

# هندسه و سینماتیک سامانه گسل قم- زفره و اهمیت آن در زمین ساخت ترافشارشی

نوشته: دکتر محمد محجل\* و ندا پروهان\*

## Geometry and Kinematics of the Qom-Zefreh Fault System and its Significance in Transpression Tectonics

By: Dr. M. Mohajjel\* & N. Proohan\*

### چکیده

گسل قم- زفره با طولی حدود ۲۲۰ کیلومتر، پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر را در بخش‌های میانی بریده است. بر اساس روند و سازوکار، این گسل را می‌توان به سه تکه شمال باختری، میانی و جنوب خاوری تقسیم کرد. تحلیل هندسه ساختارهای مرتبط با گسل قم- زفره و سینماتیک آنها (همچون قطعه گسل نطنز)، نشانگر حرکت چیره امتداد لغز راستگرد با مؤلفه کم معکوس (در پاره‌هایی از گسل قم- زفره) است. روند گسل‌های معکوس و راندگی در ارتباط با گسل قم- زفره، به همراه موقعیت هندسی چینهای گسترش یافته با این گسلها، نشانگر تأثیر حرکت امتداد لغز گسل قم- زفره در زایش و تکوین آنهاست. این حرکت، باعث به وجود آمدن ساختار گل گونه مثبت (positive flower structure) در دو منطقه قرینه فشاری، یعنی جنوب کاشان و جنوب اردستان شده است. در مقایسه با آن، دو منطقه دشت شمال کاشان در شمال باختری و دشت جنوب زفره- باتلاق گاوخونی در جنوب خاوری، به صورت قرینه متأثر از محل‌های کششی این گسل امتداد لغز راستگرد بوده‌اند. انواع سنگهای آذرین مانند گرانیت کرکس و واش در مناطق کششی محلی در طول تکوین برشی- خمشی این سامانه گسلی نفوذ کرده‌اند. این گسل به عنوان یکی از گسل‌های پی سنگی با روند کلی شمال- شمال باختر ارزیابی می‌شود که با رویداد زمین ساختی بسته شدن اقیانوس تیس جوان فعال شده است. شواهد ریخت زمین ساختی، مانند قطع و جابه جا شدن آبراهه‌ها و مخروط افکنه‌های جوان در مسیر گسل، از دلایل پتانسیل بالای جنب‌بودن گسل قم- زفره است.

**کلید واژه‌ها:** سامانه گسل قم- زفره، ژئومتری، سینماتیک، زمین ساخت ترافشارشی، ایران

### Abstract

The Qom-Zefreh fault system has almost 220 km length cutting the Urumieh-Dokhtar magmatic belt in central part of Iran. According to orientation and mechanisms, it could be divided in three segments of; northwest, central and southeast. Geometry and orientation of reverse faults, and folds in the Qom-Zefreh fault system and shear kinematic indicators including Natanz slice, reflect a strike-slip displacement to the Qom-Zefreh fault. En-echelon form of the fault segments and dextral displacement resulted in a positive flower structure in two districts of south Kashan and south Ardestan. In comparison, two depressions of north Kashan depression in northwest against the south Zefreh-Gavkhoni depression in the southeast locate at the extension areas of this strike-slip fault system. Lenticular intrusive bodies including Vash granite, reflects local extension along some segments of this strike-slip fault system. The Qom-Zefreh fault is evaluated as one of the basement faults of central Iran which was reactivated by the convergent tectonics of the Neo-Tethys. Obvious displacement of most recent alluvial fans along the Qom-Zefreh fault implies high potential to seismological activity.

**Key words:** Qom-Zafreh fault system, Geometry, Kinematic, Transpression tectonic, Iran

### مقدمه

باختری- جنوب خاوری، توسط گسل‌هایی با روندهای شمال- شمال باختر مانند سامانه‌های گسلی دهشیر، قم- زفره، بیدهند و جنوب ساوه با سازوکار امتداد لغز راستگرد بریده شده و جابه جا شده است (Alavi (1991), Mohajjel (1997)). گسل قم- زفره (نبوی، ۱۳۵۰)

هندسه و سازوکار گسل‌های امتداد لغز و ساختارهای در ارتباط با گسترش این گسلها به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته اند، به عنوان نمونه Sylvester (1988). پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر با روند شمال

تراورتن‌هایی برونزد دارند که نحوه قرار گیری آنها نشان می‌دهد که چشمه‌های تراورتن ساز همزمان با حرکت گسل فعال بوده‌اند، به گونه‌ای که همزمانی تشکیل این تراورتن‌ها با فعالیت گسل، باعث شده تا لایه بندی آنها در فرادیواره (بخش جنوبی) به صورت افقی قرار گیرند ولی در محل صفحه گسلی از نشیب به وجود آمده (شیب به سمت شمال خاور) پیروی کنند.

## ۲- پاره مرکزی

این پاره از گسل قم- زفره دارای روند متوسط  $N135^{\circ}$  است. مشخصات صفحه گسل در ۶ کیلومتری جنوب فین برابر  $75/230$  و در ۲ کیلومتری جنوب زنجانیر،  $80/210$  اندازه گیری شده است. زاویه ریک آنها نزدیک به صفر بوده و حرکتی امتدادی را برای گسل نشان می‌دهند. در امتداد این پاره گسل، در ۱۰ کیلومتری شمال باختر شهر نطنز، یال شمالی ناودیس بزرگ قلعه شاه متشکل از نهشته‌های مختلف مزوزویک بریده شده و نهشته‌های آتشفشانی با سن اوسن در کنار شیل و ماسه سنگهای ژوراسیک قرار می‌گیرند. در این محل، گسل قم- زفره امتدادی برابر  $N80W$  داشته و سطح گسل دارای  $80^{\circ}$  درجه شیب به سمت جنوب باختر است. قطعه گسلی نطنز در این پاره از گسل برونزد دارد.

## ۳- پاره جنوب خاوری

پاره جنوب خاوری گسل قم- زفره روندی مانند پاره شمال باختری و طولی حدود ۵۵ کیلومتر دارد که شیب و جهت شیب گسل برابر  $80/065$  است و جابه جایی امتداد لغز نشان می‌دهد. در پهنه خاوری این گسل، برخلاف پهنه باختری، تنها نهشته‌های آتشفشانی دوران سنوزویک برونزد داشته و برونزادی از سازندهای قدیمی نیست. در شمال گل آباد، تراورتن‌های وسیعی در امتداد گسل برونزد دارند.

## نشانه‌های جنبشی در پهنه گسل قم- زفره

از نشانه‌های جنبشی (kinematic indicators) در طول پهنه گسلی گسل قم- زفره به ساختارهای مشخص نشانگر حرکت پیشینه و جابه‌جاییهای جوان که شاهد توان جنبایی آن است، اشاره می‌شود.

