

## تحلیل آماری تاثیر ساختار زمین‌شناختی شهرستان انار بر غلظت گاز رادون حل شده در

## آب چاه‌های کشاورزی و منابع آب شرب منطقه

احمد اسدی<sup>۱\*</sup>، مجتبی رحیمی<sup>۲</sup>، لیلا جبّاری<sup>۳</sup>

(۱) دانشگاه پیام نور مرکز رفسنجان، گروه فیزیک

(۲) دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، گروه فیزیک

(۳) دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، گروه آمار

## مقدمه:

رادون گاز رادیواکتیو شناخته شده‌ای است که به طور پیوسته از واپاشی طبیعی رادیوم ( $^{226}Ra$ ) موجود در خاک‌ها و سنگ‌هایی که حاوی اورانیوم ( $^{238}U$ ) می‌باشند تولید می‌شود. یکی از مهم‌ترین پیش‌نشانگرهای زلزله میزان غلظت گاز رادون حل شده در آب‌های زیرزمینی می‌باشد. در ناحیه‌ای که وقایع ژئوفیزیکی مانند زلزله یا فعالیت‌های آتشفشانی اتفاق می‌افتد، الگوی مهاجرت رادون به داخل آب‌های زیرزمینی تغییر می‌کند؛ به بیان دیگر در اثر جابه‌جایی توده سنگ‌ها به واسطه افزایش در تنش و کرنش زمین، ترک‌ها و شکستگی‌های متعددی ایجاد می‌شود و در نتیجه ترابرد و سرعت فرار گاز از اعماق زمین زیاد می‌شود. بدین ترتیب مقادیر زیادی از گاز رادون از منافذ و ترک‌های سنگ‌ها به سطح بالاتر راه پیدا می‌کنند و در آب‌های زیرزمینی حل می‌شوند [۱]. بنابراین می‌توان گفت که در مناطقی که گسل‌های فعال وجود دارند غلظت گاز رادون محلول در آب‌های زیرزمینی بیشتر می‌باشد. از عوامل مهم دیگری که بر روی غلظت رادون حل شده در آب‌های زیرزمینی تاثیرگذار می‌باشد، فراوانی رادیونوکلئیدهای والدین ( $^{226}Ra$  و  $^{238}U$ ) موجود در خاک و سنگ است. عیار اورانیوم در سنگ‌های آذرین اسیدی مانند گرانیت بیش از انواع سنگ‌های بازی مانند بازالت است و در سنگ‌های رسوبی دیگر و همچنین سنگ‌های آهکی اندک می‌باشد [۱ و ۲]. از سوی دیگر وجود آبراهه‌های اصلی منطقه و همچنین مسیر طی شده توسط آنها بر روی غلظت گاز رادون حل شده در آب‌های زیرزمینی تاثیر می‌گذارد. به بیان دیگر اگر آبراهه‌های اصلی در مسیر حرکت خود از مناطقی عبور کنند که سنگ‌های زیرین آن منطقه عمدتاً از نوع سنگ‌های آذرین اسیدی (مانند گرانیت) باشند، گاز رادون این نوع سنگ‌ها در آنها بیشتر حل می‌شود.

**کلید واژگان:** گاز رادون، آب‌های زیرزمینی، ذرات آلفا، مواد رادیواکتیو، پیش‌نشانگر زلزله

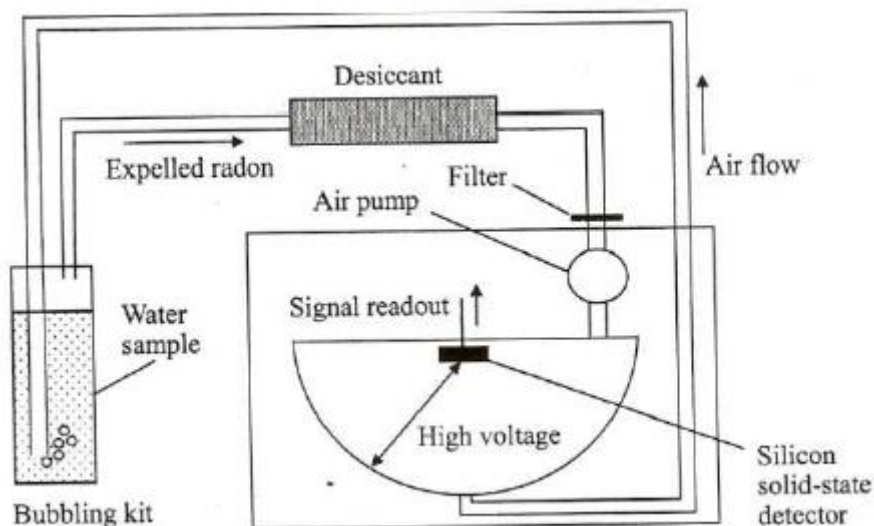
## زمین‌شناسی منطقه تحت مطالعه:

دشت انار به عنوان بخشی از ناحیه ایران مرکزی و از نظر ساختاری در بخش جنوبی فرورفتگی رفسنجان-ساوه محسوب می‌شود. دشت انار با ارتفاع نزدیک به ۱۵۰۰ متر با روند شمال غرب- جنوب شرق بین رشته

کوه آتشفشانی ایران مرکزی در غرب و کوه بدبخت کوه در شرق قرار دارد. با توجه به رخنمون های سنگی مزوزوئیک در بدبخت کوه می توان پی سنگ این دشت را قدیمی تر از مزوزوئیک دانست. پی سنگ دشت انار به وسیله تقریباً ۱۰۰۰ متر رسوبات پوشانده شده است. رشته کوه آتشفشانی ایران مرکزی که در غرب دشت انار واقع است از سنگ های آذرین همانند: گرانیتی، آندزیتی، داسیت، بازالت و سنگ های آذرآواری متعلق به دوران سنوزوئیک تشکیل شده است. مهمترین عارضه تکتونیکی منطقه گسل فعال انار می باشد که از نظر لرزه ای به عنوان گسل فعال شناخته می شود. این گسل از انواع گسل نرمال با شیب صفحه گسلی در حدود ۴۰ درجه و جهت شرقی می باشد و با امتداد تقریباً شمالی جنوبی از مرکز دشت انار می گذرد. [۳]

### روش انجام آزمایش:

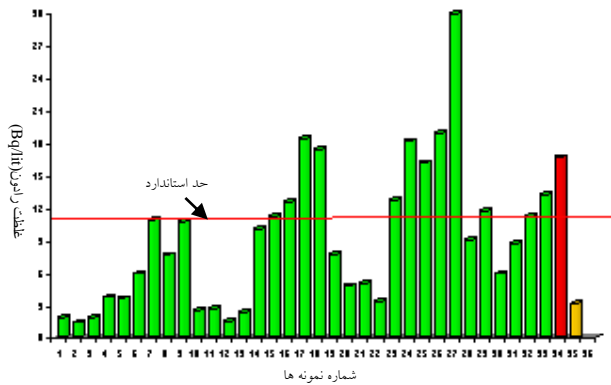
برای اندازه گیری غلظت گاز رادون از دستگاه RAD $\gamma$  استفاده نمودیم. این دستگاه از نوع آشکارسازهای فعال می باشد و بر اساس میزان انرژی ذرات آلفای ساطع شده از رادون و تورون عمل می کند (شکل ۱). در این تحقیق، جامعه آماری کلیه چاه های واقع در شهرستان انار و نواحی اطراف آن می باشد. نمونه ای به حجم ۳۳ چاه به طور تصادفی و در نقاط مختلف شهرستان انتخاب شد. پس از آن به وسیله بطری شیشه ای مخصوص دستگاه، نمونه ای به حجم ۲۵۰ میلی لیتر برداشت شد و برای اندازه گیری به محل دستگاه منتقل شد.



