

ارتباط غلظت گاز رادون با جنبش‌های زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی؛ نمونه موردی: گسل جرجافک، ایران مرکزی

امیر شفیعی بافتی^{۱*}

دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند، زرنند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۲

چکیده

رادون یک گاز بی‌اثر رادیو اکتیو است که در طبیعت توسط رخدادهای طبیعی به وجود می‌آید. این گاز در آب محلول بوده و عوامل مختلفی بر درجه حلالیت آن در آب تأثیر دارند. از بهترین محل‌ها برای انباشته شدن رادون در آب‌های زیرزمینی، محل‌های فعال ژئودینامیک، گسل‌های پی‌سنگی عمیق و شکستگی‌ها هستند، به همین دلیل حضور گسل‌ها در نزدیکی منابع آب، به عنوان یک اثر عامل موثر بر غلظت رادون شناخته می‌شود. در این نوشتار، هدف، بررسی ارتباط میزان غلظت گاز رادون با فعالیت‌های زمین‌ساختی گسلش فعال می‌باشد. گسل جرجافک با طولی نزدیک به ۱۶۰ کیلومتر با روندی شمال باختر- جنوب خاور در جنوب ایران مرکزی و در حاشیه شمال خاور رشته کوه داوران قرار گرفته است. این گسل سیماهای ریخت زمین‌ساختی فعال از خود نشان می‌دهد، به طوری که محاسبه پارامترهای ریخت‌زمین‌ساختی مربوط به رودخانه‌های منتهی به این گسل مانند (V)، (S)، (SL) و (H) نرخ‌های فرایشی کم تا بالا را برای حرکات زمین‌ساختی این گسل نمایش می‌دهند. پراکندگی مراکز لرزه‌های رشته کوه داوران نشان از لرزه‌خیزی پایین منطقه دارد. افزون بر این مطلب، تمرکز محدود رخدادهای در قسمت جنوبی این رشته کوه و توزیع غیر یکسان و عدم روند مشخص از ویژگی‌های لرزه‌ای آن می‌باشند. برای اندازه‌گیری غلظت گاز رادون در منابع آب منتهی به گسل جرجافک، پس از بررسی‌های صحرایی ۳۵ ایستگاه برای نمونه برداری مناسب تشخیص داده شد و نمونه برداری‌ها در دو نوبت و در فصول سرد (دسامبر ۲۰۱۵) و گرم (ژوئیه ۲۰۱۶) انجام شد. بالاترین و پایین‌ترین میزان غلظت اندازه‌گیری شده در مرحله اول به ترتیب با مقادیر ۵۳۱۸۳ و ۱۳۸ بکرل در متر مکعب متعلق به ایستگاه‌های ۱۳ (مربوط به منطقه روگرد) و ۳ و ۸ (مربوط به مناطق استخر و نیه و علی آباد) و در مرحله دوم بالاترین و پایین‌ترین میزان غلظت اندازه‌گیری شده به ترتیب با مقادیر ۵۶۲۳۳ و ۱۶۹ بکرل در متر مکعب متعلق به ایستگاه‌های ۲۹ (مربوط به منطقه فرح آباد) و ۲۵ (مربوط به منطقه بیدوئیه) می‌باشند. مقایسه غلظت مقادیر به دست آمده در هر ایستگاه و انطباق آن با فعالیت‌های لرزه‌های منطقه نشان می‌دهد که در مکان‌هایی که فعالیت‌های لرزه‌ای بالاتر است (به ویژه در قسمت جنوب خاوری) میزان غلظت گاز رادون در این مناطق نیز بالاتر می‌باشد. از این رو، شاید بتوان چنین گفت که مناطق دارای غلظت بالای گاز رادون، دارای پتانسیل حرکتی بیشتر و احتمال بیشتر برای رخداد زلزله را دارا می‌باشند و تغییرات افزایشی غلظت گاز رادون در این مناطق را می‌توان به یکی از نشانه‌های رخداد زلزله ارتباط داد.

کلیدواژه‌ها: رادون، فعالیت‌های زمین‌ساختی، لرزه‌خیزی، گسل جرجافک، ایران مرکزی

*نویسنده مسئول: امیر شفیعی بافتی

E-mail: Kalamus51@hotmail.com

۱- پیش‌نوشتار

دستگاه‌های اندازه‌گیری، روش‌های ژئوشیمیایی در مقایسه با سایر روش‌های معمول در تحقیقات پیش‌نشانگری، امکان استفاده از اطلاعاتی با کیفیت بالاتر را فراهم کرد (Dobrovolsky et al., 1979; Hedervari, 1977). در این میان می‌توان به نقش پیش‌نشانگری گاز رادون در این تحقیقات اشاره کرد. از آنجا که دگرریختگی جنبی پوسته زمین از طریق فرایندهای گوناگون حرارتی و ژئودینامیکی، سبب تراوش گازها و صعود آنها به همراه سایر شارهای زیرزمینی به سطح زمین در پهنه‌های فعال و چشمه‌های آب گرم قبل از رویداد زمین‌لرزه می‌شود، این گاز از مدت‌ها پیش، به منظور پیش‌بینی زمین‌لرزه مورد پایش قرار گرفته است (Ulomov and Mavashev, 1967; King, 1980; Fleischer and Magro-Campero, 1985; Segovia et al., 1989; Riggio and Santulin, 2015; Shapiro, 1989; Woith et al., 1991). Jackson (1981) پیشنهاد کرد که تغییرات غلظت گاز رادون در مناطق لرزه‌خیز می‌تواند نشان‌دهنده میزان تنش در سامانه شکستگی محلی باشد. وی همچنین اشاره کرد که این بی‌هنجاری‌ها به واسطه رشد آرام شکستگی‌های کوچک در پوسته بر اثر برخورد با آب‌های زیرزمینی به وجود می‌آیند. او پیشنهاد کرد که بی‌هنجاری‌های رادون به شدت به شرایط محلی مانند نوع سنگ، میزان تنش و درجه اشباع‌شدگی سنگ از آب بستگی دارد (Thomas, 1988; Virk and Singh, 1993; Popit et al., 2005). بی‌هنجاری‌های ناگهانی در میزان تغییرات غلظت گازها می‌تواند ارتباط مستقیمی با زمان وقوع زمین‌لرزه داشته باشد و دامنه و مساحت زیر منحنی تغییرات غلظت گازها در مناطق لرزه‌خیز، به بزرگای زمین‌لرزه بستگی دارد (King et al., 1993). در حال حاضر، شبکه نسبتاً متراکمی از ایستگاه‌های اندازه‌گیری این گاز،

رادون یک گاز بی‌اثر رادیو اکتیو است که در طبیعت توسط رخدادهای طبیعی به وجود می‌آید. این گاز بی‌رنگ، بدون بو و از نظر بار الکتریکی خنثی و به دلیل این که پرتوزا و آلفا گسیل است، بسیار خطرناک می‌باشد. رادون دارای سه ایزوتوپ طبیعی (^{219}Rn , ^{220}Rn , ^{222}Rn) می‌باشد که مهم‌ترین آنها ^{222}Rn است. رادون در آب محلول بوده و عوامل مختلفی مانند درجه حرارت و PH بر درجه حلالیت آن در آب تأثیر دارند. رادون در طبیعت، در هوا و همچنین در همه منابع آب روی زمین از جمله دریاها، رودخانه‌ها، چشمه‌ها، آب‌های زیرزمینی و حتی در بارش‌های جوی موجود است. غلظت ^{222}Rn در آب زیرزمینی بسیار متغیر است و عوامل متعددی همچون: زمین‌شناسی، آب‌شناسی، هواشناسی و فراوانی رادیونوکلئیدهای مادر و نوکلئیدهای جذب شده توسط سنگ‌ها و خاک‌ها می‌توانند در غلظت ^{222}Rn در آب‌های زیرزمینی یک منطقه تأثیر بگذارند (Ghosh et al., 2009; Stranden et al., 1984). از عوامل زمین‌شناسی می‌توان به سنگ‌شناسی و ساختار منطقه (به ویژه گسل‌ها و شکستگی‌ها) اشاره کرد. از بهترین محل‌ها برای انباشته شدن رادون در آب‌های زیرزمینی، محل‌های فعال ژئودینامیک، گسل‌های پی‌سنگی ژرف و شکستگی‌ها هستند، که می‌توانند به صورت کانال‌هایی ساده و نفوذپذیر برای خروج گاز رادون از منابع ژرف‌تر به منابع آب زیرزمینی عمل کنند. به همین دلیل حضور گسل‌ها در نزدیکی منابع آب، به عنوان یک اثر عامل موثر بر غلظت رادون شناخته می‌شود.

یافتن روش‌های قابل اطمینان برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت زمین‌لرزه از مباحث مهم زلزله‌شناسی و ژئوفیزیک و زمین‌شناسی است. از دهه ۱۹۶۰، همزمان با پیشرفت

۲- تنوع در تشکیلات زمین‌شناسی که در این منطقه وجود دارد، می‌تواند منجر به تغییرات محسوس در غلظت رادون گردد.

۲- زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی

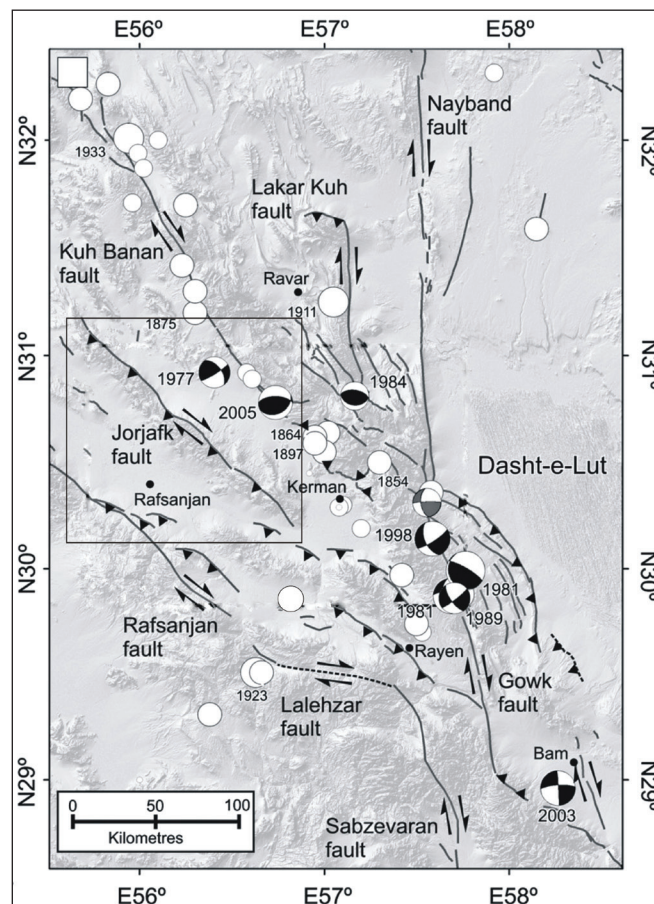
۲-۱. لرزه‌خیزی سامانه‌های گسلی شمال کرمان

در نواحی شمال استان کرمان گسل‌های کوهبنان، نایبند، لکرکوه، گوک، بم، از مهم‌ترین گسل‌های فعال می‌باشند که در غرب لوت جای گرفته‌اند (شکل ۱). به‌رغم سیمایهای دگرشکلی فعال در طول این گسل‌ها، بلوک لوت فاقد دگرشکلی فعال است. با توجه به پراکندگی مراکز لرزه‌ای در منطقه شمال کرمان، علاوه بر شناسایی گسل‌های فعال، این مطلب نیز به ذهن می‌رسد که بسیاری از گسل‌های ایجاد کننده زلزله به صورت ناشناخته باقی مانده‌اند. دگرشکلی در ناحیه اطراف کرمان، کمتر از چند میلی‌متر در سال است (Walker et al., 2009; Vernant et al., 2004; Shafiei bafti et al., 2014). با توجه به منطقه مورد مطالعه قرار گرفته (ناحیه شمال کرمان و از عرض $28^{\circ} 30'$ تا $31^{\circ} 50'$) سامانه‌های گسلی کوهبنان و جرجافک از مهم‌ترین گسل‌های فعال می‌باشند که فرونشست حدفاصل‌شان را به وجود آورده‌اند (شکل ۱).

