

- of the Most Important Factors Effectuated on Poly Mianrodan Aquifer Susceptibility in GIS Environments**, Proceeding of national Geomatic 2008 conference.
- Rangzan K., Zyaeyan P., Mirzaey L., Alijani F., 2006, **The Zonation of Varamin Aquifer Plain Susceptibility Using Drastic Method and Experimental Evaluation Effects of Unsaturation Zone in GIS Environments**, Iranian Geology journal, Volume 2, No. 6, 21-23.
- Razaghmanesh M., Mohamadi K., 2003, **The Estimation of Groundwater Susceptibility Using DRASTIC Methods, Case study of Chamchamal plain**, proceedings of the second student conference of soil and water resources conference, agriculture faculty of Shiraz university.
- Rihhi-Madvar H., Ayyounzadeh S.A., Khadangi E., Ebadzadeh M.M., 2009, **An Expert System for Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams by Using ANFIS**, Expert system with applications, 36(4), 8589-8596.
- Riahi-Madvar H., S.A.A., 2008, **Estimating Longitudinal Dispersion Coefficient of Pollutants Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System**, Water and west water, 67: 34 - 46.
- Shekhar, S.H. and Xiong, H., 2007, **Encyclopedia of GIS**, Springer.
- US-EPA, 1996, **Drinking Water Regulations and Health Advisories: Washington, D.C.,U.S.** Environmental Protection Agency, Office of Water, 822-B-96-002, 11.
- Vrba, J. and Zoporozec A., 1994, **Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability**, IAH International Contribution for Hydrogeology, 16. Hannover7 Heise, 131.
- Zadeh, L.A., 1965, **Fuzzy Sets**, Information Control, 8(3): 338-353.



سجش از دور

و

GIS ایران



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

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

۱۹-۲۴

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

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 پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۷/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۹/۲۹

چکیده

زیرپهنه لرستان، در بخش شمال غرب پهنه زاگرس چین خورده قرار دارد. پوشش رسوبی این زیرپهنه به مانند دیگر بخش‌های کمربند چین خورده - رانده زاگرس، تحت تأثیر فعالیت مجدد ساختارهای زیرسطحی در خلال کوهزایی میوسن پسین زاگرس دچار دگرپختی‌هایی 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 انحنای، قطع‌شدگی و جدایش ساختارها همچون انحنای اثر محوری چین‌ها، اقدام به شناسایی و به نقشه درآوردن خطواره‌های گسلی - که می‌توانند مرتبط با فعالیت گسل‌های زیرسطحی باشند - شده است. این خطواره‌های گسلی علاوه بر دارا بودن روند شمال - غرب (مربوط به گسل‌های راندگی کمربند چین خورده - رانده)، دارای دو روند عمومی دیگر شمال - 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 شناسایی شده با شکستگی‌های پی‌سنگی نشانگر پی‌سنگی بودن آنهاست؛ و بیشترین انطباق‌ها به خطواره‌های گسلی که روند شمال - شمال غرب دارند مربوط می‌شود. به علاوه، انطباق سازوکار و روند برخی از زمین‌لرزه‌های رخ داده در زیرپهنه لرستان، با این خطواره‌های گسلی شناسایی شده 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، به گونه‌ای 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 بالاورد 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.

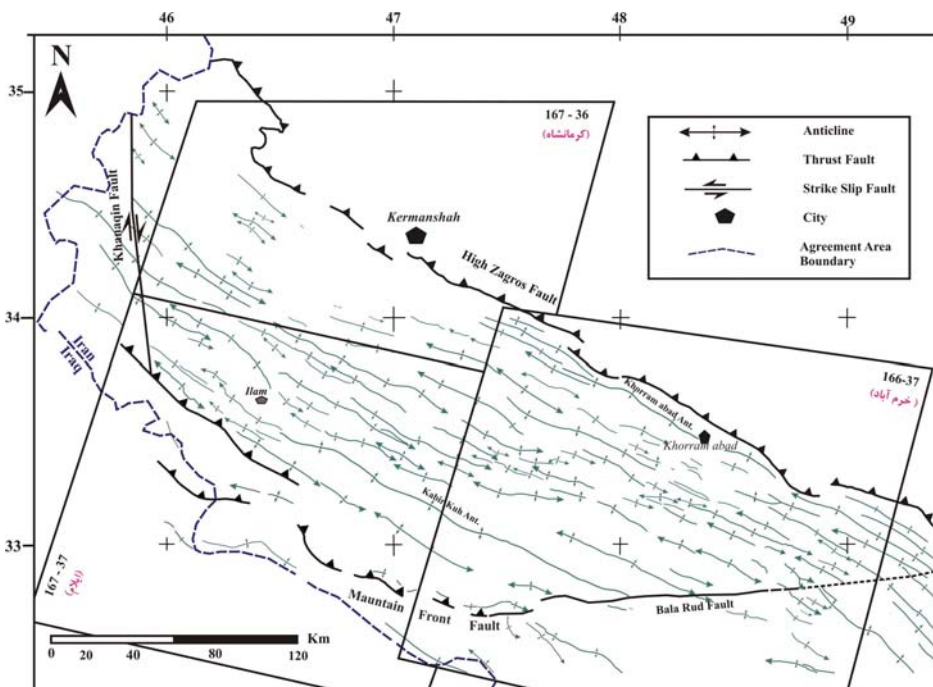
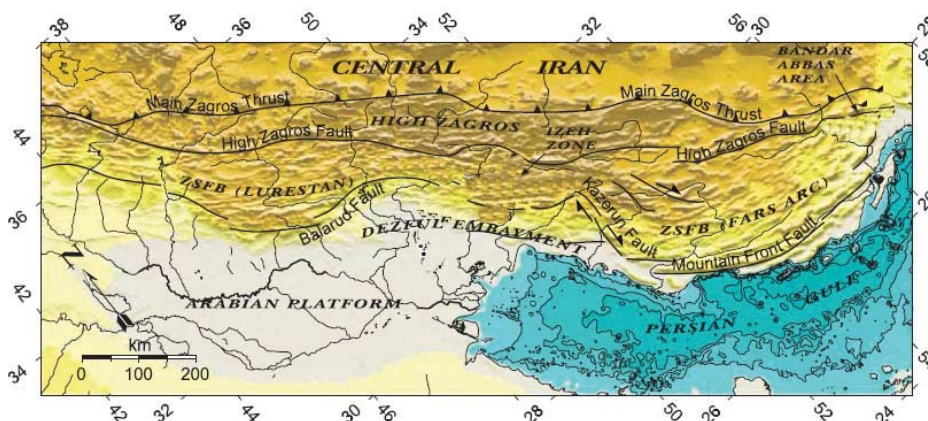
کلیدواژه‌ها: زاگرس چین خورده، زیرپهنه لرستان، روش سنجش از دور، خطواره‌های گسلی، خطواره‌های مغناطیسی.

