

# شواهد وارونگی بردار لغزش در گسل کوشک نصرت، شمال ساوه

کیوان اورنگ<sup>۱</sup>، محمد محجل<sup>۲</sup> و غلامرضا تاج‌بخش<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف، اداره زمین‌شناسی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، گروه زمین‌شناسی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، دانشگاه یزد، دانشکده علوم پایه، گروه زمین‌شناسی، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۲

## چکیده

تحلیل حرکتی سامانه گسلی کوشک نصرت در ناحیه شمال ساوه نشان می‌دهد که سازوکار این گسل (با راستای WNW-ESE)، در زمانی پس از میوسن زیرین، از راستالغز-موربلغز معکوس راست‌بر به موربلغز معکوس چپ‌بر (در برخی پهنه‌ها تا راستالغز چپ‌بر) تغییر کرده است. شواهد ساختاری بازمانده از حرکت راست‌بر گسل عبارتند از: (۱) حوضه کششی کوشک نصرت که در نتیجه خمیدگی راست پله مسیر گسل در شمال ساوه توسعه یافته و در داخل آن توالی نازکی از سازند قم نهشته شده است. (۲) باندهای برشی و نشانگرهای حرکتی فعالیت راستالغز-موربلغز معکوس راست‌بر که در پهنه اصلی گسل یافت شده‌اند. (۳) گسل‌های همسو با سازوکار راستالغز راست‌بر و ناهمسو با سازوکار راستالغز چپ‌بر که در پهنه تخریب دیواره‌ای گسل اصلی یافت شده‌اند. پس از وارونگی جهت بردار لغزش در گسل کوشک نصرت: در محل خمش، مجموعه‌ای از گسل‌های موربلغز معکوس چپ‌بر، راندگی‌ها، گسل‌های راستالغز چپ‌بر و چین‌خوردگی‌های کوچک مقیاس توسعه یافته‌اند. سازوکار جوان گسل کوشک نصرت شواهدی دیگر بر نقش اساسی گسل‌های معکوس دارای مؤلفه راستالغزی چپ‌بر در دگرریختی جوان بخش شمال باختری بلوک ایران مرکزی (در ناحیه قم-ساوه) است. موضوعی که پیش از این، توسط شواهد ساختاری و ریخت‌زمین‌ساختی در مورد گسل‌هایی چون ایپک (در جنوب بوئین زهرا) و البرز (در شمال قم) و شواهد لرزه‌ای از تحلیل سازوکار کانونی زمین لرزه بوئین زهرا گزارش شده است.

**کلیدواژه‌ها:** گسل کوشک نصرت، ساوه، وارونگی سازوکار، گسلش فعال، البرز

\*نویسنده مسئول: کیوان اورنگ

E-mail: Keivan.Orang@yahoo.com

## ۱- پیش‌گفتار

وارونگی جهت بردار لغزش گسل‌ها در نتیجه تغییر موقعیت محورهای یا شکل بیضوی تنش (یا هر دو) رخ داده (Angelier, 1994) و خود بازتابی از چگونگی توزیع نرخ دگرشکلی در مقیاس ناحیه‌ای می‌تواند به‌شمار آید. مجموعه‌ای از معیارهای چینه‌شناسی (مانند چگونگی رابطه زمانی فعالیت گسل با رسوب‌گذاری واحدهای سنگی و الگوی تغییر ستبرای واحدها در مجاورت گسل)، معیارهای ساختاری (مانند تفکیک نسل‌های مختلف نشانگرهای حرکتی توسعه یافته در داخل پهنه گسل) و ریخت‌زمین‌ساختی (مانند بررسی الگوی پیچیده انحراف مسیر رودخانه‌ها به‌همراه انحراف یا جدایش متضاد آبراهه‌های جوان‌تر و قدیمی‌تر) در تشخیص وارونگی جهت بردار لغزش گسل‌ها کاربرد دارند (Holdsworth et al., 1997; Lacassin et al., 1998; Kim et al., 2001; Maruyama & Lin, 2004). سامانه گسلی کوشک نصرت با راستای WNW-ESE، از گسل‌های اصلی بخش شمال باختری بلوک ایران مرکزی به‌شمار آمده (شکل ۱) و نخستین بار با عنوان گسل رنگ ریز در نقشه‌ها مستند شده است (Soder, 1959). این ساختار، نمونه‌ای از گسل‌های اساساً موربلغز معکوس-راستالغز است که در تاریخچه فعالیت خود دچار وارونگی مؤلفه راستالغزی شده است. گسل کوشک نصرت با طول تقریبی ۲۰۰ کیلومتر، از جنوب دریاچه حوض سلطان و جنوب روستای کوشک نصرت آغاز و پس از عبور از شمال ساوه، در باختر روستای سنگاوین (در خاور منطقه آوج) پایان می‌پذیرد، سپس رو به شمال باختر ادامه یافته و در انتها در آبرفت‌های باختر روستای قمشلو پایان می‌یابد (شکل ۲). بر اساس نحوه تظاهر سطحی گسل، می‌توان سامانه گسلی کوشک نصرت را دست کم به دو قطعه کوشک نصرت (از روستای کوشک نصرت تا روستای سنگاوین) و قمشلو (از روستای سنگاوین تا روستای قمشلو) تفکیک کرد (شکل ۲). برای قطعه گسلی قمشلو سازوکار مشخصی ذکر نشده است اما درباره سازوکار قطعه گسلی کوشک نصرت، نظرها متفاوت است. قطعه گسلی کوشک نصرت نخستین بار به‌صورت گسلی با برخاستگی بخش جنوبی معرفی شده است (Soder, 1959) در

مطالعه‌ای جدیدتر، قلمقاش و همکاران (۱۳۷۷)، سازوکار این گسل را معکوس با مؤلفه راستالغزی چپ‌بر تعیین نموده‌اند. از سوی دیگر، شواهد ساختاری از جابه‌جایی راستالغزی راست‌بر نیز، در امتداد گسل یافت شده است (Morley et al., 2009). از آن جمله می‌توان به جابه‌جایی جمعی حدود ۱۱-۷ کیلومتری واحدهای سنگی انوسن متأثر از یک چین بزرگ مقیاس، توسط بخش باختری گسل کوشک نصرت اشاره نمود (Morley et al., 2009).

تمرکز اصلی این نوشتار بر بخش خاوری پهنه گسلی یعنی قطعه گسلی کوشک نصرت بوده و سعی شده است تا با ارایه نتایج حاصل از تحلیل ساختاری گسل، سازوکارهای متفاوت پیشنهاد شده برای آن، مورد بحث قرار گیرند.

## ۲- ساختارهای ناحیه ساوه

### ۲-۱. قطعه گسلی کوشک نصرت

در شمال ساوه، خط اثر گسل کوشک نصرت دارای یک خم اصلی با تقعر رو به جنوب است (شکل ۲). پهنه گسل در این ناحیه به سه بخش شمالی، میانی و جنوبی قابل تفکیک است (شکل ۳-الف تا ج). بخش‌های میانی و جنوبی تنها در بخش مرکزی ساختار (منطبق با خم بزرگ گسل) تشکیل شده‌اند. با دور شدن از محل خمش، گسل شمالی پهنه اصلی گسل کوشک نصرت را شکل داده است (شکل ۳-ج). پهنه تخریب دیواره‌ای (wall damage zone) گسل کوشک نصرت شامل مجموعه‌ای از گسل‌های همسو (Synthetic fault)، گسل‌های ناهمسو (Antithetic fault) و بلوک‌های چرخنده (Rotated blocks) بوده و پهنای آن در حدود ۲-۱/۵ کیلومتر است. ساختارهای این پهنه در طی فعالیت قدیم گسل تحت سازوکار راستالغز-موربلغز معکوس راست‌بر توسعه یافته‌اند. گسل‌های همسو و ناهمسو به ترتیب راستای ۳۲۰°-۳۱۵° و ۰۶۵°-۰۴۵° داشته و دارای جدایش راستالغزی راست‌بر و چپ‌بر هستند (شکل ۳-الف، ب). در طی فعالیت جوان این

۴۵۰ متر بوده و از مجموعه‌ای از گسل‌های مورب لغز معکوس چپ‌بر و راست‌الغز تشکیل شده است. در این پهنه، دو گروه گسل مشخص شده است (جزئیات بیشتر در جدول ۱، شکل ۵-ب). گروه اول راستای  $294^{\circ}$ - $281^{\circ}$  داشته و شیب متوسط تا زیاد رو به شمال خاور (یا در موارد کمتر جنوب باختر) دارند. در بیشتر موارد، زاویه ریک خش لغزهای محاسبه شده برای گسل‌ها (بر اساس فابریک S/C)  $72^{\circ}$ - $44^{\circ}$  درجه خاوری بوده و سازوکار مورب لغز معکوس چپ‌بر را برای آنها نشان می‌دهد. گروه دوم گسل‌ها، پهنه‌های گسلی همسو و ناهمسو با گسل‌های اصلی هستند که راستاهای میانگین  $69^{\circ}$  و  $355^{\circ}$  دارند و دارای شیب متوسط رو به شمال باختر بوده و یا قائم هستند. این گسل‌ها به ترتیب سازوکار راست‌الغز چپ‌بر و راست‌بر محض دارند.

در ساختگاه جنوب روستای قاراقید (شکل ۳-د - شماره ۳)، گسل کوشک نصرت در مرز واحد داسیت- آندزیت پورفیری و پوشش رسوبی حوضه کششی عمل نموده و تشکیل دیواره گسلی داده است. صفحات اصلی گسل، دارای راستای  $295^{\circ}$ - $291^{\circ}$  و قائم هستند. در صفحات گسلی دو دسته خش لغز دیده می‌شود: دسته اول دارای زاویه ریک خاوری با مقدار  $40^{\circ}$ - $35^{\circ}$  درجه هستند. پله‌های گسلی، نشان‌دهنده آن هستند که در فاز حرکتی ایجادکننده این خش لغزها، حرکت بلوک جنوبی رو به بالا بوده است. گروه دوم خش لغزها جوان‌تر بوده و دارای زاویه ریک  $40^{\circ}$ - $30^{\circ}$  درجه باختری هستند، ولی همراه با آنها نشانگر حرکتی قابل اعتمادی یافت نشده است. بنابراین در این ساختگاه، گسل دارای مؤلفه راست‌الغزی راست‌بر بوده و بخش شمالی آن رو به خاور حرکت کرده است.

#### بخش گسلی جنوبی

این بخش از گسل کوشک نصرت با پهنای  $350$  متر، مجموعه‌ای دربرگیرنده گسل‌های راست‌الغز و معکوس چپ‌بر است (جدول ۱، شکل ۳-د - شماره ۴). در بخش خاوری پهنه، دو گروه گسل اصلی یافت می‌شود (شکل ۷-الف). در گروه اول راستای صفحات گسل‌ها  $285^{\circ}$ - $276^{\circ}$  بوده که شیب  $65^{\circ}$ - $56^{\circ}$  درجه رو به شمال خاور دارند. بر اساس تحلیل حرکتی فابریک‌های S/C (شکل ۷-ب)، موقعیت بردار لغزش  $284^{\circ}/08^{\circ}$  به دست آمده و زاویه ریک آن با راستای پهنه گسلی،  $10$  درجه باختری است. شاهد دیگری چون ریز چین‌خوردگی‌های موجود در پهنه‌های گسلی (شکل ۷-ج) موقعیت بردار لغزش را  $318^{\circ}/28^{\circ}$  به دست داده‌اند که با دارا بودن زاویه ریک  $40$  درجه باختری، می‌تواند تأییدی دیگر بر مؤلفه راست‌الغزی چپ‌بر گسل باشد. گروه دوم گسل‌ها راستای  $345^{\circ}$ - $328^{\circ}$  و شیب  $60^{\circ}$ - $53^{\circ}$  درجه رو به شمال خاور دارند. بر اساس تحلیل حرکتی فابریک‌های S/C (شکل ۷-د)، سازوکار این گسل‌ها، مورب لغز معکوس چپ‌بر بوده و زاویه ریک خش لغزهای محاسبه شده،  $47^{\circ}$ - $36^{\circ}$  درجه جنوب خاوری است.

