سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال سوم، شماره اول، بهار ۱۳۹۰
Vol.3, No.1, Spring 2011

۱۹-۳٤

استفاده از تصاویر لندست و داده‌های زمین مغناطیسی در شناسایی خطواره‌های گسلی و تحلیل خاستگاه آنها در ناحیه لرستان، زاگرس چین‌خورده

ثریا عباسی[۱]، علی یساقی*[۲]

۱. کارشناس ارشد زمین‌شناسی، تکتونیک، دانشگاه تربیت مدرس
۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۹/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۷/۲۳

چکیده

زیرپهنه لرستان، در بخش شمال‌غرب پهنه زاگرس چین‌خورده قرار دارد. پوشش رسوبی این زیرپهنه به مانند دیگر بخش‌های کمربند چین‌خورده ـ رانده زاگرس، تحت تأثیر فعالیت مجدد ساختارهای زیرسطحی در خلال کوهزایی میوسن پسین زاگرس دچار دگریختی‌هایی شده است. از مسائل ساختاری در زیرپهنه لرستان، عدم ارتباط برخی تغییرشکل‌های سطحی با گسل‌های سطحی است. در این مطالعه، با استفاده از تصاویر لندست ETM^+، و با توجه به تغییر شکل‌های سطحی چون انحنا، قطع‌شدگی و جدایش ساختارها همچون انحنای اثر محوری چین‌ها، اقدام به شناسایی و به نقشه درآوردن خطواره‌های گسلی ـ که می‌توانند مرتبط با فعالیت گسل‌های زیرسطحی باشند ـ شده است. این خطواره‌های گسلی علاوه بر دارا بودن روند شمال ـ غرب (مربوط به گسل‌های راندگی کمربند چین‌خورده ـ رانده)، دارای دو روند عمومی دیگر شمال ـ شمال غرب با جدایش راستگرد و شمال شرقی با جدایش چپگرد نیز هستند. برای تحلیل منشأ این خطواره‌ها، از انطباق آنها با داده‌های زیرسطحی چون زمین‌لرزه‌ها و خطواره‌های مغناطیسی استفاده شده است. انطباق برخی از خطواره‌های گسلی شناسایی‌شده با شکستگی‌های پی‌سنگی نشانگر پی‌سنگی بودن آنهاست؛ و بیشترین انطباق‌ها به خطواره‌های گسلی که روند شمال ـ شمال‌غرب دارند مربوط می‌شود. به‌علاوه، انطباق سازوکار و روند برخی از زمین‌لرزه‌های رخ‌داده در زیرپهنه لرستان، با این خطواره‌های گسلی شناسایی‌شده نیز مؤید پی‌سنگی بودن آنهاست. اعتقاد بر این است که این خطواره‌ها در نتیجه فعالیت مجدد گسل‌های پی‌سنگی متأثر از همگرایی ورقه عربی با ایران مرکزی ایجاد شده‌اند. دیگر خطواره‌های گسلی که با روند شکستگی‌های پی‌سنگی هم‌روند نیستند، حاصل مراتب فعالیت جوان‌تر گسل‌های پی‌سنگی در پوشش رسوبی‌اند، به‌گونه‌ای که وجود سطوح جدایشی در پوشش رسوبی مانع توسعه فعالیت این گسل‌های پی‌سنگی در سطح شده است. تمرکز غالب زمین‌لرزه‌های رخ داده در زیرپهنه لرستان در محدوده گسله بالارود و پیشانی کوهستان و همروندی روند این گسل‌ها با گسلش‌های زمین‌لرزه‌ای، نشان از آن دارد که این دو پهنه از پهنه‌های اساسی پی‌سنگی در لرستان به شمار می‌آیند.

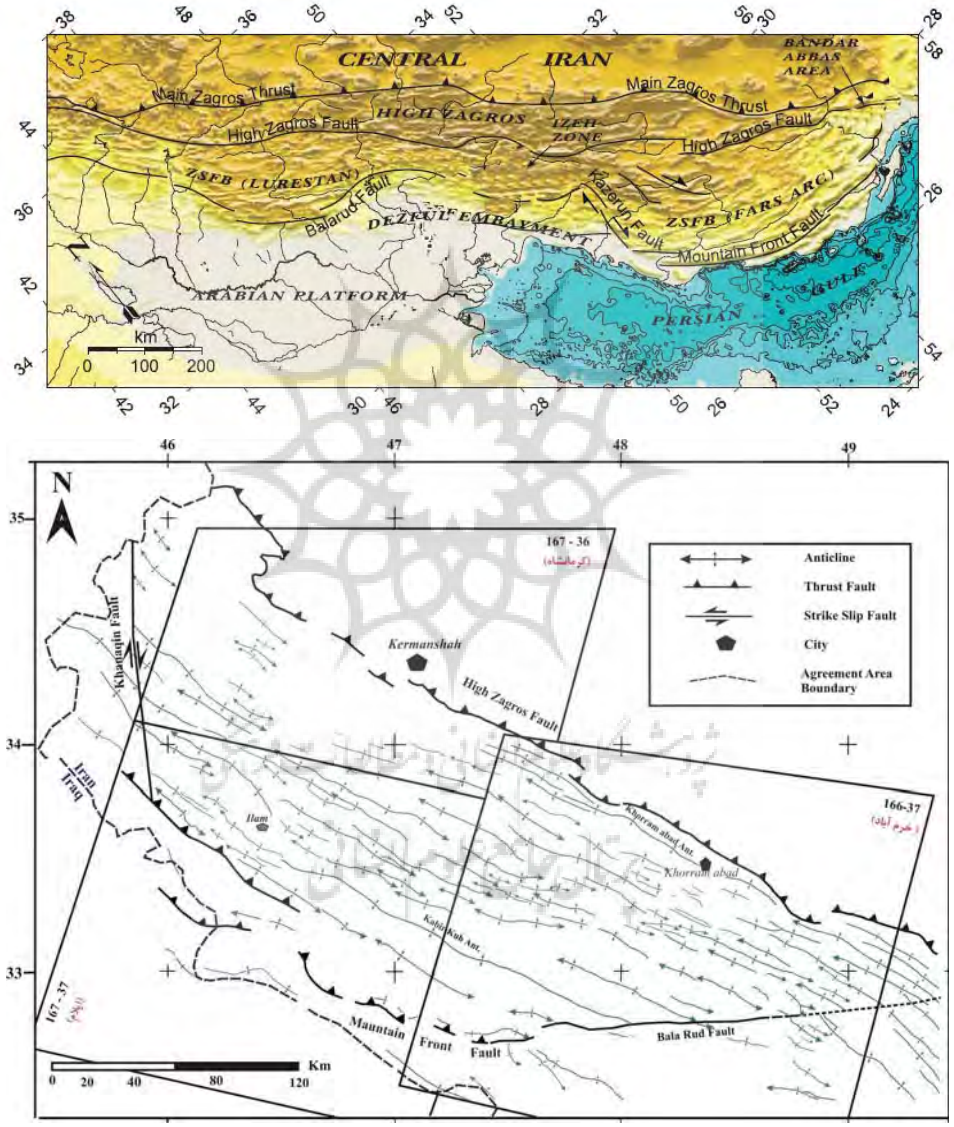
کلیدواژه‌ها: زاگرس چین‌خورده، زیرپهنه لرستان، روش سنجش از دور، خطواره‌های گسلی، خطواره‌های مغناطیسی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس. تلفن: ۸۲۸۸۳۴۰۶

Email: yassaghi@modares.ac.ir

۱- مقدمه

خطواره‌های گسلی ساختارهایی هستند که بر روی تصاویر ماهواره‌ای تعبیر می‌شوند. نخستین بار Hobbs, (1904) خطواره را خطی از چشم‌انداز زمینی برشمرد که الگوی پنهانی مربوط به گسلش در پی‌سنگ را آشکار می‌سازد، سپس Oleary et al., (1976) خطواره را عمدتاً به‌صورت عارضه خطی ساده یا مرکب سطحی که اجزای منظم آن یا در راستایی مستقیم قرار دارند و یا دارای انحنای ملایمی هستند، و اختلاف آشکاری نیز با اشکال و پدیده‌های مجاورشان دارند و احتمالاً بازگوکننده پدیده‌ای زیرسطحی‌اند تعریف می‌کنند.



