



زمین ریخت شناسی و زمین ساخت جنبا وابسته به گسل های استان کرمان

مجید نعمتی (نویسنده مسئول)^{۱*} و احمد عباس نژاد^۱

۱- هیئت علمی بخش زمین شناسی دانشکده علوم و مرکز پژوهشی زلزله دانشگاه شهید باهنر کرمان- nematimajid_1974@uk.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷

چکیده

شمار زیادی گسل جنبا در استان کرمان جنبا وجود دارد که با توجه به نرخ بالای لرزه خیزی در خاور ایران و هم چنین در استان، بیش تر این گسل ها لرزه زان نیز هستند. از آن جایی که گسل ها می توانند یک لایه اطلاعاتی مهم در بررسی خطر زمین لرزه باشند، از اهمیت زیادی برخوردار هستند. گسل ها از مهم ترین عوامل ایجاد زمین ریخت ها هستند. در این پژوهش، از میان زمین ریخت ها تنها زمین ریخت های پیامد زمین ساخت جنبا بررسی می شوند. زمین ریخت های خاور ایران، به دلیل شرایط آب و هوایی گرم و خشک، به کمک جابه جایی آب راه های فصلی و بادزن های آب رفتی قابل بررسی هستند. در این پژوهش، این بررسی با کار صحرایی و کار روی شکل های ماهواره ای، انجام شده است. جابه جایی بزرگ انباشتی در راستای قائم با اندازه ای بیش از ۲۰۰۰ متر (گسل گلباف) و ۱۸۰۰ متر (گسل کوه بنان)، از ویژگی های بارز گسل های استان کرمان می باشد. بیشینه جابه جایی انباشتی افقی و قائم، به شماره، نزدیک به ۱۷۰۰ متر و ۱۵۰۰ متر روی گسل لکرکوه اندازه گیری شد. روی گسل های جیرفت و سیزه واران نیز به شماره، در دو نقطه که قابل بررسی بودند، جابه جایی انباشتی افقی ۱۱۰ و ۱۵۰ متر دیده شد. در نیم رخ ها در آب راه ها، جابه جایی معکوس، از چند سانتی متر (گسل جیرفت)، نزدیک به متر (گسل شهداد) و تا چند متر (گسل سروستان) نیز مشاهده شد. از میان گسل های معکوس استان کرمان، گسل های نای بند، سروستان، کوه بنان و شهداد، دست کم در بخش عمده ای از درازای خود، مرز بارزی میان کوه و دشت تشکیل داده اند. گسل های نای بند و لکرکوه در هردو پایانه خود خمش دارند. گسل لرزه زای زمین لرزه ۱۹۷۸ طبس در پایانه شمالی گسل نای بند و گسل لرزه زای گدار (زمین لرزه های ۲۰۱۷ هجری) در پایانه جنوبی گسل لکرکوه از پایانه های جنبا و مهم گسلی در خاور ایران و استان کرمان هستند. جابه جایی هم لرز زمین لرزه های گسل گلباف، به دلیل نرخ پایین فرسایش، پس از گذشت دست کم ۲۶ سال هنوز از بین نرفته و قابل اندازه گیری است.

واژگان کلیدی: استان کرمان، زمین لرزه، زمین ریخت شناسی و زمین ساخت جنبا

Geomorphology and active tectonic related to the faults in Kerman Province, SE Iran

Majid Nemati^{1*} and Ahmad Abbasnejad¹

- 1- Associate Professor of Department of Geology, Faculty of Science and Earthquake Research Center of Shahid Bahonar University of Kerman, nematimajid_1974@uk.ac.ir

Abstract

There are many active faults in Kerman province, majority of them, according to high rate of seismicity in eastern Iran and also the province is seismic. Regarding to that fault geomorphology could be an information layer in earthquake hazard assessment, is so important. In this research, only landforms of active tectonic within all geomorphs are investigated. These geomorphological features in east of Iran have been investigated using displacement of seasonal streams in field work and on satellite images. Greatest vertical cumulative movements, more than 2000 m (Golbaf fault) and 1800 m (Kuhbanan) are manifest specifications of the faults in Kerman province. Lakarkuh fault, also, has 1700 m and 1500 m maximum vertical and horizontal displacements, respectively. On the two investigable points on Jiroft and Sabzevaran faults, 110 m and 150 m horizontal displacements were seen, respectively. In sections of streams, from a few centimeters (Jiroft fault), near one meter (Shahdad fault) to few meters (Sarvestan fault) vertical displacements were seen. Among the reverse faults in Kerman province, Nayband, Sarvestan, Kuhbanan, Shahdad faults, at least in part of their lengths, created an obvious boundary between mountain and plain. Lakarkuh and Nayband faults have bending on their one or two terminations. The 1978 Tabas earthquake on north termination and Godar earthquake fault (the 2017 Hojedk earthquakes) on south termination of the Lakarkuh fault, are from these active and important fault terminations in eastern Iran and Kerman province. Following field work, one of the eastern Iran specifications was confirmed: coseismic displacements of earthquakes of the Golbaf fault are measurable after at least 26 years.

Key words: Kerman Province, Earthquake, Geomorphology, Displacements, Active tectonic

مقدمه

گستره‌های خشک، در خاور ایران توسط گسل‌های جنب، به‌ترین راه برای بررسی جنب بودن گسل‌ها در گستره‌های کم‌آب می‌باشد. از دیگر راه‌های بررسی جنب بودن گسل‌ها در گستره‌های خشک، جابه‌جایی مسیر کاریزها و بادزن‌های آب‌رفتی^۳ توسط گسل‌های جنب می‌باشد. جابه‌جایی کاریزها، که، به‌یقین، خاست‌گاه آن‌ها ایران می‌باشد (English, 1968)، توسط گسل‌های جنب در منابع زمین‌شناسی بسیار آورده شده‌اند (Walker and Jackson, 2004). دیدن آینه‌گسلی و یا هم‌بری دو سازند جوان یا دولایه‌بندی گوناگون با شیب‌های نایکسان در کنار یک‌دیگر نیز می‌تواند از وجود گسل و جنب‌بودن آن حکایت کند. گواهی‌های زمین‌پویایی^۴ که نشان‌دهنده فراخاست در یک گستره هستند، می‌توانند دلیلی بر جنبایی زمین‌ساختی آن گستره باشند، اگرچه همیشه این‌گونه نیست و ممکن است فراخاست برای گستره بزرگی در حال رخ دادن باشد (England and Molnar, 1990).

از شکل‌های ماهواره‌ای و مشاهدات صحرائی برای بررسی گسل‌های جنب در پیرامون بیرجند در خاور ایران استفاده شده است (Walker and Khatib, 2006). مشاهدات زمین‌ریخت‌شناسی بر یک کمر بند گسلی و چین‌خورده مورب در استان کرمان دلالت دارند (Walker, 2006). برخلاف خاور استان که از لرزه‌خیزترین گستره‌های ایران است، باختر استان از دیدگاه لرزه‌ای ساکت بوده و هیچ زمین‌لرزه ویران‌گر ثبت‌شده‌ای در آن گستره رخ نداده است (به‌جز زمین‌لرزه پیش‌دستگاهی لاله‌زار، ۱۳۰۲). بررسی‌های GPS نشان می‌دهند که اندازه دگرشکلی‌های کنونی پایین است. به‌گمان، سامانه‌های گسلی در جنوب استان کرمان در پایان کوتاه‌تر جنب‌بوده و

زمین‌ریخت‌شناسی از شواهد بررسی جنب بودن گسل‌ها در یک گستره به‌شمار می‌رود. رخ‌داد یک زمین‌لرزه بزرگ روی یک گسل یا وابسته بودن شمار زیادی خردلرزه به آن گسل، از گواهی‌های مهم دیگر، در بررسی جنب بودن یک گسل هستند (نعمتی، ۱۳۹۷). از زمین‌ریخت‌شناسی برای کشف گسل‌های پنهان نیز استفاده می‌شود (صفاری و همکاران، ۱۳۹۸). استان کرمان یک پیوست‌گاه مهم چندگانه‌ای از گسل‌های جنب (گسل‌های کوه‌بنان، لکرکوه، گلباف و شهداد) در خاور ایران می‌باشد (شکل ۱آ). این‌گونه پیوست‌گاه‌های گسلی، از دیدگاه لرزه‌ای بسیار اهمیت دارند. گسل گلباف از جنب‌اترین گسل‌های ایران است که میزبان زمین‌لرزه‌های پی‌درپی بوده است. گسل لکرکوه که در سال ۱۳۹۷ سه زمین‌لرزه پی‌پای ($6/1M_w - 5/9$) روی پایانه جنوبی آن روی داده است (Savidge et al., 2019; Nemati et al., 2020). گسل کوه‌بنان نیز که باعث رخ‌داد زمین‌لرزه‌های بزرگی روی شاخه‌های منشعب شده است (زمین‌لرزه‌های ۱۳۶۴ هوری‌جان و 1384 داهوئیه زرنند با بزرگای $6/4$ ؛ Talebian et al., 2006; Nemati and Gheitanchi, 2011)، روی خود گسل نیز، زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای میانه ($6/0 - 5/0$) روی داده است. در خاور ایران، دگرشکلی‌های پی‌آمد هم‌گرایی پهنه‌های عربی و توران در اوراسیا، در گسل‌های پیرامون بلوک‌های بی‌لرزه مانند لوت، طبس و جازموریان روی می‌دهند. در این پژوهش، بخش زمین‌ریخت‌شناسی این دگرشکلی‌ها که مقدم بر دگرشکلی‌های لرزه‌ای است، بررسی می‌شوند. زمین‌ریخت‌شناسی تنها می‌تواند بر جنب بودن گسل‌ها و نه الزاماً جنبش لرزه‌زای آن‌ها دلالت نماید. جابه‌جایی آب‌راه‌های دائمی، و به‌ویژه فصلی در