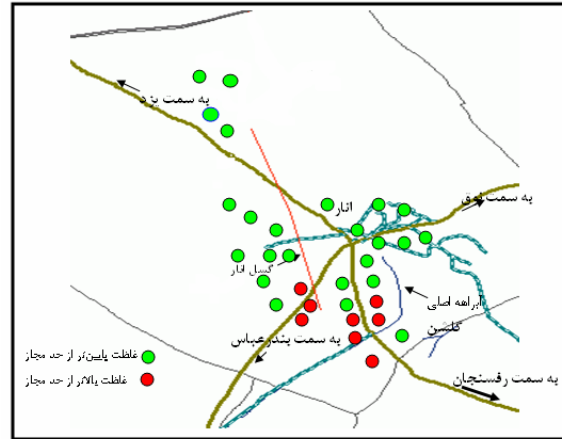
شکل ۱: چیدمان دستگاه اندازه گیری RAD $\gamma$

### نتایج:

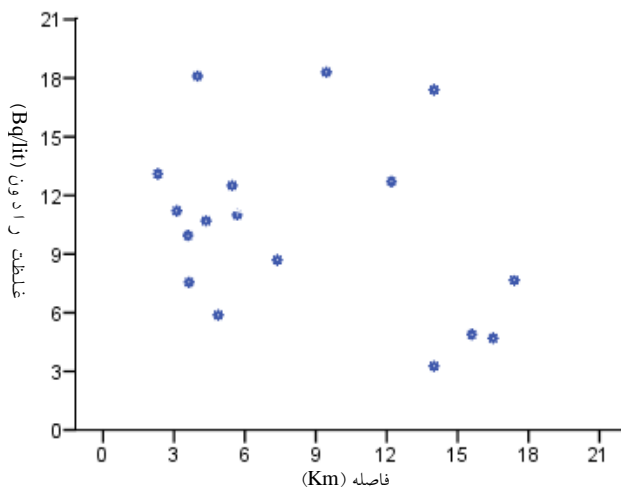
در این تحقیق غلظت گاز رادون تعداد ۳۵ چاه عمیق اندازه گیری شد که ۳ حلقه از این چاه ها جهت تامین آب شرب شهرستان مورد استفاده قرار می گرفت. محل تقریبی نمونه ها در شکل (۲) مشاهده می شود.



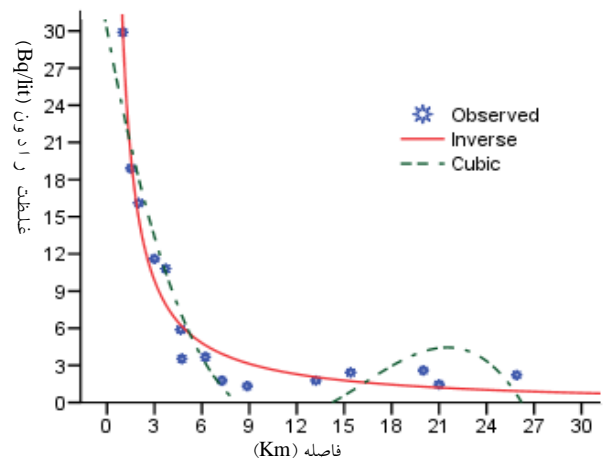
شکل ۳: نمودار میزان غلظت گاز رادون نمونه‌های اندازه‌گیری شده



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی شهرستان انار و محل تقریبی نمونه‌ها



شکل ۵: غلظت گاز رادون چاه‌های سمت راست بر حسب فاصله از گسل



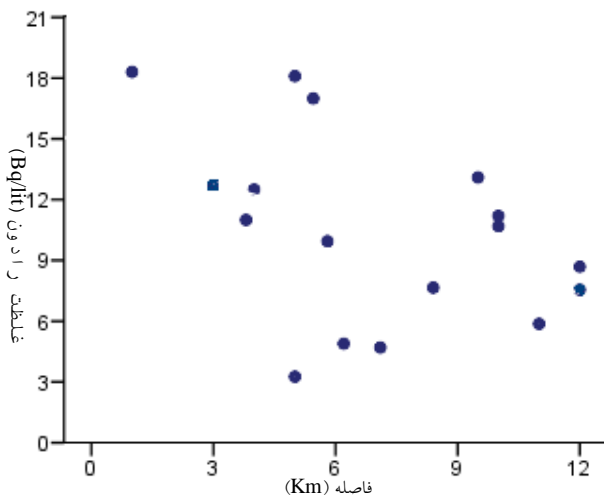
شکل ۴: غلظت گاز رادون چاه‌های سمت چپ بر حسب فاصله از گسل

equation	Model summary		Parameter Estimates			
	R Square	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Inverse	0.966	0.00	-0.241	30.270		
Cubic	0.909	0.00	30.105	-6.914	0.476	-0.010