شکل ۱. الف) نقشه عناصر ساختاری کمربند چین‌خورده- رانده زاگرس (ZSFB : زاگرس ساده چین‌خورده)، برگرفته از *Sherkati et al.*, 2005 ؛ و موقعیت زیرپهنه لرستان (در داخل کادر)؛ ب) نقشهٔ ترسیم‌شده در این مطالعه از زیرپهنه لرستان است، که خمیدگی و تداخل تأثیر محوری چین‌ها را در بخش عمده منطقه نشان می‌دهد؛ و نیز موقعیت تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده نسبت به کل منطقه که به صورت شماره گذر و ردیف (نام تصویر ماهواره‌ای) درج گردیده‌اند.

کمربند چین‌خورده ـ رانده زاگرس (شکل ۱ الف)، به علت موقعیت خاص زمین‌ساختی، تنوع ضخامت و رخساره‌های رسوبی و سبک چین‌خوردگی، الگوی خاصی از دگریختی‌های ساختاری و فعالیت‌های نوزمین‌ساختی و لرزه زمین‌ساختی را نشان می‌دهد (Berberian, 1995). از مهم‌ترینِ این ویژگی‌ها، انحنا و خمش تأثیر سطح محوری چین‌ها یا قطع‌شدگی آنها (شکل ۱ب) است (Barzegar, 1994). از آنجا که این دگریختی‌ها عمدتاً با گسلش‌های سطحی ارتباطی ندارند، گسل‌های زیرسطحی تأثیری عمده بر آنها می‌نهد (Yassaghi, 2006). از دیگر مسائل در کمربند چین‌خورده ـ رانده زاگرس، عدم ارتباط یا فقدان گسلش‌های سطحی زمین‌لرزه‌ای با زمین‌لرزه‌هایی است که رخ داده‌اند. این خود می‌تواند بیانگر به سطح نرسیدن این گسلش‌های زمین‌لرزه‌ای باشد (Berberian, 1995). این‌گونه گسل‌های زیرسطحی و پوشیده در زاگرس، که تأثیر فعالیت آنها در سطح وجود ندارد ولی می‌توان شواهدی از حرکت عمقی آنها را در سطح پی‌جویی کرد، خطواره گسلی نامیده می‌شوند (Yassaghi, 2006).

استفاده توأم از تفسیر تصاویر لندست یکپارچه و داده‌های زمین‌مغناطیسی، زمینه مناسبی را برای شناسایی این خطواره‌های گسلی فراهم می‌سازد و به همین خاطر برای شناسایی و بررسی این ساختارها در زیرپهنه لرستان، کمربند چین‌خورده ـ رانده زاگرس در این مطالعه استفاده شده است. با استفاده از این روش و شواهدی چون شکستگی‌های سطحی و بالا آمدن نمک، خطواره‌های گسلی در جنوب‌شرق زاگرس و در زیرپهنه‌های ساختاری دزفول و ایذه و فارس به نقشه درآمده‌اند (Furst, 1990; Barzegar, 1994; Hessami et al., 2001; Yassaghi, 2006; Mobasher, 2007)؛ ولی در زیرپهنه لرستان زاگرس، چنین خطواره‌هایی تا کنون شناسایی نشده است. در این مطالعه و با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای این خطواره‌های گسلی در زیرپهنه لرستان شناسایی شده و به نقشه درآمده‌اند و آن‌گاه ارتباط آنها با گسل‌های پی‌سنگی با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک هوایی تحلیل گردیده است.

زیرپهنه لرستان در بخش شمال‌غرب زاگرس چین‌خورده ـ رانده قرار دارد که از شمال‌شرق به گسل زاگرس بلند محدود می‌شود، از جنوب غرب با گسل پیشانی کوهستان زاگرس، از غرب با گسل خانقین، و از جنوب شرق نیز با گسل بالارود (شکل ۱ ب).

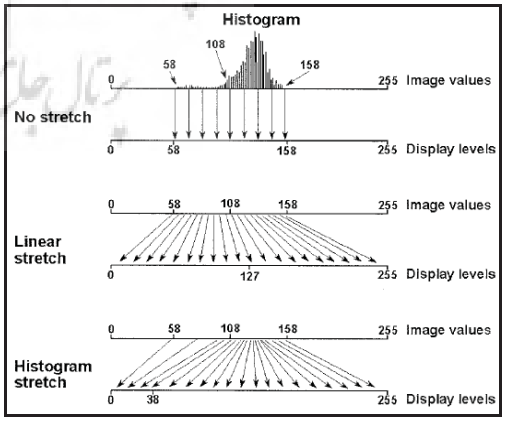
۲- مواد و روش‌ها

از جمله ابزارهای شناسایی خطواره‌های گسلی، ماهواره‌ای لندست هستند. معمولاً خطواره‌های گسلی را چندان آسان نمی‌توان در ماهواره‌ای تشخیص داد. تشخیص برخی از آنها، با توجه به شرایط نوردهی و وجود پوشش گیاهی و امتداد آبراهه‌ها در مسیر این خطواره‌ها، راحت‌تر است؛ ولی برخی دیگر از این عوارض را باید با روش‌های پردازش تصویر واضح ساخت. برای واضح‌سازی این خطواره‌ها، فیلترهای مخصوصی به کار می‌روند. در این مطالعه از ۳ تصویر ماهواره‌ای سنجنده ETM^{+} از ماهواره لندست ۷ به صورت چاپ‌شده و داده رقومی کمک گرفته می‌شود و برای شناسایی و ترسیم و آنالیز توزیع فضایی و راستا یا سمت و سوی خطواره‌های شناسایی‌شده در تصویر، نرم‌افزارهای PCI Geomatica V9.1، Arc GIS 9.2، Rock Works و Corel draw به کار می‌روند. استفاده از این فن، دربرگیرندهٔ این سه مرحله است: پیش‌پردازش، پردازش، و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای.

در زمان ثبت تصویر به‌وسیله سنجنده ماهواره‌ای خطاهایی ایجاد می‌شود، که شامل خطا در موقعیت هندسی پیکسل‌ها (خطای هندسی) و مقدار روشنایی اندازه‌گیری‌شده پیکسل‌ها (خطای رادیومتری) است. در مرحله پیش‌پردازش، خطاهای رادیومتری و هندسی از تصاویر ماهواره‌ای حذف می‌شود.

مرحله پردازش تصویر شامل عملیاتی است که پس از تصحیح ـ و تا پیش از مرحله تفسیر ـ روی تصاویر

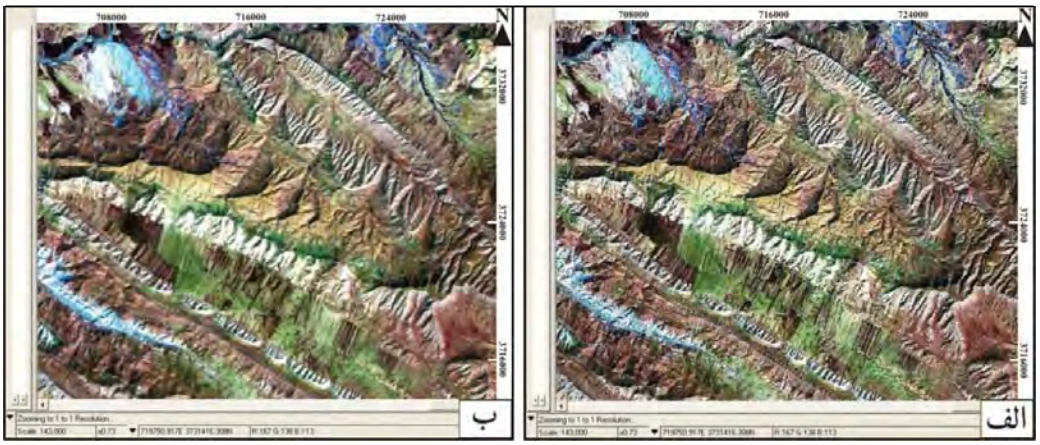
انجـام مـی‌شـود و هـدف آن، بـه‌دسـت آوردن تـصویر خروجی جدید و مناسـبی بـرای تفـسیر اسـت. در ایـن مطالعه، از سه حالت «افزایش کنتراست، فیلترگـذاری و ایجاد تصویر رنگی» بـرای تـصاویر مـاهواره‌ای اسـتفاده می‌شود. در افزایش کنتراسـت بـرای بهبـود تـصاویر، از حالـت افـزایش کنتراسـت خطـی (Linear Contrast Stretching) و حالت افـزایش کنتراسـت تعـادل‌سـازی (Equalize Contrast Stretching) بهره‌گیری می‌شـود. در روش افزایش کنتراست خطی، ابتدا درجات روشنایی به‌صورت خطی و یکسان بـا ارزش مـساوی بـرای همـه درجات و بـدون حـذف درجـات روشـنایی در محـدوده صـفر تـا ۲۵۵ بـرای بانـدهای مختلـف، کـشش پیـدا می‌کنند؛ و در مرحله بعـدی بـا توجـه بـه هیـستوگرام مربـوط، محـدوده‌ای کـه فراوانـی کمتـری دارد حـذف می‌شود و بقیه محدودیت به‌صورت خطی بین صـفر تـا ۲۵۵ افـزایش کنتراسـت مـی‌یابنـد. در روش افـزایش کنتراست تعادل‌سازی محدوده‌ای از درجـات روشـنایی با ارزش‌های غیرمساوی برای درجـات آن، در محـدوده صفر تا ۲۵۵ گسترش پیدا می‌کنند؛ یعنی قـسمت‌هـای مختلـف هیـستوگرام بـر اسـاس فراوانـی‌شـان افـزایش کنتراست خواهند داشت. در نتیجـه، قـسمت‌هـایی کـه فراوانـی بیـشتری دارنـد آشکارسـازی مـی‌شـوند و از قسمت‌های دارای فراوانی کمتر چشم‌پوشـی مـی‌گـردد (شکل ۲).



