

بررسی ارتباط تغییرات بعد فراکتال روزانه غلظت رادون در چشمه آب گرم ریحان‌شهر و زلزله‌های صورت گرفته با D/R بزرگ‌تر از ۰,۵ در آن منطقه

محمد رضا رضایی رابنی‌نژاد^{۱*}، توحید یوسف‌زاده حسنلوئی^۱ و زهرا رستمی^۲

^۱گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

^۲دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

*کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه مهندسی هسته‌ای، کدپستی: ۷۶۳۱۸۱۸۳۵۶

پست الکترونیکی: mr.rezaie@kgut.ac.ir

چکیده

پیش‌بینی زلزله در ایران و جهان تاکنون با روش‌های مختلفی بررسی شده است. در این تحقیق با استفاده از تغییرات بعد فراکتال تغییرات غلظت رادون در چشمه آب گرم ریحان‌شهر زرنند کرمان در تاریخ ۲۸-۵ دی ماه ۱۳۹۵ و ارتباط آن با زلزله‌های انجام شده در آن منطقه با D/R بزرگ‌تر از ۰,۵ از تاریخ ۱۵-۱ بهمن ۱۳۹۵ به بررسی امکان پیش‌بینی زلزله با استفاده از تغییرات بعد فراکتال تغییرات غلظت رادون در چشمه‌های آب گرم پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ۲۵-۱۷ روز قبل از زلزله با D/R بزرگ‌تر از ۰,۵ در بعد فراکتال روزانه غلظت رادون در چشمه آب گرم ریحان‌شهر زرنند کرمان افت شدیدی مشاهده می‌شود. در نتیجه تغییرات بعد فراکتال روزانه غلظت رادون در چشمه‌های آب گرم می‌تواند به عنوان یکی از پارامترهای پیش‌نشان‌گری زلزله محسوب شود. داده‌های عملی این تحقیق همراه با کسب مجوز استفاده از داده‌ها از مرکز تحقیقاتی پیش‌نشان‌گر زلزله دکتر نگارستانی و همکاران مستقر در دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان اخذ شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در تاریخ ۲۶-۲۰ بهمن زلزله‌ای D/R بزرگ‌تر از ۰,۵ در این منطقه رخ خواهد داد. دلایل و شواهد نشان از تحقق پیش‌بینی صورت گرفته با وقوع زلزله‌ای با $D/R = 1,885$ در تاریخ ۲۲ بهمن ماه ۱۳۹۵ در آن منطقه دارد.

کلیدواژگان: تغییرات غلظت، رادون، آب گرم، پیش‌بینی، زلزله، بعد فراکتال.

۱. مقدمه

بوده است. به این ترتیب به لحاظ نظری نشان داده شده است که پیش‌بینی زلزله در ایران امکان‌پذیر است [۱]. معمولاً پیش از وقوع انواع زلزله‌ها مجموعه‌ای از اتفاقات غیر عادی در طبیعت رخ می‌دهند که می‌توان آن‌ها را علائم هشداردهنده‌ای برای وقوع زلزله به حساب آورد. از جمله این اتفاقات تغییرات ناگهانی در وضع آب‌وهوا، تشکیل ابرهایی با ویژگی‌های

براساس تجربه کسب شده در پیش‌بینی زلزله با بزرگی بیش از ۷ در سایر نقاط جهان برای نمایش عملی بودن این فرض در ایران، زلزله‌های اصلی دهه ۷۰ میلادی به بعد در ایران مورد تحلیل و بررسی قرار داده شده است. در نهایت مشخص می‌شود که اندازه رخداد بعدی با توان لرزه‌زایی و در نتیجه طول گسل فعال و شعاع از کانون رخداد زلزله اصلی متناسب

خاص در منطقه زلزله، ناهنجاری‌های رفتاری در حیوانات، صداهایی که از داخل زمین شنیده می‌شود، بالا یا پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی و ... اشاره کرد.

روش‌های متداول در پیش‌گویی زلزله با استفاده از GPS های پیشرفته، روش آنالیز ابرها، روش تداخل‌سنجی راداری، نقشه‌های درجه حرارت، تغییرات گاز رادون و هندسه بی‌نظمی تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است که به ترتیب مختصری به آن‌ها اشاره می‌شود.

