

### چکیده

شناسایی دقیق چشمه و پتانسیل های لرزه ای از مهم ترین اقدامات لازم و قدم نخست برای مطالعات لرزه خیزی هر منطقه به شمار می رود. گستره مورد مطالعه که در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه دختر واقع است، یکی از مناطقی است که شناسایی و مطالعه دقیق چشمه های لرزه ای آن ضروری به نظر می رسد. در این پژوهش با تفسیر تصاویر ماهواره ای و بازدیدهای میدانی و بررسی های ریخت زمین ساختی منطقه، برای نخستین بار سامانه گسلی عزالدین-راهجرد با روند N-۱۵۰ و طول بیش از ۷۰ کیلومتر معرفی می شود. این پهنه گسلی، همروند با گسله های عرضی-برشی دیگر همچون گسله های بیدهند، قم-زفره و دهشیربافت، سنگ های آتشفشانی کمان ماگمایی را بریده است. خش لغز گسلی، خمش راست بر روند محور چین های اصلی در راستای گسله و تشکیل ساختارهای فرعی مرتبط با آن بیانگر حرکت راست بر این گسله است. بررسی زمین ریخت شناسی و جابه جایی راست بر آبراهه ها با گسله، بیانگر فعالیت گسله در زمان کواترنری است. انطباق مرکز سطحی زمین لرزه ها بر روی این گسله، اهمیت شناسایی و معرفی این پهنه گسلی را در مطالعات لرزه خیزی منطقه نشان می دهد. لذا احتمال وقوع زمین لرزه ویرانگر در اثر فعالیت پهنه گسلی عرضی-برشی عزالدین-راهجرد به عنوان گسلی که فعالیت کواترنری داشته است، دور از انتظار نیست و ممکن است در خطر لرزه ای شهرستان تفرش و مناطق هم جوار نقش تعیین کننده داشته باشد.

**واژگان کلیدی:** پهنه گسلی عرضی-برشی، گسله عزالدین-راهجرد، پتانسیل لرزه ای، ایران مرکزی، تفرش.

## معرفی و بررسی ساختاری پهنه گسلی عرضی-برشی عزالدین-راهجرد؛ یکی از ساختارهای با توان فعالیت در گستره شهرستان تفرش

زینب داودی

استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه،  
 دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین،  
 z.davoodi@sci.ikiu.ac.ir

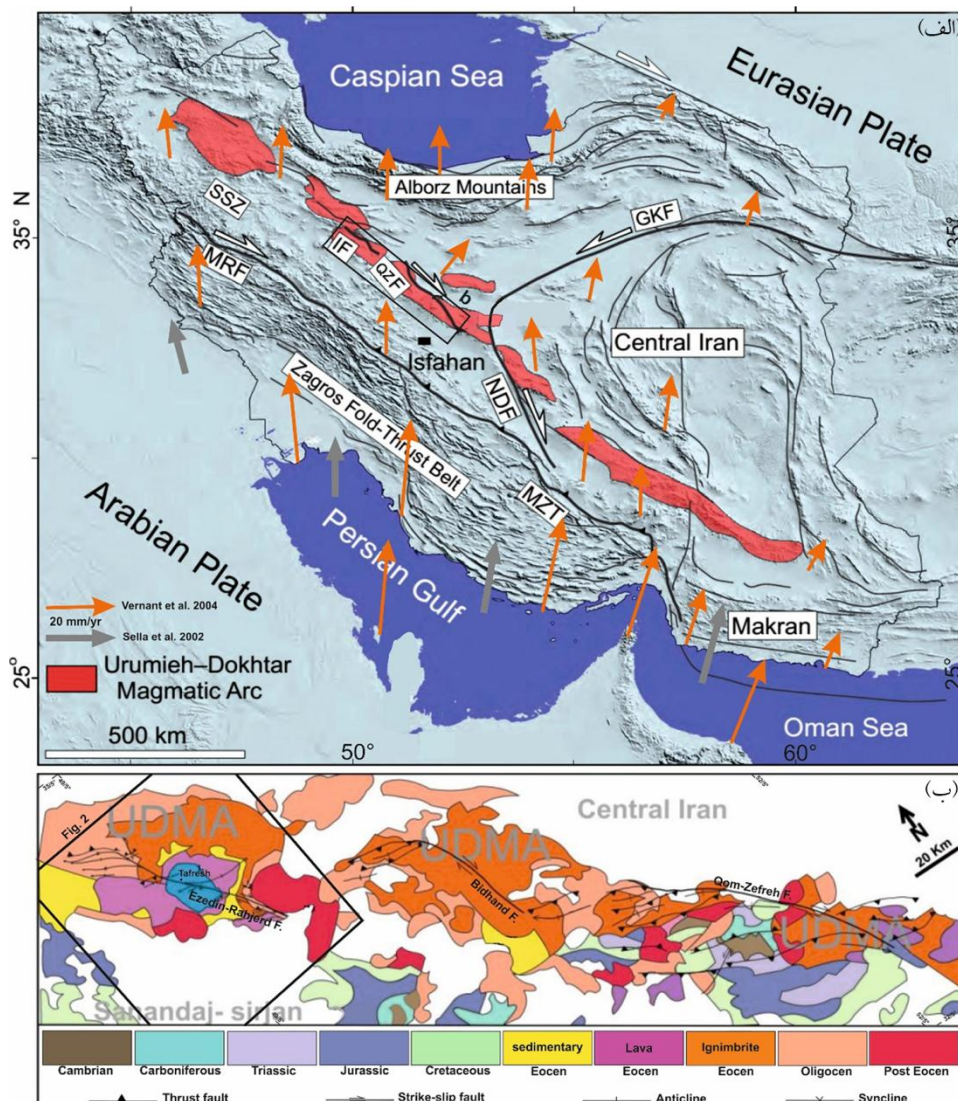
### ۱- مقدمه

نتایج آنها در مرحله بعدی استفاده می شود دارای ارزش ذاتی است؛ اما در هر حال، وجود خطا در هر مرحله گریزناپذیر است که سبب خواهد شد در مرحله نهایی با یک خطای تجمعی روبه رو شویم. بر همین اساس اهمیت شناسایی و بررسی چشمه های لرزه زا به عنوان گام نخست تا رسیدن به هدف نهایی محاسبه پارامترهای طراحی جنبش زمین، بیشتر مشخص می شود. از طرف دیگر؛ در حال حاضر در کشور لرزه خیز ایران، تنها چشمه های مطرح لرزه زا، گسله ها هستند. لذا مطالعه دقیق و شناسایی دقیق گسله های شهرهای مختلف و مناطق پیرامون آنها، ارتباط مستقیم با زندگی انسان های آن منطقه خواهد داشت و همین موضوع نشان دهنده اهمیت بیشتر شناسایی گسله ها پیش

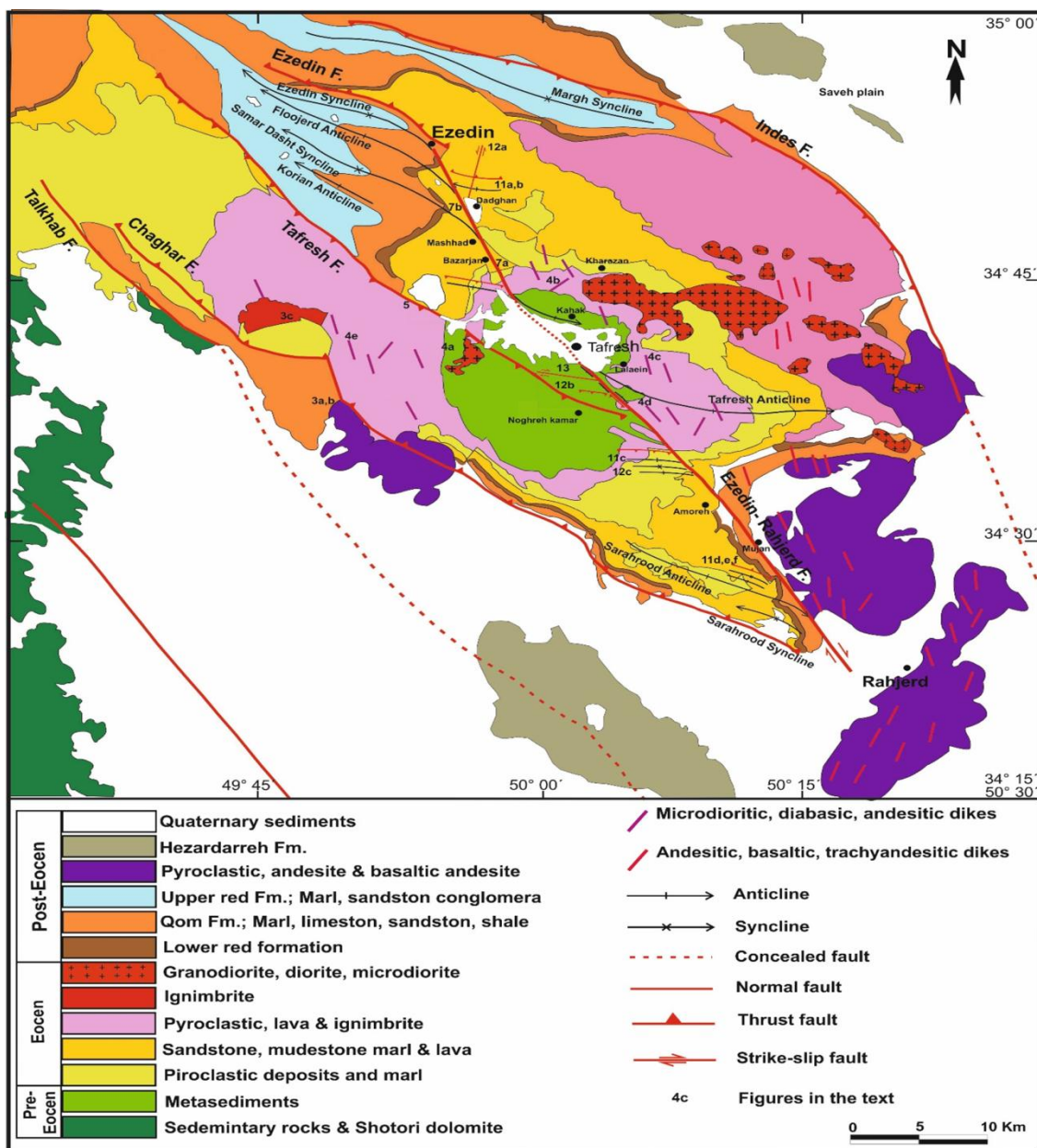
پژوهش های ساختاری که منجر به شناسایی گسله های مهم در مناطق مختلف ایران می شود نه تنها در تکمیل بانک اطلاعاتی گسله ها و تحلیل ساختاری هر منطقه اطلاعات ارزشمندی برای درک مدل زمین ساختی پهنه های مختلف ساختاری ایران فراهم می کند [۱-۳]، بلکه در صورت دارا بودن شواهد فعالیت، در بررسی برآورد خطر زمین لرزه نیز بسیار مؤثر خواهد بود. بررسی برآورد خطر زمین لرزه در هر گستره به ترتیب در چهار مرحله اصلی (۱) شناسایی و بررسی چشمه های لرزه زا، (۲) تعیین زمین لرزه کنترل کننده برای چشمه لرزه زا، (۳) انتخاب رابطه جنبش زمین و (۴) محاسبه پارامترهای طراحی جنبش زمین انجام می گیرد [۴]. دقت در انجام هر یک از مراحل که به طور مستقیم