از شواهد ساختاری که نشانگر سازوکار حرکتی پیشین گسل است، می‌توان به قطعه گسلی نطنز اشاره کرد (شکل ۲). این قطعه گسلی با شکل عدسی نامتقارن خود در ۲ کیلومتری جنوب خاور شهر نطنز برونزد دارد و حدود ۱۰ کیلومتر درازا در روند شمال باختری- جنوب خاوری و تا  $2/5$  کیلومتر پهنای دارد. نهشته‌های درون آن، شامل دولومیت‌های متعلق به تریاس، شیل و ماسه سنگهای سازند شمشک با سن لیا و آهکهای کرتاسه بالایی و در بخش جنوبی سنگهای آتشفشانی- رسوبی با سن اوسن آغازین (زاهدی

یکی از این گسلهاست که از جنوب خاور قم شروع و به زفره واقع در ۷۰ کیلومتری شمال خاور اصفهان منتهی می‌گردد. مناطق فشاری دو پایانه شمال خاوری و جنوب باختری، به ترتیب با مناطق فشاری پایانه‌های گسلهای بیدهند و دهشیر هم پوشانی دارند. این گسل با جابه جایی خود در دگرشکلی نهشته‌های پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر و نهشته‌های سنوزویک (Cenozoic) در این منطقه نقش اساسی داشته و با ادامه فعالیت خود، آن را بریده و به مقدار قابل توجهی جابه جا کرده است. گسل قم- زفره از چندین پاره گسل (segment) تشکیل یافته که به صورت پله‌ای (en-echlon) نسبت به هم قرار گرفته‌اند (پروهان، ۱۳۸۱). در این تحقیق، در فاصله بین باختر کاشان تا آبادی زفره، با معرفی هندسه و سینماتیک پاره‌های گسل قم- زفره و دسته گسلها و چینهای به وجود آمده در این سامانه و رابطه آنها با حرکت گسل قم- زفره، ایجاد و گسترش آنها تحلیل شده است. ساختار دسته گسلهای مرتبط با گسل قم- زفره در دو پهنه جنوب و باختر کاشان و جنوب اردستان (مناطق فشاری) و دو پهنه دشت شمال کاشان و جنوب زفره- باتلاق گاوخونی (مناطق کششی) که در دو ناحیه پایانه گسل امتداد لغز قم- زفره به ترتیب به صورت مناطق فشاری و کششی به حالت قرینه قرار دارند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین ضمن معرفی تعیین کننده‌های نوع برش در طول گسل اصلی و گسلهای مرتبط با آن، به اهمیت سینماتیکی ساختار قطعه گسلی نطنز در تعیین سازوکار گسل قم- زفره پرداخته شده است. در پایان، اهمیت ساختار این سامانه در ارتباط با زمین ساخت ترافشارشی در زمان بسته شدن اقیانوس نوتتیس و برخورد قاره عربی با ایران مرکزی بحث شده است.

## پاره بندی گسل (fault segmentation)

گسل قم- زفره در محدوده بین باختر کاشان تا پایانه جنوب خاوری آن در زفره از شمال باختر به سمت جنوب خاور، به ترتیب با سه پاره گسل، شامل: ۱. شمال باختری، ۲. میانی و ۳. جنوب خاوری، معرفی می‌گردند (شکل ۱).

## ۱- پاره شمال باختری

پاره شمال باختری گسل قم- زفره با روند  $N150^{\circ}$ ، حدفاصل دشت کاشان و راوند را با ارتفاعات جنوب و جنوب باختر این دو شهر تشکیل می‌دهد. صفحه گسل  $(85/045)$  با خش لغزشهای دارای زاویه ریک کم در صفحه گسلی برداشت شده است. اختلاف ارتفاع بیش از بیست متر در جنوب اتوبان کاشان- اصفهان در مسیر برونزد این قطعه گسلی به وجود آمده است که نشان از بالا آمدگی بخش جنوبی در برابر پایین افتادگی بخش شمالی دارد. یک کیلومتری جنوب باختر فین، در پهنه گسلی،

### دسته گسلهای مرتبط با گسل قم- زفره در پهنه جنوب و باختر کاشان

این دسته گسلها در جنوب باختر گسل قم- زفره قرار گرفته و شیب آنها به دو سمت جنوب باختری و شمال خاوری است (شکل ۴). دسته گسلهایی که به گسل اصلی نزدیک ترند، شیبی به سمت جنوب باختر دارند و عبارتند از گسلهای جنوب اتوبان کاشان- اصفهان (T<sub>1</sub>)، بارونق (T<sub>2</sub>)، جزه (T<sub>3</sub>)، خنب (T<sub>4</sub>)، گوجار (T<sub>5</sub>)، برزوک (T<sub>6</sub>) و چال (T<sub>7</sub>). تراکم این گسلها در بخش شمالی و نزدیک به گسل اصلی قم- زفره بیشتر بوده و نسبت به یکدیگر نزدیک ترند. دسته گسلهایی که شیب آنها بر خلاف دسته قبلی به سمت شمال خاور است، دورتر از گسل اصلی قم- زفره قرار گرفته اند و تراکم آنها کمتر بوده و نسبت به هم در فاصله های بیشتری قرار گرفته اند، مانند گسلهای کامو (T<sub>8</sub>)، مراوند (T<sub>9</sub>) و جوشقان قالی (T<sub>10</sub>).

### گسل جنوب اتوبان کاشان- اصفهان (T<sub>1</sub>)

اولین گسل در جنوب گسل قم- زفره در محدوده پاره شمال باختری است. این گسل، سازوکار راندگی داشته و در امتداد آن آهکهای سازند قم بر روی رسوبات کنگلومرای پلیوسن رانده شده اند (شکل ۸). پهنه برشی نسبتاً وسیعی در امتداد این گسل وجود دارد. پهنه برشی در فرادیواره گسترش بیشتری داشته و به خوبی حرکت آهکهای سازند قم را روی کنگلومراهای پلیوسن نشان می دهد. این پهنه برشی حاوی بودینهای نامتقارن (assymetric lensoidal boudins) و فابریکهای باند برشی C/S است که حرکت فرادیواره به سمت شمال خاور را روی فرو دیواره مشخص می سازند (شکل ۸- ب و ج). اندازه گیری صفحه گسل، شیب و جهت شیب را 25/180 و خش خطهای روی صفحه گسل را برابر 22/210 نشان می دهد. بنابراین، گسل حرکت راندگی با اندکی مؤلفه امتدادی چپگرد دارد.

### گسل بارونق (T<sub>2</sub>)

این گسل در جنوب گسل اتوبان کاشان- اصفهان قرار گرفته (شکل ۴) و با روند N120° و طولی حدود ۱۰ کیلومتر، باعث رانده شدن ناودیس کوه بزیش (F4) و تاقدیس قبله بر روی سازند سرخ بالا (میوسن پایانی) شده است. بررسی پهنه برشی این گسل در خاورآبادی خنجه، حرکت راندگی این گسل را تأیید می کند. این بافتها شامل بودینهای نامتقارن (assymetric lensoidal boudins) و فابریکهای باند برشی C/S هستند که حرکت فرادیواره به سمت شمال خاور را روی فرو دیواره مشخص می سازند (شکل ۹). شیب و جهت شیب صفحه گسل برابر 28/195 است.

و رحمتی، ۱۳۸۰) است که همگی در درون این قطعه گسلی به شدت برشی (shear) شده اند (شکل ۳). مجموعه سنگی حمل شده با این قطعه گسلی، توسط سنگهای آتشفشانی با سن ائوسن میانی تا بالایی پیرامون احاطه شده و به صورت جزیره ای در داخل آنها مانده اند.

برونزد مجموعه مزوزویک (Mesozoic) به تله افتاده در این قطعه، در راستای شمال باختری در ناودیس قلعه شاه واقع در ۱۵ کیلومتری باختر شهر نطنز برونزد دارد (خلعتری و علایی، ۱۳۸۰) که توسط گسل قم- زفره بریده شده است. بنابراین، این قطعه گسلی دست کم مسافتی حدود ۲۰ کیلومتر را طی کرده است تا در محل کنونی در باختر شهر نطنز قرار گیرد (شکلهای ۱ و ۴).

