

تحلیل سامانه‌ای شکستگی‌های سازند گرو در تاقدیس کبیر کوه، تأثیر چرخش صفحه تازی بر آرایش شکستگی‌ها

اسعد پیره^{۱*}، سید احمد علوی^۲، محمدرضا قاسمی^۳ و علی شبان^۴

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
^۳ استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
^۴ کارشناسی ارشد، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۱۰

چکیده

در کمربند چین خورده زاگرس، بخش مهمی از سنگ‌های منشأ در نئوکومین نهشته شده‌اند؛ در زیرپهنه لرستان، پایین‌ترین بخش سازند گرو سامانه نفتی کرتاسه پیشین را تغذیه می‌کند. این سنگ‌های منشأ به‌طور گسترده در زیرپهنه لرستان و شمال باختری فروافتادگی دزفول گسترش یافته‌اند. تاقدیس کبیر کوه یکی از ساختارهای مهم زیرپهنه لرستان است که با طول بیش از ۲۰۰ کیلومتر، رخنمون سازند گرو را در خود جای داده است. سامانه‌های شکستگی طبیعی مهم‌ترین فراهم کننده تراوایی و گاه روزنگی در بسیاری از مخزن‌های کربناتی هستند و در مهاجرت اولیه هیدروکربن‌ها از سنگ منشأ به سنگ مخزن اهمیت دارند. در این پژوهش داده‌های صحرایی در زمینه میزان تراکم دسته‌های شکستگی و انواع آنها در برونزد سازند گرو و بخشی از سازند سروک در تاقدیس کبیر کوه گردآوری و تحلیل شد. تحلیل این داده‌ها ۸ دسته شکستگی را آشکار ساختند: (۱) دو دسته شکستگی عرضی با راستای NNE-SSW (دسته‌های A و B)، (۲) دو دسته شکستگی طولی با راستای ESE-WNW (دسته‌های C و D)، (۳) دو دسته شکستگی مایل با راستای NNW-SSE و NE-SW (دسته‌های E و F) و (۴) دو دسته شکستگی مایل دیگر با راستاهای ENE-WSW و SE-NW (دسته‌های G و H). شکستگی‌های عرضی به همراه استیلولیت‌های عمود بر آنها، شکستگی‌های با سن کرتاسه پیشین تا پیش از میوسن پسین هستند در حالی که دسته شکستگی‌های طولی و مایل از پس از میوسن پسین تشکیل شده‌اند. شماری از شکستگی‌های عرضی، پرشدگی با کلسیت را نشان می‌دهند. پیشهاد می‌شود دو گامه چرخش پادساعت‌گرد در سامانه تنش مؤثر در تشکیل شکستگی‌ها وجود داشته است؛ (۱) سامانه تنش مؤثر در تشکیل شکستگی‌های بدون پرشدگی نسبت به شکستگی‌های دارای پرشدگی در سوی پادساعت‌گرد چرخش داشته است. (۲) سامانه تنش مؤثر در شکل‌گیری دسته‌های شکستگی مایل (دسته‌های E و F)، نسبت به سامانه تنش مؤثر در شکل‌گیری شکستگی‌های باز (دسته‌های A و B) و استیلولیت‌ها در سوی پادساعت‌گرد چرخش داشته است. این چرخش‌های میدان تنش احتمالاً بر اثر چرخش صفحه تازی در هنگام همگرایی به اوراسیا روی داده‌اند.

کلیدواژه‌ها: سامانه‌های شکستگی، زاگرس، سازند گرو، تاقدیس کبیر کوه، زیرپهنه لرستان، سنگ مخزن نفت.

*نویسنده مسئول: اسعد پیره

E-mail: piraasad@gmail.com

۱- پیش‌گفتار

همه سطوح ناپوسته که با دگرریختی شکننده یا تقریباً شکننده ایجاد شده در سنگ‌ها به‌وجود آمده‌اند به‌عنوان شکستگی شناخته می‌شوند (Ameen et al., 2010)؛ به دیگر گفتار یک شکستگی در سنگ، سطحی است که در آن چسبندگی از بین رفته است (Marshak & Mitra, 1988). شکستگی‌ها شامل گسل‌ها، درزه‌ها، رگه‌ها و استیلولیت‌ها هستند (Ameen et al., 2010). اگر لغزش قابل مشاهده‌ای در شکستگی وجود نداشته باشد، درزه و رگه گسل نامیده می‌شود. شکستگی‌ها به‌طور چیره به‌صورت دسته‌هایی از اعضای نیمه‌موازی به‌وجود می‌آیند. گروهی از درزه‌های موازی یا نیمه‌موازی یک دسته‌درزه را تشکیل می‌دهند (Marshak & Mitra, 1988). شکستگی‌ها هم در مخازن هیدروکربنی و هم در سفره‌های آب زیرزمینی به‌عنوان مجراهایی مهم برای جریان شاره شناخته می‌شوند (National Research Council, 1996; Coward et al., 1998; Haneberg et al., 1999). تعیین سوی تنش دیرین و سن شکستگی‌ها برای شناسایی سوی جریان شاره از سنگ منشأ اهمیت دارد. با توجه به اینکه چاه‌های عمود بر راستای شکستگی‌های مؤثر، بیشینه بازایافت اولیه را به‌دست می‌دهند (Major & Holtz, 1997)، تعیین سو و میزان فراوانی شکستگی‌ها در بخش‌های مختلف یک تاقدیس برای مشخص شدن سوی حفاری ضروری است که در طی این پژوهش جهت‌گیری شکستگی‌ها و فراوانی آنها در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه از تاقدیس کبیر کوه بررسی شده است.

کارهای مختلفی در زمینه تغییر در سوی حرکت صفحه تازی به‌سوی اوراسیا و تأثیر آن روی ساختارهای موجود در زاگرس انجام شده است، که برای نمونه می‌توان به McQuarrie et al. (2003) و Navabpour et al. (2007) اشاره کرد.

