



فصلنامه زمین ساخت

پاییز ۱۳۹۹ ، سال چهارم ، شماره ۱۵

doi: 10.22077/jt.2021.1676

تغییر جهت میدان تنش در پهنه گسلی کاشان در زمان نئوژن، بخش میانی پهنه ارومیه دختر

سیما ناقه^۱، میثم تدین^{۲*}، همایون صفایی^۳

۱- دانشجوی دکتری تکنیک گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

۲- استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان، ایران

۳- دانشیار بازنشسته، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶

چکیده

پهنه گسلی کاشان در ۳۰ کیلومتری جنوب شرق شهر کاشان با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی و درازای ۸۰ کیلومتر در بخش میانی پهنه ماگمایی ارومیه-دختر گسترش یافته است. این پهنه گسلی واحدهای آتشفشانی ائوسن، توده‌های نفوذی و کربناته الیگومیوسن، واحدهای رسوبی میوسن و کواترنری را قطع کرده است. داده‌های ساختاری برداشت شده نشانگر راستای شمال غربی-جنوب شرقی و سازوکار برشی راستگرد با مولفه کوچک فشارشی برای گسل اصلی کاشان به عنوان پهنه اصلی گسلی در منطقه است. نتایج حاصل از برگردان تنش دیرین و داده‌های ساختاری برداشت شده نشانگر تغییر راستای تنش فشارشی از شمال شرقی-جنوب غربی به شمالی-جنوبی از زمان میوسن میانی به بعد است. این رژیم فشارشی شمالی-جنوبی سبب چین خوردگی و گسل خوردگی سازندهای قم و قرمز بالایی با امتداد تقریبی شرقی-غربی و همچنین ته نشست رسوبات تخریبی پلیوسن و کواترنری در منطقه به ویژه در گرابین‌هایی با امتداد شمالی-جنوبی شده است.

واژه‌های کلیدی: پهنه گسلی کاشان، سازوکار فشاری-برشی راستگرد، پهنه ارومیه-دختر، تنش دیرین.



Change in direction of stress field in Kashan fault zone during Neogene, Middle part of Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc.

Nagheh .S ¹; Tadayon .M ^{2*} ; Safaei .H ³

^۱-Sima nagheh/ PhD student in Tectonics, Department of Geology, University of

^۲-Meisam tadayon/ Department of Geology, University of Isfahan

^۳-Homayon safaei/ Retired from the Department of Geology, University of Isfahan

Abstract

The Kashan fault zone is located 30 km Southeast of Kashan with strike NW-SE and 80 km length that propagated in the middle part of Urumieh-Dokhtar magmatic arc. This fault zone intersects Eocene-volcanic intrusive, Oligocene conglomerates, Oligo-Miocene carbonate masses, Neogene and Quaternary sedimentary Units. In this research, reconstruction of paleo and neo-stress and structural evolution of Kashan fault zone has been assessed. The collected structural data indicates the NW-SE trend and right-lateral transpression for main Kashan fault as the main fault zone in the region. The result of paleo-stress inversion and collected structural data indicate that after likely Middle Miocene (ca. Upper Miocene) the regional stress regime has been changed in which the direction of the maximum compression changed from NE-SW to N-S. The new N-S directed maximum compression caused the propagation of the E-W trending folds of the Neogene sediments and right-lateral kinematics of Kashan fault zone in the area. Furthermore, new N-S directed maximum compression formed the N-S trending grabens that have been filled by Pliocene and Quaternary detrital deposits.

Keywords: Kashan fault zone, Right lateral transpressional, Urumieh-Dokhtar zone, Paleo-stress



مقدمه

اساس قانون دست راست (RHR) انجام و عنوان شده است. همچنین جهت شناسایی بهتر عناصر ساختاری از داده های (ETM+) ماهواره Landsat7 به شماره (۱۶۴/۳۷) که دارای ۸ باند طیفی می باشد، استفاده شده است. در این پژوهش به بازسازی تنش دیرین و تحلیل تکامل ساختاری پهنه گسلی کاشان پرداخته شده است. در این راستا به محاسبه ی موقعیت تنش بیشینه در زمان گذشته (PaleoStress) به کمک نرم افزار Daisy از روش های محاسباتی برگردان تنش همچون Montecarlo Direct Inversion و Rotax Inversion برای گسل های برداشت شده و از روش محاسبه آماری صفحه پی و محور بتا بر روی لایه بندی های برداشت شده در مطالعات صحرایی پرداخته شده است.

زمین شناسی عمومی منطقه

پوسته قاره ای ایران مرکزی، قطعه ای جدا شده از ابرقاره گندوانا در زمان پالئوژوئیک است که امروزه به همراه پهنه های تکتونیکی البرز و سندج- سیرجان در هینترلند پهنه برخوردی زاگرس واقع شده است (Berberian and King, 1981; Hassanzadeh et al. 2008; Hassanzadeh and Wernicke, 2016). حاشیه غربی ایران مرکزی از دوره پالئوژن تا دوران میوسن مورد ماگماتیسیم و ولکانیسم حاصل از فرورانش پوسته اقیانوسی تئیس جوان به زیر پوسته قاره ای ایران مرکزی بوده است که با نام کمان ولکانیکی- ماگماتیکی ارومیه- دختر و امتداد شمال غربی- جنوب شرقی شناخته می شود (آقابائی، ۱۳۸۳ "Berberian and Berberian, 1981; Babazadeh et al. 2019; Alaminia et al. 2020). اوج فعالیت های ماگمایی در کمان ارومیه- دختر در دوران ائوسن بوده است (Babazadeh et al. 2019). حرکت کلی و بلند مدت رو به شمال صفحه قاره ای عربستان به سمت شمال از زمان کرتاسه تا کنون به همراه چرخش ملایم پاد ساعتگرد همراه بوده است که موتور دینامیکی کلیه رخداد های تکتونیکی

مناطق با توالی سنگ- چینه ای پیوسته و خوب حفظ شده همیشه مورد توجه زمین شناسان به منظور بررسی تکامل زمین شناسی در طی زمان بوده است. حاشیه غربی پوسته قاره ای ایران مرکزی که از دوره پالئوژن میزبان فعالیت های زیاد آذرین بوده است، در مناطقی میزبان باریکه ای از واحدهای کربناته دریایی قم و رسوبات میوسن نیز است. از سوی دیگر حضور ساختارهایی با امتداد و سبک های مختلف در بخش غربی ایران مرکزی، این مناطق را به منظور بررسی تکامل تکتونیکی- چینه ای سنوزوئیک مستعد کرده است. از این رو پهنه گسلی فعال و لرزه زای کاشان در بخش میانی از کمان ولکانیکی- ماگمایی ارومیه دختر که توالی به نسبت کامل سنگ چینه ای از ائوسن تا کواترنری به همراه ساختارهای مختلف را نیز در خود جای داده است (نوگل، ۱۳۶۴؛ آمبرسیز و ملویل، ۱۳۷۰؛ وفا ۱۳۸۷)، در این پژوهش انتخاب و به منظور بازسازی تکامل تکتونیکی بعد از ائوسن آن با استفاده از برداشت های صحرایی و پراکندگی مناسب در کنار پردازش تصاویر ماهواره ای مورد بررسی قرار گرفته است. تلفیق نتایج ساختاری و چینه شناسی در بخش میانی پهنه گسلی کاشان نشان می دهد که رژیم تکتونیکی فشارشی در منطقه پس از میوسن میانی دچار تغییر جهت شده است.