در بخش باختری، سطوح گسلی اصلی راستای  $285^{\circ}$ - $265^{\circ}$  داشته و شیبی بیش از  $82$  درجه به سمت جنوب دارند. در صفحات گسلی آثار دو دسته خش لغز دیده می‌شود: دسته اول دارای زاویه ریک خاوری با مقدار  $50^{\circ}$ - $38^{\circ}$  درجه هستند. شکستگی‌های کششی و پله‌های گسلی، نشان می‌دهند که در فاز حرکتی ایجادکننده این خش لغزها، حرکت بلوک جنوبی رو به بالا و باختر بوده است. گروه دوم خش لغزها، دارای زاویه ریک  $32^{\circ}$ - $12^{\circ}$  درجه باختری بوده و یا در مواردی افقی می‌باشند. آنها خش لغزهای گروه اول را بریده و از این رو جوان‌تر از آنها هستند (شکل ۷-ه). آثار اجسام (Tool mark) و پله‌های گسلی (Knobby step)، نشان می‌دهند که در فاز حرکتی ایجادکننده این خش لغزها، حرکت بلوک جنوبی رو به خاور بوده است. از ترکیب داده‌های یاد شده می‌توان نتیجه گرفت که در گذر زمان گسل دست کم دو سازوکار را تجربه کرده است. حرکت مورب لغز معکوس راست‌بر که با خش لغزهای دارای زاویه ریک خاوری مرتبط است و حرکت جوان‌تر راست‌الغز چپ‌بر تا مورب لغز چپ‌بر معکوس که با خش لغزهای افقی و یا دارای زاویه ریک باختری در ارتباط است.

گسل، بیشترین مقدار دگرریختی در پهنه داخلی آن تمرکز یافته و پهنه تخریب بزرگ مقیاسی ایجاد نشده است. در بخش پیش رو ویژگی‌های ساختاری بخش‌های سه‌گانه گسل کوشک نصرت مورد اشاره قرار خواهد گرفت. به علاوه جزئیات ساختاری مربوط به هر بخش در جدول ۱ جمع‌بندی شده است.

#### بخش شمالی

در شمال ساوه، بخش شمالی گسل کوشک نصرت در طول مسیر خود در مرز واحد آهکی الیگوسن بالایی- میوسن زیرین (سازند قم) یا پوشش رسوبی عهد حاضر و واحدهای آتشفشانی ائوسن میانی- بالایی قرار دارد (شکل ۳). این پهنه در ۳ ساختگاه مورد بررسی قرار گرفته است. در شمال روستای ده آقا (شکل ۳-ج)، توسعه فابریک S/C در پهنه گسل، موجب شکل‌گیری عدسی‌هایی شده است که حرکت راست‌الغزی چپ‌بر گسل را نشان می‌دهند (شکل ۴-الف). تحلیل سازوکار گسل با استفاده از این فابریک، سازوکار گسل را مورب لغز چپ‌بر همراه با برخواستگی بخش جنوبی نشان داده است (استریوگرام شکل ۴-الف).

در ساختگاه باختر جاده مامونیه (شکل ۳-الف)، شواهدی از سازوکار دوگانه گسل قابل پیگیری است. در این ناحیه، شواهد فعالیت پیشین گسل در پهنه تخریب دیواره‌ای آن حفظ شده است، در حالی که پهنه داخلی گسل دارای شواهدی از حرکت راست‌الغز چپ‌بر جوان‌تر است. در پهنه جوان گسل، توسعه فابریک S/C نشان‌دهنده حرکت چپ‌بر گسل است (شکل ۴-ب). بر اساس تحلیل هندسی این فابریک، زاویه ریک خش لغزهای محاسبه شده،  $8$  درجه جنوب خاوری است. پهنه تخریب دیواره‌ای گسل کوشک نصرت در این ساختگاه، دارای شواهدی از فعالیت قدیمی گسل در چارچوب رژیم برشی راست‌بر است (شکل ۴-ج). در این پهنه دو دسته گسل فرعی در مجموعه‌های آهکی شکل گرفته‌اند. گسل‌های دسته اول دارای مؤلفه راست‌الغزی چپ‌بر با راستای  $050^{\circ}$ - $035^{\circ}$  بوده و از جمله گسل‌های ناهمسو ( $R'$ ) با پهنه اصلی به‌شمار می‌آیند. گسل‌های دسته دوم حرکت راست‌الغزی راست‌بر داشته، راستای آنها بین  $330^{\circ}$ - $320^{\circ}$  متغیر بوده و گسل‌های همسو ( $R$ ) با پهنه اصلی گسل هستند. آرایش کنونی گسل‌ها و چرخش ساعتگرد بلوک‌های محصور شده توسط آنها، تنها در رژیم برشی راست‌بر امکان‌پذیر بوده و نشانه‌ای از مؤلفه راست‌الغزی راست‌بر گسل است.

ساختگاهی دیگر از بخش شمالی گسل کوشک نصرت در گستره شمال ساوه، در خاور کوه چرخه قرار دارد (شکل ۳-ب). در این ساختگاه، پهنه گسل دربردارنده گسل‌های فرعی است که به فعالیت قدیم گسل در چارچوب رژیم برشی راست‌بر باز می‌گردد. گسل‌های فرعی یاد شده راستای  $068^{\circ}$ - $058^{\circ}$  داشته و زاویه آنها با پهنه اصلی گسل  $52^{\circ}$ - $42^{\circ}$  درجه است. این گسل‌ها، قابل مقایسه با شکستگی‌های بزرگ مقیاس S بوده و آرایش آنها اشکال عدسی شکل بزرگ مقیاسی (با طول محوری  $980$ - $1100$  متر) را پدید آورده است که می‌تواند نشان‌دهنده حرکت راست‌الغزی راست‌بر پهنه گسلی اصلی باشد (شکل ۴-د).

#### بخش میانی

در شمال ساوه، بخش میانی گسل کوشک نصرت کامل‌ترین پهنه در دسترس بوده و در سه ساختگاه مورد مطالعه قرار گرفته است: در ساختگاه جاده ارتباطی آزاد راه ساوه و جاده مامونیه (شکل ۳-د - شماره ۱)، پهنه گسل  $350$  متر پهنای داشته و از مجموعه متراکمی از گسل‌های مورب لغز معکوس چپ‌بر، راندگی‌ها و چین‌های کوچک مقیاس تشکیل شده است (جزئیات بیشتر در جدول ۱، شکل ۵-الف). تحلیل حرکتی گسل‌های اصلی پهنه که با نشانگرهای حرکتی قابل اعتمادی چون فابریک S/C و چین‌های کوچک مقیاس صورت پذیرفته است (شکل ۶-الف تا ه)، وجود دو گروه گسل با سازوکارهای مورب لغز معکوس چپ‌بر و راندگی محض (با حرکت فرادیواره گسل‌ها به سمت باختر) را مشخص کرده است.

در ساختگاه آزادراه تهران- ساوه (شکل ۳-د - شماره ۲)، پهنه گسل میانی

## ۲-۲. دیگر ساختارهای ناحیه ساوه

(شکل ۹-د). حوضه کششی یاد شده دارای طول و عرضی به ترتیب ۱۰ و ۱ کیلومتر بوده و شکل کشیده آن بازتاب‌دهنده انحنای کم و طول زیاد خمش موجود در مسیر گذر گسل است. پی‌سنگ حوضه کششی از واحدهای آتشفشانی ائوسن تشکیل شده و پوشش رسوبی آن در اثر دگرریختی‌های بعدی، دچار چین خوردگی شده است. با استفاده از ابعاد حوضه کششی، می‌توان برآوردی از میزان جدایش راستالغزی تجمعی (Cumulative strike-slip offset) گسل کوشک نصرت به دست آورد. به طوری که با حذف مساحت این حوضه از میان دو گسل قاراقد و کوشک نصرت و در شرایطی که بهترین انطباق برای خمش قدیمی گسل برقرار شود، کمینه میزان جابه‌جایی راستالغزی راست‌بر تجمعی که موجب شکل‌گیری حوضه کششی شده است، ۲/۲ - ۲ کیلومتر برآورد می‌شود.

از میوسن میانی، حوضه‌های رسوبی جدیدی در ناحیه ساوه شکل گرفته و با افزایش حجم ورودی مواد تخریبی، سازند قرمز بالایی (مشکل از تناوب ماسه سنگ، مارل و رس‌سنگ) و سپس سازند هم‌ارز هزاردره یا کهریزک (شامل توالی ستبرای کنگلومرا و به نسبت کمتر، رس‌سنگ و ماسه‌سنگ) رسوب‌گذاری می‌کنند. هم‌زمان با رسوب‌گذاری بخش بالایی سازند قرمز بالایی (از میوسن میانی - بالایی) مرحله جدیدی از دگرریختی در ناحیه قم - ساوه آغاز می‌شود که به سبب چیرگی رژیم ترفشارشی راست‌بر رخ داده است (Morley et al., 2009). دگرریختی دست کم تا اواخر زمان میوسن بالایی استمرار داشته است، زمانی که توالی سازند قرمز بالایی و سازند کنگلومرای هم‌ارز هزار دره یا کهریزک نیز دچار چین خوردگی شده است (برای نمونه چین‌های ساوه و والمان، شکل ۸). در فروافتادگی ساوه، سن واحد کنگلومرای مورد اشاره به صورت دقیق تعیین نشده است. اما سن رسوب‌گذاری رأس سازند کهریزک در حوضه پیش‌کوهی البرز جنوبی ۶/۲ میلیون سال قبل برآورد شده است (Ballato et al., 2008). ساختارهای مرتبط با دگرریختی ترفشارشی راست‌بر در ناحیه ساوه، تطبیق‌دهنده ترکیبی از دگرریختی‌های مورب‌لغز، راستالغز و فشاری هستند و گسل‌های اصلی ناحیه ساوه یعنی گسل‌های مورب‌لغز دارای مؤلفه شیبی معکوس و مؤلفه راستالغزی راست‌بر و انواع چین‌های دارای میل کم تا متوسط را در برمی‌گیرند (شکل ۸). در طی این دگرریختی، گسل کوشک نصرت به‌عنوان یکی از پهنه‌های برشی اصلی تطبیق‌دهنده دگرریختی ناحیه‌ای فشارشی - برشی راست‌بر عمل نموده است و سازوکار مورب‌لغز معکوس به‌همراه مؤلفه راستالغز راست‌بر مشاهده شده از این گسل، به این دوره زمانی تعلق دارد. جوان‌ترین دگرریختی ناحیه ساوه با فعالیت مجدد گسل کوشک نصرت و شکل‌گیری گسل‌های راستالغز چپ‌بر فرعی (همچون گسل‌های پیر آغاچی، سیاه‌کوه و نور علی بیگ) مشخص می‌شود.