گسلهای فرعی با روند خاوری- باختری قطعه گسلی را قطع می کنند. نهشته های آتشفشانی با سن ائوسن میانی در بخش شمالی آن با قطعه گسلی همبر می شود که نشانگر حرکت اصلی و جایگیری آن در زمان پس از ائوسن است.

از طرفی، وجود بخشی از سنگهای آتشفشانی- رسوبی ائوسن آغازین (لوسین زیرین تا میانی) در بخش جنوب و جنوب خاوری در داخل قطعه تأییدی بر مسلم بودن حرکت قطعه گسلی پس از ائوسن آغازین است.

در جنوب آبادی زنجابر در امتداد مسیر گسل بخشهایی از آهکهای سازند قم با پهنایی بین ۱۰ تا ۵۰ متر در قطعه گسلی مشاهده می شوند (شکل ۵- الف). در این برونزد، در آهکهای قم در برش عمود بر حرکت، پهنه برشی دارای بافت نوارهای برشی (shear bands) است (شکل ۵- ب) که سطوح خمیده S در منطقه برشی و بازتاب آن در امتداد سطوح C به موازات صفحه گسل، برش راستگرد را برای آن روشن می سازد. به گونه ای که بلوک شمال خاوری به سمت جنوب خاور و بلوک جنوب باختری به سمت شمال باختر حرکت کرده اند.

در مسیر جاده اردستان- اصفهان، در ۳ کیلومتری جنوب باختر آبادی جنبه، پهنه حرکتی این گسل در همبری آهکهای کرتاسه و سنگهای آذرآواری ائوسن با پهنای حدود ۲۰ متر مشاهده می شود که تعیین کننده های نوع برش در این پهنه برشی حرکت امتداد لغز راستگرد را مشخص می سازند (شکل ۶).

شواهد ریخت زمین ساختی فراوانی شامل بریدگی و جابه جایی آبراهه ها و مخروط افکنه های منتهی به دشتها وجود دارند که جابه جایی امتداد لغز راستگرد را برای حرکت های جوان گسل قم- زفره نشان می دهند. یکی از بارزترین آنها در مسیر جاده کاشان- قمصر در خاور مسلم آباد است. در این محل، مخروط افکنه قدیمی ابتدای دشت، دست کم ۵۰۰ متر جابه جایی امتداد لغز راستگرد را در راستای گسل قم- زفره نشان می دهد (شکل ۷).

### گسل برزوک (T<sub>6</sub>)

این گسل با روند  $N120^{\circ}$ ، شیب و جهت شیب 58/195 دارد. خش خطهای روی صفحه گسلی میل و جهت میل 60/200 نشان می‌دهند. نهشته‌های آتشفشانی با سن ائوسن بر روی یال جنوبی ناودیس گوجار-نابر رانده شده است. در امتداد این گسل تراورتن‌های زیادی در آبادی آزرار برونزد دارند.

### گسل چال (T<sub>7</sub>)

این گسل همسو با گسل برزوک و موازی آن امتداد دارد که سازوکاری شبیه گسل برزوک دارد.

### گسل کامو (T<sub>8</sub>)

برخلاف گسلهای توضیح داده شده تا کنون، تقریباً هم امتداد با آنها ( $N130^{\circ}$ ) است، ولی شیبی برابر  $40^{\circ}$  درجه به سوی شمال خاور دارد. طول آن بیش از ۵۰ کیلومتر بوده و در امتداد آن آهکهای ستبر لایه-توده‌ای کرتاسه و نهشته‌های ژوراسیک بر روی کنگلومرای سرخ ائوسن رانده شده است. در امتداد این گسل نیز تراورتن‌های زیادی در مسیر جاده ورکان به آزرار برونزد یافته‌اند.

### گسل مراوند (T<sub>9</sub>)

این گسل با راستای  $N110^{\circ}$  در جنوب خاوری، به امتداد خاوری-باختری در شمال آبادی کولوخ عوض می‌شود. در یک کیلومتری شمال آبادی کولوخ آهکهای سازند قم را روی کنگلومرای با سن پلیوسن، که تمام قطعات آن از سنگهای آتشفشانی است و رنگ تیره‌ای دارد، رانده است. گسترش برگوارگی باند برشی شامل فابریک C/S و بودیناژهای نامتقارن، سازوکار معکوس با شیب 50/030 را مشخص می‌سازد که نمایانگر حرکت بلوک شمال خاوری روی بلوک جنوب باختری است (شکل ۱۱). کنگلومرای پلیوسن در این محل کاملاً دگرسان و برشی (shear) شده است که پهنای آن حدود ۱۰ متر است. به سمت خاور، گسل مراوند شیب زیادی به سمت شمال داشته و مؤلفه راستگرد نیز به حرکت آن افزوده می‌شود.

### گسل جوشقان قالی (T<sub>10</sub>)

امتداد این گسل، بر خلاف دسته گسلهای توصیف شده، شمال خاوری-جنوب باختری است و از روند  $N80E$  در شمال باختری آبادی جوشقان قالی به  $N60E$  در قسمت جنوب باختری عوض می‌شود. طول این گسل ۱۵ کیلومتر بوده و سازوکار معکوس آن رانده شدن بلوک شمال باختری را روی بلوک جنوب خاوری نشان می‌دهد.

خش خطهای روی صفحه گسل در جهت بزرگ‌ترین شیب صفحه گسل قرار دارند که راندگی بودن آن را تأیید می‌کنند. در فرودپواره این گسل، نهشته‌های سازند سرخ بالا حاوی ساختهای رسوبی مانند لایه بندی متقاطع (cross bedding) است که جوان شدن لایه‌ها را به سمت جنوب نشان می‌دهند، در صورتی که در قسمت جنوب، نهشته‌های سازند قم بر روی آنها قرار دارد که با گسل باروتق در همبندی با نهشته‌های سازند سرخ بالایی قرار می‌گیرد. بنابراین، گسل باروتق باعث رانده شدن نهشته‌های سازند قم بر روی سازند جوان تر (سرخ بالایی) شده است.

### گسل جزه (T<sub>3</sub>)

این گسل با روند  $N135^{\circ}$  با زاویه حاده در پایانه جنوب خاوری به گسل قم-زفره می‌رسد و به سمت شمال باختری همسو با آن ادامه می‌یابد. شیب و جهت شیب صفحه گسل برابر 47/225 و خش خطهای لغزش برابر با بزرگ‌ترین جهت شیب است (شکل ۴).

### گسل خنب (T<sub>4</sub>)

موازی گسل جزه و در جنوب آن قرار می‌گیرد و پایانه خاوری آن شبیه گسل جزه است. در امتداد آن، نهشته‌های سازند قم بر روی مارنهای سبز و خاکستری میوسن قرار گرفته است. اندازه گیری صفحه گسل مشخصات آن را 50/225 نشان می‌دهد. سازوکار این گسل نیز مانند گسل جزه است. در باختری آبادی خنب، در اثر حرکت این گسل یال شمالی تاقدیس خنب به سمت جنوب باختری برگشته و بریده می‌شود (شکل ۱۰). در محدوده یکی شدن این دو گسل، شیب و جهت شیب صفحه گسل برابر 45/220 و خش خط روی صفحه گسل برابر بزرگ‌ترین شیب صفحه گسل، راندگی آن را تأیید می‌کند.