روش تحقیق

بدون شک مهم ترین بخش در هر مطالعه ی زمین شناسی، مشاهده ها و اندازه گیری های صحرایی می باشد. از این رو در این پژوهش ابتدا اقدام به برداشت وضعیت لایه بندی، گسل ها و سایر عناصر ساختاری کرده و سپس به بررسی روابط چینه شناسی آن ها پرداختیم. در مجموع وضعیت هندسی ۳۲۰ گسل و درزه برداشت و سازوکار ۷۵ گسل که دارای خش لغز بودند، تعیین گردید. شایان ذکر است که اندازه گیری ساختارها در مطالعات صحرایی بر



در جنوب و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه قدیمی -ترین واحدهای سنگی تحت عنوان پی سنگ پالئوزوئیک رخنمون دارند (شکل ۲) (زاهدی و عمیدی، ۱۳۶۴). پس از آن واحدهای آذر آواری ائوسن، بخش اعظمی از منطقه را پوشش می‌دهد. توالی گابرو، کوارتز دیوریت و مونزودیوریت متعلق به بعد از ائوسن -الیگوسن در شمال غرب روستای وش جلوه‌گر شده‌اند (زاهدی و عمیدی، ۱۳۶۴). در شمال غرب منطقه رخنمون کوچکی از ماسه سنگ‌های قرمز سازند قرمز زیرین در راستای گسل کاشان توسعه یافته است که با مرزی گسلی و ناپیوسته نسبت به واحدهای ائوسن قرار گرفته است (زاهدی و عمیدی، ۱۳۶۴). در بخش مرکزی منطقه واحدهایی شامل گرانودیوریت و گرانیت و به مقدار کمتر تونالیت الیگومیوسن بوده و قسمت عمده توده نفوذی وش را تشکیل داده است (زاهدی و عمیدی، ۱۳۶۴). توده نفوذی وش واحدهای کربناتی پی سنگی پالئوزوئیک و واحدهای آتشفشانی ائوسن را قطع نموده و سبب ایجاد متامورفیسم همبری و اسکارن تا ضخامت چند صد متر را در محل تماس با واحدهای میزبان شده‌است. رخساره این دگرگونی همبری در حد آلپیت - اپیدوت هورنفلس و هورنبلند بوده است (خلعت بری جعفری و علایی، ۱۳۷۷). در بخش‌های مختلف از منطقه توزیعی از توالی‌های کربناته سازند قم با سن الیگومیوسن دیده می‌شود که با واحدهای میوسن به صورت پیوسته و با واحدهای قدیمی تر مرزی ناپیوسته و گسلی دارند (شکل ۳) (ناقه، ۱۳۹۸). در شمال غرب منطقه واحدهای زرد رنگ ماسه سنگی و کنگلومرایی سازند قرمز بالایی مشاهده می‌شوند و در مجاورت آنها واحدهای کنگلومرایی پالئوسن با مرزی گسلی نسبت به واحدهای ائوسن قرار گرفته‌اند (شکل ۲) (زاهدی و عمیدی، ۱۳۶۴). واحدهای کواترنری در شمال و شمال شرق منطقه بیشتر از تراس‌های قدیمی و مخروط افکنه‌های مرتفع تشکیل شده -اند (خلعت بری جعفری و علایی، ۱۳۷۷) (شکل ۲).

و آذرین پس از کراتاسه در پهنه‌های ساختاری ایران قلمداد شده است (Sella et al. 2002; McQuarrie et al. 2003; Tadayan et al. 2017; 2019).

برخی از محققین پهنه گسلی کاشان را قطعه‌ای از سیستم گسلی قم-زفره با سازوکار عمومی راستگرد و امتداد کلی شمال غرب- جنوب شرقی، از قم تا زفره به طول ۳۰۰ کیلومتر در نظر می‌گیرند (محجل و رهامی، ۱۳۸۸). از سوی دیگر مطالعات دورسنجی و شواهد میدانی حکایت از ادامه داشتن گسل کاشان تا جنوب شرق اردستان و مستقل بودن گسل زفره از این گسل دارند (صفایی، ۱۳۸۷; صفایی و طباطبایی منش، ۱۳۹۲; Safaei et al. 2012).

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب اصفهان (جنوب شرق شهرستان قمصر) و در محدوده مختصاتی "۴۰,۷۸" شرقی تا "۳۳°۳۶ تا ۳۳°۴۵'۳۲,۵۴" عرض شمالی و "۳۱°۵۷,۸۱" تا "۵۱°۴۵'۰۹,۱۴" طول شرقی قرار گرفته‌است (شکل ۱). رشته کوه‌های ناحیه که در واقع جزئی از پلوتون کاشان می‌باشند با راستای شمال غربی- جنوب شرقی جزئی از رشته کوه‌های ارتفاعات ارومیه- دختر می‌باشند که در واقع حاصل ماگماتیسیم ناشی از فرورائش تیتس جوان طی کوهزایی آلپ- هیمالیا به زیر صفحه ایران می‌باشند (Alavi, 1994; Davoudzadeh and Schmidt, 1984). نتایج حاصل از مطالعات سن سنجی به روش U-Pb نشان می‌دهد که توده نفوذی کاشان طی دو زمان ائوسن پایانی (Priabonian) و میوسن پیشین (Burdigalian) جای گرفته است (Khaksar et al. 2020). سنگ‌های آذرین ناحیه مورد مطالعه شامل سنگ‌های پلوتونیک کالکوالکالن مختلف با ترکیب اسیدی تا بازی هستند (e.g., Kananian et al. 2014; Berberian and King, 1981).

واحدهای سنگ چینه‌ای منطقه مورد مطالعه خلاصه وار به شرح زیر است:



کلی شرقی - غربی و واحدهای ائوسن، توسط پهنه گسلی پرشیب با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی جابجا شده است (شکل ۴ الف). شیب این پهنه گسلی چپگرد ۷۸ درجه به سمت شمال غرب (N209, 78NW) است که مسیر رودخانه را به صورت چپگرد به میزان ۶۲۰ متر جابجا کرده است (شکل ۵ الف و ۵ ب). خش لغزها و شکستگی‌های ریدل حک شده بر روی سطح صفحات گسلی نشانگر کینماتیک غالب چپگرد به همراه مولفه کوچک نرمال است (شکل ۵ پ). در دو کیلومتری شمال شرقی همین گسل چپگرد واحدهای کربناتی سازند قم نیز به مقدار تقریباً ۹۰ متر توسط گسلی پرشیب با امتداد و شیب (N211, ۸۱NW) به صورت چپگرد بریده و جابجا شده است (شکل ۵ و ۵ ج).

