فصلنامه زمین‌ساخت

پاییز ۱۴۰۱، سال ششم، شماره ۲۳

doi 10.22077/JT.2024.6501.1157

تحلیل ساختاری پهنه گسلی عاج در حاشیه جنوب غربی ایران مرکزی (انتهای شمال‌غربی نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه)، شهربابک

ریحانه کیهانی‌زاده[۱]، علیرضا ندیمی[۲*]، همایون صفایی[۳]، عباس مرادیان شهربابکی[۴]، شهرام شفیعی بافتی[۵]

۱- دکتری تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشیار تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

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

۴- استاد پترولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۵- دانشیار تکتونیک، گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰

چکیده:

گسل عاج با راستای کلی شمال‌شمال‌غربی- جنوب‌جنوب‌شرقی، موازی با پهنه گسله نائین- بافت در غرب خردقاره ایران مرکزی از حوالی جنوب مهریز شروع شده و با عبور از کمان ماگمایی ارومیه- دختر با راستای میانگین N350، تا حاشیه جنوبی پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان ادامه دارد. اطلاعات ساختاری به‌دست آمده از این گسل در کمان ماگمایی ارومیه دختر (نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه)، نشان‌دهنده سازوکار مورب‌لغز راستگرد برای آن است. تحلیل تنش دیرین صورت‌گرفته بر پایه داده‌های برداشت‌شده از سطوح گسله، نشان‌دهنده راستای تنش حداکثر N040 و هم‌روند با حرکت های فشارشی صفحه عربی به سمت ایران مرکزی است. گسل عاج تغییرات زیادی را در زمین‌ریخت‌شناسی این محدوده ایجاد کرده که از مهمترین آنها، نفوذ توده‌های نیمه آتشفشانی داسیتی- ریوداسیتی در طول خود است. در جنوب محدوده مورد مطالعه، این گسل موجب قطع و جابه‌جایی راستگرد پهنه افیولیتی و گسل شهربابک شده و جابه‌جایی آبراهه‌ها در راستای آن، دلیلی بر فعالیت جوان آن است.

واژه‌های کلیدی: پهنه گسله عاج، توده‌های نیمه آتشفشانی، افیولیت شهربابک، کمان ماگمایی ارومیه- دختر، نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه.

*ایمیل: a.nadimi@sci.ui.ac.ir

تلفن تماس: ۰۹۱۳۱۱۳۴۴۲۳

Structural analysis of Âj Fault Zone in SW of Central Iran (NW of Dahaj- Sarduiyeh magmatic belt), Shahr-e-Babak

Reihaneh Keihanizadeh[1], Alireza Nadimi[2*], Homayon Safaei[3], Abbas Moradian[4], Shahram Shafieibafti[5]

1- Ph.D, Department of Geology, University of Isfahan, P.O. Box: 81746-73441, Isfahan, Iran

2- Associate professor, Department of Geology, University of Isfahan, P.O. Box: 81746-73441, Isfahan, Iran

3- Associate professor, Department of Geology, University of Isfahan, P.O. Box: 81746-73441, Isfahan, Iran

4- Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

5- Associate professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Abstract:

The NNW-SSE trending Âj fault parallel to the Naein-Baft fault zone in the west of micro-continent of Central Iran, starts from the south of Mehriz and passes through the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, to the southern margin of the Sanandaj- Sirjan metamorphic zone in south of Iran with N350 trend. The structural analysis of this fault in Urumieh- Dokhtar magmatic arc (Dehaj-Sarduiyeh magmatic belt) indicates a dextral oblique-slip mechanism. The paleo-stress analysis based on the data taken from the fault surfaces indicates the direction of the maximum stress in N040 parallel with the contractional movements of the Arabian plate towards the Central Iran. The Âj fault has caused many changes in the morphology of this area, one of the most important of which is the penetration of sub-volcanic dacite-rhyodacite plugs along its length. In the south of the studied area, this fault has caused the cut and dextral displacement of the ophiolites and Shahr-e-Babak fault zone. The Âj fault zone is active, because some rivers in its length are dextral displacement.

Keywords: Âj fault zone, sub-volcanic plugs, Shahr-e-Babak ophiolite, Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Dahaj- Sarduiyeh magmatic belt.