عرض جغرافیایی  $34^{\circ} 15'$  تا  $35^{\circ} 00'$  واقع است (شکل های ۱ و ۲). در امتداد و پیرامون این گسله، شهرستان تفرش و ده‌ها روستا مانند عزالدین، دادقان، بازرجان، مشهد، خرازان، کهک، نقره کمر، موجان و راهجرد قرار دارند (شکل ۲) که با توجه به قرارگیری آنها در امتداد رودخانه اصلی آب کمر (تفرش)، از تراکم جمعیت نسبتاً خوبی برخوردار هستند. پراکنش جمعیت در امتداد و پیرامون گسله عزالدین- راهجرد خود گویای اهمیت تحقیق حاضر است.

از وقوع زمین لرزه نسبت به شناسایی آنها بعد از وقوع زمین لرزه خواهد بود. به‌عنوان مثال در زمین لرزه ۲۰۰۵ داهوئیه زرنند کرمان با بزرگی  $M_w=6.5$  که بیش از ۶۰۰ نفر کشته شدند، گسله عامل زمین لرزه که یک گسله قدیمی بود پس از وقوع زمین لرزه شناسایی شد [۵]. نظر به این امر مهم؛ در این مقاله، یکی از گسله‌های گزارش نشده در شهرستان تفرش و مناطق پیرامون آن به‌عنوان گسله عزالدین- راهجرد، برای نخستین بار معرفی می‌شود که در گستره مطالعاتی در طول جغرافیایی  $30^{\circ} 30'$  تا  $30^{\circ} 50'$



شکل (۱): الف) نقشه ساده شده زمین ساخت ایران و روند گسله‌های مهم با توجه به جهت همگرایی ورق عربی نسبت به اوراسیا. پیکان خاکستری جهت همگرایی ورق عربی نسبت به اوراسیا با استفاده از مدل سلا و همکاران [۶] و پیکان نارنجی خطوط سرعت به‌دست آمده از داده‌های GPS با فرض ثابت بودن ورق اوراسیا [۷] را نشان می‌دهد. GKF: گسله کویر بزرگ (درونه); MRF: گسله جوان عهد حاضر; MZT: گسله اصلی زاگرس NDF: گسله نائین- دهشیربافت; IF: گسله ایندس; QZF: گسله قم- زفره. ب) نقشه ساده شده واحدهای مختلف سنگ چینه‌ای بخش مرکزی کمان ماگمایی ارومیه دختر و گسله‌های عرضی- برشی مهم کمر بند ماگمایی. گستره مورد مطالعه با کادر مربعی تیره نشان داده شده است.



شکل (۲): نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه (با تغییر از [۸-۱۱]). عناصر ساختاری برداشت شده و موقعیت برخی از شکل‌ها بر روی نقشه آمده است.

و سنجنده استر با وضوح ۳۰ متر نیز استفاده شد.

## ۲- زمین‌شناسی و زمین‌ساخت گستره مورد مطالعه

از نظر زمین‌شناسی و زمین‌ساختی، گستره مورد مطالعه منطقه تفرش در ایالت مرکزی و کمربند کمان ماگمایی ارومیه دختر واقع است. کمان ماگمایی ویژه‌ی فرورانش نئوتتیس (کمان ماگمایی ارومیه دختر) در حاشیه‌ی جنوب غربی خرده قاره‌ی ایران مرکزی به طول ۱۵۰۰ کیلومتر و به موازات زمین

این پژوهش با انجام بازدید میدانی و بررسی‌های سنجش از دور به شناسایی هندسه و تحلیل جنبشی شواهد ساختاری گستره مورد مطالعه اعم از چین‌ها، گسل‌ها و دایک‌های منطقه، با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی RosNet, Dips, Tectonic FP و Envi می‌پردازد و تلاش دارد تا با بهره‌گیری از شواهد ساختاری و ریخت‌شناسی موجود و تحلیل ساختاری آنها به معرفی یک گسله عرضی- برشی مهم در گستره مورد مطالعه بپردازد. در این راستا از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده لندست ۷

است که همگرایی در طول پهنه آتش فشانی ارومیه دختر به طور عمده بر روی این گسله‌های امتدادلغز راست بر مستهلک می‌شوند [۳۱]. با بررسی تصاویر ماهواره‌ای و بازدید میدانی بخش مرکزی کمان ماگمایی ارومیه- دختر در منطقه تفرش (شکل ۱) به نظر رسید که سنگ‌های آذرین این منطقه نیز از این قاعده مستثنا نبوده و تحت تأثیر فعالیت این گسله‌ها قرار گرفته‌اند.

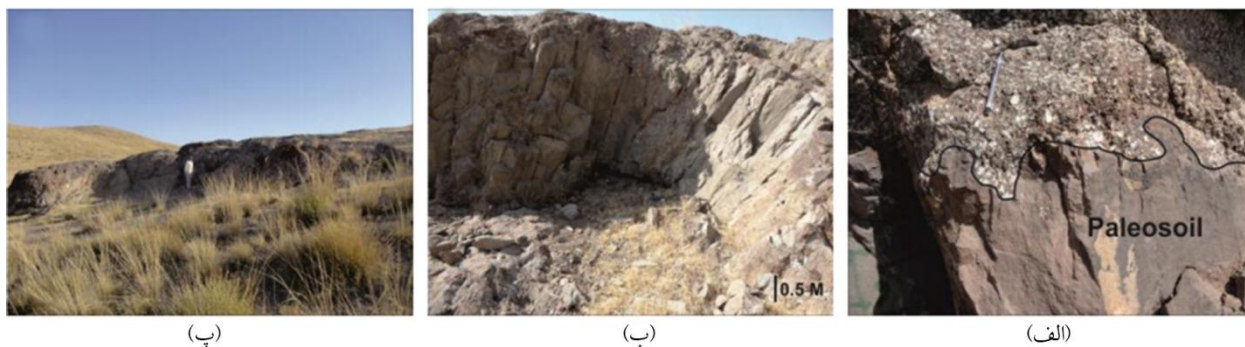
### ۳- چینه‌نگاری سنگی منطقه مورد مطالعه

در گستره مورد مطالعه، بیشتر رخنمون‌ها به سنگ‌های آتش فشانی و آذرآواری ائوسن تعلق دارد و رخنمون‌های قدیمی‌تر که شامل دولومیت‌های تریاس و رسوبات ژوراسیک و کرتاسه است، در منطقه‌ی نقره کمر مشاهده می‌شوند [۳۲] (شکل ۲). مجموعه واحدهای سنگی ابتدای سنوزوئیک برحسب قدمت زمانی، با چهار رخساره‌ی رسوبی- آذرآواری، روانه‌گذاره‌های بازالتی- آندزیتی و ایگنیمبریت ریوداسیتی و نفوذی‌ها شناخته می‌شوند که خود با دگرشیبی در زیر سازندهای سرخ زیرین، قم، سرخ بالایی و کنگلومرای بختیاری قرار می‌گیرند [۳۲].

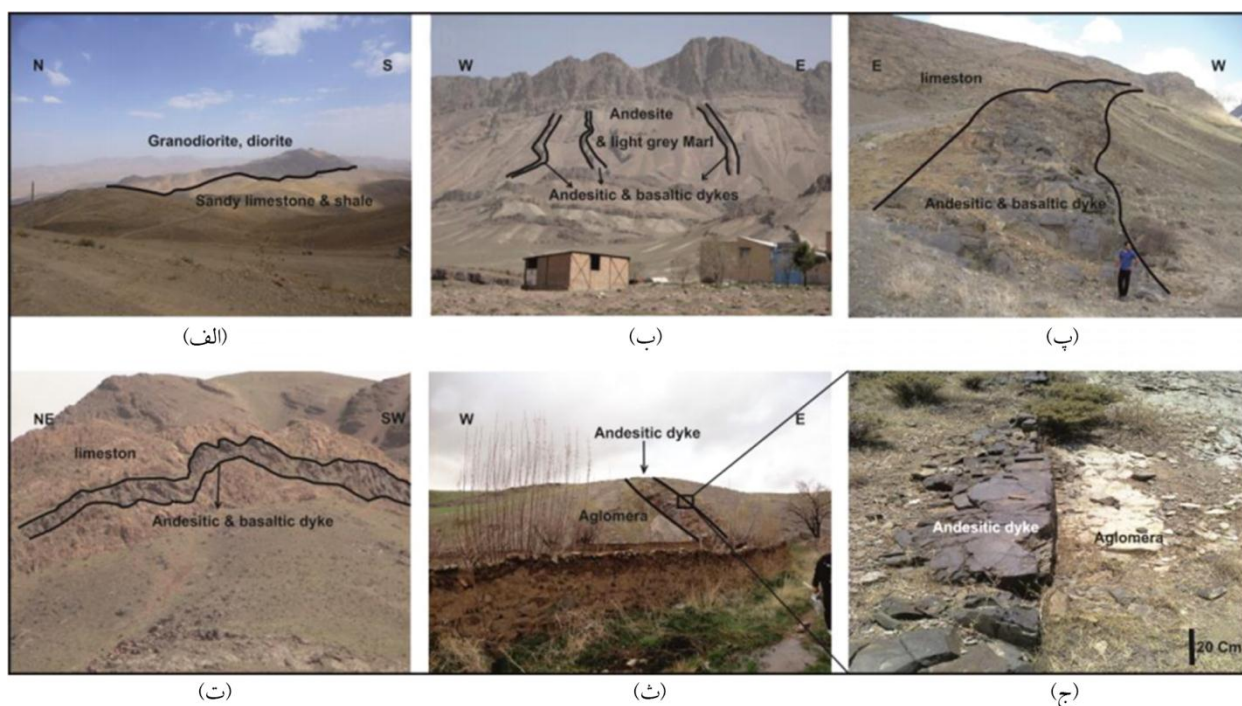
رخساره‌ی رسوبی- آذرآواری منطقه تفرش به صورت کنگلومرای با رنگ روشن و قطعات گرد و در اندازه‌های متفاوت از حدود چند میلی‌متر تا چند ده سانتی‌متر رخنمون دارد که قاعده‌ی سری‌های ائوسن منطقه را می‌سازد (شکل ۲). در بیشتر قسمت‌های منطقه، روانه‌گذاره‌های بازالتی- آندزیتی بر روی رخساره آذرآواری چین‌خورده قرار دارد (شکل ۲). وجود افق‌های خاک قرمز (شکل ۳-الف) و نیز دبی منشوری (شکل ۳-ب) در روانه‌گذاره‌ها بیانگر خروج آرام‌گذاره در محیطی هوایی است که متعاقب بالا آمدن حوضه رسوبی و چین‌خوردگی لایه‌های رسوبی- آتش فشانی صورت گرفته است. در بخش‌هایی از منطقه، روانه‌گذاره ایگنیمبریت ریوداسیتی به صورت صفحات نازک و پراکنده به چشم می‌خورند (شکل ۳-پ) که به علت ترکیب و بافت ویژه، آنها را حاصل فوران‌های پرگاز از بالای مخازن ماگمایی و خروج ماگمای سیلیسی از طریق شکستگی‌ها می‌دانند [۳۲].