عمدتاً در چین (Diyun et al., 1995; Zhuo et al., 2008; Harris et al., 2006; Vinson et al., 2009) شوروی سابق (Borisov and Yakovleva, 2005) و ژاپن (Oikawa et al., 2003) ایجاد شده است. نتایج به‌دست آمده، باعث شد تا تغییرات غلظت گاز رادون به‌منزله پیش‌نشانگر زلزله، در ۱۹۹۷، مورد قبول انجمن بین‌المللی لرزه‌شناسی و فیزیک درون زمین (IASPEI) قرار گیرد (Wyss, 1997).

بی‌هنجاری در میزان غلظت گاز رادون نه فقط بر اثر پدیده‌های درونی زمین، همانند تغییرات منجر به وقوع زمین‌لرزه، به‌وجود می‌آید، بلکه پارامترهای جوی نظیر دما، فشار جو، بارش و رطوبت خاک نیز بر آن تأثیرگذار هستند. بنابراین به‌هنگام استفاده از تغییرات غلظت گاز رادون به‌منزله پیش‌نشانگر قابل اعتماد زمین‌لرزه، بایستی تغییرات ناشی از فعالیت‌های زمین‌ساختی از تغییرات حاصل از سایر پارامترها متمایز شود (Ramola et al., 2008, Ramola, 2010; Torkar et al., 2010; Barman et al., 2016). سامانه گسلی جرجافک از این نظر برای این نوع مطالعه ایده آل است که:

۱- حضور قطعات فعال گسلی در نزدیکی منابع آب سبب افزایش غلظت رادون محلول در آب خواهد شد.

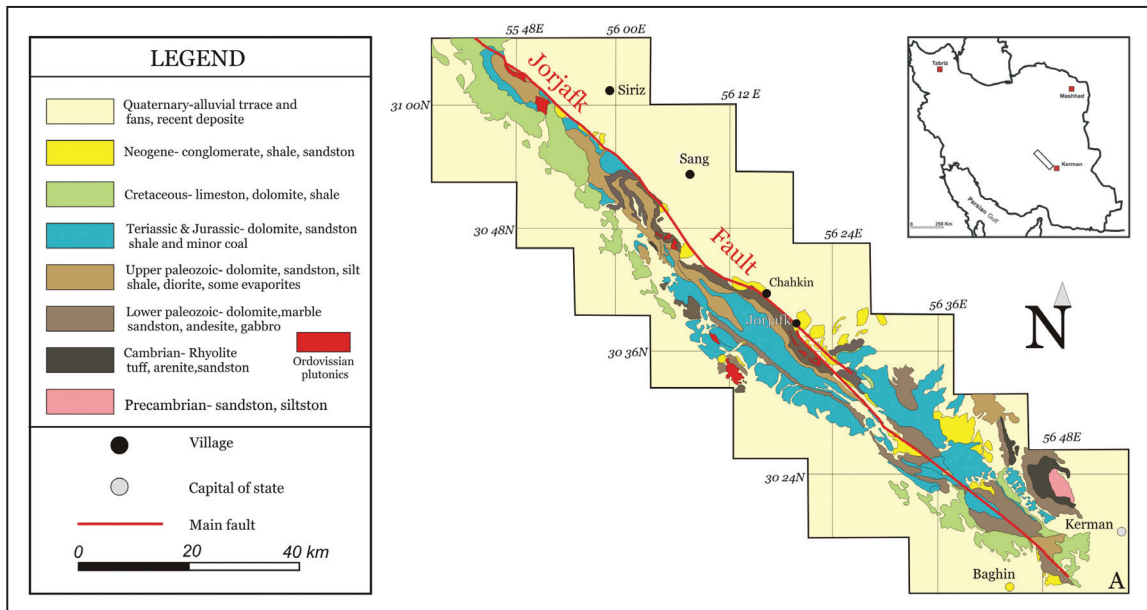


شکل ۱- نقشه SRTM سایه‌دار ناحیه کرمان که بر روی آن گسل‌های فعال این ناحیه به همراه مراکز مه‌لرزه‌ای تاریخی و دستگامی به نمایش درآمده است (Walker et al., 2010). کادر نمایش داده شده گسل جرجافک (شکل‌های ۲ و ۳) را جانمایی نموده است. برخلاف گسل کوهبنان که اطلاعات لرزه‌ای قابل توجهی بعد از سال ۱۸۷۵ میلادی از جنبش این سامانه گسلی در دست می‌باشد، در مورد گسل‌های مجاور (لکرکوه، نایبند و جرجافک) اگرچه سیمایهای زمین‌ساختی فعالی را از خود نمایش می‌دهند، اما اطلاعات لرزه‌خیزی محدودی وجود دارد.

۲-۲. لرزه خیزی سامانه گسلی جرجافک

گسل جرجافک با طولی نزدیک به ۱۶۰ کیلومتر با روندی شمال باختر- جنوب خاور در حاشیه شمال خاور رشته کوه داوران قرار گرفته است. این گسل در ۱۰۰ کیلومتر شمالی خود مرز بین رشته کوه داوران در جنوب باختر و دشت زرنند در شمال خاور را می سازد و در ۶۰ کیلومتری جنوبی خود از نزدیکی روستای جرجافک تا خاور کرمان به صورت بین کوهستانی قرار گرفته است (شکل ۲). این

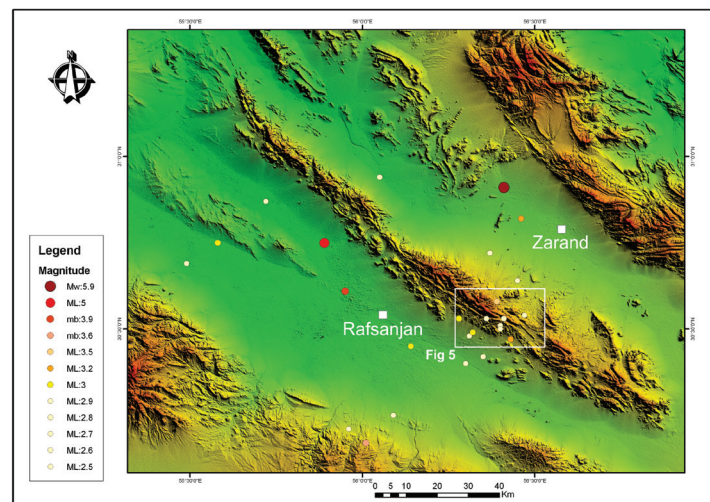
گسل در نیمه شمالی سیمای فعالی از خود نشان می دهد، به طوری که تأثیرگذاری آن بر روی رسوبات دوره نئوژن تاکنون، در نقاط مختلف باعث ایجاد شواهد ریخت زمین ساختی گوناگونی از جمله پادگانه های فراز گرفته، پیچش آبراهه ها و پشته های فشاری گردیده است. کارهای انجام گرفته بر روی این گسل، علاوه بر راندگی، حرکت راست گرد را نیز برای آن متصور گردیده اند (Walker et al., 2010; Allen et al., 2011).



شکل ۲ - نقشه زمین شناسی رشته کوه داوران به همراه موقعیت گسل جرجافک.

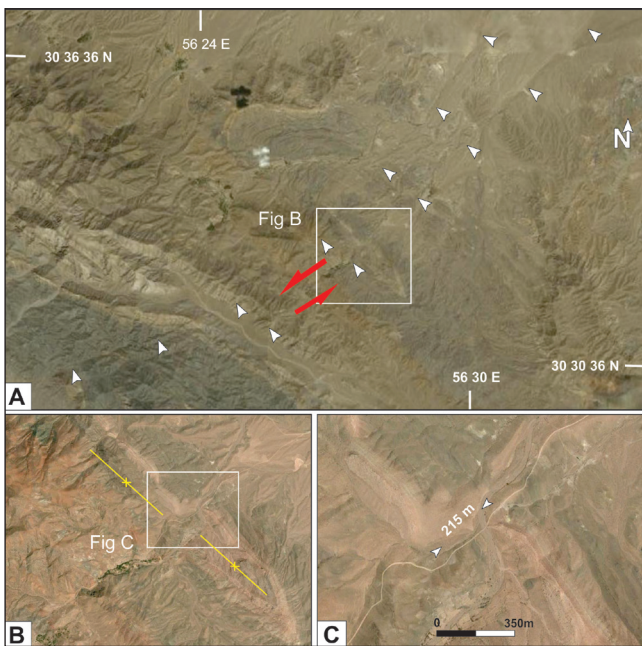
و توزیع غیر یکسان و عدم روند مشخص از ویژگی های لرزه ای آن می باشد (شکل ۳). با توجه به پایین بودن فراوانی زلزله ها در این منطقه و وجود سیمای فعال زمین ساختی به نظر می رسد که رفتار واکنشی این گسل در طول زمان به صورت خزش است.

با نگاه به نقشه پراکندگی مراکز لرزه ای رشته کوه داوران و به ویژه در حاشیه شمالی آن، اولین نکته ای که به ذهن می رسد لرزه خیزی پایین منطقه چه تاریخی و چه دستگاهی می باشد. افزون بر این مطلب، تمرکز محدود رخدادها در قسمت جنوبی این رشته کوه



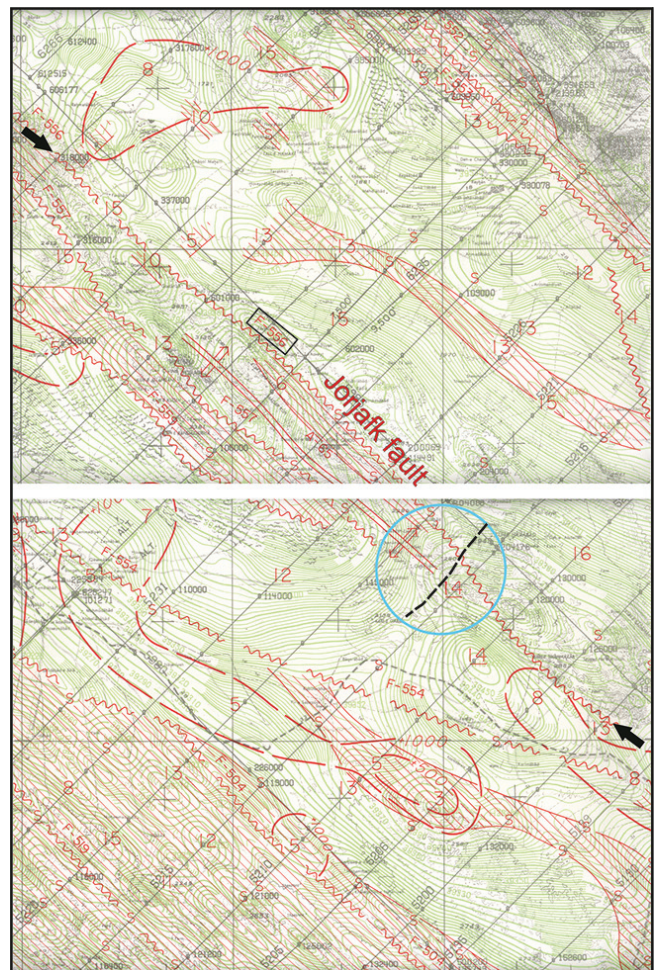
شکل ۳ - تصویر مدل ارتفاعی رقمی رشته کوه داوران که مراکز مه لرزه ای ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ بر روی آن مشخص گردیده است (ISC, 2015). به تراکم پایین رومرکز و بزرگای پایین زلزله ها در قسمت جنوبی رشته کوه داوران و عدم تطبیق با روند گسل جرجافک با مراکز زمین لرزه ها توجه شود.

