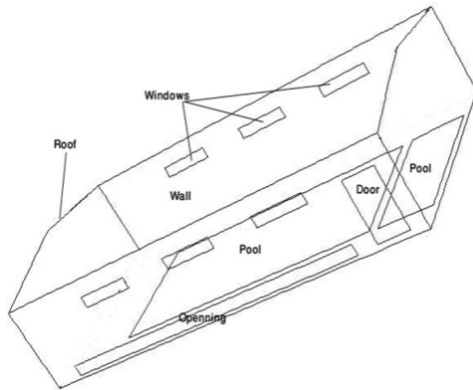
معادله انرژی حرارتی در حجم واحد در اتاق تحت تهویه به صورت زیر است:

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u T) = \nabla \cdot (\Gamma_e * \nabla T) + S_T$$

در این معادله، $\Gamma_e = \Gamma + \Gamma_r$ ضریب انتشار مؤثر بوده و S_T ترم مربوط به منبع حرارتی است (w/m^3).

۲.۲. توصیف مدل مورد بحث

فضای مورد بررسی عبارت است از یک استخر مسقف که از سوله‌ای به ابعاد $۳۹/۵ \times ۱۶/۵ \times ۹$ متر تشکیل یافته است. در داخل این فضا دو استخر آب گرم به ترتیب به وسعت $۲۶/۵ \times ۱۲/۵$ و $۵/۲ \times ۱۳$ دمای آب $۶۰^\circ C$ برای بزرگسالان و دیگری به وسعت $۵/۲ \times ۱۳$ و دمای $۳۵^\circ C$ برای کودکان تعبیه شده است شکل (۱).



شکل (۱): نمای سه‌بعدی مدل

۳.۲. کسر جرمی رادون متصاعد شده

برای تعیین میزان رادون متصاعد شده به فضای استخر تعیین کسر جرمی رادون از شارش جرمی گازها و بخار متصاعد شده از استخر به فضای مسقف ضروری است. از آنجایی که نرم‌افزار Fluent شارش‌های جرمی را براساس واحد $kg/m^2 \cdot s$ یا kg/s وارد می‌سازد، تعیین کسر جرمی رادون متصاعد شده بر واحد kg/l از واحد Bq/l الزامی است.

براساس مطالعات انجام شده توسط حداد و همکاران، میزان رادون محلول در آب گرم معدنی در فصل زمستان مورد نظر $۱۸ Bq/lit$ است [۱۵] که با در نظر گرفتن حجم استخر، این میزان بالغ بر $۱/۰۱۸۴ \times ۱۰^۷ Bq$ می‌گردد.

با در نظر گرفتن ضریب میزان رادون متصاعد شده از آب به هوا $f = ۱۰^{-۳}$ در استخرهای سربسته و اعمال آن به غلظت رادون آب گرم معدنی مورد نظر، رادون متصاعد شده به هوای استخر آب گرم برابر با $۱/۰۱۸۴ \times ۱۰^۴ Bq$ خواهد بود [۱۶، ۱۷ و ۱۸].

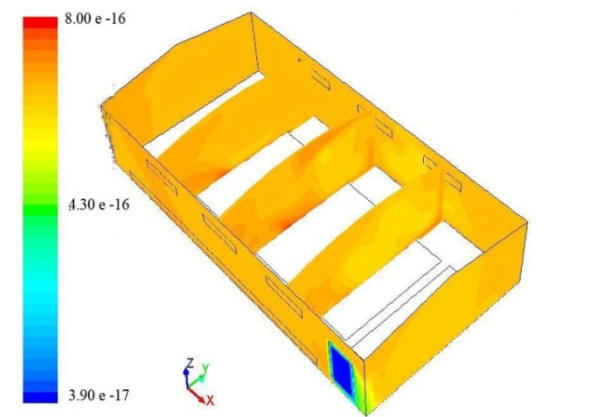
همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، برای ورود این مقدار مرزی به نرم‌افزار Fluent کمیت فعالیت رادون باید بر واحد kg تعیین گردد. با در نظر گرفتن اکتیویته رادون به ازای هر گرم رادون، فعالیت این گاز $A = ۵/۷ \times ۱۰^{۱۵} Bq$ خواهد بود. لذا

مخلوط، معادله انتقال گونه‌ها نیز در محاسبه منظور می‌گردد. به منظور ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل عددی در فضای مورد مطالعه، آزمایش تجربی به شرح ذیل صورت پذیرفت.