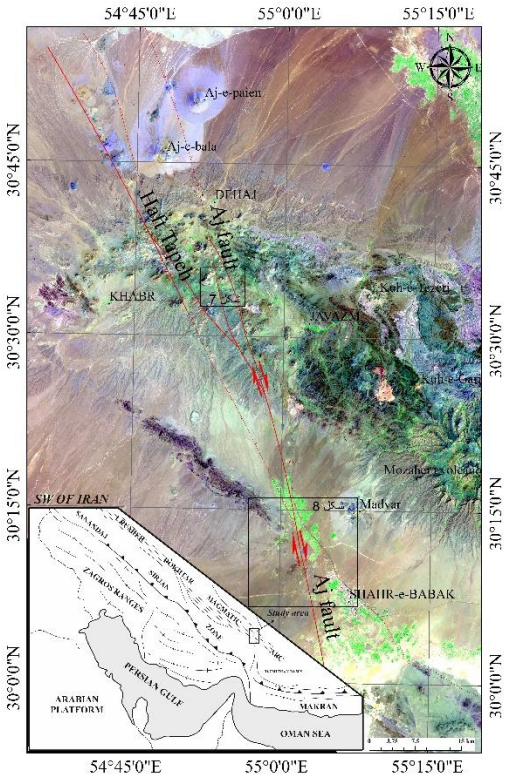
*Email: a.nadimi@sci.ui.ac.ir

Tel: +989131134423

۱- مقدمه

کمان ماگمایی ارومیه- دختر (Stocklin, 1968)، با طولی در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر به‌موازات زمین‌درز زاگرس (راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی)، در حاشیه جنوب‌غربی خردقاره ایران مرکزی گسترش پیدا کرده است (شکل ۱). در طول این کمان، حجم عظیمی از سنگ‌های آذرین در قالب توده‌های نفوذی، نیمه‌نفوذی و آتشفشانی‌ها (Omrani et al., 2008)، مرتبط با فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر خردقاره ایران مرکزی که آغاز این فرورانش از ژوراسیک آغاز شده (e.g. Berberian, 1981; Alavi 1994; Agard et al., 2011; Ahmadian et al., 2014)، تشکیل شده است و ساختارها نقش مهمی را در تعیین جایگاه آنها ایفا می‌کنند. اوج ماگماتیسم در این کمان در زمان ائوسن بوده و این محصولات به‌صورت دگرشیب بر روی چین‌خوردگی‌های پالئوسن و قبل از آن قرار گرفته‌اند (Berberian and King, 1981). در اواخر ترشیری و اوایل کواترنری، در برخی از نقاط ایران مرکزی به‌خصوص کمان ماگمایی ارومیه- دختر، ماگماتیسم بازالتی آلکالن همراه با فعالیت بسیاری از گسل‌های مهم در این پهنه، رخ داده است (Hassanzadeh, 1993). ماگماتیسم در ائوسن دارای گرایش کالکوآلکالن بوده درحالیکه گرایش ماگماتیسم جوانتر از ائوسن به‌خصوص الیگوسن- میوسن، به سمت ساب‌آلکالن و آلکالن پیش رفته است و گدازه‌ها غنی از پتاسیم شده‌اند (Amidi, 1975; Moradian Shahrbabaky, 1997).

اطراف خردقاره ایران مرکزی را نوارهایی باریک از افیولیت که گاهی ممتد و گاهی منقطع هستند، دربرگرفته که افیولیت‌های شهربابک به‌عنوان مرز جنوب‌غربی خرد قاره ایران مرکزی، شامل ترکیبی از سنگ‌های رسوبی و افیولیتی شناخته شده‌اند (Ghazi and Hassanipak, 2000). دیمیترویچ و همکاران (۱۹۷۱)، سن تشکیل این مجموعه افیولیتی را مربوط به کرتاسه و قاضی و حسنی‌پاک (۲۰۰۰)، سن جایگزینی آن را مربوط به قبل از پالئوسن در نظر گرفته است. این پهنه افیولیتی در برخی نقاط توسط پهنه‌های بزرگ گسله قطع و جابه‌جا شده است (از جمله فراقی وایقان و ندیمی، ۱۳۹۴، فراقی وایقان و همکاران، ۱۳۹۹). یکی از این پهنه‌های مذکور، پهنه گسله عاج بوده که از شمال‌غرب شهربابک عبور کرده است.



شکل ۱. موقعیت پهنه گسله عاج بر روی تصویر ماهواره‌ای (لندست ۸) به همراه موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه پهنه‌های ساختاری ایران (تصویر پایین).

گسل عاج یکی از گسل‌های شمالی- جنوبی ایران مرکزی می باشد که کمان ماگمایی ارومیه- دختر و پهنه سنندج- سیرجان را قطع کرده است (کیهانی زاده، ۱۴۰۲). این ساختار با عبور از حاشیه غربی خردقاره ایران مرکزی، از شمال‌غرب نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه عبور کرده و سرانجام تا محدوده معدنی آهن گل‌گهر در پهنه سنندج- سیرجان ردیابی شده است. بررسی تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات ساختاری نشان می‌دهد که پهنه گسله عاج در طول خود موجب قطع، جابه‌جایی و تغییرشکل در ساختارهای جوان مسیر خود شده است و آثار تغییرشکل در ویژگی‌های ریخت زمین ساختی و نقش آن در تعیین جایگاه ماگماتیسم نئوژن در منطقه بخوبی قابل شناسایی است. از جمله مهمترین ویژگی‌های ساختاری در راستای این پهنه گسله در منطقه مورد مطالعه، جایگیری توده‌های نیمه‌نفوذی شهربابک، قطع و جابه‌جایی کمربند افیولیتی شهربابک، قطع و جابه‌جایی آبراهه‌ها در راستای خود

و دگرشکلی در این نواحی است.

هدف از این مطالعه، تحلیل ساختاری پهنه گسل عاج به‌عنوان یکی از ساختارهای مهم و تاثیرگذار در حاشیه جنوب‌غربی ایران مرکزی می‌باشد. در این راستا با استفاده از روش های سنجش از دور، تفسیر مغناطیس هوایی، بررسی های صحرایی و مطالعات ساختاری به تاثیر این گسل در تغییرشکل واحدهای سنگی در منطقه مورد بررسی پرداخته شده است.

۲- زمین‌شناسی عمومی

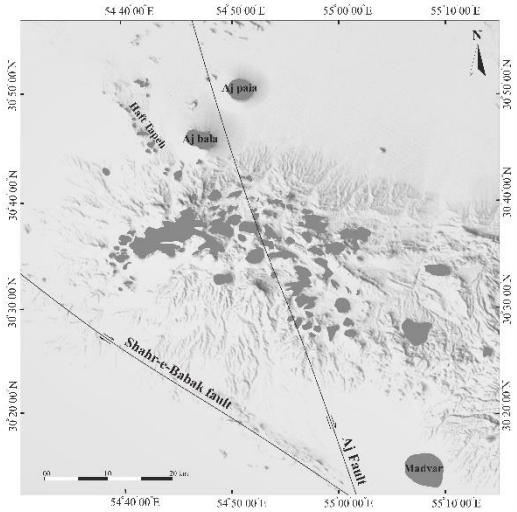
حاشیه جنوب‌غربی خردقاره ایران مرکزی که میزبان حجم عظیمی از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی متعلق به اواخر کرتاسه و پس از آن بوده و در فاصله زیادی نسبت به پهنه برخوردی نئوتتیس قرار داشته، تحت عنوان کمربند ماگمایی ارومیه- دختر شناخته شده است (Dercourt et al., 1986). برای تشکیل کمربند ماگمایی ارومیه- دختر، دو نظریه ارائه شده است که یکی از آنها اشاره به ارتباط این کمان با فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر خردقاره ایران مرکزی و ذوب آن از کرتاسه تا ترشیاری دارد (Takin, 1972; Berberian and King, 1981; Berberian, 1981; Pourhoseini, 1981; Hasanzadeh, 1993; Alavi, 1994; Ahmadian et al., 2014a) و دیگری، تشکیل این کمان را در ارتباط با باز و بسته شدن متعدد ریفت‌های درون‌قاره‌ای (Amidi, 1975; Emami, 1981) می‌داند. داده‌هایی نظیر حضور سنگ‌های کالکوآلکالن مرتبط با پهنه‌های فرورانش، نتایج ایزوتوپی بدست‌آمده از سنگ‌های نفوذی این منطقه (Pourhoseini, 1981)، نشان‌دهنده نقش فرآیند فرورانش در تشکیل این کمان ماگمایی از سنوزوئیک پسین تا ترشیاری پسین است. بخشی از کمان ماگمایی ارومیه- دختر که در کرمان قرار گرفته است را تحت عنوان نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه می‌شناسند. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، در شمال‌غرب این نوار ماگمایی و در حوالی شمال شهر بابک واقع شده است.