۲- زمین‌شناسی گستره

منطقه مورد مطالعه در جنوب زیرپهنه لرستان (جنوب باختری ایران) قرار دارد که بخشی از کمربند چین و راندگی زاگرس است (شکل ۱؛ Farzipour et al. 2009; Alavi, 1994 & 2004). حوضه رسوبی زاگرس، بخشی از کناره جنوبی اقیانوس نوتیس و یکی از مهم‌ترین حوضه‌های نفتی جهان به‌شمار می‌رود (Alavi, 1994). حوضه زاگرس در جنوب باختر ایران و شمال عراق قرار گرفته است. از دید زمین‌شناسی ساختاری حوضه زاگرس در شمال صفحه عربستان قرار دارد. چین خوردگی اصلی در این حوضه مربوط به زمان‌های میوسن و پلیوسن است که تاکنون نیز ادامه دارد و موجب شکل‌گیری تاقدیس‌های کشیده‌ای شده است که بیشتر تله‌های نفتی این منطقه را تشکیل می‌دهند (مطبیعی، ۱۳۷۴). یکی از این تاقدیس‌ها، تاقدیس کبیر کوه است که یک چین پیش‌روی گسلی (Fault-Propagation Fold) است (Alavi, 2007) (شکل ۱).

کوهزایی زاگرس به‌طور کلی شامل ۳ کمربند موازی است (شکل ۱؛ ۱) در شمال خاور، نوار آتشفشانی ارومیه- دختر (UDMA) قرار دارد؛ (۲) در جنوب باختر

میانگین راستای 105° ، یکی دارای شیب 30° به سوی شمال و دیگری شیب 70° به سوی جنوب هستند. ۴ دسته (دسته‌های E، F، G و H) دیگر از شکستگی‌ها وجود دارند که به‌عنوان شکستگی‌های مایل (Oblique Fracture) شناخته می‌شوند؛ یک دسته (دسته E) با میانگین راستای 40° و شیب 75° در سوی شمال باختر و یک دسته (دسته F) با راستای 350° و شیب 75° در سوی جنوب باختر وجود دارند که زاویه میان این دو راستای 50 درجه است و شکستگی عرضی به‌صورت نیمساز این دو دسته را قطع کرده است. ۲ دسته دیگر شکستگی مایل وجود دارند؛ یک دسته (دسته G) با راستای 70° و شیب 25° به سوی شمال باختر و دسته دیگر (دسته H) با راستای 140° و شیب 25° در سوی شمال خاور؛ این ۲ دسته زاویه میان‌راستایی 70° دارند که نیمساز میان این دو راستا با راستای شکستگی طولی قطع می‌شود (شکل ۳). تراکم هر دسته در جدول شماره ۱ مشخص شده است. میانگین راستای دسته‌های اصلی پس از چرخش لایه به حالت افقی تغییر نکرده است (شکل ۳). دسته شکستگی‌های به‌دست آمده با مدل کلاسیک نشان‌دهنده ارتباط میان درزه‌ها و هندسه چین ارائه شده توسط Ramsay & Huber (1987) همخوانی دارد.

۵- تعیین سن نسبی شکستگی‌ها

شکستگی‌ها در یک سنگ در زمان‌های مختلف و به دلایل مختلفی شکل می‌گیرند. بسته به ویژگی‌های یک سنگ معین و محیطی که آن سنگ در آن قرار دارد می‌توان گفت که چه هنگام و چه شکستگی‌هایی ایجاد می‌شوند (Price & Cosgrove, 1990). شکستگی‌های دارای پرشدگی، کهن‌ترین شکستگی‌ها هستند (Price & Cosgrove, 1990). به‌طور معمول در یک سامانه شکستگی عمود بر هم، درازترین شکستگی‌ها، کهن‌ترین آنها هستند (Price & Cosgrove, 1990; Bordet et al., 2010)، بنابراین شکستگی‌های دسته A کهن‌ترین دسته شکستگی هستند (شکل‌های ۴ و ۵).

شکستگی‌های جوان به‌طور معمول به هم نزدیک هستند و شکستگی‌های قدیمی را قطع نمی‌کنند (این روش با Bellahsan et al. (2006) اجرا شده است) و همراه با شکستگی‌های قدیمی‌تر یک مدل T یا H مانند ایجاد می‌کنند (McClay, 1987)، در نتیجه شکستگی‌های عرضی از شکستگی‌های طولی کهن‌تر (شکل ۴) و شکستگی‌های طولی نیز از شکستگی‌های مورب کهن‌تر هستند (شکل ۵).

۶- انواع شکستگی‌ها و تعیین سوی تنش‌های اصلی با استفاده از آنها

۶-۱. درزه‌های کششی یا انبساطی (Dilatational Joints)

درزه‌های کششی درزه‌هایی با سطح شکستگی عمود بر تنش اصلی کمینه (σ_3)، طی تشکیل درزه هستند (McClay, 1987). از مجموع ۴۱۸ شکستگی برداشت شده از ۹ ایستگاه، ۹۲ (۲۲ درصد) شکستگی از نوع باز (انبساطی یا کششی) هستند (جدول ۲). بیشتر شکستگی‌های باز راستای شمال خاور- جنوب باختر (راستای 019°) دارند که مربوط به دسته‌های A و B است (شکل ۶).

سوی σ_3 قطب صفحات شکستگی باز است که دربر گیرنده (σ_1) و (σ_2) است و سوهای σ_1 و σ_2 به تنهایی با شکستگی‌های کششی قابل تشخیص نیستند (McClay, 1987).

برای مشخص کردن میانگین راستای سطوح شکستگی‌های باز، استریونت قطب‌های این سطوح رسم و میانگین روند و میل این قطب‌ها به‌عنوان روند و میل قطب صفحه شکستگی باز (که همان σ_3 نیز است) مشخص می‌شود؛ صفحه‌ای که این قطب به‌دست آمده به‌عنوان قطب آن تعیین می‌شود همان میانگین سطوح شکستگی‌های باز است.

با توجه به مطالب بالا، σ_3 دارای شیب 3° در سوی شمال باختر (289°) است.