### گسل گوجار (T<sub>5</sub>)

این گسل با روند  $N125^{\circ}$  در جنوب باختری گسل خنب قرار گرفته است. شیب و جهت شیب صفحه گسل، 67/234 می‌باشد. خش خطهای روی صفحه گسل 54/192 را نشان می‌دهند. براساس اندازه گیریهای صفحه گسل، سازوکار آن معکوس با مؤلفه امتدادی راستگرد است. این گسل، یال جنوبی تاقدیس هفت کتل (F5) را تحت تأثیر قرار داده به طوری که یال شمال ناودیس گوجار-نابر (F1) توسط این گسل بر روی یال جنوبی تاقدیس هفت کتل (F5) رانده شده است (شکل ۴). در امتداد این گسل پهنه دگرسانی آرژیلی قابل مشاهده است.

باختر کاشان با دو شیب مختلف در بخش شمالی و بخش جنوبی مشاهده می‌شوند. دسته گسلهای هم سازوکار از گسل چال (T<sub>7</sub>) به طرف شمال تا گسل جنوب اتوبان کاشان- اصفهان (T<sub>1</sub>)، همه با شیب به سمت جنوب باختر با راندگی به سمت شمال خاور می‌باشند، ولی از گسل کامو (T<sub>8</sub>) به سمت جنوب این دسته گسلها همه شیبی به سمت شمال خاور و راندگی به سمت جنوب باختر دارند (شکلهای ۱ و ۴). گفتنی است که حد فاصل گسل گوجار تا کامو، بیشترین بخش بالا آمده و بلندترین ارتفاعات منطقه است. از سوی دیگر، با مقایسه مقدار شیب گسلها، شیب دسته گسلهای شمالی به سمت گسلهای جنوبی روی هم رفته به تدریج زیادتر می‌شود. چینهای بزرگی در اثر دگرشکلی نهشته‌های ائوسن تا میوسن در پهنه جنوب- باختر کاشان ساخته شده‌اند که ارتباط تنگاتنگ با حرکت گسلهای مرتبط با گسل قم- زفره دارند. روند اثر سطح محوری آنها همسو با روند گسلهای معکوس و راندگی این پهنه از سامانه گسل قم- زفره است (شکلهای ۱، ۴ و ۱۲).

در پاره میانی گسل، همان گونه که در بحث قطعه گسلی نظیر مطرح شد، بیشترین جابه جای امتداد لغز راستگرد دیده می‌شود. اگر فقط حرکت امتداد لغز گسل قم- زفره در به وجود آمدن گسلهای معکوس و راندگی مناطق فشاری آن ( جنوب کاشان و جنوب اردستان) نقش داشت، در آن صورت، همانند الگوی ساختاری این مناطق از گسلهای امتداد لغز (Silvester, 1988)، در منطقه‌های فشاری در پهنه‌های جنوب کاشان و جنوب اردستان، زاویه‌ای زیاد و نزدیک به ۹۰ درجه با آن می‌ساختند. از طرفی، اگر هیچ نوع جابه جایی برشی برای گسل قم- زفره در نظر گرفته نشود، در آن صورت فشردگی محض، باید با موازی بودن همه گسلهای فرعی با تمایل (vergence) به یک سمت یا هر دو سمت (الگوی برش کامل (pure shear)) مشاهده می‌شد. وجود شواهد هندسی و جنبشی در پهنه برشی گسل قم- زفره برای حرکت امتدادی آن از طرفی و آرایش هندسی گسل اصلی قم- زفره و گسلهای مرتبط با آن در دو پایانه با زاویه کم موجود بین آنها از طرف دیگر، نشانگر وجود تأثیر پذیری دگرشکلی در پایانه فشاری، از فشردگی موجود در این پایانه‌ها به همراه و همزمان با تأثیر پذیری آشکار از حرکت برشی در امتداد گسل قم- زفره است. اما این آرایش، تفاوت جالبی با الگوی دگرشکلی و آرایش هندسی اجزای ساختاری گسلهای امتداد لغز دارد و آن عوض شدن جهت شیب و تمایل در گسلهای راندگی کامو (T<sub>8</sub>)، مراوند (T<sub>9</sub>) و جوشقان قالی (T<sub>10</sub>) در پایانه شمال باختری و گسل کجومتقال- گنجان (T<sub>11</sub>) در پایانه جنوب خاوری است. سازو کار گسلهای یاد شده در دو منطقه قرینه هم، باعث رانده شدن مجموعه پایانه شمال باختری بر روی دشت میمه در جنوب پایانه و رانده شدن پایانه جنوب خاوری روی دشت

**دسته گسلهای مرتبط با گسل قم- زفره در پهنه جنوب اردستان**  
در جنوب اردستان، این دسته گسلها در شمال خاور گسل قم- زفره قرار گرفته و شیبهای آنها به دو سمت جنوب باختری و شمال خاوری است. دسته گسلهای جنوبی شیب به سمت شمال خاور دارند و مهم‌ترین آنها عبارتند از گسلهای برگوهر (T<sub>13</sub>) و ماربین- رنگان (T<sub>12</sub>). گسل کجومتقال- گنجان (T<sub>11</sub>) در جنوب اردستان، شیبی به سمت جنوب دارد (شکل ۱).

### گسل کجومتقال- گنجان (T<sub>11</sub>)

این گسل دارای روند N 95 است که در پایانه خاوری به N120 تغییر می‌یابد. صفحه گسلی به شیب و جهت شیب 70/190 دارد که خش خطهای روی آن، میل و جهت میل 50/252 دارند و نشانگر مؤلفه امتداد لغز چپگرد به همراه مؤلفه معکوس در گسل است. در طول پهنه گسلی، دگرسانی شدیدی مشاهده می‌شود.

### گسل ماربین- رنگان (T<sub>12</sub>)

گسل ماربین- رنگان در انتهای باختری با زاویه 30 درجه به گسل قم- زفره می‌رسد و به سمت خاور از آن فاصله می‌گیرد. در امتداد این گسل، توده بزرگ دیوریتی- مونزودیوریتی دوروجین با سن میوسن- پلیوسن، نفوذ کرده است. این گسل، سازوکار معکوس داشته و صفحه گسلی شیب و جهت شیبی برابر 62/034 دارد.

### گسل برگوهر (T<sub>13</sub>)

دارای روند N70-90E است که نهشته‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده و در امتداد آن، توده‌های داسیتی جوان نفوذ کرده‌اند. سازوکار گسل، معکوس و مشخصات صفحه گسلی در ۱ کیلومتری جنوب برگوهر 60/N است.

### تحلیل ساختاری

در پاره شمال باختری در پهنه جنوب- باختر کاشان در بلوک جنوبی گسل قم- زفره، پایانه خاوری همه گسلهای معکوس و راندگی موجود در این پهنه، به گسل قم- زفره منتهی می‌شود و به سمت باختر فاصله گسلها از همدیگر باز شده و زیادتر می‌شود. از سوی دیگر، تقریباً خلاف آن در پاره جنوب خاوری در پهنه جنوب اردستان در بلوک شمالی گسل قم- زفره مشاهده می‌شود. اتصال همه گسلهای معکوس و راندگی با این هندسه به گسل قم- زفره، ارتباط زایشی آنها را با این گسل نشان می‌دهد (Silvester, 1988; Twiss & Moores, 1992). گسلهای معکوس و راندگی در جنوب گسل قم- زفره در پهنه جنوب-