درز زاگرس تشکیل شده است [۱۲-۱۵] (شکل ۱) که همواره کانون توجه زمین‌شناسان بوده و از نظر تحولات ماگمایی و زمین‌ساختی، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۱۲، ۱۶-۲۳]. فعالیت ماگمایی این پهنه منطبق بر فعالیت کوهزایی آلپی از کرتاسه تا میوسن و به صورت یک کمربند با رژیم زمین‌ساختی ترافشارشی است [۱۲، ۲۱، ۲۳] که سنگ‌های بخش جنوب شرقی آن ویژگی جزایر کمانی و بخش شمال غربی آن ویژگی حاشیه فعال قاره‌ای را نشان می‌دهد [۲۴]. به‌طور کلی مجموعه ماگمایی ارومیه دختر مشتمل بر سنگ‌های آتش فشانی آندزیت، داسیت، آندزیت بازالت، تراکی آندزیت و ریولیت با سری ماگمایی توله ایتی، کالک آلکان، آلکان غنی از پتاسیم و به‌طور محلی شوشونیتی است [۲۰، ۲۴، ۲۵] که با پیروکلاست‌های غالباً آگلومرا و روانه‌گذاره‌های ایگنیمبریتی همراه شده‌اند. مجموعه ذکر شده در برخی مناطق از جمله منطقه تفرش با دایک و توده‌های دیوریتی و گرانودیوریتی قطع می‌شوند [۹].

گسلش‌های جنبا در ایران ناشی از تغییر شکل فعال پوسته ایران است که در نتیجه همگرایی میان صفحه‌های قاره‌ای عربستان و اوراسیا صورت می‌گیرد [۱۶] (شکل ۱). پیشینه آهنگ کوتاه‌شدگی ناشی از این همگرایی در پهنه ایران بر اساس اندازه‌گیری‌های GPS حدود ۲۲-۲۵ میلی‌متر بر سال برآورد شده است که از این مقدار حدود ۲-۳ میلی‌متر بر سال در منطقه میان کمربند ارومیه دختر و دامنه جنوبی البرز جای‌داده می‌شود [۷، ۲۶]. کمربند ارومیه دختر با گسله‌های پی سنگی فعال یا لرزه‌زایی چون بیدهند، قم زفره، دهشیربافت به صورت عرضی بریده و یا کنترل شده‌اند [۲۷] (شکل ۱). برخی محققین [۲۸-۳۰] به رابطه‌ی میان ماگماتیسیم و این گسله‌های امتدادلغز در نوار ماگمایی ارومیه دختر توجه داشته و آنها را بررسی کرده‌اند. به‌طوری‌که عده‌ای معتقدند ماگمای حاصل از فرورانش مایل لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس به زیر پهنه‌ی ایران مرکزی در اواخر مزوزوئیک- ابتدای سنوزوئیک، در راستای گسله‌های پی سنگی یاد شده، در پوسته رخنه کرده است [۲۸-۲۹]. بررسی‌های زمین‌ساختی و ریخت‌شناسی بیانگر آن



شکل (۳): الف) افق خاک قرمز در زیر روانه گدازه‌های بازالتی-آندزیتی. ب) دبی منشوری در روانه گدازه بازالتی-آندزیتی. پ) روانه گدازه‌های ایگنمبریتی ریوداسیتی. موقعیت این شکل‌ها بر روی شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۴): تصاویری از رخساره‌ی نفوذی‌های منطقه‌ی تفرش. الف) توده‌ی نفوذی میکرودیوریتی زاغر، این توده در رسوبات شیل با میان لایه‌های ماسه‌سنگ و آهک ماسه‌ای به سن تریاس نفوذ کرده است. ب) دایک‌های موازی آندزیت بازالتی درون مارن و آندزیت‌های ائوسن در روستای کهک شرق تفرش. پ) نمای نزدیک از دایک‌های شرق تفرش. ت) نمونه‌ای از دایک‌های آندزیت بازالتی شرق تفرش که درون سنگ‌های آهکی کرتاسه تزریق شده است. ث) نمونه‌ای از دایک غرب تفرش تزریق شده درون روانه گدازه‌های آندزیتی و آگلومر. ج) نمای نزدیک تصویر ث. موقعیت هر کدام از شکل‌ها بر روی شکل (۲) نشان داده شده است.

### ۳-۱- نفوذی‌ها

به طوری که فاصله‌ی چندانی از هم نداشته، گاه در یک پیمایش یک کیلومتری با فاصله کمتر از ۲۰۰ متر از هم رخمون دارند. بر اساس تجمع نسبی، دایک‌های منطقه مورد مطالعه در دو منطقه‌ی شرق و غرب تفرش تجمع دارند (شکل ۲). این دایک‌ها با ضخامتی حدود ۲-۵ متر و طول حدود ۱۵-۲۰ متر با شیب بیش از ۸۰ درجه از نظر روند، به دو دسته با روند غالب

مجموعه سنگ‌های منطقه با توده‌های نفوذی شامل دسته دایک‌های موازی و توده‌های ساب و لکانیک با ترکیب میکرومونزوگابرو، میکرودیوریت، دیوریت و گرانودیوریت بریده می‌شود (شکل ۴). یکی از ویژگی‌های بارز منطقه‌ی مورد مطالعه، وجود چند دسته دایک موازی است (شکل ۲)

#### ۴-۱-۱- گسله‌ها

**گسله معکوس ایندس:** گسله ایندس به‌عنوان مرز شمال و شمال شرقی منطقه با طول ۱۰۰ کیلومتر با راستای شمال غرب- جنوب شرق با شیب به سمت جنوب غرب (شکل ۲) از چند پاره گسله موازی یکدیگر تشکیل شده است. گسله ایندس یکی از گسل‌های بنیادی و لرزه‌خیز منطقه است و در واحدهای ولکانیکی ائوسن و میوسن قرار گرفته و سبب رانده شدن واحدهای آتش‌فشانی بر روی دشت ساوه شده است. گسله ایندس در بخش‌هایی از طول خود رسوبات آبرفتی کواترنر و پادگانه‌های کهن و جوان را بریده است [۲۷، ۳۲].

**گسله راندگی عزالدین:** گسله معکوس عزالدین (شکل ۲) دارای طول ۱۵ کیلومتر با شیبی حدود ۳۰ درجه به سمت شمال شرق و سازوکار فشاری باعث رانده شدن سنگ‌های آتش‌فشانی ائوسن بر روی سازندهای قرمز زیرین، قم و قرمز بالایی شده است [۳۵]. سازوکار گسله عزالدین موجب حذف واحد رسوبی الیگوسن شده به طوری که تنها در جنوب غرب روستای زورجین رخنمون کوچکی از این واحد بر روی سنگ‌های رسوبی الیگوسن رانده شده است. تاکنون گزارش زمین‌لرزه مشخصی در ارتباط با این گسله ثبت نشده است.

**گسله تفرش:** گسله رانده تفرش با راستای شمال غرب- جنوب شرق و طول ۵۵ کیلومتر از غرب- جنوب غرب شهرستان تفرش می‌گذرد (شکل‌های ۲، ۵-۶). شیب این گسله نزدیک به ۵۰-۴۰ درجه به سمت جنوب غرب است. این گسله به‌طور عمده باعث جای گرفتن سنگ‌های آتش‌فشانی ائوسن بر روی واحدهای جوان‌تر از ائوسن شده است [۸، ۳۵]. در جنوب شرق روستای زاغر خط گسله به‌صورت مشخص در میان سنگ‌های آهکی- ماسه‌ای کرتاسه و سازند ناینید دیده می‌شود (شکل ۵). ادامه جنوب شرقی گسله تفرش در سازند ائوسن کرج ناپدید شده و یا به شاخه‌های فرعی تقسیم می‌شود. ادامه شمال غربی آن نیز در سنگ‌های سازند میوسن قرمز بالایی ناپدید می‌شود. هیچ‌گونه داده سنی دقیق و لرزه‌خیزی از این راندگی در دست نیست.