## ۴-۴. بحث

### ۴-۱. پهنه جوان گسل کوشک نصرت

گسل کوشک نصرت در زمره گسل‌هایی است که اگرچه دچار وارونگی مؤلفه راستالغزی شده است اما شواهد ساختاری فعالیت قدیم و جوان آن در طول گسل قابل پیگیری است. بررسی جزئیات ساختاری پهنه جوان گسل در محل خم شمال ساوه، نشان می‌دهد که گسل‌های مورب‌لغز پرشیب تا قائم با راستای ۲۹۵°-۲۸۰° تنها یکی از اشکال دگرریختی موجود در پهنه بوده و به‌جز آنها، مجموعه‌ای از گسل‌های مورب‌لغز معکوس به‌همراه مؤلفه راستالغز چپ‌بر، راندگی‌ها، گسل‌های راستالغز چپ‌بر و چین‌خوردگی‌های کوچک مقیاس نیز توسعه یافته‌اند. ساختار داخلی پهنه جوان گسل کوشک نصرت از عناصر زیر تشکیل شده است: ۱) گسل‌های مورب‌لغز معکوس چپ‌بر که تطبیق‌دهنده دگرریختی مایل‌لغز چپ‌بر هستند و فراوان‌ترین ساختارهای داخلی پهنه گسل می‌باشند. گسل‌های با راستای ۲۹۵°-۲۸۰° بر دو نوع هستند، گروهی شیب متوسط رو به شمال داشته و گروهی شیب زیاد دارند و یا قائم

گسل‌های اصلی منطقه ساوه به دو گروه قابل تقسیم هستند. گروه اول مانند گسل‌های رنگ زرد، قاراقد، قرمز آقاش، ساری‌چای و جعفرآباد دارای راستای ۳۱۰°-۲۹۵° هستند و سازوکار حرکتی آنها، طیفی از گسلش مورب‌لغز معکوس راست‌بر تا راستالغز راست‌بر را در بر می‌گیرد (شکل ۸). برای تحلیل حرکتی این گسل‌ها از فابریک S/C (شکل ۹-الف، ب) و ترکیب موقعیت خش‌لغزها و نشانگرهای حرکتی داخل پهنه گسل‌ها استفاده شده است (شکل ۸). گروه دوم مانند گسل‌های پیر آغاچی، سیاه‌کوه و نور علی بیگ همگام با فعالیت جوان گسل کوشک نصرت فعال بوده‌اند و با توجه به نشانگرهای حرکتی موجود در پهنه گسل‌ها و همچنین شواهد ریخت‌زمین‌ساختی (شکل ۹-ج)، دارای مؤلفه راستالغزی چپ‌بر هستند (شکل ۸). جزئیات ساختاری این گسل‌ها در جدول ۲ مورد اشاره قرار گرفته است. چین‌خوردگی‌های اصلی ناحیه ساوه مانند طاق‌دیس‌های قرمز آقاش، ساوه، والمان و ناودیس کوه چرخه روند اثر سطح محوری ۲۹۵°-۲۸۰° دارند. در حالی که ناودیس کوه چرخه یک چین از نوع ایستاده، آرام و دارای میل بسیار کم (۱۰ درجه) است. چین‌های تشکیل شده در فروافتادگی ساوه مانند ساوه و والمان، میل متوسط رو به جنوب خاور داشته و یال شمالی آنها توسط عملکرد گسل‌هایی با مؤلفه شیبی مشخص معکوس (مانند گسل‌های قشلاق و والمان) بریده شده و بخش قابل ملاحظه‌ای از آن حذف شده است (شکل ۸).

## ۳-۳. تکامل ساختاری و رسوبی ناحیه ساوه

بر اساس شواهد ساختاری و چینه‌شناسی، چهار مرحله دگرریختی در ناحیه ساوه رخ داده است که شواهد دو مرحله نخست، به‌صورت محلی و شواهد دگرریختی‌های بعدی به‌صورت ناحیه‌ای قابل پیگیری است.

- قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه ساوه، مجموعه‌های آتشفشانی - آذرآواری، با سن ائوسن میانی - بالایی است. این مجموعه‌های سنگی پیش از پیشروی مجدد دریا و رسوب‌گذاری توالی رسوبی سازند قم (به سن الیگوسن بالایی - میوسن زیرین)، دچار دگرریختی، برخاستگی و به‌ویژه فرسایش قابل توجه شده‌اند. به طوری که قاعده سازند قم، در داخل حوضه کششی کوشک نصرت و مناطق کوه چرخه، شمال روستای ده آقا و اطراف روستای ورده، به‌صورت ناپیوستگی آذرین‌پی پروژند دارد (شکل ۱۰-الف، ب). در مرز یاد شده، یک لایه کنگلومرا دارای گرهک‌های اکسید آهن به ستبرای بیشینه ۲ متر قابل مشاهده است که نشان‌دهنده یک مرحله خروج از آب پیش از الیگوسن بالایی - میوسن زیرین است. ارزیابی دقیق در رابطه با زمان و توسعه ناحیه‌ای دگرریختی عامل برخاستگی فوق امکان‌پذیر نیست. جنوب خاوری روستای ورده تنها محلی است که ناپیوستگی زاویه دار الیگو - میوسن قابل مشاهده است و می‌توان آن را به واقعه دگرریختی متعلق به پیش از الیگوسن بالایی منتسب نمود. در این محل، یک چین متوسط مقیاس، توسط واحدهای کم‌شیب آگلومرای و آهک‌های بلورین متعلق به الیگوسن بالایی - میوسن زیرین پوشیده شده است (شکل ۱۰-ج). ستبرای واحد آگلومرای در روی چین خوردگی متغیر بوده و در بالای ناحیه لولایی چین دچار نازک‌شدگی شدید می‌شود. به‌علاوه امتداد لایه‌بندی در یال بالایی چین، دچار قطع‌شدگی ناگهانی در مرز واحد آگلومرای شده است. مجموع شواهد فوق نشان‌دهنده آن است که پیش از زمان الیگوسن بالایی - میوسن زیرین دست کم یک مرحله دگرریختی قدیمی‌تر نیز در ناحیه رخ داده است.

دگرریختی مرحله دوم در زمان الیگوسن بالایی - میوسن زیرین چیرگی داشته و در رژیم راستالغز راست‌بر - تراکشی راست‌بر رخ داده است. دگرریختی تراکشی، پدیده‌ای ثانویه نسبت به حرکت راستالغزی راست‌بر گسل کوشک نصرت بوده و اصلی‌ترین نمود آن، حوضه کششی کوشک نصرت است که در پاسخ به وجود انحنای با تقعر رو به جنوب در مسیر گذر گسل در سطح زمین تشکیل شده است

دارای مؤلفه فشاری غالب هستند (خرمی و همکاران، ۱۳۸۹). شواهد ساختاری، ریخت‌زمین‌ساختی و لرزه‌ای از گسل‌های حاشیه شمالی بلوک ایران مرکزی نیز تأیید‌کننده دیدگاه یاد شده است اما به وجود یک مؤلفه راستالغزی چپ‌بر نیز دلالت دارند. سامانه گسلی اپیک، آخرین پهنه ساختاری در گذر از جنوب البرز مرکزی-باختری به سوی نواحی شمالی پهنه ایران مرکزی است. پهنه گسل ۹۰ کیلومتر طول دارد و از مجموعه قطعات گسلی معکوس با راستای  $275^{\circ}$ - $295^{\circ}$  تشکیل شده است. بخش باختری گسل در طی رویداد لرزه‌ای  $1962/09/01$ ، گسیخته شده و دست کم ۱/۴ متر جدایش شیبی معکوس و ۶۰ سانتی‌متر جابه‌جایی راستالغزی چپ‌بر داشته است (بربریان و همکاران، ۱۳۶۲، Ambraseys, 1963). تحلیل سازوکار کانونی این واقعه (Priestley et al., 1994)، گسلش فشارشی چپ‌بر را به‌عنوان عامل زمین‌لرزه نشان می‌دهد (شکل ۱۱). جدایش راستالغزی چپ‌بر این گسل در تصاویر ماهواره‌ای مشخص بوده و در بخش‌های مختلف آن، مقدار جدایش تجمعی از ۲۵ تا ۹۰ متر در آبراه‌ها و بادبزنی‌های آبرفتی قابل مشاهده است (Bachmanov et al., 2004). در باختر روستای رودک و در نزدیکی محل رومرکز زمین‌لرزه سال ۱۹۶۲، گسل‌های همسو با پهنه اصلی، راستای  $270^{\circ}$ - $260^{\circ}$  داشته و آبرفت‌های عهد حاضر را ۴۰ متر جابه‌جا کرده‌اند (شکل ۹-ه).

گسل البرز واقع در شمال خاور شهر قم، ۳۸ کیلومتر طول دارد و باعث رانده شدن واحدهای میوسن به روی رسوبات پلیوسن - کواترنر شده است. این گسل دارای امتداد  $135^{\circ}$ - $125^{\circ}$  و شیب  $80^{\circ}$ - $75^{\circ}$  درجه به سمت جنوب باختر است و پهنه برشی آن حدود ۲۰۰ متر می‌باشد (الیاس زاده و همکاران، ۱۳۹۱). تحلیل حرکتی پهنه گسل نشان‌دهنده حرکت جوان معکوس چپ‌بر این گسل است، در حالی که با توجه به ساختارهای ایجاد شده در اثر فعالیت قدیمی‌تر گسل (مانند گسل خوردگی‌های همسو و ناهمسو و درزه‌ها) مشخص شده است که گسل البرز، پیش‌تر دارای حرکت معکوس با مؤلفه راست‌بر بوده است (الیاس زاده و همکاران، ۱۳۹۱). در طی دگرشکلی جوان‌تر، گسل البرز موجب تغییر در مسیر رودخانه قم رود گردیده و آبراه‌ها و مخروط افکنه‌ها را به‌صورت چپ‌بر جابه‌جا کرده است (الیاس زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

زمین‌لرزه مخرب سال ۱۳۸۱ آوج (چنگوره)، سازوکار کانونی معکوس داشته (شکل ۱۱) و بیشترین خسارت را به روستاهای آب دره و چنگوره وارد کرده است. نتایج مطالعات سلیمانی و فقهی (۱۳۸۱) نشان داده است که در نتیجه این واقعه، مجموعه‌ای از گسیختگی‌ها در حوالی روستاهای آب دره و چنگوره رخ داده است. به‌طوری که آثار گسیختگی شاقولی  $65^{\circ}$ - $50^{\circ}$  سانتی‌متری در مسیر یک راندگی کمتر شناخته شده به نام "گسل آب دره" مشاهده شده است (شکل ۹-و، سلیمانی و فقهی، ۱۳۸۱). گسل آب‌دره راستای  $115^{\circ}$  و شیب  $32^{\circ}$ - $30^{\circ}$  درجه رو به جنوب باختر دارد. در خاور روستای چنگوره نیز، ۳۰ سانتی‌متر گسیختگی سطحی چپ‌بر در امتداد گسلی با راستای  $110^{\circ}$  و شیب زیاد رو به جنوب مشاهده شده است (سلیمانی و فقهی، ۱۳۸۱). شواهد گفته شده می‌توانند نشانگر تفکیک‌شدگی دگرریختی ترافشارشی چپ‌بر به قلمروهای فشارش (با غلبه گسلش معکوس) و قلمروهای کمتر توسعه یافته راستالغزی چپ‌بر باشد.

تحلیل سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها در جنوب باختری قم، شاهدهی دیگر برای دگرریختی فشارشی چپ‌بر فعال در منطقه است. در یک رشته زمین‌لرزه که در دی ماه سال ۱۳۵۹ رخ داده است، گسل‌های مدفون در جنوب تاقدیس کوه یزدان دچار گسیختگی شده‌اند (شکل ۹-ز). تحلیل سازوکار کانونی این زمین‌لرزه‌ها وجود مؤلفه قابل توجه چپ‌بر را برای صفحات دارای راستای شمال خاور- جنوب باختر و شیب متوسط تا زیاد رو به شمال باختر نشان می‌دهد (شکل ۱۱). این صفحات، انطباق مناسبی با روند محوری ساختارهای مجاور یعنی تاقدیس و راندگی کوه یزدان داشته (شکل ۹-ز، شکل ۱۱)، بنابراین مناسب‌ترین گزینه برای صفحات گسلی عامل

هستند. گسل‌های با راستای  $335^{\circ}$ - $320^{\circ}$  شیب متوسط (بیشتر رو به شمال خاور) داشته و در مواردی توسط گسل‌های بسیار کم شیب تا افقی دربرگرفته می‌شوند که فرادواره گسل‌های اخیر رو به باختر حرکت کرده است. گسل‌های با راستای  $335^{\circ}$ - $320^{\circ}$  یا به‌صورت شاخه‌های فرادواره‌ای و فرودواره‌ای گسل‌های کم‌شیب فعالیت داشته‌اند و یا در سه بعد، یال‌های پرشیب ساختارهای عدسی شکل داخل پهنه‌های گسل را تشکیل می‌دهند. ۲) گسل‌های راستالغزی چپ‌بر: گسل‌های این گروه تطبیق‌دهنده دگرریختی با فرایند برش ساده چپ‌بر هستند. آنها راستای  $295^{\circ}$ - $265^{\circ}$  داشته و در بیشتر موارد قائم هستند و یا شیب بسیار زیاد رو به جنوب و شمال دارند. مواردی از آنها نیز شیب متوسط رو به شمال دارند. ۳) گسل‌های راندگی و چین‌های کوچک مقیاس که تطبیق‌دهنده دگرریختی فشاری هستند.