تحقیق بر استفاده از GPS یا سیستم موقعیت‌یاب جهانی به منظور بررسی حرکات پوسته‌های سطح زمین و تغییرات و جابه‌جایی‌های انجام شده قبل از وقوع زلزله از سال ۱۹۹۴ آغاز شده است در حال حاضر با استفاده از این روش و GPS های پیشرفته جابه‌جایی پوسته سطح زمین قبل از وقوع زلزله و تغییرات مختصات ناشی از آن در حد دقیقه قابل محاسبه و بررسی است [2].

یک محقق چینی به نام ژونگ هاو شو (Zhong haoShou) چندین سال با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنسجش از دور و تکنیک بررسی حرکت ابرها موسوم به ابرهای زلزله (Earthquake clouds) پیش‌بینی‌های جالب توجهی انجام داده است. اولین زلزله‌ای که توسط این محقق پیش‌بینی شده بود زلزله رودبار در سال ۱۹۹۰ بود که یک روز قبل از آن صورت گرفت. هم‌چنین ۶ روز قبل از وقوع زلزله بم در تاریخ ۲۰۰۳، ۲، ۱۹ وی برای اولین بار توانست ابرهای زلزله را به کمک تصاویر ماهواره‌ای تشخیص دهد و سپس مجدداً ۲ روز بعد یعنی در تاریخ ۲۰۰۳، ۲، ۲۱ دومین ابر زلزله را مشاهده کرد. ۲۴ ساعت قبل از وقوع زلزله اطلاعات مربوط به این پیش‌بینی در سایت اختصاصی وی اعلام شده بود [2,3].

در روش تداخل‌سنجی راداری از داده‌های سنسجش از راه دور راداری (ماهواره‌هایی که در ارتفاع ۸۰۰ کیلومتر از سطح زمین قرار دارند) استفاده می‌شود. تکنیک به کار رفته در این روش

تداخل‌سنجی (Interferometry) است. در این روش با استفاده از زوج تصویر می‌توان جابه‌جایی‌های مربوط به لایه‌های سطحی زمین را در حد میلی‌متر مشخص و نقشه این تغییرات را تهیه کرد و سپس با آنالیز آن‌ها به یک مدل برای پیش‌بینی دست یافت [2]. داده‌های تصویربرداری ماهواره‌ای نشان می‌دهد که برخی پدیده‌ها مانند تغییر شکل زمین و یا تغییر درجه حرارت سطحی با زلزله مرتبط هستند. داده‌های تصویربرداری حرارتی حاصل از سنجنده AVHRR روی ماهواره NOAA و سنجنده MODIS روی ماهواره Terra و سایر سنجنده‌های مادون‌قرمز گرمایی، نشان‌دهنده ناهنجاری‌های حرارتی پیش از زلزله هستند که به سیستم‌های گسل در پوسته زمین مرتبط است. ناهنجاری‌های حرارتی چند روز پیش از زلزله ظاهر می‌شود و اختلاف در حدود ۳-۶ درجه یا بیشتر را نشان می‌دهد و چند روز پس از زلزله نیز ناپدید می‌شود. پس از مطالعه و مشاهده تصاویر و داده‌های درجه حرارت سطحی، یک افزایش درجه حرارت در جهت مثبت در ۱۴ ژوئن ۲۰۰۱ در جنوب غربی گوجارات نسبت به محیط اطراف آشکار شد. درجه حرارت در ۲۳ ژوئن یعنی ۳ روز قبل از زلزله گوجارات به حداکثر رسید. در این روز LST در حدود ۲۸-۳۱ روز درجه سانتی‌گراد بود. این افزایش درجه حرارت حدود ۷-۵ درجه بالاتر از درجه حرارت معمول منطقه بود. بعد از آن افزایش درجه حرارت شروع به افت کرد. زلزله ویرانگر بم در ۲۶ دسامبر سال ۲۰۰۳ با شدت ۶/۶ ریشتر رخ داد و شهر بم را تخریب کرد. پنج روز قبل از زلزله در ۲۱ دسامبر، یک ناهنجاری حرارتی در جنوب شهر بم آشکار شد و تا چند روز ادامه داشت. تصاویر حرارتی ماهواره NOAA در ۲۱ و ۲۳ دسامبر و ناهنجاری‌های حرارتی را نشان می‌دهد. معمولاً ناهنجاری‌ها در نزدیکی گسل‌های بزرگ مشاهده می‌شوند [4].

