



## لرزه فیزی و مریم گسلش پیرامون گسل لاله زار کرمان

امداد ادیب<sup>۱\*</sup>، آرمان آقامسینی<sup>۲</sup> و ممسن پور کرمانی<sup>۲</sup>

(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

زمین لرزه‌های 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 زمین لرزه 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 راست بر مرتبط می‌باشد. به منظور تعیین حریم گسلش ناحیه و تفکیک پهنه‌های پرخطر، ویژگی‌های نوزمین ساختی پهنه گسلی بر اساس شواهد ریختاری بر روی زمین و تصاویر ماهواره ای شناسایی شد. افزای گسلی، جابه‌جایی آبراه‌ها، چشمه‌های تراورتن‌زا و پشته‌های فشارشی، نشان دهنده فعالیت‌های زمین ساختی ناحیه می‌باشند. با توجه به تراکم و بیشترین طول گسل‌های ناحیه، زمین لرزه قابل پیش‌بینی بزرگای ۶/۸ را خواهد داشت که تقریباً معادل زمین لرزه سال ۱۹۲۳ با بزرگای ۶/۸ است. بر اساس شواهد ریختاری، لرزه‌ای 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 نشانه‌های وجود گسل پنهان یا آشکار در این محدوده شامل جابه‌جایی آبراه‌ها، قرارگیری و مجاورت واحدهای زمین شناسی 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 دهنده فعالیت زمین ساختی بیشتر در جنوب ناحیه منطبق با گسل‌های لاله زار، ترشاب و باغ‌سرخ در طی رژیم نوزمین ساخت می‌باشند.

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

**۱- مقدمه**

های پنهان گسل لاله زار و گسل های پیرامون و مرتبط با آن شناسایی و تعیین گردد. اندازه گیری میزان تغییر شکل با استفاده از جی پی اس (GPS) در سال های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۱ در این ناحیه داده های 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 تغییر شکل ناپذیر، یکپارچه و بی لرزه معرفی کردند. اما والکر و همکاران (Walker et al. 2013) فعالیت های لرزه ای منطقه را پراکنده با ژرفای کانونی کم در طول چند گسل معکوس و قابل توجه می دانند.

زمین لرزه های 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 لرزه ای پس از یک دوره فعالیت لرزه ای در نظر گرفت (Berberian 1976).

گسل لاله زار با سازوکار فشاری و مولفه راست بر، 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 نفوژن 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 یافته اند. 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 ماهواره ای)، شواهد سطحی جنبش گسل بر روی آبرفت های کواترنری، ساختارهای ناحیه در واحدهای سنگی، اثر گسل ها در تحولات ساختاری و اطلاعات لرزه ای منطقه تعیین شدند. روند تحقیق بر اساس الگوی تصویر ۲ و به شرح زیر می باشد:

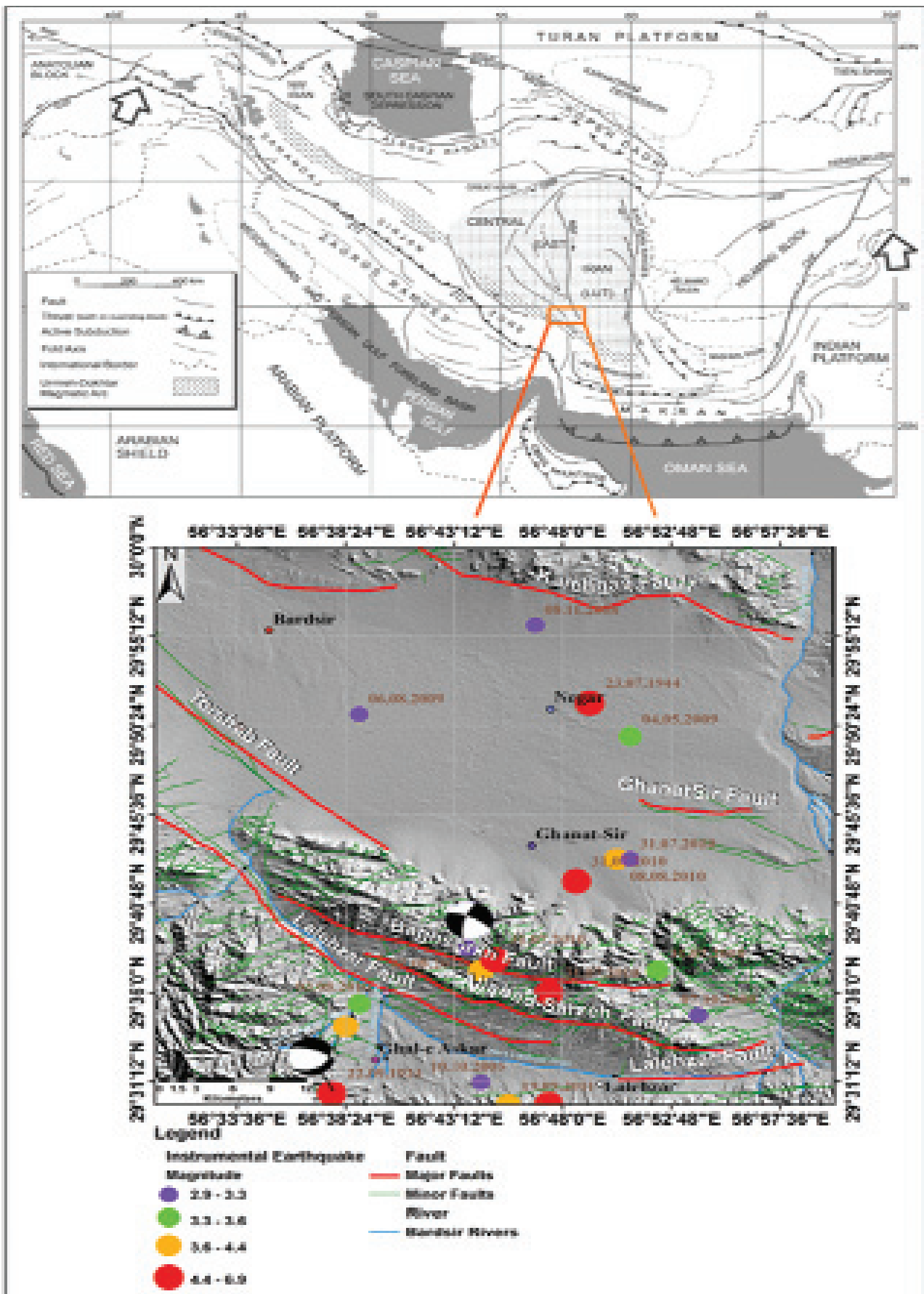
-گردآوری اطلاعات قبلی و برداشت اطلاعات ساختاری از نقشه

در تحلیل خطر زمین لرزه، نیاز به ارزیابی پتانسیل رخداد زمین لرزه هایی است که در آینده در هر منطقه به وقوع می پیوندد (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 لرزه های آینده مرتبط با یک گسل، بر اساس ارزیابی پارامترهای گسیختگی پهنه گسل تعیین می شود. 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. دمتمس و همکاران (Demets et al. 1990) نیز با استفاده از آزمون گسل های ترادیس و بردار لغزش زمین لرزه ها، همگرایی شمالی-جنوبی با نرخ حدود ۳۱ میلیمتر در سال را برای این ناحیه از ایران برآورد نمودند.

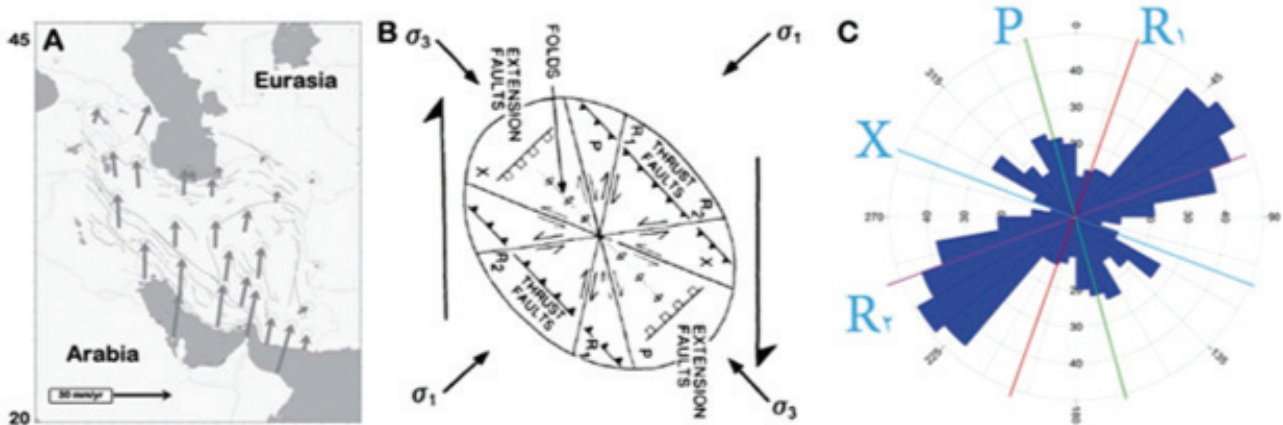
گسل لاله زار یکی از ساختارهای فعال در جنوب خاور ایران در پیرامون شهر بردسیر است. این گسل فشاری با مولفه راست بر و شیب به سمت شمال خاور با طول ۶۵ کیلومتر، در حوالی آبادی پشت رود و فرکان تغییر روند داده و چند زمین لرزه بزرگ را در منطقه بردسیر ایجاد نموده است (تصویر ۱).

گسل لاله زار، شامل مجموعه ای از قطعات گسلی است (Fattahi et al. 2011). این سامانه گسلی شامل پهنه ای 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 لرزه های 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 صحرائی، سوابق لرزه ای و سازوکار گسل ها، حریم گسلش و بخش



تصویر ۱- جایگاه تکتونیکی، موقعیت گسل های اصلی و فرعی و نقاط کانونی زمین لرزه های اخیر بر روی تصویر مشخص شده است. مرکز سطحی زمین لرزه های مهم رخ داده از تاریخ ۱۹۲۳/۰۹/۲۲ تا ۲۰۱۲/۰۶/۲۸ بر روی تصویر نمایان است.





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 ماهواره ای با مدل برش راست بر فرضی برای ناحیه بردسیر.

تغییر مسیر و شکاف در سطح زمین به طول ۷۵ کیلومتر می باشد که با بهره گیری از تصویر ماهواره ای IKONOS با دقت بالا، بر روی زمین قابل رویت است (تصویر ۵). اثر سطحی گسل در قسمت باختری محدوده با مجموعه ای از شکستگی های کوچک و شکاف های نردبانی که نشانگر لغزش راست بر گسل می باشد در طول روند خط گسلی مشخص و نمایان است (تصاویر ۵B و ۵C). در نزدیکی آبادی باغ سرخ، گسل توسط مجموعه ای از پشته های فشارشی کوچک مشخص شده است (تصاویر ۵B و ۵C). این پشته های فشارشی حدود ۲ متر بالا آمدگی داشته و بالاتر از سطح زمین های اطراف قرار گرفته اند.

با توجه به محاسبه میزان متوسط جابه جایی رودخانه ها 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 می شود. بر این اساس، طول گسیختگی ناشی از یک رخداد زمین لرزه ای با این بزرگا می تواند 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 می تواند دچار تغییر شود. از جمله این تغییرات می توان به فعال یا غیرفعال شدن چشمه ها در اثر باز یا بسته شدن مسیر آب اشاره نمود

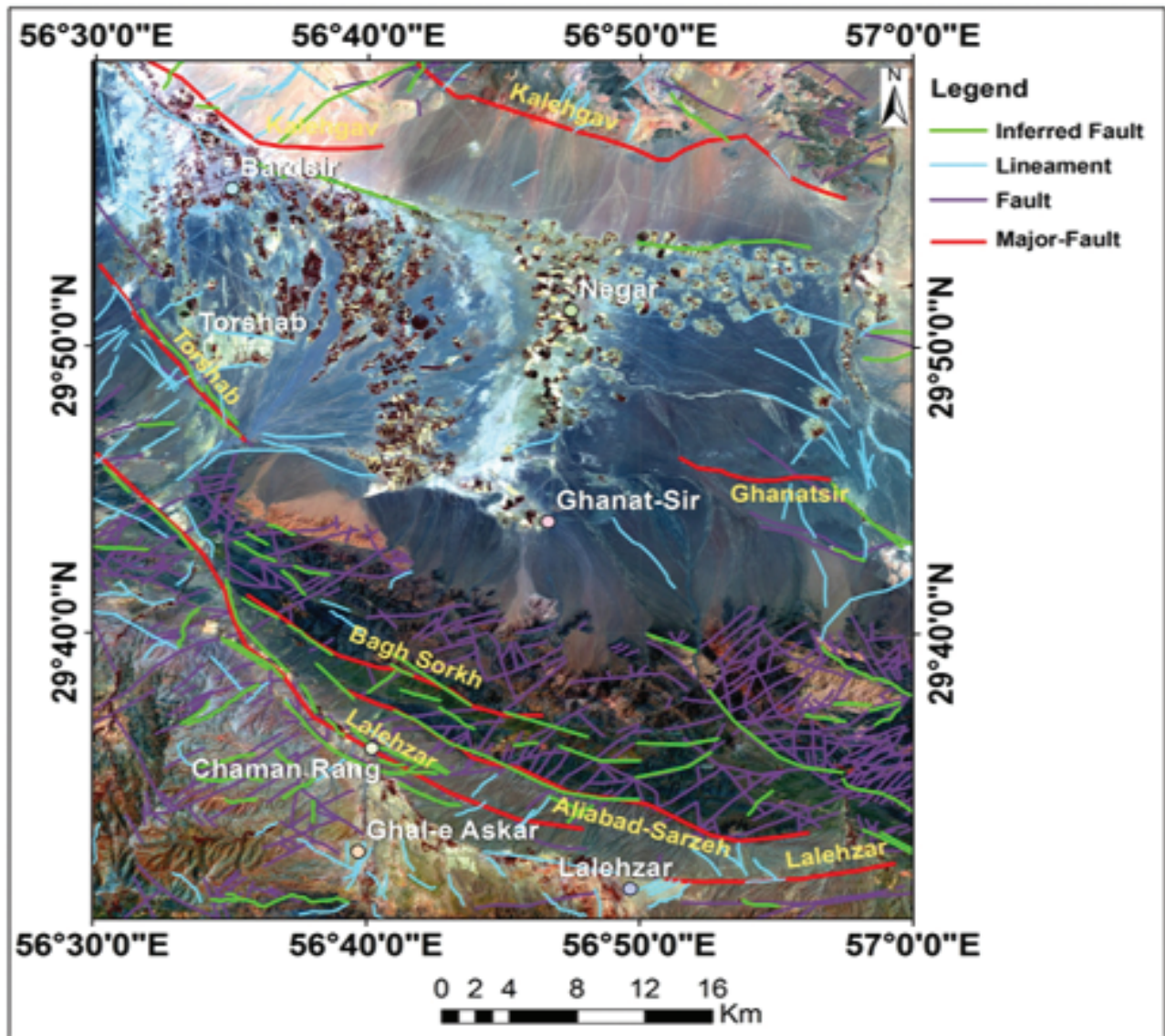
خطواره ها نشان دهنده پهنه های ضعیف سطح زمین می باشند که بیشترین تخریب و جابجایی ناشی از زمین لرزه های گذشته در نزدیکی آنها مشاهده می شود.

بین تراکم خطواره ها، زمین لرزه های گذشته و پهنای پهنه گسلش رابطه مستقیمی وجود دارد (تصویر ۴). با بهره گیری از این روش می توان جهت روند کلی شکستگی های 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 نرم افزار راک ور (Rockwork 2010)، نمودارهای گل سرخی مربوط به گسل ها رسم و تحلیل شدند (تصویر ۳). روند غالب گسل لاله زار به عنوان اصلی ترین گسل منطقه نیز در این تصویر N50W می باشد. 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 نشانه ای از راست بر بودن این گسل باشد. در نزدیکی آبادی فرکان در جنوب خاوری بردسیر، روند این گسل خاوری - باختری می باشد.

بررسی تصاویر ماهواره ای و نقشه زمین شناسی ناحیه شواهدی بر گسلش سطحی در قسمت باختری گسل لاله زار را نشان می دهد. در این بخش چشمه های آب گرم به موازات اثر سطحی گسل در یک خط قرار گرفته اند (تصویر ۵A). تعدادی از آبراهه های کوچک نیز توسط گسل قطع شده و تغییر مسیر داده اند (تصاویر ۵B و ۵C). این





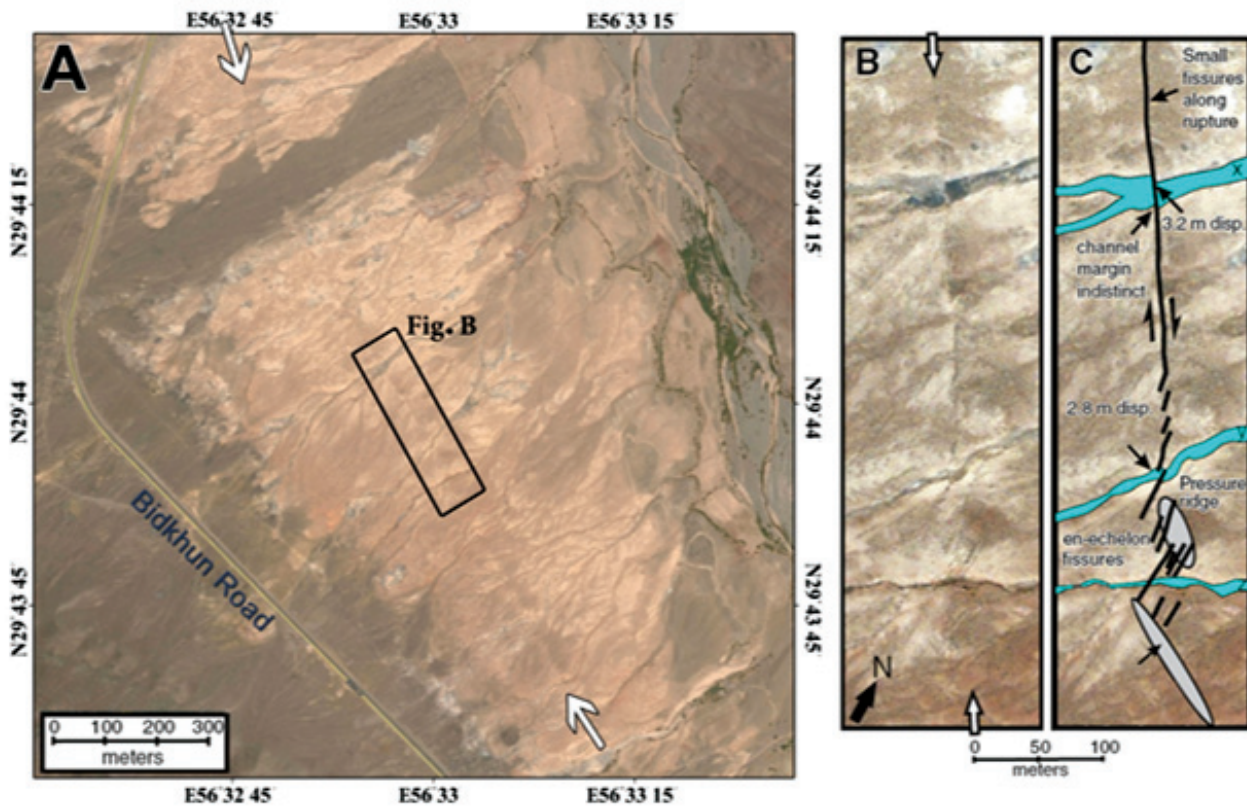
تصویر ۴- گسل های اصلی، فرعی و خطواره های احتمالی ناحیه با پس زمینه ای از تصویر ماهواره ای ETM+، خط های بنفش رنگ معرف گسل های مشخص شده بر روی نقشه زمین شناسی ناحیه می باشند. خط های آبی معرف خطواره های احتمالی حاصل از بررسی دورسنجی و استفاده از نرم افزارهای تحلیلی خطواره های گسلی می باشند. خط های قرمز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

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 بالا آمدگی و حرکت راستبر گسل بیان شده است.

#### ۵- لرزه خیزی منطقه

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

(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 کوه های آهورک در جنوب منطقه بردسیر، آبراهه های موازی مشاهده می شوند که در یک جهت انحراف پیدا کرده اند (تصویر ۶). این فرآیند نشان دهنده ی وجود گسل در این منطقه است. بخش مستقیم و طولیل رودخانه نیز یکی از پارامترهای شناسایی گسل است. با وجود اینکه پهنه گسل از مناطق ضعیف پوسته می باشد، حفر رودخانه در آن مسیر راحت تر صورت گرفته، بنابراین رود مسیر مستقیمی خواهد داشت. در مسیر گسل لاله زار، رودخانه ضمن حفر



تصویر ۵- (A) تصویر ماهواره ای Spot (اقتباس از Google earth) با قدرت تفکیک بالا از بخش باختری گسل لاله زار کرمان، (B) نمای بسته ای از تصویر ماهواره ای 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 شکستگی های پله ای (نردبانی) و در سمت راست پشته های فشارشی است که به عنوان آثار گسیختگی سطحی زمین لرزه ای در نظر گرفته شده است. روند جابه جایی رودخانه ها و تشکیل پشته های فشارشی، حرکت راست بر گسل لاله زار را توجیه می کند. این گسیختگی زمین لرزه ای، در زمان کواترنری به وقوع پیوسته و نشان دهنده ی فعالیت گسل در عهد حاضر می باشد.

گسل لاله زار و گسل های 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 می باشد.

برای دستیابی به توان لرزه زایی گسل ها روش های مختلفی وجود دارد. تاکر (Tocher 1985) برای زمین لرزه های 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 می باشد.

$$M_s = \log L + 5/7 \quad \text{رابطه (۱)}$$

مهاجر اشجعی و نوروزی (MohajerAshjai & Nowroozi 1978) رابطه تاکر را برای ایران تصحیح و عدد ثابت ۵۷ را به ۵۴ کاهش دادند (رابطه ۲).

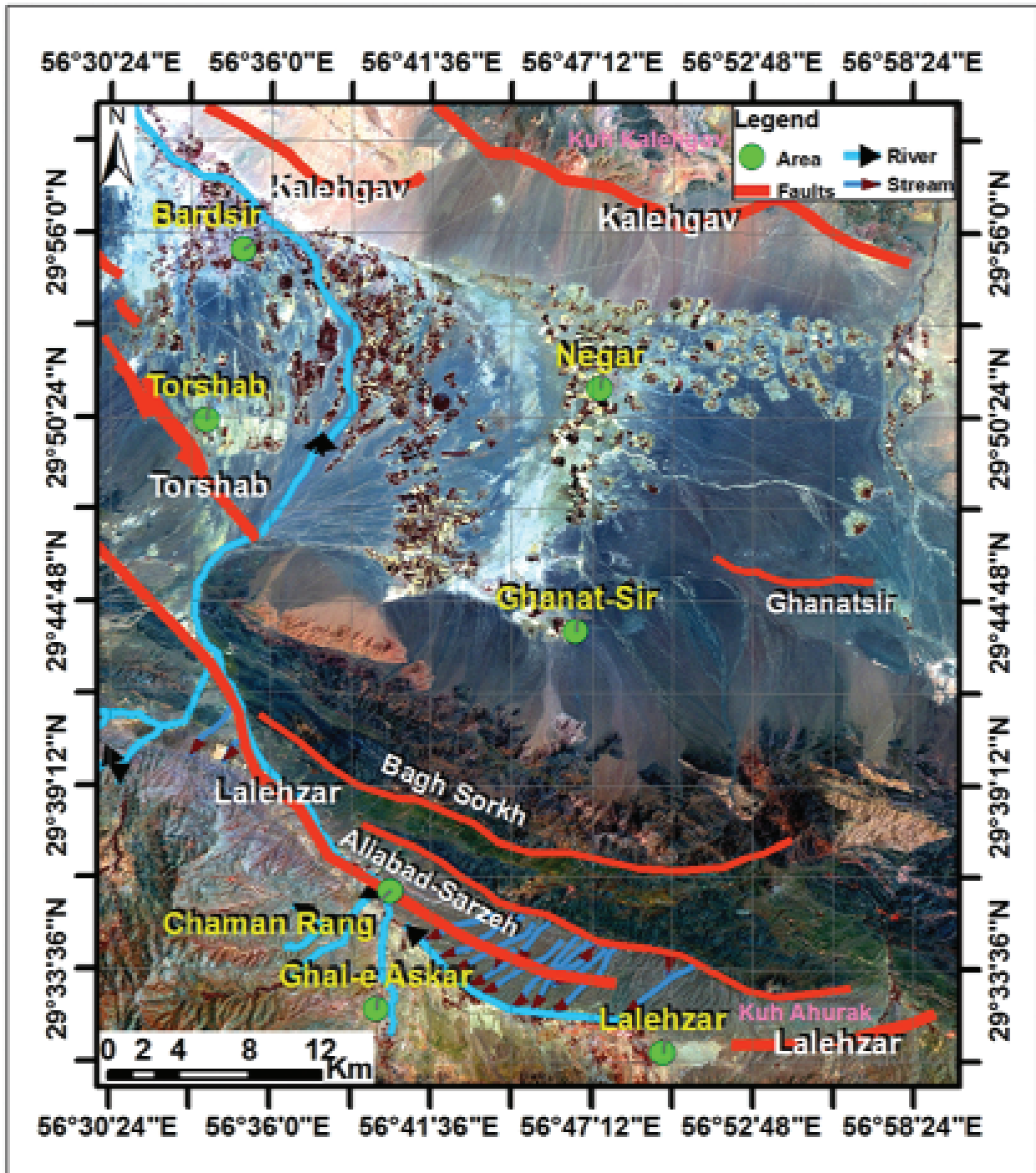
$$M_s = \log L + 5/4 \quad \text{رابطه (۲)}$$

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

کنون در محدوده ی مورد مطالعه رخ داده که بزرگای ۵ زمین لرزه بیش از ۵ ریشتر بوده است (تصویر ۷). زمین لرزه ۱۹۲۳/۰۹/۲۲ با بزرگای  $M_W=6/9$ ، بزرگترین زمین لرزه و زمین لرزه ۲۰۱۰/۰۷/۳۱ با بزرگای  $M_L=5/6$ ، آخرین زمین لرزه مهم این ناحیه می باشد.

گسل قطعی عامل وقوع زمین لرزه ویران گر 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 زمین لرزه ۶/۹ و ژرفای تقریبی آن ۳۳ کیلومتر محاسبه شده است.

زمین لرزه ویران گر ۹ مردادماه ۱۳۸۹ با بزرگای  $M_L=5/6$ ، 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  $14 \pm 6$  کیلومتر رخ داده است. این زمین لرزه در اثر فعالیت



تصویر ۶- در تصویر ماهواره‌ای ASTER، گسل‌های اصلی منطقه، رودخانه لاله‌زار، آبراهه‌ها و مراکز مهم جمعیتی مشخص شده‌اند. انحراف آبراهه‌های موازی در راستای گسل لاله‌زار که در قسمت جنوب‌خاوری در یک جهت تغییر مسیر داده‌اند، در جنوب ناحیه بردسیر نمایان است. حرکت مستقیم و طولیل 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 است).

$$\log L = -3/24 + 0/7 Ms$$

رابطه (۴) لاله‌زار، رابطه (۳) را بدست آورد. (L بر حسب متر است).

دستور تجربی سلمونز با توجه به سازوکار گسلش برای سه نوع

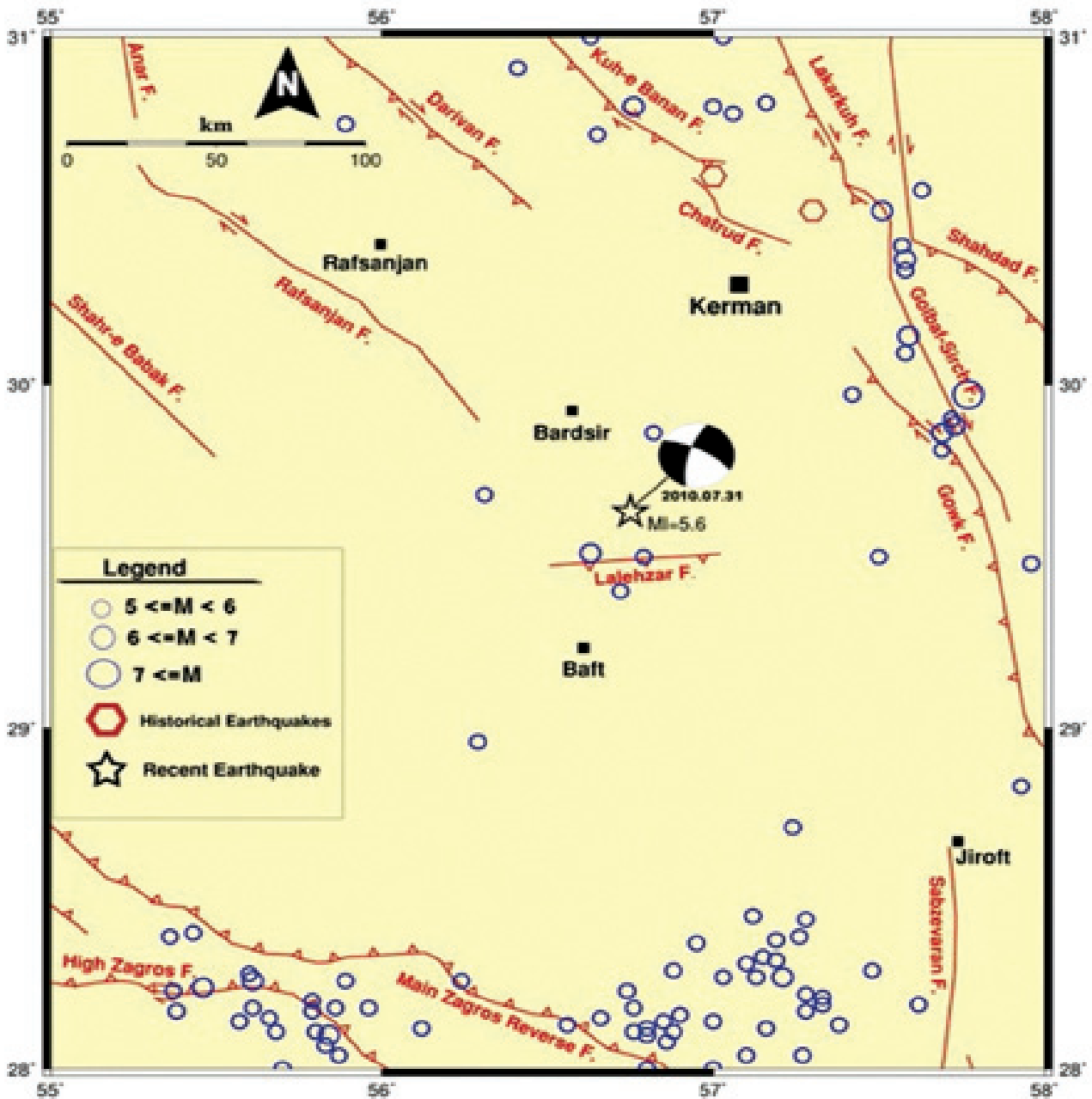
$$\log L = -0/126 + 0/67 Ms5$$

گسلش به صورت روابط (۵) تا (۷) ارائه شده است (L بر حسب متر

رابطه (۳) آمبرسیز و ملویل (Ambraseys & Melville 1982) بر پایه

زمین‌لرزه‌های ایران، رابطه (۴) را ارائه دادند (L بر حسب کیلومتر است).





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

$$M_w = 1/32 \log L + 4/86$$

رابطه (۱۰) گسل‌های عادی

$$M_s = 1/169 \log L + 1/404$$

رابطه (۵) گسل‌های راستالغز

$$M_w = 1/16 \log L + 5/08$$

رابطه (۱۱) کلیه گسل‌ها

$$M_s = 1/142 \log L + 2/021$$

رابطه (۶) گسل‌های فشاری

ولز و کاپراسمیت (Wells & Coppersmith 1994) با استفاده از

$$M_s = 1/341 \log L + 0/809$$

رابطه (۷) گسل‌های عادی

داده‌های تاریخی به بررسی ارتباط بین بزرگای زمین لرزه، طول و پهنای گسیختگی، محدوده گسیختگی و میزان جابه‌جایی پرداختند.

ولز و کاپراسمیت (Wells & Coppersmith 1994) بر اساس اطلاعات مربوط به ۲۴۴ زمین لرزه (۱۲ زمین لرزه مربوط به ایران

آنها، طول گسیختگی ناشی از یک زمین لرزه را برابر با ۰/۷۵ طول گسل، میانگین جابه‌جایی عمودی در هر رخداد زمین لرزه را معادل

$$M_s = 1/12 \log L + 5/16$$

می‌باشد)، روابط (۸) تا (۱۱) را ارائه نمودند (L برحسب کیلومتر و

نصف حداکثر جابه‌جایی و میانگین جابه‌جایی زیر سطحی از

$$M_w = 1/22 \log L + 5$$

رابطه (۸) گسل‌های راستالغز

حداکثر جابه‌جایی سطحی را کمتر و از میانگین جابه‌جایی سطحی

$$M_w = 1/22 \log L + 5$$

رابطه (۹) گسل‌های فشاری

$M_w$  بزرگای گشتاوری می‌باشد).

بیشتر در نظر گرفتند.

به میزان گسل موجود در هر پیکسل محاسبه گردید. با توجه به گسل‌های 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، می‌توان بر اساس بزرگای گشتاوری، به تخمینی از جابه‌جایی گسل در اثر یک زمین لرزه احتمالی دست یافت.

برای تعیین جابه‌جایی 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 ۱۲ ارائه شده است.

$$Mw=0.91 \ln LR+3/66 \quad (11)$$

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

$$\log(D)=0.82M-5/46 \quad (12)$$

در این رابطه خطای استاندارد برای ضریب  $a=0.16$  و برای ضریب  $b=0.13$  می‌باشد.

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 زمین لرزه حاصل از فعالیت گسل لاله زار بر

اساس روابط مختلف

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

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

طول گسل (کیلومتر)	گسیختگی ۵۰٪	گسیختگی ۳۷٪
۶۵	۶۱۸۳	۶۱۵۵

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

گسیختگی ۵۰٪	گسیختگی ۳۷٪	جابه‌جایی احتمالی ۵۰٪ M	جابه‌جایی احتمالی ۳۷٪ M
۶۱۸۳	۶۱۵۵	۱/۴	۰/۸۲

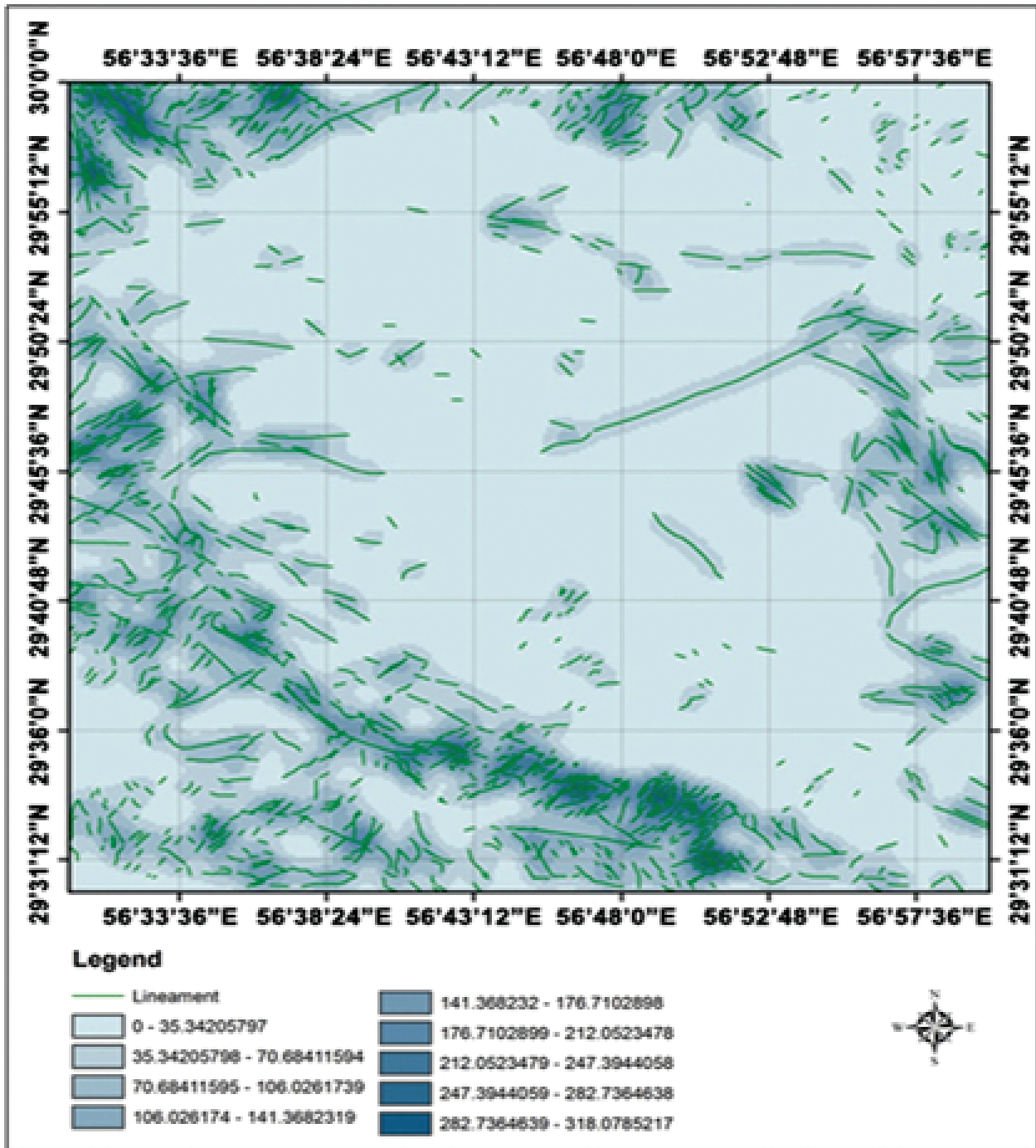
برای تحلیل بهتر رابطه طول گسل و بزرگای زمین لرزه برای گسل لاله زار، از روابط ارائه شده توسط سلمونز (Selmons 1982)، (Nowroozi 1985) نوروژی و ولز و کاپراسمیت (Wells & Coppersmith 1994) استفاده شد. نتایج در جدول (۱۱) ارائه شده است. بر اساس جدول ۱، زمین لرزه قابل پیش‌بینی در این منطقه بزرگایی در حدود ۶/۸ خواهد داشت که تقریباً معادل زمین لرزه 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 گسل‌های منطقه بردسیر و دوره بازگشت طولانی زمین لرزه‌های ناحیه، در صورتی که انرژی ذخیره شده به تدریج رها نشود، احتمال وقوع زمین لرزه‌های شدید در پهنه گسلی لاله زار وجود خواهد داشت.

#### ۶- حریم گسلش

ساخت و ساز در مناطق حوزه نزدیک گسل، اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین باید نسبت به گسل لرزه‌زا برای آن حریم ایمن در نظر گرفت. منظور از حریم مهندسی گسلش، حریمی است که برای یک گسل لرزه‌زا در نظر گرفته می‌شود. در خارج از این حریم، سازه‌ها از اثرات حوزه نزدیک گسل مانند گسیختگی سطحی، جنبش شدید زمین، جابه‌جایی و زمین لغزش در مناطق با توپوگرافی و شیب زیاد، تاثیر کمی می‌پذیرند (مغرب و زارع ۱۳۸۸).

پهنای حریم گسلش برای گسل‌های راستالغز، باید بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر، برای گسل‌های کششی یا عادی ۵۰۰ متر و برای گسل‌های فشارشی یا معکوس (که ممکن است شکستگی‌های 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 گسل‌ها در منطقه می‌باشد. بر این اساس می‌توان مناطق را از نظر خطر گسلش طبقه‌بندی 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



تصویر ۸- نقشه طبقه بندی چگالی گسل، نقشه چگالی گسل با توجه به گسل های موجود در نقشه زمین شناسی و خطواره های استخراج شده از تصاویر ماهواره ای، تهیه و مناطق با چگالی متفاوت طبقه بندی شدند.

در این رابطه، خطای استاندارد برای ضریب  $a=0/42$  و برای ضریب  $b=0/20$  می باشد. ضرایب این رابطه بر اساس داده های جدول ۳ حاصل شده است، بنابراین با در نظر گرفتن طول حدود ۶۵ کیلومتری مربوط به قطعه های مختلف گسل لاله زار و احتمال گسیختگی ۵۰٪ و ۳۷٪ از طول گسل در یک زمین لرزه محتمل در آینده، پهنای گسیختگی های سطحی (حریم گسلش) محاسبه و در جدول ۴ آورده

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

$$W=10(a+b \log LR) + \sigma \quad (13)$$

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

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

شده است. کمترین حالت ۷/۶۳ کیلومتر محاسبه شده است. این محاسبات با موضوع رعایت حریم گسل های فشارشی (که پهنه ای بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر در امتداد درازای دو سوی گسل در نظر گرفته می شود) نیز مطابقت دارد (تصویر ۹).

### ۷- نتیجه گیری

با مقایسه گسل های استخراج شده از نقشه زمین شناسی با گسل های تعیین شده از تصاویر ماهواره ای، 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 پدیده هایی مانند آتشفشان های جوان، تراورتنزایی و قطع رسوبات کواترنری 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 زمین شناسی و خطواره های استخراجی در این پژوهش، ویژگی های جدیدی از گسل های کله

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.

$$Mw = a + b \ln(W) + \sigma \quad 14$$

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

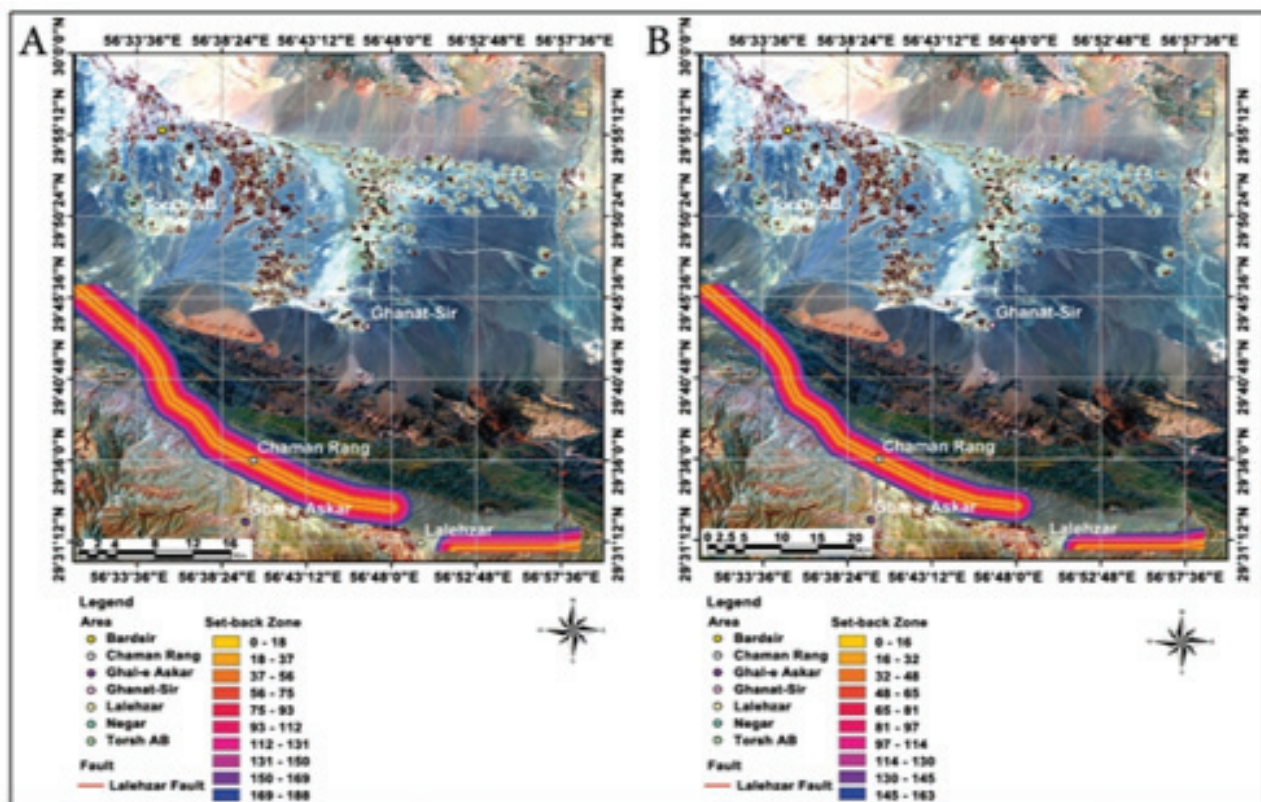
در نهایت، تاکید می شود که در هنگام استفاده از این رابطه برای محاسبه حریم گسلش گسل های کواترنری و بنیادی ایران، ابتدا باید مقدار LR با در نظر گرفتن ۳۷٪ کل قطعه گسلی (LF) موجود در منطقه مورد مطالعه (و یا در بعضی محاسبات محافظه کارانه ۵۰٪ کل طول قطعه گسلی) در نظر گرفته شود (زارع ۱۳۸۰).

با توجه به بزرگای به دست آمده، بیشترین حریم گسل ۷/۸۸ کیلومتر و

جدول ۴- محاسبه حریم گسلش پیرامون گسل لاله زار کرمان متناسب با میزان

#### گسیختگی

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



تصویر ۹- نقشه حریم گسلش پیرامون گسل لاله زار کرمان، بر روی تصویر ماهواره ای 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.



اطلاعات علمی (SID) سال چهارم، شماره ۱. مجل کفشدوز، م. امامی، ع. خدابنده، م. و سبزه‌ای، م. ۱۳۷۱. نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰: ۱. بردسیر. سازمان زمین‌شناسی 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.pci-geomatics.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>

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

**Tocher, D., 1958.** Earthquake energy and ground 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 deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophysical Journal International*

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

جابه‌جایی راستبر آبراهه‌ها در تصاویر ماهواره‌ای، راست بر بودن شکستگی‌های نوع R و P در منطقه، حرکت و جابه‌جایی راست بر اکثر گسل‌ها و رودخانه‌ها، تشکیل پشته‌های فشارشی و شکاف‌های 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 راست بر 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 زمین لرزه سال ۱۹۲۳ در ناحیه است.

حریم گسلش پیرامون گسل لاله زار در بیشترین حالت ۷/۸ و در کمترین حالت ۷/۶۳ کیلومتر تعیین شد که با حریم گسلش برای گسل‌های 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

تقابلی، م.، دولوئی، غ.، عسگری، ه.ا.، ۱۳۸۹. گزارش زمین لرزه ۱۳۸۹/۰۵/۰۹ جنوب بردسیر کرمان. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی 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 گسل‌های زمین لرزه‌های ایران. پژوهش نامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال چهارم، شماره دوم و سوم.

کمالی، ز.، سرکاری نژاد، خ.، رهنماری، ج.، ۱۳۹۲. بررسی ساختاری فروبوم دشت ارز با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و خش لغزهای گسلی. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۹، شماره ۱۴۸: ۲-۱۳۵.

معرب، م.، زارع، م.، ۱۳۸۸. تعیین حریم مهندسی گسل شمال تهران. پایگاه

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., Ghorraishi, 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.