

# شواهد میدانی و لرزه‌نگاری بازتابی بر تکامل ساختاری تاقدیس گرمسار و پهنه گسلی کویر

معصومه قرایلو<sup>۱</sup>، علی یساقی<sup>۲</sup> و جواد باقری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

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

<sup>۳</sup>کارشناسی ارشد، مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۹

## چکیده

تاقدیس گرمسار با روند NW-SE در شمال باختر شهرستان گرمسار در منطقه ابردژ در ۱۱۰ کیلومتری استان تهران جای دارد. هدف این مقاله بررسی سبک چین خوردگی تاقدیس گرمسار و ارتباط آن با گسل راندگی کویر و تأثیر وارون‌شدگی رژیم زمینی ساختاری در تغییر ساختارهای محدوده مورد مطالعه بوده است و همچنین در راستای این مطالعه، تعیین تقدم و تأخر ساخت‌ها و چگونگی تشکیل آنها بر پایه برداشت میدانی و تفسیر داده‌های زیرسطحی صورت گرفته است. با توجه به وجود گسل راندگی در پهلوی جنوبی این تاقدیس می‌توان گفت یک چین مرتبط با گسل است که مجموعه ویژگی‌های آن سبک چین‌های جدایشی گسلیده را برای تاقدیس گرمسار مشهود می‌سازد. وجود افق شکل‌پذیر تخییری‌های سازند سرخ زیرین در سبک چین خوردگی تاقدیس گرمسار مؤثر بوده که این تأثیر در خطوط لرزه‌ای مشهود است. گسل‌های امتدادلغزی به‌صورت فرعی محور این تاقدیس را تحت تأثیر قرار داده‌اند که از جوان‌ترین ساختارهای منطقه به شمار می‌روند. افزایش چین خوردگی طی رژیم فشارشی در این ناحیه سبب ایجاد این دسته از گسل‌ها در محل محور تاقدیس گرمسار شده است.

**کلیدواژه‌ها:** تاقدیس گرمسار، راندگی کویر، چین جدایشی گسلیده، سازند سرخ زیرین.

**نویسنده مسئول:** علی یساقی

E-mail: Yassaghi@modares.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

چین‌های مرتبط با گسل‌های راندگی زمانی تشکیل می‌شوند که تغییرات زاویه در سطح گسل، ساختارهایی را که از دید هندسی لازم و سازگار با آن تغییرات هستند، در بلوک فرادیواره و در اثر حرکت آن بلوک روی سطح گسل ایجاد می‌کنند؛ مانند چین‌های خم گسلی (Fault Bend Fold) و انتشار گسلی (Fault Propagation Fold) (e.g., Al Saffar, 1993; Chester and Chester, 1990; Jamison and Pope, 1996; Mitra, 1990 and 2002a; Suppe, 1983).

این چین‌ها همچنین ممکن است در جایی تشکیل شوند که تغییرات نرخ لغزش گسل در طول سطح گسل، واتنش‌های فرادیواره را ایجاد کرده است که با چین خوردگی همراه شده‌اند؛ مانند چین‌های جدایشی (Fault Detachment Fold) (e.g., Bonini, 2003; Poblet and McClay, 1996; McClay, 2003). در تکامل چین‌های مرتبط با گسل‌های راندگی دو حالت وجود دارد؛ یا گسل‌ها ابتدا تشکیل شده و طی فازهای زمین‌ساختی بعدی چین‌ها به وجود آمده‌اند و یا چین خوردگی و گسل خوردگی همزمان بوده است (Suppe and Medwedeff, 1990).

منطقه ابردژ در ۱۱۰ کیلومتری جنوب‌خاور تهران و در محدوده ۵۱° تا ۵۱° ۱۵' طول جغرافیایی و ۵۳° تا ۵۳° ۵۳' عرض جغرافیایی در بخش جنوبی کوه‌های البرز مرکزی در ناحیه استان سمنان قرار دارد (شکل ۲). یکی از ساختارهای اصلی منطقه، تاقدیس گرمسار است که تکامل ساختاری این تاقدیس و ارتباط آن با راندگی کویر هدف این مطالعه است. بر این اساس در ناحیه مورد مطالعه، تحلیل‌های ساختاری بر پایه داده‌های سطحی (برداشت‌های میدانی) و زیرسطحی (تفسیر و بررسی خطوط لرزه‌ای) انجام شده است. تحلیل‌های ساختاری شامل تحلیل و بررسی روی ساختارها، چگونگی تشکیل آنها، تحلیل سبک چین خوردگی، ارتباط آن با گسل راندگی کویر و مقایسه آن با مدل‌های ارائه شده برای انواع چین‌های مرتبط با گسل است.

## ۲- مطالعات پیشین

با توجه به فعالیت‌های اکتشافی در ایران مرکزی مطالعات گوناگونی در این ناحیه صورت گرفته است که به‌صورت مختصر به برخی از آنها اشاره می‌شود. Huber (1950) در گزارش زمین‌شناسی شماره ۱۳۳۱، ضمن بررسی زمین‌شناسی در محدوده تهران- سمنان برای بررسی احتمال هیدروکربور در این نواحی نهشته‌های موجود در این منطقه را از کرتاسه تا پلیستوسن رده‌بندی کرد. Feri (1951) در مطالعه زمین‌شناسی عمومی حوضه قم- کاشان- نطنز- ساوه را از دید زمین‌شناسی مورد بررسی قرار داد. Gansser (1955) در چهارمین کنگره جهانی نفت با ارائه مقاله "مطالعات جدید درباره زمین‌شناسی ایران مرکزی" گام مؤثری در شناخت چینه‌شناسی ایران مرکزی برداشت. Furrer and Soder (1955) با انتشار مقاله "سازند دریایی الگو- میوسن در ناحیه قم" این سازند را به بخش‌های a, b, c, d, e و تقسیم کردند. Bozorgnia (1961) سازند الگو میوسن در باختر ایران مرکزی را مطالعه کرد. Kalhor (1961) در گزارش زمین‌شناسی ۲۳۳ ضمن برداشت برش‌های چینه‌شناسی در محدوده تاقدیس‌های ابردژ، سورک و بنه کوه برش‌های ابردژ و کویر (سورک) را با ناحیه الگو تطابق داد. نوگل‌سادات (۱۳۵۲)، چینه‌شناسی و زمین‌ساخت ناحیه قم را بررسی کرد. Berberian and King (1981) علت زایش حوضه رسوبی سازند قم را در بخشی از ایران مرکزی ناشی از فروانش پسته اقیانوسی بلند زاگرس یا نوتیس به زیر لبه قاره‌ای جنبای (Active continental margin) جنوب باختری ایران مرکزی در زمان الیگوسن- میوسن می‌داند.

## ۳- تکامل ساختاری منطقه مورد مطالعه

### ۳-۱. ویژگی‌های تاقدیس گرمسار

تاقدیس گرمسار تاقدیس به نسبت بزرگی با روند WNW تا NW است که در فاصله ۳۱ کیلومتری باختر گرمسار جای دارد. این تاقدیس دربردارنده سازندهای سرخ زیرین، قم و سرخ بالایی است که در بخش‌هایی از تاقدیس، قدیمی‌ترین رخنمون سازند مربوط به آتشفشانی‌های ائوسن است که روی سازند قم قرار گرفته‌اند

توجه به خطوط لرزه‌ای و شواهد سطحی در افق سازند قم، اختلاف ارتفاعی در حدود ۳۰۰۰ متر در دو سوی این گسل وجود دارد. جوان‌ترین حرکتی که از این گسل در سطح دیده می‌شود حرکت امتدادلغز چپ‌بر با مؤلفه راندگی است. گسل کویر احتمالاً به سوی شمال خاور به گسل پهلوی جنوبی تاقدیس گرمسار متصل می‌شود.

در پهنه گسل کویر ساختارهای S-C در سطح گسل وجود دارد که با استفاده از آن تحلیل جنبشی این بخش از گسل صورت گرفته است (شکل ۱۰). ویژگی‌های هندسی و جنبشی گسل کویر در ناحیه جنوب خاور تاقدیس ابردژ با موقعیت سطح گسل ۶۰/۳۳۰ و نوع و موقعیت ساختار به کار رفته برای تحلیل S:۴۲/۲۶۵:۶۰/۳۳۰ است.