#### ۴-۲. ترافشارش فعال چپ‌بر در محدوده پهنه البرز تا حاشیه شمالی گستره ایران مرکزی

بررسی شواهد ساختاری، ریخت‌زمین‌ساختی و لرزه‌ای از گسل‌های بخش‌های مرکزی و باختری پهنه البرز مشخص نموده است که گسل‌های این پهنه تحت تأثیر دگرریختی ترافشارشی چپ‌بری که پس از میوسن بالایی (یا پس از پلیوسن) رخ داده است، دچار وارون‌شدگی سازوکار شده و مؤلفه راستالغزی چپ‌بر یافته‌اند (Trifonov et al., 1996; Jackson et al., 2002; Allen et al., 2003; Guest et al., 2006; Hollingworth et al., 2008; Abbassi & Farbod, 2009). برای نمونه گسل طالقان در انطباق با دگرریختی ترافشارشی چپ‌بر، از اوایل پلیوسن دچار تغییر سازوکار از نرمال به معکوس چپ‌بر شده (Guest et al., 2006). گسل رودبار در طی زمین‌لرزه سال ۱۳۶۹، ۶۰ سانتی‌متر گسیختگی چپ‌بر داشته است (Berberian & Yeats, 2001) و شواهد ریخت‌زمین‌ساختی، ساختاری و دیرینه‌لرزه‌شناسی، وجود مؤلفه راستالغزی چپ‌بر در امتداد گسل مشا- شمال تهران را اثبات کرده است (سلیمانی و همکاران، ۱۳۸۲، Allen et al., 2003; Solaymani Azad et al., 2011; Guest et al., 2006). عامل این دگرریختی، با حرکت رو به شمال باختر پی‌سنگ حوضه خزر جنوبی نسبت به ورقه‌های ثابت اوراسیا و ایران مرتبط دانسته شده است (Allen et al., 2003). آهنگ کونی حرکت حوضه خزر نسبت به ورقه اوراسیا  $2 \pm 6$  میلی‌متر در سال برآورد شده است (Vernant et al., 2004).

به باور برخی از پژوهشگران دوران ساعتگرد حوضه خزر که از دوره پلیوسن (Jackson et al., 2002) یا حتی جوان‌تر، در پلنیستوسن میانی (Ritz et al., 2006) آغاز شده است، نه تنها موجب تغییر رژیم دگرریختی در پهنه البرز گردیده، بلکه عامل رخداد یک مرحله دگرریختی تراکششی چپ‌بر بسیار جوان در بخش داخلی این پهنه نیز بوده است که شواهد ساختاری و ریخت‌زمین‌ساختی آن را در مورد گسل‌های مشا، طالقان و فیروزکوه، می‌توان مشاهده نمود (Ritz et al., 2006). امروزه، تحلیل اطلاعات سیستم مکان‌یابی جهانی نشان‌دهنده غلبه دگرریختی فشاری چپ‌بر در بخش‌های سطحی پوسته پهنه البرز است. Vernant et al. (2004) نشان داده‌اند که در پهنه البرز مرکزی، نرخ کوتاه‌شدگی شمالی - جنوبی و نرخ برش چپ‌بر به ترتیب  $2 \pm 4$  و  $2 \pm 5$  میلی‌متر در سال است. در مطالعه‌ای جدیدتر، خرمنی و همکاران (۱۳۸۹) مقدار کوتاه‌شدگی و حرکت راستالغزی چپ‌بر در پهنه البرز مرکزی - باختری را به ترتیب ۶ و ۲ میلی‌متر در سال برآورد نموده‌اند.

به نظر می‌رسد که دگرریختی ترافشارشی چپ‌بر، فقط به پهنه البرز محدود نبوده و بخش‌هایی از حاشیه شمال باختری بلوک ایران مرکزی (در ناحیه قم - ساوه) را نیز متأثر کرده است. نرخ کوتاه‌شدگی میان بلوک ایران مرکزی و پیشانی جنوبی پهنه البرز ۳ میلی‌متر در سال برآورد شده و با توجه به روند محورهای کرنش، گسل‌های حاشیه شمالی بلوک ایران مرکزی (در جنوب و جنوب باختر پهنه البرز)

است. سازوکار جدید گسل‌های ناحیه ساوه تاکنون کمتر شناخته شده است و این در حالی است که همان‌گونه که در این پژوهش نیز بحث شد، پویایی دگرریختی به‌عنوان عامل جنبایی گسل‌ها، با رخدادهای زمین‌لرزه‌ای و شواهد ریخت‌زمین‌ساختی قابل اثبات است.

### ۵- نتیجه‌گیری

تاریخچه جنبایی گسل کوشک نصرت در ناحیه ساوه به دو بخش اصلی قابل تقسیم است. سازوکار نخستین این گسل، راست‌لغز راست‌بر (در دوره‌هایی مورب‌لغز معکوس راست‌بر) بوده است. بازمانده‌های ساختاری این واقعه، در بخش‌هایی از پهنه‌های شمالی و میانی گسل و همچنین به‌صورت حوضه کششی کوشک نصرت نمود دارند. رسوب‌گذاری پوشش آهکی متعلق به الیگوسن بالایی - میوسن زیرین در این حوضه کششی، نشانگر آن است که گسل یاد شده تا پیش از این زمان فعال بوده است. جوان‌ترین مرحله از جنبایی گسل کوشک نصرت، سازوکار مورب‌لغز معکوس چپ‌بر (تا راست‌لغز چپ‌بر) دارد. این حرکت نمایان‌ترین و جوان‌ترین سازوکار این گسل بوده و موجب شده است تا در محل خمیدگی گسل در شمال ساوه، این بار یک پهنه ترافشارشی چپ‌بر شکل گیرد.

### سپاسگزاری

در پایان لازم است تا از شرکت ملی نفت ایران و سازمان زمین‌شناسی کشور به خاطر فراهم نمودن این فرصت پژوهشی، صمیمانه سپاسگزاری و قدردانی نماییم. همچنین از داوران محترم که با ارائه نقطه نظرات ارزشمند خود به بالا بردن کیفیت این مقاله کمک نمودند، سپاسگزاری می‌گردد.

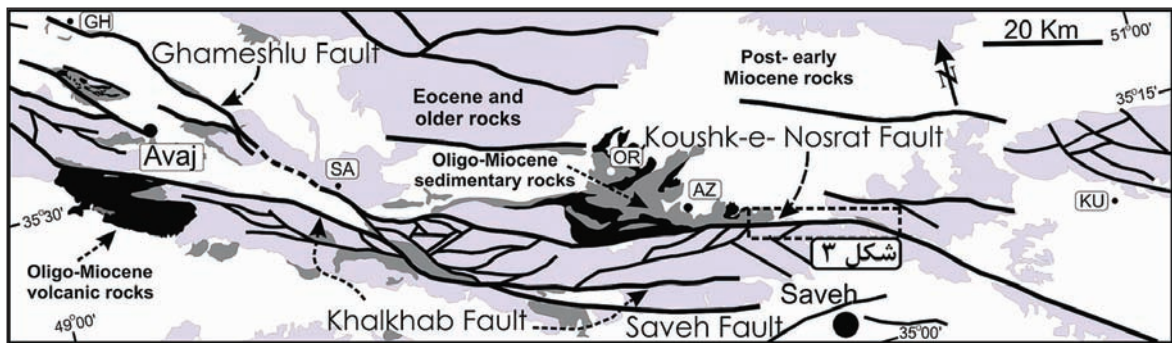
زمین‌لرزه می‌تواند باشند. زمین‌لرزه کهنک قم (۱۳۸۶/۰۳/۲۸) نیز در جنوب خاور همین ناحیه رخ داده است. سازوکار کانونی این زمین‌لرزه، گسلش معکوس با مؤلفه راست‌لغزی خفیف را نشان می‌دهد (شکل ۱۱).

بررسی داده‌های زمین‌لرزه‌های دستگاهی ۵۰ سال اخیر نشان از آن دارد که دو زمین‌لرزه اصلی در اطراف شهر ساوه رخ داده است. زمین‌لرزه دی ماه ۱۳۸۲ در جنوب گسل کوشک نصرت رخ داده و سازوکار کانونی آن گسلش معکوس را نشان می‌دهد (شکل ۱۱). در رابطه با محل کانون زمین‌لرزه، اختلاف وجود داشته و برخی از داده‌ها به‌وجود یک گسل مدفون در شمال خاور شهر ساوه اشاره دارند. زمین‌لرزه تاریخ ۱۹۶۸/۰۴/۲۶ بزرگی ۵/۳ در مقیاس امواج درونی داشته و مرکز سطحی آن در شمال باختر ساوه واقع شده است (USGS earthquake archive). این رخداد انطباق کاملی با مسیر گسل ساوه نشان می‌دهد (شکل ۱۱). اثر سطحی گسل ساوه ۵۰ کیلومتر طول داشته و انتهای باختری آن با گسل خلخاب در ارتباط است. گسل ساوه شیب رو به شمال داشته و موجب قرارگیری واحدهای آتشفشانی ائوسن بر روی سازند قرمز بالایی شده است (قلمقاش و همکاران، ۱۳۷۷). با توجه به نزدیکی این گسل‌ها به شهر ساوه و پویایی و جوان بودن دگرریختی در این ناحیه، می‌توان گسل‌های یاد شده را به‌عنوان سرچشمه خطری بالقوه برای این شهر مطرح نمود.

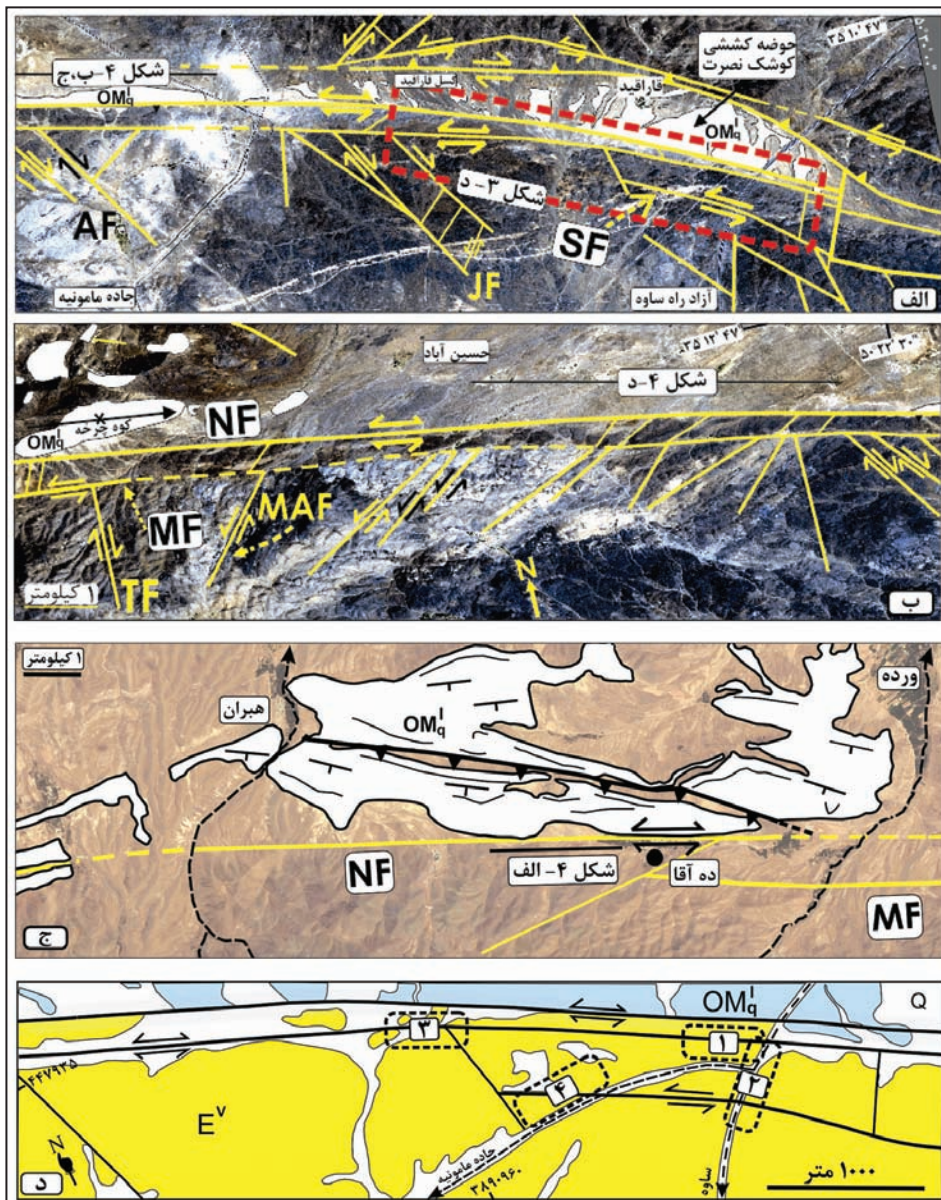
بر اساس اطلاعات جدیدی که از ماهیت حرکتی گسل کوشک نصرت (و گسل‌های فرعی اطراف آن) به‌دست آمده است و در پیوند با شواهد ارائه شده درباره گسل‌های ایپک، البرز و گسل‌های مسبب زمین‌لرزه در مناطق آوج و قم، می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت امروزی این گسل‌ها ترکیبی از سازوکارهای معکوس، مورب‌لغز معکوس چپ‌بر و در موارد کمتر توسعه یافته راست‌لغز چپ‌بر