قدیمی‌ترین واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در این منطقه، افیولیت‌های شهربابک متعلق به کرتاسه بوده که در طول پهنه گسله شهربابک رخنمون دارند. فلیش‌های ائوسن پایینی (Dimitrijevic, 1973) که بخش‌های وسیعی از شهربابک را دربرگرفته‌اند، به‌عنوان یکی دیگر از واحدهای سنگی در منطقه شناسایی شده‌اند. سنگ‌های رسوبی شامل گنگلومرا، ماسه‌سنگ‌های قرمز، مارن‌ها و آهک‌ها به سن ائوسن تحتانی نیز در این منطقه رخنمون دارند و در نهایت، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و جوانتر، توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی، بازالت‌های کواترنری و دایک‌های جوان، حجم عظیمی از سنگ‌های تشکیل‌دهنده منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. سنگ‌های آتشفشانی در نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه در رده سنگ‌های آتشفشانی حواشی فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند (درویش‌زاده، ۱۳۷۰).

ساختارها در منطقه مورد مطالعه غالبا توسط گسل‌های با راستاهای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی که موازی با راستای زاگرس و کمان ماگمایی ارومیه- دختر بوده و گسل‌های شمالی- جنوبی کنترل می‌شوند. مهمترین گسل‌های شمال‌غربی- جنوب‌شرقی، گسل شهربابک بوده که در جنوب منطقه رخنمون دارد. سازوکار به‌دست آمده از این گسل پی سنگی، مورب‌لغز راستگرد همراه با مولفه شیبی معکوس است که زاویه شیب زیادی به سمت شمال‌شرق دارد (فراقی وایقان، ۱۳۹۴، فراقی وایقان و ندیمی، ۱۹۹۴، فراقی وایقان و همکاران، ۱۳۹۹). گسل شهربابک به‌عنوان مرز بین کمپلکس دگرگونی سنندج- سیرجان در جنوب‌غرب و کمان ماگمایی ارومیه- دختر در شمال‌شرق با راستایی شمال‌غربی- جنوب‌شرقی در داخل واحدهای آمیزه رنگین متعلق به کرتاسه رخنمون دارد. این گسل در برخی نواحی در راستای خود توسط آبرفت‌های کواترنری پوشیده شده، اما جدید بودن فعالیت آن باعث آشکار شدن آثاری در این محصولات جوان شده است.

در منطقه مورد مطالعه، پهنه گسله عاج با راستای شمال‌شمال‌غربی- جنوب‌جنوب‌شرقی (شمالی- جنوبی) از محل توده‌های نیمه‌نفوذی عظیم عاج بالا و عاج پایین قابل مشاهده است و با عبور، قطع و جابه‌جایی توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی قدیمی و تعدادی از توده‌های نیمه‌نفوذی داسیتی-ریوداسیتی به همراه محصولات آتشفشانی- رسوبی ائوسن، در جنوب به پهنه گسله شهربابک برخورد کرده (شکل ۲) و موجب قطع و جابه‌جایی واحدهای کرتاسه و

جوانتر این پهنه در طول خود شده است (کیهانی زاده، ۱۴۰۲). این گسل، محدود به کمان ماگمایی ارومیه- دختر نمی‌شود و در واقع می‌توان گفت که یکی از گسل‌های شمالی- جنوبی ایران مرکزی مانند گسل انار می باشد که با فعالیت مجدد، تا کمان ماگمایی و نواحی جنوبی‌تر پیشروی کرده است. با پی گیری این گسل به سمت جنوب، تا نواحی جنوبی شهربابک و بخش های میانی پهنه سنندج-سیرجان و از سوی شمال با ردیابی آن به سمت مهرجان می توان طولی در حدود ۲۵۰ کیلومتر برای این پهنه گسله در نظر گرفت. گسل های با راستای شمالی- جنوبی ایران مرکزی به نظر می‌رسند در اواخر میوسن و اوایل پلیوسن، به دلیل برخورد ورقه افغان با حاشیه غربی ورقه هند در سمت شرق ایران، شروع به فعالیت مجدد به صورت راستالغز راستگرد کردند (Walker and Jackson, 2004). شواهد ساختاری و ژئوفیزیکی از ساختارهای شکننده با راستای شمالی- جنوبی در نواحی غربی ایران مرکزی ارائه شده که همگی دال بر حضور گسل یا گسل‌هایی بزرگ و پی‌سنگی هستند (فرهمند، ۱۳۹۴؛ گودرزی، ۱۳۹۶). در منطقه شهربابک، گسل های با این راستا، همچون گسل انار در ماگماتیسم جوان و فعال منطقه تاثیر فراوان داشته (Keihanizadeh et al., 2023)، و بررسی های انجام شده در این پژوهش نیز بر اهیمت بررسی پهنه گسله عاج تاکید دارد.



شکل ۲. موقعیت پهنه گسله عاج و توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی و نیمه‌نفوذی داسیتی- ریوداسیتی بر روی تصویر توپوگرافی مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۹۰ متر.

۳- روش کار

در این پژوهش با بررسی و ادغام داده‌های زمین‌شناسی ساختاری، تصاویر ماهواره‌ای و پردازش داده های مغناطیس هوایی، ویژگی های ساختاری و تکامل پهنه گسله عاج در منطقه مورد مطالعه تحلیل شد.

جمع‌آوری داده‌ها در مطالعات صحرایی شامل خصوصیات مربوط به جهت‌یابی صفحات گسله (امتداد، شیب و جهت شیب)، برداشت آثار جابه‌جایی روی سطوح گسله (مانند پله‌های گسله و زاویه ریک خطوط لغزش ناشی از حرکت بلوک‌های گسله)، اندازه‌گیری جابه‌جایی واحدهای سنگی یا نشانگرهای مختلف در دو سمت سطوح گسله، جابه‌جایی آبراهه‌ها در اثر فعالیت شاخه‌های این پهنه گسله و در نهایت دسته‌بندی آنها در رویدادهای تکتونیکی مختلف در منطقه بوده است. در نهایت، با استفاده از داده‌های مربوط به خطوط لغزش روی سطوح گسله و اندازه و جهت ریک برداشت شده از آنها، میدان تنش تهیه و ارائه شد. به منظور بررسی صفحات گسله از نرم‌افزار FaultKin, version 7.4.1.148 استفاده گردید.