#### ۴- بحث

برای تحلیل هندسی تاقدیس گرمسار از نمودارهای (Jamison 1987) استفاده می‌شود. متغیرهای مورد استفاده برای تشخیص هندسه چین با استفاده از نمودارهای (Jamison 1987) و بر پایه برش ساختاری رسم شده روی تاقدیس گرمسار (شکل ۱۴) استخراج شده است که شامل شیب زاویه پلکان (α) ۳۹ درجه، زاویه بین پهلوه‌ها (γ) ۸۶ درجه و شیب پهلوی خلفی (ab) ۳۶ درجه و بر پایه تغییر نکردن ستبرای پهلوی پیشانی (tb) است.

متغیرهای هندسی تاقدیس گرمسار در نمودار چین‌های خم گسلی (شکل ۱۱- الف) رسم شد که بیانگر ۵۰ درصد نازک‌شدگی در یال پیشانی این چین است. افزون بر این جاگیری هندسه تاقدیس گرمسار در این برش در نمودارهای چین‌های جدایشی و پیشروی گسلی (شکل‌های ۱۱- الف و ب) نشان از این دارد که چین، هر دو هندسه چین‌های جدایشی و پیشروی گسلی را داشته باشد. برای دست‌یابی به یک هندسه واحد برای تاقدیس به دیگر ویژگی‌های هندسی تاقدیس گرمسار همچون وضعیت ناحیه لولایی پرداخته می‌شود. همان‌گونه که در برش ترسیم‌ی بر تاقدیس گرمسار (شکل ۱۴) دیده می‌شود، تاقدیس گرمسار در این برش، ناحیه لولایی تقریباً مدوری دارد و در ناحیه فرودبواره آن حضور ناودیس مشهود است که از ویژگی‌های تمایز آن از چین‌های پیشروی گسلی به شمار می‌رود. حضور راندگی و برگشتگی لایه در پهلوی جنوبی این تاقدیس می‌تواند نشان‌دهنده هندسه چین جدایشی گسل خورده (Mitra, 2002b) در این برش از تاقدیس باشد. تاقدیس گرمسار به صورت مدل، توسعه یک چین گسل خورده نامتقارن را در واحدهایی نشان می‌دهد که اختلاف مقاومت بالایی میان واحد قاعده‌ای و واحدهای پوششی آن وجود دارد و می‌تواند تطابق با مدل اول (Mitra 2002b) در رابطه با چین‌های جدایشی گسل خورده باشد (شکل ۱۲).

افزون بر این مدل‌ها با توجه به اینکه راندگی در پهلوی جنوبی تاقدیس گرمسار شروع به سکو شدن و حمل چین جدایشی که پیش‌تر ایجاد شده و انتقال آن می‌کند، می‌توان آن را با چین‌های جدایشی حمل شده (McClay, 2003) نیز تطابق داد (شکل ۱۳).

در منطقه مورد مطالعه در تاقدیس گرمسار گسل‌های امتدادلغزی به صورت فرعی محور تاقدیس را تحت تأثیر قرار داده‌اند، که از جوان‌ترین ساختارهای منطقه به شمار می‌روند. این گسل‌ها عمود بر محور تاقدیس با روندهای شمال‌باختر- جنوب خاور، شمالی- جنوبی (راست‌بر) و روند شمال خاور- جنوب باختر (چپ‌بر) توسعه یافته‌اند (شکل ۵). جابه‌جایی در این گسل‌ها در برخی نقاط به ۲۰۰ متر نیز می‌رسد که در اثر آن محور تاقدیس جابه‌جا شده، به شکل یک کمان با تحدب به سوی شمال در آمده و گسل‌های راندگی خاور- باختر را قطع کرده است. تشکیل تاقدیس گرمسار تحت تأثیر حضور افق‌های شکل‌پذیر سازند سرخ زیرین است و به علت افزایش چین خوردگی در محل محور تاقدیس، گسل‌های امتدادلغزی به صورت

(شکل ۳). بیرون‌زدگی‌های آتشفشانی‌های ائوسن مربوط به عملکرد گسل کویر است که از مرکز چین در بخش خاوری تاقدیس گرمسار قابل پی‌گیری است و با قطع کردن امتداد لایه و با زاویه گرفتن از روند محور تاقدیس به سوی باختر ادامه می‌یابد، تأثیر این گسلش سبب حذف‌شدگی بخش‌های زیرین پاره سازند C شده است (شکل ۴).

از دید زمین‌ریخت‌شناسی تاقدیس گرمسار بلندترین ارتفاعات منطقه ابردژ را تشکیل می‌دهد و با توجه به داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای ابعاد سطحی این تاقدیس در حدود ۲۰ کیلومتر در راستای محور و حدود ۷ کیلومتر عمود بر محور در سطح دیده می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴). پهلوی جنوب باختری تاقدیس گرمسار گسل خورده و بخش‌هایی از آنها حذف شده است (شکل ۵). افزون بر گسل کویر، گسل‌های دیگری با سازوکار چیره امتدادلغز با روند شمال باختر- جنوب خاور، شمالی- جنوبی (راست‌بر) و شمال خاور- جنوب باختر (چپ‌بر) عمود بر محور تاقدیس گرمسار دیده می‌شود. میزان جابه‌جایی در راستای ریک این گسل‌ها در برخی نقاط به ۳۰۰ متر نیز می‌رسد. بر اثر عملکرد راستالغزها (SFD1, SFD2, SFD3, SFD4, SFD5) محور این تاقدیس جابه‌جا شده، به شکل یک کمان با تحدب به سوی شمال در آمده و محور تاقدیس گرمسار و گسل‌های راندگی خاوری- باختری را قطع کرده است (شکل ۵).

بر پایه داده‌های برداشت شده در مطالعات میدانی میانگین شیب برای پهلوی شمالی ۶۸/۲۲۷ درجه به سوی شمال- شمال خاور، میانگین در پهلوی جنوبی نیز در حدود ۳۴/۲۳ درجه به سوی جنوب و زاویه بین پهلوی آن ۸۶ درجه است. برای تشخیص موقعیت محور چین در این تاقدیس، اطلاعات مربوط به لایه‌بندی‌ها در پهلوی شمالی و جنوبی تاقدیس یاد شده روی استریونت پیاده شده است و بر این اساس موقعیت محور تاقدیس گرمسار ۳۰۸/۰۶ و موقعیت سطح محوری تاقدیس گرمسار ۵۷/۷۵ است (شکل ۶).

#### ۳- ۲. گسل کویر

این گسل روند NW-SE و طول بیش از ۱۴ کیلومتر دارد (شکل ۷). بر اثر عملکرد این گسل واحدهای آتشفشانی ائوسن روی سازند قم به سن الیگوسن- میوسن رانده شده است که در شکل ۴- ب به روشنی دیده می‌شود. این گسل را می‌توان از بخش خاوری تاقدیس پیگیری کرد که با قطع کردن امتداد لایه و با زاویه گرفتن از روند محور تاقدیس به سوی باختر ادامه می‌یابد. گسل دیگری موازی و با سازوکار مشابه در بخش پهلوی جنوبی دیده می‌شود که با توجه به شیب سطح این گسل به نظر می‌رسد از نوع گسل‌های امتدادلغز پرسیبی باشد که در ژرفا به هم می‌رسند. گسل کویر در محدوده‌های تاقدیس گرمسار و جنوب خاوری تاقدیس ابردژ مطالعه شده که جزییاتی از مطالعه این گسل در این مناطق در ادامه این بخش ارائه شده است.

— در محدوده تاقدیس گرمسار: در محدوده تاقدیس گرمسار، گسل کویر در ۳ نقطه برداشت شده است (شکل ۷- ب). در پهنه این گسل شواهدی همچون خطوط لغزشی موجود در سطح گسل وجود دارد که با استفاده از آن تحلیل جنبشی این گسل صورت گرفته است. در برش ۱ از گسل کویر با سازوکار راندگی با مؤلفه کوچک راستالغزی چپ‌بر، خطوط لغزشی موجود در سطح گسل با موقعیت ۵۳/۳۲۴ دارای ریک NW ۶۰ (شکل ۵)، در برش ۲ این گسل خطوط لغزشی موجود در سطح گسل با موقعیت ۴۵/۳۲۷ دارای ریک NW ۵۰ درجه (شکل ۸) و در برش ۳ این خطوط با موقعیت ۴۹/۳۲۹ دارای ریک NW ۵۷ درجه هستند (شکل ۹). با توجه به برداشت داده‌ها میزان شیب گسل کویر از باختر به سوی خاور کاهش می‌یابد. گسل کویر توسط گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر با روند NE-SW و گسل‌های امتداد لغز راست‌بر با روند N-S تا NW-SE قطع و یا جابه‌جا شده است (شکل ۵).