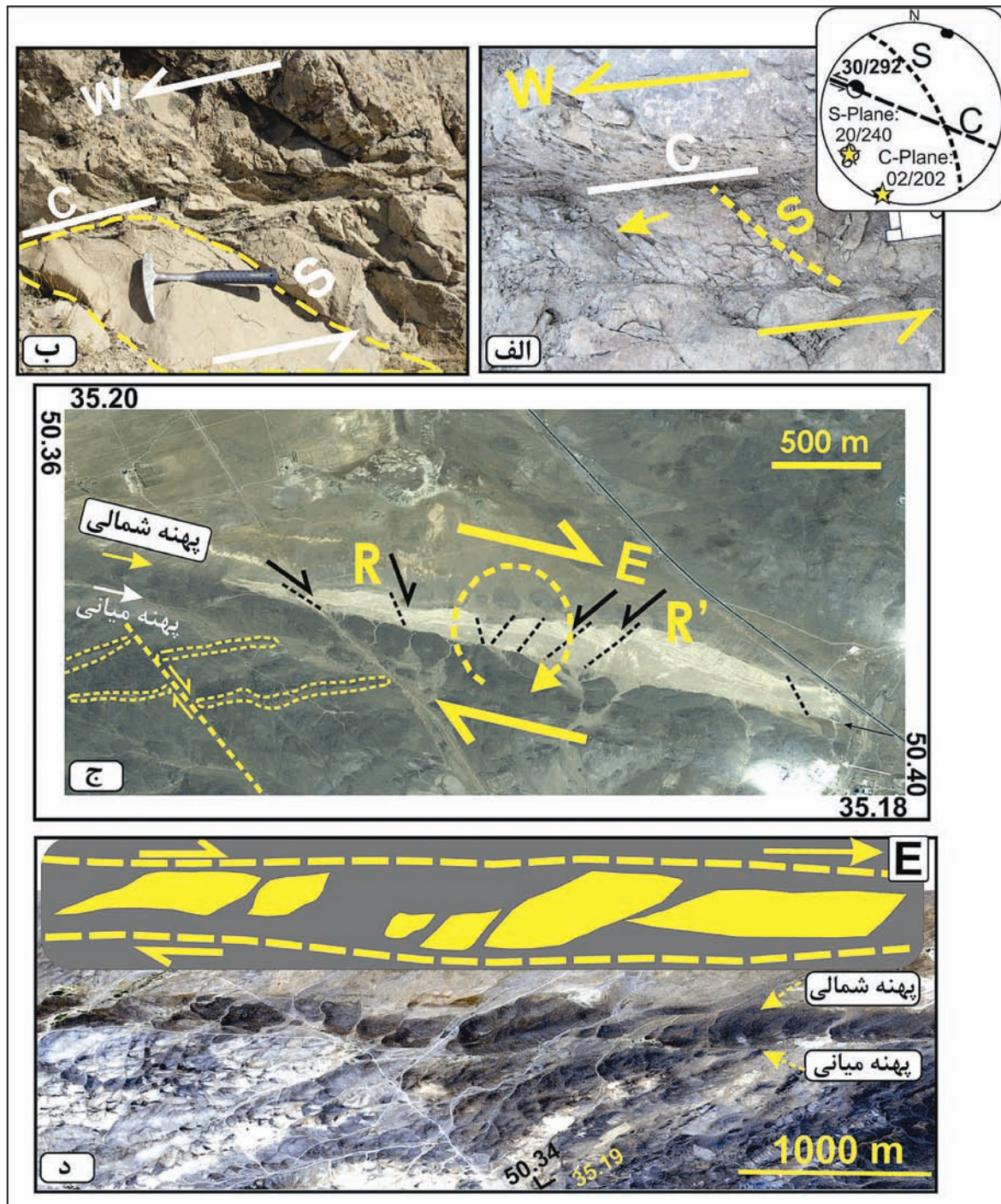
شکل ۱- نقشه گسل‌های اصلی بخش مرکزی- باختری ایران. محل و سازوکار گسل‌ها نقل از Berberian (1981) و Allen et al. (2003). سازوکار گسل البرز نقل از الیاس زاده و همکاران (۱۳۹۱). مجموعه‌های ماگمایی (فارغ از سن و جنس) با رنگ خاکستری نشان داده شده است (نقل از نقشه پراکندگی سنگ‌های آذرین- سازمان زمین‌شناسی کشور، www.GSLir). علائم اختصاری گسل‌ها: A: البرز، AS: آستانه، B: بنان، BL: بیابانک، IN: ایندس، IP: ایپک، G: گرمسار، K: کوشک نصرت، KA: کندوان، KHA: خلخاب، KH: خزر، LA: لاهیجان، M: مشا، MA: منجیل، MRZ: زاگرس جوان، MZR: معکوس زاگرس، NT: شمال تبریز، Q: قزوین، Q.Z: قم- زفره، R: رودبار، SA: سنگاور، SI: سیاه کوه، TA: طالقان، TAL: تالش.



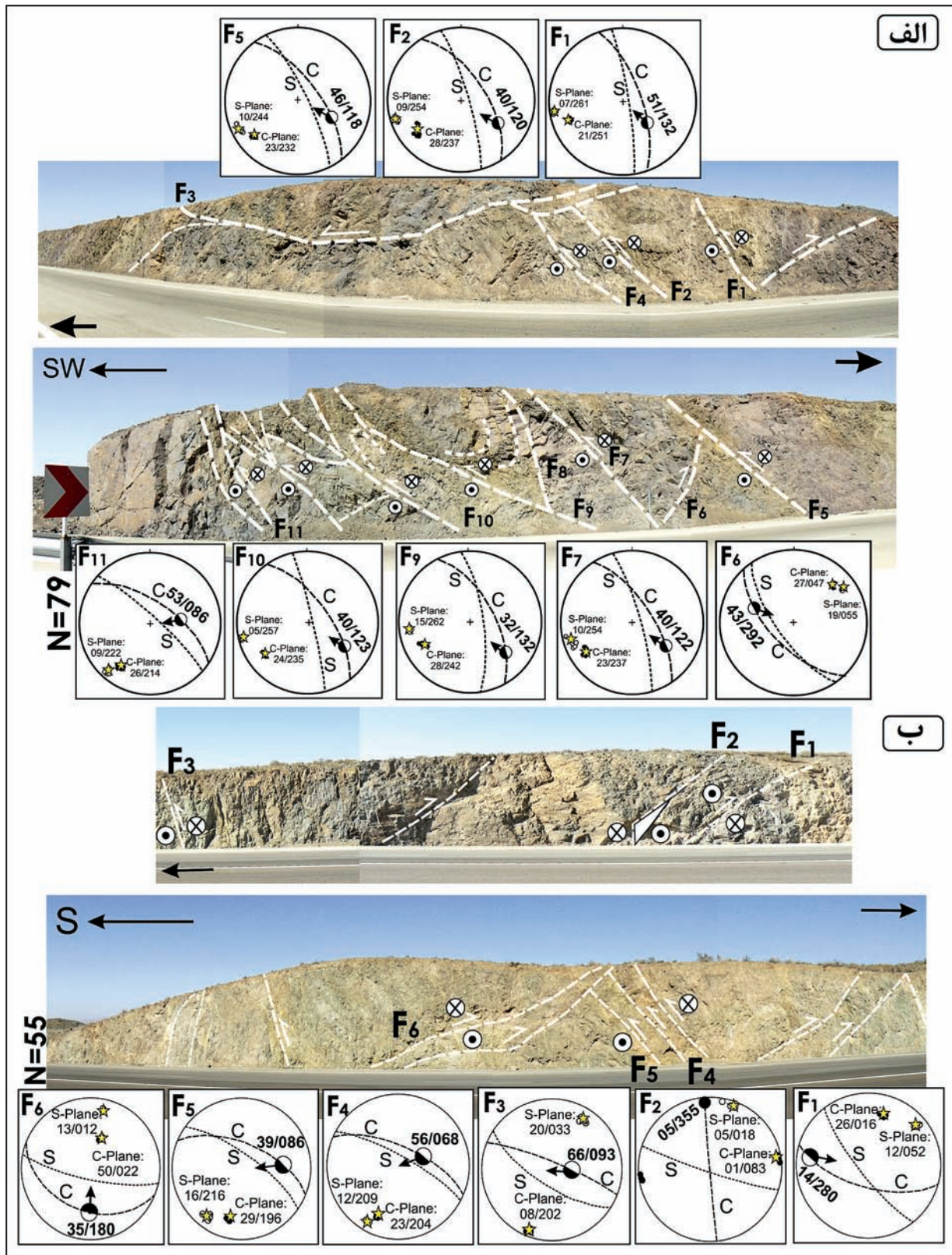
شکل ۲- نقشه پهنه گسلی کوشک نصرت و گسل‌های اصلی ناحیه ساوه- آوج، ترسیم و ساده شده از برگه های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه و قم و ۱:۱۰۰۰۰۰ رزن و آوج (منتشر شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور). علائم اختصاری روستاها و موقعیت های جغرافیایی: GH: قمشلو، SA: سنگاوین، AZ: آزادکین، KU: کوشک نصرت، OR: کوه اردونشین.



شکل ۳- الف، ب، ج) نقشه های متوالی به ترتیب از خاور به باختر، از مسیر پهنه گسلی کوشک نصرت در شمال ساوه. واحد آهکی سازند قم با رنگ سفید مشخص شده است. علامت سوی حرکت دوطرفه برای بخش‌های گسلی شمالی و میانی، نشان‌دهنده آن است که این گسل‌ها دچار وارونگی مؤلفه امتدادی از راست‌بر به چپ‌بر شده‌اند، د) پهنه گسل کوشک نصرت در محل خمش ساختار. محل ساختمانهای مطالعه شده با شماره مشخص شده است. علائم اختصاری گسل‌ها: NF: بخش شمالی گسل کوشک نصرت، MF: بخش میانی گسل کوشک نصرت، SF: بخش جنوبی گسل کوشک نصرت، MAF: گسل منزلک، AF: گسل انجیرلو، TF: گسل طاق درسی، JF: گسل جعفرآباد.