ارومیه- دختر پهنه همپوشان زاگرس (ZIZ) که پهنه سندج- سیرجان و پهنه راندگی زاگرس را دربرمی‌گیرد قرار دارد؛ (۳) کمر بند چین- راندگی زاگرس (پهنه ساده چین‌خورده زاگرس اشاره شده در Falcon (1974)، به‌طور موازی و در جنوب باختری پهنه همپوشان زاگرس قرار دارد).

مقطع نمونه سازند گرو در تنگ گرو در کبیرکوه - در زیرپهنه لرستان- اندازه‌گیری شده است (James & Wynd, 1965; Bordenave & Sahabi, 1971). سازند گرو از رخساره‌های ژرف کرتاسه زاگرس است. ترکیب سنگی آن از شیل‌های آهکی و آهک رسی پیریت‌دار به‌همراه گرهک‌های چرتی فراوان است که در بالا نیز افق ماسه‌سنگی و گلوکونیتی دارد که نشانه‌ای از وقفه رسوب‌گذاری است. در بیشتر مناطق روی سازند گرو گاه با یک دگرشیبی و گاه با یک پهنه فرسایشی سازند سروک دیده می‌شود. مرز زیرین سازند گرو با دگرشیبی فرسایشی یا گاه با یک پهنه فرسایشی روی سازند تیخیری گوتیا (ژوراسیک بالایی) قرار می‌گیرد. از این رو سن آن نوکومین تا آپسین است (شمیرانی، ۱۳۷۰).

۳- روش کار

پس از برداشت درزه در ۱۵ ایستگاه در سازند گرو و بخش زیرین سازند سروک (شکل ۲) به‌روش یک‌بعدی (Ortega et al., 2006)، دسته‌های اصلی شکستگی با نمودار گل‌سرخ و استریونت قطب صفحات شکستگی، با در نظر گرفتن فرض پراکندگی 30° درجه برای هر دسته شکستگی (Gosh & Mitra, 2009)، در منطقه مورد مطالعه مشخص شدند. برای بررسی شکستگی‌ها از دید کمی در توده سنگ، متغیرهای مختلفی وجود دارد. شدت شکستگی (Fracture Intensity) معمول‌ترین ویژگی است که در برداشت‌های یک‌بعدی تعیین می‌شود و از تقسیم شمار شکستگی‌ها (N) بر طول خط برداشت به‌دست می‌آید:

$$F = N/L$$

اگرچه برای بیان فراوانی شکستگی‌ها در مقالات بیشتر از شاخص میانگین فاصله میان شکستگی‌ها (Average Spacing) در طول خط برداشت استفاده می‌شود (Huang & Angelier, 1989; Narr, 1991; Gross, 1993; Ji & Saruwatari, 1998). میانگین فاصله میان شکستگی‌ها (\bar{S}) و ارون شدت شکستگی است (Ortega et al., 2006):

$$\bar{S} = 1/N \sum_{i=1}^N S_i = \frac{L}{N} = 1/F$$

متغیر S_i فاصله میان نزدیک‌ترین شکستگی‌ها در طول خط برداشت است. با توجه به وجود خطای ذاتی در تراکم دسته‌شکستگی‌های به‌دست آمده در روش یک‌بعدی (Marshak & Mitra, 1988)، از تصحیح راستا و شیب ارائه شده توسط Marshak & Mitra (1988) برای تعیین تراکم درست دسته‌شکستگی‌ها استفاده شد.

۴- تحلیل داده‌های مربوط به سوی شکستگی‌ها

محور چین تاق‌دیس کبیرکوه در ناحیه مورد مطالعه روند $N 69.9^{\circ} W$ و میل 6° به سوی 290.1° دارد. این سو با استفاده از قطب دایره بزرگ عبور داده شده از قطب‌های لایه‌بندی به‌دست آمده است. برپایه دسته‌بندی شکستگی‌ها و فرض پراکندگی 30° برای هر دسته شکستگی (Gosh & Mitra, 2009)، ۴ دسته شکستگی اصلی تشخیص داده شد. ۲ دسته (دسته‌های A و B) شکستگی چیره که اصلی‌ترین دسته‌ها نیز هستند، شکستگی‌های عرضی (Transverse Fracture) و عمود بر محور چین و سطح لایه‌بندی هستند؛ میانگین راستای هر ۲ دسته 15° است، ولی یک دسته شیب 70° به سوی جنوب خاور و دسته دیگر شیب 80° به سوی شمال باختر دارند و ۲ دسته شکستگی طولی (Longitudinal Fracture) که تقریباً موازی با محور چین و عمود بر سطح لایه‌بندی هستند. هر ۲ دسته (دسته‌های C و D) شکستگی دارای

۶-۲. استیلولیت‌ها

استیلولیت‌ها سطوح انحلالی مرتبط با کرنش انقباضی یا برشی و نشان‌دهنده کاهش حجم هستند و به صورت موازی یا تقریباً موازی با سطح لایه‌بندی در طی دفن (کرنش فشارشی) رسوبات شکل می‌گیرند (McClay, 1987). استیلولیت‌های زمین‌ساختی با زاویه زیادی نسبت به لایه‌بندی و طی چین‌خوردگی شکل می‌گیرند، که نشان‌دهنده مؤلفه کوتاه‌شدگی موازی لایه‌بندی است. استیلولیت‌ها به‌طور معمول عمود بر σ_1 تشکیل می‌شوند (Ameen et al., 2010; McClay, 1987).

از مجموع ۴۱۸ شکستگی، ۴ شکستگی (تقریباً ۱ درصد) از نوع استیلولیتی شده هستند. بیشتر استیلولیت‌ها روند شمال‌خاور-جنوب‌باختر (راستای 280°) دارند که مربوط به دسته C است (شکل ۷).

سوی σ_1 قطب صفحات شکستگی استیلولیتی شده است که دربرگیرنده (σ_3) و (σ_2) است (Ameen et al., 2010; McClay, 1987) و سوهای σ_2 و σ_3 به تنهایی با شکستگی‌های کشتی قابل تشخیص نیستند. بنابراین σ_1 دارای شیب 71° در سوی جنوب (190°) است.