در یک و نیم کیلومتری شرقی این رودخانه جابجا شده چپگرد، در حاشیه جاده آسفالته به سمت روستای تتماج، گسل‌هایی نسبتاً پرشیب با امتداد کلی شمالی - جنوبی و شیب‌های ۶۰ تا ۷۰ درجه به سمت شرق و غرب واحدهای ائوسن را بریده و گرابین‌های متوالی زیبایی را ایجاد کرده‌اند که توسط واحدهای تخریبی ماسه سنگی و کنگلومرایی پلیوسن و کواترنری پر شده است (شکل ۵ الف و ۵ د). سازوکار این دسته از گسل‌ها، که در دیگر نقاط منطقه مورد مطالعه نیز مشاهده شده‌اند، بر اساس خش لغزها و شکستگی‌های ریدل و پله‌های موجود در سطح گسل نرمال محض تشخیص داده شده است (شکل ۵ د).

شواهد ساختاری در امتداد پهنه گسلی کاشان:

پهنه گسل کاشان با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی در میانه منطقه مورد مطالعه قطع کننده واحدهای ائوسن، اولیگوسن، الیگومیوسن و کواترنری است (شکل ۳ ب و ۱). در راستای پهنه گسل کاشان برداشت‌های ساختاری متعددی انجام گرفت که نشانگر امتداد و شیب میانگین

درهم آمیختگی شدید واحدهای سنگی و وجود گسل‌هایی با امتدادها و سازوکارهای مختلف قطع کننده واحدهای سنگی و همدیگر نشان دهنده‌ی تاثیر فازهای تکتونیکی مختلف بر این ناحیه می‌باشد (شکل ۲). گسل‌های اصلی منطقه راستای کلی شمال غرب - جنوب شرق دارند (نوگل سادات، ۱۳۶۴) که با راستای عمومی گسل‌های زاگرس مطابقت دارد (شکل ۲ و ۳ ب).

نتایج

در این بخش به ارائه شواهد ساختاری شاخص از مطالعات صحرایی انجام گرفته در منطقه مورد مطالعه که شامل گسل‌ها و لایه بندی‌ها است در قالب شواهد ساختاری در راستای پهنه گسلی کاشان و دیگری در پیرامون آن به تفصیل پرداخته می‌شود.

شواهد ساختاری در پیرامون پهنه گسلی کاشان:

در محدوده کوه ساریان و شمال شرقی روستای تتماج واحدهای آذرآواری ائوسن و واحدهای کربناتی سازند قم توسط گسل شمال غربی - جنوب شرقی ساریان متاثر شده به گونه‌ای که گسل معکوس ساریان جنوبی با شیب به سمت شمال شرق واحدهای آذرآواری ائوسن را بر روی واحدهای سازند قم رانده است (شکل ۴ الف). فعالیت معکوس گسل ساریان جنوبی نیز سبب تشکیل ناودیس با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی در بلافاصله فرودپواره گسل شده است (شکل ۵ الف). برداشت‌های ساختاری انجام گرفته در طول گسل ساریان جنوبی، نشانگر امتداد و شیب N309,47NE و بر اساس خش لغزهای موجود بر سطح گسل سازوکار معکوس محض آن به وضوح قابل تشخیص است (شکل ۴ ب و ۴ پ).

در سه کیلومتری جنوب شرقی گسل ساریان جنوبی، در مجاورت جاده کاشان - تتماج، رودخانه تتماج با راستای

تأثیر دو تنش فشارشی اصلی با امتداد مختلف در منطقه می-باشد. به منظور تعیین دقیق موقعیت تنش‌های مسبب دگرشکلی در منطقه، آنالیزهای برگردان استرس را بر روی گسل‌ها و لایه بندی‌های اندازه گرفته شده توسط نرم افزار Daisy انجام دادیم. نتایج برگردان تنش بر روی گسل‌ها نشانگر دو جهت گیری شمالی-جنوبی و شمال شرقی-جنوب غربی برای تنش‌های بیشینه می‌باشد (شکل ۸). عملیات بازگردانی تنش مسبب را برای داده‌های لایه بندی اندازه گیری شده برای دو روند شمال غربی-جنوب شرقی و شرقی-غربی چین خوردگی‌ها نیز انجام داده‌ایم که نتایج یکسانی را برای آنها بدست داد، به گونه‌ای که دو راستای تنش فشارشی شمالی-جنوبی و شمال شرقی-جنوب غربی را مشخص و متمایز کرده است (شکل ۹). در مورد تقدم و تاخر تنش‌های وارده بر بخش میانی پهنه گسلی کاشان بر اساس روابط قطع شدگی گسل‌ها این گونه می‌توان بیان داشت که تنش فشارشی شمال شرقی-جنوب غربی قدیمی‌تر از تنش فشارشی شمالی-جنوبی بوده است. اما در مورد سن نسبی تنش‌های وارد شده بر منطقه مورد مطالعه، بر اساس سن لایه‌های چین خورده نتایج حاکی از آن است که رژیم فشاری شمال شرقی-جنوب غربی از ائوسن پسین تا ابتدای میوسن بر منطقه حاکم بوده و به احتمال زیاد از بازه‌ی زمانی بعد از میوسن میانی جهت تنش فشارشی بیشینه به راستای تقریباً شمالی-جنوبی تغییر جهت یافته است به طوری که داده‌های صحرائی ارائه شده در بخش قبلی نیز این موضوع را به روشنی نشان می‌دهند و با نتایج مطالعات انجام گرفته در شمال این منطقه نیز مطابقت خوبی دارد (Morley et al. 2009).

شایان ذکر است که جهت تنش شمالی-جنوبی بدست آمده برای بازه زمانی بعد از میوسن میانی در این پژوهش نیز با مطالعات ساختاری و مورفوتکتونیک انجام گرفته در پهنه گسلی کاشان همسان است (مکاریان و همکاران، ۱۳۹۰: Jamali et al. 2011).

N151,73SW است (شکل ۳ ب و ۶ الف). مکانیسم حرکتی آن نیز بر اساس خش لغزها، شکستگی‌های ریدل، پله و فابریک های S و C از نوع امتداد لغز راستگرد با مولفه‌ی جزئی شیب لغز فشارشی با میانگین ریک خش لغز ۲۰ درجه است که سبب ایجاد ساختارهای گلواره‌ای مثبت در امتداد پهنه گسلی شده است (شکل ۶ ب و ۶ پ). بخش شمال غربی پهنه گسلی کاشان که قطع کننده واحدهای ماسه سنگی سازند قمرز زیرین است مزین به فابریک‌های S و C با موقعیت‌های هندسی $C=110/50$ $S=55/60$ لنزهای محدود شده بین آنها شده است که نشانگر حرکت راستگرد این پهنه گسلی است (شکل ۶ پ). معماری بخش میانی پهنه اصلی گسل کاشان به گونه‌ای است که شاخه‌های پرشیب و موازی آن، واحدهای ائوسن را بر روی واحدهای الیگوسن و واحدهای الیگوسن را بر روی واحدهای کربناتی سازند قم به صورت گلواره مثبت رانده است (شکل ۳ ب).