حدود ۲۱ آشکارساز حالت جامد CR-39 روی دیوار در طول ۴۰ متر قرار داده شد این آشکارسازها در محفظه‌های استوانه‌ای به قطر ۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۵ میلی‌متر قرار داده شدند و به دلیل استحکام و بی‌اثر بودن در برابر رطوبت، برای کار مورد نظر انتخاب شدند. آشکارساز مورد نظر در هنگام قرار داده شدن در هوای محیط، ذرات آلفای تولید شده ناشی از گاز رادون را به صورت رد پا (شیار) از خود بر جای می‌گذارد که پس از ظهور به روش الکتروشیمی و با استفاده از میکروسکوپ، قابل رؤیت و شمارش خواهد بود. آشکارسازها بعد از ۲ ماه جمع‌آوری شد، سپس آشکارسازها برای بزرگ نمودن اثر و انجام خورش شیمیایی برای مدت پنج ساعت، در محلول ۶ نرمال NaOH و در دمای ۷۵ درجه تحت خورش قرار داده شد. سپس آن‌ها را با آب مقطر شست‌وشو داده و خشک کرده تا آماده شمارش شود. شمارش و کالیبراسیون نمونه‌ها توسط سازمان انرژی اتمی ایران انجام گرفت.

۳. نتایج

با تحلیل اولیه فضای مورد مطالعه، مطابق شرایط مرزی فوق‌الذکر شرایطی که هیچ گونه تهویه‌ای بر روی فضا صورت نگیرد و صرفاً سهم نفوذ هوا از درب و پنجره‌ها مدنظر باشد، نتایج توزیع رادون براساس کسر جرمی رادون مطابق شکل (۲) خواهد بود.



شکل (۲): منحنی تراز کسر جرمی رادون (بدون تهویه)

$$Bq = 1.75 \times 10^{-19} Kg$$

با اعمال تبدیل فوق به دبی آب ورودی به استخر دبی جریرادون شارش یافته از سطح استخر به صورت زیر خواهد بود:

$$1.0184 \times 10^4 \times 1.75 \times 10^{-19} = 1.78 \times 10^{-15} \frac{kg}{s}$$

۴.۲. شرایط مرزی

شرایط مرزی دیوارها: دیوارها با شرایط مرزی Noslipه تعریف می‌گردند که سرعت جریان بر روی دیواره، صفر در نظر گرفته می‌شود. درباره دیوارهای سازه و سقف، انتقال حرارت به صورت همرفت آزاد با ضریب $h_c = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ و درباره کف شرایط دما ثابت در نظر گرفته شده است.

حوضچه‌ها: حوضچه‌ها با شرایط مرزی شارش جرمی mass-flow-rate تعریف شده‌اند. از سطوح حوضچه‌ها شارش جرمی که شامل گاز رادون نیز می‌باشد، با کسر جرمی که قبلاً اشاره شد، به فضای مورد مطالعه منتشر می‌گردد، دمای حوضچه بزرگ ۳۳۳k و دمای حوضچه کوچک ۳۱۳k در نظر گرفته می‌شود.

شرط مرزی ورودی: شرط مرزی شارش جرمی mass-flow-rate از درب فضای استخر به عنوان ورودی فضا در نظر گرفته می‌شود. و با توجه به نفوذ هوا از درب و منافذها و جداره‌ها شارش ناچیزی به میزان 0.05 kg/s از درب محوطه استخر منظور می‌شود. دمای هوای ورودی ۲۸۳k است.

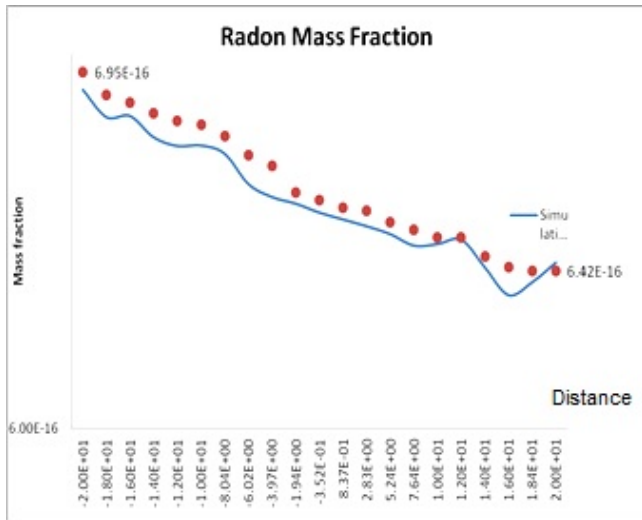
شرط مرزی خروجی: پنجره‌های فضا به عنوان خروجی با شرط مرزی out flow در نظر گرفته می‌شود و این شرط مرزی برای مدل کردن جریان‌های خروجی که جزئیات مربوط به سرعت، دما و فشار قبل از آنالیز مشخص نیست، به کار می‌رود [۱۴].