^۲ مخروط‌افکنه

^۴ Geodynamic

^۱ Splay

^۳ قنات



راست گرد در دو سوی دشت لوت و کویر مرکزی ایران دیده می‌شود (Walker et al., 2004)

گسل‌های اصلی خاور ایران شامل گسل درونه، نایبند، کوهبنان، دشت بیاض، گلباف، آبیز، جیرفت - سبزه‌واران، رفسنجان، زاهدان، سروستان، شهداد و سامانه گسلی نهبندان است. همگی این گسل‌های اصلی و مهم (به جز درونه و دشت بیاض) دارای سازوکار غالب راستالغز راست گرد هستند. گستره‌های گسلی کوهبنان، لکرکوه، شهداد، گلباف، سروستان، و جیرفت یک به‌خشدگی و راستای گسلی مهم و جنبه در استان کرمان است. گستره گسلی گلباف - شهداد و هم‌چنین دیگر گسل‌های نامبرده، در یک رژیم هم‌گرایی ترفاشاری مایل قرار دارند (Walker, 2006). به دلیل مایل بودن، این هم‌گرایی در گستره، به دو بخش راستالغز و معکوس تقسیم می‌شود. بخش راستالغز این هم‌گرایی را گسل گلباف و بخش معکوس آن را گسل شهداد برعهده دارد. دیگر گسل‌ها نیز هر دو این جابه‌جایی‌ها را نشان می‌دهند. به دلیل جنبه بودن این گستره از دیدگاه زمین‌ساختی، دگرشکلی‌های زمین‌ریخت‌شناسی زیادی در سرتاسر گسل‌های این گستره به وجود آمده، که در پی جابه‌جایی و جنبش (لرزه‌زا و بی‌لرزه) گسل‌ها ایجاد شده است. در این نوشتار، کوشش شده است تا بخشی از این دگرشکلی‌ها در شکل‌های ماهواره‌ای و شکل‌های میدانی نمایش داده شوند.

در ۵۰ کیلومتری شمال خاوری شهر کرمان یک پیوست‌گاه مهم چندگانه‌ای از گسل‌های جنبه (گسل‌های کوهبنان، لکرکوه، گلباف و شهداد) وجود دارد (شکل ۱آ). این گونه پیوست‌گاه‌های گسلی، از دیدگاه لرزه‌ای بسیار اهمیت دارند. گسل گلباف از جنبه‌ترین گسل‌های ایران است که میزبان زمین‌لرزه‌های پی‌درپی بوده است. سه زمین‌لرزه پیاپی ($6/1 M_w - 5/9$) نیز گسل لکرکوه در سال ۱۳۹۷ روی پایانه جنوبی آن روی داده است

شاید در آینده بتوانند زمین‌لرزه‌های ویران‌گری تولید کنند (Walker, 2006).

دگرشکلی لرزه‌زا و بی‌لرزه در خاور ایران در پیرامون بلوک‌های بی‌لرزه روی گسل‌های راستالغز روی می‌دهند. این گسل‌ها و گسل‌های پیرامون آن‌ها میزبان زمین‌لرزه‌های بزرگ و ویران‌گری بوده‌اند: زمین‌لرزه ۱۳۴۷ دشت بیاض ($M_w 7.1$) روی گسل دشت بیاض (Walker et al., 2004)، زمین‌لرزه ۱۳۵۷ طبس گلشن ($M_w 7.4$) (Berberian, 1979)، زمین‌لرزه ۱۳۷۶ زیرکوه قائنات ($M_w 7.1$) روی گسل آبیز (Berberian et al., 1999)، زمین‌لرزه ۱۳۶۰ سیرچ ($M_w 7.1$) روی گسل گلباف (Berberian et al., 2001)، زمین‌لرزه‌های ۱۳۷۳ سفیدآبه ($M_w 5.0-5.9$) روی پایانه گسل زاهدان (Berberian et al., 2000)، زمین‌لرزه‌های ۱۳۹۷ هجدک کرمان ($6.2-6.0 M_w$) روی پایانه گسل لکرکوه (Savidge et al., 2019).

در خاور ایران و همچنین در استان کرمان مقالاتی درباره زمین‌ریخت‌شناسی، زمین‌ساخت جنبه و همچنین لرزه‌شناسی نگاشته شده است (Walker, 2003; Walker and Khatib, 2006; Nemati, et al., 2020). در این نوشتار کوشش بر این بوده است که دگرریختی‌های ایجاد شده توسط زمین‌ساخت جنبه که از نگاه دیگران دور مانده است، مستند شود.

زمین‌ساخت خاور ایران

هم‌گرایی پهنه‌های عربستان و اوراسیا در کوه‌های زاگرس و در کمربندهای لرزه‌ای البرز و کپه‌داغ در شمال ایران به صورت کوتاه‌شدگی ظاهر می‌شود (Wernant et al., 2004) هر آن‌چه از پوسته زمین که در گستره‌های نام‌برده کوتاه نمی‌شود باید به گونه برش راست گرد شمالی - جنوبی میان ایران مرکزی و افغانستان ظاهر شود. این برش در چندین سامانه اصلی گسلی



معکوس گسل ها از برش های طبیعی ایجاد شده توسط آبراهه ها روی این گسل ها استفاده شده است. برای اندازه گیری جابه جایی انباشتی قائم گسل ها نیز شکل های رقومی ارتفاعی SRTM به کار برده شده است. دانلود این پیکره ها به کمک نرم افزار Global Map Downloader انجام شده است. پیکره های میدانی در نقاطی که کار صحرائی در آن ها میسر بود برداشت شده اند. به عنوان مثال، اگرچه، کار در گستره گسلی لکرکوه بسیار دشوار است، گستره های جنوبی استان برای کار صحرائی مناسب تر است.

گسل شهداد

گسل شهداد در ۵۰ کیلومتری جنوب خاوری شهر کرمان و در نزدیکی خاور گسل گلباف جای دارد. این گسل یک گسل معکوس است که یک خم فشاری را شکل داده است. این گسل، به دلیل هم بستگی زمین ساختی که با گسل گلباف دارد، در این بخش بررسی شده است. این گسل تا پیش از رویداد زمین لرزه ۱۳۸۳/۰۲/۱۶ (Feilding 2019) گمان می رفت که بی لرزه باشد (Walker and et al., 2004). رویداد این زمین لرزه با بزرگای $M_L 4/0$ باعث شد تا به این گسل نیز به گونه جدی در برآورد خطر زمین لرزه توجه شود. این گسل، مانند بسیاری دیگر از گسل های معکوس، به گونه ای بسیار بارز، مرز میان تپه های آبرفتی و دشت لوت را تشکیل داده است. شکل ۱ ب جابه جایی معکوس گسل شهداد را در یک آبراهه با دید روبه شمال در مرز میان کوه و دشت لوت نمایش می دهد. در این شکل، خط چین، شاخه های گسل و خط پر نازک، یک لایه جابه جاشده را توسط گسل نمایش می دهند.

(Savidge et al., 2019; Nemati et al., 2020). گسل کوه بنان نیز که باعث رخ داد زمین لرزه های بزرگی روی شاخه های منشعب شده از خود شده است (زمین لرزه های ۱۳۶۴ هجری جان و 1384 داهوئی زرنند با بزرگای $6/4$; Talebian et al., 2006; Nemati and Gheitanchi, 2011)، روی خود گسل نیز، زمین لرزه هایی با بزرگای میانه (۵/۰-۶/۰) روی داده است.

تخمین زده می شود که سامانه گسلی جیرفت - سبزهواران جذب نزدیک به ۶ میلی متر در سال از لغزش راست گرد در سراسر کناره جنوب باختری دشت لوت را برعهده دارد (Regare et al., 2005). از سوی دیگر بازالت هایی که توسط گسل نایبند جابه جا شده اند، (۲ میلیون سال پیش) حاکی از آن است که نرخ لغزش راست گرد در کناره باختری شمال دشت لوت به ۱,۵ میلی متر در سال کاهش یافته است (Walker and Lackson, 2002). از شمال تا جنوب استان کرمان $4/5$ میلی متر بر سال باقی مانده این لغزش نیز از طریق گسل های جنوبی در استان کرمان جذب می شود (Walker and Lackson, 2002; Wernant et al., 2004).