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

۱- مقدمه

را عمدتاً به صورت 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.

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



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) نقشه 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.

آن‌گاه ارتباط آنها با گسل‌های پی‌سنگی با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک هوایی تحلیل گردیده است. زیرپهنه لرستان در بخش شمال غرب زاگرس چین‌خورده - رانده قرار دارد که از شمال شرق 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، ماهواره‌های 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، دربرگیرنده این سه مرحله است: پیش‌پردازش، پردازش، و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای.

در زمان ثبت تصویر به‌وسیله سنجنده ماهواره‌ای خط‌هایی 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 - و تا پیش از مرحله تفسیر - روی تصاویر

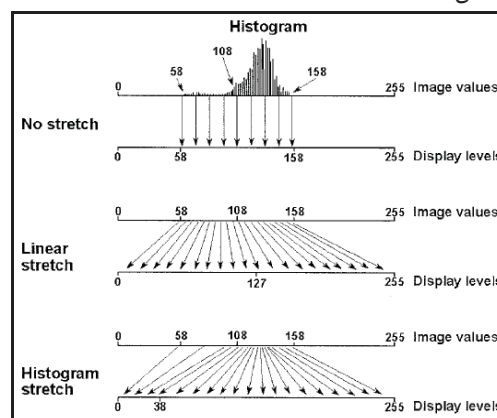
کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس (شکل ۱ الف)، به علت موقعیت خاص زمین‌ساختی، تنوع ضخامت و رخساره‌های رسوبی و سبک چین‌خوردگی، الگوی خاصی از دگرریختی‌های ساختاری و فعالیت‌های نوزمین‌ساختی و لرزه زمین‌ساختی را نشان می‌دهد (Berberian, 1995). از مهم‌ترین این ویژگی‌ها، انحنا و خمش تأثیر سطح محوری چین‌ها یا قطع‌شدگی آنها (شکل ۱ ب) است (Barzegar, 1994). از آنجا که این دگرریختی‌ها عمدتاً با گسلش‌های سطحی ارتباطی ندارند، گسل‌های زیرسطحی تأثیری عمده بر آنها می‌نهد (Yassaghi, 2006). از دیگر مسائل در کمربند چین‌خورده - 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 - 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 جنوب شرق زاگرس و در زیرپهنه‌های ساختاری دزفول و ایذه و فارس به نقشه درآمده‌اند (Furst, 1990; Barzegar, 1994; Hessami, 2007; Mobasher, 2007; Yassaghi, 2006; et al., 2001). 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

فیلترگذاری نیز نوعی تغییر ارزش‌های طیفی است که در آن ارزش هر پیکسل با توجه به ارزش پیکسل‌های مجاور تغییر می‌کند و تصویر جدید با کنتراستی متفاوت از تصویر اصلی، تشکیل می‌شود در این مطالعه از دو نوع فیلتر بالاگذر Gaussian و Edge Sharpening استفاده شده است (شکل ۳). فیلترهای بالاگذر که به آنها واضح‌کننده یا بارزساز لبه‌ها نیز گفته می‌شود، برای برطرف کردن نویزهای خطی با فراوانی کم به کار می‌روند. برای ایجاد تصاویر رنگی از فیلتر RGB و ترکیب باندهای ۷۴۱ و ۵۳۱ و ۷۴۲ استفاده می‌شود. فیلتر RGB شامل رنگ‌های قرمز و سبز و آبی است. مراحل مختلف پردازش تصاویر با کمک نرم‌افزار ژئوماتیکا انجام شده است. در مرحله تفسیر، که پس از انجام عملیات پردازش است، دو شیوه تفسیر چشمی و یا رقومی برای تفسیر و به نقشه کشیدن خطواره‌ها به کار می‌روند. تفسیر چشمی، بر روی تصاویر ماهواره‌ای چاپ‌شده در مقیاس‌های مختلف و با استفاده از طلق و ماژیک صورت می‌گیرد؛ اما تفسیر رقومی، با استفاده از ابزارهای موجود در محیط دو نرم‌افزار PCI Geomatica و ۷۹۱ و Arc GIS 92 انجام می‌شود. شناسایی خطواره‌ها با تلفیق این دو روش صورت گرفته است. لازم به ذکر است که برای ترسیم نقشه‌ها و نمودارهای گل‌سرخ‌ی این مطالعه به ترتیب از نرم‌افزارهای Corel draw و Rock Work استفاده شده است.