۶-۳. لغزش موازی با لایه‌بندی (Bedding-parallel Slip) و بافت‌های برشی مربوط به آن

همانند شکستگی‌های کشتی و استیلولیت‌ها، لغزش موازی با لایه‌بندی، یک سازوکار دیگر برای گسیختگی در منطقه مورد مطالعه است. شکل ۸ شماری از ساختارهای مرتبط با این سازوکار را نشان می‌دهد.

هر جا که لغزش موازی با لایه‌بندی وجود داشته باشد، همه شکستگی‌ها در طول آن به‌صورت قطع‌شده مشاهده می‌شوند (Stephenson et al., 2007). در شکل ۸-۸، شماری از شکستگی‌ها در دو لایه زیرین و بالایی به سطح لایه‌بندی می‌رسند، ولی شکستگی‌های موجود در لایه میانی از سطوح لایه‌بندی دارای خزش شروع می‌شوند و در بخش میانی لایه‌بندی پایان می‌یابند. همچنین وجود خط خش در سطح لایه‌بندی نشان‌دهنده لغزش موازی با لایه‌بندی است (شکل ۸-۸B). در شکل ۸-۸C، برش در طول لایه دولومیتی با سببرای ۱۵ سانتی‌متر سبب گسترش رخ انفضالی فاصله‌دار (Spaced Disjunctive Cleavage) شده است که نشان‌دهنده حرکت لایه بالایی به سوی شمال است.

۷-۱. سوی تنش‌های اصلی

۷-۱-۱. سوی تنش‌های اصلی با استفاده از استیلولیت‌ها و شکستگی‌های کشتی

با توجه به اینکه شکستگی‌های استیلولیتی شده و کشتی به‌صورت عمود بر هم قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۷ و ۹-A) و تنش بیشینه (σ_1) مؤثر در تشکیل استیلولیت‌ها روی دایره بزرگ مربوط به شکستگی‌های کشتی؛ و تنش کمینه (σ_3) مؤثر در تشکیل شکستگی‌های کشتی بر روی دایره بزرگ مربوط به شکستگی‌های استیلولیتی شده قرار می‌گیرد (شکل ۹-A). با استفاده از این دو تنش اصلی بیشینه و کمینه، به راحتی می‌توان سوی تنش اصلی متوسط (σ_2) را نیز در منطقه مورد مطالعه و در زمان تشکیل این دو نوع از شکستگی‌ها تعیین کرد. به این صورت که σ_2 قطب صفحه دربرگیرنده σ_1 و σ_3 است (Ragan, 2009) صفحه دربرگیرنده دو تنش اصلی بیشینه و متوسط دارای وضعیت $N 70^\circ W, 71^\circ SW$ است.

با توجه به اینکه تنش اصلی متوسط (σ_2)، قطب صفحه دربرگیرنده تنش‌های اصلی بیشینه (σ_1) و کمینه (σ_3) است، در نتیجه تنش اصلی متوسط (σ_2) دارای شیب 19° در سوی شمال (020°) است (شکل ۹-B). تنش اصلی متوسط (σ_2) روی هر دو دایره بزرگ شکستگی‌های استیلولیتی شده و کشتی قرار می‌گیرد، پس به احتمال زیاد هر دو نوع شکستگی طی یک سامانه واحد تنشی و در یک محدوده زمانی که این سامانه تنش بر منطقه حاکم بوده است، تشکیل شده‌اند.

۷-۲. سوی تنش‌های اصلی با استفاده از شکستگی‌های مایل (دسته شکستگی‌های F و E)

با توجه به مدل ارائه‌شده از سوی (Twiss & Moores, 1992)، در مورد انواع شکستگی‌ها و سوی تنش‌های اصلی در زمان تشکیل این شکستگی‌ها و به دلیل اینکه بیشتر ایستگاه‌های درزه‌برداری ما در پیش‌یال (Forelimb) تاقدیس کبیرکوه بوده است، بنابراین از دسته شکستگی‌های مایل (دسته‌های E و F) برای تعیین سوی تنش‌های اصلی در زمان تشکیل این نوع از شکستگی‌ها استفاده می‌شود.

میانگین مختصات به‌دست آمده برای دسته‌های E و F به ترتیب به‌صورت زیر است:
 $N 40^\circ E, 72^\circ NW$
 $N 11^\circ W, 48^\circ SW$

با توجه به روش اجراشده از سوی (Twiss & Moores, 1992) برای تعیین سوی تنش‌های اصلی با این نوع از شکستگی‌ها و اعمال روش آنها برای شکستگی‌های منطقه مورد مطالعه ما، سوی تنش‌های اصلی در زمان تشکیل شکستگی‌های مایلی که در بخش پیش‌یال تشکیل شده‌اند، به این صورت است:

$\sigma_1: 53/180$

$\sigma_2: 34/027$

$\sigma_3: 13/288$

۸- بحث و بررسی

۸-۱. سوی تنش‌های اصلی نسبت به لایه‌بندی در گستره مورد مطالعه از تاقدیس کبیرکوه

در ۱۴ ایستگاه درزه‌برداری که در یال جنوبی منطقه مورد مطالعه قرار داشت، میانگین وضعیت لایه‌بندی به‌صورت $N 68^\circ W, 70^\circ SW$ به‌دست آمد.

سوی تنش‌های اصلی نسبت به لایه‌بندی با توجه به ساختارهای تعیین‌کننده سوی تنش‌های اصلی (استیلولیت‌ها و شکستگی‌های کشتی) به این صورت است که تنش اصلی بیشینه (σ_1) تقریباً عمودی و نسبت به سطح لایه‌بندی موازی است، تنش اصلی متوسط (σ_2) تقریباً افقی و عمود بر سطح لایه‌بندی قرار گرفته و تنش اصلی کمینه (σ_3) نیز افقی ولی موازی با لایه‌بندی است (شکل ۱۰).

ولی سوی تنش‌های اصلی نسبت به لایه‌بندی با توجه به شکستگی‌های مایل موجود در پهلوی جلوی منطقه مطالعه‌شده از تاقدیس کبیرکوه به این حالت است که تنش اصلی بیشینه (σ_1) شیب متوسط دارد و با زاویه نسبت به سطح لایه‌بندی قرار گرفته است؛ تنش اصلی متوسط (σ_2) نیز شیب متوسط دارد و با زاویه به‌نسبت زیاد نسبت به سطح لایه‌بندی قرار گرفته است، ولی تنش اصلی کمینه (σ_3) به‌صورت افقی و تقریباً موازی با لایه‌بندی است (شکل ۱۰).