دو شاخه باعث قطع رسوبات نئوژن نیز گردیده است (شکل ۵). خطواره یاد شده را می‌توان به عنوان مرز حرکات فرایش مناطق شمال باختر نسبت به جنوب خاور در نظر گرفت. در مورد نحوه جنبش این گسل با توجه به جابه‌جایی واحدهای سنگی مزوزوئیک، به صورت حرکت راست‌الغز راست‌گرد می‌باشد. اما نحوه حرکت گسل در کوتاه‌تری به دلیل وضعیت رسوبات منطقه و عدم تشکیل ساختارهای حرکتی به درستی شناخته نمی‌شود (شکل ۵). نکته جالب این است که خطواره یاد شده در نقشه مغناطیس‌هوایی منطقه (نقشه مغناطیس‌هوایی شماره NO: 110; Yousefi and Friedberg, 1978) به عنوان یک خطواره مغناطیسی پی‌سنگی شناخته شده است (شکل ۴).



شکل ۵- A) تصویر ماهواره‌ای روند خطواره قطع‌کننده رشته کوه داوران. روند ناپیوسته آن توسط مثلث‌های سفید نمایش داده شده است. B) تصویری از یک ناودیس که در شکل بالا جانمایی شده و توسط خطواره یاد شده به صورت عرضی قطع گردیده است. C) جابه‌جایی محور چین‌خوردگی در طول خطواره که جابه‌جایی تجمعی ۲۱۵ متر توسط جنبش راست‌الغز راست‌گرد را برای این خطواره مشخص می‌کند.

با توجه به مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی منطقه که برای قسمت شمالی باختر رشته کوه داوران حرکات فرایشی را نشان داده است (Shafiei et al., 2014)، و عدم فرایش یکسان با قسمت جنوب خاوری، و بزرگای پایین زمین‌لرزه‌ها ($M \leq 3.5$) به همراه ژرفای کم آنها (۱۵-۱۰ کیلومتر) در مرز بین این دو قسمت (شکل‌های ۳ و ۴)، این نکته به ذهن نزدیک می‌شود که وقایع لرزه‌ای یاد شده، قسمت‌هایی از وانتش منطقه در راستای تعادل ایزواستاتیک بوده و ارتباط چندانی به خطواره‌ای لرزه‌ای ندارند. اما مشاهدات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای در این قسمت وجود یک خطواره با راستای شمال خاور- جنوب باختر را نمایش می‌دهد که رشته کوه داوران را به صورت عرضی قطع نموده و ادامه آن در دشت زرند- کرمان به صورت



شکل ۴- نقشه مغناطیس‌سنجی منطقه شمال کرمان (اقتباس از Yousefi and Friedberg, 1978). در این نقشه اثر گسل جرجافک توسط پیکان‌های سیاه رنگ مشخص گردیده است. محل خطواره قطع‌کننده رشته کوه داوران توسط خط چین سیاه و در کادر آبی نشان داده شده است. به عدم ادامه پی سنگ تاقی گون رشته کوه به سمت جنوب خاور توجه فرمایید.

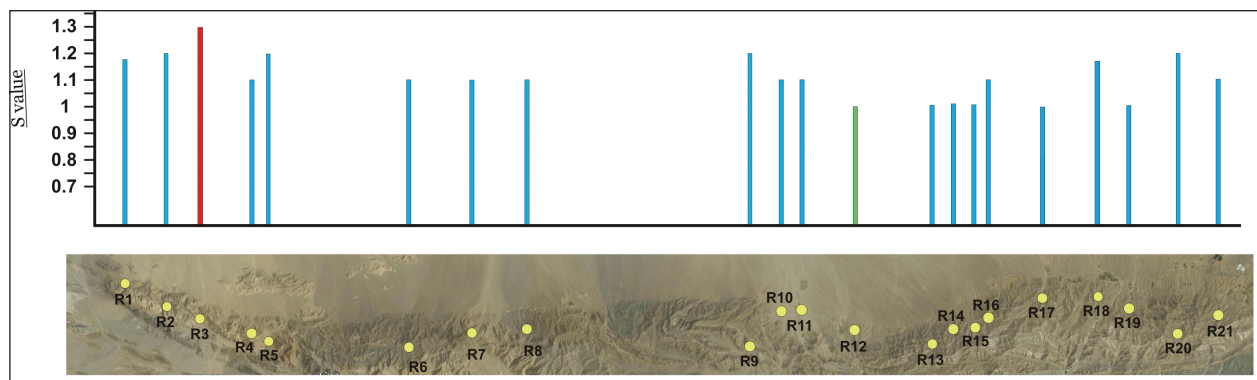
۳- بررسی میزان جنبش‌های فرایشی گسل جرجافک

وجود سازندهای رانده شده پیش از نئوژن به روی سازندهای نئوژن و کوتاه‌تر، در نیمه شمال باختر گسل جرجافک، حرکات فرایشی برای این گسل را محرز نموده است. به منظور ارزیابی این حرکات، بررسی رودخانه‌های منتهی به این گسل، در جبهه شمالی کوهستان داوران از لحاظ جنس سنگ بستر، شکل نیم‌رخ طولی کانال، طول، تغییرات الگوی کانال و تغییرات ژرفا و پهنای کانال، حجم رسوب حمل و

نقل شده و اثرات رودخانه در بالادست و پایین دست ناحیه مدنظر قرار گرفته و شاخص‌های پیچ و خم رودخانه (S)، شیب (LS)، تفرق طولی رودخانه (H) و شاخص (V) برای آنها محاسبه گردید (جدول‌های ۱، ۲، ۳ و شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹). محاسبات یاد شده به کمک برداشت‌های صحرایی و نرم افزارهای ساختاری و دورسنجی انجام شد.

جدول ۱- مقادیر محاسبه شده شاخص پیچ و خم رودخانه ها در جبهه شمالی رشته کوه داوران.

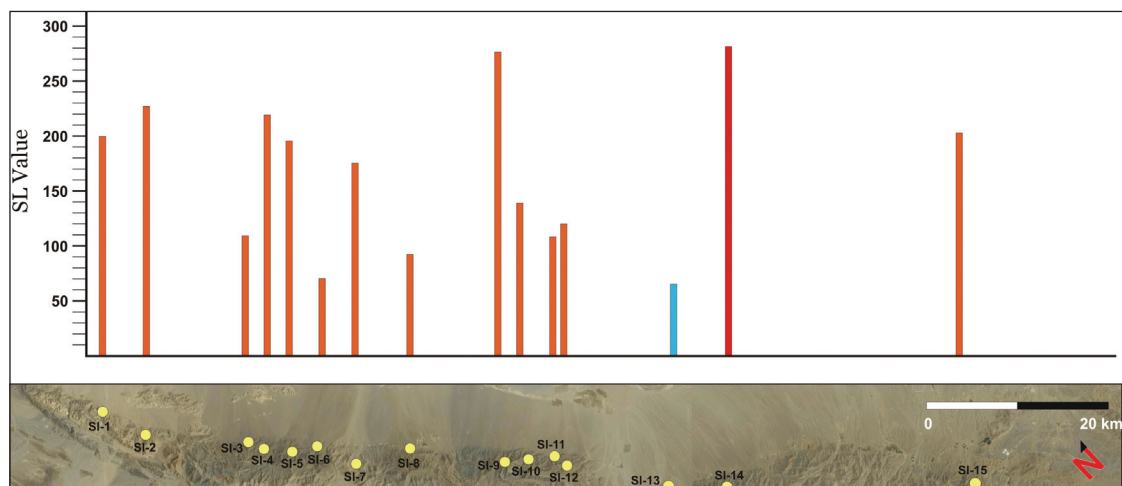
River No	(G):Chanel length (m)	(V): Valley length (m)	Sinuosity (S)
۱	۱۰۳۹	۸۸۲	۱/۱۷
۲	۲۰۷۵	۱۶۹۵	۱/۲
۳	۲۵۷۶	۱۹۱۵	۱/۳
۴	۱۸۸۳	۱۶۹۳	۱/۱
۵	۳۵۰۶	۲۷۹۰	۱/۲
۶	۴۱۶۳	۳۴۹۵	۱/۱
۷	۲۴۷۶	۲۱۲۸	۱/۱
۸	۲۴۸۴	۲۱۶۵	۱/۱
۹	۶۲۸۱	۴۹۵۳	۱/۲
۱۰	۱۰۵۰	۸۹۶	۱/۱
۱۱	۵۱۹	۴۴۲	۱/۱
۱۲	۱۰۷۷	۱۰۶۸	۱
۱۳	۲۵۲۴	۲۴۰۵	۱/۰۴
۱۴	۱۶۰۹	۱۴۷۴	۱/۰۹
۱۵	۲۱۰۰	۱۹۹۳	۱/۰۵
۱۶	۳۱۶۶	۲۸۵۵	۱/۱
۱۷	۲۰۸۰	۲۰۰۸	۱/۰۳
۱۸	۲۹۳۰	۲۵۰۰	۱/۱۷
۱۹	۲۶۹۱	۲۶۲۸	۱/۰۲
۲۰	۵۶۸۵	۴۴۵۳	۱/۲
۲۱	۲۳۶۰	۲۰۶۰	۱/۱



شکل ۶- الف) تصویر ماهواره ای (Hot Bird. Google earth) نیمه شمالی گسل جرجافک و محل رودخانه هایی که پیچ و خم آنها اندازه گیری شده است، به نمایش در آمده است. ب) نمودار مقدار پیچ و خم هر رودخانه در برابر مکان آن نشان داده شده است. مقادیر حداکثر، و حداقل شاخص به ترتیب با رنگ های قرمز و سبز نمایش داده شده اند.

جدول ۲- میزان شاخص شیب محاسبه شده برای رودخانه ها به همراه داده های اولیه.