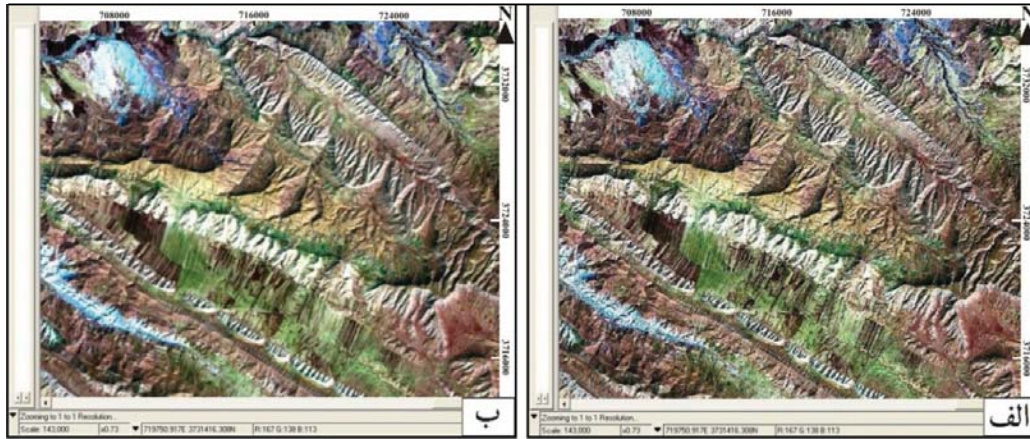
خطواره‌های گسلی در واقع تأثیرات سطحی گسل‌های پنهان و یا پی‌سنگی هستند، و به همین خاطر تحلیل خاستگاه این خطواره‌های گسلی و ارتباط آنها با گسل‌های پنهان و پی‌سنگی می‌تواند از طریق استفاده از اطلاعات زیرسطحی مانند نقشه‌های شکستگی‌های پی‌سنگی و داده‌های لرزه‌ای صورت گیرد. این داده‌ها برای تحلیل و پردازش خطواره‌های گسلی با منشأ پی‌سنگی به کار می‌رود. در زیرپهنه لرستان، ۵۶ خطواره مغناطیسی و شکستگی‌های پی‌سنگی، به‌وسیله مراجعی که در ادامه ذکر می‌گردند معرفی شده (شکل ۴) و نمودار گل‌سرخ‌ی مربوط به این خطواره‌ها نیز در همین شکل ارائه گردیده است. در ادامه به ذکر این خطواره‌های پی‌سنگی پرداخته می‌شود.

انجام می‌شود و هدف آن، به‌دست آوردن تصویر خروجی جدید و مناسبی برای تفسیر است. در این مطالعه، از سه حالت «افزایش کنتراست، فیلترگذاری و ایجاد تصویر رنگی» برای تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. در افزایش کنتراست برای بهبود تصاویر، از حالت افزایش کنتراست خطی (Linear Contrast Stretching) و حالت افزایش کنتراست تعادل‌سازی (Equalize Contrast Stretching) بهره‌گیری می‌شود. در روش افزایش کنتراست خطی، ابتدا درجات روشنایی به‌صورت خطی و یکسان با ارزش مساوی برای همه درجات و بدون حذف درجات روشنایی در محدوده صفر تا ۲۵۵ برای باندهای مختلف، کشش پیدا می‌کنند؛ و در مرحله بعدی با توجه به هیستوگرام مربوط، محدوده‌ای که فراوانی کمتری دارد حذف می‌شود و بقیه محدودیت به‌صورت خطی بین صفر تا ۲۵۵ افزایش کنتراست می‌یابند. در روش افزایش کنتراست تعادل‌سازی محدوده‌ای از درجات روشنایی با ارزش‌های غیرمساوی برای درجات آن، در محدوده صفر تا ۲۵۵ گسترش پیدا می‌کنند؛ یعنی قسمت‌های مختلف هیستوگرام بر اساس فراوانی‌شان افزایش کنتراست خواهند داشت. در نتیجه، قسمت‌هایی که فراوانی بیشتری دارند آشکارسازی می‌شوند و از قسمت‌های دارای فراوانی کمتر چشم‌پوشی می‌گردد (شکل ۲).

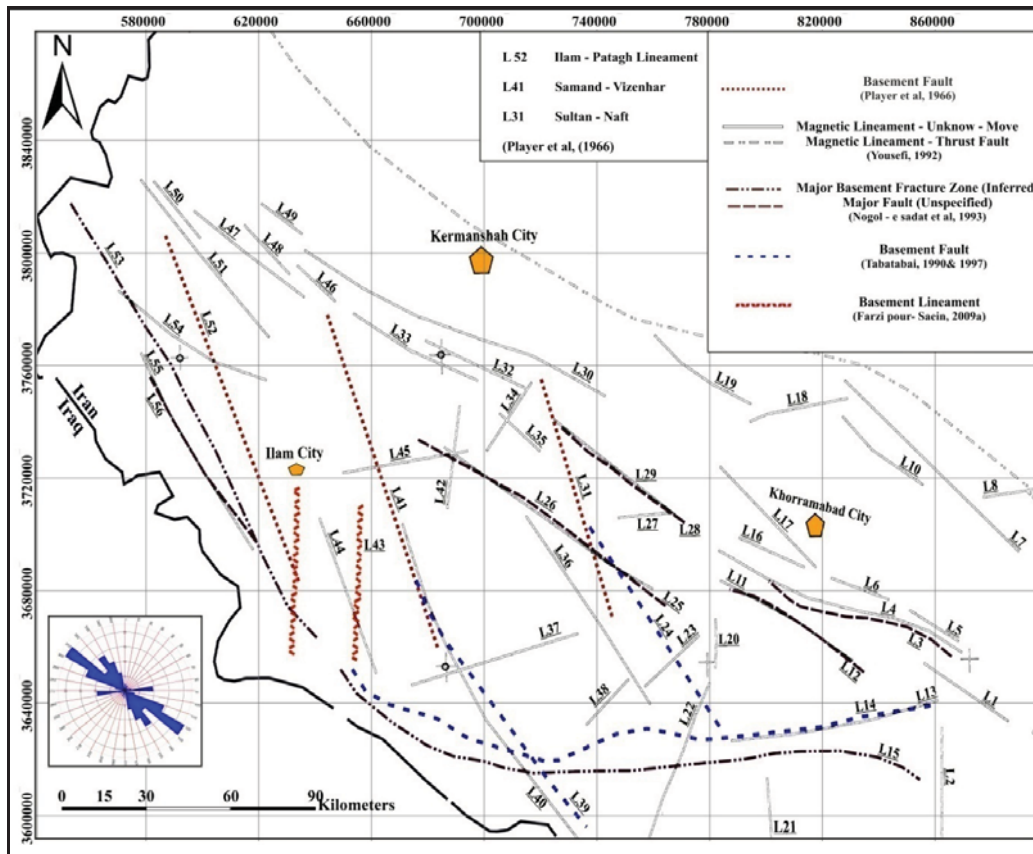


شکل ۲. دو نوع افزایش کنتراست
منبع: Lillesand & Kiefer, 2000

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



شکل ۳. استفاده از فیلتر بالاگذر: الف) فیلتر Edge Sharpening؛ ب) فیلتر Gaussian - 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 به کار رفته 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، تهیه‌شده 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 (Separation) را نشان می‌دهند. در واقع تظاهر گسل‌های نرمال و معکوس موجب قطع‌شدگی و جابه‌جایی واحدهای سنگی به صورت 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).

• (1966) Player et al. در نتایج مطالعات صحرایی لرستان، وجود سه خطواره شمالی - جنوبی را تأیید کرده‌اند. این سه خطواره از غرب به شرق عبارت‌اند از خطواره ایلام - پاتاق، خطواره سمند - ویزنه‌ار، و خطواره سلطان - 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 - پاتاق، فعالیت این خطواره را تا ائوسن و گروهی تا امروز قابل تشخیص دانسته‌اند.













• (1990, 1997) Tabatabai و (1992) Yousefi به معرفی شکستگی‌ها و خطواره‌های پی‌سنگی مغناطیسی پرداخته‌اند (شکل ۴). این خطواره‌های مغناطیسی، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از عملیات مغناطیس‌هوایی تفسیر شده‌اند و معرف گسل‌های موجود در پی سنگ و سطوح ضعف قدیمی هستند.

• (1993) Nogol-e-Sadat et al. در نقشه تکتونیک پی‌سنگ ایران، موقعیت شکستگی‌های اصلی پی‌سنگی و خطواره‌های مغناطیسی را مشخص کرده‌اند. همچنین (2009a) Farzipour Saein et al. 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 - جنوبی (شکل ۴) معرفی کرده‌اند و آن را مربوط به فعالیت مجدد خطواره پی‌سنگی عربی از اواخر کرتاسه دانسته‌اند.

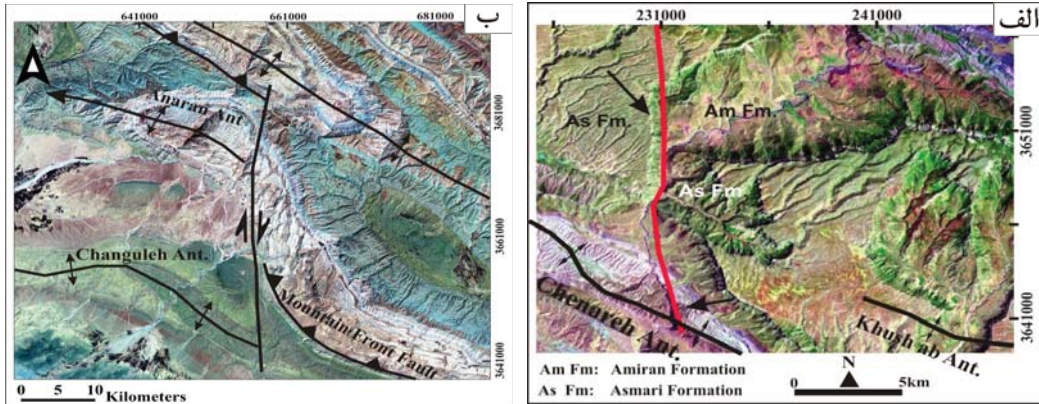
علاوه بر داده‌های زمین مغناطیسی، از داده‌های لرزه‌ای مربوط به زیرپهنه لرستان نیز استفاده شده و در واقع تلفیق داده‌های سه منبع لرزه‌ای - شامل دانشگاه هارارد، مرکز لرزه‌نگاری بین‌المللی (ISC) و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی - بدین منظور به کار رفته است (جدول ۱). در این مطالعه از زمین‌لرزه‌هایی که سازوکار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

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

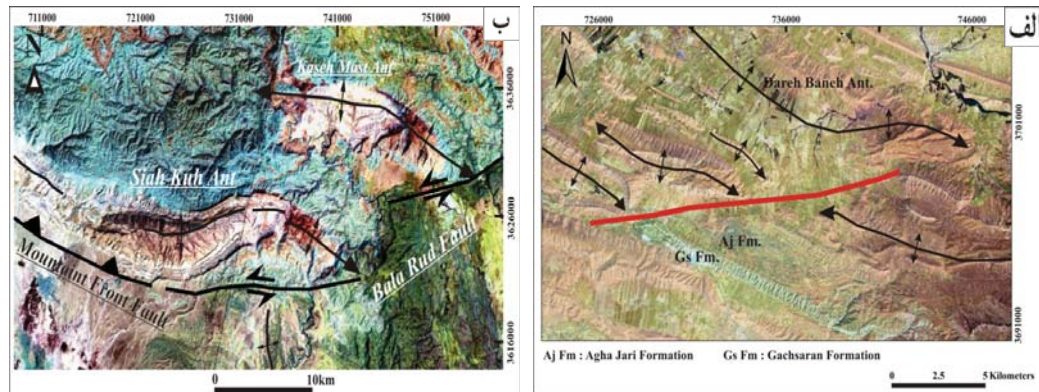
جدول ۱. انطباق خصوصیات خطواره‌های گسلی شناسایی شده با زمین‌لرزه‌های رخ داده در زیرپهنه لرستان

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	۵/۳	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	۴/۳	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	۱۲۳		F12، (۱۲۶)

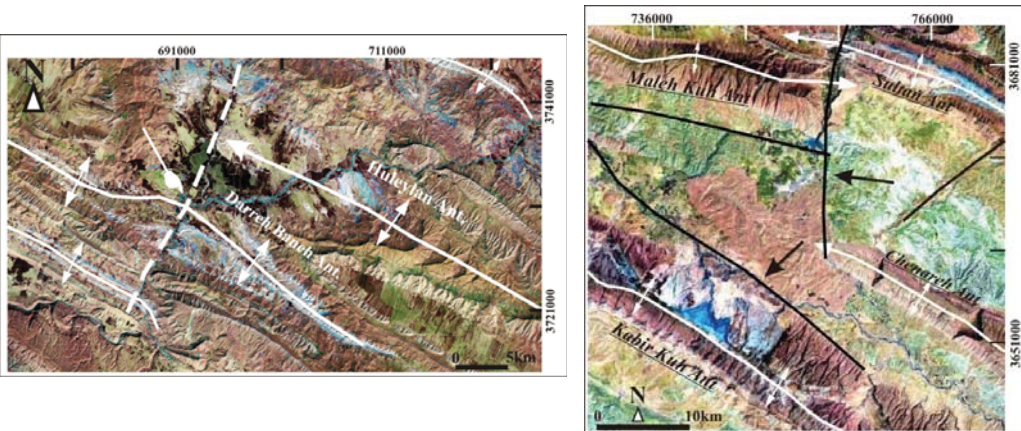
ثريا عباسی و علی يساقی



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

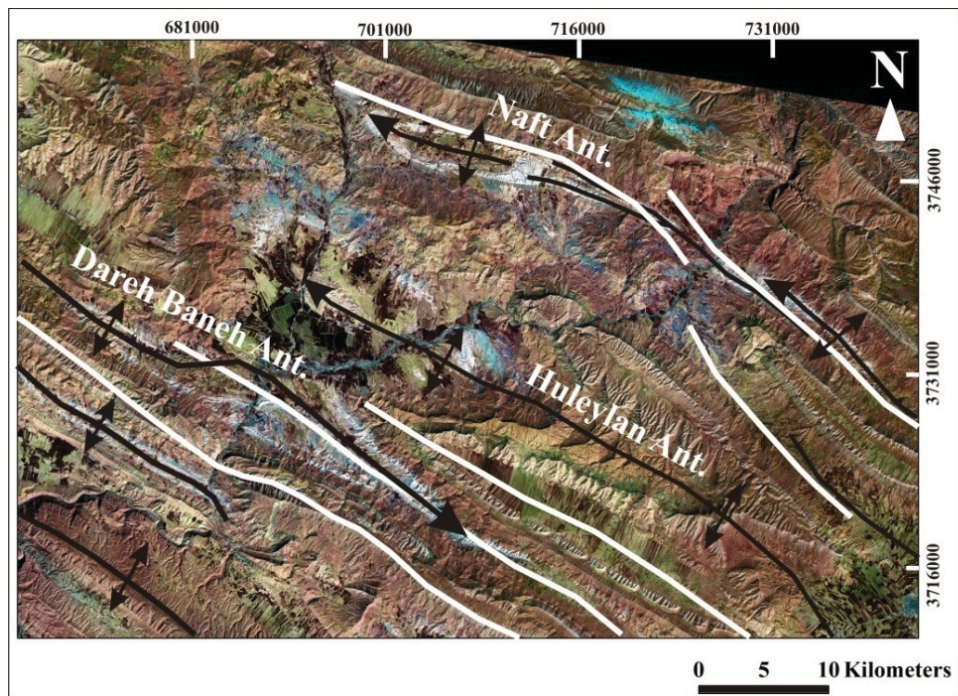


شکل ۶. الف) خمیدگی و کشیدگی اثر سطح محوری تاقدیس‌ها و قطع‌شدگی لایه‌های سازندهای گچساران و آغاچاری بر اثر عملکرد خطواره گسلی؛ و ب) اثر کشیدگی و خمیدگی تاقدیس‌ها در دو جهت مختلف در طرفین گسل بالا رود.

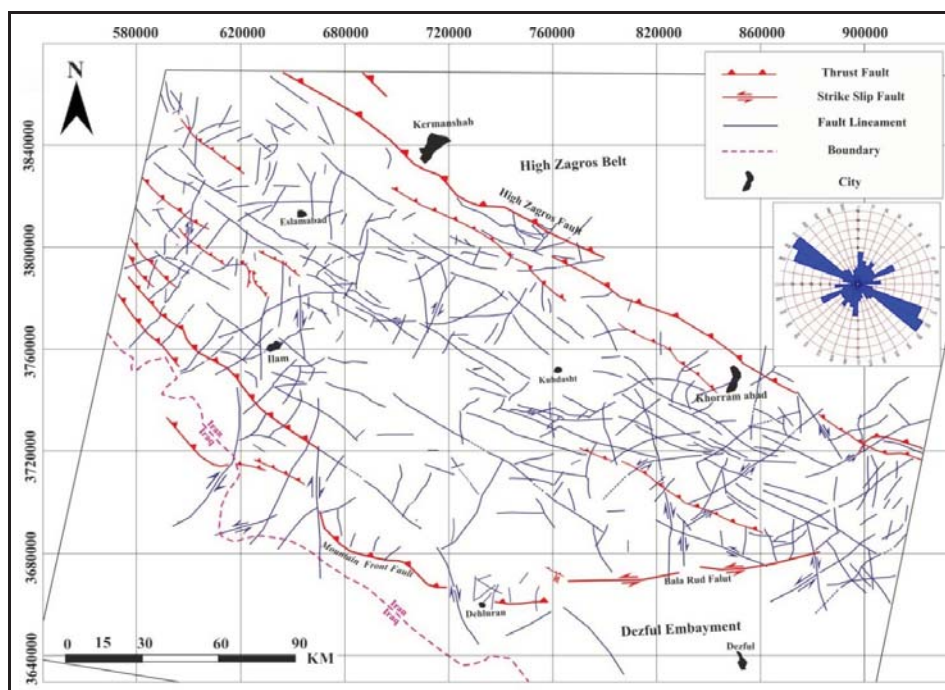


شکل ۷. الف) بخش مستقیم مسیر رودخانه‌ها بر اثر عملکرد خطواره‌ها؛ و ب) تغییر امتداد مسیر رودخانه بر اثر عملکرد خطواره