۲. بیان مسئله

دگرریختگی جنبای پوسته از طریق فرایندهای مختلف حرارتی و ژئودینامیکی سبب تراوش گازها و صعود آنها به همراه سایر سیالات زیرزمینی به سطح زمین در پهنه‌های فعال، و چشمه‌های آب گرم قبل از رویداد زمین‌لرزه می‌گردد. به طوری که تغییرات زمانی گازها، به خصوص گاز رادون یکی از پنج پیش‌نشانگر قابل قبول انجمن بین‌المللی لرزه‌شناسی و فیزیک درون زمین (IASPEI) می‌باشد [11].

رادون-۲۲۲ یکی از محصولات طبیعی چرخه‌ی واپاشی اورانیوم ۲۳۸، با نیمه عمر ۳/۸۲ روز می‌باشد. این گاز به راحتی درون آب حل می‌گردد و از این طریق قادر است مسافت‌های نسبتاً زیادی را در داخل زمین طی نماید [14,13,12]. گاز رادون به دلیل سهولت و ارزانی نسبی اندازه‌گیری پیوسته و به هنگام آن و همچنین تنوع روش‌ها و فراوانی ابزارهای اندازه‌گیری، بیش از سایر پیش‌نشانگرهای ژئوشیمیایی مورد توجه بوده است [15]. اولین ناهنجاری غلظت گاز رادون در درون آب به علت زلزله، توسط اولموف و ماواشیف 1966 ثبت شد [16]. در این تحقیق بر آن شدیم تا با استفاده از تغییرات بعد فرکتال، تغییرات غلظت رادون در چشمه آب گرم جوشان کرمان و ارتباط آن با زلزله‌های انجام شده در آن منطقه با نسبت d/t بزرگتر از 0.5 به بررسی امکان پیش‌بینی زلزله در چشمه‌های آب گرم بپردازیم.

۳. بررسی هندسه فراکتال

واژه فرکتال به معنای سنگی است که به شکل نامنظم شکسته شده باشد. بارزترین صفات فراکتال‌ها وجود رفتارهای غیر قابل پیش‌بینی در آنهاست. فرکتال‌ها بعد غیر صحیح دارند و برای تحلیل این ساختارها نیاز به استفاده از هندسه فرکتالی است. امروزه با ورود تئوری آشوب یا فراکتال و تحلیل

مطالعه روی پدیده‌های لرزه‌ای در مناطق مختلف دنیا نشان داده است که توزیع بزرگی، مراکز سطحی و زمان رویداد زمین لرزه‌ها با رفتارهای فرکتالی مشخص می‌شوند. نخستین مطالعات فرکتالی زمین لرزه‌ها به سال‌ها پیش از کشف فرکتال برمی‌گردد. قانون آمبری و رابطه گوتنبرگ و ریشتر نشان می‌دهد که این پژوهشگران بدون این‌که با مفهوم فرکتال آشنا باشند روابط فرکتالی موجود در بین زمین لرزه‌ها را کشف کرده‌اند. زمین لرزه‌ها در هر دو مقیاس زمانی کوتاه و بلند، ویژگی فرکتالی از خود نشان می‌دهند این آنالیز فرکتالی ابزاری قدرتمند برای تشخیص پدیده‌های اصلی لرزه‌خیزی بوده و می‌توانند نشانه‌هایی از دینامیک درونی فعالیت لرزه زمین‌ساختی را به دست دهد [6,5]. در دهه گذشته، روش‌های ژئوفراکتالی جایگاه ویژه‌ای در پیش‌دآوری‌های علمی داشته‌اند که در این میان، ارتباط بعد فرکتالی توزیع زلزله‌ها با تکرارپذیری رویدادهای لرزه‌ای در بازه زمانی میان مدت قابل ذکر می‌باشد [8,7]. پرکاربردترین روش آنالیز در تحلیل فرکتالی سیستم‌های گسلی، روش مربع شمار می‌باشد. این روش توسط هیراتا، 1989 برای محاسبه ابعاد فرکتالی شبکه‌های گسلی در حوضه زغالی سیلیسیا بالایی در هلند؛ توسط آنگولو و در ژاپن؛ توسط ایدزیاک و تمپر، 1996 برای مطالعه توزیع گسل‌ها، شکستگی‌ها و خطواره‌ها در منطقه‌ای در سواحل غربی ایالت گونرو در مکزیک جنوبی و در 1987 برای محاسبه هندسه فرکتالی سیستم گسلی سوماترا استفاده شده است. تحلیل‌های فرکتالی بیش‌ترین فعالیت‌های لرزه‌ای در شمال مکران، در اطراف سیستم‌های گسلی اصلی به روش مربع شمار در جنوب شرق ایران انجام شد. براساس نتایج بدست آمده با فاصله گرفتن از سیستم گسلی اصلی، از میزان بعد فرکتال کاسته می‌شود [9]. هم‌چنین براساس تحقیقات انجام شده توسط Kei Murase بعد فرکتال تغییرات شدت زلزله یکسال قبل از یک زلزله با شدت ۸ ریشتر در ژاپن کاهش یافته است [10].