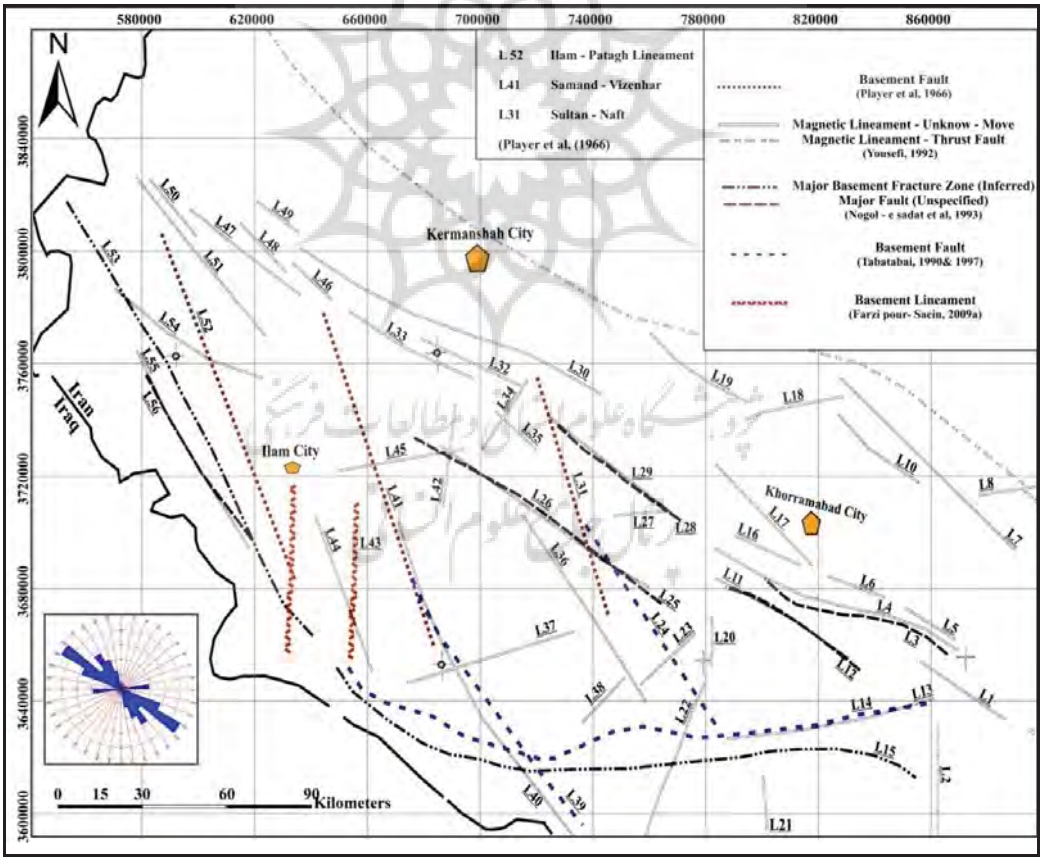
شکل ۲. دو نوع افزایش کنتراست
منبع: Lillesand & Kiefer, 2000

فیلترگذاری نیز نوعی تغییر ارزش‌های طیفی اسـت کـه در آن ارزش هـر پیکـسل بـا توجـه بـه ارزش پیکسل‌های مجاور تغییـر مـی‌کنـد و تـصویر جدیـد بـا کنتراستی متفاوت از تصویر اصلی، تشکیل مـی‌شـود در این مطالعه از دو نوع فیلتر بالاگـذر Gaussian و Edge Sharpening استفاده شده است (شـکل ۳). فیلترهـای بالاگذر که به آنها واضح‌کننده یا بارزساز لبه‌ها نیز گفته می‌شود، برای برطرف کردن نویزهای خطی بـا فراوانـی کم به کار می‌روند. برای ایجـاد تـصاویر رنگـی از فیلتـر RGB و ترکیب باندهای ۷۴۱ و ۵۳۱ و ۷۴۲ اسـتفاده می‌شود. فیلتر RGB شامل رنگ‌های قرمز و سبز و آبی است. مراحل مختلف پردازش تصاویر با کمک نـرم‌افـزار ژئوماتیکا انجام شده است. در مرحله تفسیر، که پـس از انجام عملیات پردازش است، دو شیوه تفسیر چـشمی و یا رقومی برای تفسیر و به نقشه کشیدن خطواره‌هـا بـه کار می‌روند. تفسیر چشمی، بر روی تـصاویر مـاهواره‌ای چاپ‌شده در مقیاس‌های مختلف و با استفاده از طلـق و ماژیک صورت می‌گیرد؛ اما تفسیر رقومی، با اسـتفاده از ابزارهای موجود در محیط دو نرم‌افزار PCI Geomatica V91 و Arc GIS 92 انجام می‌شود. شناسایی خطواره‌ها با تلفیق این دو روش صورت گرفته است. لازم بـه ذکـر است که برای ترسیم نقشه‌ها و نمودارهای گـل‌سـرخی این مطالعه بـه ترتیـب از نـرم‌افزارهـای Corel draw و Rock Work استفاده شده است.

خطـواره‌هـای گـسلی در واقـع تـأثیرات سـطحی گسل‌های پنهان و یا پـی‌سـنگی هـستند، و بـه همـین خاطر تحلیل خاستگاه این خطواره‌های گسلی و ارتبـاط آنها با گسل‌های پنهان و پی‌سنگی مـی‌توانـد از طریـق اسـتفاده از اطلاعـات زیرسـطحی ماننـد نقـشه‌هـای شکستگی‌های پـی‌سـنگی و داده‌هـای لـرزه‌ای صـورت گیرد. این داده‌ها برای تحلیل و پـردازش خطـواره‌هـای گسلی با منشأ پـی‌سـنگی بـه‌کـار مـی‌رود. در زیرپهنـه لرسـتان، ۵۶ خطـواره مغناطیـسی و شکـستگی‌هـای پی‌سنگی، به‌وسیله مراجعی که در ادامه ذکر می‌گردنـد معرفی شده (شکل ۴) و نمودار گل‌سـرخی مربـوط بـه این خطواره‌ها نیز در همین شکل ارائه گردیده است. در ادامه بـه ذکـر ایـن خطـواره‌هـای پـی‌سـنگی پرداختـه می‌شود.



شکل ۳. استفاده از فیلتر بالاگذر: الف) فیلتر Edge Sharpening Filter؛ و ب) فیلتر Gaussian Filter ـ بخشی از تاقدیس هلیلان



شکل ۴. نقشه مربوط به خطواره‌های مغناطیسی و شکستگی‌های پی‌سنگی که با تلفیق از مراجع مختلف ذکر شده در حاشیه نقشه در این مطالعه تهیه گردیده و با علامت Ln نمایش داده شده‌اند (n شماره خطواره‌های پی‌سنگی است که در این مطالعه برای شناسایی آنها به‌کار رفته است).