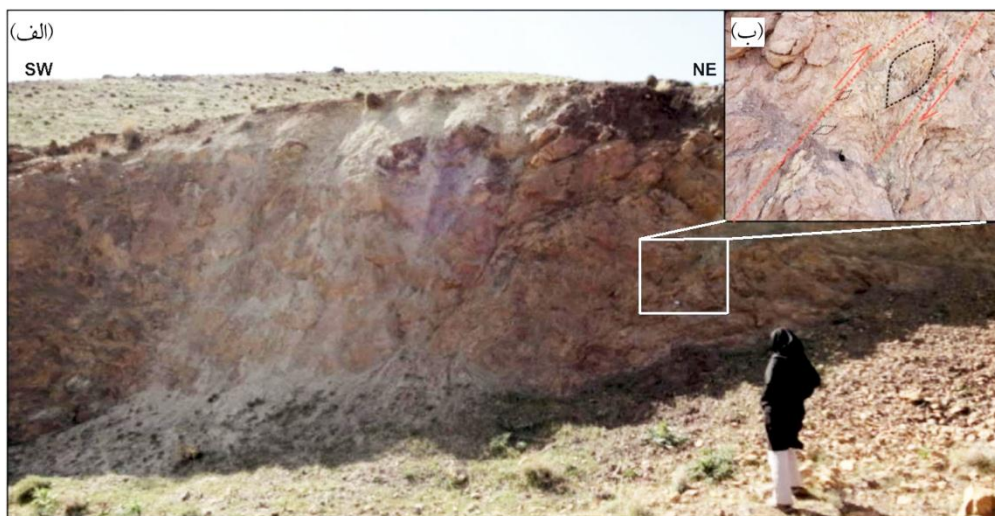
N 20-30 E و N 40-45 W تقسیم می‌شوند [۳۳]. بافت دایک‌های مذکور پورفیریسیک با خمیره میکرو کریستالین، میکرولیتی و اینترسال حاکی از شرایط نیمه‌عمیق تا تقریباً سطحی است [۳۴]. دایک‌های دسته اول با روند N 40-45 W از نوع نیمه‌عمیق با ترکیب دلریت و گابرویدوریت پورفیری در اطراف روستاهای گیان و لالابین برون‌زد دارند و واحدهای ائوسن و قدیمی‌تر را بریده‌اند. درحالی‌که دسته دوم با روند N 20-30 E از نوع دایک‌های کم‌عمق با ترکیب هورنبلند آندزیت، آندزیت بازالتی و بازالت آندزیتی، سنگ‌های آتش‌فشانی- رسوبی میوسن، سازند قم و سازند قرمز پایینی را نیز بریده‌اند [۳۳] (شکل ۲). دگرسانی دایک‌های دسته دوم چشمگیر بوده و به شدت اپیدوتی و کلریتی شده‌اند. شواهد روند دایک‌های منطقه، واحدهای دربرگیرنده و خاستگاه، نشان‌دهنده نفوذ آنها در چند مرحله است. دایک‌های نفوذی از جمله عناصر ساختاری هستند که در داخل شکستگی‌های کششی جای می‌گیرند و روند آنها از جهت تنش‌های اصلی در زمان شکل‌گیری پیروی می‌کند و الگوی تکوین ساختاری و سیستم تنش و واتنش حاکم بر منطقه را ارائه می‌دهند. دایک‌های نفوذی گستره مورد مطالعه نیز نشان‌دهنده شکستگی‌های کششی بوده و در تحلیل ساختاری منطقه کمک‌کننده خواهد بود.

#### ۴- عناصر ساختاری منطقه مورد مطالعه

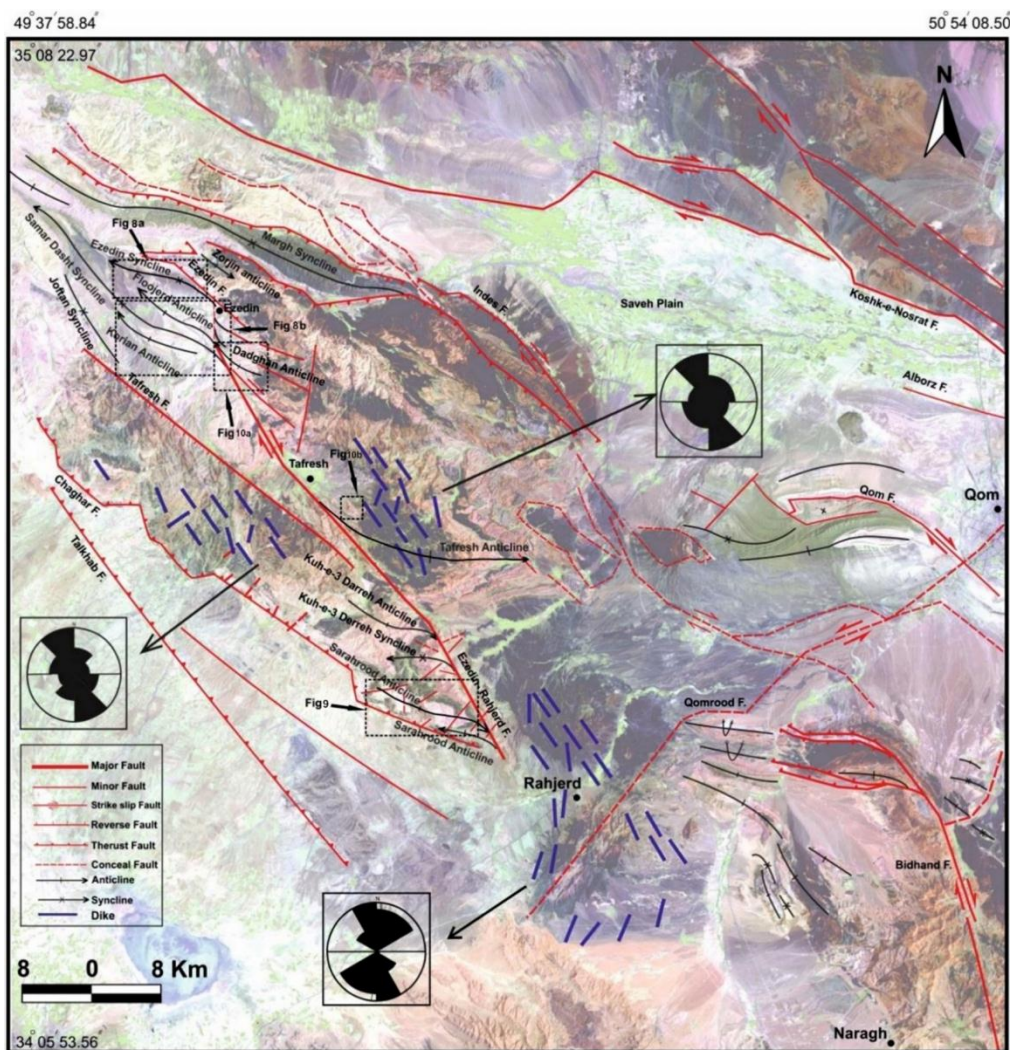
ساختارهای منطقه مورد مطالعه را می‌توان بر اساس مقیاس رخنمون به دو گروه تقسیم کرد: گروهی شامل ساختارهای اصلی و بزرگ مقیاس هستند که بر روی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی قابل شناسایی هستند و گروه دیگر شامل ساختارهای فرعی و کوچک مقیاس هستند که در مقیاس رخنمون و مشاهدات صحرایی قابل شناسایی هستند.

#### ۴-۱- ساختارهای اصلی

ساختارهای اصلی در منطقه شامل گسل‌های معکوس و راندگی و چین‌هایی با راستای عمومی کمر بند ارومیه دختر (شمال غرب- جنوب شرق) هستند که در ادامه به معرفی آنها می‌پردازیم.



شکل (۵): پهنه گسلی تفرش با جهت دید به سمت شمال غرب، حرکت معکوس گسله با ساختارهای لیزی شکل بر روی شکل مشخص شده است. موقعیت شکل بر روی شکل (۲) نشان داده شده است.



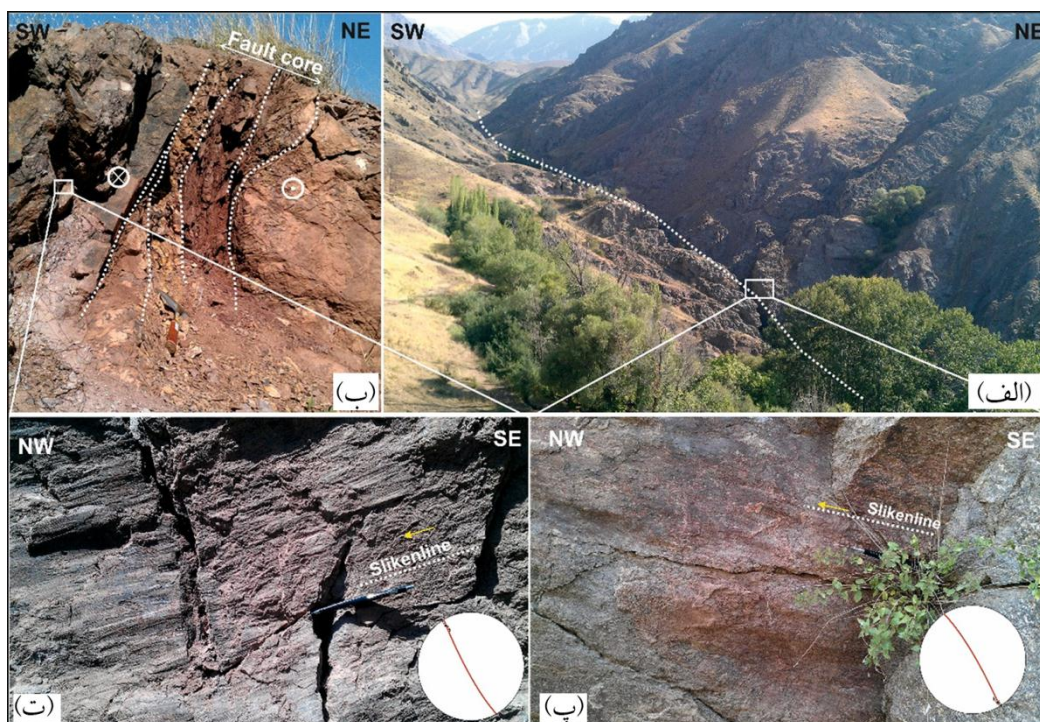
شکل (۶): نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای که بر روی آن ساختارهای اصلی منطقه شامل گسل‌ها و چین‌ها و نیز روند دایک‌ها نشان داده شده است. رز دیاگرام‌ها روند دایکهای موجود در منطقه را نشان می‌دهد.

به بریدگی نهشته‌های کوتاه‌تر با گسله تلخاب آن را یک گسله کوتاه‌تری می‌توان دانست. هیچ‌گونه داده سنی دقیق و لرزه‌خیزی از این گسله در دست نیست.