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



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



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

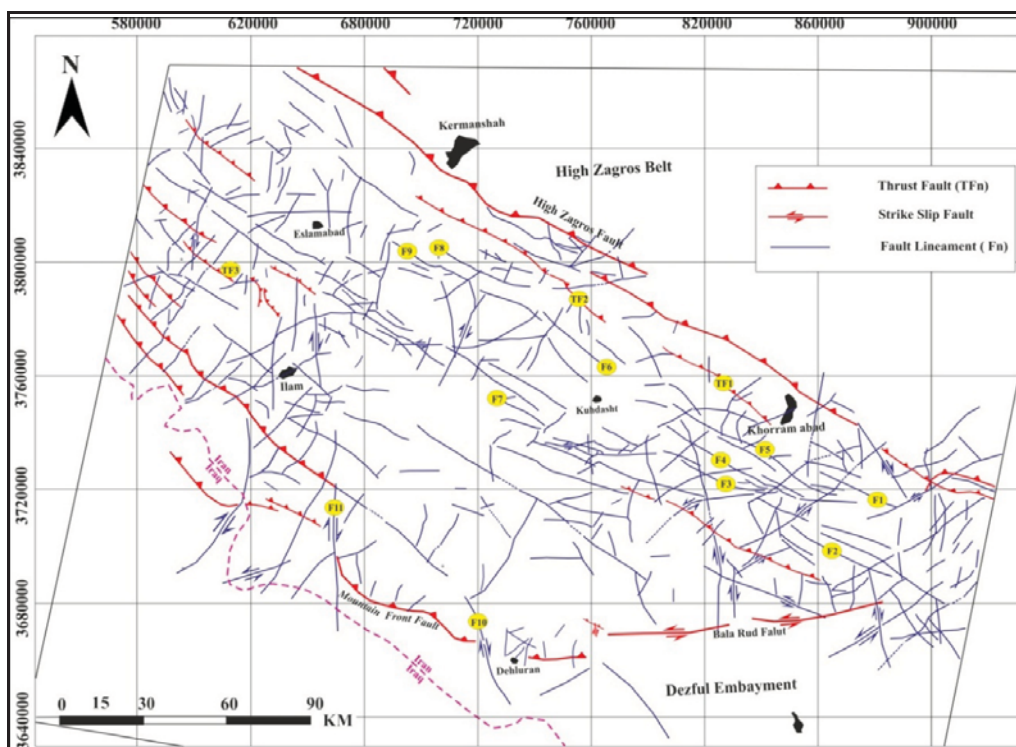
تصویر ماهواره‌ای شناسایی می‌شوند.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

اعتقاد گسترده بر آن است که پی‌سنگ در کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس ادامه پی‌سنگ در ورقه عربی است (ن.ک. Falcon, 1969; McQuillan, 1991; Ameen, 1992) که به‌وسیله گسل‌هایی با روند شمالی - 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 سعودی (Edgell, 1992) نیز روی داده است.

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 به دلیل 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

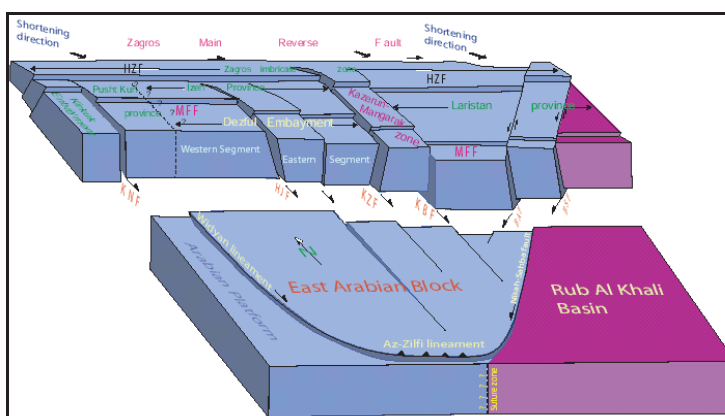


شکل ۱۰. نقشه خطواره‌های گسلی شناسایی‌شده در این مطالعه و گسل‌های راندگی زیرپهنه لرستان، خطواره‌های گسلی و گسل‌های راندگی که با خطواره‌های پی‌سنگی منطبق‌اند و به ترتیب با علامت‌های (F_n) و (Tf_n) مشخص شده‌اند (اندیس n شماره خطواره‌ها یا گسل‌هاست).

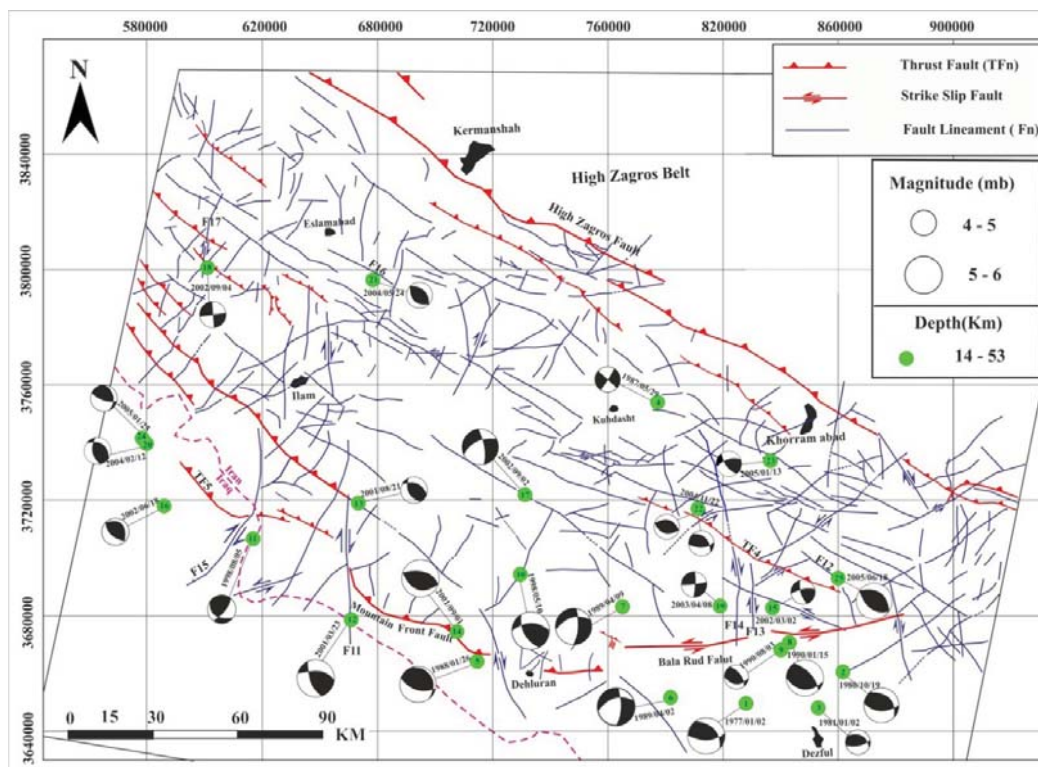
شواهدی از دوباره فعال شدن گسل‌های پی‌سنگی و وقوع دگرشکل‌های جوان به صورت رخداد‌های زمین‌لرزه در سراسر فلات ایران - همچون زیرپهنه لرستان - وجود دارد (Berberian, 1995). در زیرپهنه لرستان، امتداد خطواره‌های گسلی شناسایی شده در این مطالعه با سازوکار کانونی به‌دست‌آمده از این زمین‌لرزه‌ها هم‌خوانی دارد و بیشتر دارای روند شمال غرب و شمالی - 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 شناسایی شده در این مطالعه باشد که خصوصیات هندسی و جنبشی یکسانی با گسلش‌های مسبب زمین‌لرزه‌ها دارد. توزیع فراوانی زمین‌لرزه‌ها در بخش جنوب شرق زیرپهنه لرستان نشان‌دهنده انطباق نسبی تمرکز آنها در محدوده پهنه گسله بالارود است (شکل ۱۲). سازوکار زلزله‌ها با شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، 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).