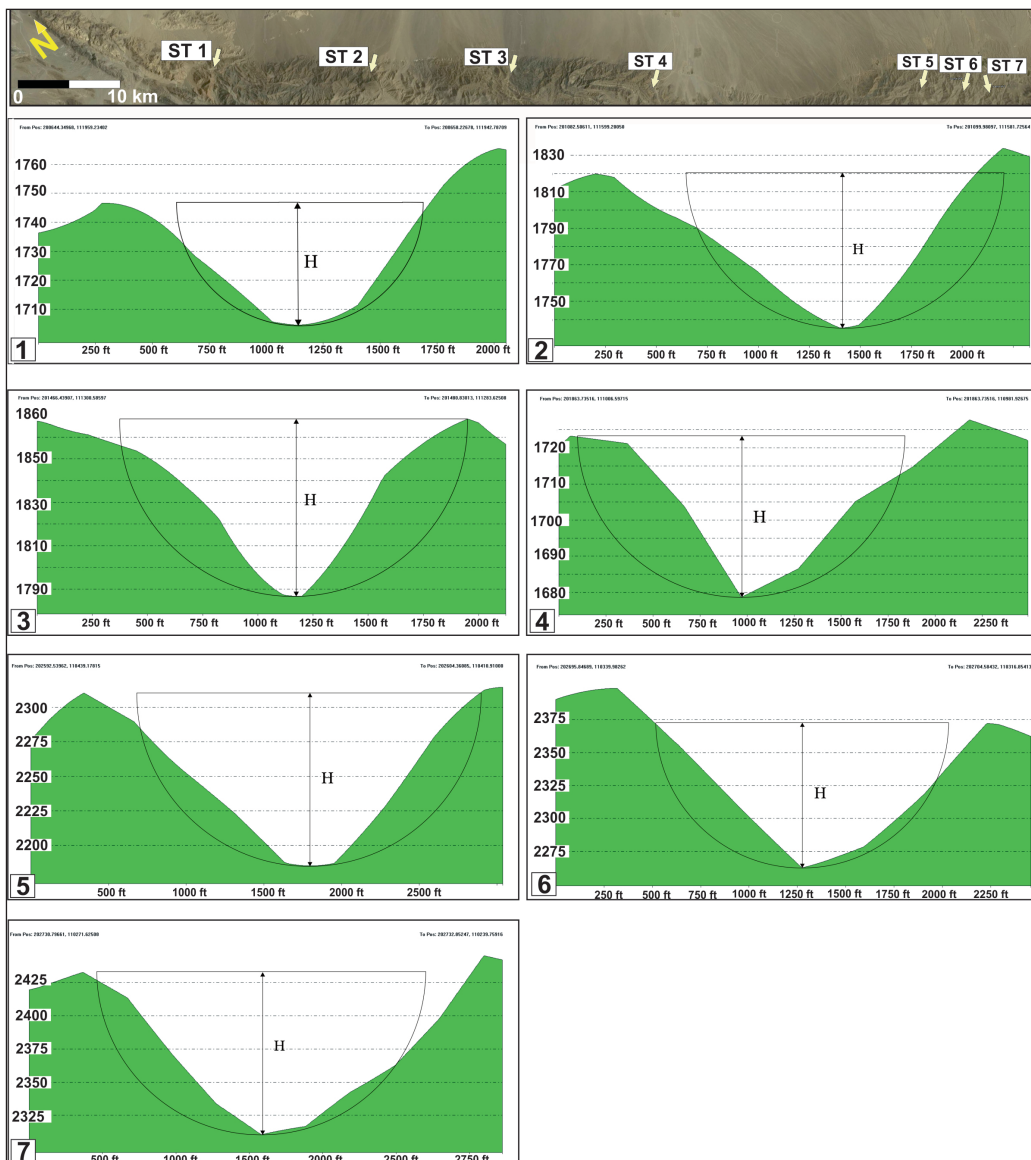
River No	Coordinate	H ₁	H ₂	ΔH	ΔL	L	sL
۱	N 31 09 28 E 55 41 08	۱۶۲۰	۱۵۳۳	۸۷	۱۳۹۲	۳۱۹۳	۱۹۹/۵
۲	N 31 06 58 E 55 42 25	۱۷۷۹	۱۶۵۴	۱۲۵	۷۰۷	۱۲۹۲	۲۲۸/۴
۳	N 31 02 46 E 55 42 44	۱۸۰۳	۱۷۶۳	۴۰	۲۲۰	۶۰۰	۱۰۹/۱
۴	N 31 01 44 E 55 48 44	۱۸۴۲	۱۷۷۸	۶۴	۵۴۶	۱۸۷۴	۲۱۹/۶
۵	N 31 01 15 E 55 49 46	۱۸۴۸	۱۷۷۷	۷۱	۷۴۲	۲۰۴۰	۱۹۵/۲
۶	N 31 00 00 E 55 51 10	۱۷۱۳	۱۶۸۷	۲۶	۳۱۳	۸۴۲	۷۰
۷	N 30 58 22 E 55 52 34	۱۸۱۶	۱۷۲۱	۹۵	۱۱۴۵	۲۱۰۱	۱۷۴/۳
۸	N 30 56 47 E 55 55 51	۱۶۸۳	۱۶۳۹	۴۴	۴۳۱	۸۹۸	۹۱/۶
۹	N 30 53 10 E 56 00 00	۱۹۶۰	۱۸۴۰	۱۲۰	۸۲۶	۱۹۲۰	۲۷۸/۹
۱۰	N 30 52 07 E 56 01 44	۱۷۷۰	۱۷۱۸	۵۲	۶۰۸	۱۶۳۰	۱۳۹/۴
۱۱	N 30 51 06 E 56 03 04	۱۷۵۸	۱۷۱۴	۴۴	۲۶۴	۶۴۷	۱۰۷/۸۳
۱۲	N 30 50 29 E 56 03 42	۱۷۱۹	۱۶۶۹	۵۰	۶۷۳	۱۶۱۷	۱۲۰/۱
۱۳	N 30 45 51 E 56 07 25	۱۷۷۲	۱۷۴۴	۲۸	۳۱۸	۷۲۸	۶۴/۱
۱۴	N 30 42 44 E 56 09 39	۲۱۰۴	۱۹۷۲	۱۳۲	۶۳۴	۱۳۵۰	۲۸۱
۱۵	N 30 35 05 E 56 22 04	۲۴۷۵	۲۴۰۰	۷۵	۵۱۰	۱۳۷۶	۲۰۲



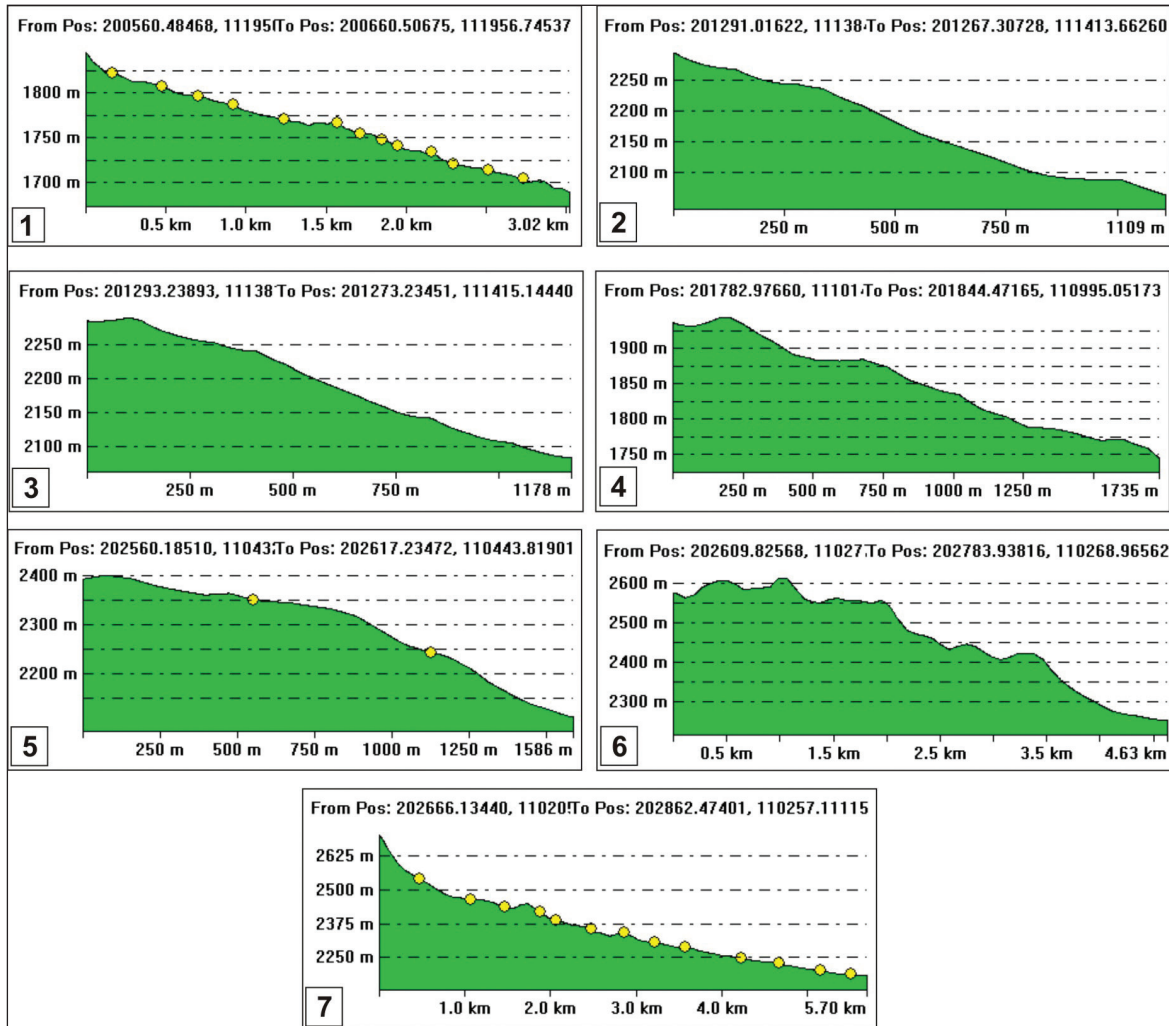
شکل ۷- الف) تصویر ماهواره‌ای (Hot Bird, Google earth) نیمه شمالی گسل جرجافک که محل اندازه‌گیری‌های شیب رودخانه روی آن مشخص گردیده است. ب) نمودار شاخص شیب- مکان برای رودخانه‌های جبهه شمالی رشته کوه داوران. مقادیر حداکثر، و حداقل به ترتیب با رنگ‌های قرمز و آبی نمایش داده شده‌اند.

جدول ۳- مقادیر شاخص V به همراه داده های اولیه برای محاسبه آن.

شماره ایستگاه	AV (m ²)	AC (m ²)	V
۱	4022	4578	0.9
۲	9650	13288	0.72
۳	6650	10815	0.61
۴	2225	3925	0.56
۵	19062	27355	0.69
۶	18125	22608	0.8
۷	21094	22609	0.93



شکل ۸- الف) تصویر ماهواره‌ای (Hot Bird, Google earth) بخش شمال باختر گسل جرجافک که محل شاخص های V، روی آن نمایش داده شده است. ب) نیمرخ‌های تهیه شده برای محاسبه شاخص V، به همراه ترسیم نیم دایره محاسباتی در ایستگاه‌های مورد نظر.



شکل ۹- مقطع طولی رودخانه‌های نشان داده شده در شکل ۴ (میزان گرافه‌نمایی قائم ۶/۱). مقطع رودخانه‌ها دارای تحدب نسبی به سمت بالا می‌باشد.

۴- اندازه‌گیری گاز رادون

۴-۱- وسایل و روش‌ها

الف: نمونه برداری آب: برای انجام این پژوهش ابتدا فایل‌های نقشه‌های توپوگرافی از منطقه مورد نظر تهیه شد. سپس با استفاده از داده‌های این فایل‌ها، توسط نرم‌افزار Arc Gis، محل گسل، روستاها، چشمه‌ها، قنات‌ها و راه‌های ماشین رو و مال‌رو بر یکدیگر منطبق شد و نقشه‌ای به دست آمد که محل ۴۰ چشمه و قنات بر روی منطقه گسلیده جرجافک مشخص بود، پس از بررسی‌های صحرایی ۳۵ ایستگاه برای نمونه برداری مناسب تشخیص داده شد. شکل ۱۰ موقعیت چشمه‌ها و قنات‌ها در امتداد گسل جرجافک که اندازه‌گیری سطح رادون در آنها انجام شده است را نشان می‌دهد. نمونه برداری‌ها در دو نوبت و در فصول سرد (دسامبر ۲۰۱۵) و گرم (ژوئیه ۲۰۱۶) انجام شد.