پدیده‌های دینامیکی با دید رفتارهای آشوبی در شاخه‌های مختلف علوم، پیشرفت‌ها و تحقیقات فراوانی در این زمینه صورت گرفته و مثال‌های فراوانی از وجود رفتارهای آشوب گونه در طبیعت مشاهده شده است. به طور مثال به علت رفتار فراکتالی پدیده‌های مختلف بیولوژیکی هندسه فرکتالی استفاده گسترده‌ای در زمینه تحقیقات پزشکی دارد. James W. Baish و همکاران با استفاده از هندسه فرکتالی به تحقیقات سرطانی پرداختند [17]. Naeim و همکاران به بررسی ویژگی الگوهای فضایی در مغز استخوان و مکانیسم‌های سرطانی موجود در آن‌ها پرداختند [18]. آن‌ها با بررسی ۳۱ لام مغز استخوان سالم با تعیین ضریب فراکتالی نتیجه گرفتند که مغز استخوان از الگوی فرکتالی تبعیت می‌نماید. Dey و همکاران با اندازه‌گیری بعد فرکتالی اسمیرهای سیتولوژی پستان به روش شمارش چهارضلعی‌ها توسط یک سایتومتر تصویری به این نتیجه رسیدند که اختلاف معنی‌داری در بعد فرکتالی سلول‌های خوش‌خیم و بدخیم، وجود دارد [19]. Ohri و همکاران با اندازه‌گیری بعد فرکتالی سلول‌های خوش‌خیم و بدخیم اسمیرهای گردن رحم وجود اختلاف معنی‌دار در بعد فرکتالی را مشخص کردند و این روش را به‌عنوان یک ابزار کمکی سودمند در تفکیک سلول‌های خوش‌خیم و بدخیم معرفی نمودند [20]. در تحلیل سیستم‌های بیولوژیکی از دید آشوب دو دیدگاه کلی وجود دارد. عده‌ای معتقدند که این سیستم در حالت عادی به‌صورت منظم رفتار می‌کنند و هنگامی که مشکلی در سیستم به وجود می‌آید این رفتارها نامنظم و غیرقابل پیش‌بینی می‌شوند و عده‌ای نظری کاملاً مخالف این دارند. آن‌ها معتقدند در حالت طبیعی رفتارها بسیار پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی است و در صورت بروز مشکلات این رفتارها حالت منظم‌تری به خود می‌گیرند.

بعد فرکتال به روش‌های مختلفی محاسبه می‌شود که مهم‌ترین روش‌های روش هم‌بستگی^۱، روش شمارش جعبه‌ای^۲ و روش خوشه‌بندی کردن^۳ است که متداول‌ترین و پرکاربردترین این روش‌ها روش شمارش جعبه‌ای می‌باشد [21].

روش شمارش جعبه‌ای به دو صورت دستی یا با استفاده از نرم‌افزار اجرا می‌شود. در روش دستی با استفاده از تکنیک شبکه‌بندی (Grid) تصویر داده شده به قطعاتی کوچک‌تری تقسیم شده و تعداد خانه‌های درگیری که جزئی از تصاویر در آن قرار دارند شمارش می‌شوند، با تغییر اندازه پیکسل (Pixels) شبکه‌بندی تعداد خانه‌های درگیر تغییر می‌کند. با تغییر ابعاد شبکه‌بندی تعدادی زوج نقطه (ابعاد پیکسل شبکه‌بندی برحسب تعداد خانه‌هایی که تصویر اشکال کرده است) ایجاد می‌شود. با ترسیم نمودار این زوج نقطه‌ها و برازش یک معادله به صورت معادله (۱) بر این نقاط می‌توان بعد فرکتال را به دست آورد. در این معادله D بعد فرکتال، y تعداد خانه‌های اشغال‌شده، A یک ضریب ثابت و X پیکسل شبکه‌بندی شکل مورد بررسی است.