۵.۲. تحلیل مدل

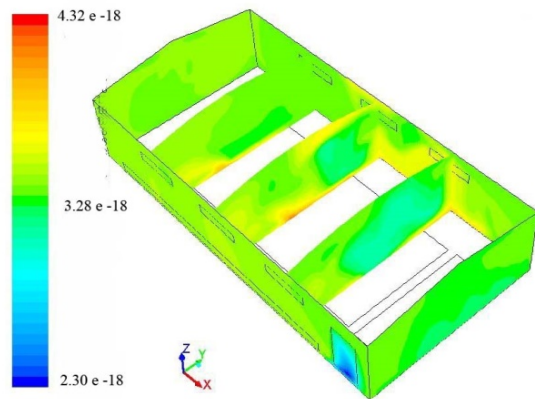
مدل به صورت تراکم‌ناپذیر، بر پایه فشار و پایا تعریف شده و معادله انرژی در این تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه عدد رینولدز $Re < 10^5$ است، جریان به صورت Laminar در نظر گرفته شده و جهت تحلیل غلظت اجزای

سایر نواحی تطابق مناسب بین نتایج تجربی و مقادیر حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد.

همچنین غلظت رادون توسط شکل (۳) ارائه شده است.



شکل (۵): مقایسه نتایج تجربی و مقادیر عددی

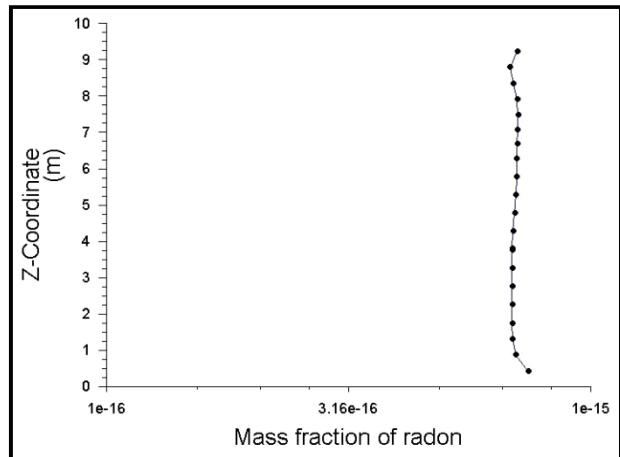


شکل (۳): منحنی تراز توزیع غلظت مولی رادون

همان‌گونه که از این اشکال ملاحظه می‌گردد، بیشترین غلظت رادون در محدوده سطح حوضچه‌ها بوده و با توجه به پایا بودن محاسبات (steady state) توزیع گاز رادون در کل فضا تقریباً یکنواخت و مقدار متوسط آن 4380 Bq/m^3 است (شکل ۴).

جدول ۱: مقایسه مقادیر عددی و نتایج تجربی

گره	مختصات x	مختصات z	نتایج عددی Bq/m^3	نتایج تجربی Bq/m^3
1	-20.00	1.20	4512.90	4543.22
2	-18.00	1.22	4464.98	4503.99
3	-16.00	1.23	4467.01	4490.92
4	-14.00	1.25	4429.87	4471.31
5	-12.00	1.27	4414.80	4458.23
6	-10.02	1.27	4415.75	4451.70
7	-8.04	1.27	4401.31	4432.09
8	-6.02	1.27	4348.66	4399.40
9	-3.97	1.27	4325.96	4379.79
10	-1.94	1.27	4314.47	4334.03
11	-0.35	1.27	4298.86	4320.96
12	0.84	1.27	4286.99	4307.88
13	2.83	1.27	4275.13	4301.35
14	5.24	1.27	4261.37	4281.74
15	7.64	1.27	4241.37	4268.66
16	10.02	1.27	4244.12	4255.59
17	12.00	1.27	4251.61	4255.59
18	14.00	1.25	4203.23	4222.90
19	16.00	1.23	4155.17	4203.29
20	18.40	1.21	4177.78	4196.75
21	20.00	1.20	4212.02	4196.75



شکل (۴): منحنی تغییرات کسر جرمی رادون نسبت به ارتفاع فضا

۴. بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات اولیه شبیه‌سازی توزیع رادون و غلظت این گاز در فضای استخر آبگرم معدنی مسقف سریع، در شرایطی که هیچ‌گونه تهویه‌ای بر روی فضا انجام نگرفته و صرفاً سهم نفوذ هوا از درب و پنجره‌ها مدنظر باشد، صورت پذیرفته است. انطباق مناسب نتایج تجربی با مقادیر عددی حاکی از

همچنین نتایج به دست آمده از آشکارسازهای CR-39 با توجه به موقعیت نصب آنها در فضای مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است که با مقادیر حاصل از شبیه‌سازی عددی در نقاط مذکور مورد مقایسه قرار گرفته است.