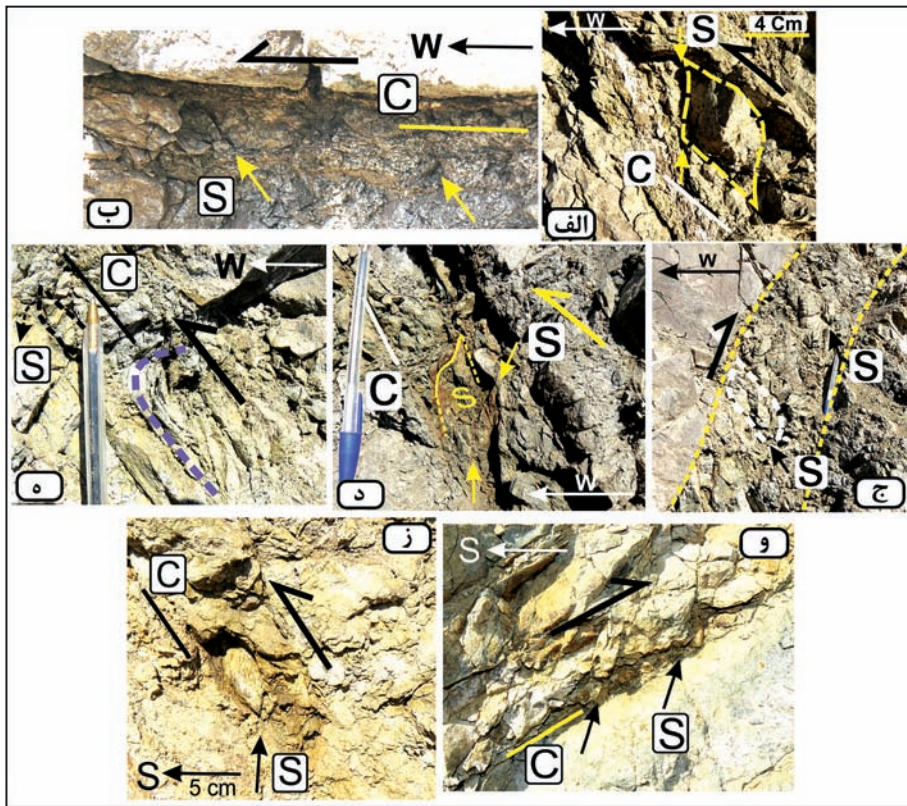


شکل ۴- ساختارهای مرتبط با بخش شمالی گسل کوشک نصرت. شواهد مؤلفه راستالغزی چپ‌بر گسل: الف) گسل کوشک نصرت در ساختگاه روستای ده‌آقا. توسعه فابریک S/C و عدسی‌های موجود در پهنه گسل (مشخص شده با پیکان) نشان‌دهنده مؤلفه راستالغزی چپ‌بر گسل است، ب) ساختگاه باختر جاده مامونیه: توسعه فابریک S/C در پهنه گسل نمایانگر مؤلفه امتدادی چپ‌بر آن است، شواهد مؤلفه راستالغزی راست‌بر گسل: ج) تصویر از موقعیت گسل کوشک نصرت در باختر جاده مامونیه. مجموعه آهک‌های الیگوسن بالایی - میوسن زیرین با رنگ روشن و واحد آتشفشانی اتوسن میانی - پایانی با رنگ تیره قابل تشخیص هستند. در این محل، پهنه تخریب دیواره‌ای گسل از گسل‌های فرعی همسو (R) و ناهمسو (R') تشکیل شده است. بلوک‌های آهکی محصور شده توسط گسل‌های فرعی، دچار چرخش ساعتگرد گردیده‌اند، امری که گویای مؤلفه راستالغزی راست‌بر قدیمی برای گسل کوشک نصرت می‌تواند باشد، د) گسل کوشک نصرت در خاور کوه چرخه. عدسی‌های بزرگ مقیاس توسعه یافته در واحد آتشفشانی اتوسن میانی - پایانی، نشان‌دهنده حرکت راستالغزی راست‌بر قدیمی گسل (حرکت بلوک بالایی رو به خاور) است. برای محل شکل‌ها مراجعه شود به شکل ۳- الف تا ج .

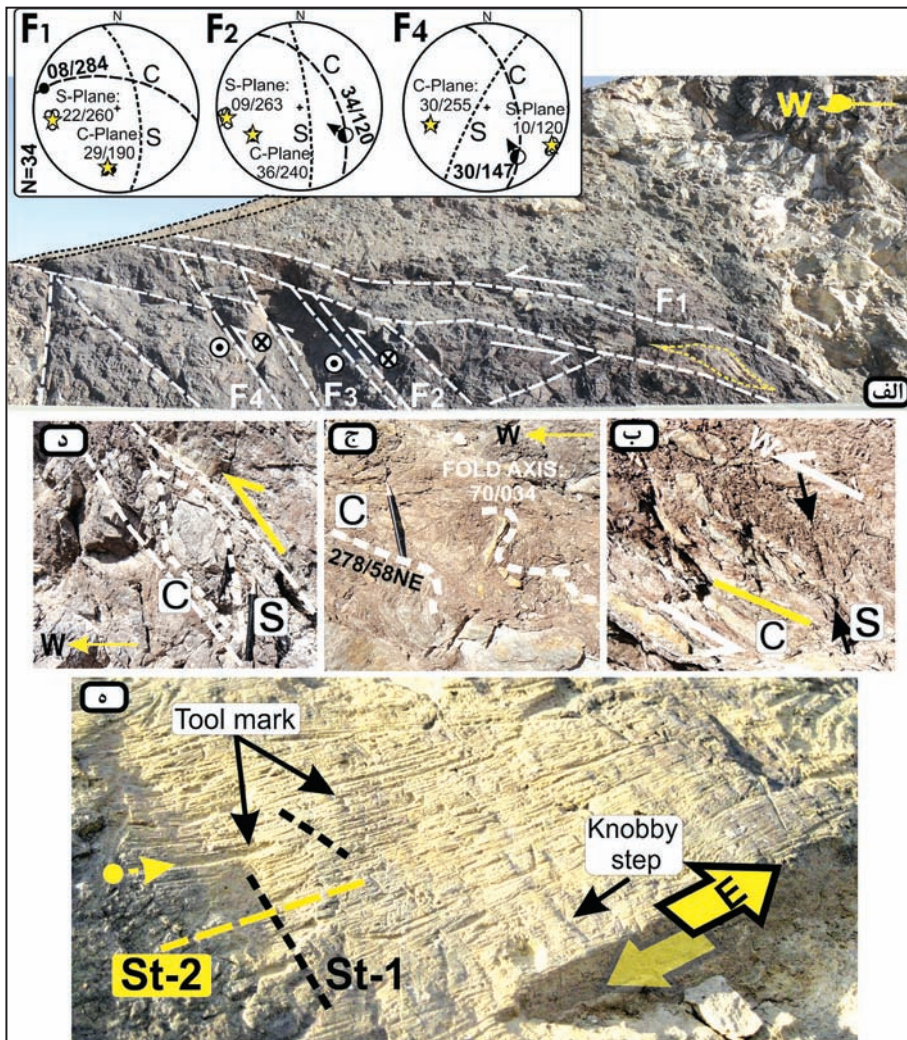


شکل ۵- نتایج تحلیل حرکتی بخش میانی کوشک نصرت با استفاده از فابریک S/C در الف) ساختگاه جاده ارتباطی میان آزادراه تهران- ساوه و جاده مامونیه (محل ساختگاه: شکل ۳- د- شماره ۱) و ب) آزادراه تهران- ساوه (محل ساختگاه: شکل ۳- د- شماره ۲). برای توضیح به متن مقاله مراجعه شود.

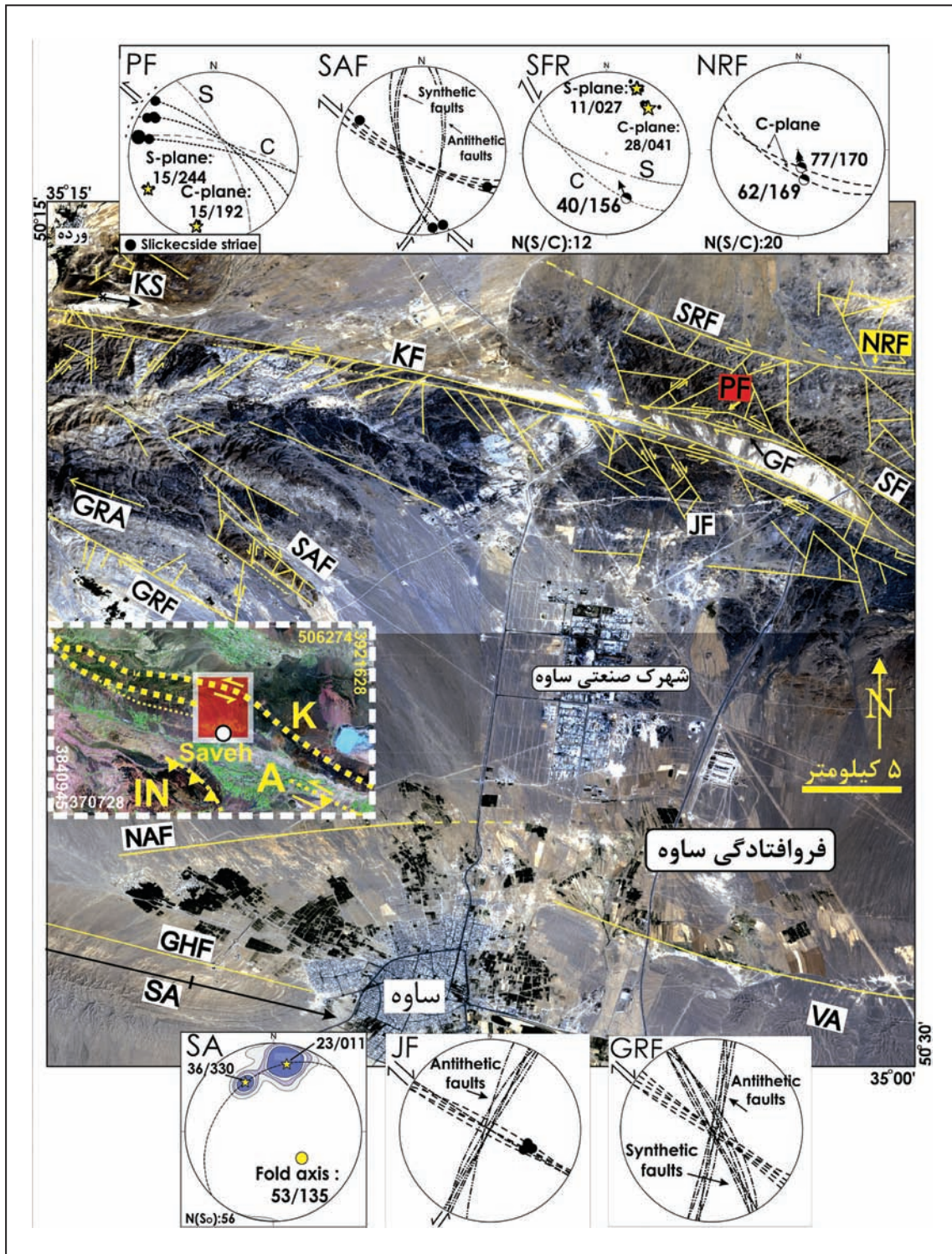




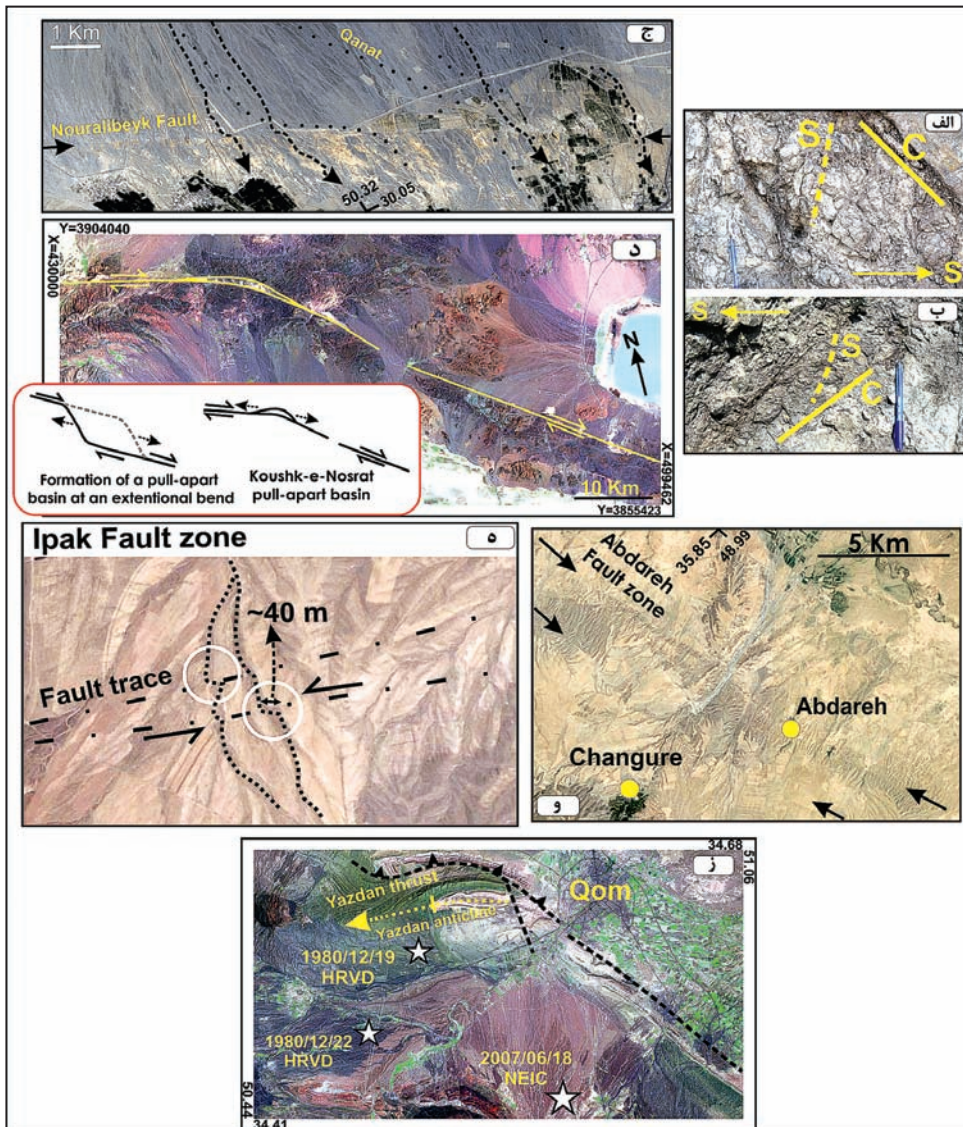
شکل ۶- نمونه‌هایی از ساختار داخلی گسل‌های بخش میانی کوشک نصرت در ساختمان‌های جاده ارتباطی میان آزادراه تهران- ساوه و جاده مامونیه (الف تا ه) و آزادراه تهران- ساوه (و، ز). الف) گسل  $F_1$ ، ب) گسل  $F_3$ ، ج) گسل  $F_6$ ، د) گسل  $F_7$ ، ه) گسل  $F_{10}$ ، و) گسل  $F_6$ ، ز) گسل  $F_3$ . برای محل گسل‌ها به شکل ۵ مراجعه شود.