با توجه به وضعیت‌های به‌دست آمده برای تنش‌های اصلی در زمان تشکیل شکستگی‌ها، هم برای شکستگی‌های کشتی و استیلولیت‌ها و هم برای شکستگی‌های مایل و سوی این تنش‌ها نسبت به لایه‌بندی و همچنین همان‌گونه که گفته شد، با دانستن این نکته که در منطقه مورد مطالعه شکستگی‌های مایل جوان‌ترین دسته شکستگی بوده‌اند، می‌توان چنین گفت که سوی تنش‌های اصلی بیشینه و کمینه از حالت موازی با لایه‌بندی بیرون آمده و به‌ویژه تنش اصلی بیشینه با زاویه بیشتری نسبت به سطح لایه‌بندی قرار گرفته است، که این خود نشان می‌دهد که شکستگی‌های کشتی و استیلولیت‌ها، شکستگی‌هایی هستند که پیش از چین‌خوردگی تشکیل شده‌اند ولی شکستگی‌های مایل، شکستگی‌هایی هستند که در اثر چین‌خوردگی به‌وجود آمده‌اند.

تنش اصلی بیشینه مؤثر در تشکیل شکستگی‌های کشتی و استیلولیت‌ها روند 190° دارند ولی روند این تنش در زمان تشکیل شکستگی‌های مایل (دسته‌های E و F) 180°

با توجه به چگونگی تغییر فراوانی شکستگی‌های مایل و همچنین جوان‌تر بودنشان از شکستگی‌های طولی می‌توان گفت که این دسته‌های شکستگی نیز شکستگی‌های تشکیل شده در اثر چین‌خوردگی بوده‌اند.

همچنین با توجه موارد یادشده در بخش پیش، تنش بیشینه مؤثر در تشکیل شکستگی‌های مایل مربوط به دسته‌های E و F نسبت به تنش بیشینه مؤثر در تشکیل شکستگی‌های کششی و استیلولیت‌ها باز هم یک چرخش پادساعت‌گرد دیگر داشته است (شکل ۱۲- D).

۹- نتیجه‌گیری

رخنمون سازند گرو و بخش زیرین سازند سروک در تاق‌دیس کبیرکوه ۸ دسته‌شکستگی دارند. ۲ دسته شکستگی عرضی که در بخش‌های مختلف تاق‌دیس تقریباً به‌طور متعادل پراکنده شده‌اند؛ شماری از شکستگی‌های مربوط به این دسته دارای پرشدگی هستند و همچنین طولی‌ترین شکستگی‌ها نیز جزو این دسته به‌شمار می‌آیند. ۲ دسته شکستگی طولی، که در خط‌الرأس تاق‌دیس کبیرکوه بیشترین فراوانی را دارند. ۲ دسته شکستگی مایل که با زاویه تقریباً ۳۰ درجه نسبت به شکستگی‌های عرضی قرار گرفته‌اند و با دور شدن از خط‌الرأس تاق‌دیس کبیرکوه فراوانی آنها افزایش می‌یابد و ۲ دسته شکستگی مایل دیگر که آنها نیز با زاویه تقریباً ۳۰ درجه نسبت به شکستگی‌های طولی قرار گرفته‌اند.

چرخش پادساعت‌گرد در حرکت صفحه تازی به‌سوی اوراسیا سبب تغییر در سوی تنش‌های اصلی مؤثر در شکل‌گیری شکستگی‌های رخنمون سازند گرو و بخش زیرین سازند سروک در تاق‌دیس کبیرکوه شده است. به این صورت که از کوتاه شدن پسین تا پیش از میوسن پیشین تنش برآمده از این حرکت ابتدا سبب تشکیل شماری از شکستگی‌های عرضی شده است و سپس این شکستگی‌ها پر شده و به‌احتمال زیاد سوی حرکت در سوی پادساعت‌گرد چرخش داشته و سپس شکستگی‌های عرضی و طولی بدون پرشدگی به همراه استیلولیت‌ها تشکیل شده‌اند. از زمان پس از میوسن پسین ابتدا شکستگی‌های طولی در خط‌الرأس تاق‌دیس کبیرکوه و سپس شکستگی‌های مایل تشکیل شده‌اند؛ ۲ دسته از این شکستگی‌های مایل در خط‌الرأس تاق‌دیس و ۲ دسته دیگر در پهلوهای جلوی تاق‌دیس تشکیل شده‌اند. سامانه تنشی تشکیل‌دهنده شکستگی‌های مایل موجود در پهلوهای جلوی تاق‌دیس کبیرکوه نیز نشان‌دهنده یک مرحله دیگر در چرخش پادساعت‌گرد حرکت صفحه تازی به‌سوی اوراسیاست.

سپاسگزاری

در این پژوهش از راهنمایی و حمایت بی‌دریغ کارکنان مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران همچون آقایان دکتر کاووسی، دکتر حاجیان، مهندس مطلبی و مهندس اصنافی بهره برده‌ایم؛ از ایشان و دیگر افرادی که به‌گونه‌ای در انجام پژوهش نقش داشته و ما را در زمینه‌های گوناگون کمک کرده‌اند سپاسگزاریم.