در بخش مطالعات دورسنجی، جهت ردیابی بهتر و دقیق‌تر شاخه‌های این پهنه گسله که امکان مشاهده مستقیم آنها در برداشت‌های صحرایی میسر نبود، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و نرم‌افزار ENVI استفاده شد. به منظور استخراج خطواره‌ها به‌صورت چشمی، از باندهای طیفی ۷۵۳ که در آن واحدهای لیتولوژیکی با تمایز رنگی بیشتری از یکدیگر مشخص شده‌اند، استفاده و خطواره‌های شناسایی شده بر مبنای شواهدی همچون قطع و محو شدن ناگهانی و جابه‌جایی ساختارها، لایه‌ها، عوارض توپوگرافی و دیگر اشکال زمین ریخت‌شناختی و پشته‌های مستقیم خطی (مانند دایک‌ها)، بر روی این تصاویر ترسیم شده‌اند.

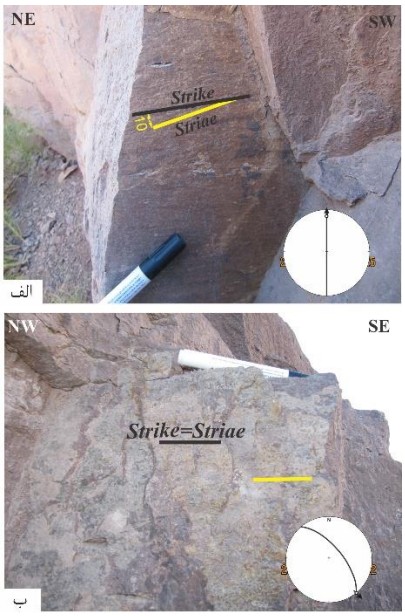
در بخش بررسی‌های مغناطیس هوایی، برای اطمینان از شاخه‌های گسله شناسایی شده و ویژگی‌های پی‌سنگی آن در محدوده مورد مطالعه، از داده‌های مغناطیس هوایی تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران استفاده شد که این داده‌ها در بین سال‌های ۱۹۷۴ تا ۱۹۷۷ تهیه شده‌اند. فاصله خطوط پرواز ۷٫۵ کیلومتر و فاصله خطوط کنترلی ۴۰ کیلومتر می‌باشد. میانگین ارتفاع پرواز این داده‌ها ۵۰۰ متر است. پردازش داده‌ها

در نرم‌افزار OasisMontaj 6.4.2 محصول شرکت Geo-soft انجام شده است. تصحیحات اولیه جهت رفع خطاهای برداشت انجام و به منظور قرار گرفتن دقیق ناهنجاری‌ها در بالای عارضه مورد نظر، فیلتر برگردان به قطب (RTP) بر روی داده‌ها اعمال شد و تصویر حاصل، جهت شناسایی گسل عاج مورد بررسی قرار گرفت.

٤- ساختارها

پهنه گسله عاج از شاخه‌های متعددی با طول‌های متفاوت تشکیل شده است. روند غالب این شاخه‌های گسله شمال‌شمال‌غربی- جنوب‌جنوب‌شرقی و شمالی- جنوبی می‌باشد. همچنین، روندهای فرعی دیگری تحت زوایای متفاوت که مرتبط با فعالیت این پهنه گسله هستند، در واحدهای سنگی تشکیل شده است. در محدوده مورد مطالعه به دلیل قرار گرفتن قطعه‌ای از این گسل در یک کمان ماگمایی، گسل عاج توانسته با ایجاد شکستگی در پوسته و کاهش فشار لیتواستاتیک، سبب صعود و نفوذ ماگما در نواحی سطحی زمین و تشکیل توده‌های نیمه آتشفشانی جوان شود (کیهانی زاده، ۱۴۰۲).

آثار خطوط لغزش برداشت شده از روی سطوح این گسل‌ها به همراه پله‌های گسله، شواهدی از جابه‌جایی غالب امتدادی راستگرد را نشان می‌دهد که در برخی نواحی همراه با مولفه شیبی نیز می‌باشد (شکل ۳). زاویه شیب بسیاری از شاخه‌های گسله برداشت شده از گسل عاج، قائم و برخی دیگر زوایای شیب زیادی را به سمت شمال‌شرق یا جنوب‌غرب نشان می‌دهند. در بخش شمالی محدوده مورد مطالعه، شاخه اصلی گسل عاج از میان توده‌های نیمه‌نفوذی عاج بالا و عاج پایین عبور کرده که به‌نظر می‌رسد موقعیت این توده‌های نیمه‌نفوذی با فعالیت این گسل مرتبط می‌باشد. در راستای یکی از این شاخه‌ها نیز تعدادی توده نیمه‌نفوذی با ترکیب داسیتی به همراه خروجی‌های جوان بازالتی دیده شده است. این ردیف از محصولات که به صورت تپه‌هایی با راستای شمال‌شمال‌غربی- جنوب‌جنوب‌شرقی در غرب توده‌های نیمه‌نفوذی عاج بالا و عاج پایین قرار گرفته‌اند، تحت عنوان هفت‌تپه نامگذاری شده‌اند.

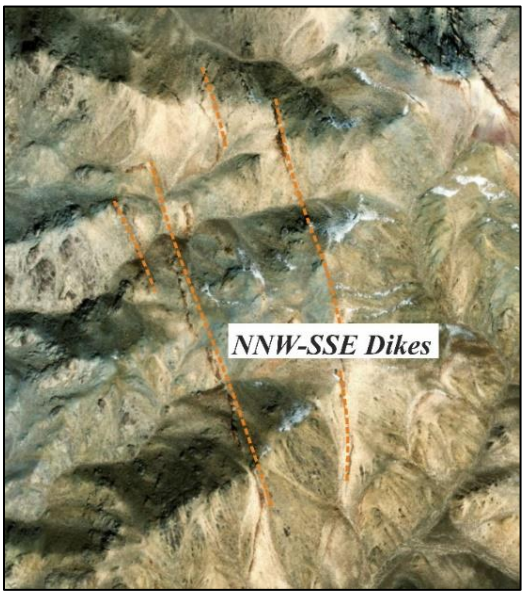


شکل ۳. نمایی از آثار خطوط لغزش ایجادشده در اثر حرکت بلوک‌های سنگی دو سمت صفحات گسله عاج در محدوده توده نیمه‌نفوذی نرکوه (الف) و توده نیمه‌نفوذی تزرج (ب).