— در محدوده جنوب خاوری تاقدیس ابردژ: در بخش جنوب خاوری تاقدیس ابردژ ادامه گسل کویر سبب قطع‌شدگی گسل هم‌روند ابردژ شده است (شکل ۱۰). با

مقاطع تشکیل شده‌اند. شکل ۱۳ موقعیت گسل‌های امتدادلغز و متقاطع (conjugate) را در محل محور ساختمان نشان می‌دهد.

گسلی با شیب تقریباً قائم در خط لرزه‌ای GS08-212 شناسایی می‌شود (شکل ۱۵) که با ترازمند کردن لایه‌ها در نرم‌افزار پترل، ستبرای لایه M1 سازند سرخ بالایی در نزدیکی مرز گسلی افزایش می‌یابد که بیانگر حرکت کششی گسل در زمان نهشته شدن لایه M1 است و از سوی دیگر ستبرای لایه M2 سازند سرخ بالایی با نزدیک شدن به مرز گسلی کاهش می‌یابد که بیانگر حرکت فشارشی گسل در زمان نهشته شدن لایه M2 است؛ از این رو چنین برداشت می‌شود که تغییر سازوکار حرکت گسل از کشش (در زمان نهشته شدن لایه M1) به فشارش (در زمان نهشته شدن لایه M2) در حد فاصل زمان نهشته شدن لایه‌های M1 و M2 رخ داده‌است. این گسل در بخش پایین تری از گسل کویر ولی هم‌روند با آن قرار دارد. سپس در فاز پایانی کل مجموعه چین خورده و گسل پیشین دوباره فعال شده است (شکل ۱۵-ب). با مسطح کردن در افق قم، نازک‌شدگی (Onlap) به سوی شمال منطقه (تاق‌دیس گرمسار) در این سازند دیده می‌شود که نشان از آن دارد که در زمان رسوب‌گذاری سازند قم شیب حوضه به سوی جنوب منطقه بوده است و در آخرین فاز زمین‌ساختی در زمان رسوب‌گذاری سازند سرخ بالایی (میوسن پیشین به بعد)، با توجه به افزایش ستبرای سازندها به سوی شمال منطقه می‌توان گفت شیب حوضه بالعکس شده و به سوی شمال منطقه تغییر یافته است (شکل ۱۵-ج). با توجه به داده‌های خطوط لرزه‌ای، ستبرای رسوبات منطقه نشانگر آن است که نهشته شدن رسوبات در حوضه به‌طور قابل توجهی از زمان سازند سرخ زیرین و قم به زمان سازند سرخ بالایی تغییر کرده است.

نرخ رسوب‌گذاری سازند سرخ زیرین و سازند قم بسیار کمتر از سازند سرخ بالایی بوده است. حد فاصل ۳۰ تا ۱۷ میلیون سال پیش سازند سرخ زیرین و سازند قم هر کدام ۱ کیلومتر رسوب کرده‌اند ولی سازند سرخ بالایی در حد فاصل تقریبی ۱۲ تا ۱۴ میلیون سال پیش ۸ کیلومتر رسوب‌گذاری داشته است (Morley et al., 2009). در خط لرزه‌ای GS08-014 (شکل ۱۶)، با توجه به افزایش میزان رسوبات و ستبرای لایه‌ها که با فلش مشکی مشخص شده است، می‌توان گفت این بخش مربوط به زمان کشش بوده است. در بخش‌هایی که با مستطیل مشکی مشخص شده است، ساختارهای چین‌خورده‌ای دیده می‌شود که نشان‌دهنده حاکم شدن فشارش در منطقه هستند. این موضوع می‌تواند تغییر رژیم زمین‌ساختی از کشش به فشارش را تأیید کند. در بخش میانی نمی‌توان تصویر رفلکتورها را به خوبی پیگیری کرد؛ با توجه به حضور نمک در این ناحیه، می‌توان گفت که ممکن است این پدیده مربوط به فعالیت نمک در زمان کشش باشد.

در خط لرزه‌ای GS08-20 (شکل ۱۷) با توجه به گسترش بخش پایینی سازند سرخ بالایی (عضو M1) در نزدیکی گسل و نازک‌شدگی بخش بالایی سازند سرخ بالایی (عضو M2) در مرز گسلی می‌توان دید که تا زمان رسوب‌گذاری M1 در منطقه کشش و پس از آن فشارش حکمفرما شده است. با توجه به تفسیر خطوط لرزه‌ای می‌توان این گسل را به‌صورت یک گسل امتدادلغز پرشیب با مؤلفه راندگی تفسیر کرد. کاهش سازند قم و افزایش سازند سرخ بالایی در دو سوی گسل نشان از عملکرد گسل همزمان با رسوب‌گذاری دارد؛ به گونه‌ای که ستبرای رسوبی تا پیش از رسوب‌گذاری سازند قم در فرادیواره (سمت راست) کمتر بوده است و در ادامه به علت تغییر در رژیم زمین‌ساختی افزایش ستبرای در لایه‌های سازند سرخ بالایی دیده می‌شود.

(Morley et al. 2009) بر این باورند که در میوسن آغازین-میوسن میانی حوضه به عنوان یک حوضه کششی-فشارشی رفتار کرده و وارون‌شدگی زمین‌ساختی در اوایل زمان سازند سرخ بالایی رخ داده و سبب تغییرات فشارشی مانند راندگی و چین‌خوردگی شده است. این تغییرات از بخش پایینی سازند سرخ بالایی (عضو M1)

خود را نشان می‌دهد.

با توجه به تفسیر داده‌های لرزه‌ای اولین سطح تبخیری‌های ناحیه مورد مطالعه مربوط به سازند سرخ زیرین است. افزون بر این می‌توان به بخش کمی از انیدریت مربوط به عضو D سازند قم و بخش پایه سازند سرخ بالایی به عنوان سطوح دیگری از تبخیری‌ها اشاره کرد. تبخیری‌ها به دلیل ایجاد افق جدایشی از دید ساختاری اهمیت زیادی دارند؛ در بخش‌های زیادی از ایران مرکزی دیده شده است که تبخیری‌های سازند سرخ زیرین در تغییر شکل ناحیه تأثیر زیادی داشته‌اند (Jackson and Walker, 2004). سازند سرخ بالایی توانایی ایجاد سطح جدایش را ندارد (Abaie et al., 1964). اگر چه در برخی از بخش‌ها راندگی‌های کوچک یا چین‌هایی در آن detach شده‌اند. تشکیل تاق‌دیس گرمسار می‌تواند متأثر از حضور افق شکل‌پذیر تبخیری‌های سازند سرخ زیرین باشد.

بر پایه مطالعات Jackson and Walker (2004) آخرین تغییر شکل در این ناحیه مربوط به اواخر رسوب‌گذاری بخش پایینی سازند سرخ بالایی بوده و دربر دارنده پی‌سنگی است که گسلش امتدادلغز در آن دیده می‌شود. با توجه به این موضوع این فاز تغییر شکل فشارشی راست‌گرد است که سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها، حرکت راست‌گرد را برای گسل‌های با روند NW-SE و حرکت چپ‌گرد را برای گسل‌های با روند NE-SW نشان می‌دهد.

بر اثر عملکرد گسل کویر با روند NE-SW سازند سرخ زیرین به سن ائوسن روی سازند قم به سن الیگوسن-میوسن رانده شده است. جوان‌ترین حرکتی که می‌توان از این گسل در سطح دید حرکت امتدادلغز چپ‌بر با مؤلفه راندگی است. بر این اساس می‌توان گفت که گسل کویر پس از یا همزمان با تشکیل شدن تاق‌دیس گرمسار ایجاد شده است و بر اثر عملکرد این گسل پهلوئی جنوبی این تاق‌دیس بریده شده است. این امر فاز زمین‌ساختی فشارشی را تأیید می‌کند. در ادامه این فاز زمین‌ساختی، بر اثر افزایش چین‌خوردگی تاق‌دیس گرمسار، گسل‌های امتدادلغزی به‌صورت متقاطع در محل محور آن تشکیل شده‌اند (شکل ۱۴).