$$y = A.X^{-D} \quad (1)$$

در این تحقیق برای محاسبه بعد فرکتال بر اساس روش شمارش جعبه‌ای از نرم‌افزار fractal3 (Fractal analysis system) معرفی شده توسط Hiroyuki Sasaki، ۲۰۰۶، نسخه 3.4.7 استفاده و مکاتبات صورت گرفته با طراح این نرم‌افزار User و Pass آن به مدت یک سال دریافت شد.

۳. روش کار

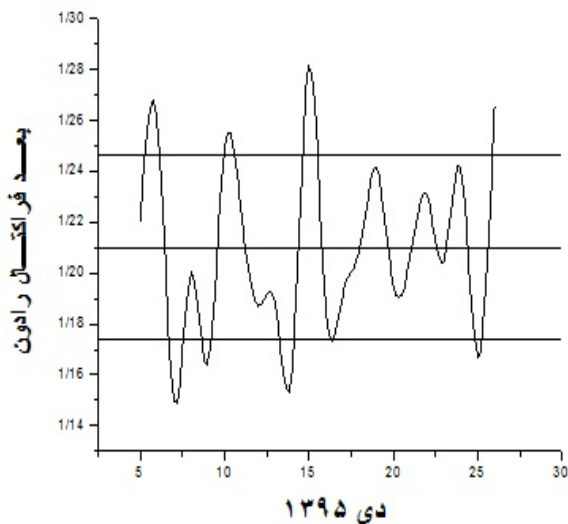
ابتدا داده‌های رادون منطقه‌ی ریحان‌شهر کرمان در بازه زمانی ۵-۲۸ دی ماه ۱۳۹۵ را که توسط آقای دکتر نگارستانی و

¹Correlation Method

² Box-Counting Method

³ Clustering Method

نسبت D/R زلزله‌های انجام شده در منطقه چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان در بازه زمانی ۱۵-۱ بهمن ماه ۱۳۹۵ در شکل ۳ و جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۲: بعد فراکتال روزانه تغییرات غلظت رادون در چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان در بازه زمانی ۲۸-۵ دی ماه ۱۳۹۵.

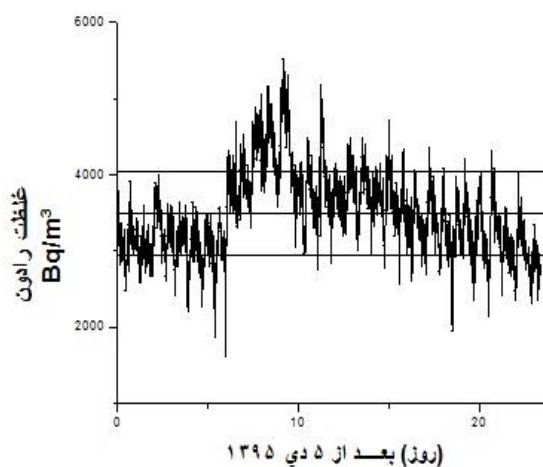
جدول ۱: D/R زلزله‌های انجام شده در منطقه چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان.

ریشتر	D(km)	فاصله تا مرکز زلزله (km)	D/R	تاریخ
4/6	95/060	185/3014593	0/5130045	21/01/2017
2/7	14/487	135/7379168	0/106733	21/01/2017
2/9	17/660	141/5445592	0/124769	21/01/2017
3/2	23/768	179/1272522	0/13269	21/01/2017
2/7	14/487	126/6432182	0/1143979	22/01/2017
3	19/498	143/3738878	0/1359972	22/01/2017
2/9	446	36/3270568	0/4861494	22/01/2017
3/9	17/660	13/13445047	3/6189959	26/01/2017
3/6	35/318	15/18422125	2/325988	26/01/2017
3/1	31698	147/8966739	0/1455598	26/01/2017
2/8	21/527	144/8070681	0/1104613	26/01/2017
2/9	81735	148/1511657	0/1192051	26/01/2017
4/2	15/995	63/973	0/4370604	28/01/2017
	48355	146/3721919		2017