- Player et al., (1966) در نتایج مطالعات صحرایی لرستان، وجود سه خطواره شمالی ـ جنوبی را تأیید کرده‌اند. این سه خطواره از غرب به شرق عبارت‌اند از خطواره ایلام ـ پاتاق، خطواره سمند ـ ویزنهار، و خطواره سلطان ـ نفت (مطیعی، ۱۳۷۲) (شکل ۴). با توجه به شواهد برداشت‌شده از مسیر این خطواره‌ها، سن سنومانین تا کنیاسین به آنها نسبت داده شد؛ گرچه بر اساس شواهد سنگواره‌ها و آثار حرکتی از محل عبور خطواره گسلی ایلام ـ پاتاق، فعالیت این خطواره را تا ائوسن و گروهی تا امروز قابل تشخیص دانسته‌اند.
- Tabatabai, (1990, 1997) و Yousefi, (1992) به معرفی شکستگی‌ها و خطواره‌های پی‌سنگی مغناطیسی پرداخته‌اند (شکل ۴). این خطواره‌های مغناطیسی، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از عملیات مغناطیس هوایی تفسیر شده‌اند و معرف گسل‌های موجود در پی سنگ و سطوح ضعف قدیمی هستند.
- Nogol-e-Sadat et al., (1993) در نقشه تکتونیک پی‌سنگ ایران، موقعیت شکستگی‌های اصلی پی‌سنگی و خطواره‌های مغناطیسی را مشخص کرده‌اند. همچنین Farzipour Saein et al. (2009a) بر اساس تغییرات در نقشه‌های هم‌ضخامت سنومانین و تغییر از رخساره نریتیک سازند سروک به رخساره پلاژیک در جاهای دیگر بخش جنوبی زیرپهنه لرستان، خطواره پی‌سنگی اناران را با روند شمالی ـ جنوبی (شکل ۴) معرفی کرده‌اند و آن را مربوط به فعالیت مجدد خطواره پی‌سنگی عربی از اواخر کرتاسه دانسته‌اند.

علاوه بر داده‌های زمین مغناطیسی، از داده‌های لرزه‌ای مربوط به زیرپهنه لرستان نیز استفاده شده و در واقع تلفیق داده‌های سه منبع لرزه‌ای ـ شامل دانشگاه هاراد، مرکز لرزه‌نگاری بین‌المللی (ISC) و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی ـ بدین منظور به کار رفته است (جدول ۱). در این مطالعه از زمین‌لرزه‌هایی که سازوکار کانونی داشته‌اند، استفاده شده است.

بعد از بیان مواد مورد استفاده در این مطالعه، به شرح روش‌های مورد استفاده در آن برای شناسایی و تفسیر خطواره‌های گسلی پرداخته می‌شود.

برای شناسایی خطواره‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای از برخی پارامترهای ساختاری چون جابه‌جایی و قطع‌شدگی افق‌های راهنما، لایه‌ها و تأثیر سطح محوری چین‌ها (شکل‌های ۵ الف و ب و ۶ الف)، بخش مستقیم رودخانه (۷ الف)، تغییر ناگهانی مسیر رودخانه‌ها (۷ ب)، و نیز وجود آثار توپوگرافی سطحی و خطی طویل و غیرعادی بر روی تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۸) استفاده شده است.

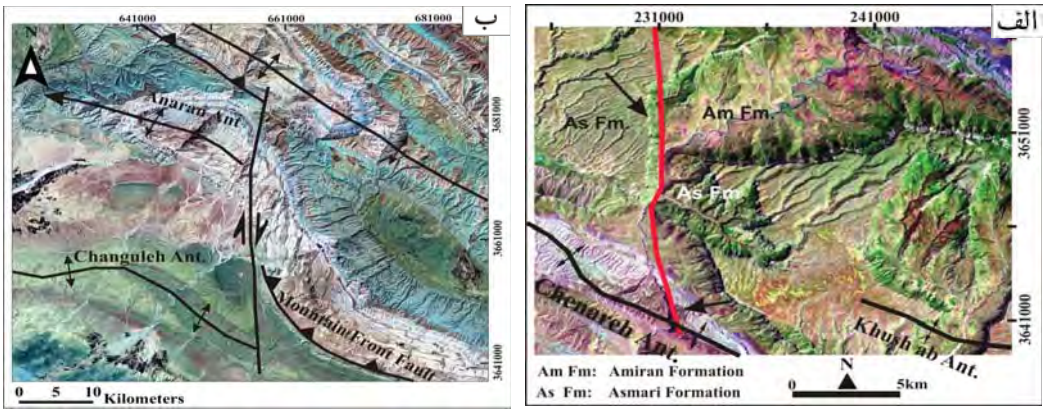
لازم به ذکر است که علاوه بر موارد یادشده برای شناسایی خطواره‌ها، استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی نیز در تشخیص آنها مؤثر بوده است؛ که در این پژوهش از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ کل منطقه، تهیه‌شدهٔ شرکت ملی نفت ایران و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، استفاده شده است.

با توجه به روش مورد استفاده و بهره‌گیری از پارامترهای ساختاری ذکرشده برای شناسایی خطواره‌های گسلی، در نهایت نقشه مربوط به خطواره‌ها و نمودار گل‌سرخی مربوط به روند آنها در کل منطقه (شکل ۹) تهیه شده است. برخی از خطواره‌های شناسایی‌شده بر روی تصویر ماهواره‌ای، جدایش (Sepration) را نشان می‌دهند. در واقع تظاهر گسل‌های نرمال و معکوس موجب قطع‌شدگی و جابه‌جایی واحدهای سنگی به‌صورت ظاهری می‌گردد که بر روی تصویر به صورت جابه‌جایی‌های سطحی امتدادلغز دیده می‌شوند و آن را جدایش می‌نامند. این گسل‌ها در راستای افق جابه‌جایی ندارند، و تنها عامل درخور اطمینان برای تشخیص جابه‌جایی، کنترل جابه‌جایی سطوح قائم، دایک‌های آذرین و سطح محوری چین‌های قائم است (داودی، ۱۳۸۲ و Yassaghi, 2006).

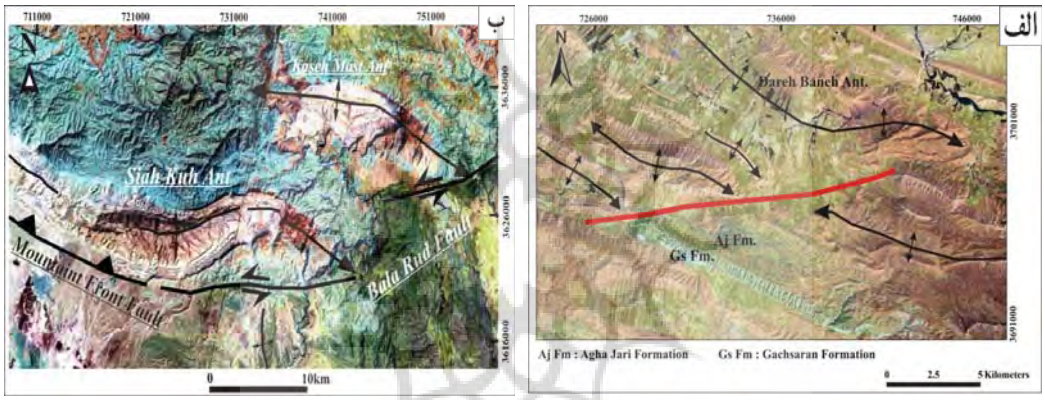
جدول ۱. انطباق خصوصیات خطواره‌های گسلی شناسایی‌شده با زمین‌لرزه‌های رخداده در زیرپهنه لرستان