**گسله عزالدین-راهجرد:** گسله عزالدین-راهجرد برای بار نخست در این مقاله معرفی می‌شود. این گسله از روستای عزالدین آغاز و از روستاهای دادغان، مشهد، بازرگان، آمره و موجان و شهر تفرش می‌گذرد و تا نزدیکی روستای راهجرد ادامه می‌یابد و اثر آن به صورت خطی بر روی تصاویر ماهواره‌ای مشخص است (شکل ۶). این گسله باعث جابه‌جایی واحدهای کرتاسه تا واحدهای جوان‌تر از ائوسن شده است. گسل‌های تفرش و چاقر با برخورد به این گسله محدود شده و به سمت جنوب شرق ادامه ندارند (شکل ۲). قدیمی‌ترین سنگ‌هایی که با این گسله بریده شده‌اند واحدهای تریاس و جوان‌ترین نهشته‌ها مربوط به کوتاه‌تری است. برداشت خش لغزش سطح گسله و پهنه دگربرختی آن، معرف حرکت راست‌بر گسله عزالدین-راهجرد است (شکل ۷). در ادامه به بررسی بیشتر پهنه ساختاری این گسله می‌پردازیم.

**راندگی چاقر:** گسله رانده چاقر با طول ۱۵ کیلومتر و راستای شمال غرب- جنوب شرق (شکل ۶) و شیب حدود ۲۵-۲۰ درجه به سوی شمال شرقی است [۸-۹]. این گسله باعث راندگی بخش‌هایی از سنگ‌های آهک، آهک ماسه‌ای، توف و مارن به سن ائوسن بر روی نهشته‌های مارن و سنگ آهک ائوسن و سنگ آهک و مارن الیگومیوسن شده است. این گسله مابین گسله تفرش در شمال شرق و گسله تلخاب در جنوب غرب قرار دارد و ناودیس تلخاب در فرادپواره آن شکل گرفته است.

**راندگی تلخاب:** گسله رانده تلخاب با طول ۱۱۴ کیلومتر به‌عنوان مرز جنوب غربی منطقه با روند شمال غرب- جنوب شرق (شکل ۶)، شیبی حدود ۳۵-۲۰ درجه به سوی شمال شرق باعث راندگی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن کرج و سازند قم بر روی سنگ‌های الیگو- میوسن کرج و سازندهای شمشک و لار و پادگانه‌های قدیمی کوتاه‌تر شده است [۸، ۱۰]. به سوی شمال غرب گسله وارد سازند کرج شده و به سمت جنوب شرق مرز میان سازند قم و پادگانه‌های قدیمی کوتاه‌تر را می‌سازد. با توجه



شکل (۷): الف) دره گسلی عزالدین- راهجرد در مسیر رودخانه تفرش، دید به سمت شمال غرب، ب) پهنه دگربرختی گسله امتدادلغز عزالدین- راهجرد در نزدیکی روستای دادغان، دید به سمت شمال غرب، پ و ت) صفحات گسلی و خش لغز معرف حرکت راست‌بر گسله، دید به سمت شمال شرق. استریونت موقعیت صفحه گسلی و سازوکار آن را نشان می‌دهند. موقعیت این شکل‌ها بر روی شکل (۲) نشان داده شده است.



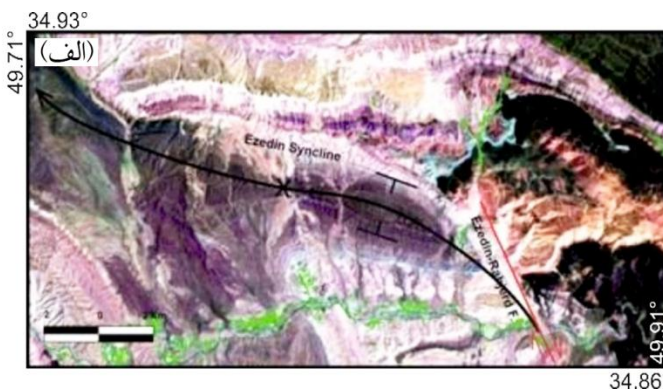
#### ۴-۱-۲- چین خوردگی‌ها

**چین‌های واقع در قسمت غربی پایانه شمالی گسله عزالدین- راهجرد:** تاقدیس‌های زورجین، فلوجرد و کوریان و ناودیس‌های عزالدین، سردشت و جفتان در غرب پایانه شمالی گسله عزالدین- راهجرد واقع است (شکل ۶). روند این چین‌ها تقریباً شمال غرب-جنوب شرق است که در مواجهه با گسله عزالدین- راهجرد روند محور آنها دچار خمش راست‌بر شده است. شکل (۸) به‌عنوان نمونه تغییر روند محور چین‌های عزالدین، فلوجرد، سردشت و کوریان را در برخورد با گسله عرضی- برشی عزالدین- راهجرد نشان می‌دهد.

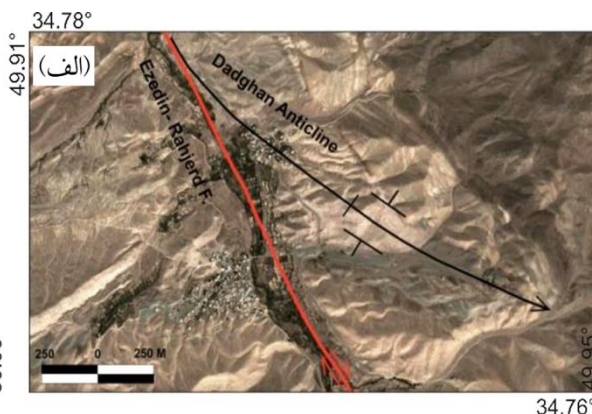
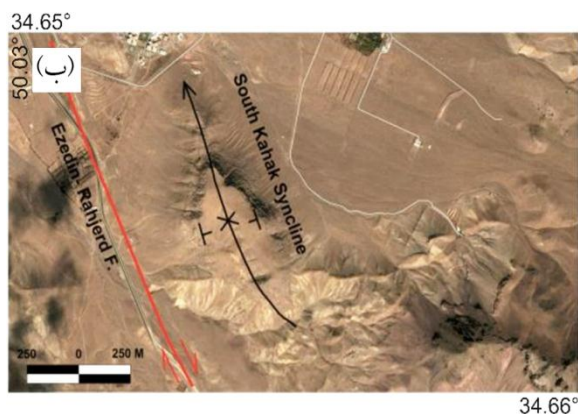
**چین‌های واقع در شرق گسله عزالدین- راهجرد:** تاقدیس‌های تفرش و دادغان و ناودیس جنوب کهک در شرق گسله عزالدین- راهجرد واقع شده است (شکل ۶). روند محور این چین خوردگی‌ها

در شرق گسله عزالدین- راهجرد، در مواجهه با گسله دچار خمش راست‌بر شده و با روند گسله هم‌سو می‌شود. این چین‌ها بر روی تصویر ماهواره‌ای شکل (۹) نشان داده شده است.

**چین‌های واقع در قسمت غربی پایانه جنوبی گسله عزالدین- راهجرد:** تاقدیس‌های سرهرود و کوه سه‌دره و ناودیس‌های سرهرود و کوه سه‌دره در غرب پایانه جنوبی گسله عزالدین- راهجرد (شکل ۶) واقع است. روند این چین خوردگی‌ها تقریباً شمال غرب-جنوب شرق است و در روبه‌روی/برخورد با گسله عزالدین- راهجرد تغییر روند داده و روندشان با روند گسله هم‌سو می‌شود. به‌عنوان مثال شکل (۱۰) تاقدیس سرهرود در شرق روستای سرهرود را نشان می‌دهد که هسته آن از مارن‌های انوسن تشکیل شده است و از نوع چین دو سویه نامتقارن است و محور آن تحت تأثیر فعالیت گسله عزالدین- راهجرد تغییر روند داده است.



شکل (۸): الف) ناودیس عزالدین در پایانه شمالی و غرب گسله عزالدین- راهجرد و ب) ناودیس سردشت، تاقدیس‌های فلوجرد و کوریان در پایانه شمالی و غرب گسله عزالدین- راهجرد و تاقدیس دادغان در شرق گسله عزالدین- راهجرد. روند محور این چین‌ها در مواجهه با گسله عزالدین- راهجرد تغییر روند داده و با گسله موازی می‌شوند. موقعیت این چین‌ها بر روی شکل (۶) مشخص شده است.



شکل (۹): الف) تغییر روند محور چین‌های دادغان و جنوب کهک، ب) در مجاورت گسله عرضی- برشی عزالدین- راهجرد.

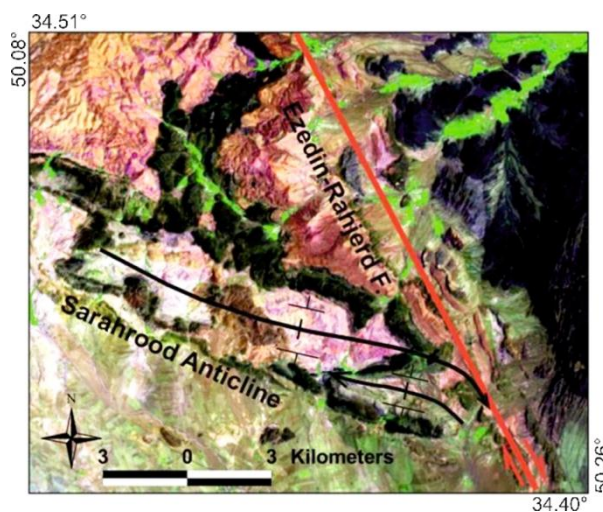
معکوس و امتدادلغز در پهنه گسله عزالدین- راهجرد برداشت شد که در ادامه به معرفی آنها می‌پردازیم.

#### ۴-۲-۱- چین‌های فرعی

در بررسی‌های صحرایی، چین‌های فرعی، در مجاورت گسله عرضی- برشی عزالدین- راهجرد و در پایانه‌های شمالی و جنوبی و بخش‌های میانی گسله مشاهده و برداشت گردیدند. شکل (۱۱) نمونه‌ای از این چین خوردگی‌ها به همراه موقعیت محوری آنها بر روی استریونت را نشان می‌دهد. می‌توان گفت روند محوری این چین‌های فرعی تقریباً شرقی- غربی است.