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



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

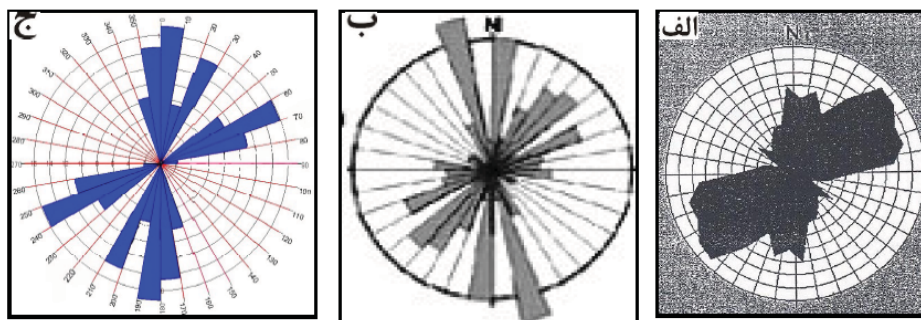


شکل ۱۲. نقشه مربوط به زمین‌لرزه‌های منطقه با خطواره‌های شناسایی شده در این مطالعه در زیرپهنه لرستان (n: شماره زمین‌لرزه‌ها)

م تفاوت ولی منظم، نسبت به راستای شمالی - جنوبی گسله پی سنگی اصلی ایجاد می‌شوند که به اثر فعالیت این گسل‌های پی سنگی، به صورت مراتب شکستگی در پوشش رسوبی نسبت داده شده‌اند (Yassaghi, 2006). در ناحیه لرستان ترسیم نمودار گل‌سرخ 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 مطالعه شده 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 کمر بند چین خورده - رانده زاگرس را قطع می‌کنند. روندهای شمالی - جنوبی که به موازات گسل‌های اصلی و مهم و راستالغزی همچون کازرون و دنا، ایدزه و خانقین هستند، جدایش راستگرد را نشان می‌دهند.

عدم انطباق کامل راستای خطواره‌های گسلی شناسایی شده در این مطالعه در پوشش رسوبی با راستای گسل‌های پی سنگی به تأثیر افق‌های جدایشی پوشاننده پی سنگ باز می‌گردد. در زیرپهنه لرستان ۳ سطح جدایشی اصلی شامل رسوبات پالئوزوئیک زیرین (سطح جدایشی قاعده‌ای) پوشاننده پی سنگ، 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 پی سنگی دوباره فعال شده می‌گردند و لذا به توسعه شکستگی‌هایی با روندهای متفاوت بر روی پوشش رسوبی می‌انجامد (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 پی سنگی سبزپوشان، قطعات گسلی در پوشش رسوبی با روندهای

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



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

توسعه گسل‌های پی‌سنگی در دیگر بخش‌های زیرپهنه لرستان در سطح گردیده است. همچنین تأثیر حرکت آنها موجب توسعه خطواره‌های گسلی به صورت 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**,

دسته دوم با روند عمومی شمال‌غرب، خطواره‌هایی به موازات تقریبی گسل راست‌الغز بالارود را دربرمی‌گیرند، جدایش‌چپگرد 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 رسیدن آنها به سطح جلوگیری می‌کنند (به‌طور مثال Berberian, 1995).

تمرکز غالب زمین‌لرزه‌های رخ داده در زیرپهنه لرستان در محدوده گسل‌های بالارود و پیشانی کوهستان و همروندی گسل‌های 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

- 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 and 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, **Kinematic 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.iiées.ac.ir>
- <http://www.isc.ac.uk/search/bulletin/index.html>
- <http://www.Seismology.harvard.edu/CMT.search.html>