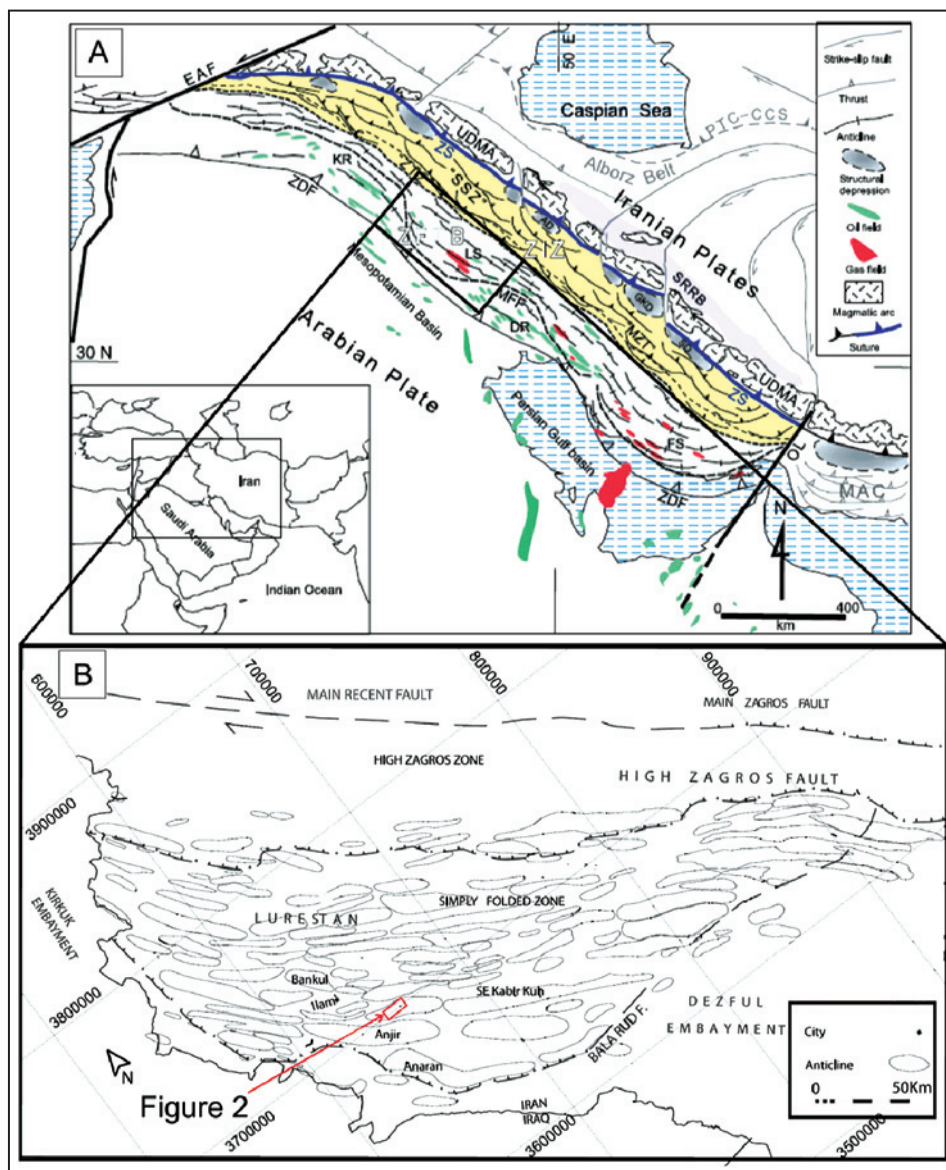
بوده است، این چرخش ۱۰ درجه‌ای در روند تنش اصلی بیشینه به‌احتمال زیاد در اثر چرخش در حرکت صفحه تازی به‌سوی اوراسیا در طول زمان است.

۸-۲. سن شکستگی‌های در ارتباط با چین‌خوردگی و تأثیر تغییر روند فشارش اعمال شده از سوی صفحه تازی بر سوی آنها

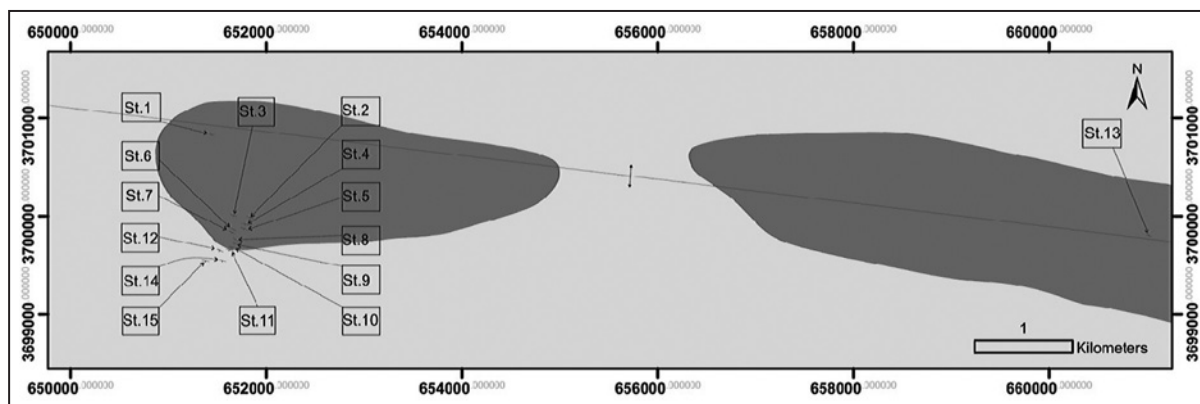
کهن‌ترین شکستگی‌ها (شکستگی‌های دارای پرشدگی) در این مطالعه مربوط به یک دسته از شکستگی‌های دسته‌های A و B هستند (شکل‌های ۱۱- C و ۱۲- A) که تقریباً راستای ۲۵ درجه دارند. این دسته از شکستگی‌ها طولی‌ترین دسته‌شکستگی نیز هستند (شکل ۱۱- B). سوی این ۲ دسته از شکستگی‌ها در نمودار گل‌سرخ‌ی مربوط به شکستگی‌های بدون پرشدگی (شکل ۱۱- D) که به‌طور طبیعی از شکستگی‌های دارای پرشدگی جوان‌ترند، راستای تقریباً ۱۵ درجه‌ای را برای این دو دسته از شکستگی‌ها نشان می‌دهد. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شده است، این ۲ دسته شکستگی (دسته‌های A و B)، شکستگی‌های عرضی هستند که پیش از چین‌خوردگی تشکیل شده‌اند. بر پایه گفته‌های (Stoneley (1981 و Stockline (1968) که شکل‌گیری کمربند چین-راندگی زاگرس را در طی فاز اصلی کوهزایی زاگرس، از میوسن پسین تا عصر حاضر در نظر گرفته‌اند و با توجه به این نکته که سوی فشارش اعمال شده از سوی صفحه تازی به اوراسیا از روند شمال باختر به‌سوی تقریباً شمالی چرخش داشته است (McQuarrie et al., 2003; Navabpour et al., 2007) پس می‌توان گفت که تا پیش از میوسن پسین، ابتدا یک سری از شکستگی‌های دسته‌های A و B با راستای تقریبی ۲۵ درجه تشکیل شده که سپس با کلیسیت پر شده‌اند و پس از این پرشدگی و با چرخش پادساعت‌گرد روند فشارش اعمال شده از سوی صفحه تازی، یک سری دیگر از شکستگی‌های مربوط به این ۲ دسته با یک راستای جدیدتر (با راستای تقریبی ۱۵ درجه) به‌همراه استیلولیت‌ها که به‌صورت عمود بر این راستای جدید از دسته‌های A و B به‌وجود آمده‌اند، تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۱۲- A و B).