در انتها به ارائه ویژگی‌های هندسی تعداد ۱۸ لایه بندی برداشت شده با پراکندگی مناسب که در مطالعه‌ی صحرائی انجام پذیرفته، پرداخته شده است (شکل ۷). تعداد ۱۰ عدد از این برداشت‌های صحرائی متعلق به لایه بندی واحدهای ائوسن و الیگوسن، قدیمی‌تر از میوسن، است که دارای امتداد شمال غربی-جنوب شرقی است و ۸ عدد از لایه بندی‌ها متعلق به واحدهای به سن میوسن هستند و دارای امتداد کلی شرقی-غربی است که در غالب نمودار گل-سرخ‌ی امتدادی این دو گروه داده نمایش داده شده است (شکل ۷).

بحث و نتیجه گیری:

در این مطالعه به بررسی ساختارهای شکنا و شکل پذیر پرداخته شده است. داده‌های گسلی و همچنین چین خوردگی‌های منطقه تایید کننده یکدیگر و نشان دهنده‌ی



نتایج حاصل از این مطالعه با دیگر مطالعات انجام گرفته در ایران مرکزی و زاگرس مطابقت بسیار خوبی از نظر راستای تنش و زمان تغییر جهت تنش دارد. به عنوان مثال مطالعات ساختاری گسترده‌ای که در طول زاگرس انجام گرفته نشانگر تغییر راستای تنش فشارشی بیشینه از شمال شرقی-جنوب غربی به شمالی-جنوبی است در زمان میوسن بالایی است (Navabpour et al. 2007; 2008; 2010). در پهنه گسلی درونه از ایران مرکزی و زمین درز سیستان نیز تغییر راستای تنش فشارشی بیشینه از شمال شرقی-جنوب غربی به شمالی-جنوبی در زمان میوسن بالایی رخداده است (Tadayon et al. 2017; 2019; Jentzer et al. 2017). این (۲۰۱۷) که کاملاً با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. این تغییر جهت تنش که در پهنه‌های مختلف ساختاری ایران گزارش شده، در ترکیه نیز ثبت شده است (Allen et al. 2004).

در مقیاس بزرگ تکتونیک ورقه ای، دلیل این تغییر جهت تنش را مربوط به حرکت تدریجی پادساعتگرد حول محور قائم ورقه قاره‌ای عربستان در حین همگرایی به سمت شمال می‌دانند (Sella et al. 2002; McQuarrie et al. 2002). که سبب ایجاد گسل جدید زاگرس با سازوکار امتدادلغز راستگرد و مولفه فشارشی شده است (Talebian and Jackson, 2002) که با نام سازماندهی مجدد تکتونیکی (tectonic reorganization) در تمام طول پهنه برخوردی اروپا - عربستان رخ داده است.

سپاسگزاری:

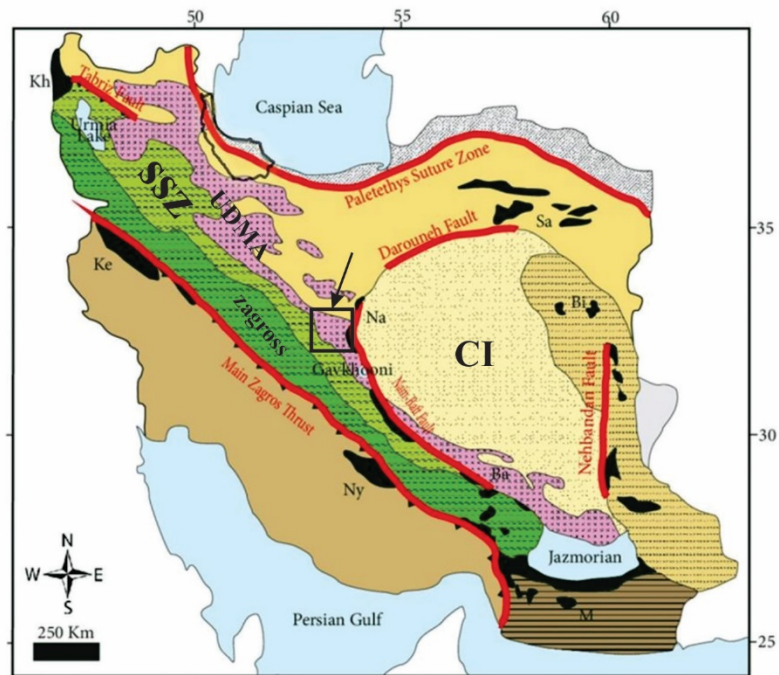
این مقاله بخشی از نتایج پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول در دانشگاه اصفهان است، لذا از دانشگاه اصفهان جهت حمایت‌های عمل آمده سپاسگذاری می‌شود. از جناب آقای رضا خادم و خانم سلیمه ناقه که با کمال محبت در انجام برداشت‌های میدانی ما را یاری نمودند کمال سپاس را داریم.



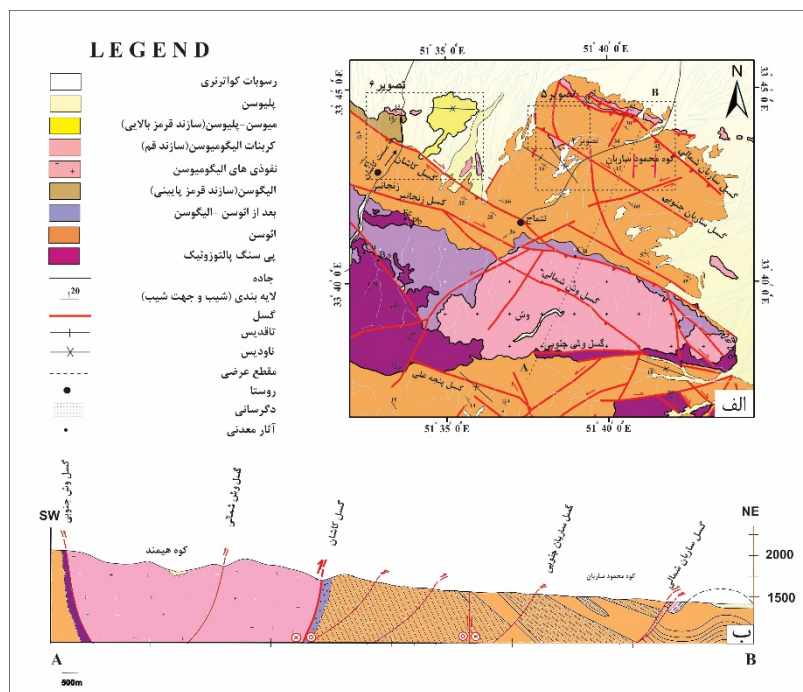
منابع:

- ناقه، س.، ۱۳۹۸، تحلیل ساختارهای شکننده در بخش مرکزی پهنه ارومیه-دختر، جنوب کاشان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ۱۸۹ ص.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۰۹ ص.
- نوگل سادات، م. ع. ا.، ۱۳۶۴، منطقه‌های برشی و خمیدگی ساختاری در ایران: دستاوردهای تحلیل ساختاری ناحیه قم، گزارش شماره ۵۵ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، ۵۰ ص.
- وفا، ح.، ۱۳۸۷، تحلیل ساختارهای شکننده زون ارومیه-دختر در جنوب خاور ایبانه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه دامغان، ۱۰۰ ص.
- Alavi, M., 1994, Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretations, *Tectonophysics*, 229, PP.211-238.
- Allen, M., Jackson, J. and Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. *Tectonics*, 23(2).
- Alaminia, Z., Tadayon, M., Finger, F., Lentz, D.R. and Waitzinger, M., 2020. Analysis of the infiltrative metasomatic relationships controlling skarn mineralization at the Abbas-Abad Fe-Cu Deposit, Isfahan, north Zefreh Fault, Central Iran. *Ore Geology Reviews*, 117, p.103321.
- Babazadeh, S., Ghorbani, M.R., Cottle, J.M. and Bröcker, M., 2019. Multistage tectono-magmatic evolution of the central Urumieh-Dokhtar magmatic arc, south Ardestan, Iran: Insights from zircon geochronology and geochemistry. *Geological Journal*, 54(4), pp.2447-2471.
- Berberian, F. and Berberian, M.J.Z.H.K.H.G.E., 1981. Tectono-plutonic episodes in Iran. *Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution*, 3, pp.5-32.
- Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Reply. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(11), pp.1764-1766.
- آقانباتی، ع.، ۱۳۷۹، پهنه‌های رسوبی- ساختاری عمده ایران (کارت پستال)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۶ ص.
- آمبرسز، ن. و ملویل، ج. پ.، ۱۳۷۰- تاریخ زمین لرزه‌های ایران، ترجمه ابولحسن رده، انتشارات آگاه، تهران، ۶۷۴ ص
- خلعت بری جعفری، م. و علائی مهابادی، ۱۳۷۷، نقشه زمین شناسی چهارگوش نظنز به مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، تهران.
- زاهدی، م. و عمیدی، س. م.، ۱۳۶۴- نقشه زمین شناسی چهار گوش کاشان به مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور، شماره F7، تهران.
- صفایی، ه.، ۱۳۸۷، مطالعه و تهیه طرح جامع پهنه بندی و آسیب پذیری ناشی از زلزله شهرستان کاشان، گزارش پایانی طرح پژوهشی، شماره ۱۰۳/۹/۴۲۲۶، دانشگاه اصفهان، ۲۳۰ ص.
- صفایی، ه. و طباطبایی منش، س. م.، تاثیر سیستم گسلی اصفهان بر پهنه های سندج- سیرجان و ارومیه دختر، فصلنامه علوم زمین، ویژه نامه دستاوردهای نوین زمین ساخت ایران، تابستان ۱۳۹۲، سال بیست و دوم، شماره ۲، ۸۸، صفحات ۵۶-۶۸.
- محجل، م. و رهامی، ز.، ۱۳۸۸، ساختار گسل راوند و نقش آن در ایجاد حوضه کششی pull-apart در کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال سوم، شماره یازدهم، ۳۹-۴۵ ص.
- مکاریان، م.، پور کرمانی، م.، شرکتی، ش. و معتمدی، ح.، ۱۳۹۰، بررسی ساختاری چین خوردگی‌ها در بخشی از حوضه ایران مرکزی، ماهنامه علمی- تحلیلی اکتشاف و تحلیل، شماره ۷۸، ۴۸-۵۵ ص