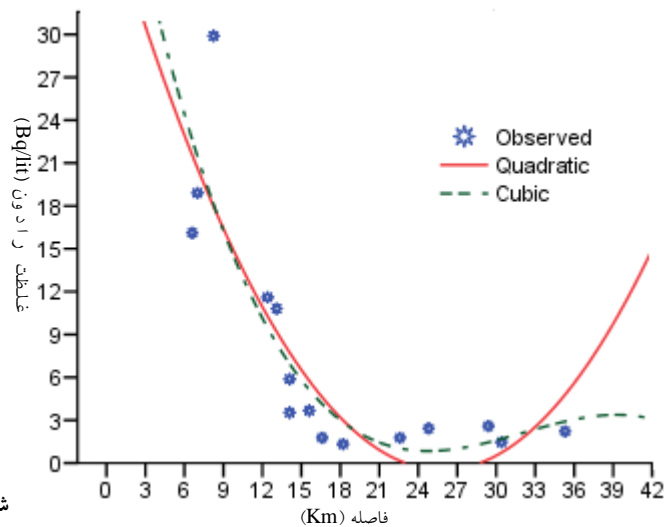
جدول ۱: اطلاعات آماری شکل ۴

به منظور ارزیابی غلظت گاز رادون در منطقه، نمودار غلظت تمامی نمونه‌ها در شکل (۳) آورده شده است. با توجه به اینکه حد مجاز غلظت رادون محلول در آب (۱۱ Bq/lit) می‌باشد، ملاحظه می‌شود که غلظت حدود ۳۷ درصد از نمونه‌ها از حد مجاز بالاتر است که نمونه ۳۴ مربوط به آب شیر خانگی است.

با توجه به این که وجود گسل فعال و همچنین فاصله از آن، پارامتر تاثیرگذار در غلظت گاز رادون می‌باشد، نمودارهای غلظت گاز رادون بر حسب فاصله از گسل ترسیم شده‌اند. به دلیل اینکه گسل فعال انار در میان نمونه‌های اندازه‌گیری شده قرار دارد، دو نمودار جداگانه غلظت بر حسب فاصله در دو سمت گسل به ترتیب در شکل های (۴) و (۵) آورده شده است.



شکل ۷: غلظت گاز رادون چاههای سمت راست گسل بر حسب فاصله از آبراهه



شکل ۶: غلظت گاز رادون چاههای سمت چپ بر حسب فاصله از آبراهه اصلی

equation	Model summary		Parameter Estimates			
	R Square	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Quadratic	0.756	0.00	39.238	-3.071	0.039	
Cubic	0.770	0.00	48.032	-4.826	0.159	-0.002

جدول ۲: اطلاعات آماری شکل ۶

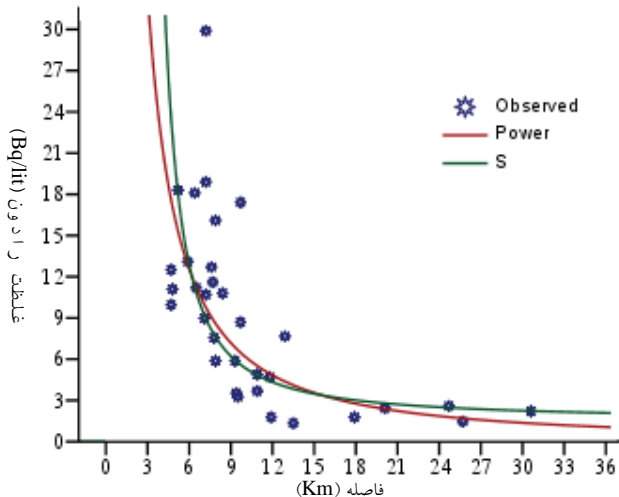
به منظور ارزیابی دقیق‌تر داده‌ها، با استفاده از نرم افزار SPSS، معادلات منحنی لگاریتمی، منحنی با روند خطی، معکوس، درجه دوم، مرکب، درجه سوم، نمایی و توانی به داده‌ها برازش دادیم که معادلات آن به ترتیب از چپ به راست عبارتند از:

$$Y = b_0 + b_1 \ln X, Y = b_0 + b_1 X, Y = b_0 + \frac{b_1}{X}, Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2$$