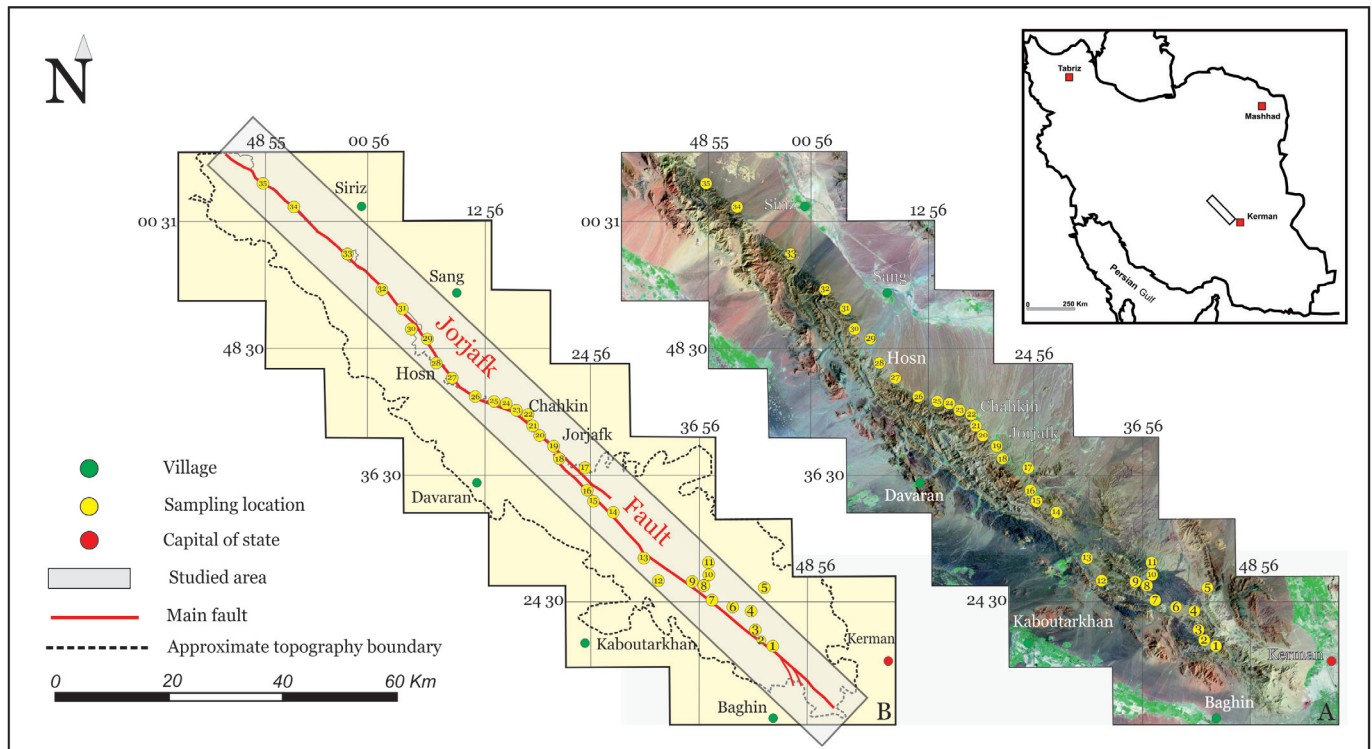
ب: اندازه‌گیری رادون: برای اندازه‌گیری غلظت رادون در نمونه‌های آب آشامیدنی که از منابع آب متفاوت در طول گسل جرجافک جمع‌آوری شده بودند، از دستگاه RAD 7 (یک آشکار ساز آلفا از Durrigde Company of USA) استفاده شد (شکل ۱۱). این دستگاه توانایی تعیین انرژی هر یک از ذرات آلفا را به صورت الکترونیکی دارد. غلظت‌های رادون همه نمونه‌های آب آشامیدنی در جدول ۴ ارائه شده‌اند و در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ به صورت نمودار میله‌ای رسم شده‌اند.

۵- بحث

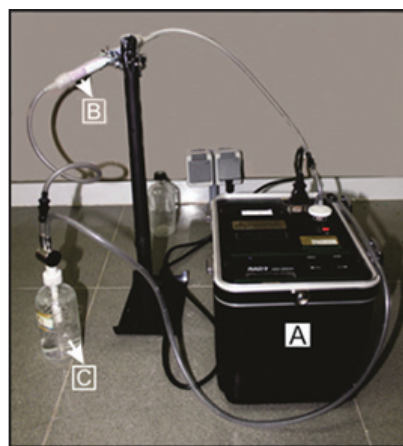
با به کمیت در آوردن ویژگی‌های توصیفی رودخانه‌ها در راستای بررسی حرکات جوان زمین‌ساختی، می‌توان چنین گفت که:
 - مقدار متوسط شاخص S، برای رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه برابر ۱/۱ بوده که بیانگر فعالیت فرایض نسبی منطقه یاد شده می‌باشد. بالاترین مقدار این شاخص متعلق به رودخانه شماره ۳، به میزان ۱/۳ و کمترین مقدار این شاخص متعلق به رودخانه ۱۲، به میزان ۱ است (شکل ۶). رودخانه شماره ۳ اکثراً در سنگ آهک‌های کوتاه جریانی داشته و در پاره‌ای از موارد، به دلیل ستبرای زیاد این لایه‌های سنگی، از روند لایه‌ها پیروی می‌کند. در مقابل، رودخانه شماره ۱۲، عموماً در رسوبات نیمه‌سخت نوژن پایانی - کوترنری جریان یافته است. از مقایسه اعداد محاسبه شده و با توجه به جنس سنگ بستر رودخانه‌های یاد شده، می‌توان به حرکت فرایضی در منطقه یاد شده پی برد. مقدار متوسط شاخص SL، برای رودخانه‌های در نظر گرفته شده برابر ۱۶۵/۰۴ محاسبه گردید. بیشترین مقدار شاخص SL، متعلق به رودخانه ۱۴ و کمترین آن متعلق به رودخانه ۱۳، به ترتیب با مقادیر ۲۸۱ و ۶۴/۱ است. رودخانه ۱۴ عموماً در بخش‌های ماسه سنگی و دولومیتی واحدهای سنگی پالئوزوئیک پائینی جریان داشته و رودخانه ۱۳، در رسوبات کنگلومرایی، شیلی و ماسه‌ای نوژن - کوترنری قرار دارد. با نگاه به شکل ۱۰، و توجه به فاصله‌بندی رودخانه‌ها، می‌توان به یکسان بودن

نسبتاً کمی را نمایش می‌دهد. اما با نگاه به نیمرخ‌های عرضی تهیه شده می‌توان به باز بودن شکل V مقطع رودخانه‌ها در تمامی موارد پی برد، به طوری که نیمرخ‌های یاد شده یک حرکت فرایشی با نرخ متوسط را نشان می‌دهند که با نتیجه‌گیری حاصل از محاسبه بقیه شاخص‌ها دارای همخوانی می‌باشد. در مقطع طولی ۱، شیب نسبتاً یکسانی در تمامی طول رودخانه مشاهده می‌گردد. اما در قسمت اولیه بالا دست، یک شیب تند اولیه، دیده می‌شود که مقطع کلی یک حرکت فرایشی با نرخ پایین را به دست می‌دهد.

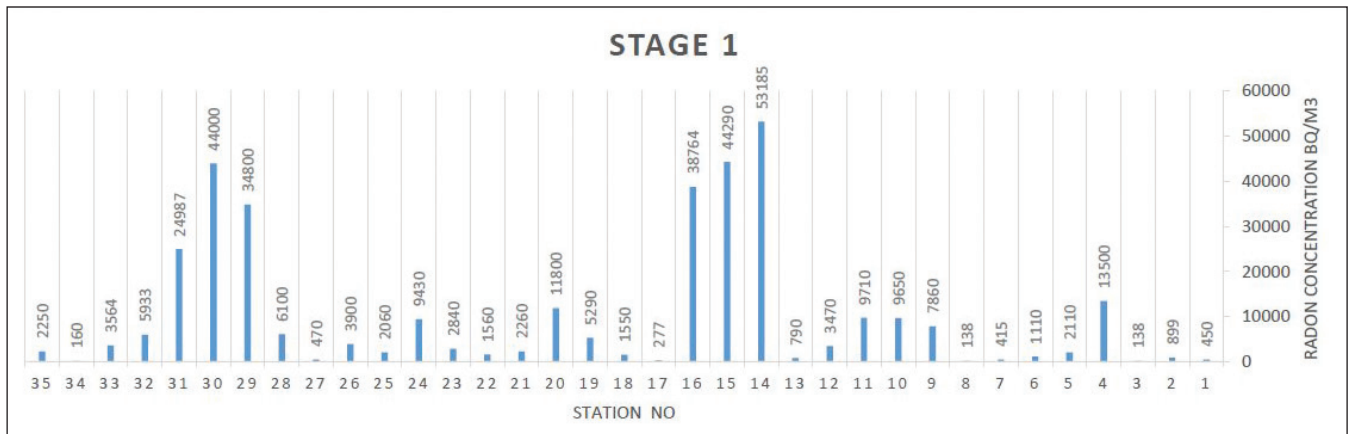
نسبتی شاخص SL، در منطقه پی برد. در مورد مقادیر شاخص V برای رودخانه‌های در نظر گرفته شده، می‌توان مشاهده کرد که تمامی مقادیر V محاسبه شده دارای مقادیر کمتر از ۱ هستند، که خود گویای فعالیت فرایشی در منطقه است. کمترین مقدار V که نشان‌دهنده بالاترین نرخ فرایش در منطقه می‌باشد، متعلق به رودخانه ۴ در جنوب باختر حصن (شکل ۸)، بوده که در واحدهای سنگ ماسه‌ای، دولومیتی، سیلتی و تبخیری پالئوزویک جریان دارد. بیشترین مقدار شاخص V، متعلق به رودخانه ۷ (شکل ۸) در مجاورت روستای جرجافک است ($V = 0.93$). که فعالیت فرایشی



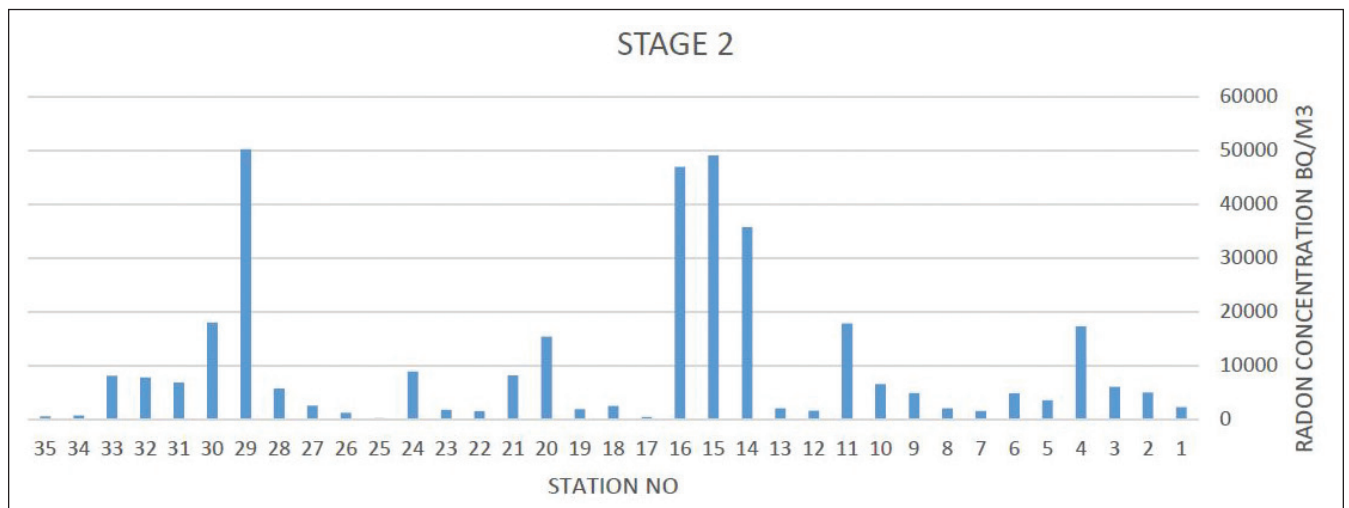
شکل ۱۰- الف) تصویر ماهواره‌ای رشته کوه داوران که موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری بر روی آن نمایش داده شده است. ب) تصویر گویا شده قسمت الف که موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری آب نسبت به گسل جرجافک نشان داده شده است.