شماره زمین‌لرزه	سال رویداد	بزرگی (متر)	عمق (کیلومتر)	آزیموت راستای گسلش زمین‌لرزه‌ای (درجه)	سازوکار کانونی زمین‌لرزه	خطواره‌های گسلی مرتبط با زمین‌لرزه (آزیموت راستا)
5	1988/01/26	۵/۲	۴۰/۱	۱۳۷		گسل پیشانی کوهستان – راندگی، (۱۳۵)
11	1998/08/05	۴/۹	۵۳	۳۲		F15 با جدایش راستگرد، (۰۲۶)
12	2001/03/23	۵/۱	۳۴/۵	۱۷۲		F11 با جدایش راستگرد، (۰۰۰)
13	2001/8/21	۴/۶	۳۹/۵	۱۱۰		گسل پیشانی کوهستان – راندگی، (۱۳۰)
14	2001/09/1	۵	۱۷	۱۰۸		گسل پیشانی کوهستان – راندگی، (۱۰۸)
15	2002/03/02	۴/۷	۵۲	۱۷۳		F13 با جدایش راستگرد، (۰۰۳)
16	2002/06/18	۵	۳۶/۳	۱۴۰		گسل Tf5 – راندگی، (۱۳۶)
17	2003/01/12	۴/۶	۳۳	۱۶۰		F17 با جدایش راستگرد، (۱۷۷)
19	2003/04/08	۴/۲	۴۸/۵	۰۰۰		F14 با جدایش راستگرد، (۱۷۱)
20	2004/02/12	۴/۸	۳۳	۱۲۵		گسل Tf5 – راندگی، (۱۳۶)
21	2004/05/24	۴/۶	۳۱/۵	۱۳۵		F16، (۱۳۴)
22	2004/11/22	۵	۳۴/۱	۱۱۲		گسل Tf4 – راندگی، (۱۱۰)
25	2005/06/18	۶	۴۵/۵	۱۳۳		F12، (۱۲۶)

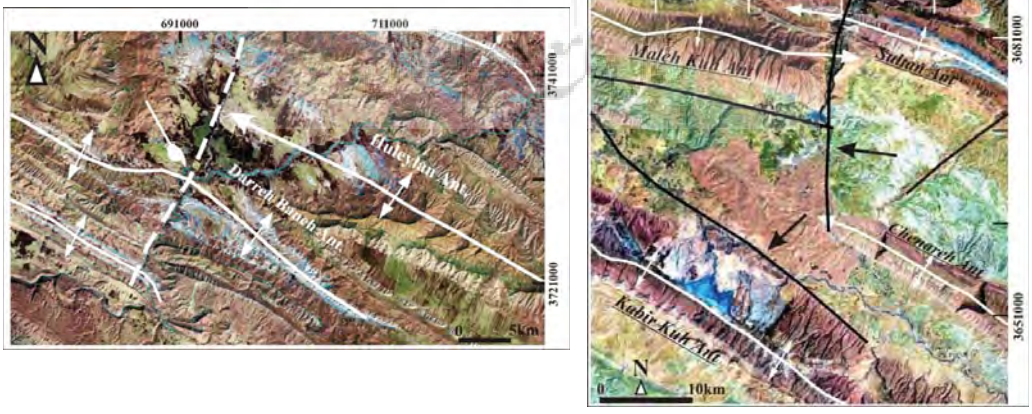
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



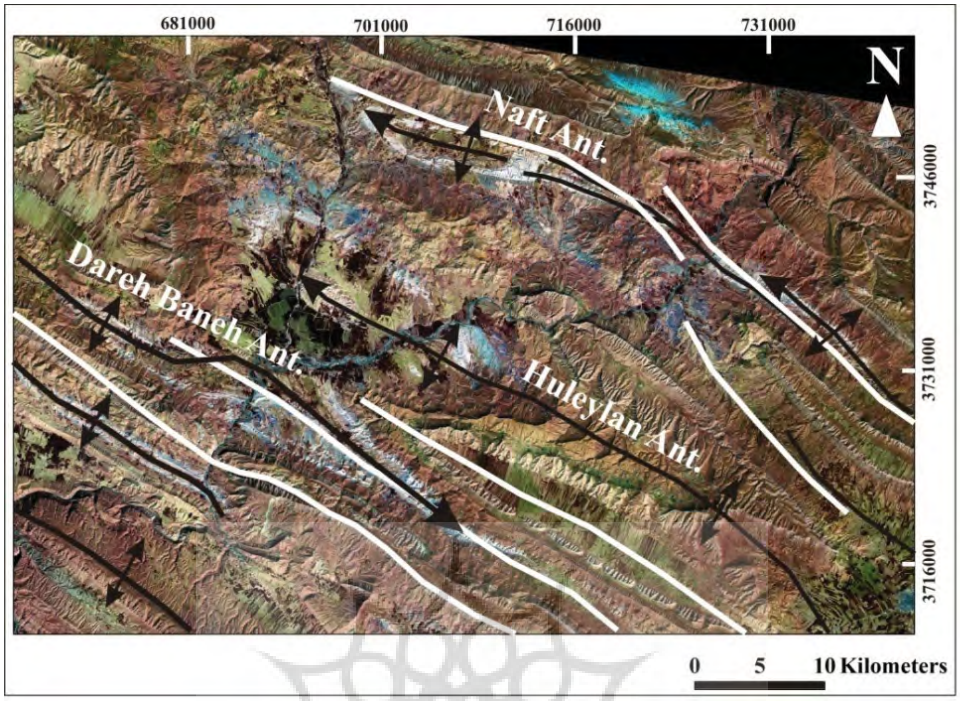
شکل ۵. الف) قطع‌شدگی لایه‌های سازندهای امیران و آسماری بر اثر عملکرد خطواره گسلی؛ ب) جابه‌جایی راستگرد گسل پیشانی کوهستان (MFF) به‌وسیله خطواره گسلی.



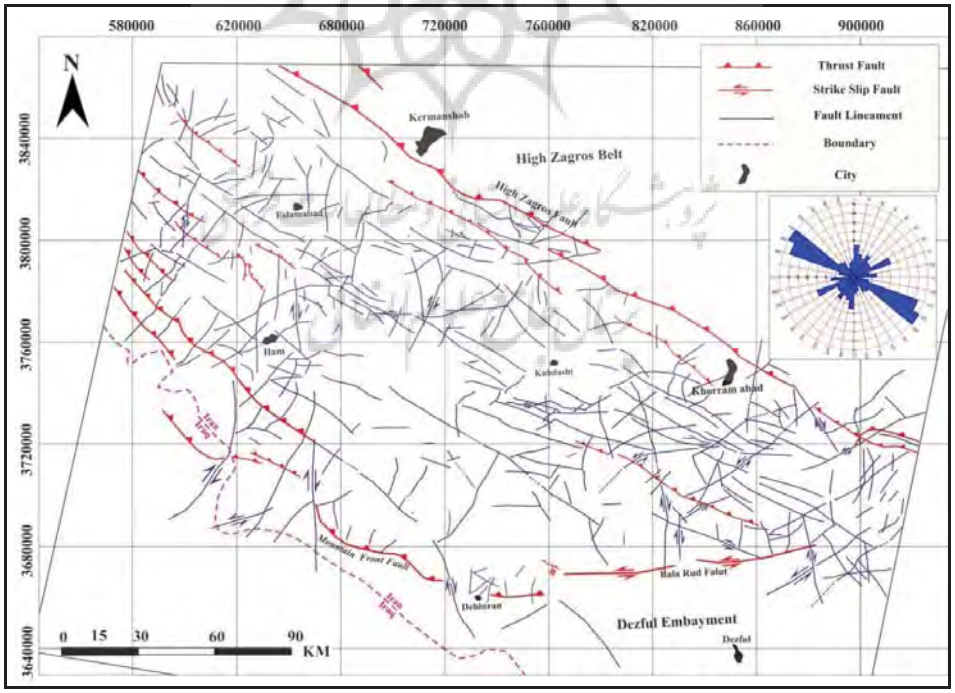
شکل ۶. الف) خمیدگی و کشیدگی اثر سطح محوری تاقدیس‌ها و قطع‌شدگی لایه‌های سازندهای گچساران و آغاجاری بر اثر عملکرد خطواره گسلی؛ و ب) اثر کشیدگی و خمیدگی تاقدیس‌ها در دو جهت مختلف در طرفین گسل بالا رود.



شکل ۷. الف) بخش مستقیم مسیر رودخانه‌ها بر اثر عملکرد خطواره‌ها؛ و ب) تغییر امتداد مسیر رودخانه بر اثر عملکرد خطواره



شکل ۸. برخی از خطواره‌ها (مشخص‌شده با رنگ سفید) که به موازات اثر سطح محوری تاقدیس‌ها در کوهزاد زاگرس و به صورت طولی تأثیر می‌نهند.