## ۵- نتیجه‌گیری

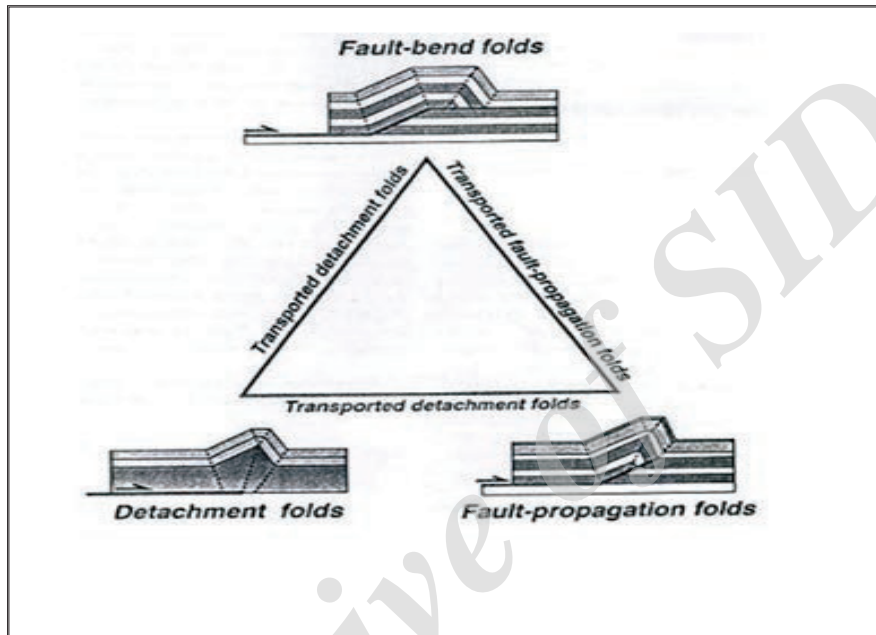
تحلیل ساختاری تاق‌دیس کویر با استفاده از داده‌های استخراج شده از برش ساختاری رسم شده بر این تاق‌دیس نشان‌دهنده هندسه چین جدایشی گسل خورده است که محور این تاق‌دیس توسط گسل‌های امتدادلغز عرضی متقاطع که به‌صورت شکستگی‌های ناشی از افزایش چین‌خوردگی این تاق‌دیس بوده‌اند، تحت تأثیر قرار گرفته داده است. با توجه به داده‌های لرزه‌ای ارائه شده تغییر رژیم زمین‌ساختی از کشش به فشارش مورد تأیید قرار گرفته است. این تغییر در رژیم زمین‌ساختی سبب تغییر در سبک تغییر شکل در طول زمان و ایجاد ساختارهایی مانند تاق‌دیس کویر در منطقه شده است؛ به عبارتی دیگر برآیند این تغییر فاز سبب تغییر عملکرد گسل‌های موجود در این محدوده شده است که خود را به‌صورت تغییر در سبک چین‌خوردگی این تاق‌دیس نشان می‌دهد.

با توجه به اطلاعات ارائه شده در بحث تفسیر داده‌های زیرسطحی با اشاره به گسترش بخش پایینی سازند سرخ بالایی (عضو M1) در نزدیکی گسل که در خط لرزه‌ای GS08-20 (شکل ۱۸) دیده می‌شود، می‌توان چنین برداشت کرد که تا زمان قم و کمی پس از آن (رسوب‌گذاری عضو M1 سازند سرخ بالایی) حکمفرما در منطقه کشش بوده است. گسل ابردژ که بزرگ‌ترین گسل کششی منطقه به شمار می‌رود با شیبی تقریباً نزدیک به قائم فعالیت داشته است (شکل ۱۸-الف).

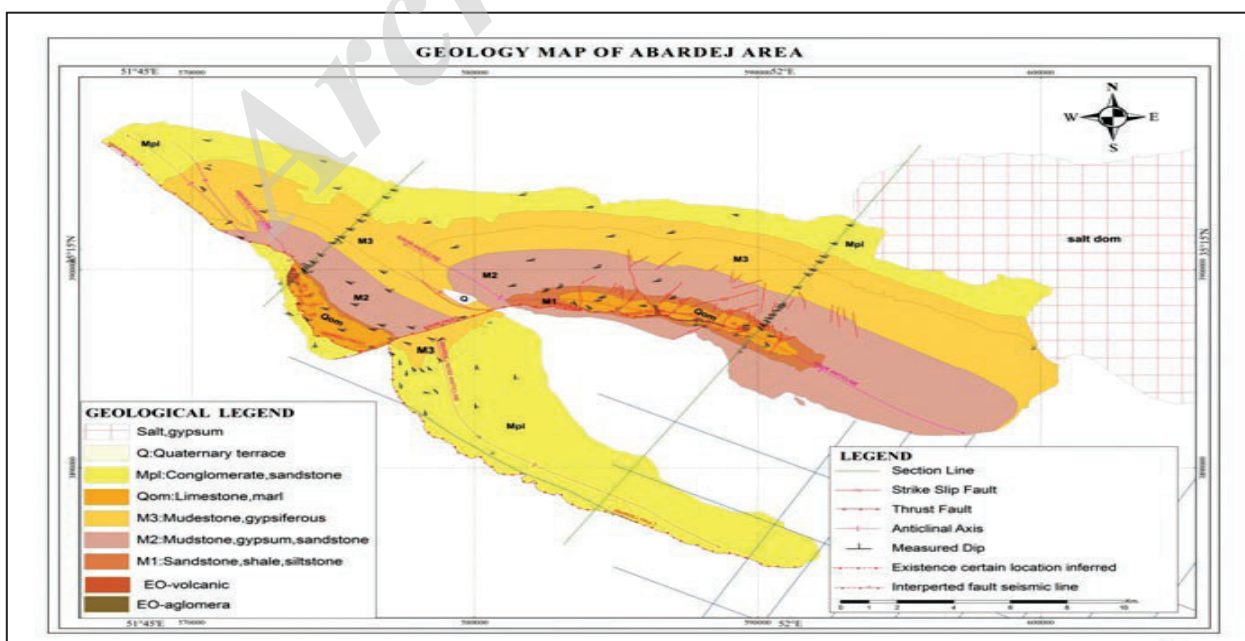
بر پایه خطوط لرزه‌ای ارائه شده (شکل ۱۵) آخرین فاز تغییر شکل مربوط به پس از رسوب‌گذاری عضو M1 سازند سرخ بالایی و زمان رسوب‌گذاری عضو M2 سازند سرخ بالایی است (میوسن پیشین به بعد)؛ که در بردارنده مجموعه‌ای از سازندهای درگیر با گسل‌های امتدادلغز، راندگی و چین‌خوردگی است

می‌توان گفت که گسل کویر پس از یا همزمان با تشکیل شدن تاقدیس گرمسار ایجاد و بر اثر عملکرد این گسل پهلوی جنوبی این تاقدیس بریده شده است (شکل ۱۸-ج). محور تاقدیس گرمسار تحت تأثیر گسل‌های امتدادلغز عرضی متقاطع قرار گرفته است که به صورت شکستگی‌های ناشی از افزایش چین‌خوردگی این تاقدیس در رژیم زمین‌ساختی فشارشی و در حضور افق جدایشی تبخیری‌های سازند سرخ زیرین قرار گرفته است (شکل ۱۸-د).

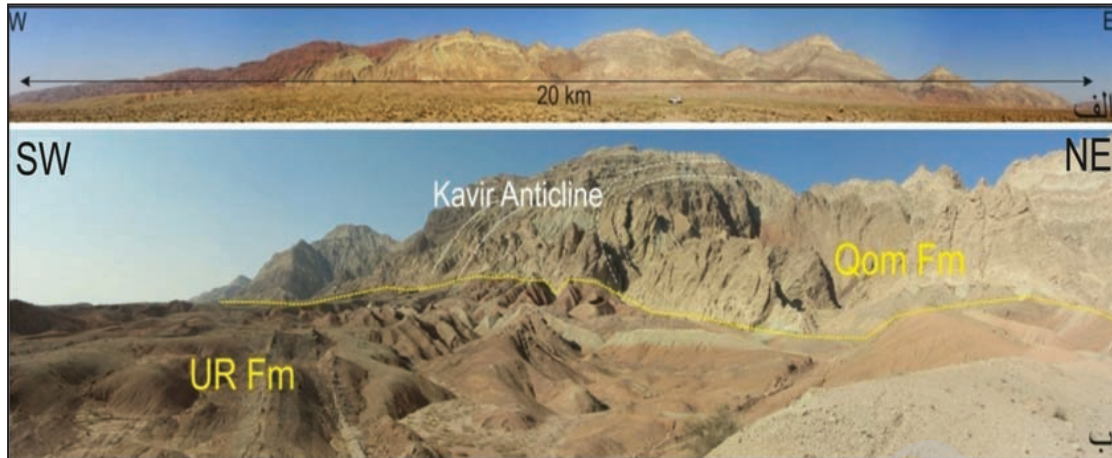
(شکل ۱۸-ب). در این فاز زمین‌ساختی در زمان رسوب‌گذاری سازند سرخ بالایی با توجه به افزایش ستبرای سازندها به سوی شمال منطقه شیب حوضه برعکس شده و به سوی شمال منطقه تغییر یافته است. در منطقه مورد مطالعه با توجه به حضور افق جدایشی سازند سرخ زیرین، تحلیل هندسی تاقدیس گرمسار با استفاده از داده‌های استخراج شده از برش ساختاری رسم شده بر این تاقدیس نشان‌دهنده هندسه چین‌جدایشی گسل خورده است. جوان‌ترین حرکتی که از این گسل در سطح دیده می‌شود حرکت امتدادلغز چپ‌بر با مؤلفه راندگی است (شکل ۵). بر این اساس