شکستگی‌های مربوط به دسته‌های C و D شکستگی‌های طولی به‌شمار می‌آیند و همان‌گونه که گفته شد پس از شکستگی‌های عرضی کهن‌ترین دسته‌های شکستگی در این منطقه بوده‌اند، با افزایش فاصله از خط‌الرأس چین، فاصله میان‌درزه‌های آنها به تدریج افزایش می‌یابد (جدول ۱ و شکل ۳) و در نتیجه از اهمیت آنها نیز کاسته می‌شود. این کاهش تراکم شکستگی‌های طولی از خط‌الرأس به‌سوی یال چین که در مقایسه با خط‌الرأس خم‌ش کمتر دارند نشان می‌دهد که این ۲ دسته از شکستگی‌ها در اثر کرنش خمشی ایجادشده طی چین‌خوردگی (از پس از میوسن پسین) به‌وجود آمده‌اند (شکل ۱۲- C).

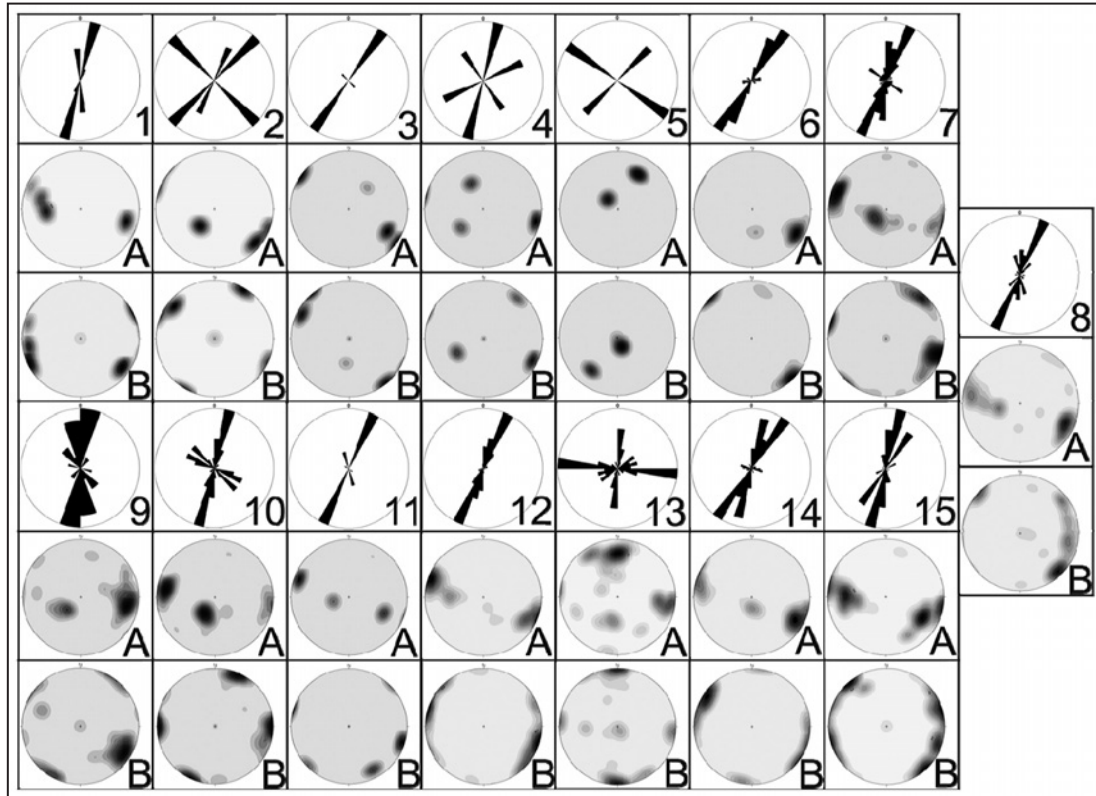
در منطقه مورد مطالعه، پس از شکستگی‌های طولی، جوان‌ترین دسته‌های شکستگی که همان شکستگی‌های مایل هستند تشکیل شده‌اند. دسته‌شکستگی‌های مایل عبارت است از دسته‌های E و F که با دور شدن از خط‌الرأس فراوانی آنها افزایش می‌یابد (جدول ۱ و شکل ۳) و دسته‌های G و H که بیشترین فراوانی را در ایستگاه‌های نزدیک خط‌الرأس دارند (جدول ۱ و شکل ۳).



شکل ۱- آ) زیرپهنه‌های کمربند زاگرس (برگرفته از Alavi (2007) با کمی تغییرات)؛ ب) تاق‌دیس‌های زیرپهنه لرستان (برگرفته از Farzipour et al. (2009) با کمی تغییرات).