همکاران به دست آمده است در بسته‌های ۱ روزه تقسیم‌بندی می‌شود. نمودار داده‌های رادون در این بسته زمانی اول که هر ۱۵ دقیقه ثبت شده را رسم کرده و هم‌چنین محاسبه بعد فرکتالی غلظت رادون با نرم‌افزار استفاده شده در این پژوهش به دست می‌آوریم. تمام مراحل فوق برای محاسبه بعد فراکتال تغییرات رادون در یک بازه فوق‌الذکر انجام شده است که نتایج آن در ادامه آورده شده است.

۵. نتایج

تغییرات غلظت رادون در چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان در بازه زمانی ۲۸-۵ دی ماه ۱۳۹۵ در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای بر اساس نتایج عملی دکتر نگارستانی و همکاران در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: تغییرات غلظت رادون در چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان در بازه زمانی ۲۸-۵ دی ماه ۱۳۹۵ در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای.

بعد فراکتال روزانه تغییرات غلظت رادون در چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان در بازه زمانی ۲۸-۵ دی ماه ۱۳۹۵ با استفاده از روش شمارش جعبه‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است.

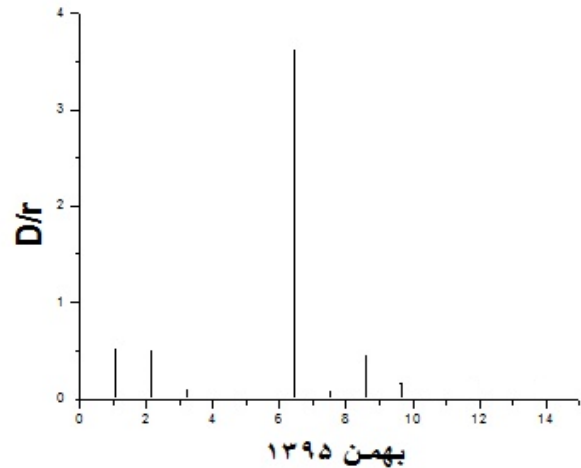
روزانه رادون و زلزله‌های مشاهده شده با D/R بزرگتر از ۰,۵ وجود دارد طوری که بین ۲۵-۱۷ روز قبل از زلزله بعد فراکتال تغییرات روزانه رادون آب افزایش ناگهانی بیش تر از مقدار متوسط به اضافه منهای سیگما پیدا می کند. نتایج این تحقیق نشان می دهد در تاریخ ۲۶-۲۰ بهمن زلزله‌ای با D/R بزرگتر از ۰,۵ در این منطقه رخ خواهد داد. آمار زلزله‌های صورت گرفته در چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان با طول جغرافیایی ۵۶,۹ درجه و عرض جغرافیایی ۳۰,۸ درجه در بازه زمانی پیش بینی شده ۲۰ تا ۲۵ بهمن ماه ۱۳۹۵ در جدول ۲ نشان داده شده است. دلایل و شواهد نشان از تحقق پیش بینی صورت گرفته در زمینه وقوع زلزله‌ای با D/R بزرگتر از ۰,۵ (۱,۸۸۵) در منطقه چشمه آب گرم ریحان شهر زرنند کرمان دارد.

جدول ۲: آمار زلزله‌های صورت گرفته در چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان با طول جغرافیایی ۵۶,۹ درجه و عرض جغرافیایی ۳۰,۸ درجه در بازه زمانی پیش بینی شده ۲۰ تا ۲۶ بهمن ماه ۱۳۹۵.