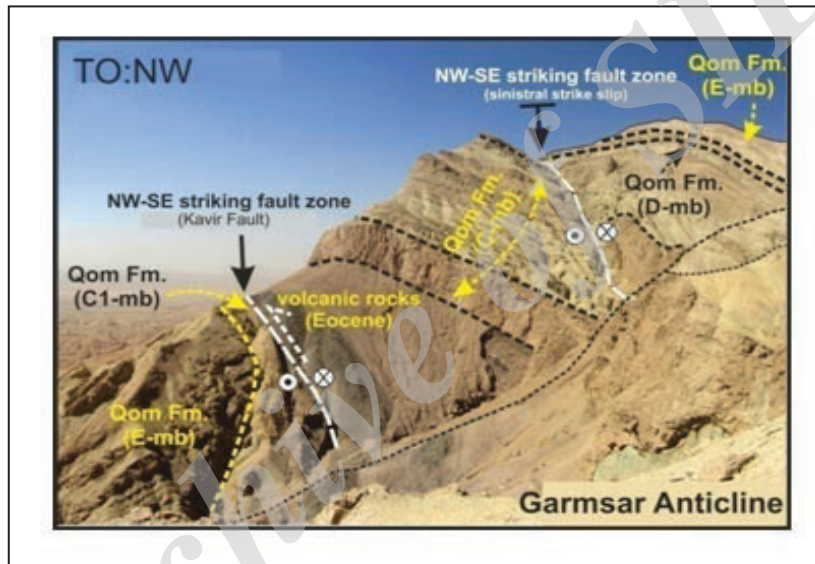
شکل ۱- سه نوع سبک متداول چین‌خوردگی در ارتباط با گسل‌های راندگی (McClay, 2003).



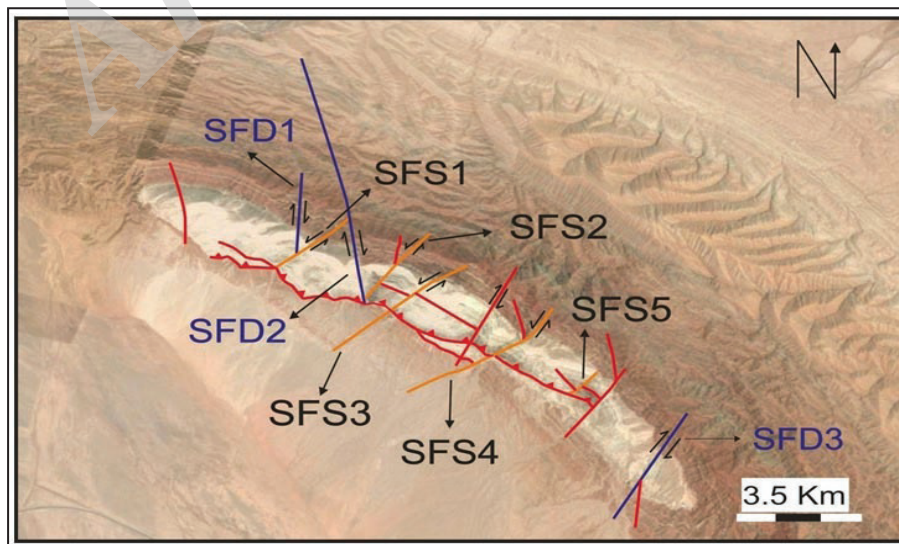
شکل ۲- نقشه ساختاری تهیه شده از ناحیه ابردژ در شمال باختر گرمسار.



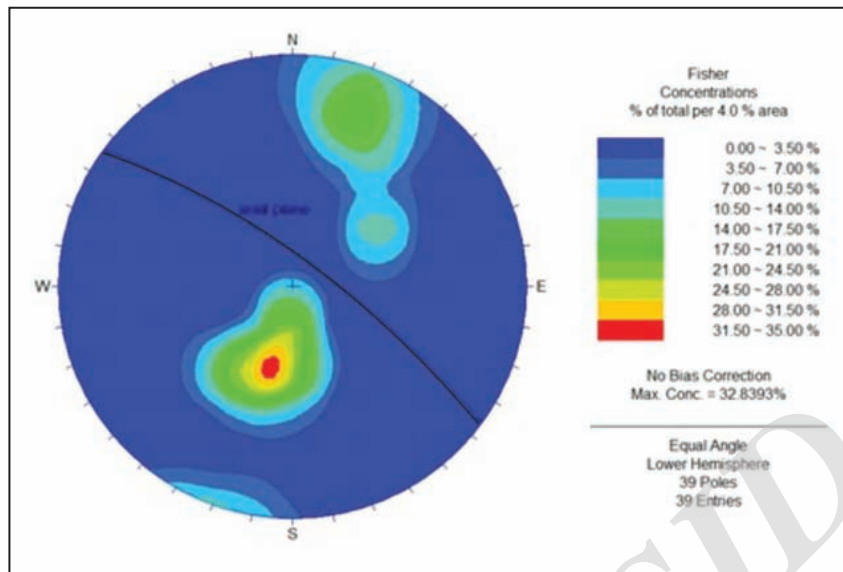
شکل ۳- تاقدیس گرمسار. الف) نمایی از تاقدیس گرمسار. این تاقدیس حدود ۲۰ کیلومتر در راستای محور رخنمون دارد؛ ب) رخنمون پهلوهای تاقدیس گرمسار در منطقه مورد مطالعه.



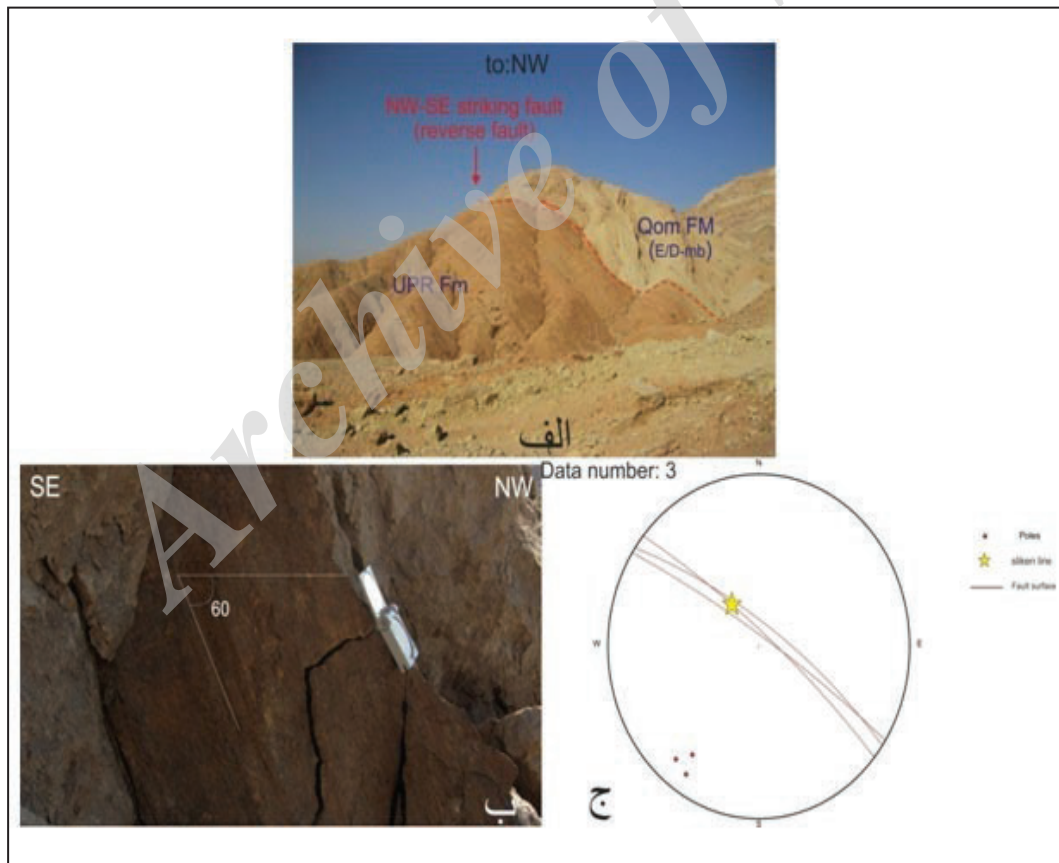
شکل ۴- نمایی از ساختارهای موجود در تاقدیس گرمسار. الف) در بخش مرکزی تاقدیس گرمسار که در آن آتشفشانی‌های اتوسن روی سازند قم با یک گسل مورب‌باز رانده شده‌اند.