گسلهای راندگی در مناطق تحت فشارش، یعنی پهنه‌های جنوب و باختر کاشان و جنوب اردستان ادامه می‌یابد. از سوی دیگر، دو منطقه دشت شمال کاشان در شمال باختری و دشت باتلاق گاوخونی در جنوب خاوری، به صورت قرینه متأثر از کشش در مناطق کششی سیستم گسلی امتداد لغز قم- زفره قرار گرفته و فرونشست داشته‌اند. بنابراین، جابه‌جایی امتداد لغز راستگرد این گسل، دگرشکلی در نهشته‌های سنوزوییک را در این بخش از پهنه ارومیه- دختر کنترل می‌کند. این حرکت چیره گسل در منطقه حاکم بوده و شواهد جنبش جوان توضیح داده شده، ادامه آن را تا کنون نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

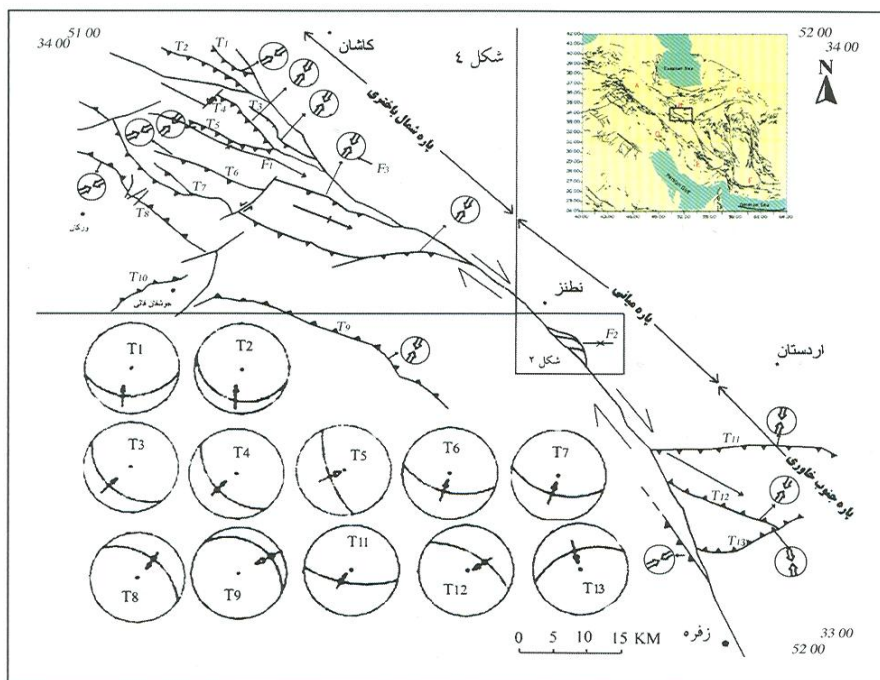
شواهد هندسی و جنبشی در امتداد گسل قم- زفره جابه‌جایی چیره امتداد لغز راستگرد را مشخص می‌سازد که باعث به وجود آمدن دو پایانه قرینه گل‌گونه (flower structure) مثبت در پایانه‌های فشاری در جنوب- باختر کاشان (شکل ۱۲) و جنوب اردستان شده است. شواهد ساختاری در بخش مرکزی بیشترین جابه‌جایی را سبتر (حدود ۲۰ کیلومتر) را از زمان ائوسن نشان می‌دهد. نهشته‌های سنوزوییک این بخش از کمربند ارومیه- دختر در این سامانه گسلی دگرشکل شده‌اند.

### قدردانی

از سازمان زمین‌شناسی کشور (مجری طرح مطالعه پهنه ارومیه دختر) و شرکت توسعه علوم زمین که تسهیلات انجام عملیات صحرایی را به عهده داشتند، از دانشگاه تربیت مدرس که برای تکمیل برداشتها در انجام پایا نامه کارشناسی ارشد از این تحقیق حمایت نموده‌اند، و از خانم لیلی ایزدی کیان که در رسم و تنظیم شکلها یاری کردند، تشکر می‌نمایم.

اردستان در شمال شده است. این موضوع نشان می‌دهد که تنها حرکت امتداد لغز گسل قم- زفره در ساختار پایانه‌های فشاری مؤثر نبوده و در محل‌هایی که از منطقه پایانه‌ها دور می‌شود، کوتاه شدگی عمومی در منطقه به دلیل بلند شدن این دو ناحیه، باعث رانده شدن پایانه‌های فشاری در دو طرف شده است. بنابراین کوتاه شدگی در منطقه به همراه فعال شدن حرکت امتداد لغز راستگرد گسل قم- زفره در طول تکوین ساختار این سامانه گسلی و دگرشکلی نهشته‌های سنوزوییک موجود در این منطقه مؤثر بوده است.

بسته شدن اقیانوس نوتیس در سمت جنوب باختری از ژوراسیک پسین، پهنه سنندج- سیرجان را متأثر می‌سازد (Mohajjel et al., 2003) و نهشته‌های موجود در آن را با راستای چیره شمال خاوری- جنوب باختری دستخوش فشردگی قرار می‌کند. این سامانه، از آن زمان در پهنه سنندج- سیرجان فعال بوده و در طول زمین ساخت برخوردی، دگرشکلی مداوم پیش‌رونده در ورای پهنه سنندج- سیرجان به پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر نیز منتقل می‌شود (محجل، ۱۳۷۹). اعمال سامانه زمین ساخت ترافشارشی (Mohajjel & Fergusson, 2000) باعث فعال شدن گسل‌های پی سنگی با راستای چیره شمالی- جنوبی (نوگل سادات، ۱۳۶۴) در ایران مرکزی می‌شود که در پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر شامل گسل‌های موازی دهشیر، قم- زفره، بیدهند و جنوب ساوه می‌باشند. این گسلها نسبت به هم آرایش نردبانی دارند، به گونه‌ای که مناطق فشاری آنها با یکدیگر هم پوشانی نشان می‌دهند. گسل‌های پی سنگی، همزمان با بسته شدن اقیانوس نوتیس بین ایران و سکوی عربستان و رخداد برخورد بین آنها فعال شده و جابه‌جایی امتداد لغز خویش را در زمین ساخت ترافشارشی شروع می‌کنند. حوضه در برگیرنده نهشته‌های پهنه کاشان، شامل رسوبات با سن ائوسن تا میوسن، با حرکت چیره امتدادی گسل قم- زفره تحت تأثیر قرار می‌گیرند و زایش چینها و فعالیت



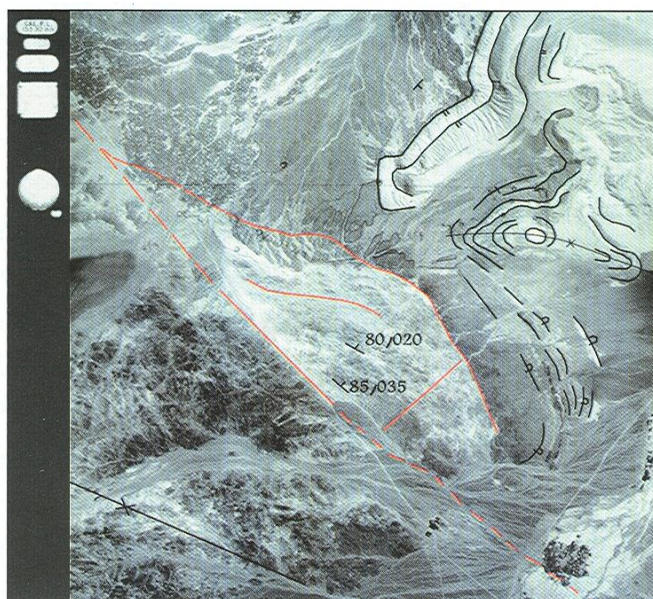
شکل ۱- پاره‌های گسل قم- زفره

- دایره‌های بزرگ تصویر استریوگرافیک، هندسه و سازوکار گسل‌ها را با شماره‌های زیر نشان می‌دهند.