موقعیت مکانی T	موقعیت مکانی LO	فاصله تا مرکز زلزله	D	D/R	تاریخ
29/027	58/305	143	9	0/112	08/02/2017
31/236	55/544	229	8	0/052	10/02/2017
32/193	55/628	293	2	0/045	10/02/2017
30/042	57/765	20	9	1/886	10/02/2107
29/171	56/715	139	9	0/14	12/02/2017

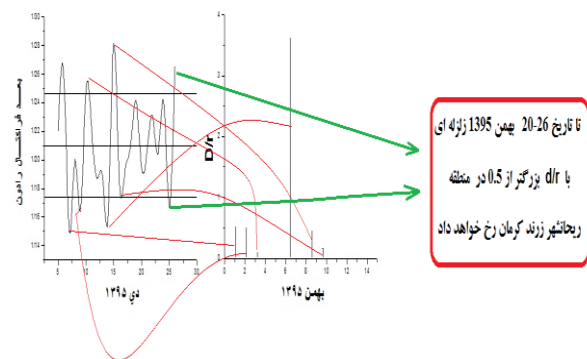
نسبت d/r زلزله‌های انجام شده در منطقه چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان در بازه زمانی ۲۵-۲۰ بهمن ماه ۱۳۹۵ در شکل ۵ نشان داده شده است.

2/9	17/660	123/8617301	0/1425814	28/01/2017
2/7	14/487	133/725329	0/1083394	28/01/2017
3/1	21/527	134/3438381	0/1602442	29/01/2017
2/8	15/995	136/896672	0/1168442	31/01/2017
2/6	58029	123/2465738	0/1064695	02/02/2017
	13/121			
	99899			



شکل ۳: نسبت D/R زلزله‌های انجام شده در منطقه چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان.

رابطه بین بعد فراکتال روزانه تغییرات رادون در چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان با D/R زلزله‌های انجام شده در منطقه در شکل ۴ آورده شده است.



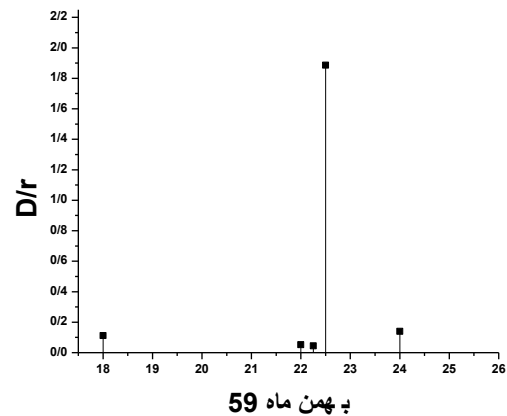
شکل ۴: رابطه بین بعد فراکتال روزانه تغییرات غلظت رادون در چشمه آب گرم ریحان شهر کرمان با D/R زلزله‌ها.

بنا بر داده‌های شکل ۵ مشاهده می شود که یک رابطه منطقی بین افزایش ناگهانی در بعد فراکتال تغییرات غلظت

زلزله‌ای با D/R بزرگ‌تر از ۰,۵ در این منطقه رخ خواهد داد. دلایل و شواهد نشان از تحقق پیش‌بینی صورت گرفته دارد.

۷. قدردانی

از مرکز تحقیقاتی پیش‌نشان‌گر زلزله دکتر نگارستانی و همکاران ایشان در دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های رادون چشمه آب گرم ریحان‌شهر کرمان در بازه زمانی ۲۸-۵ دی ماه ۱۳۹۵ تقدیر و تشکر ویژه به عمل می‌آید.



شکل ۵: نسبت D/R زلزله‌های انجام شده در منطقه چشمه آب گرم ریحان‌شهر کرمان در بازه زمانی ۲۵-۲۰ بهمن ماه ۱۳۹۵.

۶. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که یک رابطه منطقی بین افزایش ناگهانی در بعد فراکتال تغییرات غلظت روزانه رادون چشمه آب گرم ریحان‌شهر کرمان و زلزله‌های مشاهده شده با D/R بزرگ‌تر از ۰,۵ وجود دارد طوری‌که بین ۲۵-۱۷ روز قبل از زلزله بعد فراکتال تغییرات روزانه رادون آب افزایش ناگهانی بیش‌تر از مقدار متوسط به اضافه منهای سیگما پیدا می‌کند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در تاریخ ۲۶-۲۰ بهمن