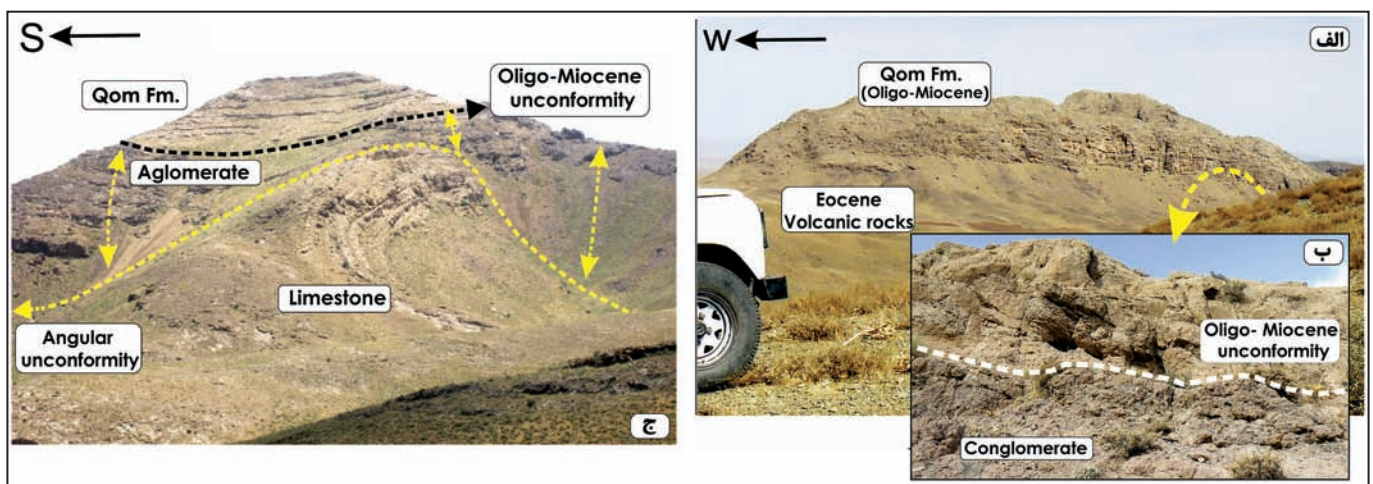
شکل ۷- الف) نتایج تحلیل حرکتی بخش خاوری پهنه جنوبی گسل کوشک نصرت، ب تا ه) نمونه‌هایی از ساختارهای تعیین کننده جهت حرکت در پهنه جنوبی کوشک نصرت: ب) فابریک S/C و توسعه عدسی‌های نشان‌دهنده سوی حرکت چپ‌بر در گسل  $F_1$ ، ج) چین‌خوردگی‌های داخل پهنه گسل  $F_1$ ، چین‌ها دارای میل زیاد بوده و بر گوارگی C را متأثر کرده‌اند، د) پهنه گسل  $F_4$ ، توسعه فابریک S/C نشان‌دهنده مؤلفه معکوس گسل است، ه) نمونه‌ای از صفحه گسل کوشک نصرت جنوبی، در صفحه گسل آثار دو دسته خشل‌لغز جوان (St-2) و قدیمی (St-1) حفظ شده است. نشانه‌های حرکتی همراه با خشل‌لغزهای جوان‌تر (خشل‌لغز افقی و یا دارای زاویه ریک باختری) دلالت‌کننده حرکت بلوک جنوبی رو به خاور و مؤلفه راست‌الغزی چپ‌بر برای گسل هستند.



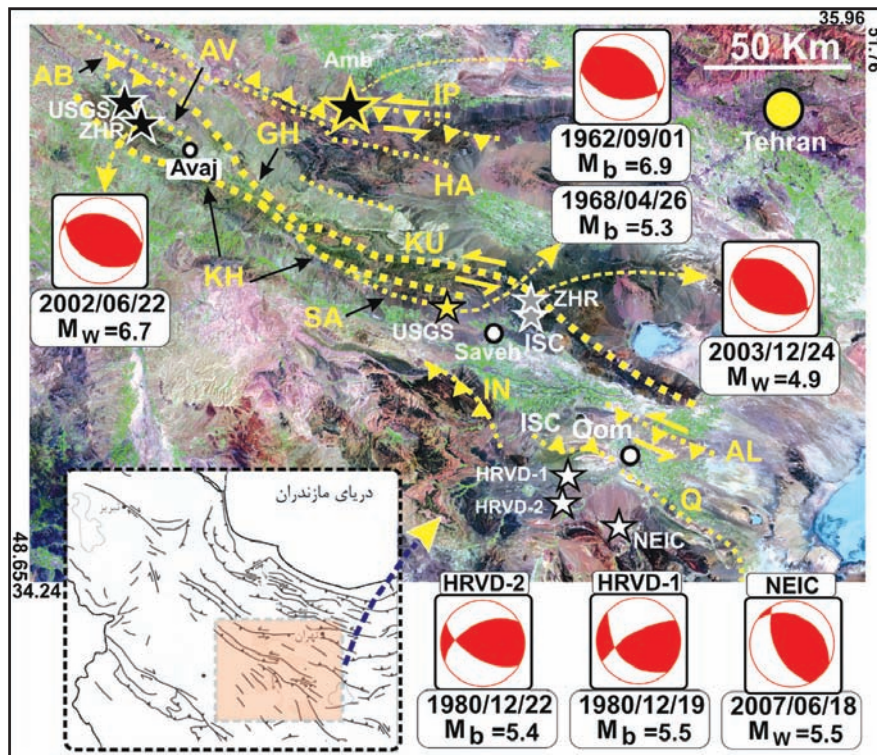
شکل ۸- نقشه ساختارهای اصلی شمال ساوه و استریوگرام‌های مربوط به تحلیل ساختاری آنها. علائم اختصاری ساختارها: NRF: پهنه شمالی گسل رنگ زرد، SRF: پهنه جنوبی گسل رنگ زرد، PF: گسل پیرآغاچی، GF: گسل فاراقید، SF: گسل سیاه کوه، KF: گسل کوشک نصرت، SAF: گسل ساری جای، JF: گسل جعفرآباد، GHF: گسل قشلاق، NAF: گسل نورعلی بیگ، GRF: گسل قرمزآقاش، KS: ناودیس کوه چرخه، GRA: ناقدیس قرمزآقاش، SA: ناقدیس ساوه، VA: ناقدیس والمان. علائم اختصاری گسل‌ها در کادر نقشه راهنما: A: گسل البرز، IN: گسل ایندس، K: گسل کوشک نصرت. برای توضیح به متن مقاله مراجعه شود.



شکل ۹- الف، ب) ساختارهای پهنه گسلی رنگ زرد، پهنه شمالی (الف) و پهنه جنوبی (ب)، توسعه فابریک S/C، نشان دهنده مؤلفه معکوس برای گسل‌ها است، ج) تصویر ماهواره‌ای از موقعیت گسل نورعلی‌بیگ (مسیر گسل با پیکان‌های بزرگ سیاه رنگ مشخص شده است)، گسل موجب انحراف چپ‌بر در مسیر آبراهه‌های اصلی گردیده است. دایر توپر رشته‌های قنات را نشان می‌دهند، د) تصویر ماهواره‌ای از گسل کوشک نصرت در ناحیه قم- ساوه. حوضه کششی کوشک نصرت در محل خمش گسل شکل گرفته است. ه) انحراف چپ‌بر آبرفت‌های عهد حاضر توسط گسل ایپک، روستای رودک (موقعیت شکل:  $35^{\circ} 42' 30''$ ،  $52^{\circ} 59' 49''$ )، و) پهنه گسل آب دره، گسل آبرفت‌های عهد حاضر را بریده است، ز) محل کانون زمین‌لرزه‌های جنوب باختر قم.



شکل ۱۰- الف) مرز ناپیوسته میان آهک الیگوسن بالایی- میوسن زیرین و واحد آتشفشانی انوسن. ب) واحد کنگلومرای قاعده سازند قم، یال جنوبی ناودیس کوه چرخه، ج) چین‌خوردگی پیش از الیگوسن بالایی- میوسن زیرین. جنوب روستای ورده.



شکل ۱۱- نقشه گسل‌های ناحیه قم- ساوه. نتایج تحلیل سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های اصلی به همراه مرجع مورد استفاده نمایش داده شده است. علائم اختصاری گسل‌ها: AL: گسل البرز، Q: گسل قم، IN: گسل ایندس، KU: گسل کوشک نصرت، IP: گسل ایبک، SA: گسل ساوه، HA: گسل حسن آباد، GH: گسل قمشلو، KH: گسل خلخاب، AV: گسل آوج، AB: گسل آبدره. برای توضیح به متن مقاله مراجعه شود.

جدول ۱- جزئیات ساختاری گسل‌های موجود در بخش‌های سه گانه قطعه گسلی کوشک نصرت در شمال ساوه. برای توضیح به متن مراجعه شود.