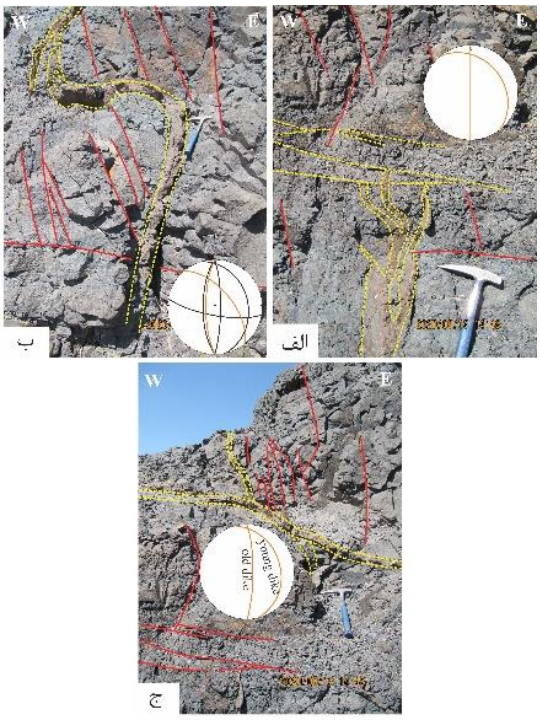
در نواحی مرکزی محدوده مورد مطالعه، گسل عاج از محل توده‌های نفوذی و نیمه نفوذی عبور کرده و موجب ایجاد دگرشکلی‌هایی در طول خود شده است. در توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی این منطقه مانند کوه خانه‌صنوبر و ایجو، به دلیل فعالیت گسل عاج، شکستگی‌های زیادی موازی با یکدیگر به همراه جابه‌جایی راستالغز راستگرد ایجاد شده که در برخی از آنها با نفوذ ماگما، دایک‌های دیوریتی موازی با این گسل تشکیل شده است (شکل ۴). این دایک‌ها به‌صورت دسته دایک‌های موازی یا تقریبا موازی یکدیگر دیده شده‌اند (شکل ۵).

توده‌های نیمه‌نفوذی داسیتی- ریوداسیتی در این محدوده سن‌های متفاوتی از ۳۳ میلیون سال تا کمتر از ۲ میلیون سال دارند (Hassanzadeh, 1993; Moradian Shahrbabaky, 1997; McInnes et al., 2003-2005; Chiu et al., 2013; Pang et al., 2016).

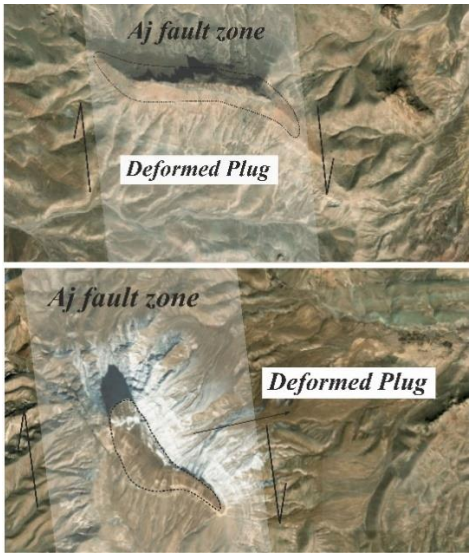
نکته قابل تامل، تشکیل توده‌های نیمه‌نفوذی جوان در راستای این گسل می‌باشد. فعالیت گسل عاج همچنین موجب ایجاد دگرشکلی‌هایی در شکل ظاهری توده‌های نیمه‌نفوذی شده و برخی از آنها را به شکل لنزهایی که موید حرکت راستگرد هستند، درآورده است (شکل ۶).



شکل ٤. دایک‌های دیوریتی نفوذ کرده در راستای گسل عاج با روند شمال‌شمال‌غربی- جنوب‌جنوب‌شرقی بر روی تصویر ماهواره‌ای SASPlanet.

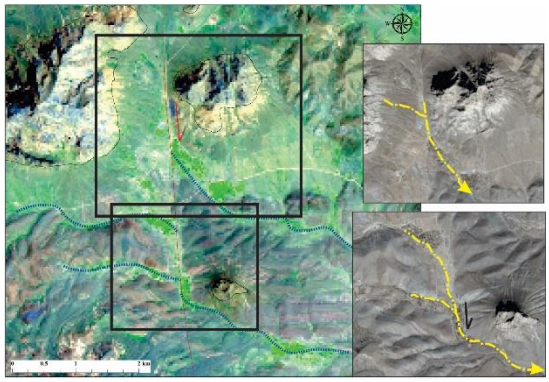


شکل ٥. نمایی از دایک‌های تشکیل‌شده در راستای پهنه گسله عاج.

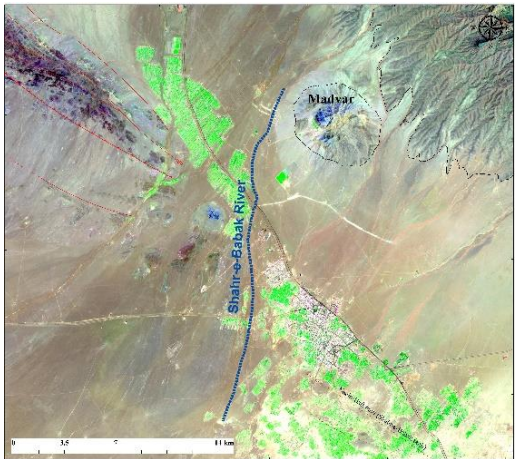


شکل ٦. تاثیر فعالیت راستگرد پهنه گسله عاج بر شکل ظاهری توده‌های نیمه نفوذی محدوده مورد مطالعه و به میزان بیش از ۱۰۰ متر جابه‌جا کردن بخش‌هایی از آنها در راستای صفحات گسله.

میزان جابه‌جایی امتدادی اندازه‌گیری‌شده در طول صفحات گسله مذکور در این نواحی، به میزان متوسط بیش از ۱۰۰ متر است. همچنین، جابه‌جایی راستگرد آبراهه‌ها در طول گسل عاج به میزان بیش از ۲۰۰ متر (شکل ۷) و در به کنترل درآوردن رودخانه‌ها مانند رودخانه تاجو شهربابک در غرب شهربابک (شکل ۸)، نشان‌دهنده فعالیت جوان این گسل است.