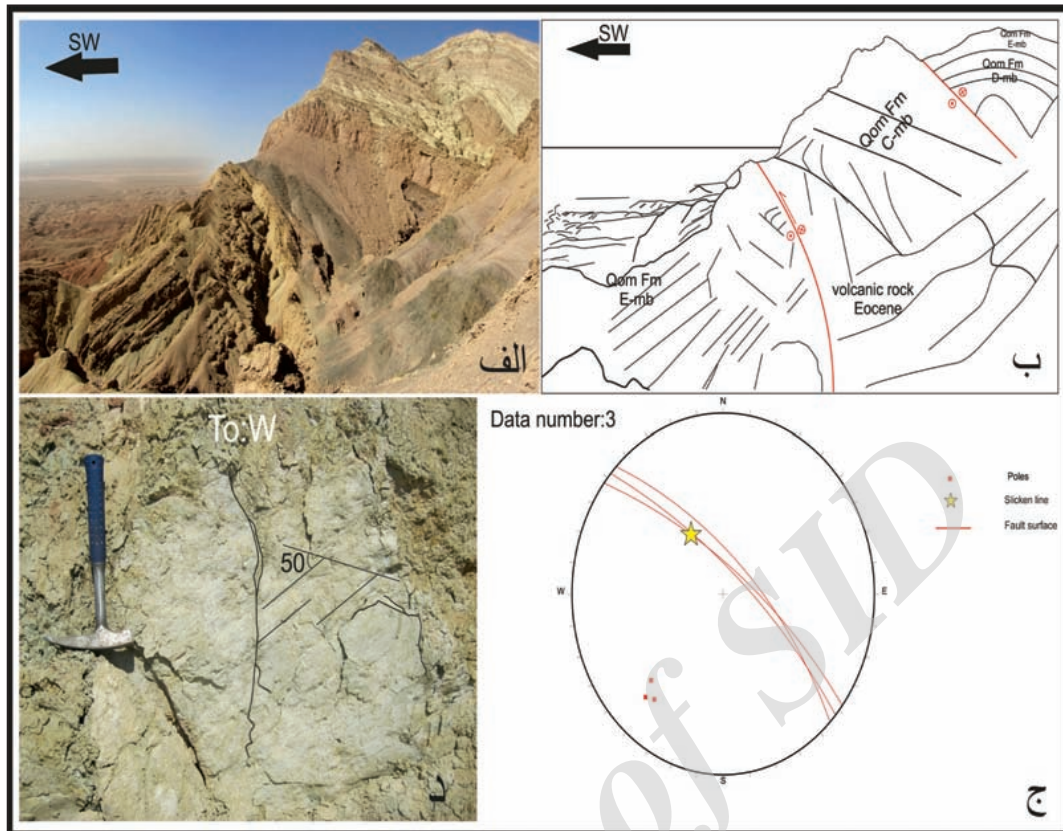
شکل ۵- تصویر ماهواره‌ای از گسل‌های مربوط به تاقدیس گرمسار. گسل‌های آبی رنگ گسل‌های راست‌الغز راست‌بر و گسل‌های نارنجی رنگ گسل‌های راست‌الغز چپ‌بر بررسی شده هستند.



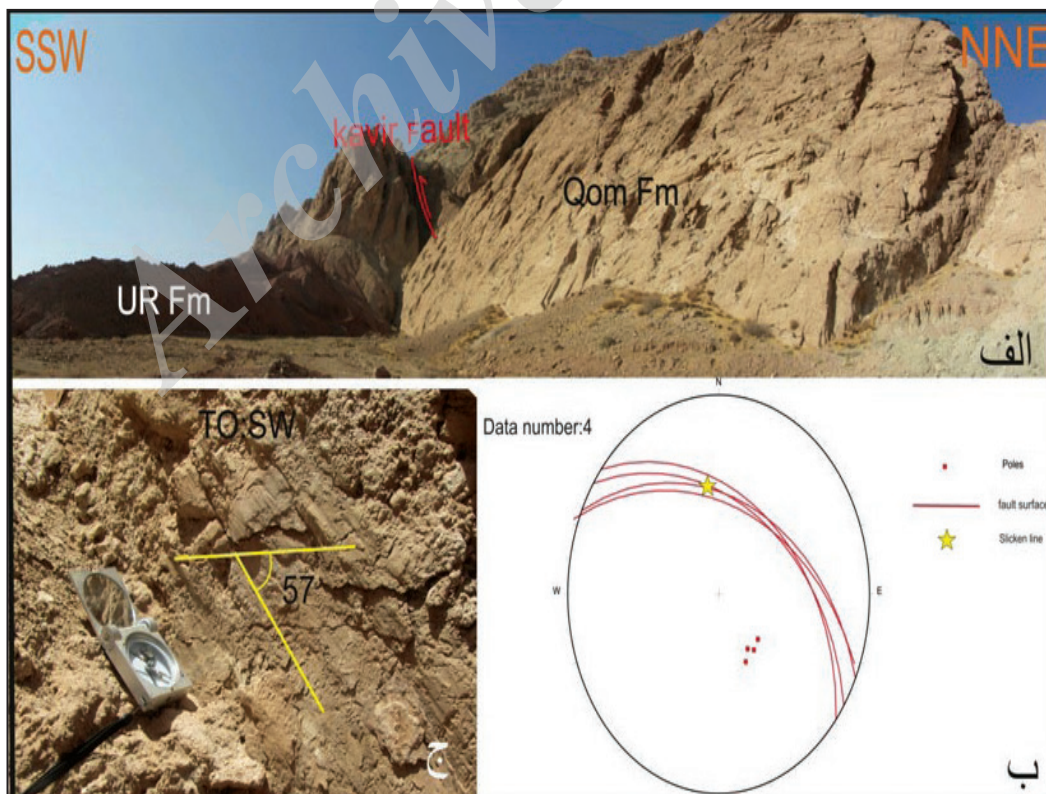
شکل ۶- تصویر استریوگرافی از تاقدیس گرمسار. ستون رنگی تمرکز پهلوها را نشان می‌دهد.



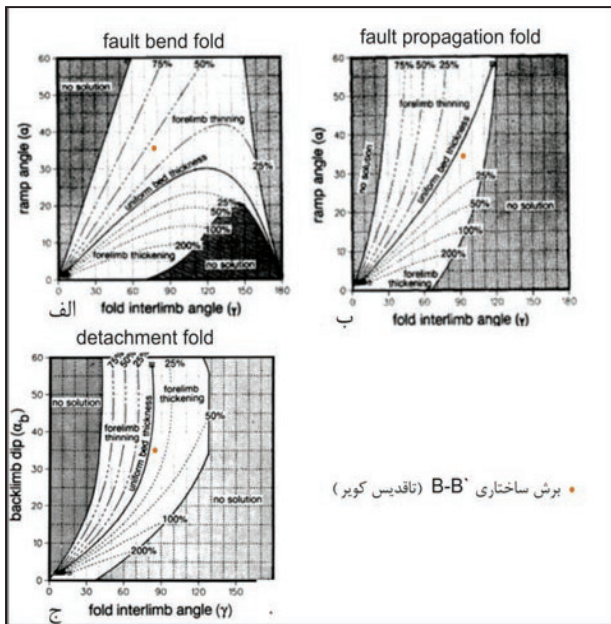
شکل ۷- گسل کویر: الف) نمایی از گسل کویر؛ ب) خطوط لغزشی موجود در سطح گسل؛ ج) تصویر استریوگرافی از گسل کویر با استفاده از خطوط لغزشی.