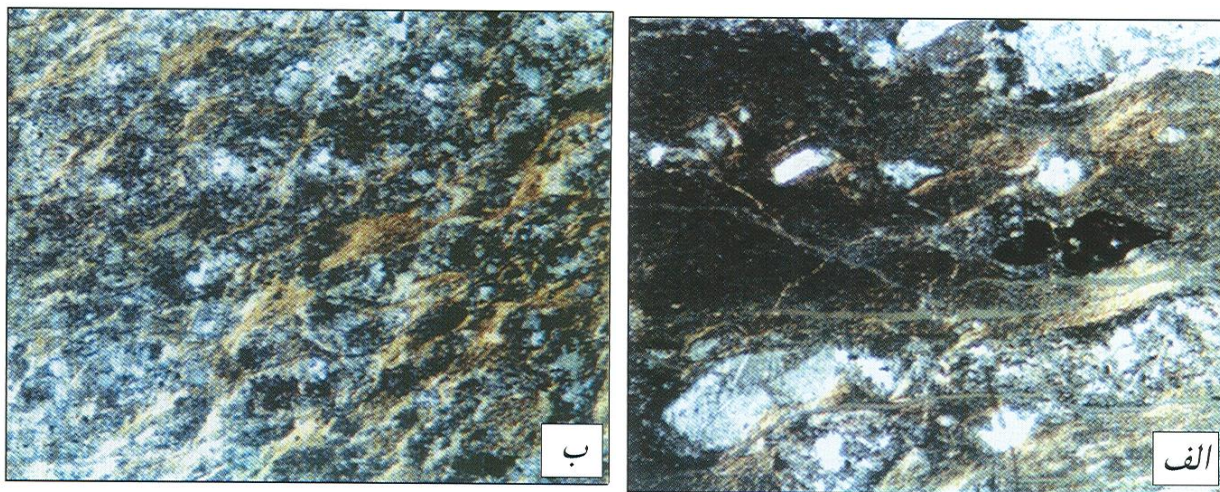
گسل جنوب اتوبان کاشان- اصفهان (T<sub>1</sub>)، گسل بارونق (T<sub>2</sub>)، گسل جزه (T<sub>3</sub>)، گسل خنب (T<sub>4</sub>)، گسل گوجار (T<sub>5</sub>)، گسل برزوک (T<sub>6</sub>)، گسل چال (T<sub>7</sub>)،

گسل کامو (T<sub>8</sub>)، گسل مراوند (T<sub>9</sub>)، گسل جوشقان قالی (T<sub>10</sub>)، گسل کچومثقال (T<sub>11</sub>)، گسل ماربین- رنگان (T<sub>12</sub>)، گسل برگوهر (T<sub>13</sub>).

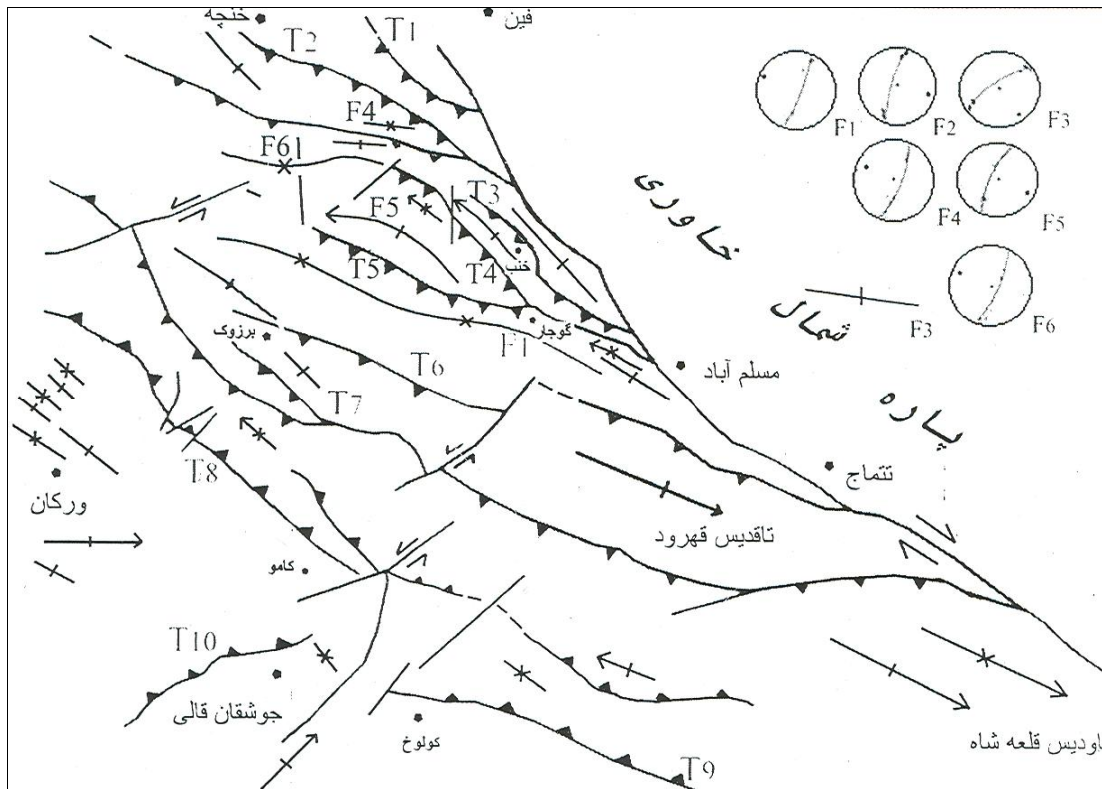
- دایره‌های کوچک، نشانگر تنش محاسبه شده از روی زاویه ریک خطوط لغزش روی صفحات گسل‌ها است.



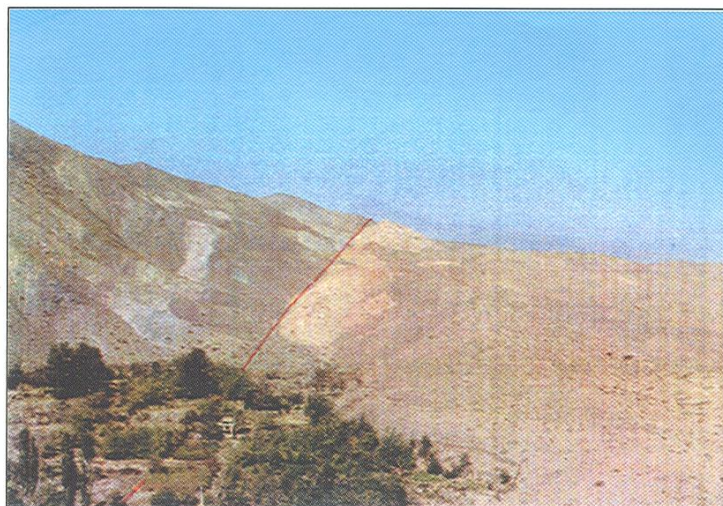
شکل ۲- قطعه گسل نطنز



شکل ۳- تصویر میکروسکوپی از پهنه برشی در قطعه گسل نطنز که نوع حرکت راستگرد را برای پهنه برشی گسل قم- زفره نشان می دهند.