همان‌گونه که در شکل (۵) نیز مشاهده می‌شود، غلظت گاز رادون سنجیده شده توسط آشکارسازها، غیر از برخی نقاط مانند نواحی مقابل درب ورودی که الگوی جریان متغییری دارد، در

در بررسی این فضاها از نقطه نظر تعیین توزیع و غلظت گاز رادون برجسته تر می گردد. گام بعدی شبیه سازی سیستم تهویه مناسب و بررسی کارآمدی آن سیستم در کاهش غلظت رادون خواهد بود.

کارآمد بودن روش های عددی در پیش بینی توزیع گاز رادون در فضاهای بسته است. با توجه به قابل اطمینان بودن روش های شبیه سازی و کم هزینه بودن این روش ها در مدلینگ فضاهای استخرهای آبگرم معدنی، اهمیت استفاده از روش های عددی

۵. مراجع

- [1] UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. sources and effects of ionizing radiation. New York. (2000) 97-105
- [2] WHO .World Health Organization. Handbook on indoor radon, a public Health Perspective. Geneva, (2009).
- [3] National Cancer Registry Irland. Health Risks due to Exposure to Radon in Homes in Irland. Radiological Protection Institute of Irland (2005).
- [4] K. Hadad, R. Doulatdar. Indoor radon monitoring in Northern Iran using passive and active measurements. J. Environmental Radioactivity. 95 (2007) 39-52.
- [5] ICRP. International Commission on Radiological Protection Statement On Radon, Ref 00/902/09, (2009).
- [6] P. Sola, K. Srisuksawad, S. Loaharajanaphand, A.O-Manee ,V. Permnamtip , P. Issarapan ,et al. Radon concentration in air , hot spring Water, and bottled mineral water in one hot spring area in Thailand. J Radioanal Nuclear Chemistry. 279 (2012) 183-187.
- [7] D. S. Vinson, T.R. Compbell, A. Vengosh. Radon transfer from groundwater used in showers to indoor air. Applied Geo chemistry. 23 (2008) 2676-2685.
- [8] G. Song, X. Wang, D. Chen, Y. Chen, Contribution of ^{222}Rn -bearing water to indoor radon and indoor air quality assessment in hot spring hotels of Guangdong, China. J. Environmental Radioactivity. 102 (2011) 400-406.
- [9] K. Akbari, J. Mahmoudi. Numerical Simulation of Radon Transport and Indoor Air Conditions Effects. International Journal of Scientific & Engineering Research. 3 (2012) 1-9.
- [10] K. Akbari. Impact of radon ventilation on indoor air quality and building energysaving. Malardalen University Press Licentiate Theses. 109 (2009).
- [11] R.A. Pitarma, J.E. Ramos, M.E. Ferreira, M.G. Carvalho. Computational fluid dynamics an advanced active tool in environmental management and education. Mamgmot of Envircnmotal Quality. 15 (2004) 102 – 110.
- [12] W. Zhuo, T. Iida, J. Moriizumi, T. Aoyagi and I. Takahashi. Simulation of the concentrations and distributions of indoor radon and thoron. Radiat Prot Dosimetry. 93 (2000) 357-367.
- [13] N. Chauhan, R.P. Chauhan, M. Joshi and T.K. Agarwal. Study of indoor radon distribution using measurements and CFD modeling. Journal of Environmental Radioactivity . 136 (2014) 105-111.
- [14] FLUENT 6.3 User's Guide, (2006).
- [15] K. Hadad, R. Doulatdar. The radionuclide contents of and their distribution map in water sources in Ardabil province. Report 1699, Ardabil provincial Government. 156 (2006) 72-78
- [16] D. S. Vinson, T.R. Compbell, V. Vengosh, Radon transfer from groundwater used in showers to indoor air. Applied Geo chemistry. 23 (2008) 2676-2685.
- [17] J. Planinic, Z. Faj, B. Suveljak, V. Radolic. Radon in the spa of Bizovac. J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 210 (1996) 227-231.
- [18] W.W. nazarrof, A.V. nero. Radon and its decay products in indoor air. New York: John weily & sons (1988) 131-157.