#### ۴-۲-۲- گسل‌های معکوس

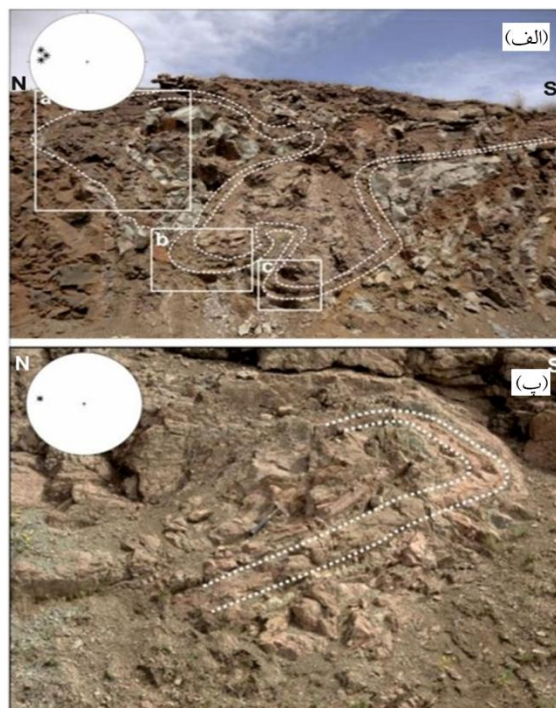
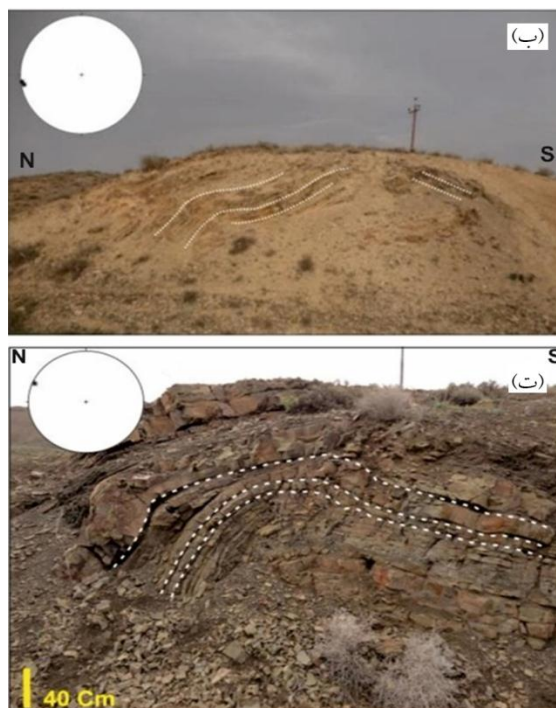
چند نمونه از گسل‌های فرعی با سازوکار فشاری و برداشت شده در مجاورت گسله عرضی- برشی عزالدین- راهجرد، در شکل (۱۲) نشان داده شده است. امتداد سطح این گسل‌ها همانند روند محور چین‌های فرعی، شرقی- غربی است و بیشتر در غرب پایانه شمالی و بخش‌های میانی گسله عرضی- برشی رخنمون دارند.



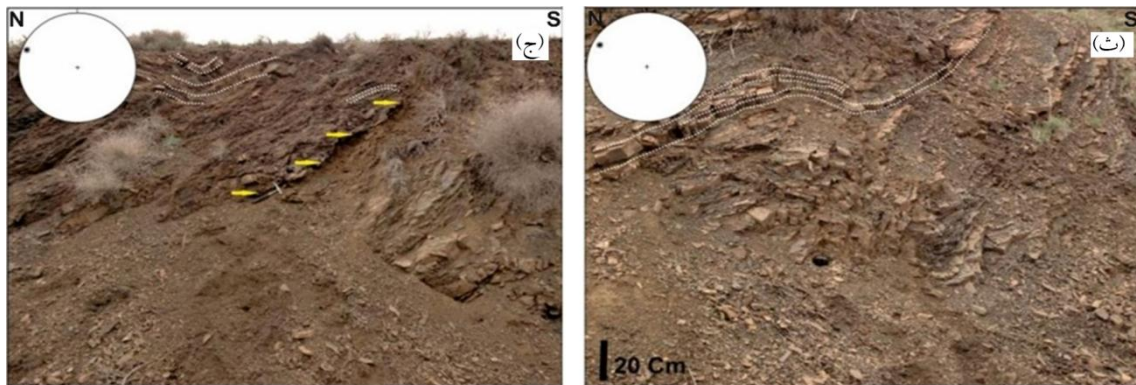
شکل (۱۰): تاقدیس سرهرود واقع در غرب پایانه جنوبی گسله عزالدین- راهجرد. خمس محور چین در مواجهه با گسله و همسو شدن آن با روند گسله مشهود است.

#### ۴-۲-۳- ساختارهای فرعی

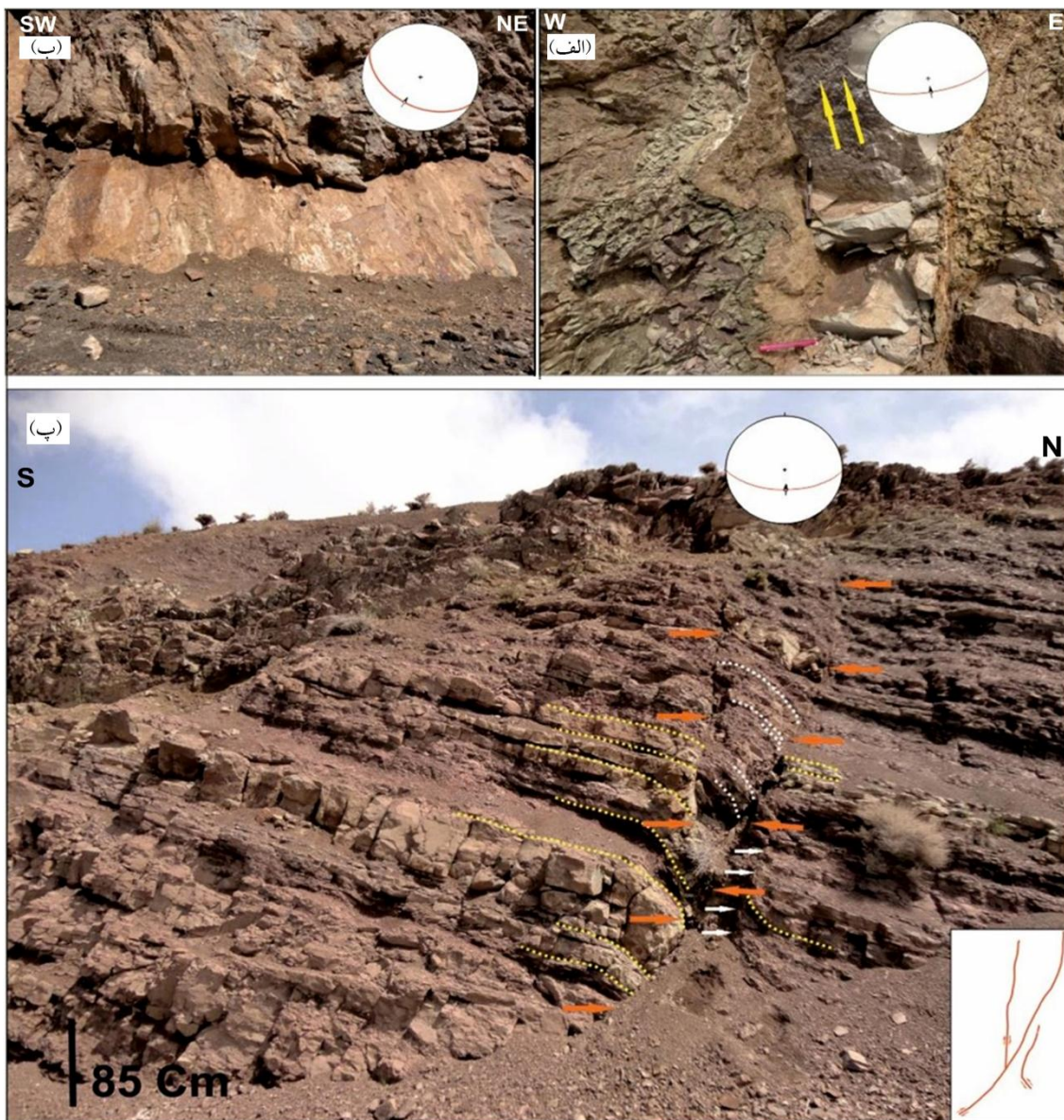
ساختارهای فرعی تنها در مشاهدات صحرایی قابل شناسایی هستند. در پیمایش‌های صحرایی از طول و عرض منطقه مورد مطالعه ساختارهای فرعی شامل چین خوردگی‌ها و گسل‌های



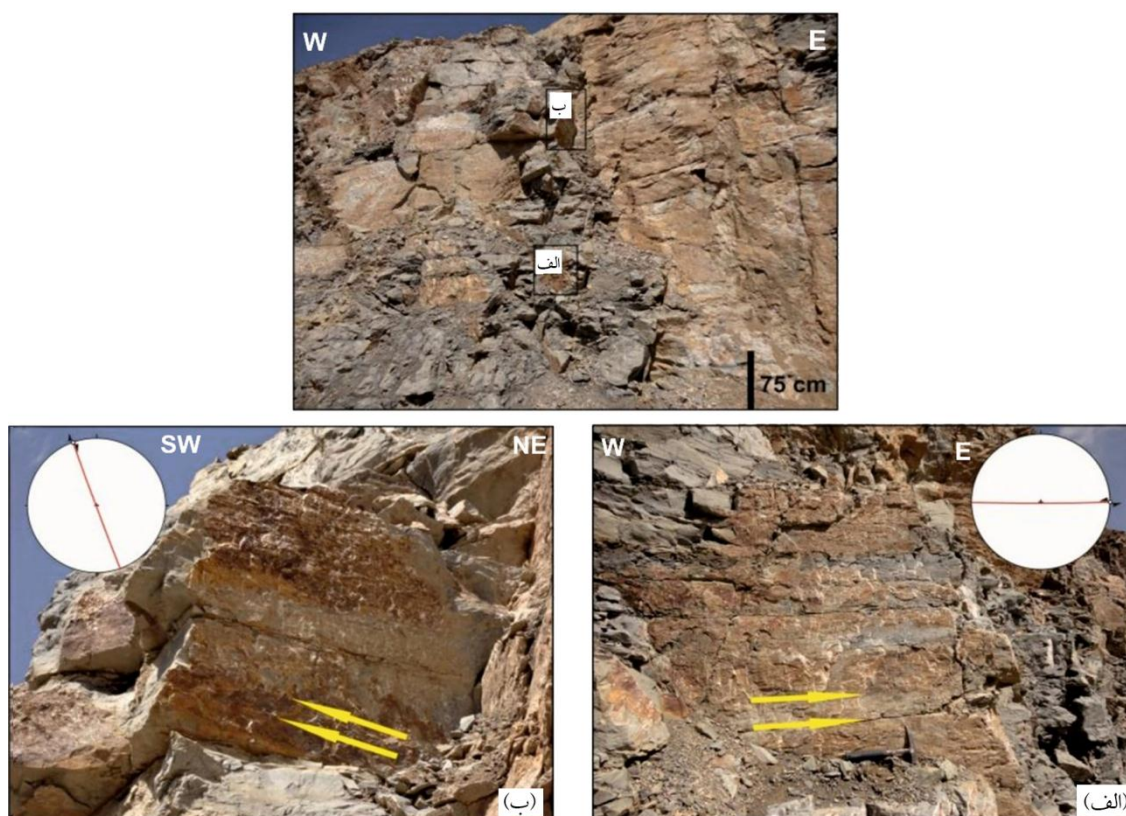
شکل (۱۱): نمونه‌ای از چین‌های فرعی منطقه مورد مطالعه در پایانه شمالی گسله عزالدین- راهجرد (الف و ب)، در بخش میانی گسله (پ) و در مجاورت پایانه جنوبی گسله (ت، ث، ج). استریونت‌ها موقعیت محور چین‌های فرعی را نشان می‌دهد. جهت دید عکس‌ها به سمت غرب و به موازات محور چین‌ها است. موقعیت این چین‌ها بر روی شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۱۱): ادامه