شکل ۴- گسل قم- زفره و ساختارهای مرتبط با آن در پهنه جنوب کاشان (توضیحات بیشتر در زیر نویس شکل ۱ آمده است).  
 - دایره‌ها در بخش بالا سمت راست، نشانگر تصویر استریوگرافیک چینها هستند: تقادیس گوجار (F1)، ناودیس اسفندان (F2)، تقادیس تتماج (F3)، ناودیس بز و مبش (F4)، تقادیس هفت کتل (F5)، ناودیس کلنگ (F6).

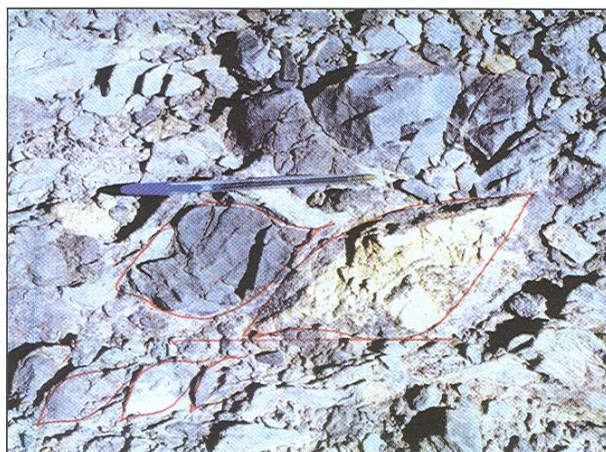


الف

شکل ۵- الف- برونزدهایی از سازند قم که با رنگ زرد به صورت قطعه گسل مشاهده می شود. در سمت راست آن سازند سرخ پایین، نهشته های زیرین سازند قم را در تاقدیس موجود در این محل نشان می دهد. در همبری جنوبی نهشته های سازند قم گسل قم- زفره قرار گرفته است که نهشته های آتشفشانی انوسن را در برابر آن قرار داده است. ب- تکه های گسلی آهک های قم از نزدیک. گسله های پهنه گسلی با شیب نزدیک به قائم در این تکه مشاهده می شوند. ج- فابریک پهنه برشی گسل در آهک های سازند قم در تکه گسلی که در آن صفحات C و S کاملاً مشهود بوده و نوع حرکت راستگرد را برای این گسل تایید می کند.

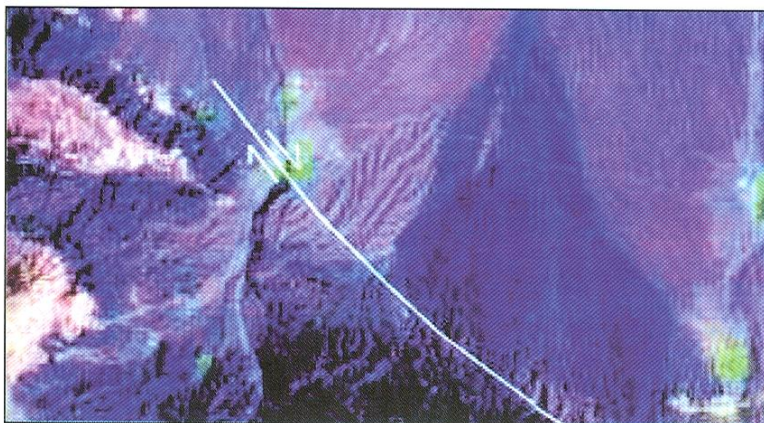


ب

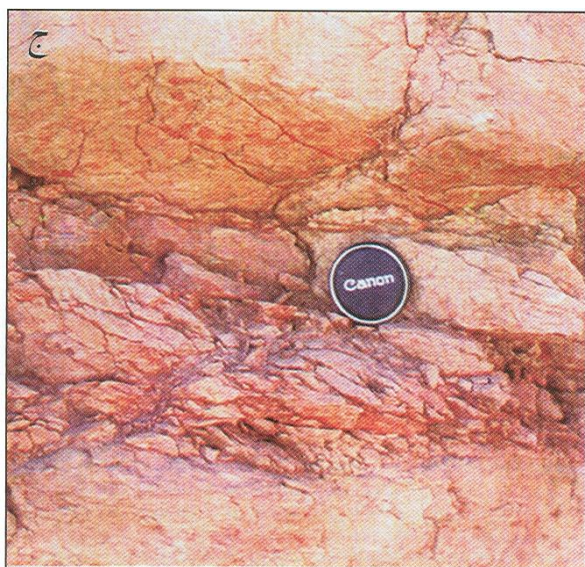
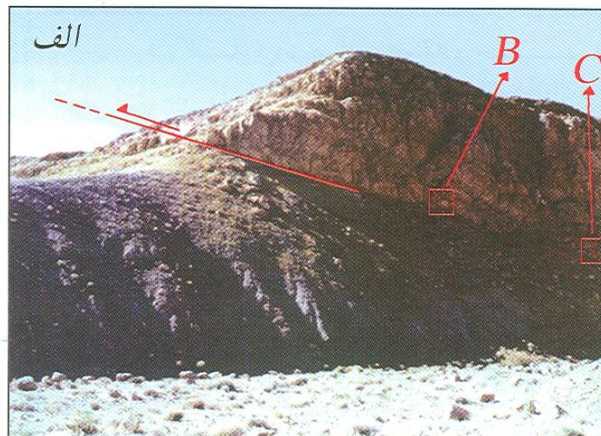
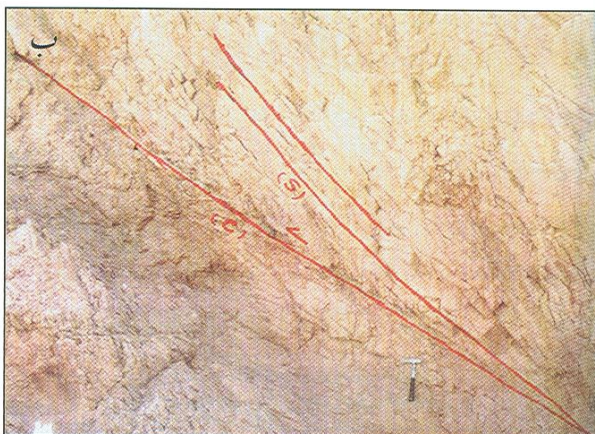


شکل ۶- اجزای عدسی گون نامتقارن که نوع حرکت راستگرد را برای گسل نشان می دهند.