بخش‌های گسلی کوشک نصرت	ساختگاه‌های مطالعه شده	طیف تغییرات راستا/ شیب گسل‌ها	زاویه ریک خش لغزشها (موارد محاسبه شده با فایریک S/C با ستاره مشخص شده است)	ساز و کار گسل‌ها
(۱-۱) شمال ده آفا	شمال روستای	$290^{\circ} - 292^{\circ}$ قائم	$30 - 35$ درجه باختری*	مورب لغز چپ‌بر با برخاستگی بلوک جنوبی
(۱) بخش شمالی	(۲-۱) باختر جاده مامونیه	$290^{\circ} - 272^{\circ}$ قائم یا بیش از $80$ درجه رو به جنوب	پهنه قدیم گسل: - پهنه جوان گسل: $8$ درجه خاوری*	پهنه قدیم گسل: دارای مؤلفه امتدادی راست‌بر پهنه جوان گسل: راست‌لغز چپ‌بر
(۳-۱) خاور کوه چرخه		$290^{\circ} / 75$ درجه رو به جنوب	$16$ درجه باختری	راست‌لغز راست‌بر
(۲) بخش میانی	(۱-۲) جاده ارتباطی آزاد راه ساوه و جاده مامونیه	گسل‌های گروه اول: $341^{\circ} - 323^{\circ} / 62 - 69$ درجه رو به شمال خاور گسل‌های گروه دوم: افقی یا دارای شیب $25 - 20$ درجه رو به جنوب و شمال	گسل‌های گروه اول: $63 - 36$ درجه جنوب خاوری* گسل‌های گروه دوم: $86$ درجه باختری*	گسل‌های گروه اول: مورب لغز معکوس چپ‌بر گسل‌های گروه دوم: راندگی محض (حرکت فرادایواره گسل‌ها به سمت باختر)
(۲-۲) آزادراه تهران- ساوه		گسل‌های گروه اول: $294^{\circ} - 281^{\circ} / 61 - 85$ درجه رو به شمال خاور گسل‌های گروه دوم: $69$ و $355^{\circ}$ شیب متوسط رو به شمال باختر یا قائم	گسل‌های گروه اول: $72 - 44$ درجه خاوری*	گسل‌های گروه اول: مورب لغز معکوس چپ‌بر گسل‌های گروه دوم: راست‌لغز چپ‌بر و راست‌بر
(۲) بخش جنوبی	(۱-۳) بخش خاوری	گسل‌های گروه اول: $285^{\circ} - 276^{\circ} / 65 - 56$ درجه رو به شمال خاور گسل‌های گروه دوم: $345^{\circ} - 328^{\circ} / 53 - 60$ درجه رو به شمال خاور	گسل‌های گروه اول: $40 - 10$ درجه باختری گسل‌های گروه دوم: $47 - 36$ درجه جنوب خاوری*	گسل‌های گروه اول: راست‌لغز تا مورب لغز چپ‌بر گسل‌های گروه دوم: مورب لغز معکوس چپ‌بر
(۲-۳) بخش باختری		$285^{\circ} - 265^{\circ}$ قائم یا بیش از $82$ درجه به سمت جنوب	خش لغزهای قدیم: $50 - 38$ درجه خاوری خش لغزهای جوان: $32 - 12$ درجه باختری یا افقی	حرکت قدیم: مورب لغز معکوس راست‌بر حرکت جوان: راست‌لغز چپ‌بر تا مورب لغز چپ‌بر معکوس

جدول ۲- جزئیات ساختاری گسل‌های شمال ساوه. برای توضیح به متن مراجعه شود.

نام گسل	طیف تغییرات راستا/ طیف تغییرات شیب	زاویه ریک خش لغزها (موارد محاسبه شده با فابریک S/C با ستاره مشخص شده است)	ساز و کار گسل
گسل رنگ زرد- بخش شمالی	$311^{\circ}$ - $62-78/293^{\circ}$ درجه رو به جنوب	۷۲-۸۳ درجه خاوری*	معکوس تا مورب لغز معکوس راست‌بر
گسل رنگ زرد- بخش جنوبی	$318^{\circ}$ - $62/304^{\circ}$ رو به جنوب	۴۷ درجه خاوری*	مورب لغز معکوس راست‌بر
گسل جعفر آباد	$302^{\circ}$ - $298^{\circ}$ قائم یا بیش از $80^{\circ}$ درجه رو به شمال و جنوب	۵۷-۵۱ درجه خاوری	مورب لغز معکوس راست‌بر
گسل قرمز آقاش	$310^{\circ}$ - $300^{\circ}$ قائم یا بیش از $80^{\circ}$ درجه رو به شمال و جنوب	کمتر از $10^{\circ}$ درجه خاوری	راست‌لغز راست‌بر
گسل ساری چای	$295^{\circ}$ - $80/75^{\circ}$ رو به جنوب	کمتر از $15^{\circ}$ درجه خاوری یا باختری	راست‌لغز راست‌بر
گسل پیر آغاچی	$290^{\circ}$ - $75-82/280^{\circ}$ درجه رو به شمال	۲۲-۰۸ درجه باختری*	راست‌لغز چپ‌بر
گسل نورعلی بیگ	$080^{\circ}$	صفحه آن فاقد رخنمون سطحی است	مؤلفه راست‌لغزی چپ‌بر برای حرکات بسیار جوان

## کتابنگاری

- الیاس زاده، ر.، محجل، م.، فراهانی، ب. و جعفری، ر.، ۱۳۹۱- سازوکار جوان گسل البرز (منطقه شمالی قم)، شاهدهی بر انتقال وارون‌شدگی گسل‌های پهنه البرز مرکزی-باختری به گسل‌های هم‌راستای آنها در جنوب این پهنه. فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۳، ص ۲۲-۱۳.
- امامی، م.، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ قم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بربریان، م.، قریشی، م.، ارژنگ‌روش، ب. و مهاجر اشجعی، الف.، ۱۳۶۲- تکنونیک جوان، لرزه‌زمین‌ساخت و مطالعه خطر زمین‌لرزه در ناحیه قزوین. گزارش داخلی سازمان زمین‌شناسی کشور، شماره ۵۷، ۸۴ صفحه.
- بلورچی، م.، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آوج، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خرمی، ف.، حسامی، خ.، نانکلی، ح. و توکلی، ف.، ۱۳۸۹- بررسی زمین‌ساخت جنباً در منطقه البرز با استفاده از مشاهدات شبکه دائمی GPS. فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۲، ص ۲۳۰-۲۲۳.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه ۱:۵۰۰۰۰۰ پراکندگی سنگ‌های آذرین ایران. <http://www.GSI.ir>
- سلیمانی، ش.، و فقهی، خ.، ۱۳۸۱- معرفی گسلش سطحی زمین‌لرزه ۸۱/۰۴/۱ منطقه آوج و بررسی مورفوتکتونیک آن، گزارش ویژه پژوهشگاه بین‌المللی زمین‌لرزه‌شناسی و مهندسی زمین‌لرزه. [http://www.iiies.ac.ir/iiies/English/bank/Avaj/avaj\\_report.html](http://www.iiies.ac.ir/iiies/English/bank/Avaj/avaj_report.html)
- سلیمانی، ش.، فقهی، خ.، شبانیان، ا.، عباسی، م. و ریتس، ژ.ف.، ۱۳۸۲- نتایج مقدماتی حاصل از بررسی‌های دیرینه‌لرزه‌شناسی گسل مشا در دره مشا، پژوهشنامه زمین‌لرزه‌شناسی و مهندسی زمین‌لرزه، سال ششم. شماره سوم و چهارم، ص ۶۲-۴۶.
- علایی مهابادی، س. و فودازی، م.، ۱۳۸۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رزن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عمیدی، س.، ۱۳۶۳- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قلمقاش، ج.، فودی، م. و مهرپرتو، م.، ۱۳۷۷- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ساوه. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## References

- Abbassi, M. R. & Farbod, Y., 2009- Faulting and folding in Quaternary deposits of Tehran's piedmont (Iran). Journal of Asian Earth Science 34: 522-531.
- Allen, M., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M. & Qorashi, M., 2003- Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. Journal of Structural Geology 25: 659-672.

- Ambraseys, N.N., 1963-The Buin-Zara (Iran) earthquake of September 1962: a field report. *Bulletin of the Seismological Society of America* 53:705-740.
- Angelier, J., 1994- Fault slip analysis and paleostress reconstruction, in: Hancock, P.L. (Eds.), *Continental deformation*, 53-100 (Pergamon, Oxford).
- Bachmanov, D.M., Trifonov, V.G., Hessami, K.T., Kozhurin, A.I., Ivanova, T.P., Rogozhin, E.A., Hademi, M.C. & Jamali, F.H., 2004- Active faults in the Zagros and central Iran. *Tectonophysics* 380: 221–241.
- Ballato, P., Nowaczyk, N. R., Landgraf, A., Strecker, M R., Friedrich, A., Tabatabaei, S. H., 2008- Tectonic control on sedimentary facies pattern and sediment accumulation rates in the Miocene foreland basin of the southern Alborz mountains, northern Iran. *Tectonics* 27, TC6001, doi:10.1029/2008TC002278.
- Berberian, M., 1981- Active faulting and tectonics of Iran, in: Gupta, H. K. and Delany F. M. (Eds.), *Zagros-Hindu Kush-Himalaya Geodynamic Evolution*, Geodynamics Series 3, American geophysical union. 33-69.
- Berberian, M. & Yeats, R.S., 2001- Contributions of archeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau, *Journal of Structural Geology* 23: 563–584.
- Guest, B., Axen, G.J., Lam, P.S. & Hassanzadeh, J., 2006- Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation. *Geosphere* 2: 35–52.
- Holdsworth, R.E., Butler, C.A. & Roberts, A.M., 1997- The recognition of reactivation during continental deformation. *Journal of the Geological Society, London, Special Publications* 154, 73-78.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R. & Nazari, H., 2008- Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian, *Journal of Geology* 36: 763-766.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. & Berberian, M., 2002- Active tectonics of the South Caspian basin. *Geophysical Journal International* 148: 214-245.
- Kim, Y. S., Andrews, J.R. & Sanderson, D.J., 2001- Reactivated strike-slip faults: examples from north Cornwall, UK. *Tectonophysics* 340: 173–194.
- Lacassin, R., Replumaz, A. & Leloup, P.H., 1998- Hairpin river loops and slip-sense inversion on Southeast Asian strike-slip faults. *Geology* 26: 703-706.
- Morley, C.K., Kongwung, B., Julapour, A.A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K. & 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.
- Maruyama, T. & Lin, A., 2004- Slip sense inversion on active strike-slip faults in southwest Japan and its implication for Cenozoic tectonic evolution. *Tectonophysics* 383: 45-70.
- Priestley, K., Baker, G. & Jackson, J.A., 1994- Implications of earthquake focal mechanism data for active tectonics of the Caspian basin and surrounding regions. *Geophysical Journal International* 118:111141-.
- Ritz, J. F., Nazari, H., Salamati, R., Shafiei, A., Soleymani, S. & Vernant, P., 2006- Active transtension inside Central Alborz: a new insight into the Northern Iran–Southern Caspian geodynamics. *Geology* 34: 477–480.
- Soleymani Azad, S., Ritz, J. F. & Abbassi, M.R., 2011- Left-lateral active deformation along the Mosha-North Tehran fault system (Iran): Morphotectonics and paleoseismological investigations. *Tectonophysics* 497 : 1-14.
- Soder, P.A., 1959- Geology of the area north of Saveh. National Iranian Oil Company, unpublished report no. 174, 64 pp.
- Trifonov, V. G., Hessami, K. T. & Jamali, F., 1996- West-trending oblique sinistral-reverse fault system in northern Iran. IIEES special publication, V.75. Tehran. Iran.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J. F., Sedighi, M. & Tavakoli, F., 2004- Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data: *Earth and Planetary Science Letters* 223: 177–185.

## Slip Sense Inversion on the Koushk-e-Nosrat Fault, North Saveh

K. Orang <sup>1\*</sup>, M. Mohajjel <sup>2</sup> & G. R. Tajbakhsh <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Master of Science, Geology Office, Exploration Directorate, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

Received: 2014 June 10

Accepted: 2015 January 12

### Abstract

The kinematic analysis of the Koushk-e-Nosrat Fault (striking WNW-ESE) at north Saveh city indicates that since a time after early Miocene it has been inverted from dextral strike-slip (and reverse-dextral-oblique slip) to reverse-sinistral (and sinistral strike-slip) displacement. The Kinematic evidences of right-lateral strike-slip displacement are: 1) Generation of the Koushk-e-Nosrat pull-apart basin along the bended segment of the fault in north Saveh city where a thin sequence of the Qom Formation (late- Oligocene to early Miocene) has been deposited in this narrow basin. 2) Shear bands and other kinematic indicators of right-lateral strike-slip and reverse-dextral-oblique slip displacements exist in the fault zone. 3) Synthetic right-lateral and antithetic left-lateral strike-slip faults are observed in wall damage zones around the main fault zone. The evidences of left-lateral strike-slip displacements after slip sense inversion are: sinistral- reverse faults, pure reverse faults, sinistral strike-slip faults and folds are generated in the Koushk-e-Nosrat Fault zone. The younger left-lateral reverse kinematic of the Koushk-e-Nosrat Fault is another significant evidence for the main role of the left-lateral reverse faults in deformation of the Qom-Saveh district in NW part of the Central Iran Block that has been tested before by structural and morphological kinematics of other major faults in the area like the Ipak (south Boin-zahrah) and Alborz (north Qom) Faults and seismological evidence of earthquake in the Boin-zahra areas.

**Keywords:** Koushk-e-Nosrat Fault, Saveh, kinematic inversion, Active faults, Alborz

For Persian Version see pages 315 to 328

\*Corresponding author: K. Orang; E-mail: Keivan.Orang@yahoo.com