شکل (۱۲): نمونه‌ای از گسل‌های معکوس فرعی منطقه مورد مطالعه که در پایانه شمالی گسله عزالدین- راهجرد -الف) با جهت دید به سمت شمال و در بخش میانی گسله ب) با جهت دید به سمت شمال غرب و پ) با جهت دید به سمت غرب- رخنمون دارند. استریونت‌ها موقعیت صفحات گسلی و سازوکار آنها را نشان می‌دهد. موقعیت این شکل‌ها بر روی شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۱۳): نمونه‌ای از گسل‌های امتدادلغز فرعی منطقه مورد مطالعه. الف) امتدادلغز چپ بر با جهت دید به سمت شمال و ب) امتدادلغز راست بر با جهت دید به سمت شمال غرب که در بخش میانی گسله عزالدین-راهجرد رخنمون دارند. استریونت‌ها موقعیت صفحات گسلی و سازوکار آنها را نشان می‌دهد. موقعیت این شکل‌ها بر روی شکل (۲) نشان داده شده است.

ارومیه-دختر را قطع می‌کند (شکل‌های ۲ و ۶). اثر دگرریختی این پهنه عرضی-برشی بر روند ساختارهای اصلی منطقه اعم از چین‌ها و گسل‌ها؛ با روند غالب شمال غرب-جنوب شرق که حاصل جنبش زمین‌ساختی آلپی هستند؛ به صورت خمش محور چین‌ها و تغییر روند یا قطع‌شدگی گسل‌های معکوس است (شکل ۱۴). علاوه بر ساختارهای اصلی که متأثر از فعالیت گسله عرضی-برشی عزالدین-راهجرد هستند، ساختارهای فرعی منطقه، محدود به پهنه گسلی است و در اثر فعالیت این پهنه ایجاد شده‌اند (شکل ۱۴). خمش راست بر محور چین‌های اصلی، روند تقریبی شرقی-غربی چین‌ها و گسل‌های معکوس فرعی و وجود گسل‌های فرعی امتدادلغز به صورت همسو و ناهمسو با پهنه برشی، شواهدی بر فعالیت امتدادلغزی راست بر گسله عرضی-برشی عزالدین-راهجرد است. در چنین پهنه عرضی-برشی راست بر، توسعه شکستگی‌های کششی با روند  $N020^{\circ}-N030^{\circ}$  دور از انتظار نیست [۳۶] (شکل ۱۴).

#### ۴-۲-۳- گسل‌های امتدادلغز

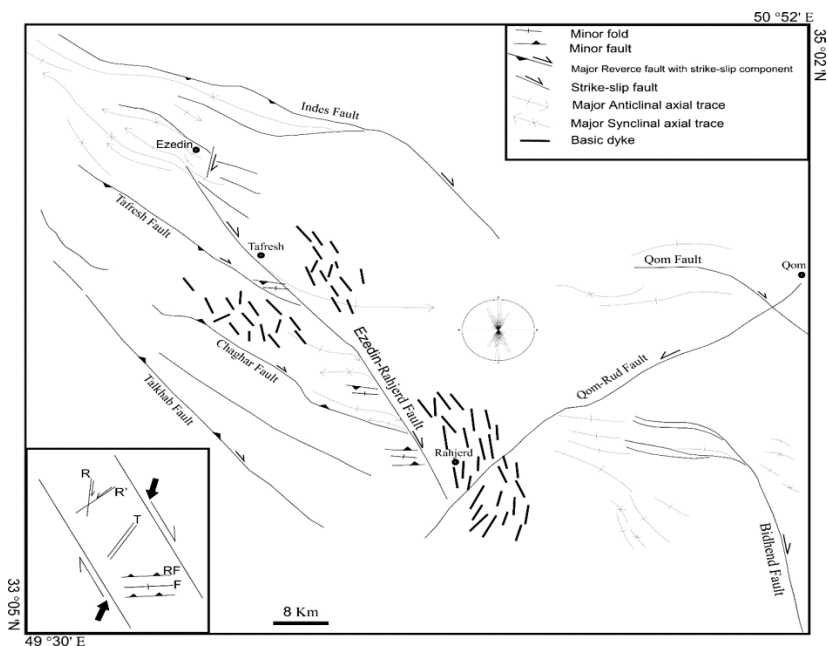
گسل‌های امتدادلغز از جمله ساختارهای فرعی منطقه مورد مطالعه هستند که همانند سایر ساختارهای فرعی بیشتر در مجاورت گسله عرضی-برشی رخنمون دارند. این گسل‌ها به دو صورت راست بر با روند  $N-05^{\circ}$  تا روند موازی گسله عزالدین-راهجرد و چپ بر با روند  $N-050^{\circ}$  تا  $N-080^{\circ}$  برداشت شد. نمونه‌ای از این گسل‌ها که در بخش میانی گسله عزالدین-راهجرد برداشت شده‌اند در شکل (۱۳) آمده است.

#### ۵- بحث

##### ۵-۱- شواهد ساختاری و جنبشی گسله عرضی-برشی

##### عزالدین-راهجرد

مطالعه تصویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد پهنه گسلی عزالدین-راهجرد با روند کلی  $N-150^{\circ}$  به صورت عرضی، کمان ماگمایی



شکل (۱۴): نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه. آرایش ساختارهای اصلی و فرعی نسبت به گسله عرضی-برشی عزالدین-راهجرد، حرکت امتداد لغز راست بر این گسله را نشان می‌دهد. رز دیاگرام روند دایک‌های نفوذی منطقه بر روی نقشه آمده است. R: گسله همسو یا ریدل؛ R': گسله ناهمسو یا آنتی ریدل؛ T: شکستگی کششی؛ RF: گسله معکوس و F: چین در یک پهنه برشی راست بر.

جنوب جریان دارد و از روستاهای بارزجان، دادغان و عزالدین می‌گذرد و بعد از گذر از شهر تفرش در جلایر با رودخانه قره‌چای یکی می‌شود.

#### ۵-۲-۲- شواهد لرزه‌خیزی

از دیدگاه لرزه‌خیزی، منطقه مورد مطالعه در ایالت لرزه‌خیز ایران مرکزی واقع است. زمین‌لرزه‌های دستگامی منطقه (شکل ۱۶) مراکز سطحی زمین‌لرزه‌های با بزرگای  $2 < Mw < 6$  را نشان می‌دهد. با مقایسه روند گسله‌های مهم منطقه مورد مطالعه و مراکز سطحی زمین‌لرزه‌ها، فراوانی ابرگونه‌ای بین گسله عزالدین-راهجرد و گسله ایندس و نیز فراوانی ابرگونه دیگر ما بین گسله چاقر و تلخاب مشاهده می‌شود. علاوه بر آن، مراکز سطحی زمین‌لرزه‌های با بزرگای  $2 < Mw < 4$  پیرامون گسله عزالدین-راهجرد فراوانی ابرگونه‌ای دارند. هرچند با توجه به خطای مکان‌یابی بالای این گونه رخدادها کوچک، نمی‌توان به درستی چشمه مسبب آنها را تعیین کرد؛ اما چنین ابری نباید بی‌معنا باشد و ممکن است نشان از فعالیت امروزی این گسله و گسله‌های اطراف آن داشته باشد.

لذا می‌توان بیان داشت دایک‌های دسته دوم با روند N 20-30 E که از نوع دایک‌های کم‌عمق هستند، علاوه بر سنگ‌های قدیمی، سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی میوسن، سازند قم و سازند قرمز پایینی را نیز بریده‌اند و در داخل این شکستگی‌های کششی حاصل از فعالیت گسله عرضی-برشی جای گرفته‌اند. در حالی که به نظر می‌رسد دایک‌های دسته اول با روند N 40-45 W که از نوع نیمه عمیق بوده و واحدهای قدیمی تر از ائوسن را بریده‌اند، نسبت به دایک‌های دسته دوم قدیمی تر و در اثر ساختارهای اصلی کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر ایجاد شده باشند.