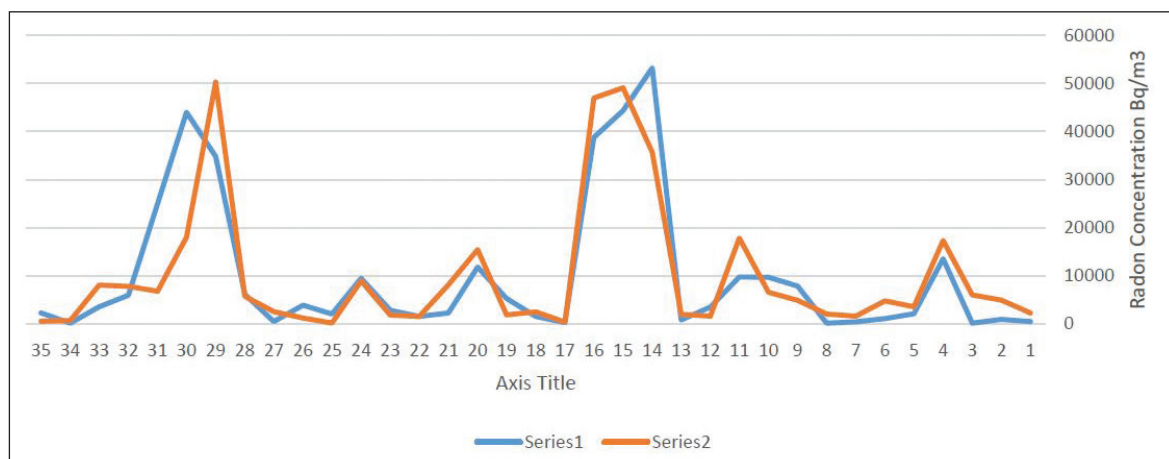
شکل ۱۱ - دستگاه RAD 7 (آشکار ساز آلفا از Durridge Company of USA) که اندازه‌گیری رادون نمونه‌های آب توسط آن انجام پذیرفت. قسمت‌های دستگاه در متن توضیح داده شده‌اند.



شکل ۱۲- نمودار میله‌ای غلظت گاز رادون اندازه‌گیری شده برای هر ایستگاه در مرحله اول برداشت.



شکل ۱۳- نمودار میله‌ای غلظت گاز رادون اندازه‌گیری شده برای هر ایستگاه در مرحله دوم برداشت.



شکل ۱۴- نمودار میله‌ای مقایسه غلظت گاز رادون اندازه‌گیری شده برای ۳۵ ایستگاه در مراحل اول و دوم برداشت. به همخوانی نسبی مقادیر اندازه‌گیری در دو مرحله برداشت توجه فرمایید.

جدول ۴ - محل ایستگاه های نمونه برداری به همراه مشخصات سنگ شناسی و نوع منبع آبی محل برداشت و غلظت رادون در هر مرحله برداشت را نشان می دهد.

ایستگاه	منطقه	مختصات جغرافیایی	سنگ شناسی	منبع برداشت	غلظت رادون (Bq/m ³)	
					مرحله ۱ (میانگین)	مرحله ۲ (میانگین)
۱	روکرد	N 29 19 30 E 26 44 56	دولومیت، ماسه سنگ	قنات	450	2250
۲	سیدآباد	N 00 20 30 E 50 42 56	دولومیت، ماسه سنگ، شیل	قنات	899	4960
۳	استخرویه	N 27 20 30 E 49 46 52	دولومیت، ماسه سنگ، آندزیت	چشمه	138	6020
۴	بوج	N 37 22 30 E 59 41 56	کنگلومر، ماسه سنگ، شیل	چشمه	13500	17300
۵	چشمه گز	N 53 24 30 E 20 43 56	رسوبات حال حاضر، مخروط افکنه	چشمه	2110	3540
۶	ده مهدی	N 24 23 30 E 05 40 56	سنگ آهک، ماسه سنگ، شیل	چشمه	1110	4790
۷	خمرود	N 45 23 30 E 40 37 56	سنگ آهک، ماسه سنگ، شیل	چشمه	415	1570
۸	علی آباد	N 21 25 30 E 33 36 56	سنگ آهک، ماسه سنگ	قنات	138	2030
۹	ده بالا	N 30 25 30 E 07 36 56	سنگ آهک، ماسه سنگ، سیلت	چشمه	7860	4880
۱۰	ده ساری	N 50 25 30 E 56 36 56	ماسه سنگ، شیل، رسوب حال حاضر	قنات	9650	6540
۱۱	کوهان	N 33 26 30 E 14 37 56	دولومیت، ماسه سنگ، شیل	قنات	9710	17800
۱۲	ارجاسب	N 26 25 30 E 17 32 56	دولومیت، ماسه سنگ، شیل	قنات	3470	1590
۱۳	روکرد	N 45 27 30 E 14 30 56	رسوبات حال حاضر، مخروط افکنه	قنات	790	1990
۱۴	باب کهنین	N 00 32 30 E 23 26 56	سنگ آهک، ماسه سنگ، سیلت، شیل	چشمه	53185	35673
۱۵	حسین آباد	N 15 33 30 E 19 24 56	ریولیت، آندزیت ماسه سنگ	چشمه	44290	49045
۱۶	سبلویه	N 05 34 30 E 10 24 56	ریولیت، توف، ماسه سنگ	قنات	38764	46934
۱۷	بادیز	N 17 36 30 E 27 23 56	کنگلومر، ماسه سنگ، شیل	قنات	277	380
۱۸	سرتخت	N 18 37 30 E 06 20 56	سنگ آهک، ماسه سنگ، سنگ های آتشفشانی	قنات	1550	2490
۱۹	جرچافک	N 41 38 30 E 42 19 56	سنگ آهک، ماسه سنگ، سیلت، شیل	قنات	5290	1874
۲۰	باب حوض	N 28 39 30 E 19 18 56	ریولیت، آندزیت ماسه سنگ، توف	چشمه	11800	15400
۲۱	زرکویه	N 05 40 30 E 50 17 56	ریولیت، آرنایت، ماسه سنگ، توف	چشمه	2260	8100
۲۲	چاهکین	N 43 40 30 E 35 17 56	ریولیت، آرنایت، ماسه سنگ، توف	چشمه	1560	1520
۲۳	ترج	N 43 40 30 E 36 17 56	کوارتز آرنایت، کنگلومر، توف	قنات	2840	1800
۲۴	هنکویه	N 14 42 30 E 59 14 56	کوارتز آرنایت، کنگلومر، توف	چشمه	9430	8900

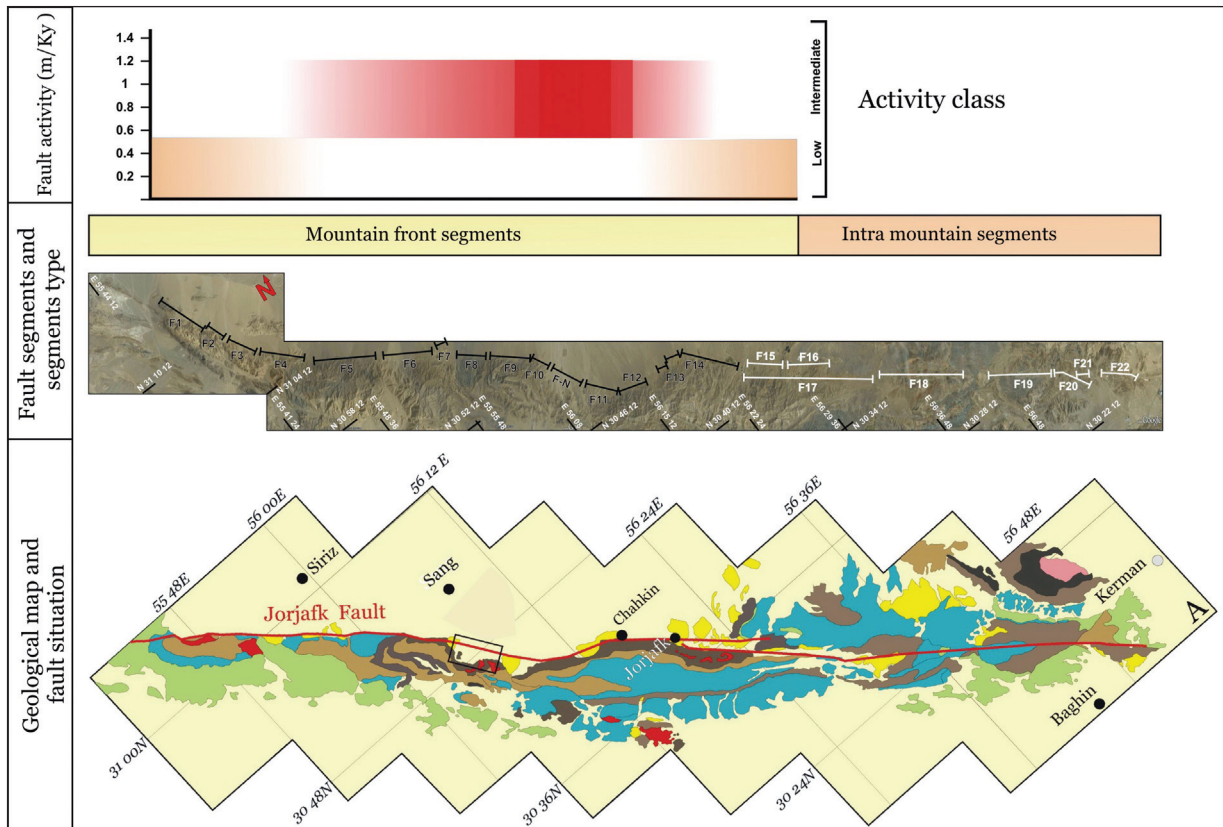
ایستگاه	منطقه	مختصات جغرافیایی	سنگ شناسی	منبع برداشت	غلظت رادون (Bq/m ³)	
					مرحله ۱ (میانگین)	مرحله ۲ (میانگین)
۲۵	بیدییه	N 11 42 30 E 05 14 56	ریولیت، آرنایت، ماسه سنگ، توف	قنات	2060	169
۲۶	گونادی	N 52 42 30 E 1127 56	ریولیت، آرنایت، ماسه سنگ، توف	قنات	3900	1200
۲۷	ده شب	N 10 45 30 E 27 07 56	کنگلو، ماسه سنگ، شیل	قنات	470	2530
۲۸	حصن	N 54 45 30 E 50 06 56	کنگلو، ماسه سنگ، شیل	قنات	6100	5700
۲۹	فرح آباد	N 19 48 30 E 08 06 56	رسوب مخروط افکنه ای	قنات	34800	50233
۳۰	علی آباد	N 55 48 30 E 52 03 56	ماسه سنگ، آرنایت	چشمه	44000	17965
۳۱	انارویه	N 15 51 30 E 29 03 56	ریولیت، آرنایت، ماسه سنگ، توف	قنات	24987	6792
۳۲	چاه بوذر	N 19 53 30 E 44 00 56	Volcanic rocks, Sandston, Limestone	قنات	5933	7759
۳۳	اکبر آباد	N 30 56 30 E 42 56 55	سنگ آهک، ماسه سنگ، شیل	قنات	3564	8054
۳۴	چاه بنه	N 28 01 31 E 09 50 55	ماسه سنگ، شیل، توده‌های نفوذی	قنات	160	700
۳۵	دهنه علی‌عسکری	N 24 03 31 E 07 47 55	سنگ آهک، ماسه سنگ، سنگ‌های آتشفشانی	چشمه	2250	518

شده در مرحله اول به ترتیب با مقادیر ۵۳۱۸۳ و ۱۳۸ بکرل در متر مکعب متعلق به ایستگاه‌های ۱۳ (مربوط به منطقه روگرد) و ۳ و ۸ (مربوط به مناطق استخر و بیه و علی‌آباد) و در مرحله دوم بالاترین و پایین‌ترین میزان غلظت اندازه‌گیری شده به ترتیب با مقادیر ۵۶۲۳۳ و ۱۶۹ بکرل در متر مکعب متعلق به ایستگاه‌های ۲۹ (مربوط به منطقه فرح آباد) و ۲۵ (مربوط به منطقه بیدییه) می‌باشند. با دقت به شکل‌های ۱۰ و ۱۴ می‌توان دید که ایستگاه‌های حداکثری و حداقلی میزان غلظت در مرحله اول متعلق به قطعات بین کوهستانی سامانه گسلی جرجافک در جنوب خاوری آن و در مرحله دوم متعلق به قطعات بین کوه و دشت این سامانه گسلی در شمال باختری آن می‌باشند. از لحاظ تجزیه و تحلیل مقادیر می‌توان گفت بین اندازه‌گیری‌های مرحله اول و دوم هماهنگی نسبی وجود دارد به طوری که مقادیر حداکثر و حداقل در هر دو مرحله بر یکدیگر منطبق می‌باشند. اما نکته مورد توجه این است که نرخ افزایش یا کاهش غلظت در فاصله زمانی دو برداشت به هیچ صورت ثابت نبوده و هیچ پیش‌بینی در مورد کاهش یا افزایش و یا نرخ آنها نمی‌توان انجام داد. ضمناً قسمت‌های میانی به نسبت دارای نرخ بالاتری از غلظت گاز رادون نسبت به دو انتهای آن می‌باشد. نکته بسیار مهم این که با پیاده کردن مقادیر به دست آمده در هر ایستگاه زمینی بر روی تصویر ماهواره‌ای (شکل ۱۶ و ۱۷) و انطباق آن با فعالیت‌های لرزه‌ای منطقه (شکل‌های ۳ و ۴) می‌توان به این نکته مهم دست پیدا کرد که در مکان‌هایی که فعالیت‌های لرزه‌ای بالاتر می‌باشد (به خصوص در قسمت جنوب خاوری) میزان غلظت گاز رادون در این مناطق نیز بالاتر می‌باشد. لذا شاید بتوان چنین گفت که مناطق دارای غلظت بالای گاز رادون، دارای پتانسیل حرکتی بیشتر و احتمال بالای رخداد زلزله می‌باشند و تغییرات افزایشی غلظت گاز رادون در این مناطق را می‌توان به یکی از نشانه‌های رخداد زلزله ارتباط داد، لذا پیشنهاد می‌گردد پس از انجام مطالعات ۲ ساله جهت انجام اندازه‌گیری غلظت گاز رادون در مناطق فوق اقدام به نصب ایستگاه دائمی پایش رادون در این مناطق گردد.

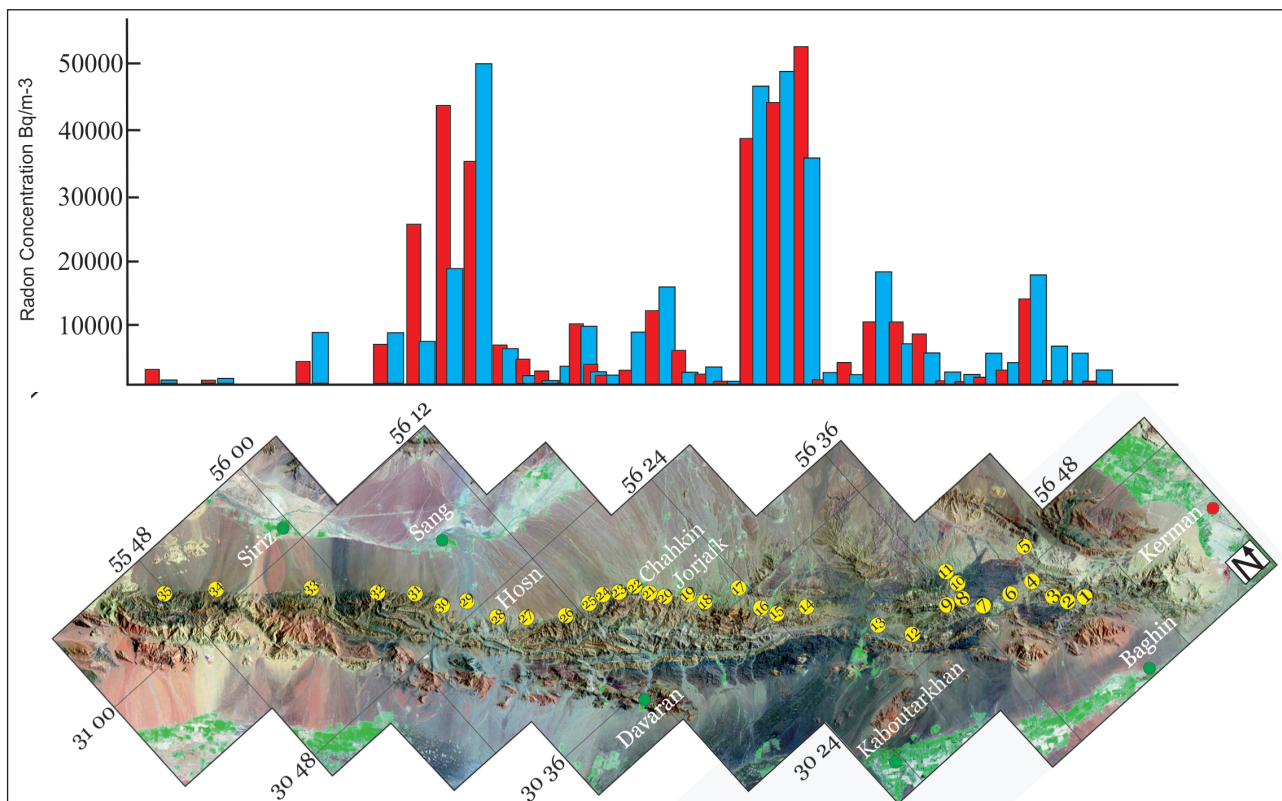
در مقطع طولی ۲، کوژی در قسمت میانی و یک شیب تند در دهانه وجود دارد که برای این مقطع حرکتی فرایشی از نسبت کم تا متوسط را نشان می‌دهد. در مقطع طولی ۳، کوژی نسبی با شیب‌های متغیر در طول رودخانه یک حرکت فرایشی متوسط را نمایش داده و همین مطلب نیز برای مقطع شماره ۴ صادق بوده و دندان‌های دیده شده در این مقطع، تغییرات سنگ‌شناختی بستر رود را نمایش می‌دهد. در مقطع ۵، بیشترین کوژی نیمرخ در قسمت میانی مشاهده شده و اثرات دندان‌های کمتر به چشم می‌خورند. این نیمرخ کوژی‌ترین نیمرخ در بین سایرین بوده و بالاترین حرکت فرایشی در منطقه را نشان می‌دهد. مقطع ۶، نیز سطح پوش کوژی مشابه با نیمرخ ۵ را از خود به نمایش می‌گذارد، با این تفاوت که تغییرات سنگ‌شناختی اثرات دندان‌های زیادی در طول این نیمرخ بر جا گذاشته است. نیمرخ ۷ نیز یک شیب یکنواخت را به دنبال شیب تند اولیه که از خط تقسیم آب ترسیم گردیده است را نشان می‌دهد. این نیمرخ نیز یک حرکت فرایشی کم که تحت اثر جنس سنگ بستر نیز قرار نگرفته است را یادآوری می‌نماید. بررسی نوع رسوبات کانال‌ها و الگوی طولی آنها نشان می‌دهد که رودخانه‌های منطقه اغلب از نوع مستقیم تا پیچان رود ضعیف و با بار بستری مخلوط می‌باشند.

۶- نتیجه گیری

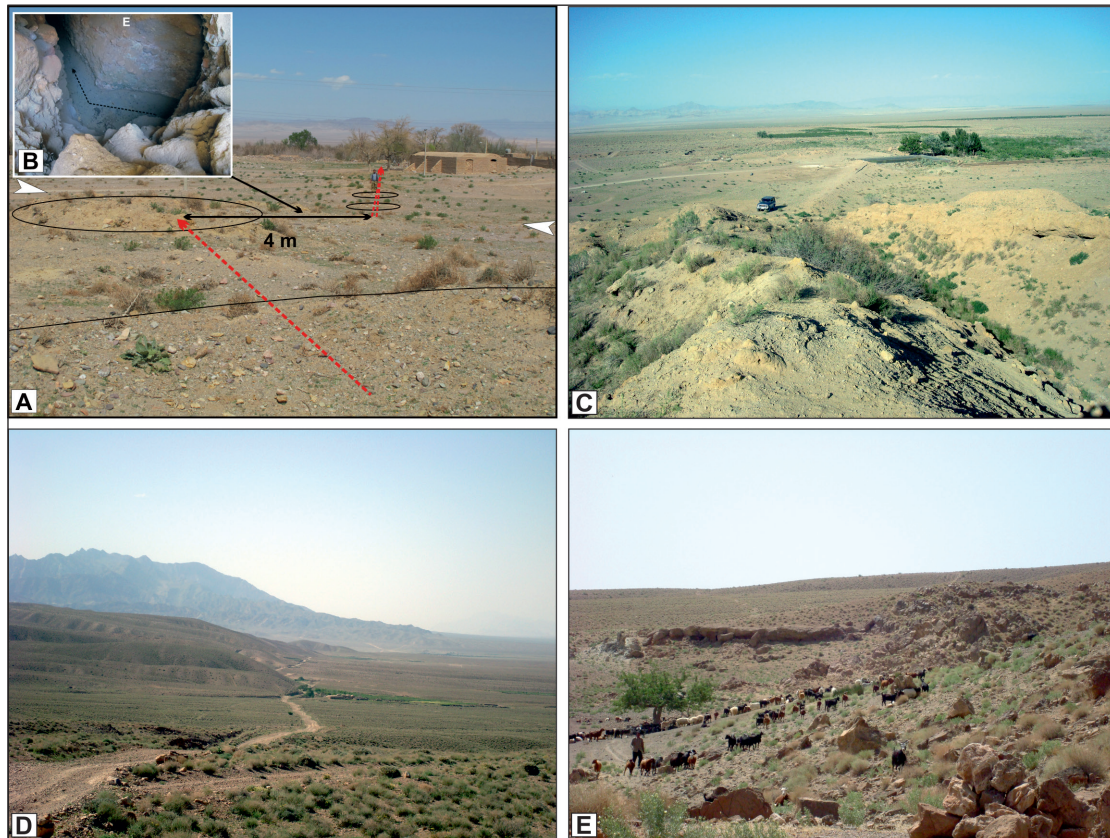
از مجموع بررسی‌های فوق می‌توان چنین گفت که در نیمه شمال باختر گسل جرجافک، دو انتهای این نیمه دارای حرکت فرایشی با نرخ کم (حدود ۰/۴ متر در هزار سال) و با حرکت به مرکز این نیمه حرکات فرایشی افزایش می‌یابد، به طوری که در حد فاصل میانی و در مجاورت روستای حصن، نرخ حرکات فرایشی به حد متوسط (حدود ۱ تا ۱/۳ متر در هزار سال) نیز می‌رسد (شکل ۱۵). همان‌طور که مشاهده می‌شود بالاترین و پایین‌ترین میزان غلظت اندازه‌گیری



شکل ۱۵ - الف) نقشه زمین شناسی رشته کوه داوران به همراه موقعیت گسل جرجافک. وسط: تصویر ماهواره ای لندست (TM) رشته کوه داوران و قطعات گسلی جرجافک. در این تصویر قطعات گسلی جبهه کوهستانی به رنگ سیاه و قطعات درون کوهستانی به رنگ سفید نشان داده شده اند. ب) میزان فعالیت فرایشی گسل در بخش های مختلف به صورت نمودار نمایش داده شده است. ج) طبقه بندی فعالیت قطعات گسلی به میزان متر در هزارسال.