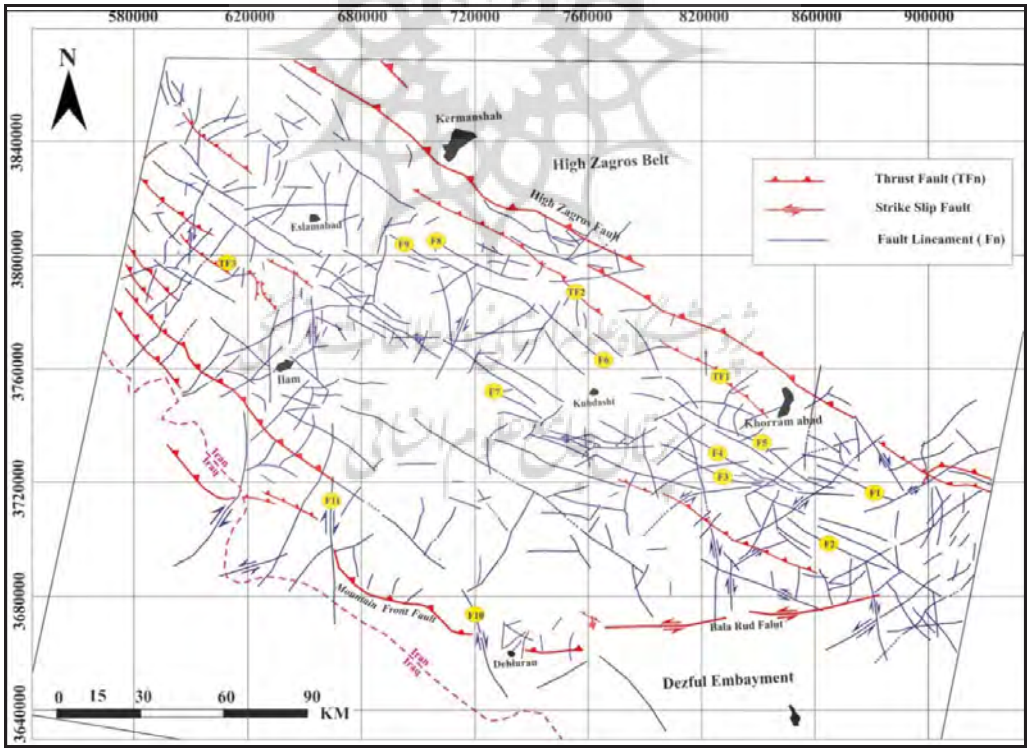
شکل ۹. خطواره‌های گسلی شناسایی‌شده در این مطالعه و نمودار گل‌سرخی مربوط به فراوانی روند آنها

استفاده از نقشه‌های ژئومغناطیسی برای ارتباط دادن خطواره‌های شناسایی‌شده با گسل‌های پی‌سنگ نیز به تفسیر کمک می‌کند. این نقشه‌ها به وضوح محل و جهت گسل‌های پی‌سنگی را نشان می‌دهند و مقایسه داده‌های زیرسطحی و سطحی نشان از انطباق برخی از خطواره‌های شناسایی‌شده در این مطالعه با این گسل‌های پی‌سنگی دارد (شکل ۱۰).

لازم به ذکر است که تفاوت میان خطواره‌های گسلی و گسل‌ها، آن است که گسل‌ها دارای سازوکار مشخص معکوس، نرمال یا امتداد لغزند، این در حالی است که سازوکار خطواره‌های گسلی به‌دلیل آنکه غالباً سطوح گسلی مشخصی در روی زمین ندارند و فقط تأثیرات جابه‌جایی زیرسطحی را در سطح نشان می‌دهند، مشخص نیستند و صرفاً بر اساس روش‌های ذکرشده در این مقاله (شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸) بر روی تصویر ماهواره‌ای شناسایی می‌شوند.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

اعتقاد گسترده بر آن است که پی‌سنگ در کمربند چین‌خورده ـ رانده زاگرس ادامه پی‌سنگ در ورقه عربی است (ن.ک. Falcon, 1969; McQuillan, 1991; Ameen, 1992) که به‌وسیله گسل‌هایی با روند شمالی ـ جنوبی شکسته می‌شود (ن.ک. Henson, 1951; Bushara, 1995). گسل‌های پی‌سنگی در زاگرس بر اثر برخورد ورقه عربی با فلات ایران مرکزی، که حاصل بازشدگی دریای سرخ از زمان میوسن است، دوباره فعال گردیده‌اند (Hessami et al., 2001; Yassaghi, 2006). این دوباره فعال شدن گسل‌های پی‌سنگی در شمال عراق (Ameen, 1992) و عربستان صعودی (Edgell, 1992) نیز روی داده است.

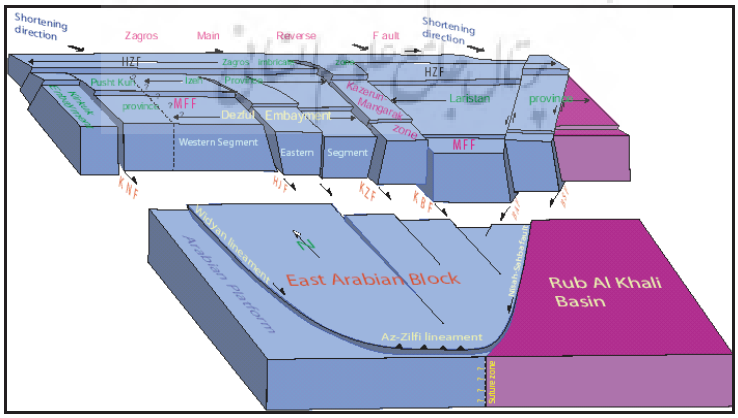


شکل ۱۰. نقشه خطواره‌های گسلی شناسایی‌شده در این مطالعه و گسل‌های راندگی زیرپهنه لرستان، خطواره‌های گسلی و گسل‌های راندگی که با خطواره‌های بی‌سنگی منطبق‌اند و به ترتیب با علامت‌های (F_n) و (Tf_n) مشخص شده‌اند (اندیس n شماره خطواره‌ها یا گسل‌هاست).