این جا، برای بررسی جابه جایی ها، تصاویر ماهواره ای Google Earth، MrSid^۱ و نوع DEM^۲ شکل های میدانی به کار گرفته شده اند. اگرچه، اندکی از خمش های آبراهه ها که در نگاره ها نشان داده شده اند، وابسته به خود رودخانه و آبراهه ها می باشد و نه گسل ها، در کل، جابه جایی راست بر این آبراهه ها در پی حرکت گسل ها، به روشنی، دیده می شود. برای دیدن جابه جایی

^۲ Digital Elevation Model, <http://www.geo-airbusds.com/worlddem/>

^۱International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

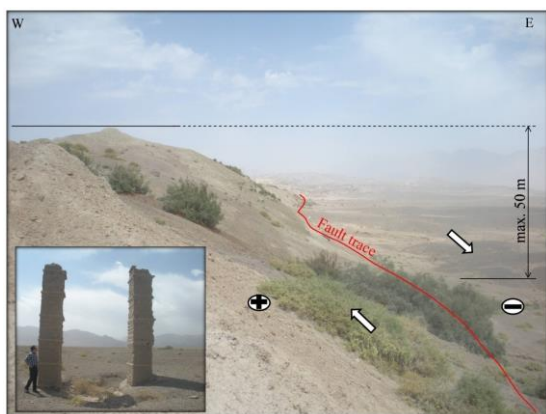
^۱ Splay

^۲ Multiresolution Seamless Image Database (www.usna.edu/Users/oceano/pguth/md_help/html/mr_sid.html)



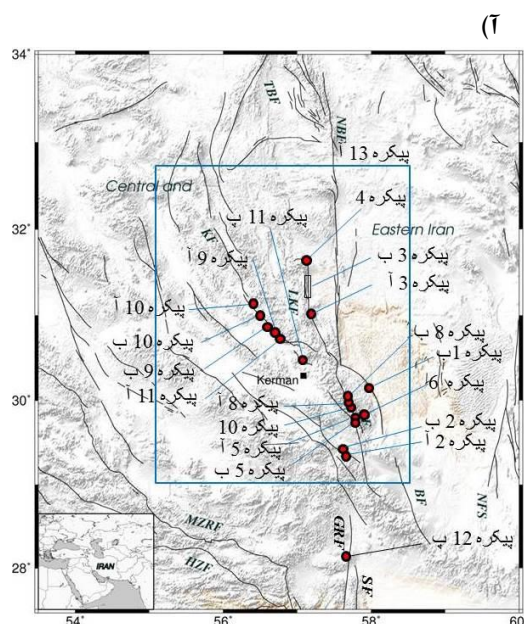
سبزه‌واران، بیم، نه‌بندان، گسل بزرگ راندگی زاگرس و گسل مرتفع زاگرس اشاره دارند. در سرتاسر مقاله، در بیش‌تر شکل‌ها، بردارهای ستبر سفید، جابه‌جایی راستالغز راست‌بر را روی گسل‌ها نمایش می‌دهند. نشان‌گرهای بعلاوه و منها نیز، به‌شماره، برخاستگی و فروافتاده‌گی زمین را در پی جابه‌جایی شیب‌لغز گسل‌ها نشان می‌دهند.

شکل کوچک، به‌گمان‌نمایی از سردر نیمه‌ویران یک بنای قدیمی را در نزدیکی این گسل نشان می‌دهد. با توجه به سن دست‌کم یک‌صد ساله این بنا به شکل کنونی آن، شاید بتوان گفت که در چند سده گذشته در این گستره زمین‌لرزه بزرگی روی این گسل روی نداده است. شکل ۲ ب شاخه‌های گسل سروستان و جابه‌جایی قائم و تراز گسل را با دید روبه‌شمال در یکی از آب‌راه‌های قطع‌کننده این گسل نمایش می‌دهد. شکل کوچک نیز راستای گسل را در بخش شمالی شکل بزرگ نمایش می‌دهد.



(آ)

گسل سروستان
گسل سروستان در پایانه جنوبی گسل گلباف جای دارد. به‌گمان، این گسل جنب‌است ولی جنبایی آن لرزه‌زا نیست. این گسل، لرزه‌خیزی چندانی ندارد و سازوکار چیره آن راستالغز راست‌بر می‌باشد. شکل ۲ آ نمایی از نزدیک را از ۵۰ متر بیشینه جابه‌جایی انباشتی قائم گسل سروستان، با دید روبه‌شمال، نمایش می‌دهد.

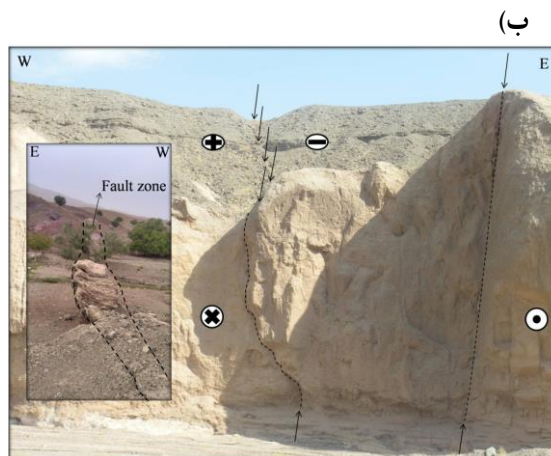


(ب)

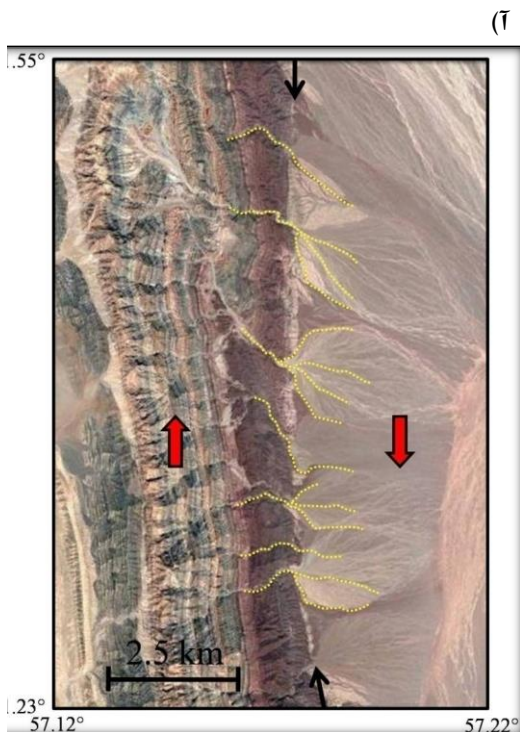


شکل ۱. آ) نقشه کلی گسل‌های استان کرمان و پیرامون و محل شکل‌های دیگر روی این نگاره و ب) جابه‌جایی معکوس گسل شهاد (دید روبه‌شمال) در مختصات $30^{\circ}20' N$ و $57^{\circ}55' E$ در شکل آ، KF, LKF, NBF, به‌شماره HZF و GF, GRF, SF, BF, NFS, MZTF به‌گسل‌های کوه‌بنان، لکرکوه، نای‌بند، گلباف، جیرفت،

گستره، بسیار کم می‌باشند. به همین دلیل، موفق به ارائه شکل‌های زیادی با دید مستقیم از این گسل نشدیم. خاور ایران به دلیل شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک و ویژه خود، محل آبراهه‌های فصلی بسیار زیادی می‌باشد. برخی از این آبراهه‌ها تشکیل‌بازن‌های آبرفتی (مخروط‌افکنه) نیز داده‌اند. در شکل ۳ جابه‌جایی این آبراهه‌های فصلی را در پی حرکت راست‌بر گسل لکرکوه روی شکل ماهواره‌ای MrSid می‌بینیم. اگرچه، برخی از خمش‌های آبراهه‌ها وابسته به خود رودخانه و آبراهه می‌باشند، در کل، جابه‌جایی راست‌بر این آبراهه‌ها در پی حرکت راست‌بر گسل لکرکوه (پیکان‌های ستبر قرمز) مشاهده می‌شود. راستای شمالی - جنوبی گسل لکرکوه در نگاره، که با پیکان‌های سیاه نمایش داده شده است، به‌روشنی نمایان است.



شکل ۲. آ. جابه‌جایی انباشتی قائم گسل سروستان (دید روبه شمال). شکل کوچک نمایی از سردر نیمه ویران یک بنای قدیمی را نشان می‌دهد (۵۷ درجه و ۳۹ دقیقه طول خاوری و ۲۹ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی) و ب. جابه‌جایی قائم و تراز گسل سروستان (دید روبه شمال). شکل کوچک راستای گسل را در شمال شکل بزرگ نمایش می‌دهد (۵۷ درجه و ۳۸ دقیقه طول خاوری و ۲۹ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی).



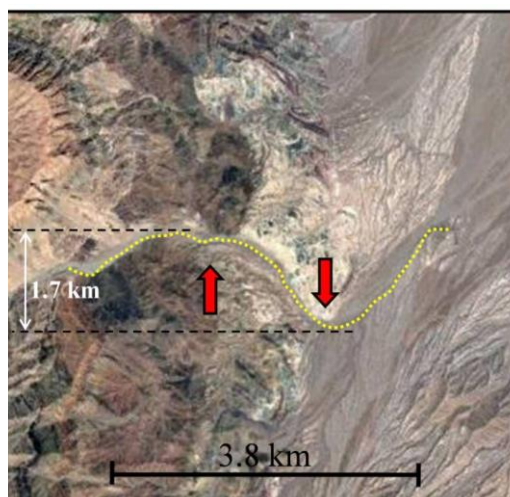
ب

گسل لکرکوه

گسل لکرکوه با درازایی نزدیک به ۱۵۰ کیلومتر دارای راستایی شمالی - جنوبی است و در دوسر خود، شاخه‌هایی با ساختار دم اسبی دارد. شمال گسل به‌سوی باختر و جنوب آن در چند بخش به‌سوی خاور خمش دارد. پایانه جنوبی این گسل (گسل گذار) به‌عنوان گسل میزبان سه زمین‌لرزه با بزرگای میانه (۶/۱-۶/۰ MN) در سال ۱۳۹۷ شناخته شده است (Savidge et al., 2019; Nemati et al., 2020). میزبانی این سه زمین‌لرزه که نزدیک به سه سال از رویداد آن‌ها می‌گذرد، هیچ تردیدی در جنب بودن این گسل بر جای نمی‌گذارد. این زمین‌لرزه‌ها که در بخش بعدی به آن‌ها خواهیم پرداخت، روی شاخه جنوبی رشد کرده از این گسل روی داده‌اند. شکل ۳-۴ نمای کلی گسل لکرکوه و موقعیت شکل‌های این گسل را روی Google Earth به نمایش گذارده است. لازم به بیان است که گستره گسل لکرکوه به‌سختی قابل دسترسی است. جاده‌های دسترسی اتومبیل‌رو و حتی خاکی در این

یک پیچ‌وخم^۱ رودخانه‌ای در نزدیکی گسل گلباف و زمین‌ریخت‌شناسی هزاردره (بیضی درون شکل) در جنوب باختری گسل گلباف را نمایش می‌دهند.

این گونه زمین‌ریخت‌شناسی، به دلیل زمین‌ساخت جنبه، در پی بارندگی، فرسایش زیاد و جنس نهشته‌ها روی می‌دهد. از این دست پیچ‌وخم‌های ژرف در جنوب گسل گلباف بسیار دیده می‌شود. وجود این پیچ‌وخم‌های ژرف رودخانه‌ای با خمیدگی‌ها و ژرفای زیاد نشان از بالاآمدگی سریع و جنبه بودن زمین‌ساخت گستره گسل گلباف دارد. میانگین ژرفای این پیچ‌وخم در این گستره نزدیک به ۴ متر است. این شکل که در آن کف آب‌راه به آسانی دیده نمی‌شود، این گفته را تایید می‌نماید.



شکل ۳. آ ۱/۲ کیلومتر جابه‌جایی یک آب‌راه فصلی در پی حرکت راست بر گسل لکرکوه و ب) جابه‌جایی آب‌راه‌های فصلی در پی حرکت راست بر گسل لکرکوه روی شکل MrSid.

شیب گسل لکرکوه، که یک گسل راستالغز راست‌بر با راستای شمالی-جنوبی است، تند می‌باشد. راستا و رخمون تقریباً راست گسل (مانند گسل نای‌بند) روی سطح زمین، این گفته را تایید می‌نماید. هر دو پایانه این گسل سازوکار معکوس دارند. شکل ۴ آ راستای بسیار صاف گسل نای‌بند (پیکان‌های قرمز)، راستای صاف بخش میانی گسل لکرکوه (پیکان‌های سیاه) و راستای گسل زمین‌لرزه‌ای طیس را نمایش می‌دهد. شکل ۴ ب نیز جابه‌جایی معکوس گسل لکرکوه را در پایانه شمالی آن با دید روبه جنوب نشان می‌دهد.

گسل گلباف

گسل گلباف که تقریباً جزء جنباترین گسل‌های ایران است، بیش‌تر با جابه‌جایی راستالغز راست‌بر شناخته می‌شود تا با جابه‌جایی معکوس. این گسل میزبان زمین‌لرزه ۱۳۶۰ سیرچ (Mw ۷/۱) و زمین‌لرزه ۱۳۷۳ (Mw ۶/۴) فندوقا نیز بوده است. شکل ۵ آ و ب، به شماره



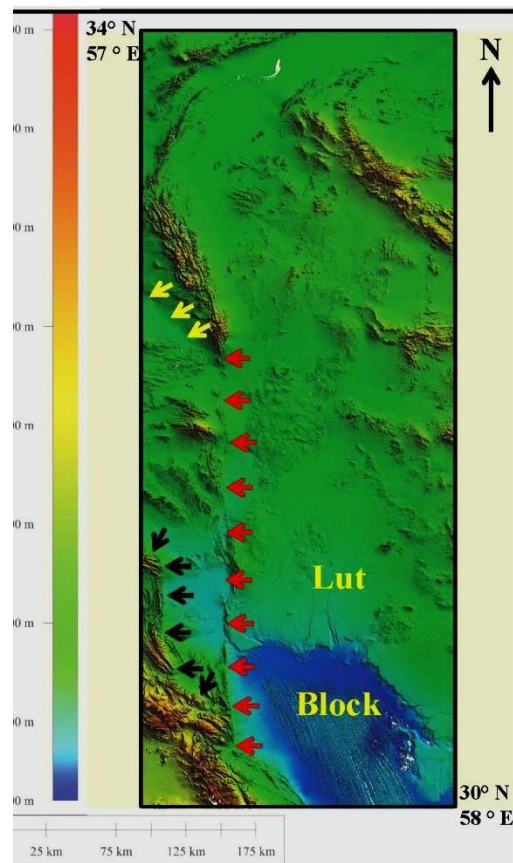
ب)

^۱Meandering



شکل ۵. (آ) یک پیچ و خم (خم سیاه) رودخانه‌ای در نزدیکی یکی از شاخه‌های گسل گلباف (پیکان‌های سیاه) در مختصات ۵۷ درجه و ۳۷ دقیقه طول خاوری و ۲۹ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی (دید روبه شمال خاوری) و (ب) شکلی نمایان‌گر زمین‌ریخت‌شناسی هزاردره (بیضی) در جنوب باختری گسل گلباف (دید روبه شمال) در مختصات ۵۷ درجه و ۴۴ دقیقه طول خاوری و ۲۹ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی.

دید این شکل روبه خاور است. شکل ۶ ب بخش شمالی شکل (آ) را از نمایی نزدیک‌تر نمایش می‌دهد. چهار گوش نشان داده شده در این شکل، محل شکل ۷ می‌باشد. سرانجام، شکل (پ) بخش جنوبی شکل (آ) را از نمایی نزدیک‌تر نشان می‌دهد. بخش کوهستانی یا بخش فرازیافته خاوری پیرامون گسل گلباف در پی جابه‌جایی قائم گسل شهادت که در خاور گسل گلباف جای دارد، و هم‌چنین گسل گلباف شکل گرفته است.



شکل ۴. (آ) راستای بسیار صاف گسل‌های نای‌بند (پیکان‌های قرمز) و لکرکوه (دست‌کم در بخش میانی، پیکان‌های سیاه) و راستای گسل زمین‌لرزه‌ای طبس، و (ب) جابه‌جایی معکوس گسل لکرکوه در پایانه شمالی آن (دید روبه جنوب).

یکی از جوان‌ترین جابه‌جایی‌های گسل گلباف، روی شاخه خاوری آن، حتی از نمایی دور نیز دیده می‌شود. شکل‌های ۶ آ نمایی از یکی از شاخه‌های گسل گلباف (شاخه خاوری) را که نمایان‌گر جوان‌ترین جابه‌جایی گسل است، نشان می‌دهد. پیکان‌های عمودی سیاه روند گسل را نشان می‌دهند.



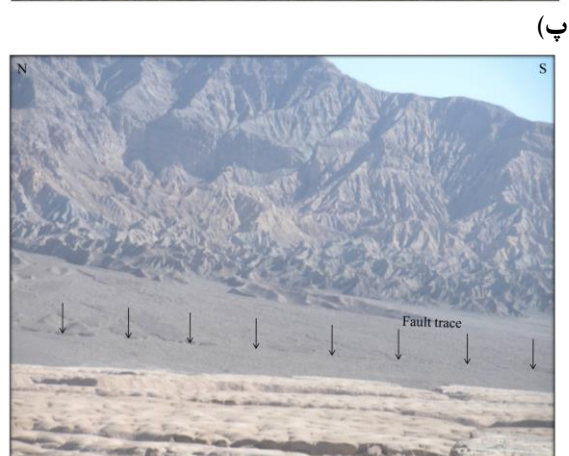
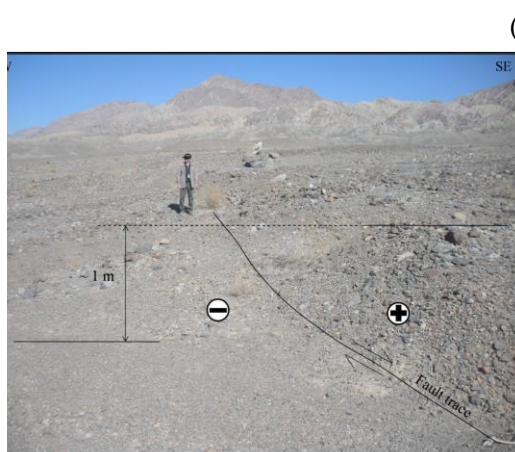
نزدیک‌تر (چهارگوش محل شکل ۷ ب را نمایش می‌دهد). (پ) بخش جنوبی شکل (آ) از نمایی نزدیک‌تر (۵۷ درجه و ۵۹ دقیقه طول خاوری و ۲۹ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی).

پهنه‌های بریده (Clip) توسط گسل بریده شده و پهنه‌های باز (Window) توسط آب‌راه‌ها به وجود آمده‌اند. این پدیده زمین‌ساختی که به سطوح مثلثی نیز معروف هستند، یکی از نشانه‌های جنبایی گسل‌های جوان می‌باشد. در این نگاره، پیکان‌های قرمز روند گسل را در پشت جاده گلباف نشان می‌دهند.

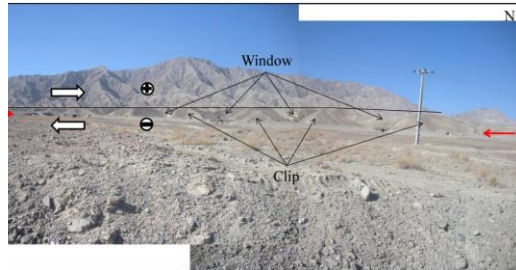
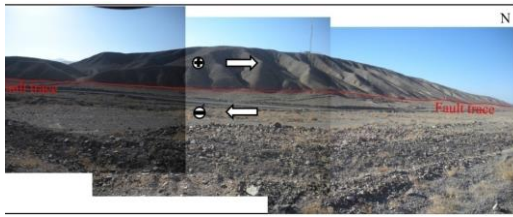
شکل ۷ ب نمایی از جابه‌جایی قائم و جوان از شاخه خاوری گسل گلباف است (دید روبه شمال خاور) است. نزدیک به یک متر جابه‌جایی قائم در کار میدانی اندازه‌گیری شده، که در شکل آورده شده است. محل این شکل، با یک چهارگوش سیاه در شکل ۶ ب نشان داده شده است.



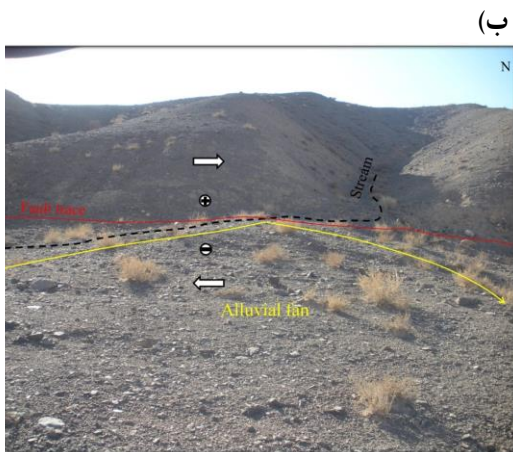
شکل برهم‌نهاد ۷ آ نمایی از یکی از شاخه‌های گسل گلباف را با دید روبه باختر نمایش می‌دهد. خط‌های تراز سیاه نمایان‌گر سطوح فرسایشی بوده و پیکان‌های سیاه پدیده سطوح بریده شده مثلثی و باز را نشان می‌دهند.



شکل ۶. آ) شکل‌هایی از یکی از شاخه‌های گسل گلباف (شاخه خاوری) نمایان‌گر جوان‌ترین جابه‌جایی گسل. پیکان‌های سیاه روند گسل را نشان می‌دهند (دید شکل روبه خاور). ب). بخش شمالی شکل (آ) از نمایی



شکل ۷. آ) یکی از شاخه‌های گسل گلباف (شاخه باختری) نمایان‌گر سطوح فرسایشی و پدیده Window and Clip (دید روبه باختر). پیکان‌های قرمز روند گسل را در پشت جاده نشان می‌دهند (۵۷ درجه و ۴۴ دقیقه طول خاوری و ۲۹ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی) و (ب) جابه‌جایی قائم‌جوان از شاخه خاوری گسل گلباف (دید روبه شمال خاور).



شکل ۸. آ) رخ‌نمون گسل گلباف و جابه‌جایی قائم‌جوان آن در شاخه باختری (دید روبه باختر) و (ب) جابه‌جایی راست‌الغز راست‌بر جوان گسل گلباف در بخش شمالی آن در شمال روستای فندوقا (دید روبه باختر).

گسل کوهبنان

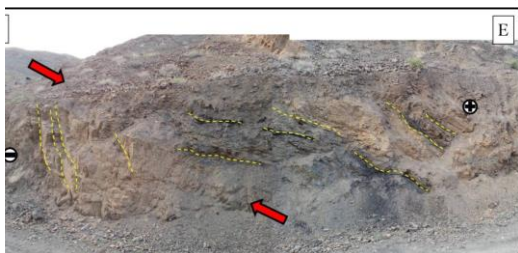
گسل کوهبنان گسل جنبایی است که دست‌کم از دیدگاه زمین‌ریخت‌شناسی از تکه‌های زیادی درست شده است (شبان و هم‌کاران، ۱۳۹۱). این گسل، هم‌خود مسبب زمین‌لرزه‌هایی با بزرگایی نزدیک به ۵/۰ است و هم گسل مادر زمین‌لرزه‌هایی بزرگ‌تر مانند زمین‌لرزه ۱۳۵۶ گیسک ($M_w 5/8$)، زمین‌لرزه ۱۳۶۳ هوری‌جان ($M_w 5/3$) و زمین‌لرزه سال ۱۳۸۴ زرنند (Talebian et al., 2006; Nemati and Gheitanchi, 2011) در جنوب گسل می‌باشد. در این‌جا، منظور از گسل مادر، گسل مسبب نیست، بلکه گسلی است که جابه‌جایی

شکل برهم‌نهاد ۸ آ، نمایی از رخ‌نمون گسل گلباف و جابه‌جایی قائم‌جوان آن را در شاخه باختری با دید روبه باختر نشان می‌دهد. این جابه‌جایی که اندازه آن به بیش از ۵۰ متر می‌رسد، جابه‌جایی انباشتی گسل در آن نقطه می‌باشد. رخ‌نمون شاخه باختری گسل گلباف با خم قرمز نشان داده شده است. شکل ۸ ب جابه‌جایی راست‌الغز راست‌بر جوان گسل گلباف در بخش شمالی آن را با دید روبه باختر نمایش می‌دهد. این عکس از گسل در ۵۰۰ متری شمال روستای فندوقا (کنار جاده آسفالت) گرفته شده است. مسیر کنونی آب‌راه در این شکل، با خم بریده سیاه نمایش داده شده است. در این بخش، دره گسل به پایان رسیده و مسیر گسل به سوی شمال، به درون کوه‌ها می‌رود. از این به بعد گسل نامنظم پیش‌رفته و تکه‌تکه شده تا به آب‌گرم روستای سیرچ برسد. خم‌های زردرنگ در این شکل، مرزهای یک‌بادزن آب‌رفتی کوچک را که توسط این آب‌راه به وجود آمده است، نشان می‌دهد.

(آ)



دم‌اسبی جداشده از گسل اصلی می‌باشد. سازوکار چیره این تکه، به دلیل هندسه قرارگیری نسبت به گسل (شمال‌باختری - جنوب‌خاوری)، معکوس می‌باشد. در شکل ۱۱ پ، جابه‌جایی معکوس پی‌سنگ روی نهشته‌های کواترنری توسط گسل کوه‌بنان در مختصات $30^{\circ}, 41', 01.2''$ E $05.2''$ N, $56^{\circ}, 49', 01.2''$ E با دید روبه شمال، نشان داده شده است. تفاوت رنگ آبرفت‌ها و نهشته‌های دوران چهارم با بخش سنگی (سنگ‌آهک، شیل و ماسه‌سنگ)، در دوسوی گسل به تشخیص آن کمک می‌کند.



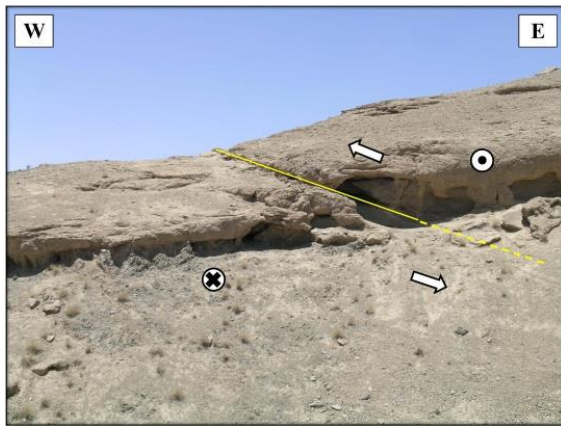
شکل ۹. آ کنار یک دیگر قرار گرفتن دو دسته تشکیلات با لایه‌بندی متفاوت توسط یکی از شاخه‌های گسل کوه‌بنان در آب‌راهه روستای تیکدر (دید روبه شمال) ($30^{\circ}, 38' N, 56^{\circ}, 52' E$)، پیکان‌های قرمز راستای گسل را نمایش می‌دهند. و ب) جابه‌جایی راستالغز راست‌بر جوان روی گسل کوه‌بنان در بخش جنوبی آن در مختصات $30^{\circ}, 41', 01.2''$ E $05.2''$ N, $56^{\circ}, 49', 01.2''$ E

آن باعث رخداد یک زمین‌لرزه روی یک گسل دیگر موجود درهم‌سایگی آن گسل شده یا یک گسل تازه در نزدیکی خود پدید آورده است. این زمین‌لرزه‌ها در پی جابه‌جایی راست‌بر گسل، به‌شماره، در بخش خاوری و باختری در کوهستان و دشت، باعث راندگی بخش شمالی روی بلوک جنوبی و بخش جنوبی روی بلوک شمالی شده است (Talebian et al., 2006; Nemati and Gheitanchi, 2011).

شکل‌های ۹ تا ۱۱ جابه‌جایی راستالغز راست‌بر جوان را روی گسل کوه‌بنان در بخش جنوبی و میانی آن نمایش می‌دهند. در این شکل‌ها (به‌جز شکل ۹ آ و ۱۱ ب)، رخ‌نمون گسل با رنگ قرمز و آب‌راهه‌ها با خم زرد بریده نمایش داده شده است. جابه‌جایی قائم این گسل در کواترنری و پیش از آن، باعث شده است که به‌تدریج، بخش شمال‌خاوری روی بلوک جنوب باختری رانده شود و یک کوهستان بزرگ شکل گیرد. خم بریده قرمز مسیر احتمالی بخش‌هایی از گسل می‌باشد. نیاز به یادآوری است که شیب عمومی این گسل روبه شمال خاوری می‌باشد. نشان‌گرهای بعلاوه و منهایی که درون بیضی (شکل ۹ آ) و دایره (دیگر نگاره‌ها) جای دارند، به‌شماره، نشان دهنده مایل بودن و عمودی بودن دید شکل می‌باشند. شکل‌های ۱۰ آ و ب روی عکس‌های MrSid رسم شده‌اند.

شکل ۹ آ نیز جابه‌جایی معکوس یکی از شاخه‌های فرعی گسل کوه‌بنان را در آب‌راهه خاوری - باختری روستای تیکدر با دید روبه شمال نشان می‌دهد. خم‌های بریده زردرنگ در این نگاره، لایه‌بندی تشکیلات را در دوسوی گسل نشان می‌دهد. بردارهای قرمز نیز راستا و شیب عمومی این گسل را نمایش می‌دهد. اختلاف لایه‌بندی گفته‌شده در دوبخش، به‌گمان نشان از عمل کرد شاخه فرعی گسل دارد. شکل ۱۱ ب راستای گسل کوه‌بنان را در جنوبی‌ترین پایانه آن با دید روبه شمال خاور نمایش می‌دهد. این تکه از گسل، درواقع یک شاخه

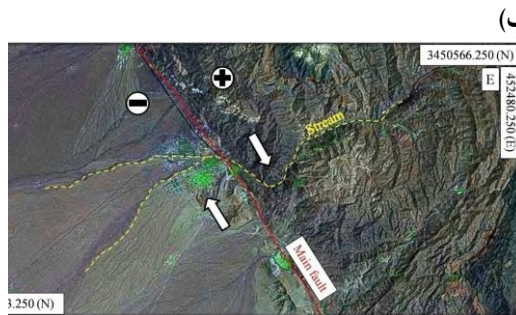
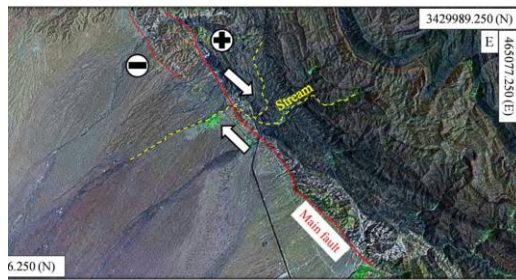
(آ)



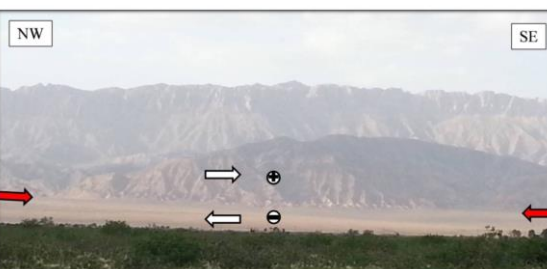
شکل ۱۱. آ) جابه‌جایی معکوس گسل کوه‌بنان در ۵۰۰ متری جنوب‌خاوری روستای ده‌زیار (دید روبه شمال‌خاور)، ب) راستای گسل کوه‌بنان در جنوبی‌ترین پایانه آن (دید روبه شمال‌خاور) در مختصات $30^{\circ}, 28'$ شاخه‌های گسل کوه‌بنان در مختصات $N, 57^{\circ}, 05' E$ و پ) جابه‌جایی معکوس روی یکی از $30^{\circ}, 41', 04.3''$ در مختصات $N, 56^{\circ}, 48', 48.0'' E$ (دید روبه شمال).

شکل ۱۲ آ) جابه‌جایی راست‌بر رودخانه در راستای گسل جیرفت را نمایش می‌دهد. Δ_1 جابه‌جایی افقی را به‌اندازه ۱۱۰ متر نشان می‌دهد. شکل ۱۲ ب) جابه‌جایی راست‌بر دو رودخانه‌ها را در راستای گسل سیزواران که جابه‌جایی نهشته‌های کوتاه‌تر را در پی دارد، نمایش می‌دهد. دو جابه‌جایی افقی Δ_2 و Δ_3 به‌شماره نزدیک به ۱۵۰ و ۱۲۰ متر هستند.

شکل ۱۳ آ) راستای نیم‌رخ‌های توپوگرافی زده شده روی سه گسل گلباف، لکرکوه و کوه‌بنان را روی نقشه رقومی شده SRTM نشان می‌دهد. این شکل از روی شکل‌های ماهواره‌ای فراهم شده و دارای توپوگرافی و پلان دارای مختصاتی است. نیم‌رخ‌های $A-A'$ ، $B-B'$ و $C-C'$ روی گسل گلباف؛ نیم‌رخ‌های $D-D'$ ، $E-E'$ و $F-F'$



شکل ۱۰. آ) جابه‌جایی راست‌تغز راست‌بر جوان روی گسل کوه‌بنان در بخش میانی آن و ب) جابه‌جایی راست‌تغز راست‌بر جوان در بخش جنوبی آن.





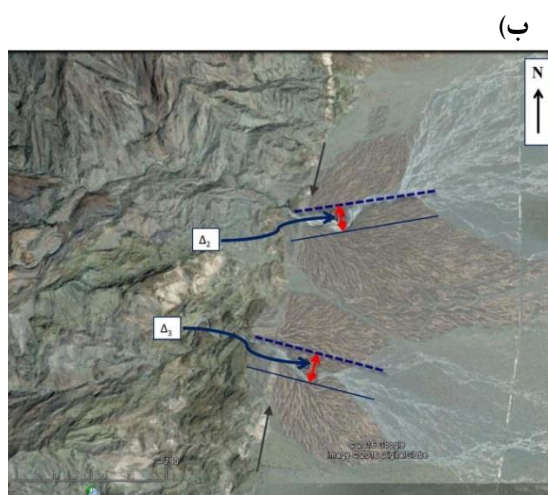
است. برای مشخص شدن جابه‌جایی به‌گونه کامل، نیمرخ‌ها در هر گستره عمود بر راستای گسل‌ها در آن گستره طراحی شده است. در شکل‌های بعدی تنها جابه‌جایی انباشتی قائم بررسی شده و جابه‌جایی افقی که پیش‌تر بررسی شده است، دیده نمی‌شود. در نیمرخ‌ها بیشینه جابه‌جایی انباشتی بررسی و اندازه‌گیری شده است. مثلاً گسل گلباف، به دلیل چندشاخه بودن، در هر دو سوی خود جابه‌جایی انباشتی قائم پدید آورده است.

شکل‌های ۱۳ ب، پ و ت به شماره، نیمرخ‌هایی از نقاط مختلف گسل‌های گلباف، لکرکوه و کوه‌بنان را نمایش می‌دهند. فرازیافته‌گی انباشتی در جنوب، میانه و شمال گسل‌ها اندازه‌گیری شده‌اند. این فرازیافته‌گی در جنوب، میانه و شمال گسل گلباف، به شماره نزدیک به ۱۴۲۵، ۱۴۵۰ و ۲۰۴۵ متر اندازه‌گیری شده است. فرازیافته‌گی در جنوب، میانه و شمال گسل لکرکوه، به شماره نزدیک به ۱۱۵۵، ۱۵۲۰ و ۱۲۱۵ متر اندازه‌گیری شده است. سرانجام فرازیافته‌گی در جنوب، میانه و شمال گسل کوه‌بنان، به شماره نزدیک به ۱۸۱۵، ۱۱۰۰ و ۱۶۷۰ متر اندازه‌گیری شده است. اگرچه، روندی در فرازیافته‌گی در راستای دوگسل لکرکوه و کوه‌بنان دیده نمی‌شود، فرازیافته‌گی انباشتی از جنوب به شمال گسل گلباف افزایش یافته است. در میانه دوگسل لکرکوه و کوه‌بنان فرازیافته‌گی انباشتی بیش‌تر از دو پایانه آن‌ها است.

بحث

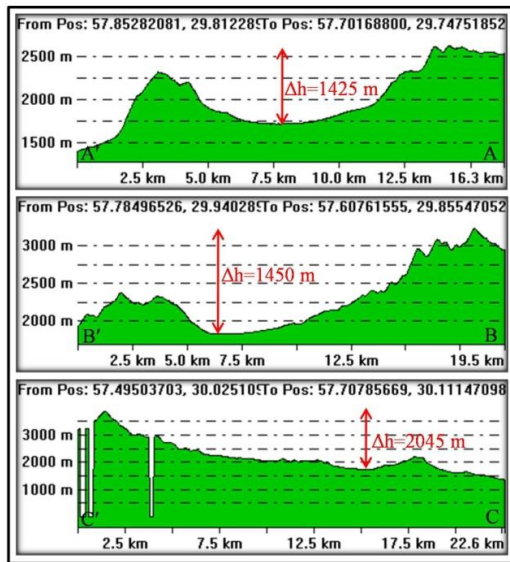
اشکال زمین‌ریختی گوناگونی در استان کرمان وجود دارند، که به زمین‌ساخت جنبی و فرسایش در این گستره وابسته هستند. بیش‌تر این زمین‌ریخت‌ها به زمین‌ساخت جنبی وابسته‌اند که توسط گسل‌های جنبی به وجود می‌آیند. زمین‌ریخت‌های پیامد زمین‌ساخت جنبی و فرسایش، به شماره بیش‌تر در کناره‌ها و در میانه بلوک‌های بی‌لرزه مانند بلوک طبس و ایران مرکزی در

F' روی گسل لکرکوه و نیمرخ‌های H-H'، G-G' و I-I' روی گسل کوه‌بنان زده شده است.

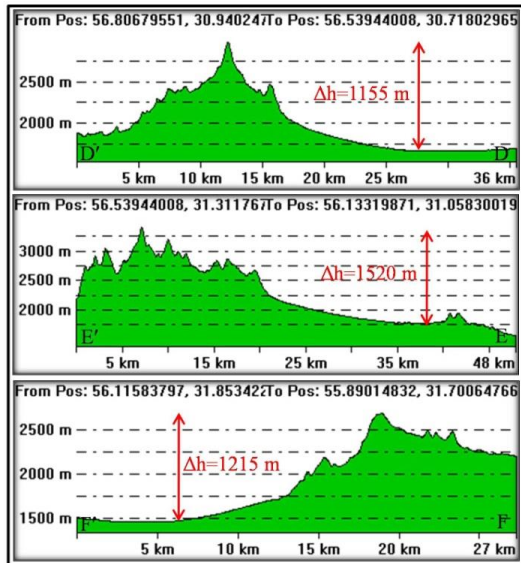


شکل ۱۲. آ) تغییر مسیر یک آب‌راه در راستای گسل جیرفت در جنوب‌خاوری کهنوج (Δ_1) و ب) تغییر مسیر آب‌راه‌ها در راستای گسل سبزواران در جنوب‌باختری کهنوج (Δ_2 , Δ_3). در نگاره‌های آ و ب، نقطه‌چین آبی مسیر رودخانه در صورت نبود گسل بوده است، در شکل‌ها، پیکان‌های مشکی روند گسل و پیکان‌های قرمز اندازه جابه‌جایی رودخانه و لایه را نشان می‌دهند.

روی هر گسل سه نیمرخ در میانه و دو پایانه گسل برای بررسی تغییرات جابه‌جایی انباشتی و یافتن روند جابه‌جایی، در صورت وجود، در درازای گسل رسم شده



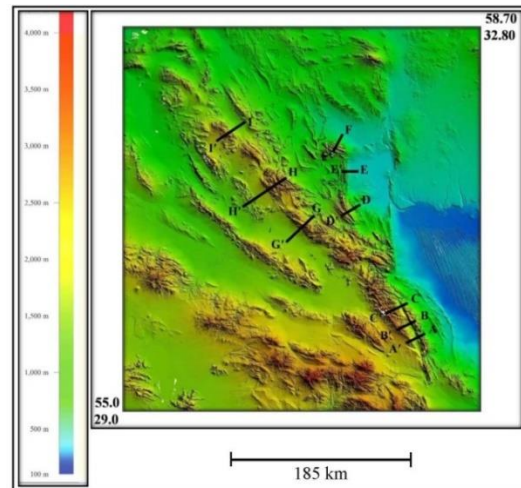
(پ)



(ت)

خاور ایران و هم‌چنین، استان کرمان (بلوک‌های لوت و جازموریان) روی می‌دهند. با توجه به نرخ بالای لرزه‌خیزی در خاور ایران و هم‌چنین در استان (به‌جز گسل‌های نای‌بند و سروستان)، جنبایی بیش‌تر گسل‌ها لرزه‌زا نیز هست. بررسی زمین‌ریخت‌ها در این پژوهش، به‌دلیل شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک، به‌کمک جابه‌جایی آبراهه‌های فصلی و بادزن‌های آبرفتی انجام شده است.

(آ)



(ب)

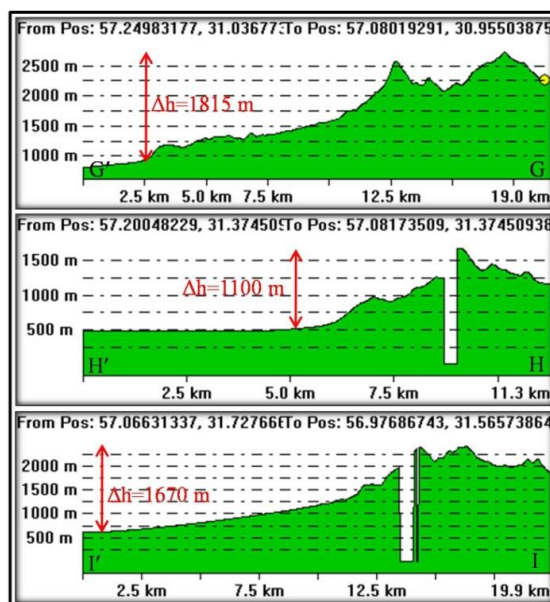
لایه نازکی از سطح زمین باشد، چون ایستگاه‌های GPS در روی سطح نصب شده و نمی‌توانند بیان‌گر تغییرات ژرفا باشند. بررسی‌های زمین‌ریخت‌شناسی در این پژوهش نشان داد که جنبش کوتاه‌تر پسین، به‌جز گستره راین و ماهان در دیگر گسل‌های استان نیز دیده می‌شود.

زمین‌لرزه‌های تاریخی و پیش‌دستگاهی (همگی با بزرگای بیش‌تر از ۵/۵) زیادی در استان روی داده است: زمین‌لرزه‌های ۱۸۷۵، ۱۸۹۷ و ۱۸۵۴، ۱۸۶۴، به‌شماره در شمال و جنوب گسل کوه‌بنان؛ دو زمین‌لرزه در سال ۱۹۱۱ روی گسل لکرکوه و شهداد؛ زمین‌لرزه ۱۹۲۳ لاله‌زار؛ ۱۸۷۷ و زمین‌لرزه ۱۹۰۹ گسل گلباف و زمین‌لرزه ۱۸۴۹ روی گسل جیرفت روی داده‌اند که نشان از جنبش لرزه‌زای گسل‌ها در گذشته داشته‌اند.

در خاور ایران، پایانه‌های گسلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و میزبان زمین‌لرزه‌های زیادی بوده‌اند. گسل زمین‌لرزه‌ای ۱۳۵۷ طبس (Berberian, 1979) در پایانه شمالی گسل نایبند و گسل زمین‌لرزه‌ای گدار (زمین‌لرزه‌های ۱۳۹۷ هجری قمری) در پایانه جنوبی گسل لکرکوه از این پایانه‌های جنب‌و مهم گسلی در و استان کرمان هستند. در خاور ایران نیز می‌توان از زمین‌لرزه‌های ۱۳۷۳ سفیدآبه سیستان (M ۵/۵-۶/۰) نام برد که روی پایانه گسل زاهدان روی داده‌اند.

نتیجه‌گیری

گسل‌های استان از ۳ متر جابه‌جایی هم‌لرز راست‌الغز (زمین‌لرزه ۱۳۷۳ فندوقا روی گسل گلباف) تا یک متر جابه‌جایی هم‌لرز شیب‌الغز (زمین‌لرزه ۱۳۸۴ زرنند در هم‌سایگی گسل کوه‌بنان) را در کارنامه خود دارند. هم‌چنین، جابه‌جایی انباشتی قائم گسل‌های گلباف و کوه‌بنان بیش از ۱۸۰۰ متر اندازه‌گیری شده است. گسل لکرکوه نیز به‌شماره، دارای جابه‌جایی انباشتی افقی و قائم



شکل ۱۳. آ) راستای نیمرخ‌های ارتفاعی ترسیم شده روی سه گسل گلباف، لکرکوه و کوه‌بنان روی نقشه رقومی SRTM، ب) نیمرخ‌های ارتفاعی ترسیم شده روی گسل گلباف، پ) گسل لکرکوه و ت) گسل کوه‌بنان، هر سه به کمک نقشه رقومی SRTM. به‌دلیل دیده شدن اختلاف ارتفاع نسبت به طول در نیمرخ‌ها، محور ارتفاع به گونه اغراق شده ترسیم شده است.

گواهی‌های زمین‌ریختی نشان می‌دهند که یک کمربند چین و گسلش فشاری مایل در استان کرمان وجود دارد. خاور ایران با زاگرس نیز پیوند زمین‌ساختی دارد. گسل‌های جنب‌و پیوند دهنده گسل راست‌الغز راست‌گرد سبزه‌واران و گسل‌های راست‌الغز راست‌گرد زاگرس بوده و این گسل، به‌گمان بخشی از هم‌گرایی مایل میان زاگرس و مکران را برعهده دارد (Walker, 2006).

رخ‌نمون گسل‌های به سطح رسیده در استان کرمان نشان از جنبایی آن‌ها دارد، به‌گونه‌ای که در گستره ماهان و راین گسلش جنب‌و کوتاه‌تری پسین دیده می‌شود (Walker, 2006). با اینکه GPS دگرشکلی پایینی را برای گستره جنوب استان نشان می‌دهد، گستره به‌گمان پتانسیل لرزه‌زای زیادی را از خود نشان می‌دهد (Walker, 2006). شاید دلیل این تناقض، وابسته بودن برداشت‌های GPS به



ژئومورفیک و قابلیت آن در شناسایی گسل های پنهان. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۸-۲، ۱۲۱-۱۰۳.

References:

Berberian, M., 1979. Earthquake faulting and bedding thrust associated with the Tabas-e-Golshan (Iran) earthquake of September 16, 1978. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 69 (6), 1861-1887.

Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., Khatib, M.M., Priestley, K., Talebian, M. and Ghafari-Ashtiani, M., 1999. The 1997 May 10 Zirkuh (Qa'emat) earthquake (M7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran. *Geophysical Journal International*, 136, 671-694.

Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., Talebian, M., Khatib, M. and Priestley, K., 2000. The 1994 Sefidabeh earthquakes in eastern Iran: blind thrusting and bedding-plane slip on a growing anticline, and active tectonics of the Sistan suture zone. *Geophys. J. Int.* 142 (2), 283-299.

Berberian, M., Jackson, J.A., Fielding, E., Parsons, B.E., Priestly, K., Qorashi, M., Talebian, M., Walker, R., Wright, T.J. and Baker, E., 2001. The 1998 March 14 Fandoqa earthquake (Mw6.6) in Kerman, southeast Iran: re-rupture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent thrusts, and the active tectonics of the Gowk fault zone. *Geophys. J. Int.* 146 (2), 371-398.

English, P.W., 1968. The Origin and Spread of Qanats in the Old World. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 112(3), 170-181.

England, P. and Molnar, P. Surface uplift, uplift of rocks, and exhumation of rocks. *Geology* 18, 1173-1177, January 1990, *Geology* 18(12):1173-1177.

Fielding, E.J., Wright, T.J., Muller, J., Parsons, B.E. and Walker, R., 2004. Aseismic deformation of a fold-and-thrust belt imaged by synthetic aperture radar interferometry near Shahdad, southeast Iran. *Geology* 32 (7), 577-580.

Nemati M. and Gheitanchi, M., 2011. Analysis of 2005 Dahuieh (Zarand) aftershocks sequence in Kerman province, *Journal of Earth and Space Physics*. Institute of Geophysics of University of Tehran, 37(1), 1-9.

Nemati, M., Jafari Hajati, F., Rashidi, A. and Hassan-zadeh, R., 2020. Seismology of the 2017 Hojedk earthquakes (M_N 6.0- 6.1), Kerman province, SE Iran. *Tectonophysics*, 780, 228398.

Regard, V., Bellier, O., Thomas, J.-C., Bourles, D., Bonnet, S., Abbassi, M.R., Braucher, R., Mercier, J., Shabanian, E., Soleymani, Sh. and Feghhi, Kh., 2005. Cumulative right-lateral fault

نزدیک به ۱۷۰۰ متر و ۱۵۰۰ متر است. روی گسل های جیرفت و سبزهواران نیز به شماره، جابه جایی انباشتی افقی ۱۱۰ و ۱۵۰ متر دیده شد. جابه جایی معکوس روی گسل جیرفت چند سانتی متر، گسل شهداد نزدیک به یک متر و گسل سروستان تا چند متر نیز مشاهده شد. از میان گسل های معکوس استان کرمان، گسل های نای بند، سروستان، کوه بنان و شهداد، دست کم در بخش عمده ای از درازای خود، مرز بارزی میان کوه و دشت تشکیل داده اند. گسل های نای بند و لکرکوه در هر دو پایانه خود خمش دارند که برخی از این پایانه ها میزبان زمین لرزه بوده اند. در بررسی های این پژوهش در زمینه جابه جایی های گسلی، می توان گفت، اگرچه فرازیافته گی انباشتی از جنوب به شمال گسل گلباف افزایش یافته است، روند خاصی در جابه جایی های گسلی از شمال به جنوب یا بالعکس در دیگر گسل ها دیده نشد.

سپاس گذاری

از آقای دکتر احمد رشیدی از پژوهش گاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله به خاطر کمک های ایشان سپاس گذاری می شود.

منابع فارسی

نعمتی، م.، ۱۳۹۷. مبانی لرزه زمین ساخت با نگاهی ویژه به لرزه زمین ساخت ایران زمین. انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۹۷ ص.

شبان، م.، قائمی، ف.، عباس نژاد، ا. و رادفر، ش.، ۱۳۹۱، بررسی تکتونیک فعال گسل کوه بنان در منطقه بهاباد با استفاده از شاخص های ریخت زمین ساختی، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، شیراز، انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه شیراز.

صفاری، ا.، ملکی، ا.، شیرازی تبار، ف.، احمدآبادی، ع. و رحمتی پور، ف.، ۱۳۹۸. تحلیل شواهد

slip rate across the Zagros-Makran transfer zone: role of the Minab-Zendan fault system in accommodating Arabia-Eurasia convergence in southeast Iran. *Geophys. J. Int.* 162, 177–203.

Savidge, E., Nissen, E., Nemati, M., Karasözen, E., Hollingsworth, J., Talebian M., Bergman, E., Ghods, A., Ghorashi, M., Kosari, E., Rashidi A. and Rashidi, A., 2019. The December 2017 Hojedk (Iran) earthquake triplet — sequential rupture of shallow reverse faults in a strike-slip restraining bend. *Geophys. J. Int.*, 217(2), 909-925.

Talebian M., Biggs J., Bolourchi M., Copley A., Ghassemi A., Ghorashi M., Hollingsworth J., Jackson J., Nissen E., Oveisi B., Parsons B., Priestley K., and Saiidi A. 2006. The Dahuyeh (Zarand) earthquake of 2005 February, 22 in central Iran. *Geophys. J. Int.*, 164: 137-148.

Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, M., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chéry, J., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophys. J. Int.* 157, 381–398. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x>.

Walker, R. and Jackson, J., 2002. Offset and evolution of the Gowk fault, SE Iran; a major intracontinental strike-slip system. *J. Struct. Geol.* 24, 1677–1698.

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., 2003. Active Faulting and Tectonics of Iran. Ph.D. Theses, University of Cambridge, UK, 203 pp.

Walker, R. and Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. *Tectonics*. 23(5), 1-24, <http://dx.doi.org/10.1029/2003TC001529>, TC5010.

Walker, R., Jackson, J. and Baker, C., 2004. Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran. *Geophys. J. Int.* 157, 265–285.

Walker, R.T. and Khatib, M. M. 2006. Active faulting in the Birjand region of NE Iran. August 2006, *Tectonics*, 25(4), 1-17.