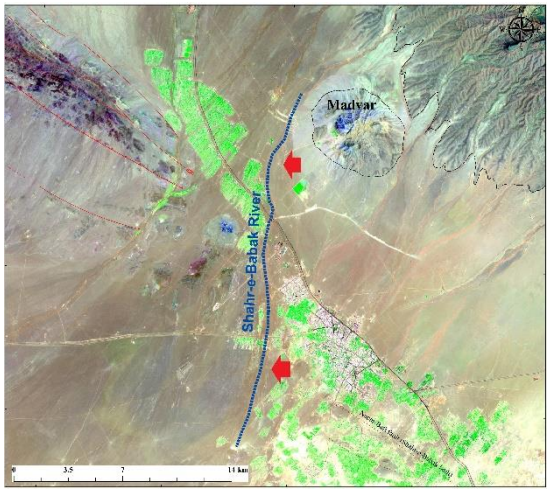


شکل ۷. جابه‌جایی راستگرد آبراهه‌ها در اثر فعالیت شاخه‌ای از گسل عاج به میزان بیش از ۲۰۰ متر، بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ (موقعیت این منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است).



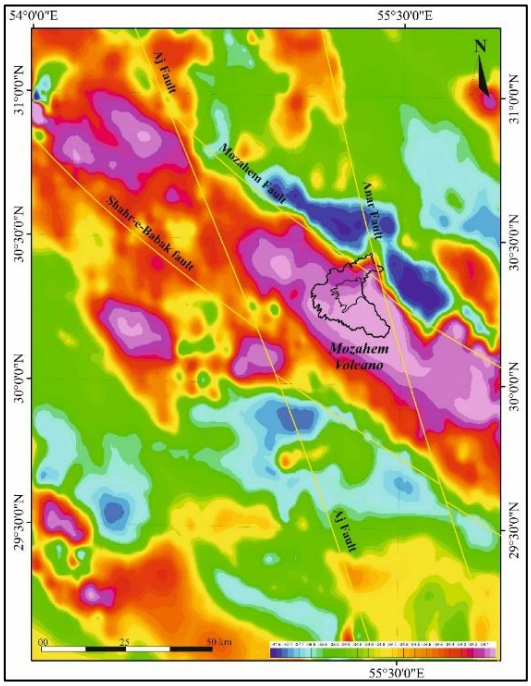
شکل ۸. کنترل مسیر رودخانه شهربابک در طول پهنه گسله عاج در محل قطع‌شدگی کمربند افیولیتی شهربابک در اثر فعالیت این گسل (موقعیت این منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است).

در نواحی جنوبی محدوده مورد مطالعه، گسل عاج با عبور از دشت شهربابک، به پهنه گسله شهربابک و افیولیت‌ملانژهای کرتاسه در طول این پهنه برخورد کرده و موجب قطع و جابه‌جایی این ساختارها به صورت راستگرد شده است (شکل ۹).



شکل ۹. کنترل مسیر رودخانه و جابه‌جایی راستگرد افیولیت‌ملانژهای شهربابک و پهنه گسله شهربابک در محل عبور گسل عاج و شاخه فرعی آن.

به منظور شناسایی خطواره‌های مغناطیسی و تاثیر آنها بر پی سنگ، از نقشه‌های مغناطیس هوایی، بعد از اعمال تصحیحات مربوطه، استفاده شد. این خطواره‌های مغناطیسی معمولا معرف روندهای گسله می‌باشند که توسط عواملی چون قطع ناگهانی واحدهای مغناطیسی، امتداد خطی واحدهای با مغناطیس کم یا زیاد و جابه‌جایی واحدهای با مغناطیس مشابه شناسایی می‌شوند (خلج، ۱۳۹۰). در این تحقیق جهت تایید گسل مهم و عمقی عاج و ردیابی آن در عمق و بارزسازی عوارض پی‌سنگی، از داده‌های مغناطیس هوایی تصحیح و پردازش‌شده بر روی داده‌های اولیه استفاده شده است. شکل ۱۰، نقشه برگردان به قطب میدان مغناطیسی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد که بر روی آن موقعیت گسل عاج مشخص شده است. همانگونه که در شکل ۱۰ نشان داده شده، پهنه گسله عاج در فاصله تقریبا ۵۰ کیلومتری غرب گسل انار و به موازات آن قرار گرفته و با قطع و جابه جایی آنومالی های مغناطیسی، علاوه بر نمایان سازی خود، وضعیت پی سنگی و عمقی بودن خود را نشان داده است.



شکل ۱۰. نقشه ژئومغناطیس هوایی حاصل از اعمال فیلتر ادامه فراسو (RTP) بر روی شبکه داده حاصل از فیلتر برگردان به قطب که بر روی آن موقعیت گسل‌های عاج و شهربابک نشان داده شده است.

۵- بحث

در یک راستا قرار گرفتن توده‌های نیمه‌نفوذی جوان داسیتی، جابه‌جایی راستگرد آبراهه‌های جوان، نفوذ دایک‌های شمال شمال غربی- جنوب جنوب شرقی، وجود سطوح گسله با این روند به همراه آثار جابه‌جایی راستگرد بر روی آنها، شامل جابه‌جایی راستگرد پهنه گسله و مجموعه افیولیت‌ملانژهای شهربابک، به‌صورت لنز درآمدن توده‌های نیمه

آتشفشانی موید حرکت راستگرد، حضور گسله عمیق و تاثیرگذار را در شمال‌غرب نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه تایید می‌کند.

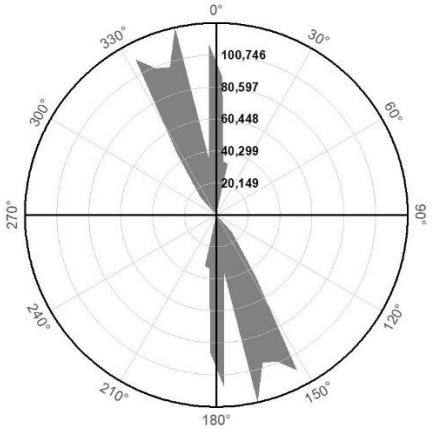
در این تحقیق، گسل عاج که موازی با پهنه‌های گسله نائین- بافت، انار، بیدخوان (کیهانی‌زاده، ۱۳۹۲) و سایر گسل‌های شمالی- جنوبی ایران مرکزی می‌باشد، به‌عنوان یکی از گسل‌های مهم ایران مرکزی معرفی شده است که در تکامل تکتونوماگمایی این بخش از کمربند ارومیه-دختر تاثیر داشته است. به نظر می رسد این گسل در اواخر میوسن و اوایل پلیوسن به دلیل حاکم بودن رژیم برشی- فشارشی ناشی از حرکت مایل صفحه عربی به سمت ایران مرکزی و همچنین به دلیل برخورد صفحه افغان با ایران مرکزی در شرق (Walker & Jackson, 2004)، تشکیل شده و یا دوباره به صورت راستالغز راستگرد فعال شده است.