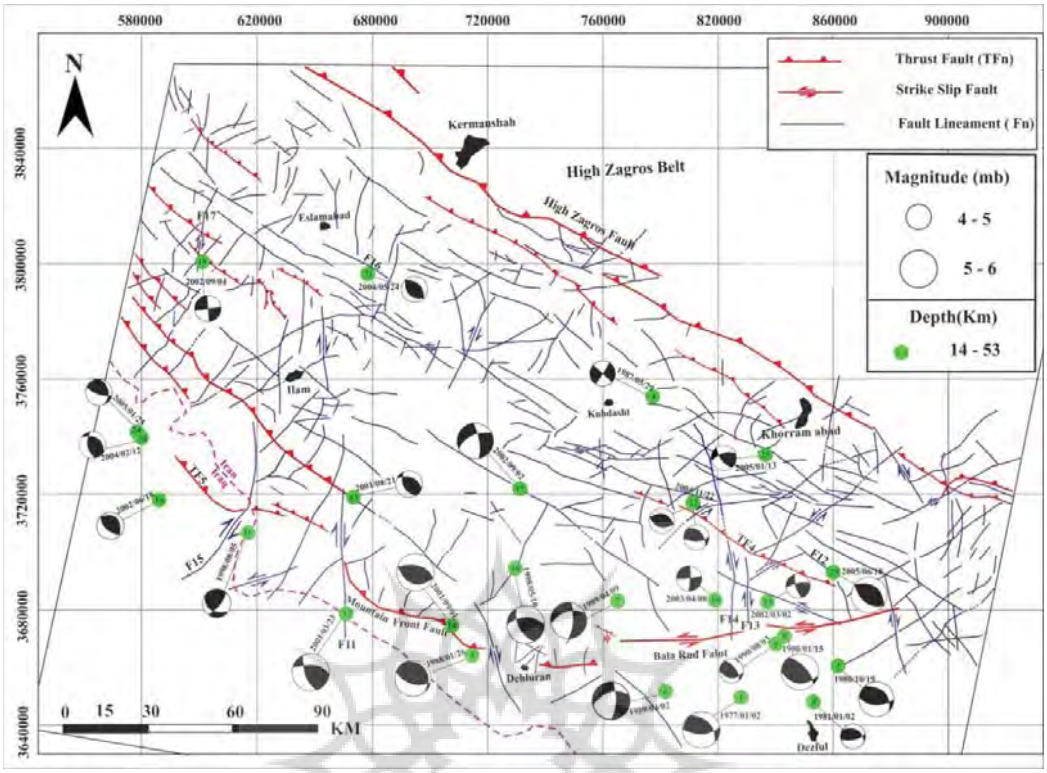
راستای همگرایی تقریباً شمال ـ شمال‌شرق در زاگرس برای دوباره فعال شدن گسل‌های پی‌سنگی با سه راستای عمومی شمال‌غرب با سازوکار معکوس، شمالی ـ جنوبی با سازوکار امتدادلغز راست‌گرد و شمال شرقی با سازوکار امتدادلغز چپ‌گرد (شکل ۱۱) مناسب است. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که دوباره فعال شدن گسل‌های پی‌سنگی با روند تقریباً شمالی ـ جنوبی می‌تواند به توسعه گسل‌های جوان‌تر با روندهای عمومی شمالی ـ جنوبی و نیز خطواره‌های شناسایی‌شده با روند عمومی شمال‌شرق ـ جنوب‌غرب مشابه خطواره‌های شناسایی‌شده در زیرپهنه لرستان منجر گردد. همان‌طور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود، غالب خطواره‌هایی که به‌صورت کامل یا بخشی با شکستگی‌های پی‌سنگی منطبق‌اند، دارای روند شمال‌غرب ـ جنوب‌شرق هستند که هم‌روند با چین‌ها و راندگی‌های کمربند چین‌خورده ـ رانده زاگرس‌اند. از میان برخی انطباق‌های عمده دیگر، می‌توان به انطباق ادامه شمال غرب خطواره‌های مغناطیسی L۱۴ و L۱۵ (شکل ۴) با روند شمال‌غرب، بخش جنوب‌شرق گسل پیشانی کوهستان؛ انطباق خطواره‌های مغناطیسی L۱۳، L۱۴ و L۱۵ (شکل ۴) با روند شرق ـ شمال شرق با گسل امتدادلغز بالارود و نیز انطباق L۵۲ و L۵۳ و L۵۵ و L۵۶ (شکل ۴) با روند شمال ـ شمال غرب، با گسل امتدادلغز خانقین اشاره کرد.

شواهدی از دوباره فعال شدن گسل‌های پی‌سنگی و وقوع دگرشکل‌های جوان به صورت رخدادهای زمین‌لرزه در سراسر فلات ایران ـ همچون زیرپهنه لرستان ـ وجود دارد (Berberian, 1995). در زیرپهنه لرستان، امتداد خطواره‌های گسلی شناسایی‌شده در این مطالعه با سازوکار کانونی به‌دست‌آمده از این زمین‌لرزه‌ها هم‌خوانی دارد و بیشتر دارای روند شمال‌غرب و شمالی ـ جنوبی است و حل سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها، غالباً معکوس با مؤلفه کوچک امتدادلغز با مؤلفه کوچک‌تر معکوس را نشان می‌دهد (شکل ۱۲ و جدول ۱).

از آنجا که کانون زمین‌لرزه‌های زاگرس در پی‌سنگ است، پس سازوکار زمین‌لرزه‌ها می‌تواند سازوکار گسلش در پی‌سنگ را بیان کند و به همین خاطر می‌تواند ملاکی برای تحلیل سازوکار خطواره‌های گسلی شناسایی‌شده در این مطالعه باشد که خصوصیات هندسی و جنبشی یکسانی با گسلش‌های مسبب زمین‌لرزه‌ها دارد. توزیع فراوانی زمین‌لرزه‌ها در بخش جنوب‌شرق زیرپهنه لرستان نشان‌دهندهٔ انطباق نسبی تمرکز آنها در محدوده پهنه گسله بالارود است (شکل ۱۲). سازوکار زلزله‌ها با شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۶، ۷، ۸، ۹ با سازوکار گسل بالارود تطابق مناسبی دارد و بیانگر آن است که غالب زمین‌لرزه‌های این منطقه از جنبش این گسل تأثیر می‌پذیرند (شکل ۱۲).



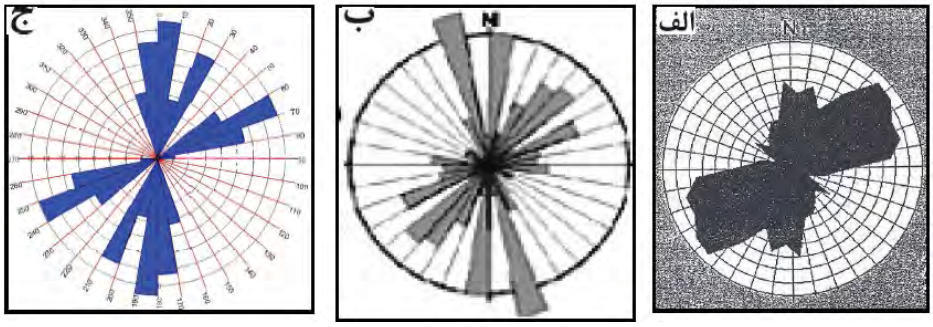
شکل ۱۱. مدل ارائه‌شده برای روندهای اساسی پی‌سنگ در زاگرس و ورقه عربی (برگرفته از Bahroudi & Talbot, 2003)



شکل ۱۲. نقشه مربوط به زمین‌لرزه‌های منطبق با خطواره‌های شناسایی‌شده در این مطالعه در زیرپهنه لرستان (n: شماره زمین‌لرزه‌ها)

عدم انطباق کامل راستای خطواره‌های گسلی شناسایی‌شده در این مطالعه در پوشش رسوبی با راستای گسل‌های پی‌سنگی به تأثیر افق‌های جدایشی پوشاننده پی‌سنگ باز می‌گردد. در زیرپهنه لرستان ۳ سطح جدایشی اصلی شامل رسوبات پالئوزوئیک زیرین (سطح جدایشی قاعده‌ای) پوشاننده پی‌سنگ، رسوبات پابده و گورپی (سطح جدایش بالایی) و رسوبات دشتک با سن تریاس نیز به عنوان سطح جدایشی میانی وجود دارند (Farzipour-Saein et al., 2009b). این لایه‌های جدایشی باعث به سطح نرسیدن اثر گسل‌های پی‌سنگی دوباره فعال‌شده می‌گردند و لذا به توسعه شکستگی‌هایی با روندهای متفاوت بر روی پوشش رسوبی می‌انجامند (برای مثال، ن.ک. مدل آزمایشگاهی Naylor et al., 1986). از جمله این تغییر شکل‌ها، ایجاد خطواره‌های گسلی و تنوع در روند آنهاست. به‌طور مثال در راستای پهنه گسل پی‌سنگی سبزپوشان، قطعات گسلی در پوشش رسوبی با روندهای متفاوت ولی منظم، نسبت به راستای شمالی ـ جنوبی گسله پی‌سنگی اصلی ایجاد می‌شوند که به اثر فعالیت این گسل‌های پی‌سنگی، به صورت مراتب شکستگی در پوشش رسوبی نسبت داده شده‌اند (Yassaghi, 2006).

در ناحیه لرستان ترسیم نمودار گل‌سرخی از روند خطواره‌های گسلی شناسایی در شکل ۱۳ نشان از این دارد که فراوانی ۲ دسته خطواره‌های گسلی با روندهای تقریباً N-S و NE بیشتر از دیگر خطواره‌هاست. نسبت روندهای این خطواره‌های گسلی با خطواره‌های گسلی مطالعه‌شده در جنوب شرق و بخش مرکزی زاگرس نیز نشان از وجود این دو روند از خطواره‌های گسلی عرضی دارد (شکل‌های ۱۳ الف و ب). تمامی این خطواره‌ها به صورت متقاطع و عرضی ساختارهای اصلی کمربند چین‌خورده ـ رانده زاگرس را قطع می‌کنند. روندهای شمالی ـ جنوبی که به موازات گسل‌های اصلی و مهم و راستالغزی همچون کازرون و دنا، ایذه و خانقین هستند، جدایش راستگرد را نشان می‌دهند.