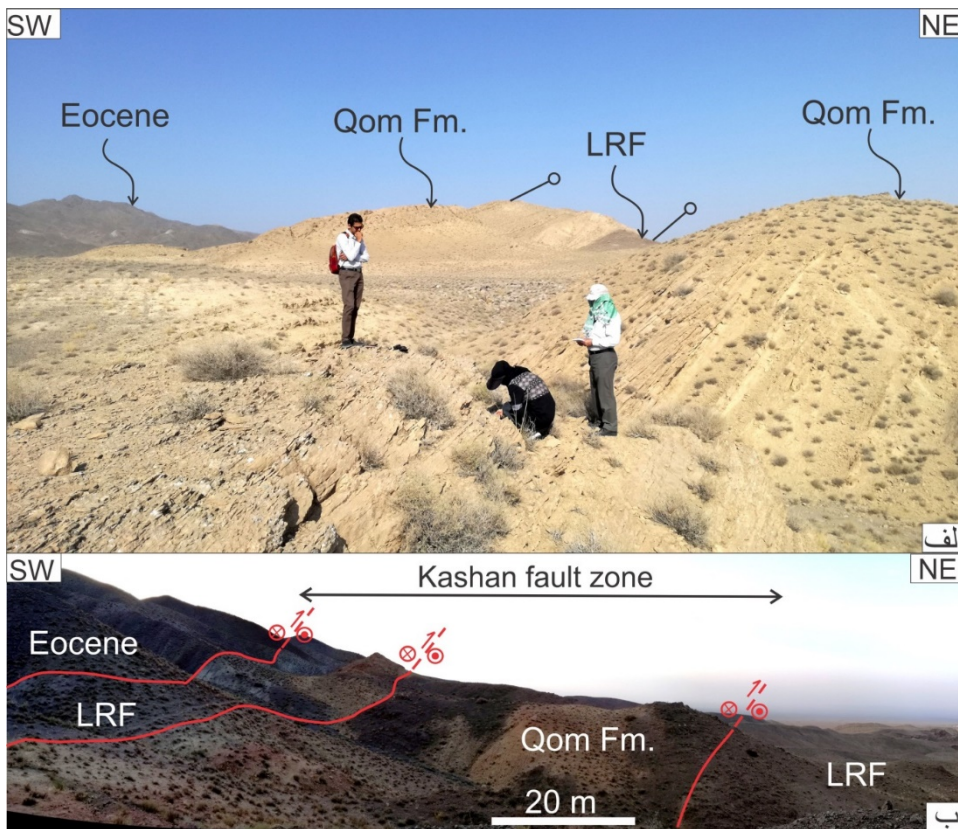
- evolution of deformation partitioning in W-Zagros (Iran, Kermanshah). *Geophysical Journal International*, 175(2), pp.755-782.
- Navabpour, P., Angelier, J. and Barrier, E., 2010. Mesozoic extensional brittle tectonics of the Arabian passive margin, inverted in the Zagros collision (Iran, interior Fars). *Geological Society, London, Special Publications*, 330(1), pp.65-96.
- Raeesi, M., Zarifi, Z., Nilfouroushan, F., Boroujeni, S.A. and Tiampo, K., 2017. Quantitative analysis of seismicity in Iran. *Pure and Applied Geophysics*, 174(3), pp.793-833.
- Safaei, H., Tabatabaeimanesh, S. M., Hashemi, S. N., Mirlohi, A. S., Vafa, H., 2012. Structural and Petrological evidence for the continuation of the Isfahan fault system across the Urumieh-Dokhtar zone of central Iran, *Geotectonics*, 46(6), pp. 455-471.
- Sella, G.F., Dixon, T.H. and Mao, A., 2002. REVEL: A model for recent plate velocities from space geodesy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B4), pp.ETG-11.
- Tadayon, M., Rossetti, F., Zattin, M., Nozaem, R., Calzolari, G., Madanipour, S. and Salvini, F., 2017. The post-eocene evolution of the Doruneh Fault region (central Iran): The intraplate response to the Reorganization of the Arabia-Eurasia collision zone. *Tectonics*, 36(12), pp.3038-3064.
- Tadayon, M., Rossetti, F., Zattin, M., Calzolari, G., Nozaem, R., Salvini, F., Faccenna, C. and Khodabakhshi, P., 2019. The long-term evolution of the Doruneh Fault region (Central Iran): A key to understanding the spatio-temporal tectonic evolution in the hinterland of the Zagros convergence zone. *Geological Journal*, 54(3), pp.1454-1479.
- Talebian, M. and Jackson, J., 2002. Offset on the Main Recent Fault of NW Iran and implications for the late Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone. *Geophysical Journal International*, 150(2), pp.422-439.
- Hassanzadeh, J., Stockli, D.F., Horton, B.K., Axen, G.J., Stockli, L.D., Grove, M., Schmitt, A.K. and Walker, J.D., 2008. U-Pb zircon geochronology of late Neoproterozoic-Early Cambrian granitoids in Iran: Implications for paleogeography, magmatism, and exhumation history of Iranian basement. *Tectonophysics*, 451(1-4), pp.71-96.
- Hassanzadeh, J. and Wernicke, B.P., 2016. The Neotethyan Sanandaj-Sirjan zone of Iran as an arche type for passive margin-arc transitions. *Tectonics*, 35(3), pp.586-621.
- Jamali, F., Hessami, K. and Ghorashi, M., 2011. Active tectonics and strain partitioning along dextral fault system in Central Iran: analysis of geomorphological observations and geophysical data in the Kashan region. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40(4), pp.1015-1025.
- Jentzer, M., Fournier, M., Agard, P., Omrani, J., Khatib, M.M. and Whitechurch, H., 2017. Neogene to Present paleostress field in Eastern Iran (Sistan belt) and implications for regional geodynamics. *Tectonics*, 36(2), pp.321-339.
- McQuarrie, N., Stock, J.M., Verdel, C. and Wernicke, B.P., 2003. Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophysical research letters*, 30(20).
- Morley, C.K., Kongwung, B., Julapour, A.A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K. and Kazemi, H., 2009. Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran: The Central Basin in the Qom-Saveh area. *Geosphere*, 5(4), pp.325-362.
- Navabpour, P., Angelier, J. and Barrier, E., 2007. Cenozoic post-collisional brittle tectonic history and stress reorientation in the High Zagros Belt (Iran, Fars Province). *Tectonophysics*, 432(1-4), pp.101-131.
- Navabpour, P., Angelier, J. and Barrier, E., 2008. Stress state reconstruction of oblique collision and



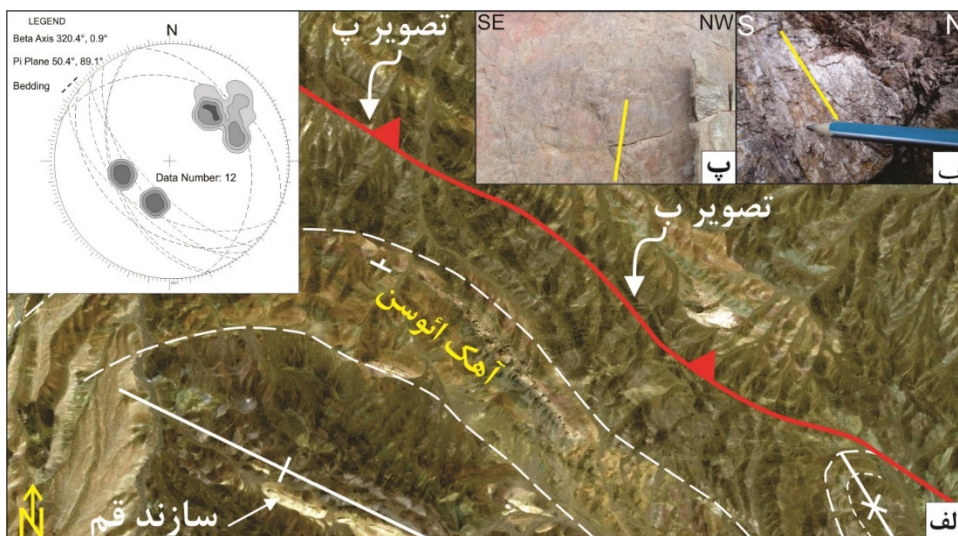
شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه در پهنه‌های ساختاری-رسوبی ایران که با چهارگوش سیاه مشخص شده است (با تغییرات از آقناباتی ۱۳۷۹: ۱۳۸۳: نبوی، ۱۳۵۵).