#### ۵-۲- شاخص‌های پتانسیل فعالیت جوان گسله عرضی-

##### برشی عزالدین-راهجرد

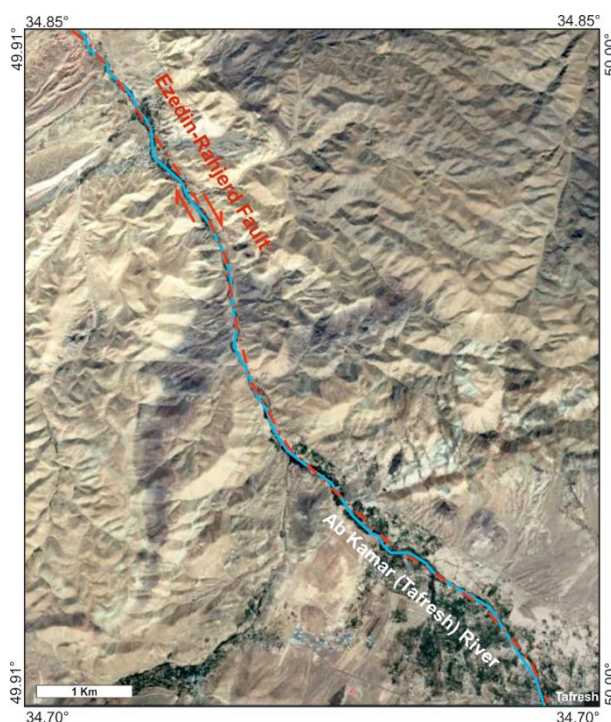
#### ۵-۲-۱- شواهد زمین‌ریخت‌شناسی

مهم‌ترین عارضه زمین‌ریخت‌شناسی که در راستای گسله عزالدین-راهجرد مشاهده می‌شود انطباق مسیر رودخانه آب کمر (تفرش) به عنوان رودخانه اصلی منطقه بر روند این گسله است (شکل ۱۵). رودخانه آب کمر که از بلندی‌های گیان سرچشمه می‌گیرد در امتداد گسله عزالدین-راهجرد از شمال به سمت

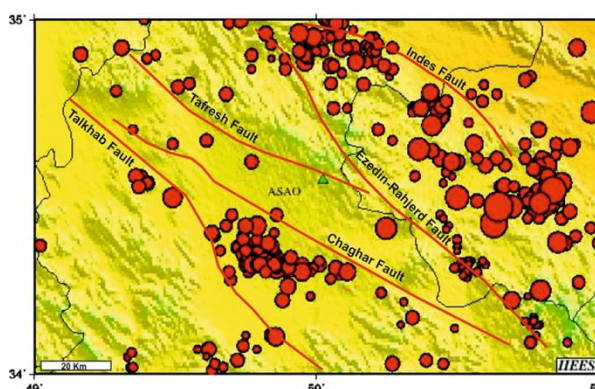
برداشت های میدانی نشان داد که تأثیر فعالیت این گسله در کمربند ارومیه دختر به صورت تغییر روند ساختارهای اصلی همانند خمش محور چین ها و تشکیل ساختارهای فرعی با روندی متفاوت از روند ساختارهای اصلی بوده است. برداشت ویژگی های هندسی و جنبشی ساختارها گویای حرکت راست بر گسله عرضی - برشی عزالدین - راهجرد است. این گسله بر روی تصویر ماهواره ای نیز به صورت خطی منطبق بر روند رودخانه آب کمر (تفرش) مشخص است. انطباق مرکز سطحی زمین لرزه ها بر روی این گسله، اهمیت شناسایی و معرفی این پهنه گسلی را در مطالعات لرزه خیزی منطقه نشان می دهد. گسله عزالدین - راهجرد یکی از گسله های راست بر عرضی - برشی با پتانسیل فعالیت در کمربند ارومیه دختر است که هم راستا با گسله های فعال بیدهند، قم زفره و دهشیر [۳۷، ۳۰] (شکل ۱) با آرایش پله ای نسبت به هم سبب بریده شدن کمربند ارومیه دختر شده است. گسله عزالدین - راهجرد می تواند به عنوان یک گسله مهم در تحلیل خطر لرزه ای منطقه تفرش و مناطق هم جوار نقش داشته باشد. از این رو، بررسی های کامل تر برای تعیین آهنگ فعالیت و توان لرزه زایی گسله، ضروری است.

### مراجع

- Zanchi, A., Zanchetta, S., Balini, M., and Ghassemi, M.R. (2016) Oblique convergence during the Cimmerian collision: Evidence from the Triassic Aghdarband Basin, NE Iran. *Gondwana Research*, **38**, 149-170.
- Pirozi, H., Davoodi, Z., and Asiabanha, A. (2015) Tectonic setting of the analcime basalts of Taleghan area. *33<sup>th</sup> Geosciences Congress, Geological Society of Iran*, Tehran (in Persian).
- Davoodi, Z. (2016) Influence of the basement strike-slip fault on the 2005 and 2014 Earthquakes, Qeshm Island, Iran. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, **18**(4), 219-230.
- Cornell, C.A. (1968) Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seis. Soc. Am.*, **58**(5), 1583-1606.
- Talebian, M., Biggs, J., Bolourchi, M., Copley, A.,



شکل (۱۵): تصویر ماهواره ای لندست ۷ (ETM+) از انطباق مسیر رودخانه آب کمر (تفرش) با راستای گسله عزالدین - راهجرد.



شکل (۱۶): مرکز سطحی زمین لرزه های دستگای در بازه زمانی ۱۹۴۵ تا ۲۰۱۸ با  $M_w = 2-6$  در منطقه مورد مطالعه (برگرفته از IIEES). روند گسله های مهم منطقه از جمله گسله عزالدین - راهجرد با خط قرمز بر روی نقشه نشان داده شده است.

### ۶- نتیجه گیری

سنگ های آتشفشانی سنوزوئیک منطقه تفرش به سن ائوسن که به طور دگرشیب با سازندهای سرخ زیرین و بالایی و سازند قم پوشیده شده اند، با گسله عرضی - برشی عزالدین - راهجرد با راستای N-۱۵۰ و طول ۷۰ کیلومتر بریده شده است. بررسی الگو و هندسه ساختارها به کمک تصویر ماهواره ای و

- Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoorn, 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**, 1-38.
16. Stöcklin, J. (1974). Possible ancient continental margins in Iran. In: *The Geology of Continent Margins* (Eds. Burke, C.A. and Darke, C.L.), 873-887.
  17. Farhoudi, G.H. (1978) A comparison of Zagros geology to island-arcs. *Journal of Geology*, **86**, 323-334.
  18. Berberian, M. (1981) The south Caspian: a compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust. *Canadian Journal of Earth Science*, **20**, 163-183.
  19. Berberian, M. and King, G. (1981) Towards a palaeogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **18**, 210-265.
  20. Berberian, F., Muir, F.I.D., Pankhurst, R.J., and Berberian, M. (1982) Late cretaceous and early Miocene Andean type plutonic activity in northern Makran and central Iran. *Journal of Geological Society*, **139**, 605-614.
  21. Alavi, M. (1994) Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, **229**, 211-238.
  22. Shahabpour, J. (2005) Tectonic evolution of the orogenic belt located between Kerman and Neyriz. *Journal of Asian Earth Sciences*, **24**, 405-417.
  23. Ghasemi, A. and Talbot, C.J. (2006) A new scenario for the Sanandaj-Sirjan zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, **26**, 683-693.
  24. Alavi, M. (2007) Structures of the Zagros fold thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, **307**, 1064-1095.
  25. Hassanzadeh, J. (1993) *Metallogenic and Tectono-Magmatic Events in the SE Sector of the Cenozoic Active Continental Margin of Iran*. PhD thesis, University of California, Los Angeles.
  26. Nilforoushan, F., Vernant, P., Masson, F., Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., Nankali, H., Gassemi, 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: reactivation of an intra-mountain reverse fault. *Geophysical Journal International*, **164**, 137-148.
  6. Sella, F., Dixon, H., and Mao, A. (2002) REVEL: A model for Recent plate velocities from space geodesy. *Journal of Geophysical Research*, 107(B4).
  7. Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ghafory-Ashtiany, 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.
  8. Kohansal, R. and Radfar, J. (2003) *Geological Map of Farmahin in 1:100000*, Geological Survey of Iran.
  9. Alai Mahabadi, S. (2000) *Geological Map of Salafcheghan in 1:100000*, Geological Survey of Iran.
  10. Radfar, J. and Kohansal, R. (2004) *Geological Map of Arak in 1:100000*, Geological Survey of Iran.
  11. Hadjian, J. (1970) *Geological Map of Tafresh in 1:100000*, Geological Survey of Iran.
  12. Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., and Mouthereau, F. (2005) Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences*, **94**, 401-419.
  13. Allen, M. and Armstrong, H.A. (2008) Arabia-Eurasia collision and the forcing of Mid-Cenozoic global cooling. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **265**(1), 52-58.
  14. Horton, B.K., Hassanzadeh, J., Stockli, D.F., Axen, G.J., Gillis, R.J., Guest, B., Amini, A., Fakhari, M.D., Zamanzadeh, S.M., and Grove, M. (2008) Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: Implications for chronostratigraphy and collisional tectonics. *Tectonophysics*, **451**(1-4), 97-122.
  15. Morley, C.K., Kongwung, P., Julapour, A.,

37. Nadri, R., Mohajjel, M., and Bahroudi, A. (2010) Bidhand strike-slip fault system (South of Qom). *Geosciences*, **18**(74), 177-184 (in Persian).

### واژه‌نامه

Transverse Fault	۱- گسله عرضی - برشی
Major Structure	۲- ساختار اصلی
Minor Structure	۳- ساختار فرعی
En-echelon Arrangement	۴- آرایش ناهم‌ردیف یا نردبانی
Geomorphology	۵- زمین‌ریخت‌شناسی
Seismic Source	۶- چشمه لرزه‌ای

- Hatzfeld, D., Bayer, R., Tavakoli, F., Ashtiani, A., Doerflinger, E., Daignières, M., Collard, P., and Chéry, J. (2003) GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran. *Journal of Geodesy*, **77**, 411-422.
27. Berberian, M. (1976) *Documented earthquake faults in Iran*. Rep. 39, Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
28. Nogol-e Sadat, M.A.A. (1978) *Shear zones and structural bending in Iran, Achievements of structural analysis of Qom area*. Rep.55, Geological Society of Iran, Tehran (in Persian).
29. Mohajjel, M. (2000) Role of the en-echelon extensional spaces in intrusive of igneous rocks in Kashan-Ardestan area, a pattern for formation of the Urmia-Dokhtar magmatic arc. *19<sup>th</sup> Geosciences Congress*, Geological Society of Iran, Tehran (in Persian).
30. Mohajjel, M. and Porouhan, N. (2005) Geometry and kinematics of Qom-Zefreh fault system and its significance in transpression tectonics. *Geosciences*, **14**(59), 167-173 (in Persian).
31. Meyer, B., Mouthereau, F., Lacombe, O., and Agard P. (2006) Evidence of Quaternary activity along the Deshir Fault: implication for the Tertiary tectonics of Central Iran. *Geophys. J. Int.*, **164**, 192-201.
32. Emami, M. and Hadjian, J. (1370) *Geological Map of Qom in 1:250000*, Geological Survey of Iran.
33. Khademi, F. (2014) *The study of facies and geochemistry of magmatic rocks in the Shahrab-Feshk districts, NE Farmahin*. Ms. Thesis, Imam Khomeini International University, Qazvin (in Persian).
34. Kazemi, H. (2005) *Petrology of Dykes in East of Tafresh*. Ms. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran (in Persian).
35. Rajabion, J. (2005) *Brittle Deformation Analysis in Tafresh Area*. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran (in Persian).
36. Ramsay, J.G. and Huber M.I. (1987) *The Techniques of Modern Structural Geology*. **2**, Folds and Fractures, Academic Press, London.