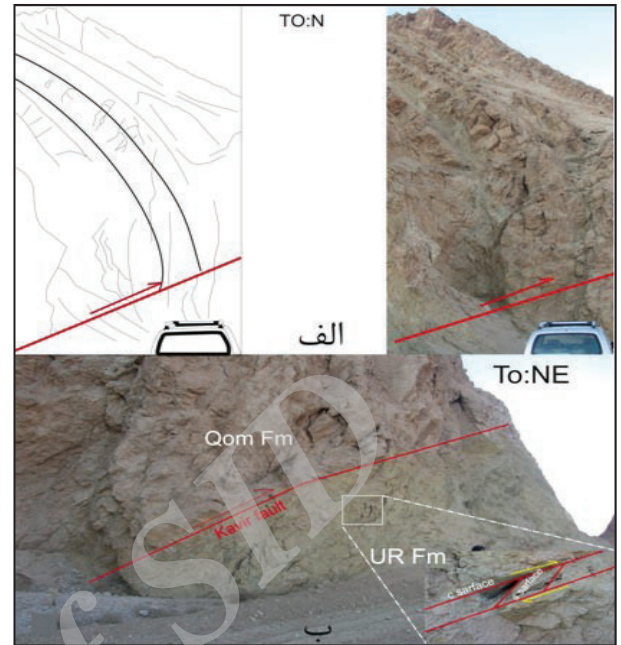
شکل ۸- گسل کویر: الف) نمایی از برش ۲ گسل کویر؛ ب) تصویر نمادین از شکل الف؛ ج) خطوط لغزشی موجود در سطح گسل.



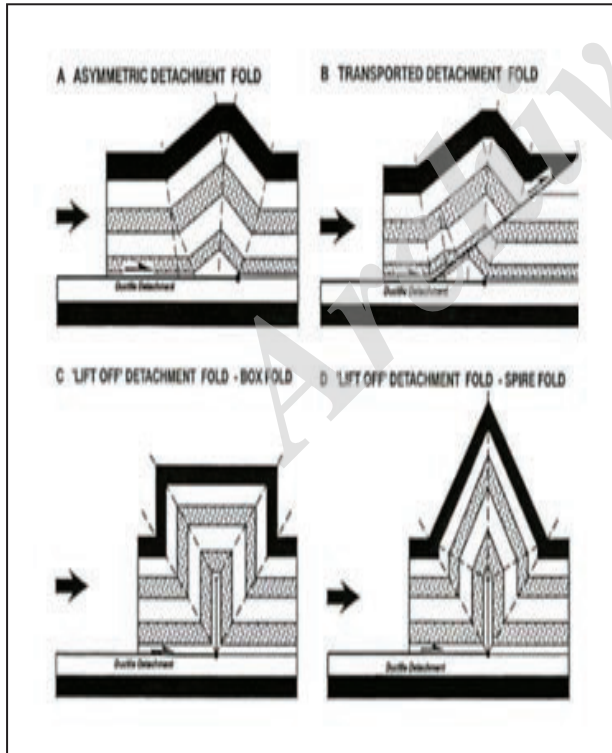
شکل ۹- گسل کویر: الف) نمایی از برش ۳ گسل کویر؛ ب) تصویر استریوگرافی با استفاده از خطوط لغزشی از گسل کویر؛ ج) خطوط لغزشی موجود در سطح گسل.



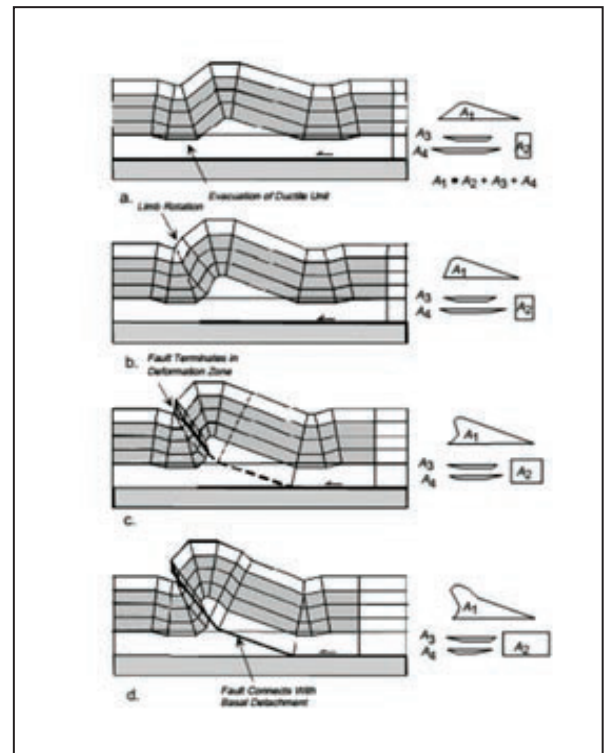
شکل ۱۱- موقعیت تاقدیس گرمسار در برش ساختاری رسم شده از آن، روی نمودارهای چین خوردگی‌های مرتبط با گسل‌های راندگی (Jamison, 1987).



شکل ۱۰- تأثیر گسل کویر بر گسل ابردژ: الف) راندگی گسل کویر در بخش جنوب خاور تاقدیس ابردژ؛ ب) نمایی از ساختار s-c در پهنه گسلی کویر در بخش خاور تاقدیس ابردژ.

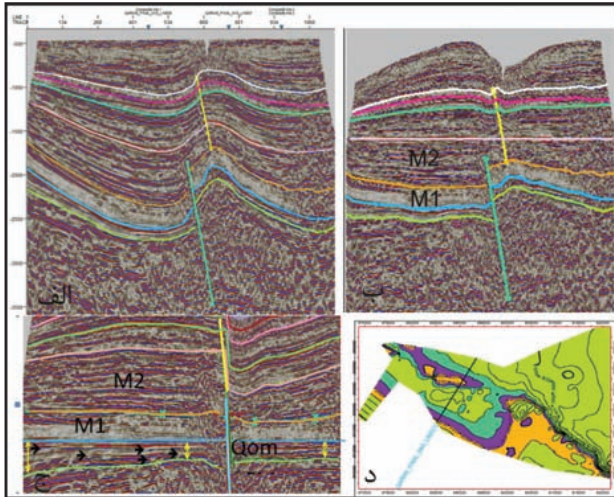


شکل ۱۳- مدل‌های مختلف چین‌های جدایشی (McClay, 2003).

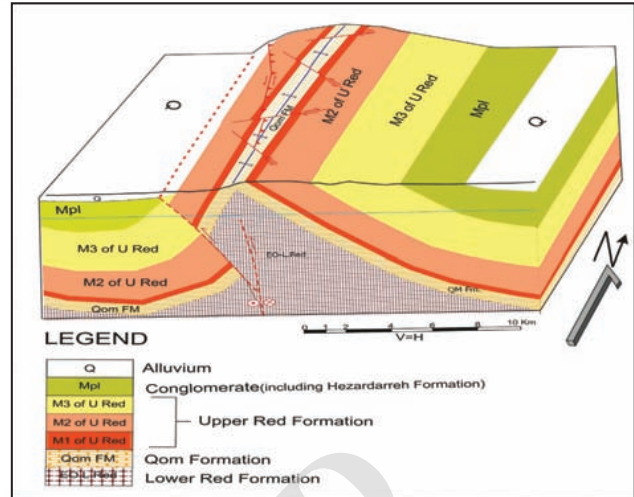


شکل ۱۲- مدل توسعه‌ای چین‌های جدایشی نامتقارن که اختلاف مقاومت زیادی میان واحد قاعده‌ای و پوشش وجود دارد (Mitra, 2002b).