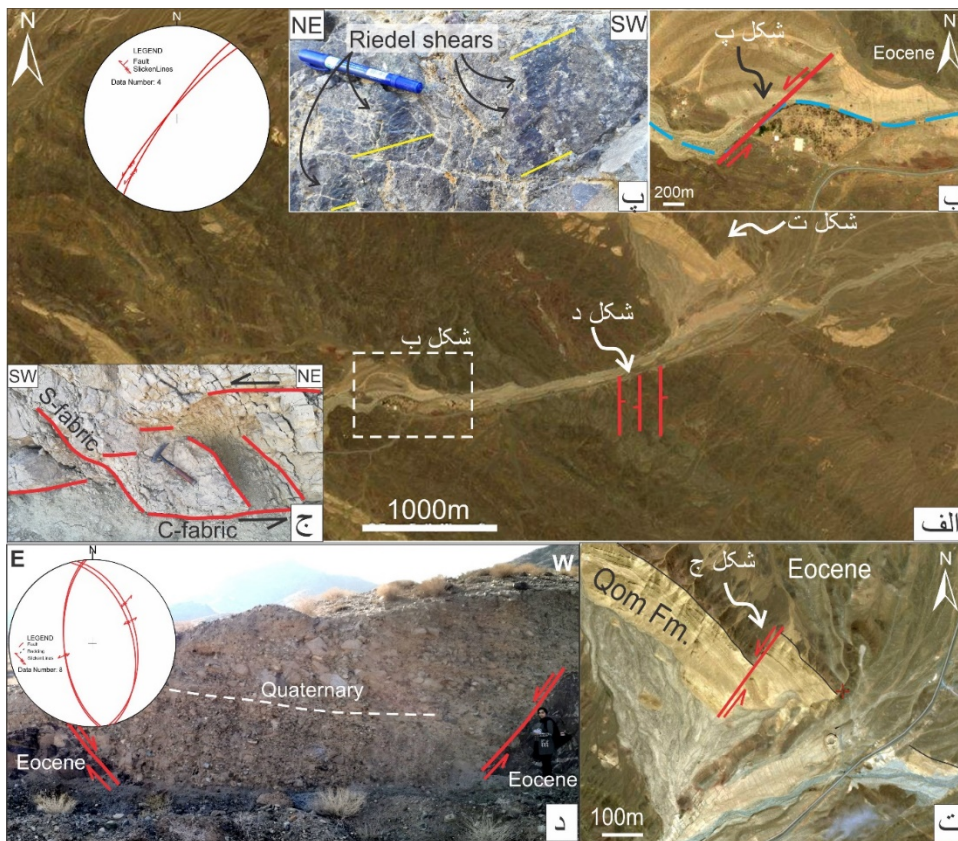
شکل ۲: الف- نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه میانی پهنه گسلی کاشان به همراه ساختارها و موقعیت تصاویر بعدی (اقتباس از زاهدی و عمیدی، ۱۳۶۴). ب- مقطع عرضی ساختاری ترسیم شده در راستای شمال شرق-جنوب غرب.



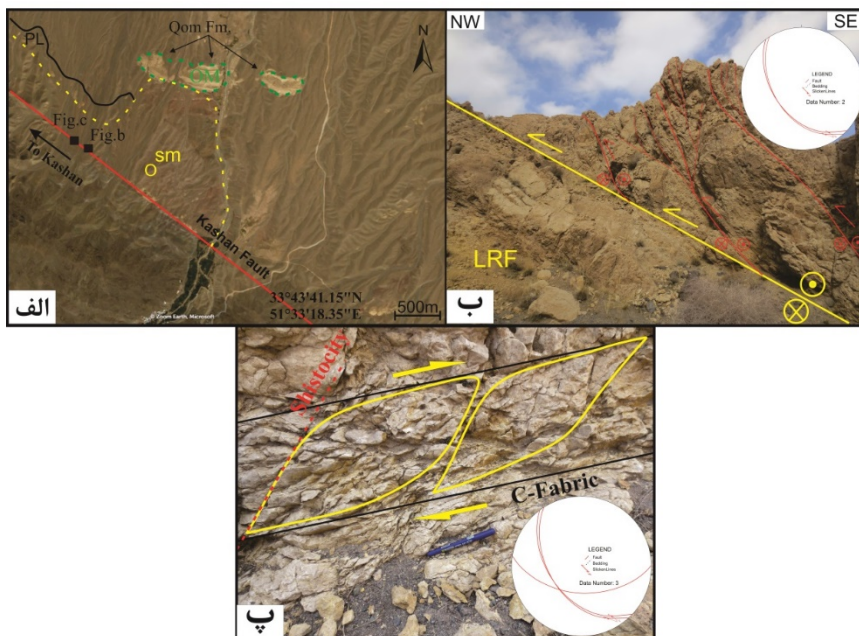
شکل ۳. الف- نمایی از واحدهای شیبدار آهکی قم (Qom Fm.)، واحد تخریبی سازند قرمز پایینی (LRF) و واحد آذرین ائوسن (Eocene) در سمت ارتفاعات جنوب غرب و واحد کواترنری پرکننده بخش دشت می باشد. ب- نمایی بانوراما از پهنه گسلی راستگرد فشارشی کاشان که واحدهای ائوسن، الیگوسن و الیگومیوسن را کنار هم قرار داده است.



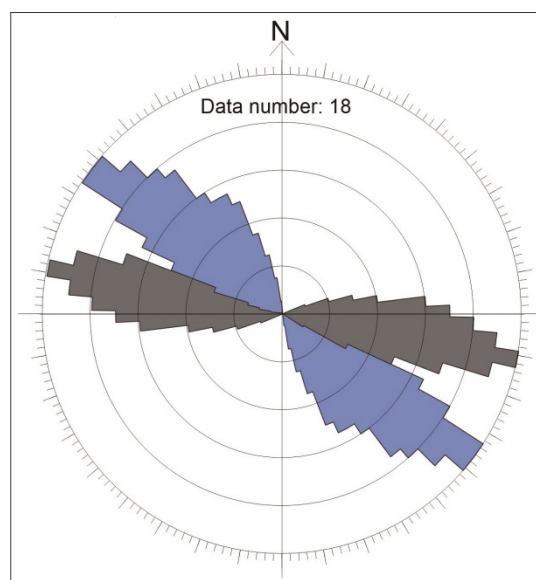
شکل ۴. الف- تصویر ماهواره‌ای از محدوده تاثیر گسل ساربان جنوبی در کوه‌های ساربان و موقعیت برداشت گسل‌های نمایش داده شده در تصاویر پ و ب همراه نمایش لایه بندی‌ها و استریونت لایه بندی به همراه موقعیت صفحه پی و محور بتا. ب- نمایش صفحه‌ی گسلی معکوس ساربان جنوبی. پ- نمایش صفحه‌ی گسلی معکوس ساربان جنوبی.



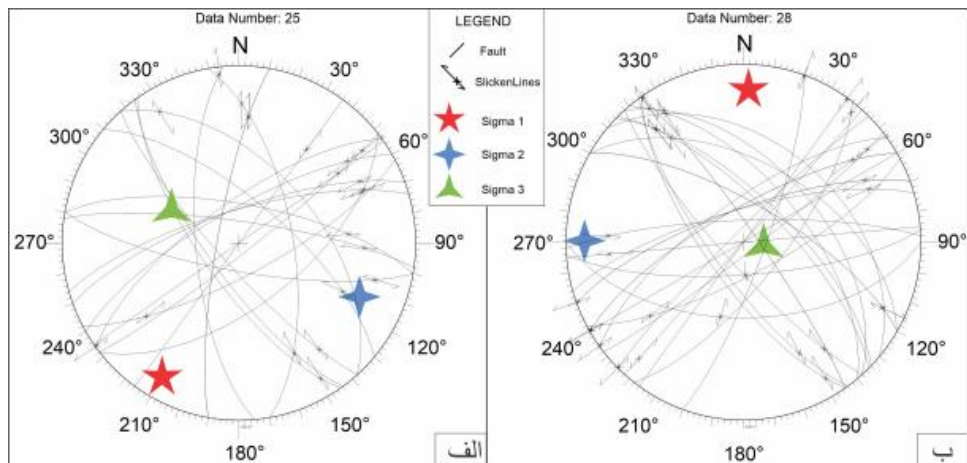
شکل ۵: الف- تصویر ماهواره ای بخش شمالی-شمال غربی محدوده مورد مطالعه و موقعیت داده ی گسلی شمال شرقی- جنوب غربی چپگرد برداشت شده به همراه استریونت آنها. ب-نمای ماهواره ای از گسل فعال شمال شرقی- جنوب غربی چپگرد که رودخانه را بریده است. پ- تصویر نزدیک از صفحه گسلی چپگرد به همراه خش لغزهای گسلی. ت- گسل شمال شرقی- جنوب غربی چپگرد شناسایی شده از تصویر ماهواره ای که جابجا کننده واحد های آهکی سازند قم است. ج-تصویر صحرایی از فابریک های S و C در پهنه گسلی با امتداد شمال شرقی- جنوب غربی با سازوکار چپگرد که جابجا کننده واحد های آهکی سازند قم است. د- گرابن شکل گرفته توسط گسل های همگرای نرمال که توسط رسوبات کواترنری پر شده است به همراه استریونت آنها.