در انتهای شمال‌غربی نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه، حجم عظیمی از توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی به سن بعد از الیگوسن تشکیل شده‌اند. روند غالب این توده‌ها شمال‌غربی- جنوب‌شرقی بوده که به سمت غرب، روند این توده‌ها به شمال‌شرقی- جنوب‌غربی تغییر پیدا کرده است. یکی از دلایل مهم این تغییر در روند، فعالیت گسل عاج در این مکان می‌باشد. همچنین، در راستای پهنه گسله عاج، توده‌های نیمه‌نفوذی بسیار جوان مانند پلنگ‌کوه، نرکوه، جوزم و گودکلواری نیز تشکیل شده است.

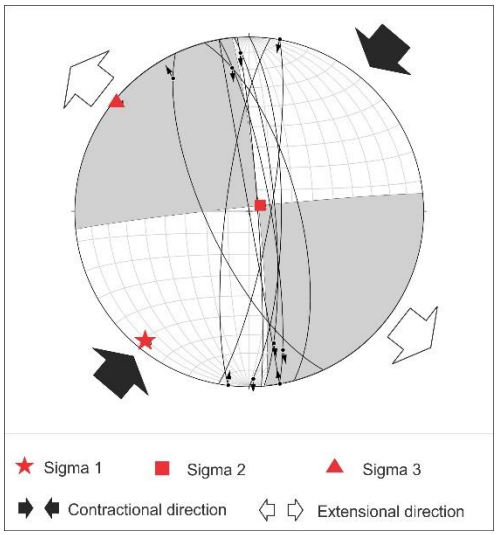
رزدیاگرام طولی- امتدادی تهیه شده از صفحات گسله برداشت شده از این پهنه گسله در شکل ۱۱ نشان داده شده و همانگونه که در این دیاگرام مشخص است، روند غالب شاخه‌های گسله عاج، شمال‌شمال‌غربی- جنوب‌جنوب‌شرقی و شمالی- جنوبی است. اکثر این صفحات گسله زاویه شیب ۹۰ درجه داشته و تعدادی از آنها در جهات شمال‌شرقی و جنوب‌غربی زوایای شیب تندی را نشان می‌دهند.

با پی گیری این پهنه گسله به سمت شمال می توان اینگونه استنباط نمود که پهنه گسله عاج از نواحی جنوب مهریز آغاز شده و با روند شمال‌شمال‌غربی- جنوب‌جنوب‌شرقی تا کفه نمکی خیرآباد در جنوب‌غرب سیرجان ادامه دارد و در طول خود موجب قطع و جابه‌جایی پدیده‌های زمین‌شناسی مهمی مانند کمربند ماگمایی ارومیه- دختر، کمربند افیولیت‌ملانژ شهربابک به‌صورت راستگرد و کنترل مسیر آبراهه‌ها شده و به‌عنوان یک ساختار تاثیرگذار و مهم در تکتونیک منطقه محسوب می‌شود. پهنای این پهنه گسله متفاوت و تا حداکثر به ۱۵ کیلومتر می‌رسد و طولی بالغ بر ۲۵۰ کیلومتر را دارا می‌باشد.

نمودار تحلیل تنش دیرین برای پهنه گسله عاج با سازوکار مورب‌لغز راستگرد در منطقه، نشان می‌دهد که راستای حداکثر تنش (تنش فشارشی) در این گسل‌ها شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و راستای حداقل تنش (تنش کششی)، شمال‌غربی- جنوب‌شرقی می‌باشد (شکل ۱۲). راستای تنش حداکثر منطبق بر راستای کنونی حرکت صفحه عربی به سمت ایران مرکزی است.



شکل ۱۱. نمودار گل‌سرخی طولی- امتدادی شاخه‌های مختلف پهنه گسله عاج. فراوانی داده ها تعداد ۳۶ شاخه گسله است.



شکل ۱۲. نمودار تحلیل تنش به همراه راستاهای کشش و فشارشی بدست آمده از تحلیل صفحات گسله برداشت شده، بر روی شبکه استریوگرافیک مربوط به شاخه‌های پهنه گسله عاج.

٦- نتیجه‌گیری

پهنه گسله عاج با راستای شمال‌شمال‌غربی- جنوب‌جنوب‌شرقی و طول بیش از ۲۵۰ کیلومتر در انتهای شمال‌غربی نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه در شهربابک قرار دارد. این پهنه گسله، کمربند افیولیتی شهربابک در غرب شهربابک را به‌صورت راستگرد قطع و جابه‌جا نموده است.

سازوکار به‌دست آمده از گسل عاج با توجه به نشانگرهای ساختاری روی سطح گسل و شاخه های فرعی آن، مورب‌لغز راستگرد می‌باشد و صفحات گسله این پهنه، زوایای شیب تند تا نزدیک به قائم دارند. جهت شیب صفحات گسله در این پهنه گسله، به سمت شمال‌شرق یا جنوب‌غرب است.

در راستای این گسل و در محل عبور آن از محدوده توده‌های نیمه‌نفوذی شهربابک، توده‌های نیمه‌نفوذی جوان داسیتی و دایک‌های دیوریتی تشکیل شده‌اند. فعالیت راستگرد این گسل موجب ایجاد تغییرشکل‌هایی در مورفولوژی واحدهای سنگی قدیمی‌تر و روند آبراهه‌ها شده است.

شواهد سطحی و عمقی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل داده‌های مغناطیس هوایی، تایید‌کننده حضور این گسل در این بخش از کمان ماگمایی ارومیه- دختر به صورت یک گسل عمیق و پی سنگی است.

تاثیر این پهنه گسل بر روی واحدهای رسوبی و کنترل و تغییر مسیر آبراهه ها نشان دهنده فعال بودن آن در طی کواترنری می باشد.

منابع

خلج، م.، ۱۳۹۰. زمین‌شناسی ساختاری، انتشارات دانشگاه پیام‌نور.