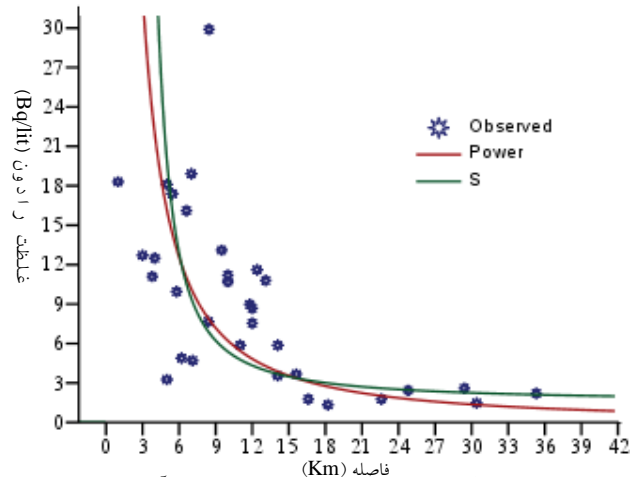
$$Y = b_0 + b_1^T, Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + b_3 X^3, Y = b_0 e^{b_1 X}, Y = b_0 b_1^X \quad (1)$$

لازم به ذکر است که از بین معادله‌های برازش داده شده، دو معادله‌ای که نتایج بهتری داشتند در نظر گرفته شده‌اند. این نتایج برای هر یک از نمودارها به صورت جدولی که در زیر آن‌ها آورده شده است، نشان داده می‌شود. با توجه به شکل (۲)، در طرف راست گسل یک آبراهه اصلی وجود دارد. مشاهده می‌شود که غلظت

گاز رادون چاه‌های اطراف این آبراهه اصلی افزایش یافته است. در شکل‌های (۶) و (۷) نمودار غلظت گاز رادون چاه‌ها بر حسب فاصله از آبراهه اصلی نشان داده شده است.



شکل ۹: غلظت گاز رادون چاه‌ها بر حسب فاصله میانگین از گسل و آبراهه



شکل ۸: نمودار غلظت گاز رادون چاه‌ها بر حسب فاصله از آبراهه اصلی

equation	Model summary		Parameter Estimates	
	R Square	Sig	Constant	b1
Power	0.816	0.00	148.361	-1.378
S	0.581	0.00	0.375	13.075

جدول ۵: اطلاعات آماری مربوط به شکل ۹

equation	Model summary		Parameter Estimates	
	R Square	Sig	Constant	b1
Power	0.474	0.00	40.092	-0.788
Exponential	0.582	0.00	17.055	-0.077

جدول ۴: اطلاعات آماری مربوط به شکل ۸

در شکل (۸) نمودار غلظت گاز رادون تمامی چاه‌ها بر حسب فاصله از آبراهه اصلی نشان داده شده است. در شکل (۹) نمودار غلظت گاز رادون را بر حسب فاصله میانگین از گسل و آبراهه رسم شده است.

### بحث و نتیجه‌گیری:

در شکل ۴ دو معادله (رگرسیون معکوس و مکعبی به داده‌ها برازش داده شده که نتایج آماری آن در جدول ۲ آورده شده است. سطح معنی داری (Sig) هر دو مدل از ۰/۰۵ کمتر است که این نشان دهنده پذیرش دو مدل است. در چنین شرایطی مدلی که ضریب تعیین آن ( $R^2$ ) آن بیشتر باشد برازنده‌تر است. در این نمودار ضریب تعیین مدل معکوس ۰/۹۶۶ است که این نشان می‌دهد ۹۶ درصد تغییرات غلظت رادون را می‌توان با این مدل توضیح داد. با توجه به ضرایب در جدول (۲) مدل رگرسیونی به دست آمده به صورت  $y = -0.241 + \frac{30.270}{x}$  می‌باشد. در شکل (۵) نمودار غلظت چاه‌های سمت راست بر حسب فاصله از گسل آورده شده است. مشاهده می‌شود که داده‌ها تصادفی می‌باشند و هیچ معادله‌ای به داده‌ها برازش داده نشد. احتمال می‌رود که غلظت گاز رادون چاه‌های سمت راست از عامل دیگری تاثیر پذیرند. با توجه به این که در جنوب