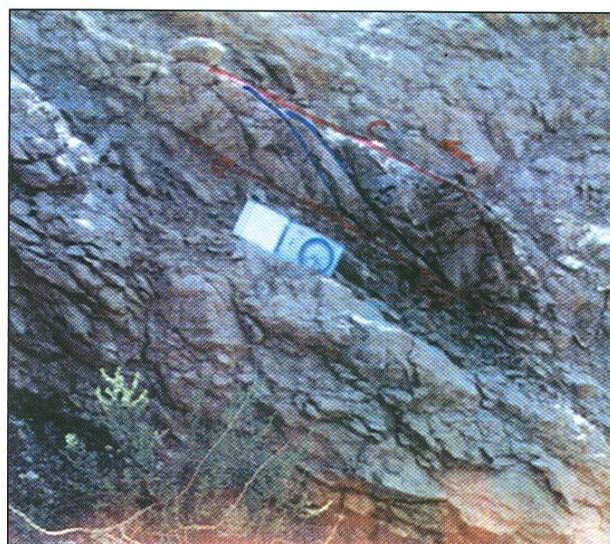
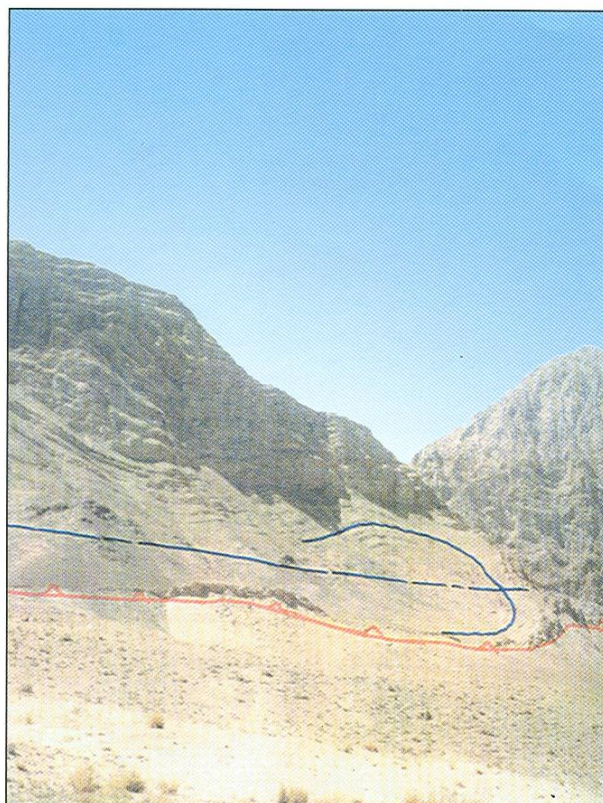
ج



شکل ۷- جابه جایی مخروط افکنه جوان توسط گسل قم- زفره، آبادی مسلم آباد در ۵ کیلومتری شمال خاور شهر قمصر.

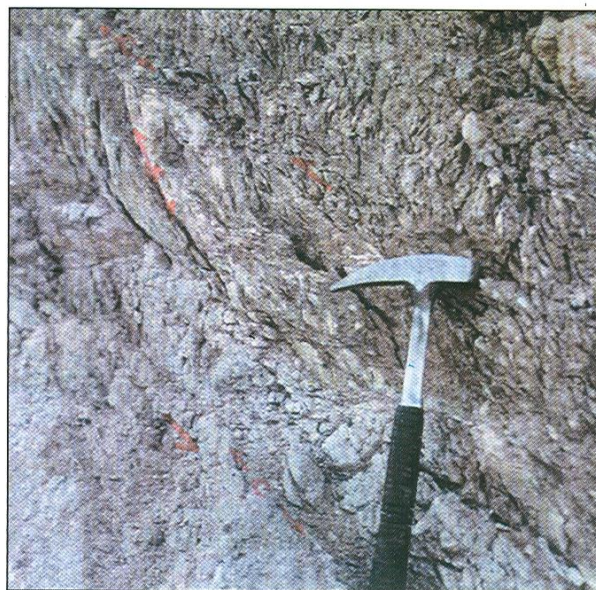


شکل ۸- رانده شدن آهکهای سازند قم بر روی گنگلومرای پلیوسن، الف- صفحه‌های C موازی با سطح برش و صفحه‌های S مایل نسبت به صفحه‌های C مشاهده می‌شوند که به سمت چپ تصویر از این صفحه‌ها فاصله می‌گیرند و حرکت رانندگی را از سوی جنوب به سمت شمال نشان می‌دهند. ب- نمایی نزدیک از پهنه برشی گسل که سازوکار رانندگی را با حرکت بلوک جنوب باختری روی شمال خاوری مشخص می‌سازد (محل آن با علامت C بر روی شکل الف مشخص شده است) (۲ کیلومتری جنوب خاور باغ فین کاشان). ج- ضخامت C و S از نزدیک، عدسی نامتقارن حرکت برشی بالا به سمت چپ را مشخص می‌سازد محل آن با علامت B بر روی شکل الف مشخص شده است.

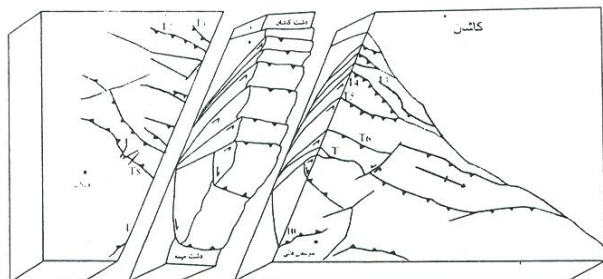


شکل ۹- پهنه برشی گسل بارونق در خاور آبادی خنچه (۱ کیلومتری جنوب آبادی بارونق). صفحه موازی با لبه قطب نما صفحه‌های C هستند که صفحه‌های S با زاویه‌ای حدود ۳۰-۳۵ نسبت به صفحه‌های C قرار گرفته‌اند. نوع حرکت، راندگی و جهت آن بلوک جنوبی (سمت راست) روی بلوک شمالی (سمت چپ) است.

شکل ۱۰- تاقدیس خنب. یال شمالی تاقدیس، همسو با گسل معکوس خنب به سمت جنوب برگشته و در امتداد این گسل به سمت باختر به تدریج واحد آهکی سازند قم حذف می‌شود.



شکل ۱۱- پهنه برشی دسل معکوس مراوند. در سمت راست (شمال) آهکهای سازند قم بر روی کنگلومرای پلیوسن حاوی قطعات آتشفشانی رانده شده‌اند. چهارچوب در تصویر پایین باندهای برشی و نوع حرکت معکوس را (بلوک شمال روی بلوک جنوبی) مشخص می‌سازد.



شکل ۱۲- نمای سه بعدی از ساختار گل گونه (flower structure) مثبت در پایانه فشاری جنوب- باختر کاشان.

**کتابنگاری**

- پروهان، ن.، ۱۳۸۱- تحلیل دگرریختی گسل قم- زفره (محدوده کاشان-اردستان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۶۰ صفحه.
- خلعتبری و علایی، نقشه زمین شناسی نطنز، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی کشور.
- رادفر، ج.، نقشه زمین شناسی کاشان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی کشور.
- زاهدی، م.، رحمتی، م.، ۱۳۸۱- نقشه زمین شناسی طرق، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی کشور.
- زاهدی، م.، نقشه زمین شناسی کاشان، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی کشور.
- محجل، م.، ۱۳۷۹- نقش فضاهای کششی نردبانی در فعالیت سنگهای آذرین در منطقه کاشان- اردستان، الگوی برای شکل گیری کمان آتشفشانی ارومیه- دختر. نوزدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه ای بر زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی کشور.
- نوگل سادات، م. ع. ا.، ۱۳۶۴- منطقه های برشی و خمیدگی ساختاری در ایران. دستاوردهای تحلیل ساختاری ناحیه قم، گزارش شماره ۵۵ سازمان زمین شناسی کشور.

**References**

- Alavi, M., 1991- Tectonic map of the Middle East. Geological Survey of Iran.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L., 2000- Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Structural Geology* 22, 1125-1139.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L., M.R., Sahandi, 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21, 397-412.
- Mohajjel, M., 1997- Structure and tectonic evolution of Paleozoic-Mesozoic rocks, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. PhD Thesis, University of Wollongong, Wollongong, Australia (unpublished).
- Sylvester, A. G., 1988- Strike-slip faults. *Geological Society of America Bulletin*, V. 100, P. 1196-1230.
- Twiss, R. J. & Moores, E. M., 1992- *Structural Geology*. Freeman and Company, New York, 532 pages.

\*گروه تکتونیک دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

\*Tectonic Dept. of Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran