Archive of SID

نشریه زمین شناسی ژئوتکنیک
سال ۱۰ (۱۳۹۳)، شماره ۱: ۱۴-۱
WWW.appliedgeology.ir

لرزه خیزی و حریم گسلش پیرامون گسل لاله زار کرمان

احمد ادیب [۱*]، آرمان آقامحسینی [۲] و محسن پورکرمانی [۲]

۱) گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب،
adib@azad.ac.ir & geo.adib@yahoo.com
۲) گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
*) عهده دار مکاتبات

دریافت: ۹۲/۱۰/۱۸؛دریافت اصلاح شده: ۹۳/۲/۱؛پذیرش: ۹۳/۲/۱۶؛قابل دسترس در تارنما: ۹۴/۸/۳۰

چکیده

زمین‌لرزه‌های سال‌های ۱۹۲۳ و ۲۰۱۰ بردسیر کرمان، در پهنه گسلی لاله‌زار با روند N70W تا N40W رخ داده‌اند. در این ناحیه به طور متوسط هر ۳۰ سال یک زمین لرزه با بزرگای ۵/۵ تا ۶/۵ ریشتر با تمرکز بیشتر در اطراف گسل لاله‌زار به وقوع پیوسته است. آخرین زمین‌لرزه مهم ناحیه که در تاریخ ۲۰۱۰/۰۷/۳۱ با بزرگای ۵/۶ ریشتر رخ داد، با فعالیت زمین ساختی جدید گسل لاله‌زار با سازوکار معکوس و مولفه راستالغز راست‌بر مرتبط می باشد. به منظور تعیین حریم گسلش ناحیه و تفکیک پهنه های پرخطر، ویژگی های نوزمین ساختی پهنه گسلی بر اساس شواهد ریختاری بر روی زمین و تصاویر ماهواره ای شناسایی شد. افراز گسلی، جابه‌جایی آبراهه‌ها، چشمه های تراورتن زا و پشته‌های فشارشی، نشان دهنده فعالیت‌های زمین ساختی ناحیه می باشند. با توجه به تراکم و بیشترین طول گسل‌های ناحیه، زمین‌لرزه قابل پیش‌بینی بزرگای ۶/۸ را خواهد داشت که تقریباً معادل زمین‌لرزه سال ۱۹۲۳ با بزرگای ۶/۹ است. بر اساس شواهد ریختاری، لرزه ای و سازوکار گسل‌های ناحیه، حریم گسلش پیرامون گسل لاله‌زار در بیشترین حالت ۱/۸۸ و در کمترین حالت ۱/۶۳ کیلومتر تعیین شد. آثار گسلش و نشانه های وجود گسل پنهان یا آشکار در این محدوده شامل جابه‌جایی آبراهه ها، قرارگیری و مجاورت واحدهای زمین‌شناسی به صورت گسل و سایر اشکال ریخت زمین ساختی می‌باشد. بر اساس مقادیر حریم گسلش و شواهد صحرایی، گسل‌های معکوس و راستالغز با مولفه معکوس در تکوین سرگذشت ساختاری این ناحیه در دوره کواترنر بیشترین نقش را داشته‌اند. در این تحقیق، با استفاده از مطالعات سنجش از دور، بررسی‌های ساختاری و ریخت زمین ساختی و حل صفحه کانونی گسل‌ها، لرزه خیزی و حریم گسلش ناحیه مورد ارزیابی قرار گرفت. مطالعات نشان دهنده‌ی فعالیت زمین‌ساختی بیشتر در جنوب ناحیه منطبق با گسل‌های لاله زار، ترشاب و باغ‌سرخ در طی رژیم نوزمین‌ساخت می‌باشند.

واژه های کلیدی: تحلیل ساختاری، گسل لاله‌زار، حریم گسلش، بردسیر، کرمان،لرزه خیزی.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در تحلیل خطر زمین لرزه، نیاز به ارزیابی پتانسیل رخداد زمین لرزه‌هایی است که در آینده در هر منطقه به وقوع می‌پیوندد (Wells & Coppersmith 1994). غالباً بزرگترین زمین لرزه به وقوع پیوسته در منطقه حاصل فعالیت بخشی از یک گسل فعال و یا پهنه گسلی مرتبط با آن است. بنابراین پتانسیل زمین لرزه‌های آینده مرتبط با یک گسل، بر اساس ارزیابی پارامترهای گسیختگی پهنه گسل تعیین می‌شود. در اکثر موارد بزرگای زمین لرزه با طول گسیختگی و میزان جابه جایی مرتبط است (Tocher 1958 ; Lida 1959; Chinnery 1969).

بر اثر برخورد صفحات تکتونیکی اوراسیا و عربی، عرض خرد بلوک ایران مرکزی در حال کوتاه شدن است. برای تعیین جهت و نرخ کوتاه شدگی میتوان از بردار چرخش صفحات نسبت به یکدیگر استفاده کرد. مکنزی (Mckenzie 1972) نرخ همگرایی بین صفحات عربی و اوراسیا را در ایران به ترتیب ۴۳ و ۴۸ میلیمتر در سال تعیین کرد. دمتس و همکاران (Demets et al. 1990) نیز با استفاده از آزیموت گسل های تراديس و بردار لغزش زمین لرزه‌ها، همگرایی شمالی-جنوبی با نرخ حدود ۳۱ میلیمتر در سال را برای این ناحیه از ایران برآورد نمودند.

گسل لاله‌زار یکی از ساختارهای فعال در جنوب خاور ایران در پیرامون شهر بردسیر است. این گسل فشاری با مولفه راستبر و شیب به سمت شمال خاور با طول ۶۵ کیلومتر، در حوالی آبادی پشت رود و فرکان تغییر روند داده و چند زمین لرزه بزرگ را در منطقه بردسیر ایجاد نموده است (تصویر ۱).

گسل لاله زار، شامل مجموعه‌ای از قطعات گسلی است (Fattahi et al. 2011) . این سامانه گسلی شامل پهنه‌ای از شکستگی های غیرپیوسته در سطح زمین است. به عقیده والکر (Walker 2006) این گسل در امتداد گسل رفسنجان بوده و اثر سطحی بخشی از آن نمایان نمی باشد. زمین لرزه سال ۱۹۲۳ که در مرز بین دو گسل لاله زار و رفسنجان و با موقعیت رومرکز دره آب لاله زار به وقوع پیوست، بیانگر وجود این بخش از گسل پنهان است. با توجه به تاریخچه زمین لرزهای ناحیه و فعالیت مجدد این گسل بعد از ۸۷ سال با بزرگای بیش از ۵، در این مقاله سعی شده تا با استفاده از شواهد صحرایی، سوابق لرزه‌ای و سازوکار گسل ها، حریم گسلش و بخش های پنهان گسل لاله زار و گسل های پیرامون و مرتبط با آن شناسایی و تعیین گردد.

اندازه‌گیری میزان تغییرشکل با استفاده از جی پی اس (GPS) در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۱ در این ناحیه داده‌های جدیدی را برای کمی کردن حرکات امروزی و تغییر شکل فعال فراهم نموده است. ورنانت و همکاران (Vernant et al. 2004) میزان دگرشکلی این بخش را کم و آن را محدوده تغییرشکل ناپذیر، یکپارچه و بی‌لرزه معرفی کردند. اما والکر و همکاران (Walker et al. 2013) فعالیت های لرزه‌ای منطقه را پراکنده با ژرفای کانونی کم در طول چند گسل معکوس و قابل توجه می دانند.

زمین لرزه‌های با بزرگی زیاد و زمان برگشت طولانی، در جبهه کوهستانی گسل های معکوس ایجاد می شوند. عدم وقوع زمین لرزه در طول بعضی از گسل های توانمند ناحیه را می توان به عنوان دوره آرامش بین لرزه‌ای پس از یک دوره فعالیت لرزه‌ای در نظر گرفت (Berberian 1976).

گسل لاله زار با سازوکار فشاری و مولفه راست‌بر، نقش اساسی در تحولات ساختاری ناحیه داشته و سبب قطع و جابه جایی گسل های فرعی (محجل کفش دوز و همکاران ۱۳۷۱) و بریدگی رسوبات آبرفتی کواترنری و واحدهای رسوبی نئوژن دشت بردسیر شده است (Fattahi et al. 2011). این مسأله دلیلی بر فعال بودن این گسل در عهد حاضر می باشد.

اکثر گسل های منطقه در سه راستای شمال باختر-جنوب خاور، شمال خاور-جنوب باختر و خاوری-باختری گسترش یافته‌اند. ارتباط روند گسل ها با مدل تکتونیکی منطقه را می توان با اندازه گیری ساختاری تعیین نمود.

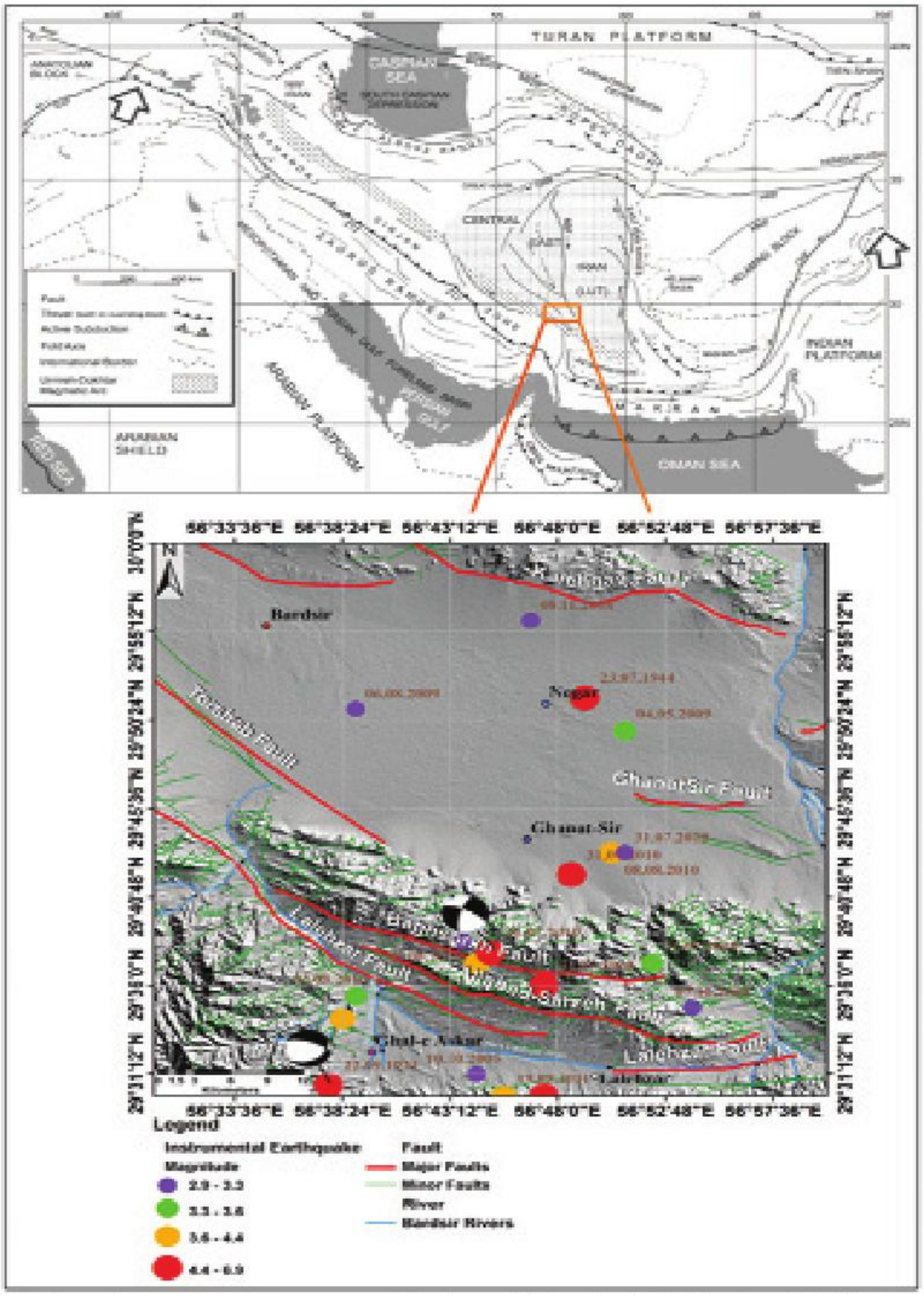
۲- روش تحقیق

برای شناسایی ساختارهای اصلی، تعیین حریم گسلش و تحلیل حرکت گسل ها، اثرات سطحی گسل (با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای)، شواهد سطحی جنبش گسل بر روی آبرفت های کواترنر، ساختارهای ناحیه در واحدهای سنگی، اثر گسل ها در تحولات ساختاری و اطلاعات لرزه‌ای منطقه تعیین شدند. روند تحقیق بر اساس الگوی تصویر ۲ و به شرح زیر می باشد:

-گردآوری اطلاعات قبلی و برداشت اطلاعات ساختاری از نقشه

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر۱- جایگاه تکتونیکی، موقعیت گسل های اصلی و فرعی و نقاط کانونی زمین‌لرزه‌های اخیر بر روی تصویر مشخص شده است. مرکز سطحی زمین‌لرزه‌های مهم رخ داده از تاریخ ۱۹۲۳/۰۹/۲۲ تا ۲۰۱۲/۰۶/۲۸ بر روی تصویر نمایان است.

www.SID.ir

Archive of SID

زمین شناسی ناحیه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.

-تهیه و بررسی اطلاعات ماهواره‌ای و نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ ناحیه.

-بررسی داده‌های دورسنجی و تفکیک پهنه‌های دگرسانی، تشخیص گسل ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای +ETM، IKONOS و DEM و داده‌های SRTM با دقت ۳۰ متر.

-تهیه نقشه جدید از گسل های منطقه و مقایسه آن با گسل های موجود در نقشه زمین شناسی قبلی.

-بررسی ارتباط بین طول گسل، بزرگای زمین لرزه و پهنای گسیختگی و نهایتاً حریم گسلش پیرامون گسل لاله زار

در ادامه، تصاویر و نقشه ها با استفاده از نرم‌افزار (ESRI 2008) ARC GIS تهیه و تصاویر +ETM با بهره‌گیری از نرم‌افزار (Exelis Visual information solutions 2010) Envi 4.8 ITT تفسیر می‌شوند. شناسایی خطواره‌ها به روش دستی و خودکار و مقایسه آنها با اعمال فیلترهای مختلف، با استفاده از نرم‌افزار (PCI Geomatics Enterprises 2011) Pci Geomatica انجام می شود.

۳- زمین شناسی و زمین ساخت منطقه

زمین لرزه های با بزرگی زیاد و زمان برگشت طولانی، غالباً در جبهه کوهستانی گسل های معکوس ایجاد می شوند. عدم وقوع زمین لرزه در طول بعضی از گسل های توانمند ناحیه را می توان به عنوان دوره آرامش بین لرزه‌ای پس از یک دوره فعالیت لرزه‌ای در نظر گرفت (Berberian 1976). گسل لاله زار با سازوکار فشاری با مولفه راست‌بر، نقشی اساسی در تحولات ساختاری ناحیه داشته و سبب قطع و جابه جایی گسل های فرعی (محجل و همکاران ۱۳۷۱)، بریدگی رسوبات آبرفتی کواترنری و رسوبات نئوژن دشت بردسیر (Fattahi et al. 2011) شده که دلیلی بر فعال بودن این گسل در عهد حاضر می باشد.

اکثر گسل های منطقه در سه راستای شمال باختر-جنوب خاور، شمال خاور-جنوب باختر و خاوری-باختری گسترش یافته و روند گسل ها با مدل تکتونیکی منطقه توجیه پذیر می باشد. تصویر ۳ نشان دهنده دگرشکلی بر روی سامانه گسلی پیچشی یا راستالغز بر مبنای یک بیضوی دگرشکلی دوبعدی است که علاوه بر گسل های ناهمسو و همسو، مناطق فشاری و انبساطی داخل سامانه گسلی در ناحیه را نشان می‌دهد. در این مدل، چین‌ها و گسل های رانده در مناطق فشاری و گسل های عادی در مناطق انبساطی ایجاد شده اند. تنش وارد بر صفحه ایران از سوی صفحه عربی از جنوب باختری به سوی شمال خاوری، سبب شکل گیری گسل های اصلی با روند شمال باختری-جنوب خاوری در راستا و همسو با خطواره P شده است.

در نمودار گل سرخی، خطواره های استخراجی از تصویر ماهواره‌ای، روند شکستگی های اصلی ناحیه در راستای R_2 می باشند. بر اساس تصویر ۳C (بیضوی واتنش ناحیه‌ای در یک سامانه گسلی پیچشی یا راستالغز)، گسل های برشی ریدل به صورت سامانه های همسو (R1) و ناهمسو (R2) می باشند. در بعضی سامانه ها برش های همسوی P و ناهمسوی X نیز گسترش می یابند. برش های ناهمسو R2 گسترش زیادی در منطقه داشته و می توانند معرف برش راست‌بر در ناحیه باشند. گسترش برش‌های ناهمسو X نیز ناچیز می‌باشد. شکستگی های اصلی نیز در راستای R_2 قرار داشته و بیانگر برش راست‌بر در منطقه می‌باشند. گسل های لاله‌زار، ترشاب، علی‌آباد-سرزه، کله گاو، قنات سیر و باغ سرخ در راستای P قرار دارند.

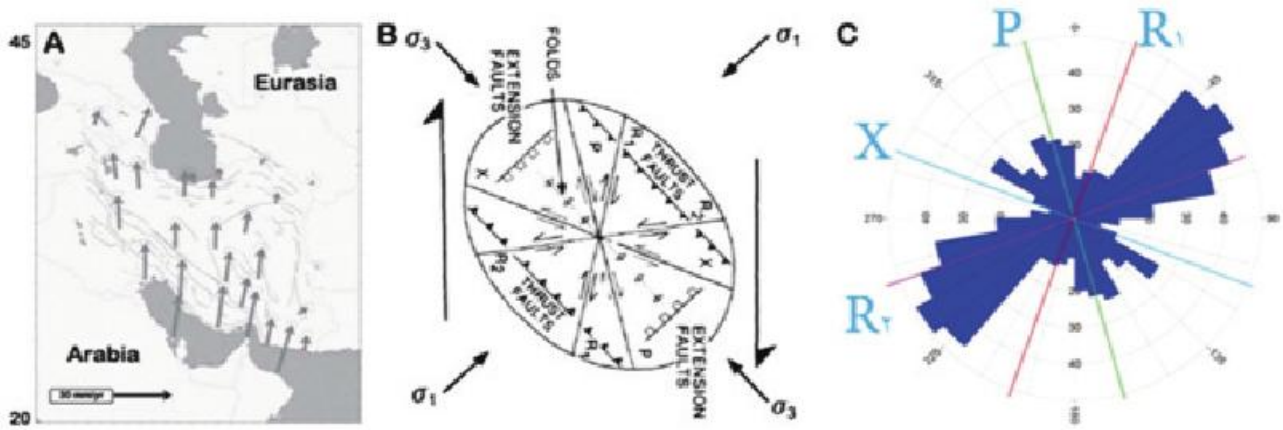
۴- گسلش و شواهد نو زمین ساختی

به منظور شناخت بهتر گسل‌های منطقه علاوه بر مشخص کردن آنها بر روی نقشه زمین شناسی، گسل ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای با بهره گیری از نرم‌افزار Envi 4.8 و با اعمال فیلترهای مختلف بارزسازی تصاویر، مشخص شدند (ITT Exelis Visual information solutions 2010). همچنین خطواره ها با استفاده از نرم افزار PCI Geomatica و GIS ARC استخراج گردیدند (PCI Geomatica 2011; Esri 2008)

تصویر ۲- فلوچارت فعالیت های انجام شده در این پژوهش

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۳- A) بردار نمایش سرعت اندازه گیری شده با GPS، سرعت نقاط در هر دو حاشیه شمالی و خاوری ایران کاهش یافته که نشان دهنده ی مناطق نسبتاً پایدار است. فلش ها معرف جهت حرکت نقاط از جنوب باختری به سمت شمال خاوری می باشند (Vernant et al. 2004). B) مدل تکتونیکی ساختارهای ناحیه. C) مقایسه نمودار گل سرخی گسل ها و خطواره های استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای با مدل برش راست بر فرضی برای ناحیه بردسیر.

خطواره‌ها نشان دهنده پهنه‌های ضعیف سطح زمین می‌باشند که بیشترین تخریب و جابجایی ناشی از زمین لرزه‌های گذشته در نزدیکی آنها مشاهده می‌شود.

بین تراکم خطواره ها، زمین‌لرزه‌های گذشته و پهنای پهنه گسلش رابطه مستقیمی وجود دارد (تصویر ۴). با بهره‌گیری از این روش می‌توان جهت روند کلی شکستگی‌های منطقه را مشخص و در نهایت مقایسه بهتری را بین حالت واتنش همگن و غیرهمگن برقرار کرد (کمالی و همکاران ۱۳۹۲).

به منظور دستیابی به روند گسل های منطقه و تحلیل آنها، با استفاده از نرم‌افزار راک ور (Rockwork 2010)، نمودارهای گل سرخی مربوط به گسل‌ها رسم و تحلیل شدند (تصویر ۳). روند غالب گسل لاله‌زار به عنوان اصلی‌ترین گسل منطقه نیز در این تصویر N50W می‌باشد. این گسل در طول گسترش خود تغییر روند نیز داده است. در جنوب باختری بردسیر روند این گسل N60W و در نزدیکی آبادی پشت رود روند آن به N35W می رسد که می تواند نشانه‌ای از راست‌بر بودن این گسل باشد. در نزدیکی آبادی فرکان در جنوب خاوری بردسیر، روند این گسل خاوری - باختری می‌باشد.

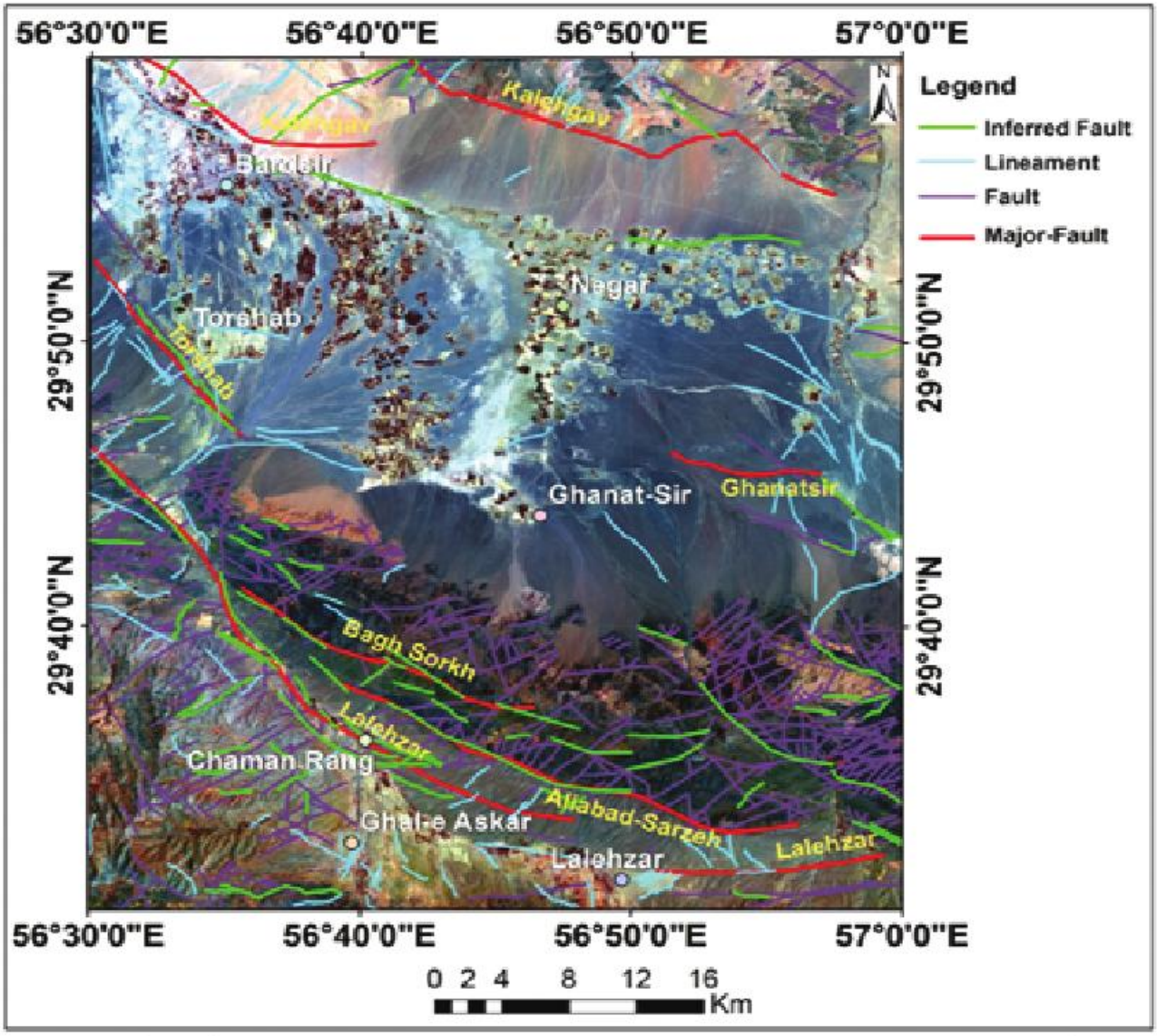
بررسی تصاویر ماهوارهای و نقشه زمین شناسی ناحیه شواهدی بر گسلش سطحی در قسمت باختری گسل لاله‌زار را نشان می‌دهد. در این بخش چشمه‌های آب گرم به موازات اثر سطحی گسل در یک خط قرار گرفته‌اند (تصویر ۵A). تعدادی از آبراهه‌های کوچک نیز توسط گسل قطع شده و تغییر مسیر داده‌اند (تصاویر ۵B و ۵C). این تغییر مسیر و شکاف در سطح زمین به طول ۷/۵ کیلومتر می‌باشد که با بهره‌گیری از تصویر ماهواره‌ای IKONOS با دقت بالا، بر روی زمین قابل رویت است (تصویر۵). اثر سطحی گسل در قسمت باختری محدوده با مجموعه‌ای از شکستگی‌های کوچک و شکاف‌های نردبانی که نشانگر لغزش راست‌بر گسل می باشد در طول روند خط گسلی مشخص و نمایان است (تصاویر ۵B و ۵C). در نزدیکی آبادی باغ سرخ، گسل توسط مجموعه‌ای از پشته‌های فشارشی کوچک مشخص شده است (تصاویر ۵B و ۵C). این پشته‌های فشارشی حدود ۲ متر بالاآمدگی داشته و بالاتر از سطح زمین‌های اطراف قرار گرفته‌اند.

با توجه به محاسبه میزان متوسط جابه جایی رودخانه‌ها در این تحقیق که حدود ۲/۸ تا ۳/۲ متر محاسبه شده و استفاده از رابطه متوسط جابه جایی با بزرگای زمین لرزه برای گسل های راستالغز (Wells & Coppersmith 1994)، برآیند میزان بزرگای زمین لرزه در این ناحیه در حدود ۷/۲ الی ۷/۵ ریشتر برآورد می‌شود. بر این اساس، طول گسیختگی ناشی از یک رخداد زمین‌لرزه‌ای با این بزرگا می‌تواند حدود ۶۳ تا ۱۲۵ کیلومتر باشد، این مقدار توسط فتاحی و همکاران (Fattahi et al. 2011) نیز گزارش شده است.

به دنبال وقوع زمین لرزه، با توجه به فشار و نیروهای وارد بر تشکیلات بستر مناطق مجاور، زهکشی منطقه زلزله زده می‌تواند دچار تغیر شود. از جمله این تغییرات می توان به فعال یا غیرفعال شدن چشمه‌ها در اثر باز یا بسته شدن مسیر آب اشاره نمود

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۴- گسل های اصلی، فرعی و خطواره‌های احتمالی ناحیه با پس زمینه‌ای از تصویر ماهواره‌ای +ETM، خط های بنفش رنگ معرف گسل های مشخص شده بر روی نقشه زمین شناسی ناحیه می باشند. خط های آبی رنگ معرف خطواره‌های احتمالی حاصل از بررسی دورسنجی و استفاده از نرم‌افزارهای تحلیلی خطواره‌های گسلی می باشند. خط های قرمز گسل های شاخص و خط های سبز رنگ گسل های احتمالی منطقه مورد مطالعه می باشند.

(Rahnamarad & Nemati 2014). انحراف دو یا چند آبراهه موازی در یک جهت میتواند دلیلی بر وجود یک گسل پنهان و یا یک تاقدیس میل دار باشد (Keller & Pinter 1996). در بخش جنوبی رشته کوه‌های آهورک در جنوب منطقه بردسیر، آبراهه های موازی مشاهده می‌شوند که در یک جهت انحراف پیدا کرده‌اند (تصویر ۶). این فرآیند نشان‌دهنده‌ی وجود گسل در این منطقه است. بخش مستقیم و طویل رودخانه نیز یکی از پارامترهای شناسایی گسل است. با وجود اینکه پهنه گسل از مناطق ضعیف پوسته می‌باشد، حفر رودخانه در آن مسیر راحت‌تر صورت گرفته، بنابراین رود مسیر مستقیمی خواهد داشت. در مسیر گسل لاله زار، رودخانه ضمن حفر مناطق ضعیف پوسته، مسیری مستقیم را می پیماید (تصویر ۶).

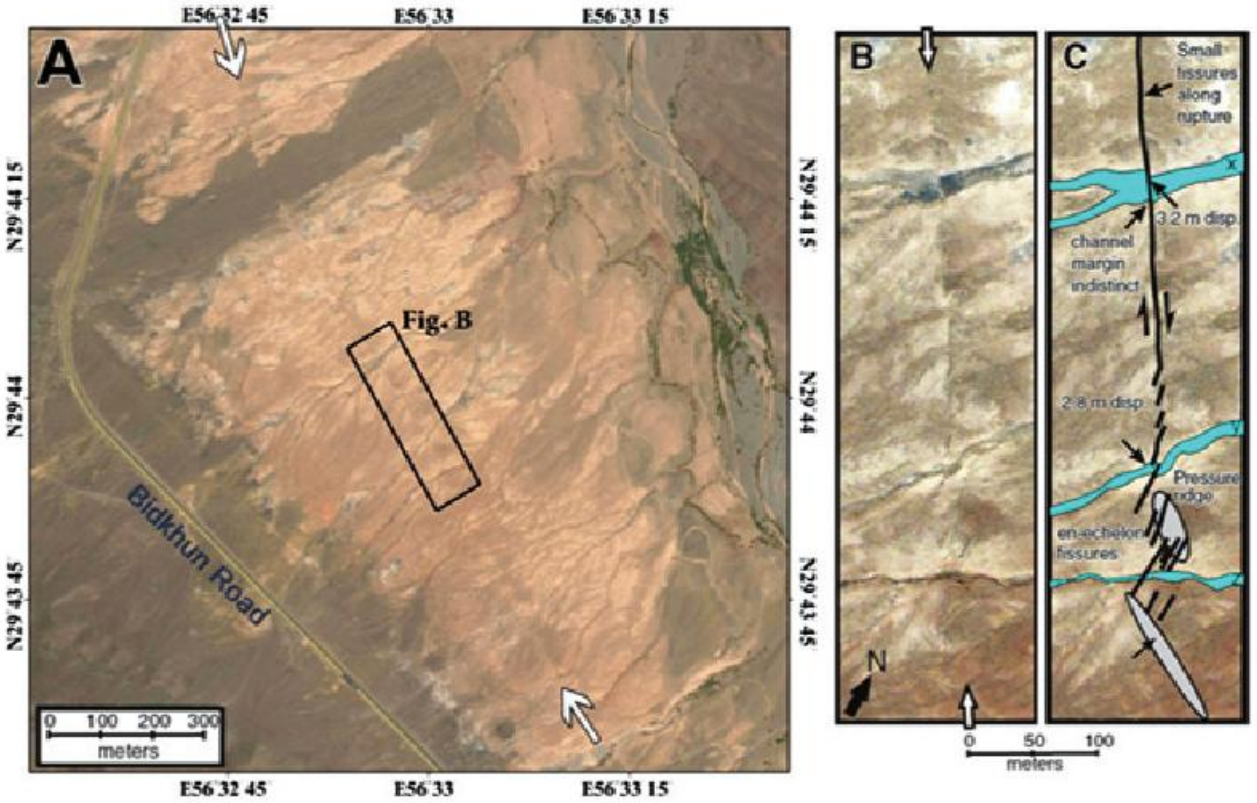
یکی از مشخصات بارز گسل لاله زار، وجود آبراهه های قطع شده و انحراف یافته در مسیر آن می باشد (تصاویر ۵ و ۶). از این نظر ویژگی مشترکی با گسل راستالغز کوهبنان دارد. وجود این خصیصه در این دو گسل که برای شکل گیری و حفظ آبراهه ها ضروری می باشند، توسط والکر و آلن (Walker & Allen 2012) به صورت احتمالی مرتبط با میزان بالاآمدگی و حرکت راستبر گسل بیان شده است.

۵- لرزه خیزی منطقه

سه زمین لرزه تاریخی و ۹۲ رویداد لرزه‌ای از سال ۱۹۰۰ میلادی تا

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۵- A) تصویر ماهواره‌ای Spot (اقتباس از **Google earth**) با قدرت تفکیک بالا از بخش باختری گسل لاله‌زار کرمان، **B)** نمای بسته‌ای از تصویر ماهواره‌ای IKONOS و نمایش اثر سطحی گسل که با چشم غیرمسلح نیز قابل رویت است. C) تفسیر تصویر **B** (اقتباس از **Fattahi et al. 2011**) که در آن به ترتیب از سمت چپ شکستگی‌های پله‌ای (نردبانی) و در سمت راست پشته‌های فشارشی است که به عنوان آثار گسیختگی سطحی زمین‌لرزه‌ای در نظر گرفته شده است. روند جابه‌جایی رودخانه‌ها و تشکیل پشته‌های فشارشی، حرکت راست‌بر گسل لاله‌زار را توجیه می‌کند. این گسیختگی زمین‌لرزه‌ای، در زمان کواترنری به وقوع پیوسته و نشان‌دهنده‌ی فعالیت گسل در عهد حاضر می‌باشد.

کنون در محدوده‌ی مورد مطالعه رخ داده که بزرگای ۵ زمین لرزه بیش از ۵ ریشتر بوده است (تصویر ۷). زمین لرزه ۱۹۲۳/۰۹/۲۲ با بزرگای M_W=۶/۹، بزرگترین زمین لرزه و زمین لرزه ۲۰۱۰/۰۷/۳۱ با بزرگای M_L=۵/۶، آخرین زمین لرزه مهم این ناحیه می‌باشد.

گسل قطعی عامل وقوع زمین لرزه ویران‌گر سال ۱۹۲۳ لاله زار نامشخص بوده و ثبت آن بر اساس مطالعات و شواهد محلی صورت گرفته است. منطقه رومرکز زمین لرزه، در مختصات ۲۹/۶۸ درجه عرض شمالی و ۵۶/۳۱ درجه طول خاوری در دره آب لاله زار قرار گرفته است. بزرگای این زمین‌لرزه ۶/۹ و ژرفای تقریبی آن ۳۳ کیلومتر محاسبه شده است.

زمین‌لرزه ویران گر ۹ مردادماه ۱۳۸۹ با بزرگای M_L=۵/۶، در مختصات ۲۹/۶۳ درجه عرض شمالی و ۵۶/۷۰ درجه طول خاوری در ۱۱ کیلومتری شمال روستای قلعه عسگر در جنوب بردسیر با ژرفای کانونی ۶±۱۴ کیلومتر رخ داده است. این زمین لرزه در اثر فعالیت گسل لاله زار و گسل‌های فرعی شمالی آن رخ داده است (تقابنی و همکاران ۱۳۸۹). با توجه به رومرکز و حل صفحه کانونی زمین لرزه اخیر، گسل مسبب زمین لرزه، دارای مولفه راستالغز می‌باشد.

برای دستیابی به توان لرزه‌زایی گسل ها روش‌های مختلفی وجود دارد. تاکر (Tocher 1985) برای زمین لرزه‌های با بزرگی بین ۵ تا ۸ در آمریکا رابطه (۱) را ارائه کرد. در این رابطه L طول گسیختگی برحسب کیلومتر و MS بزرگای زمین لرزه بر مبنای امواج سطحی در مقیاس ریشتر می‌باشد.

$$Ms=\log L+ 5/7$$ رابطه (۱)

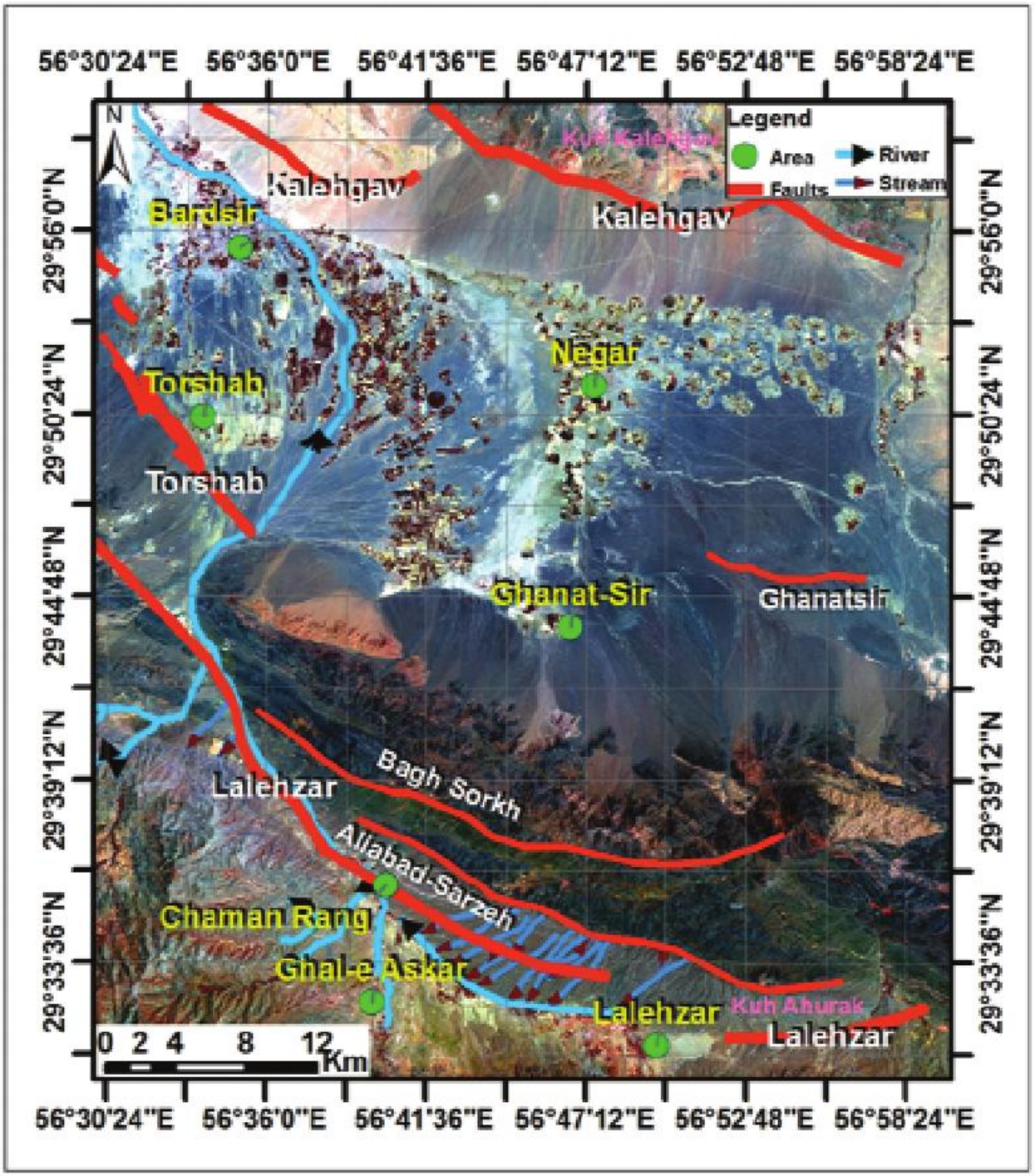
مهاجراشجعی و نوروزی (MohajerAshjai & Nowroozi 1978) رابطه تاکر را برای ایران تصحیح و عدد ثابت ۵/۷ را به ۵/۴ کاهش دادند (رابطه ۲).

$$Ms=\log L+5/4$$ رابطه (۲)

نوروزی (Nowroozi 1985) بر اساس ۱۰ زمین لرزه بزرگ ایران

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۶- در تصویر ماهواره‌ای ASTER، گسل های اصلی منطقه، رودخانه لاله‌زار، آبراهه‌ها و مراکز مهم جمعیتی مشخص شده اند. انحراف آبراهه‌های موازی در راستای گسل لاله‌زار که در قسمت جنوب خاوری در یک جهت تغییر مسیر داده‌اند، در جنوب ناحیه بردسیر نمایان است. حرکت مستقیم و طویل رودخانه لاله‌زار در محل عبور گسل لاله‌زار یکی از نشانه‌های وجود گسل در ناحیه می‌باشد.

(MS e 6) با حداکثر درازای گسل ۸۵ کیلومتر (همانند طول گسل لاله زار)، رابطه (۳) را بدست آورد. (L برحسب متر است).

رابطه (۳) $\log L=-0/126+0/67\ Ms5$

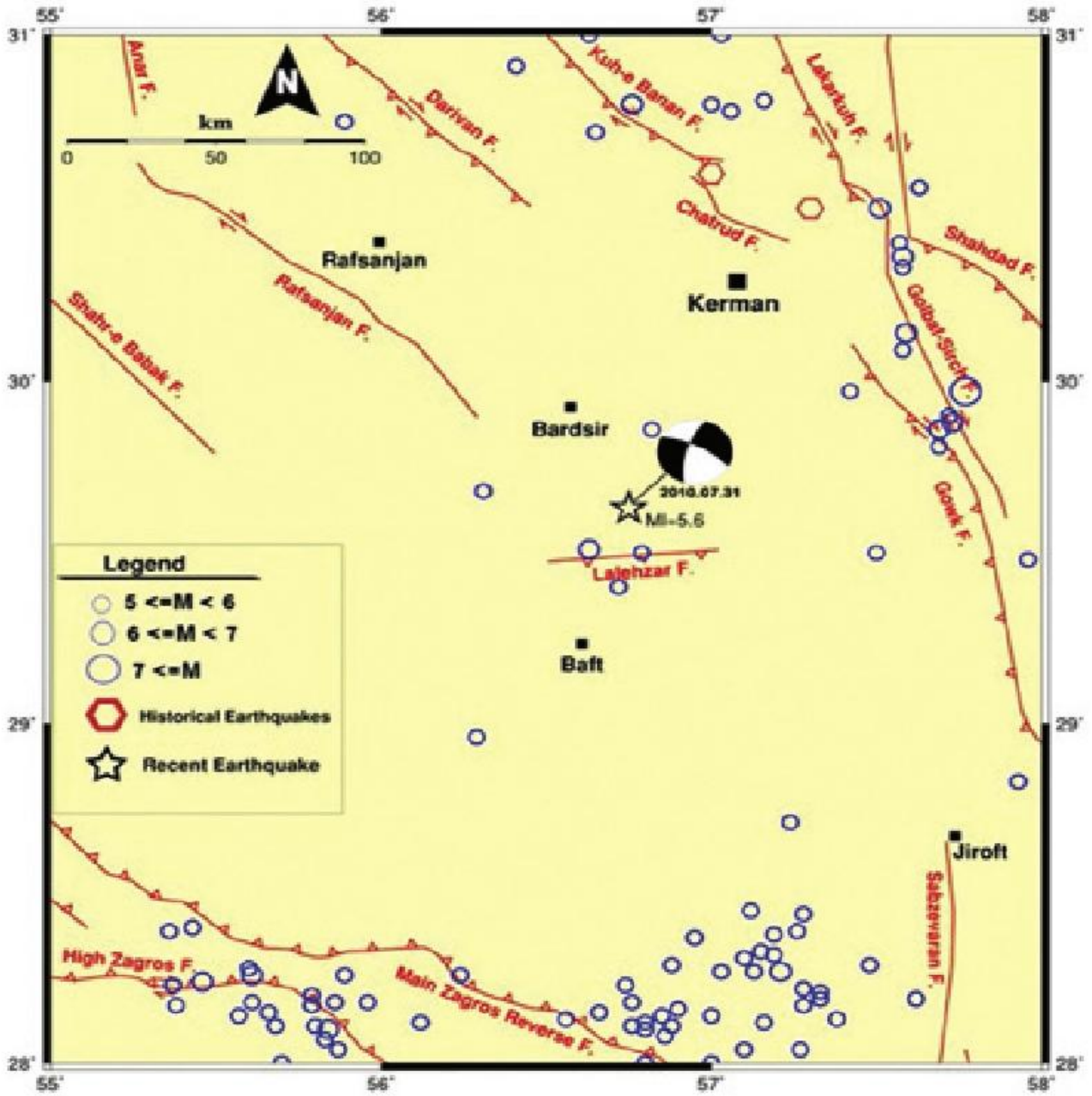
آمبرسیز و ملویل (Ambraseys & Melville 1982) بر پایه زمین‌لرزه‌های ایران، رابطه (۴) را ارائه دادند (Lبرحسب کیلومتر است).

رابطه (۴) $\log L=-3/24+0/7\ Ms$

دستور تجربی سلمونز با توجه به سازوکار گسلش برای سه نوع گسلش به صورت روابط (۵) تا (۷) ارائه شده است (L بر حسب متر است).

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۷- زمین‌لرزه‌های به وقوع پیوسته در محدوده مورد مطالعه (۲۰۱۲-۱۹۲۳) (تقابنی و همکاران ۱۳۸۹)

رابطه (۵)گسل های راستالغز $Ms=1/169\log L+1/404$

رابطه (۶)گسل های فشاری $Ms=1/142\log L+2/021$

رابطه (۷)گسل های عادی $Ms=1/341\log L+0/809$

ولز و کاپراسمیت (Wells & Coppersmith 1994) بر اساس اطلاعات مربوط به ۲۴۴ زمین لرزه (۱۲ زمین لرزه مربوط به ایران می‌باشد)، روابط (۸) تا (۱۱) را ارائه نمودند (L برحسب کیلومتر و Mw بزرگای گشتاوری می‌باشد).

رابطه (۸)گسل های راستالغز $Mw=1/12\log L+5/16$

رابطه (۹) گسل های فشاری $Mw=1/22\log L+5$

رابطه (۱۰)گسل های عادی $Mw=1/32\log L+4/86$

رابطه (۱۱) کلیه گسل ها $Mw=1/16\log L+5/08$

ولز و کاپراسمیت (Wells & Coppersmith 1994) با استفاده از داده‌های تاریخی به بررسی ارتباط بین بزرگای زمین‌لرزه، طول و پهنای گسیختگی، محدوده گسیختگی و میزان جابه جایی پرداختند. آنها، طول گسیختگی ناشی از یک زمین‌لرزه را برابر با ۰/۷۵ طول گسل، میانگین جابه جایی عمودی در هر رخداد زمین‌لرزه را معادل نصف حداکثر جابه جایی و میانگین جابه جایی زیر سطحی از حداکثر جابه جایی سطحی را کمتر و از میانگین جابه جایی سطحی

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتر در نظر گرفتند.

برای تحلیل بهتر رابطه طول گسل و بزرگای زمین لرزه برای گسل لاله زار، از روابط ارائه شده توسط سلمونز (Selmmons 1982)، نوروزی (Nowroozi 1985) و ولز و کاپراسمیت (Wells & Coppersmith 1994) استفاده شد. نتایج در جدول(۱) ارائه شده است.

بر اساس جدول ۱، زمین لرزه قابل پیش بینی در این منطقه بزرگایی در حدود ۶/۸ خواهد داشت که تقریباً معادل زمین‌لرزه ۸۷ سال پیش (۱۹۲۳م.) ناحیه با بزرگای ۶/۹ بوده و با تاریخچه لرزه‌ای منطقه هماهنگی دارد. با توجه به سازوکار راستالغز و راندگی غالب گسل های منطقه بردسیر و دوره بازگشت طولانی زمین‌لرزه‌های ناحیه، درصورتی که انرژی ذخیره شده به تدریج رها نشود، احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های شدید در پهنه گسلی لاله‌زار وجود خواهد داشت.

۶- حریم گسلش

ساخت و ساز در مناطق حوزه نزدیک گسل، اهمیت ویژه ای دارد. بنابراین باید نسبت به گسل لرزه زا برای آن حریم ایمن در نظرگرفت. منظور از حریم مهندسی گسلش، حریمی است که برای یک گسل لرزه زا در نظرگرفته می شود. در خارج از این حریم، سازه‌ها از اثرات حوزه نزدیک گسل مانند گسیختگی سطحی، جنبش شدید زمین، جابه جایی و زمین لغزش در مناطق با توپوگرافی و شیب زیاد، تاثیر کمی می پذیرند (مجرب و زارع ۱۳۸۸).

پهنای حریم گسلش برای گسل های راستالغز، باید بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر، برای گسل‌های کششی یا عادی ۵۰۰ متر و برای گسل‌های فشارشی یا معکوس (که ممکن است شکستگی های آنها در چندین سری به موازات یکدیگر تشکیل شوند)، با توجه به نکات اجرایی، باید بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر در امتداد دو سوی گسل حریم در نظر گرفته شود.

یکی از راه‌های تعیین حریم گسلش، بدست آوردن چگالی گسل ها در منطقه می باشد. بر این اساس می توان مناطق را از نظر خطر گسلش طبقه بندی کرد. هر چقدر چگالی گسل یک منطقه بیشتر باشد، احتمال رخداد جنبایی گسل در آن منطقه بیشتر خواهد بود. در این پژوهش نقشه چگالی گسل بر اساس روش نیمه توصیفی با وزنده‌ی به میزان گسل موجود در هر پیکسل محاسبه گردید. با توجه به گسل های موجود در نقشه زمین‌شناسی و خطواره‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه چگالی گسل تهیه و مناطق با چگالی متفاوت از هم تفکیک شدند (تصویر ۸).

برای تعیین تغییر مکان گسل، علاوه بر نقشه برداری دو سوی گسل که پیش از رخداد گسلش برهم منطبق بوده‌اند، می توان بر اساس بزرگای گشتاوری، به تخمینی از جابه جایی گسل در اثر یک زمین لرزه احتمالی دست یافت.

برای تعیین جابه جایی احتمالی گسل لاله زار در اثر زمین لرزه ۱۳۸۹/۰۵/۰۹، از رابطه ۱۲ (زارع ۱۳۸۰) استفاده شد. میانگین گسیختگی از طول گسل نیز ۵۰٪ و ۳۷٪ در نظر گرفته شد. نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

$$Mw=0/91Ln\ LR+3/66 \quad (11)$$

با محاسبه بزرگای احتمالی و با توجه به روابط ولزو کاپراسمیت (Wells & Coppersmith 1994) رابطه (۱۲)، میزان جابه جایی احتمالی در جدول ۳ ارائه می شود.

$$Log(D)=0/82M-5/46 \quad (12)$$

در این رابطه خطای استاندارد برای ضریب a=۰/۱۶ و برای ضریب b= ۰/۱۳ می باشد.

رابطه تجربی بین عرض با طول پهنه گسیختگی سطحی گسل زمین لرزه‌ای (هر دو به کیلومتر) که بیشترین ضریب همبستگی ممکن را با

جدول ۱- محاسبه حداکثر بزرگای زمین‌لرزه حاصل از فعالیت گسل لاله‌زار بر اساس روابط مختلف

(Selmmons 1982)	Nowroozi (1985)	(Wells and Coppersmith 1994)
Ms=6.67	Ms=6.8	Mw=7.2

جدول ۲- محاسبه بزرگای گشتاوری گسل لاله زار با توجه به گسیختگی ۵۰٪ و ۳۷٪

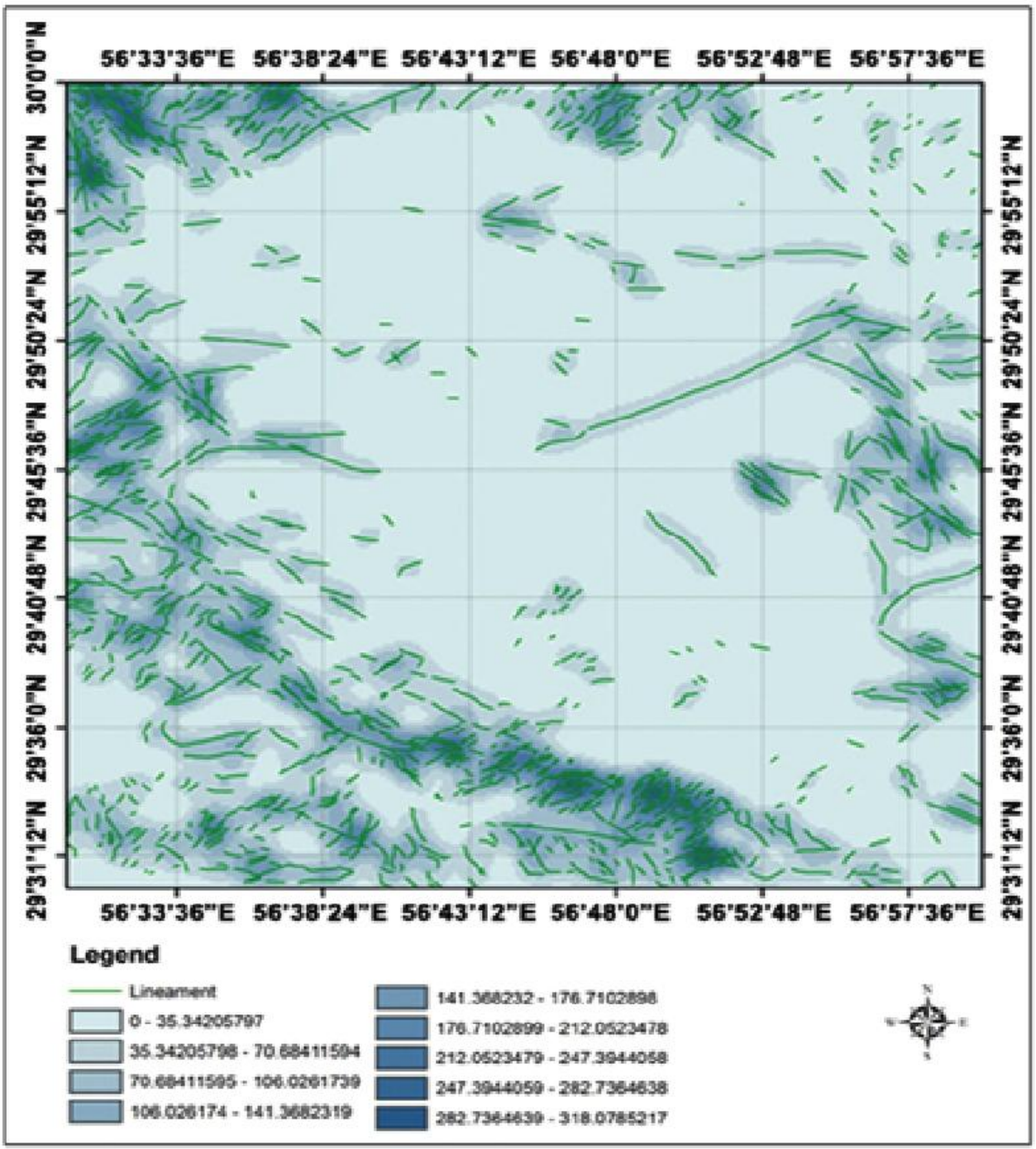
طول گسل (کیلومتر)	گسیختگی ۵۰٪	گسیختگی ۳۷٪
۶۵	۶/۸۳	۶/۵۵

جدول ۳- میزان جابجایی و بزرگای گسل لاله زار با طول ۶۵ کیلومتر متناسب با میزان گسیختگی

گسیختگی ۵۰٪	گسیختگی ۳۷٪	جابه‌جایی احتمالی ۵۰٪ M	جابه جایی احتمالی ۳۷٪ M
۶/۸۳	۶/۵۵	۱/۴	۰/۸۲

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۸- نقشه طبقه‌بندی چگالی گسل، نقشه چگالی گسل با توجه به گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی و خطواره‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، تهیه و مناطق با چگالی متفاوت طبقه‌بندی شدند.

استفاده از لگاریتم در مبنای ۱۰ برای طول گسیختگی قطعه گسلی نشان می دهد، به صورت رابطه (۱۳) ارائه شده است.

$$W=10(a+b\log LR)+\sigma \qquad (۱۳)$$

با استفاده از رگرسیون خطی، ضرایب نشان داده شده در رابطه ۱۳ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$a=-0/45, b=0/48, \sigma=0/70$$

در این رابطه، خطای استاندارد برای ضریب a=۰/۴۲ و برای ضریب b=۰/۲۰ می‌باشد. ضرایب این رابطه بر اساس داده‌های جدول ۳ حاصل شده است، بنابراین با در نظر گرفتن طول حدود ۶۵ کیلومتری مربوط به قطعه‌های مختلف گسل لاله زار و احتمال گسیختگی ۵۰٪ و ۳۷٪ از طول گسل در یک زمین‌لرزه محتمل در آینده، پهنای گسیختگی‌های سطحی (حریم گسلش) محاسبه و در جدول ۴ آورده

www.SID.ir

Archive of SID

شده است.

بر این اساس، بدترین حالت جابه جایی محتمل ۷۴ متر و کمترین حالت ۸۲ سانتیمتر می باشد. در نهایت به منظور تعیین حریم گسلش برای گسل لاله زار از رابطه (۱۴) (زارع ۱۳۸۰) استفاده می شود.

$$Mw=a+bLn(W)+\sigma \qquad (۱۴)$$

$$a=6/88, b=0/34, \sigma=0/61$$

در نهایت، تاکید می شود که در هنگام استفاده از این رابطه برای محاسبه حریم گسلش گسل های کواترنری و بنیادی ایران، ابتدا باید مقدار LR با در نظر گرفتن ۳۷٪ کل قطعه گسلی (LF) موجود در منطقه مورد مطالعه (و یا در بعضی محاسبات محافظه کارانه ۵۰٪ کل طول قطعه گسلی) در نظر گرفته شود (زارع ۱۳۸۰).

با توجه به بزرگای به دست آمده، بیشترین حریم گسل ۱/۸۸ کیلومتر و کمترین حالت ۱/۶۳ کیلومتر محاسبه شده است. این محاسبات با موضوع رعایت حریم گسل های فشارشی (که پهنه‌ای بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر در امتداد درازای دو سوی گسل در نظر گرفته می شود) نیز مطابقت دارد (تصویر ۹).

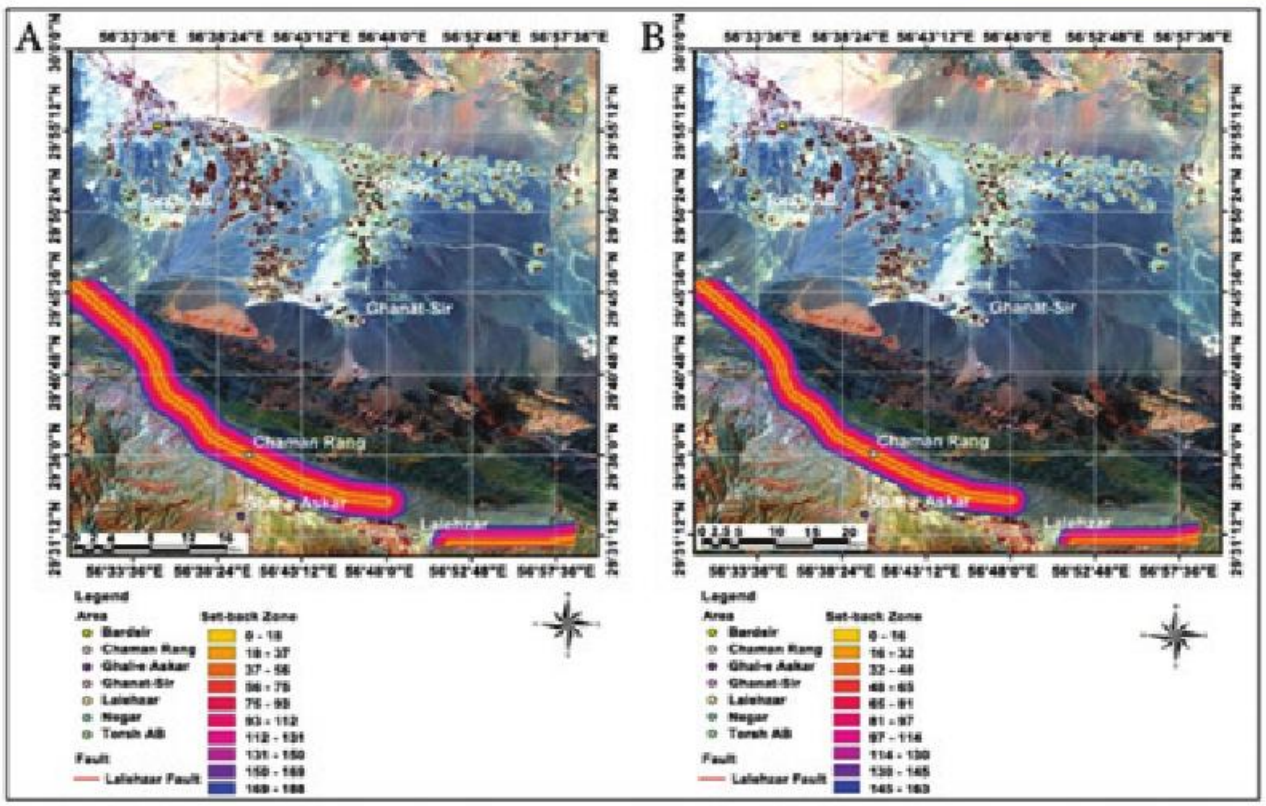
جدول ۴- محاسبه حریم گسلش پیرامون گسل لاله‌زار کرمان متناسب با میزان گسیختگی

حریم گسلش با گسیختگی ۵۰٪	حریم گسلش با گسیختگی ۳۷٪
۱/۸۸±۰/۷ Km	۱/۶۳±۰/۷ Km

۷- نتیجه گیری

با مقایسه گسل های استخراج شده از نقشه زمین شناسی با گسل های تعیین شده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییر طول و روند تعدادی از گسل های ناحیه مشخص گردید. گسل لاله زار با طول ۶۵ کیلومتر، روند میانگین N50W و شیب به سمت شمال خاور، بر اساس شواهد سطحی و حل هندسه گسل، ساز و کار فشاری با مولفه راست بر دارد. قرارگیری پدیده‌هایی مانند آتشفشان های جوان، تراورتنزایی و قطع رسوبات کواترنر به موازات گسل لاله زار، موید جنبایی و حرکت راستالغز این گسل است. میزان جابجایی راست بر این گسل بین ۳/۲ تا ۲/۸ متر تعیین شده است.

با مقایسه گسل های موجود در نقشه زمین‌شناسی و خطواره‌های استخراجی در این پژوهش، ویژگی های جدیدی از گسل های کله



تصویر ۹- نقشه حریم گسلش پیرامون گسل لاله‌زار کرمان، بر روی تصویر ماهواره‌ای +ETM مشخص شده است. A) نقشه حریم گسلش، در بیشترین حالت به میزان ۱/۸۸ کیلومتر. B) نقشه حریم گسلش، در کمترین حالت به میزان ۱/۶۳ کیلومتر.

www.SID.ir

Archive of SID

گاو، ترشاب، قناتسیر، علی‌آبادسرزه و باغ سرخ در منطقه معرفی گردید.

جابه جایی راستبر آبراهه‌ها در تصاویر ماهواره‌ای، راست بر بودن شکستگی‌های نوع R و P در منطقه، حرکت و جابجایی راست‌بر اکثر گسل ها و رودخانه ها، تشکیل پشته های فشارشی و شکاف های نردبانی، روند عمومی و اثر سطح محوری چین‌ها، همگی بیانگر برش راست بر در منطقه است.

بر اساس هندسه و ساز و کار گسل و ارتباط بین گسل‌ها، منطقه بردسیر تحت تاثیر نیروی فشاری حاکم بر ناحیه در راستای جنوب باختر - شمال خاور قرار گرفته و شواهد آن به صورت پهنه برشی راست‌بر نمود دارد.

با توجه به روابط مختلف ارائه شده بین طول گسل، میزان گسیختگی و بزرگای زمین‌لرزه، زمین لرزه قابل پیشبینی در این منطقه، بزرگایی در حدود ۶/۸ را خواهد داشت که نزدیک به زمین‌لرزه سال ۱۹۲۳ در ناحیه است.

حریم گسلش پیرامون گسل لاله زار در بیشترین حالت ۷/۸۸ و در کمترین حالت ۷/۶۳ کیلومتر تعیین شد که با حریم گسلش برای گسل های فشارشی مطابقت دارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بر گرفته از طرح پژوهشی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب می باشد. نگارندگان مقاله از حمایت علمی و مالی آن واحد دانشگاهی قدردانی می نمایند.

مراجع

تقابنی، م.، دولوئی، غ.، عسگری، ا.ه.، ۱۳۸۹. گزارش زمین لرزه ۱۳۸۹/۰۵/۰۹ جنوب بردسیر کرمان. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، http://www.iiees.ac.ir

زارع، م.، ۱۳۸۰. خطر زمین لرزه و ساخت و ساز در حریم گسل شمال تبریز و حریم گسلش گسل های زمین‌لرزهای ایران. پژوهش نامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال چهارم، شماره دوم و سوم.

کمالی، ز.، سرکاری‌نژاد، خ.، رهنماراد، ج.، ۱۳۹۲. بررسی ساختاری فروبوم دشت ارژن با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و خش لغزهای گسلی. فصلنامه زمین شناسی کاربردی، سال ۹، شماره۲:۱۴۸-۱۳۵.

مجرب، م.، زارع، م.، ۱۳۸۸. تعیین حریم مهندسی گسل شمال تهران. پایگاه اطلاعات علمی (SID)، سال چهارم، شماره ۱.

محجل کفشدوز، م.، امامی، ع.،خدابنده، م. و سبزه‌ای، م.، ۱۳۷۱. نقشه زمین شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسیر. سازمان زمین شناسی کشور.

Ambraseys, N.N., Melville, C.P., 1982. A history of Persian earthquakes. *Cambridge, UK, Cambridge University Press.*

Berberian, M., 1976. Contribution to the seismotectonics of Iran (Part II). *Report no. 39: Tehran, Iran, Geological Survey of Iran.*

Chinnery, M.A., 1969. Earthquake magnitude and source parameters. *Bull. Seism. Soc. Am. 59, 1969-1982.*

Demets, C., R. G. Gordon, D. F. Argus, S. Stein, 1990. Current plate motions. *Geophys. J. Int., 101, 425-478.*

ESRI, 2008. Environmental Systems Research Institute, Inc. (Esri): *http://www.esri.com*

Fattahi, M., Walker, R.T.,Talebian,M., Sloan, R.A., Rasheedi, A., 2011. The structure and late Quaternary slip rate of the Rafsanjan strike-slip fault, SE Iran. *Geosphere 2011;7;1159-1174, doi:10.1130/00651.1.*

ITT Exelis Visual Information Solutions., 2010. Envi 4.8 software. *http://www.exelisvis.com*

Keller, E.A., Pinter, N., 1996. Active Tectonic: Earthquakes, Uplift, and Landscape, New Jersey: *Prentice Hall, Upper Saddle River, 338 p.*

Lida, K., 1959. Earthquake energy and earthquake fault. *Nagoya University, J. Earth Sci. 7, 98-107.*

MCKenzie, D.P, 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc., 30 (2), 109-185.*

MohajerAshjai, A., Nowroozi, A.A., 1978. Observed and probable intensity zoning of Iran. *Tectonophysics, 49, 249-260.*

Nowroozi, A.A., 1985, Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran, *Bulletin of the Seismological Society of America, 61,314-341.*

PCI Geomatics Enterprises, 2011. *http://www.pcigeomatics.com*

Rahnamarad, J., Nemati, M., 2014. An Investigation of 2013 Saravan Earthquake, Sistan and Baluchestan Province, Southeastern Iran, Geodynamics Research International Bulletin (GRIB). *Vol. (II)- No. 04- Special Issue on 2013 Saravan Earthquake, April 2014 10th Article- P. 63 to 78.*

RockWare, 2010. Integrated geological data management, analysis, and visualization: *http://www.rockware.com*

Selmmons, D.B., 1982. Determination of design earthquake magnitude for Mocrozonation. Proc. 3d .Int. EarthquakeMicroz. *Conf., VI. 130-119.*

Tocher, D., 1958. Earthquake energy andground breakage. *Bull. Seism. Soc. Am. 48, 147-153.*

Vernant, Ph., Nilfroushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C.,Masson, F., Nanakali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R.,Tavakoli, F., Chery, J., 2004. Contemporary crustal deformationand plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurementsin Iran and northern Oman. *Geophysical Journal International*

www.SID.ir

Archive of SID

157,381-398.

Walker, F., Allen, B.M., 2012. Offset rivers, drainage spacing and the record of strike-slip faulting: The KuhBanan Fault, Iran. *Tectonophysics 530-531 (2012) 251-263.*

Walker, R.T., 2006. A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman province, S.E. Iran. *Journal of Structural Geology 28, 654-668.*

Walker, R.T., Bergman, E,A., Elliott, J.R., Fielding, E.J., Ghods, A.R., Ghoraishi, M., Jackson, J., Nazari, H., Nemati, M., Oveisi, B., Talebian, M., Walters, R.J., 2013. The 2010-2011 South Rigan (Baluchestan) earthquake sequence and its implications for distributed deformation and earthquake hazard in southeast Iran. *Geophysical Journal International, doi: 10. 1093/ gji / ggs 109.*

Wells, D.L. , Coppersmith,K.J., 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement. *BSSA, 84, No.4, pp. 974-1002.*

www.SID.ir