درویش‌زاده، ع.، ۱۳۷۰. زمین‌شناسی ایران، انتشارات نشر امروز.

فراقی وایقان، ا.، ۱۳۹۴. تحلیل ساختاری بخش شمالی گسل شهر بابک. پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه اصفهان.

فراقی وایقان، ا.، ندیمی، ع.، ۱۳۹۴. شواهد زمین ساخت پویا در امتداد گسل شهر بابک، نوزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و نهمین همایش ملی زمین شناسی پ‌یام نور، تهران، ۷ صفحه.

فراقی وایقان، ا.، ندیمی، ع.، ب‌یگی، س.، ۱۳۹۹. مطالعه عمق اثرگذاری گسل شهربابک بر پایه داده های مغناطیس هوایی، نوزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، ص ۴-۱.

فرهمند، م.، ۱۳۹۴. تحلیل ساختاری منطقه سرخشاد، شمال‌شرق اردستان، ایران مرکزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی تکتونیک، دانشگاه اصفهان.

کیهانی‌زاده، ر.، ۱۳۹۲. سازوکار گسل‌های منطقه آتشفشان بیدخوان و ارتباط سازوکار آنها با دایک‌های شعاعی منطقه مورد مطالعه، جنوب بردسیر کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه تربیت مدرس.

کیهانی‌زاده، ر.، ۱۴۰۲. تحلیل ساختاری و تکامل تکتونوماگماتیسم بخشی از کمان ماگمایی ارومیه- دختر (شمال‌غرب نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه)، ایران. رساله دکتری تکتونیک، دانشگاه اصفهان.

گودرزی، ش.، ۱۳۹۶. تحلیل ساختاری بخشی از گسل تفت در جنوب غرب یزد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه اصفهان.

Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B and Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. Geology Magazines 10, 1-34.

Ahmadian, J., Murata, M., Nadimi, A., Ozawa, H and Kozai, T., 2014. Recent tectonic activity of Iran deduced from young magmatism evidences. Bulletin of Center for Collaboration in Community Naruto University of Education 28, 23-38.

Alavi, M., 1994. Tectonics of Zagros orogenic of Iran, new data and interpretation. Journal of Tectonophysics 229, 211-238.

Amidi, S. M., 1975. Contribution al etude biostratigraphique, petrologique et petrographique des roches magmatiques de la region Natanz-Nain-Surk (Iran Centrl). Unpublished Ph.D thesis, University of Grenoble, France.

Berberian, M and King, G. C. P., 1981. Towards a paleo geography and tectonic evolution of Iran, Canadian Journal of Earth Sciences 18, 210-265.

Berberian, M., 1981. Toward a paleogeography and tectonic evaluation of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences 18, No. 2, 210-265.

Chiu, H. Y., Chung, S. L., Zarrinkoub, M. H., Mohammadi, S. S., Khatib, M. M and Iizuka, Y., 2013.

Geochronology and petrography of Feldspathoid Bearing rocks in Urumieh- Dokhtar Volcanoc Belt, Iran. Unpublished Ph.D thesis, University of Wollongong, Australia, 412pp.

Omrani, J., Agard, P., White church, H., Benoit, M., Prouteau, G and Jolivet, L., 2008. Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros mountations, Iran: a new report of adakites and geodynamic Consquences. Lithos 106, 380-398.

Pang, K. N., Chung, S. L., Zarrinkoub, M. H., Li, X. H., Lee, H. Y., Lin, T. H and Chiu, H. Y., 2016. New age and geochemical constraints on the origin of Quaternary adakite-like lavas in the Arabia–Eurasia collision zone. Lithos 264, 348-359.

Pourhosseini, F., 1981. Petrogenesis of Iranian plutons; a study of the Natanz and Bazman intrusive complexes. Ph.D. Thesis, Cambridge Univ., Geol. Surv. Iran, Rep.

Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists 52, 1229-1258.

Takin, M., 1972. Iranian geology and continental drift in Middle East. Nature 235, 147-150.

Tatsumi, Y and Eggins, S., 1995. Subduction zone magmatism. Blackwell, Cambridge, 211 p.

Walker, R and Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. Tectonics 23, TC5010.

Zircon U–Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan subduction and Zagros orogeny. Lithos 162, 70–87.

Dercourt, J., Zonenshain, L., Ricou, L. E., Kazmin, G., LePichon, X., Knipper, A. L., Grandjacquet, C., Sbortshikov, I. M., Geyssant, J., Lepvrier, C., Pechersky, D. H., Boulin, J., Sibuet, J. C., Savostin, L. A., Sorokhtin, O., Westphal, M., Bazhenov, M. L., Lauer, J. P and Biju Duval, B., 1986. Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to Pamirs since the Lias. Tectonophysics 123, 241-315.

Dimitrijevic, M. D., 1973. Geology of Kerman Region. G.S.A. Rep. no. Yu/52, 334p.

Dimitrijevic, M. D., Dimitrijevic, M. N and Djordjevic, D., 1971. Geological map of Anar (1:250000 scale), Geol. Surv. Iran.

Emami, M. H., 1981. Geologie de la region de Qom-Aran (Iran). Contribution a l'etude dyna mique et geochimique du volcanisme tertiaire de l'Iran central. These Doctorat Etat, Grenoble, 489 p.

Ghazi, A. M and Hassanipak, A. A., 2000. Petrology and geochemistry of the Shahr-e-Babak ophiolite, Central Iran. Geol. Soc. Am. Special Paper 349, 485-497.

Hassanzadeh, J., 1993. Metallogenic and tectono-magmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Central Iran, Shahr-e-Babak area, Kerman province. Ph.D. Thesis, University of California, 204p.

Keihanizadeh, R., Nadimi, A., Safaei, H., Moradian, A and Shafieibafti, S., 2023. Mozahem Stratovolcano and its structural controlling factors in the Cenozoic Magmatic Arc of Iran. Journal of African Earth Sciences, v. 202, 1-17 (104926).

McInnes, B. I. A., Evans, N. J., Belousova, E and Griffin, W. L., 2003. Porphyry copper deposits of the Kerman belt, Iran: Timing of mineralization and exhumation processes. CSIRO scientific research report, 41.

McInnes, B. I. A., Evans, N. J., Fu, F. Q and Garwin, S., 2005. Application of thermochronology to hydrothermal ore deposits. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 58, 467-498.

Moradian Shahrbabaky, A., 1997. Geochemistry,