۸. مراجع

- [1]. Zare, M and Ariamanesh, M. (2008) Theoretical Review of the Possibility of Earthquake Prediction in Iran. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 9(4), 159-170. (In Persian)
- [2]. Nouri, A and Jadiri, L. (2005) earthquake prediction system using satellite remote sensing, Eleventh Conference of Civil Engineering Students, Bandar Abbas, Hormozgan University, Civil, http://www.civilica.com/Paper-CESC11-24_5332856308.html. (In Persian)
- [3]. Alavi panah, S.K. (2004) 'thermal remote sensing'. In: the use of remote sensing of Earth Sciences, Tehran University Press, Tehran. (In Persian)
- [4]. Asgari, G. Hafezi, N. Rahimi, M.R and Adib, A. (2006) earthquake prediction using thermal bands of satellite imagery in Iran: A Case Study of Earthquake 2005 Ravavr, the twenty-fourth meeting of Earth Sciences, Tehran, Geological Survey, http://www.civilica.com/Paper-GSI24-GSI24_147.html. (In Persian)
- [5]. Atabai, M. Agh. (2015) Temporal Distribution Pattern of the Earthquakes in the SE Zagros. *Journal of Earth Sciences*, 24 (94), 245-254. (In Persian)
- [6]. Telesca, L., Cuomo, V., Lapenna, V. and Macchiato, V., (2001) Identifying space time clustering properties of the 1983-1997 Irpinia-Basilicata (southern Italy) seismicity. *Tectonophysics*, 330, 93-102.
- [7]. Mehrnia, R (2014) The Study on Great Earthquake Predictability by Using to Fibo- Fractal Analysis (Seismic Events in NW of saravan) *Geodynamics Research International Bulletin*, 2 (1), SN: 04.
- [8]. Caneva, A. And Smirnov, V. (2004) Using The Fractal Dimension Of Earthquake Distributions And The Slope Of The Ecurrence Curve To Forecast Earthquakes In Colombia. *Earth Sciences Researches Journal*, 8, (1), 3-9.
- [9]. Jami, M. Radan, M. et al. (2013) the fractal geometry faults and seismicity in the South East of Iran (Makran). *Makran coast and the authority of the Islamic Republic of Iran the maritime Development Conference*. (In Persian)
- [10]. Muras, K. (2004) A Characteristic Change in

- Fractal Dimension Prior to the 2003 Tokachi-oki Earthquake (MJ = 8.0), Hokkaido, Northern Japan Earth Planets Space, 56, 401–405.
- [11]. Wyss, M. (1997) Second round evaluation of proposed earthquake precursors. *Pure Appl Geophys*, 149(1) 3-16.
- [12]. Igarashi, G., Saeki, S., Takahata, N., Sumikawa, K., Tasakawa, S., Sasaki, Y., Takahashi M., and Sano, Y. (1995) Ground-Water Radon Anomaly before the Kobe Earthquake in Japan. *Science*, 269 (5520) 60-61.
- [13]. Virk, H.S. and Singh, B. (1993) Radon Anomalies in soil-gas and groundwater as Earthquake Precursor Phenomena. *Tectonophysics*, 27, 215-224.
- [14]. Nishizawa, S., Igarashi, G., Sano, Y. Shoto., E., Tasaka, S., and Sasaki, Y., (1998) Radon and Negative Ions Anomalies in Hot Spring Water associated with the 1995 Earthquake Swarm Off the east Coast of the Izu Peninsula, central Japan. *Applied Geochemistry*, 13, 89-94.
- [15]. Toutain, J.-P. and Baubron, J.-C. (1999) Gas Geochemistry and Seismotectonics: a review. *Tectonophysics*, 304, 1-27.
- [16]. Ulomov, V. I. and Mavashev, B. Z. (1967) Forerunners of the Tashkent earthquake: *Izvestia Akadamiyi Nauk Uzbekistan SSR*, 188-200.
- [17]. Baish Jw, Rakesh Kj. (2000) Fractals and Cancer. *Perspect Cancer Res*, 60, 3683- 3688.
- [18]. Naeim F, Moatamed F, Sahimi M. (1996) Morphogenesis of the Bone Marrow: Fractal Structures and Diffusion Limited Growth. *Blood*, 87, 5027-5031.
- [19]. Dey P, Mohanti S. (2003) Fractal Dimensions Of Breast Lesions On Cytology Smears. *Diagnostic Cytopathol*, 29(2), 85-86.
- [20]. Ohri S, Dey N R. (2004) Fractal Dimension in Aspiration Cytology Smears Of Breast and Cervical Lesions. *Anal Quant Cytol Histol*, 26(2), 109-120.
- [21]. Li, J., C. Sun, and Q. Du, (2006) A new box-counting method for estimation of image fractal dimension, *Image Processing, 2006 IEEE International Conference on*, 3029-3032.