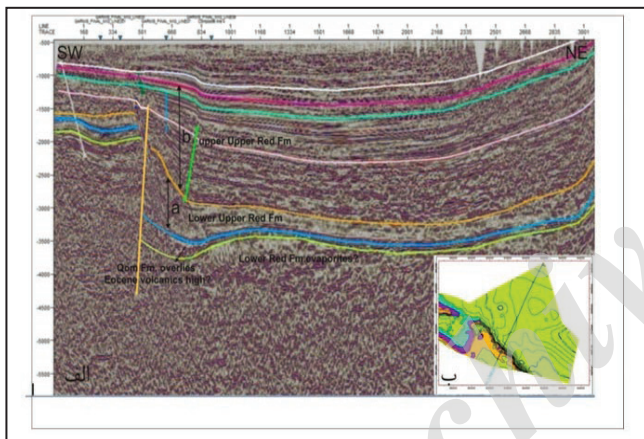




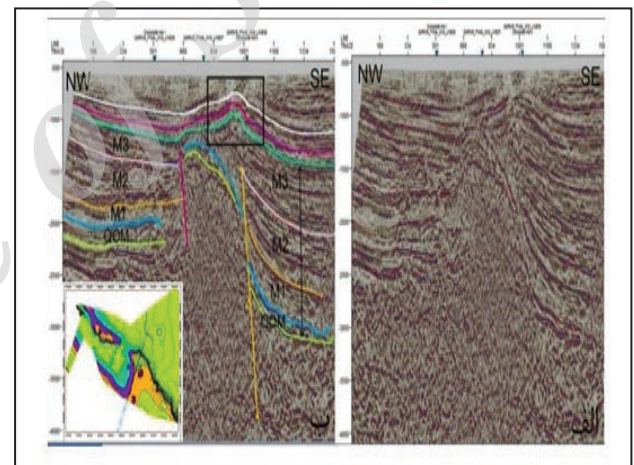
شکل ۱۵- الف) خط لرزه ای GS08-212؛ ب) فلت کردن در لایه‌های سازند سرخ بالایی که نشانگر کاهش سازند قم و افزایش سازند سرخ بالایی (عضو M2 و M3) در سوی راست تصویر است؛ ج) فلت کردن در لایه‌های سازند قم که نشان از عملکرد گسل همزمان با رسوب گذاری دارد. د) موقعیت خط لرزه ای GS08-212 در ugc تهیه شده از سر سازند قم.



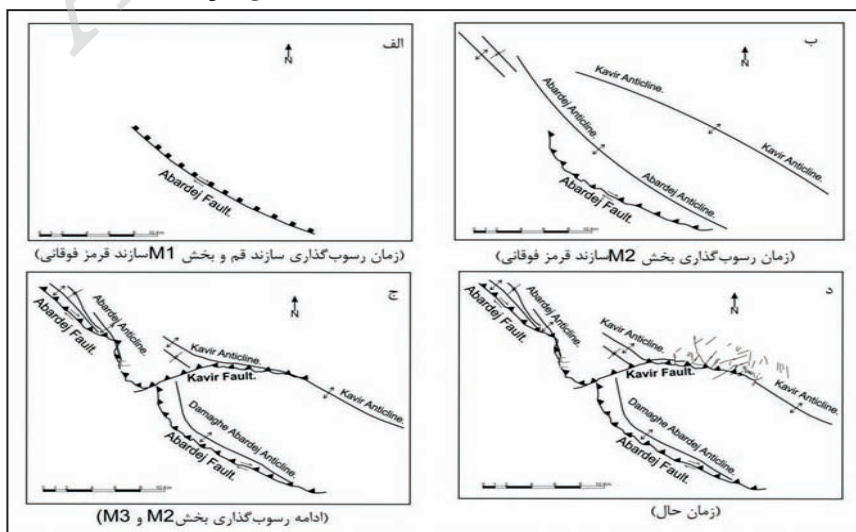
شکل ۱۴- مدل ارائه شده برای تشکیل گسل‌های امتدادلغز در تاق‌دیس گرمسار.



شکل ۱۷- تغییر ستبرای لایه‌های M1 و M2 در خط لرزه‌ای GS08-212: افزایش ستبرای لایه M1 سازند سرخ بالایی در نزدیکی مرز گسلی بیانگر حرکت کششی گسل در زمان نهشته شدن لایه است؛ ب) کاهش ستبرای لایه M2 سازند سرخ بالایی با نزدیک شدن به مرز گسلی بیانگر حرکت فشارشی گسل در زمان نهشته شدن لایه M2 است.



شکل ۱۶- الف) خط لرزه‌ای GS08-014 تفسیر نشده؛ ب) تفسیر از خط لرزه‌ای GS08-014.



شکل ۱۸- مدل تکامل ساختاری منطقه.

**References**

- Abaie, I., Ansari, H. J., Badakhshan, A. and Jaafari, A., 1964- History and development of the Alborz and Sarajeh fields of Central Iran. Bull. Iran Petrol. Inst., no. 15, pp. 561-574.
- Al Saffar, M., 1993- Geometry of fault-propagation fold: method and application Tectonophysics 223, 363e380.
- Beberian, M. and King, G. C. P., 1981- Towards a Paleogeography and tectonic.
- Bonini, M., 2003- Detachment folding, fold amplification, and diapirism in thrust wedge experiments. Tectonics 22 (6).
- Bozorgnia, F., 1961- Micropaleontological study on oligo-miocene Qum Formation, Qum Regin.
- Chester, J. S. and Chester, F. M., 1990- Fault-propagation folds above thrusts with constant dip. Journal of Structural Geology 12, 903e910 .
- Frei, E., 1951- Qum, Kashan, Natanz, South Saveh geological report.
- Furrer, M. A. and Soder, P. A., 1955- The oligo-miocene marine formation in the Qum region (Central Iran). Proc. 4th world Petrol. Congr. Rom. Sect. I/A/5, pp. 267-277.
- Gansser, A., 1955- New aspects of the geology in Central Iran. P Roc. 4th World Petrol congress.
- Huber, H., 1950- Geology of Sorkheh Kuh-Gatchab-Gugird area, GR 1415.
- Jackson, J. and Walker, R., 2004- Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. Tectonics 23: doi: 10.1029/2003 TC001529. Issn: 0278-7407.
- Jamison, W. R. and Pope, A., 1996- Geometry and evolution of a fault-bend fold: Mount Bertha anticline. Bulletin of the Geological Society, America 108, 208 e 224.
- Jamison, W. R., 1987- Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. Journal of Structural Geology, 9(2): 207-219.
- Kalhor, R., 1961- Geology of Neogene Formation In Varamin - Garmsar Area and Evaluation of Abardej Nose.
- McClay, 2003- Structural geology for petroleum exploration. lecture notes: 503.
- Mitra, S., 1990- Fault-propagation folds: geometry, kinematic evolution, and hydrocarbon traps. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 74 e945.
- Mitra, S., 2002a - Fold accommodation faults. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 86, 1673 e1694.
- Mitra, S., 2002b- Structural models of faulted detachment folds. AAPG bulletin, 86(9): 1673-1694.
- Morley, C. K., Kongwung, B., Julapour, A. A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K. and Kazemi, H., 2009- Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran: The Central Basin in the Qom-Saveh area.
- Poblet, J. and McClay, K. R., 1996- Geometry and kinematics of single layer detachment folds. AAPG Bull. 80, 1085-1109.
- Suppe, J. and Medwedeff, D. A., 1990- Geometry and kinematics of fault-propagation folding. Sylvester, A.G., 1988. Strike-slip faults. Geological Society of America Bulletin, 100(11): 1666-1703.
- Suppe, J., 1983- Geometry and kinematics of fault-bend folding. American Journal of Science 283, 684 e721.

## Field and seismic reflection evidences for structural evolution of Garmsar anticline and Kavir fault

M. Gharailou<sup>1</sup>, A. Yassaghi<sup>2\*</sup> and J. Bagheri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M. Sc. Student, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

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

<sup>3</sup>M.Sc., Exploration Directorate, National Iranian Oil Co., Tehran, Iran

Received: 2015 October 14

Accepted: 2016 May 29

### Abstract

The NW-SW trending Garmsar Anticline is located in the Abardej area in northwestern part of the Garmsar city, 110 km east of the Tehran province. The aim of this paper is to investigate folding style of the Garmsar Anticline and its relationship with the Kavir thrust and also the influence of tectonic regime inversion on the structures of the study area. Furthermore, the study aims at determining spatial development of the structures based on field observations and subsurface data interpretation. The presence of a thrust fault along the southern limb of the Garmsar anticline suggests that this anticline is a fault-related fold, whose specifications are characteristic of faulted-detachment folding style. The existence of the Lower Red Formation evaporates as a ductile horizon has influenced folding style in the Garmsar Anticline, which is clearly observed in seismic lines. The anticline axis is also cross-cut by secondary strike-slip faults that are the youngest structures in the area. Fold amplifications during compressional regime has resulted in development of this set of strike-slip faults across the axis of the Garmsar Anticline.

**Keywords:** Garmsar anticline, Kavir thrust, Faulted detachment fold, Lower red formation.

For Persian Version see pages 255 to 264

\*Corresponding author: A. Yassaghi; E-mail: Yassaghi@modares.ac.ir

Archive of SID