شکل ۱۳. نمودار گل‌سرخی مربوط به خطواره‌های گسلی شناسایی‌شده در زاگرس: الف) ناحیه جنوب‌شرق (مهشادنیا، ۱۳۸۱)؛ ب) ناحیه مرکزی و دزفول (داودی، ۱۳۸۲)؛ و ج) ناحیه لرستان

دسته دوم با روند عمومی شمال‌غرب، خطواره‌هایی به موازات تقریبی گسل راستالغز بالارود را دربرمی‌گیرند، جدایش چپگرد دارند.

همچنین منطبق شدن تعداد کمی از زمین‌لرزه‌های متوسط و بزرگ با خطواره‌های گسلی (جدول ۱). می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که همه گسل‌های پی‌سنگی فعال نیستند و یا اینکه بسیاری از زمین‌لرزه‌ها را نمی‌توان به گسل‌های شناخته‌شده پی‌سنگی و یا خطواره‌های گسلی شناسایی‌شده نسبت داد. این امر می‌تواند به دلیل وجود لایه‌های نمکی سری هرمز در مرز پی‌سنگ و پوشش رسوبی و نیز چندین سطوح جدایشی در پوشش رسوبی باشد که ضمن تعدیل انرژی از رسیدن‌آنها به سطح جلوگیری می‌کنند (به‌طور مثال Berberian, 1995).

تمرکز غالب زمین‌لرزه‌های رخداده در زیرپهنه لرستان در محدوده گسل‌های بالارود و پیشانی کوهستان و همروندی گسلش‌های زمین‌لرزه‌ای این زلزله‌ها با روند گسل‌های موجود در پهنه این دو گسله نشان از آن دارد که این دو پهنه، پی‌سنگی‌اند و در راستای این دو گسله، میزان جابه‌جایی در پی‌سنگ بیشتر از دیگر گسل‌های زیرپهنه لرستان است.

دیگر خطواره‌های شناسایی‌شده که با روند شکستگی‌های پی‌سنگی هم‌روند نیستند، مراتب فعالیت جوان‌تر این پهنه‌های گسلی پی‌سنگی در پوشش رسوبی هستند که وجود سطوح جدایشی موجب عدم توسعه گسل‌های پی‌سنگی در دیگر بخش‌های زیرپهنه لرستان در سطح گردیده است. همچنین تأثیر حرکت آنها موجب توسعه خطواره‌های گسلی به‌صورت مراتب جوان‌تر فعالیت آنها در پوشش رسوبی شده است.

۴- منابع

Ameen, M.S., 1992, **Effects of Basement Tectonics on Hydrocarbon Generation, Migration, and Accumulation in Northern Iraq**, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 76, 356-370.

Bahroudi, A., Talbot, C.J., 2003, **The Configuration of the Basement Beneath the Zagros Basin**, Journal of Petroleum Geology, Vol. 26 (3), 257-282.

Barzegar, F., 1994, **Basement Fault Mapping of East Zagros Folded Belt (S.W. Iran), based on space-borne remotely sensed data**, Proceeding of the tenth thematic conference on geologic remote sensing. 1: 455-466.

Barzegar, F., 1994, **Basement Fault Mapping of Zagros Folded Belt (S. W. Iran) Based on Space-Born Remotely Sensed Data**,

Proceeding of The 10th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing: Exploration, Environment and Engineering. San Antonio, Texas, USA, Vol. 10, 455-466.

Berberian, M., 1995, **Master-Blind-Thrust Faults Hidden under the Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics**, Journal of Tectonophysics, vol. 241, 193-224.

Bushara, M.N., 1995, **Subsurface Structure of the Eastern Edge of the Zagros Basin as Inferred from Gravity and Satellite Data**, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 79, 1259-1274.

Davoodi, Z., 2003, **Application of Rs Methods In Studies of Subsurface Fault (Possible Basement Fault) and their Deformational Style In North-West Zagros**, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University.

Edgell, H.S., 1992, **Basement Tectonics of Saudi as Related to Oil Field Structures**, International Basement Tectonics Association Publication, 9, 169- 193.

Falcon, N.L., 1969, **Problem of the Relationship between Surface Structures and Deep Displacements Illustrated By the Zagros Range: Time and Place in Orogeny**, Journal of Geological Society Special Publications, Vol. 4, 9-22.

Farzipour-Saein, A., Yassagi, A., Sherkati, S., Koyi, H., 2009a, **Basin Evolution of the Lurestan Region in the Zagros Fold-and-thrust Belt**, **Iran**, Journal of Petroleum Geology, Vol. 36, 5–20.

Farzipour-Saein, A., Yassagi, A., Sherkati, S., Koyi, H., 2009b, **Mechanical Stratigraphy and Folding Style of the Lurestan Region in the Zagros Fold–Thrust Belt**, **Iran**, Journal of the Geological Society, London, Vol .166, 1101–1115.

Furst, M ., 1990, **Strike- Slip Fault abd Diapirism of the South- Eastern Zagros Ranges,** Proceeding of the Symposium on Diapirism, Bander Abbas, Hormozgan, Iran, Vol. 2, 149-181.

Henson, F.R.S., 1951, **Observations on the Geology and Petroleum Occurrences of the Middle East**, Proceedings of the 3th World Petroleum Congress,Vol. 1, 118-140.

Hessami, K., Koyi, H.A., Talbot, C.J., 2001, **The Significance of Strike-Slip Faulting in the Basement of the Zagros Fold and Thrust Belt**, Journal of Petroleum Geology, Vol. 24(1), 5-28.

Hobbs, W.H., 1904 **, Lineaments of the Atlantic Border Region**, Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 15, 483-506 .

Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W.,(Ed.), 2000, **Remote Sensing and Image Interpretation**, New York, John Wiley & Sons.

Mahshadnia, F., 2002, **Application of Rs Methods in Studies of Subsurface Fault and their Deformational Style in South-East Zagros**, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University.

McQuillan, H., 1991, **The Role of Basement Tectonics in the Control of Sedimentary Facies**, **Structural Patterns and Salt Plug Emplacements in the Zagros Fold Belt of Southwest Iran**, Journal of Southeast Asian Earth Sciences, Vol. 5, 453-463.

Mobaser, K., Babaie, A., 2007, **Kinmatic and Tectonics Significans of The Fold- and Faultrelated Fracture Systems In The Zagros Mountains**, **Southern Iran**, Journal of Tectonophysics, Vol. 451, 156–169

Naylor, M.A., Mandl, G., Sijpestenijin, C.H.K., 1986, **Faults Geometries in Basementinduced Wrench Faulting under Different Initial Stress States**, Journal of structural geology, Vol. 8, 737-752.

Nogol-e-Sadat, M.A., Ahmadzadeh Heravi, M., Almasian, M., Poshtkouhi, M. Hushmandzadeh, A., 1993, **Tectonic Map of Iran, Scale 1/1000000** , Geology Survey of Iran.

O' leary, D.W., Friedman, I.D., & Phon, H.A., 1976, **Lineament, Linear, Lineation: Some Proposed New Standards for old Terms,** Geological Society of American Bulltein, Vol. 87, 1463-1479.

Player, R.A., Halstrand, R.F., Ghashghaie, M., 1966, **The Central Lurestan Geological Survey 1963-1964**, IOOC Report No. 1103 (Unpub.).

Sherkati, H., Letouzey, J., 2005, **Variation of Structural Style and Basin Evolution in the Central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment)**, **Iran**, Marine and Petroleum Geology, Vol. 21, 535–554.

Stöcklin, J., 1968, **Structural History and Tectonics of Iran: A Review**, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 52, 1229-1258.

Tabatabai, H., 1990&1997, **Basement Countour Map (South West Iran),** Scale 1/1000000, N. I. O. C., Reg., No. 35393/A, Tehran.

Talebian, M., and J. Jackson, 2004, **A Reappraisal of Earthquake Focal Mechanisms and Active Shortening in the Zagros Mountains of Iran**, Geophys. J. Int., 156, 506-526.

Yassaghi, A., 2006, **Integration of Landsat Image Interpretation and Geomagnetic Data on Verification of Deep-seated Transverse Fault Lineaments in SE Zagros**, **Iran**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 27(18-20), 4529-4544.

Yousefi, E.Q., 1992, **Magnetic Lineaments Map of Iran, Scale 1/2500000** , Geology Survey of Iran.

http://www.iiees.ac.ir.

http://www.isc.ac.uk/search/bulletin/index.html.

http://www.Seismology.harvard.edu/CMT.search.html.