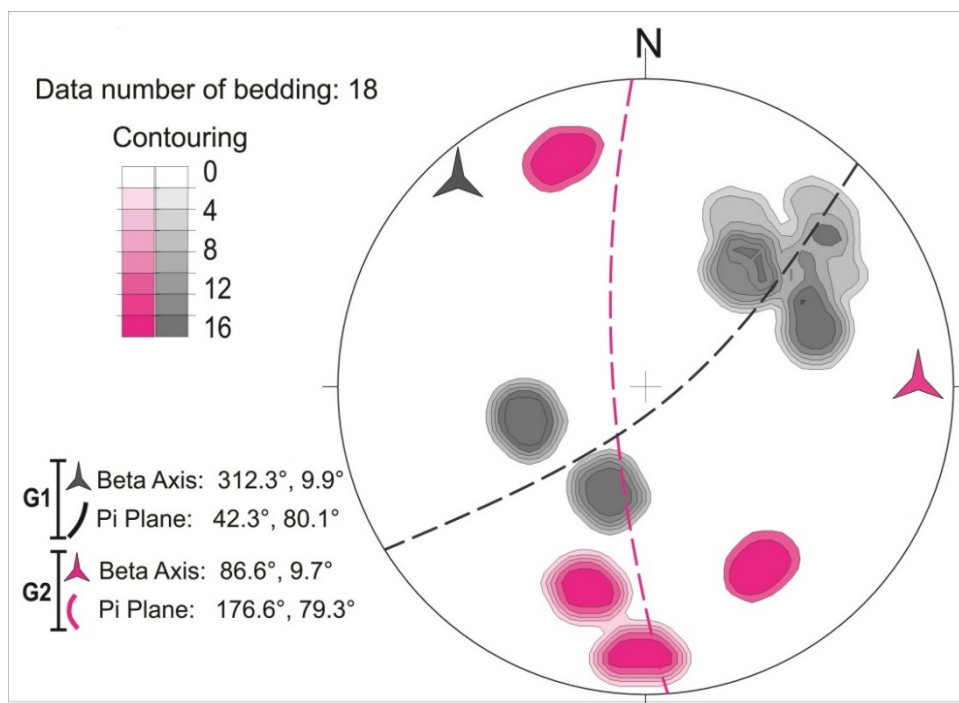
شکل ۶: ساختارهای مرتبط با بخش شمال غربی گسل کاشان الف- تصویر ماهواره ای از موقعیت داده برداشت شده به همراه موقعیت گسل کاشان ب- گسل امتدادلغز راستگرد با مولفه ی فشارشی پ- توسعه ی فابریک های C و S که نمایشگر مولفه راستگرد در امتداد پهنه گسل برشی کاشان می باشد.



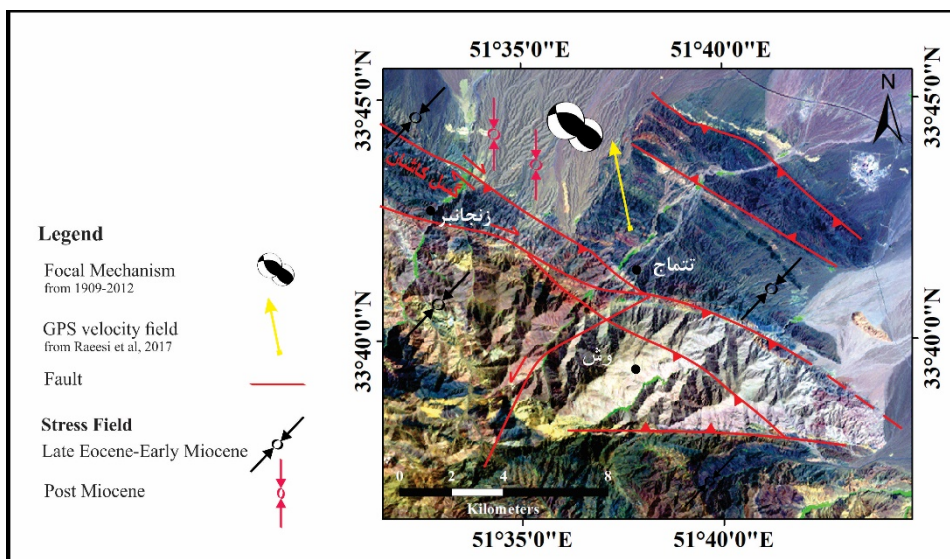
شکل ۷: نمایش ۱۸ لایه بندی اندازه گیری شده در قالب نمودار گل سرخی که به دو راستای اصلی تقریباً شرقی-غربی و شمال غربی- جنوب شرقی قابل تفکیک هستند.



شکل ۸: نتایج حاصل از روش محاسباتی برگردان تنش دیرین از گسل‌های اندازه‌گیری شده برای تنش فشاری شمال شرقی-جنوب غربی (الف) و تنش فشاری شمالی-جنوبی (ب)، سیگما ۱ با ستاره پنج پر قرمز، سیگما ۲ با ستاره چهار پر سبز و سیگما ۳ با ستاره سه پر آبی نشان داده شده است.



شکل ۹: نمایش پراکندگی کنتور دیاگرام قطب لایه بندی‌های برداشت شده به همراه موقعیت صفحه‌ی پی (Pi) و محور بتا. نتایج نشان دهنده‌ی دو صفحه‌ی پی و محور بتا که نشان دهنده دو راستای تنش پیشینه اصلی شمالی-جنوبی و شمال شرقی-جنوب غربی مسبب چین خوردگی منطقه مورد مطالعه می باشند.



شکل ۱۰. تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه به همراه گسل های اصلی، بردارهای حرکت GPS (بر گرفته از Raeesi et al, 2017) و نتایج تنش دیرین از این پژوهش به همراه سازوکار زمین لرزه های ۲۰۱۲-۱۹۰۹.