انار یک آبراهه اصلی وجود دارد که این آبراهه از کوه‌های بخش مرکزی که عمدتاً از سنگ‌های آذرین گرانیتی، آندزیتی تشکیل شده سرچشمه گرفته است می‌توان گفت که این آبراهه حاوی مقدار زیادی رادون می‌باشد. پس آبراهه بر روی غلظت گاز رادون چاه‌های نزدیک به خود تاثیر می‌گذارد. به بیان دیگر برای نقاط سمت راست گسل هر چقدر از گسل دور می‌شویم به آبراهه اصلی نزدیکتر می‌شویم و ظاهراً به همین دلیل تغییرات غلظت رادون چاه‌های سمت راست گسل تصادفی می‌باشد؛ اما برای نقاط سمت چپ با دور شدن از گسل از آبراهه اصلی هم دور می‌شویم. در شکل (۶) مشاهده می‌گردد که غلظت گاز رادون چاه‌های سمت چپ با افزایش فاصله از آبراهه اصلی کاهش می‌یابند. (ضریب تعیین بهترین مدل برازش داده شده مقدار ۰/۷۷ می‌باشد). در شکل (۷) روند کاهش غلظت منظمی برای چاه‌های سمت راست دیده نمی‌شود. در شکل (۸) نمودار غلظت تمامی چاه‌ها بر حسب فاصله از آبراهه اصلی نشان داده شده است که در کل می‌توان گفت به طور تقریب (با ضریب تعیین ۰/۵۶۲) و مدل رگرسیونی  $y = 17.055 e^{-0.077x}$  کاهش غلظت با افزایش فاصله اتفاق افتاده است. پس در حقیقت می‌توان غلظت گاز رادون آب‌های زیرزمینی این منطقه را به دو فاکتور فاصله از گسل و فاصله از آبراهه وابسته نمود، اما یقیناً میزان تاثیر هر یک از این فاکتورها بر روی غلظت گاز رادون آب‌های زیرزمینی متفاوت خواهد بود. در شکل (۹) نمودار غلظت گاز رادون بر حسب فاصله میانگین از گسل و آبراهه اصلی نشان داده شده است. در این نمودار روند کاهش غلظت (با ضریب تعیین ۰/۶۱۶ و مدل رگرسیونی  $y = 148.361 x^{-1.378}$ ) دیده می‌شود.

#### مراجع:

- [۱] اسدی، احمد؛ شمس، علیرضا؛ رحیمی، مجتبی؛ رنجبر عسکری، حسن؛ جباری، لیلیا؛ "بررسی و اندازه‌گیری غلظت گاز رادون در آب‌های زیرزمینی شهرستان انار و نواحی اطراف گسل انار"؛ هفدهمین کنفرانس هسته‌ای ایران، اصفهان، ۱۳۸۹
- [۲] اسدی، احمد؛ رحیمی، مجتبی؛ حسینی، سید ضیاء؛ "تاثیر ساختار زمین‌شناختی بر غلظت گاز رادون حل شده در آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان و انار"، پنجمین همایش تخصصی زمین‌شناسی، ابهر، ۱۳۹۰
- [۳] J.Shahabpour, "Tectonic evolution of the orogenic belt located between Kerman and Neyriz" J.Asian Earth Sci, ۲۴, ۴۰۵-۴۱۷
- [۴] Asikainen, M. and H.Kahlos, "Anomalously high concentration of uranium, radium and radon in water from drilled wells in the Helsinki region" Geochimica et Cosmochimica Acta.v.۴۳ (۱۹۷۹), pp.۱۶۸۱-۱۶۸۶