شکل ۱۶ - الف) تصویر ماهواره ای رشته کوه داوران به همراه محل ۳۵ ایستگاه اندازه گیری غلظت گاز رادون. ب) مقادیر به دست آمده از گاز رادون برای هر ایستگاه که در جلوی آن ترسیم گردیده است.



شکل ۱۷- الف) تصویر میدانی از قنات فرح‌آباد؛ ب) تصویر از درون کانال قنات؛ ج و د و ه) به ترتیب تصاویر چشمه‌های نواحی نوچو، گودپهن و علی‌عسکری را نشان می‌دهند.

References

- Allen, M., Kheyrikhah, M., Emami, M. H., Jones, S. J. 2011- Right lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia –Eurasia collision zone. *Geophys. J. Int.* 184, 555-574. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04874.x>.
- Barman, C.H., Ghose, D., Sinha, B., Argha, D., 2016- Detection of earthquake induced radon precursors by Hilbert Huang Transform. *J APPL GEOPHYS.* 133, 123–131. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2016.08.004.
- Borisov, V.P. and Yakovleva, V.S., 2005- Comparative analysis of radon sources' contribution into total radon indoor levels for Altai and Tomsk regions of Russian Federation. *Radiation Measurements.* 40(2-6), 682-685., <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2004.12.022>.
- Diyun, C., Xingbao, Y. and Ruiying, H., 1995- Indoor radon survey in indoor environments in Zhuhai city, China. *Radiation Measurements.* 39(2), 205-207.
- Dobrovolsky, I. P., Zubkov, S. I. and Miachin, V. I., 1979- Estimation of the size of the earthquake preparation zones. *Pure Appl. Geophys.* 117, 1025-1044. DOI: 10.1007/BF00876083.
- Fleischer, R. L. and Magro-Campero, A., 1985- Association of subsurface radon changes in Alaska and the northeastern United States with earthquakes. *Geochemical et Cosmo chemical Acta.* 49, 1061-1071. DOI:10.1016/0016-7037(85)90319-9.
- Ghosh, D., Deb, A., Sengupta, R., 2009- Anomalous radon emission as precursor of earthquake. *J APPL GEOPHYS.* 69(2), 67–81. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2009.06.001.
- Harris, S.A., Billmeyer, E.R. and Robinson, M.A., 2006- Evaluation of repeated measurements of radon-222 concentrations in well water sampled from bedrock aquifers of the Piedmont near Richmond, Virginia, USA: Effects of lithology and well characteristics. *Environ. Res.* 101(3), 323-333. DOI: 10.1016/j.envres.2006.02.002.
- Hedervari, P., 1977- Earthquake prediction. *Eng. Geol.* 11(2), 149-151. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90256-0](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90256-0).
- International seismological Centre (ISC), 2015- On - line seismic catalog. [http:// www.isc.ac.uk/](http://www.isc.ac.uk/).

- Jackson, E. L., 1981- Response to earthquake hazard: The West Coast of North America. *ENVIRON BEHAV.* 13, 387- 416. <https://doi.org/10.1177/0013916581134001>.
- King, C. Y., 1980- Episodic Radon changes in subsurface soil-gas along active faults and possible relation to earthquakes. *Journal of Geophysical Research.* 85, 3065-3079. <https://doi.org/10.1029/JB085iB06p03065>.
- King, C. Y., Zhang, W. and King, B. S., 1993- Radon anomalies on three kinds of faults in California. *Pure Appl.* DOI:10.1007/BF00876238.
- Oikawa, S., Kanno, N., Sanada, T., Ohashi, N., Uesugi, M. and Sato, K., Abukawa, J., Higuchi, H., 2003- A nationwide survey of outdoor radon concentration in Japan. *J. Environ. Radioact.* 65(2), 203-213. DOI: 10.1016/s0265-931x(02)00097-8.
- Popit, A., Vapotic, J. and Dolenc, T., 2005- Geochemical and Geophysical monitoring of thermal waters in Slovenia in relation to seismic activity. *ANN GEOPHYS.* 48(1), 73-83. DOI:10.4401/ag-3181.
- Ramola, R.C., 2010- Relation between spring water radon anomalies and seismic activity in Garhwal Himalaya. *Acta Geophysica.* 58(5), 814–827. <https://doi.org/10.2478/s11600-009-0047-0>.
- Ramola, R.C., Prasad, Y., Prasad, G., Kumar, S. and Choubey, V.M., 2008- Soil-gas radon as seismotectonic indicator in Garhwal Himalaya. *Appl. Radiat. Isot.* 66(10), 1523–1530. DOI: 10.1016/j.apradiso.2008.04.006.
- Riggio, A. and Santulin, M., 2015- Earthquake forecasting: a review of radon as seismic precursor. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata.* ol. 56, n. 2, pp. 95-114. DOI: 10.4430/bgta0148.
- Segovia, N., De la Cruz Reyna, S., Mena, M., Ramos, E., Monnin, M. and Seidel, J. L., 1989- Radon in soil anomaly observed at Los Azufres Geothermal field, Michoacan: a possible precursors of the 1985 Mexico earthquake (MS=8.1). *Natural Hazards.* 1, 319-329. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00134830>
- Shafiei bafti, A., Pourkermani, M., Arian, M. and Ghorashi, M., 2014- The study of uplift movement of Jorjafk Fault by North front Davaran Mountains River. *Scientific quarterly journal, GEOSCIENCES.* 23(92), 115-122. DOI: 10.22071/GSJ.2014.43690.
- Shapiro, M. H., Melvin, J. D., Copping, N. A., Tombrell, T. A. and Withcombe, J. H., 1989- Automated radon- thoron monitoring for earthquake prediction research. *Conference on natural radiation environment III; Houston, TX, USA; 23 - 28 Apr 1978.*
- Stranden, E., Kolstad, A.K. and Lind, B., 1984- Radon exhalation - moisture and temperature dependence. *Health Phys.* 47(3), 480–484. PMID: 6500953.
- Thomas, D., 1988- Geochemical precursors to seismic activity. *Pure Appl. Geophys.* 126(2), 241-266. DOI:<https://doi.org/10.1007/BF00878998>.
- Torkar, D., Zmazek, B., Vaupotič, J. and Kobal, I., 2010- Application of artificial neural networks in simulating radon levels in soil gas. *Chem. Geol.* 270(1–4), 1–8. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2009.09.017.
- Ulomov, V. I. and Mavashev, B. Z., 1967- Forerunners of the Tashkent earthquake: *Izvestia Akadamiyi Nauk Uzbekistan SSR.* 188-200.
- Vernant, Ph., Nilforoushan, P., Hatzfeld, D., Abbasi, M.R., Vigny, C., Masson, P., Nankali, H., Martinoid, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, P. and Chery, J., 2004- Present-day deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurement in Iran and northern Oman. *Geophys. J. Int.* 157, 381-398. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x>.
- Vinson, D.S., Vengosh, A., Hirschfeld, D. and Dwyer, GS., 2009- Relationships between radium and radon occurrence and hydrochemistry in fresh groundwater from fractured crystalline rocks, North Carolina (USA). *Chem. Geol.* 260(3-4), 159-171. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2008.10.022.
- Virk, H. S. and Singh, B., 1993- Radon anomalies in soil-gas and groundwater as earthquake precursor phenomena. *Tectonophysics.* 227(1-4), 215-224. DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90096-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90096-3).
- Walker, R, Gans, P., Allen, M.B., Jackson, J., Khatib, M., Marsh, N., Zarrinkoub, M., 2009- Late Cenozoic volcanism and rates of active faulting in eastern Iran. *Geophys. J. Int.* 177, 783-805. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.04024.x>.
- Walker, R., Talebian, M., Saiffori, S., Sloan, R.A., Rashidi, A., Mac Bean, N. and Ghassemi, A., 2010- Active faulting, earthquakes and restraining bend development near Kerman city in southern Iran. *J. Struct. Geol.* 32, 1046-1060. DOI: 10.1016/j.jsg.2010.06.012.
- Woith, H., Pekdeger, A. and Zschau, J., 1991- Groundwater radon anomalies in space and time: a contribution to the joint Turkish- German earthquake prediction project.
- Wyss, M., 1997- Second round of evaluations of proposed earthquake precursors: *Pure and Appl. Geophys J.*, 149(1), 3-16. <https://doi.org/10.1007/BF00945158>.
- Yousefi, E., Friedberg, J.L., 1978- Aeromagnetic map of Iran (Quadrangle No. C20 Ahar). Published by Geological Survey of Iran.

Zhuo, W., Guo, Q., Chen, B. and Cheng, G., 2008- Estimating the amount and distribution of radon flux density from the soil surface in China. J. Environ. Radioact. 99(7), 1143-1148. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2008.01.011.

The relation of concentration radon gas in underground water with tectonic movements and Seismicity; Case Study: Jorjafk fault, Central Iran

A. Shafiei bafti^{*1}

¹Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Zarand Branch, Zarand, Iran

Received: 2017 July 05

Accepted: 2018 January 22

Abstract

Radon is a radioactive noble gas that is created in nature by natural events. Radon is soluble in water and many factors influence the degree of solubility in water. The best places for accumulation of radon in groundwater would be geodynamic active areas, deep basement faults and fractures. Therefore, the presence of faults near water sources is known as an effective factor on radon concentration. This paper aims to investigate the relationship between the radon gas concentrations with the behaviors of active tectonic faults. Jorjafk fault with a length of nearly 160 km from North-West to South-East in southern central Iran is located on the North-East border of Davaran Mountain. This fault shows active tectonics aspects, in a way that calculating morphotectonic parameters for the rivers leading to the fault including (SL), (S), and (V) and (H) shows uplift rates from low to high for the tectonic movements of the fault. The distribution of Davaran Mountain seismic centers shows low Seismicity for the region. In addition, the low focus of the events in the south of the mountain and unequal distribution and unclear trend of seismic events is among its seismic properties. For the measurement of radon concentration in water resources leading to the Jorjafk fault, after field investigations, 35 sampling stations were identified as suitable, and on two occasions in winter (December 2015) and Summer (in July 2016) the samplings were performed. The highest and lowest concentrations measured in the first stage were 53183 and 138 Becquerel's per cubic meter respectively for the stations of 13 (relating to the Rukerd area), 3 and 8 (relating to the Estakhruiyeh, and Ali Abad areas), and in the second stage, the highest and lowest concentration were measured with values of 56233, and 169 Becquerel's per cubic respectively for the stations of 29 (related to Farah Abad area) and 25 (related to Biduiyeh area). By comparing the obtained concentrations for each station and its compliance with seismic activity in the region, it was observed that in places where seismic activity is higher, the concentration of radon gas is also higher. Therefore, it can be said that the areas with high concentrations of radon gas, have more potential and are more likely to earthquake events, and variations of radon concentration in these regions can be linked to the signs of an earthquake.

Keywords: Radon, tectonics activities, seismicity, Jorjafk fault

For Persian Version see pages 189 to 204

*Corresponding author: A. Shafiei bafti; E-mail: Kalamus51@hotmail.com