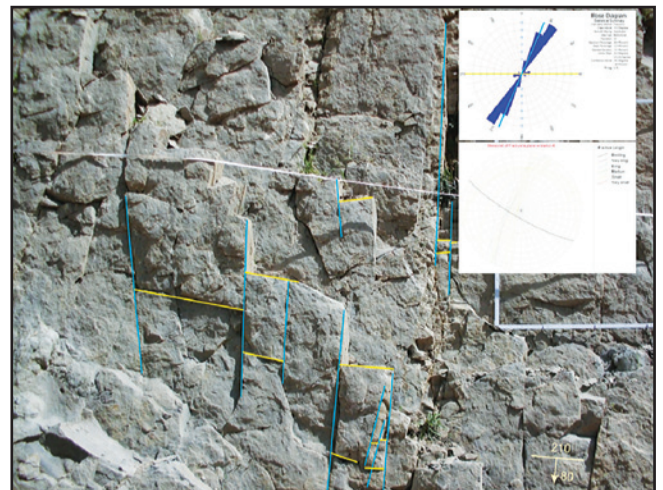
شکل ۲- ایستگاه‌های برداشت درزه در سازندهای گرو (مشخص شده با رنگ تیره) و بخش زیرین سازند سروک (مشخص شده با رنگ روشن).



شکل ۳- نمودار گل سرخی؛ (A) استریونت قطب صفحات شکستگی برداشت‌شده؛ (B) استریونت قطب صفحات شکستگی پس از چرخش لایه‌بندی به حالت افقی برای هر ایستگاه



شکل ۵- وجود دو دسته از شکستگی‌های طولی (دسته C) و مورب (دسته E و F) در ایستگاه شماره ۵ که دارای لایه‌بندی با شیب ۶۹ درجه در جهت ۱۹۸ درجه است.



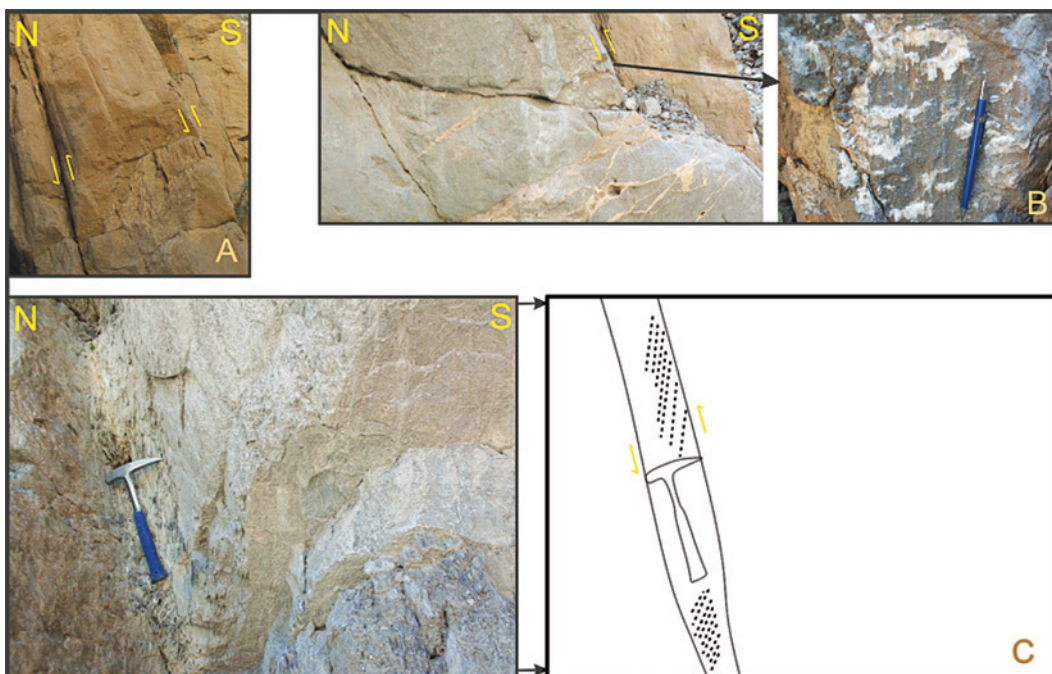
شکل ۴- دو دسته از شکستگی‌های عرضی (دسته A) و طولی (دسته B) که به ترتیب با رنگ‌های آبی و زرد مشخص شده‌اند (ایستگاه شماره ۶ که لایه‌بندی با شیب ۸۰ درجه در سوی ۲۱۰ درجه دارد)، به همراه نمودار گل سرخی و استریونت لایه‌بندی و شکستگی‌ها با توجه به طول شکستگی‌ها.



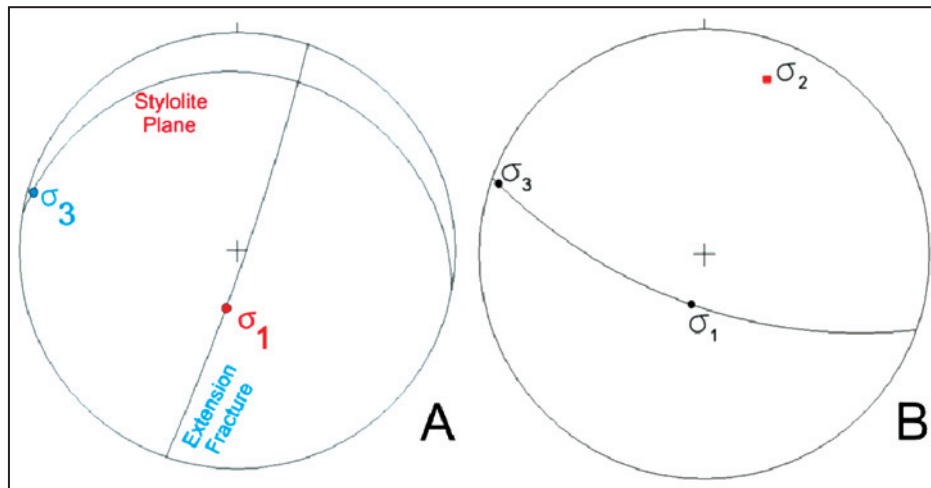
شکل ۷- وجود شکستگی‌های استیلولیتی شده که به صورت عمود بر لایه‌بندی تشکیل شده‌اند و راستایی عمود بر راستای شکستگی‌های کششی (شکستگی‌های پر شده با کلسیت) دارند.



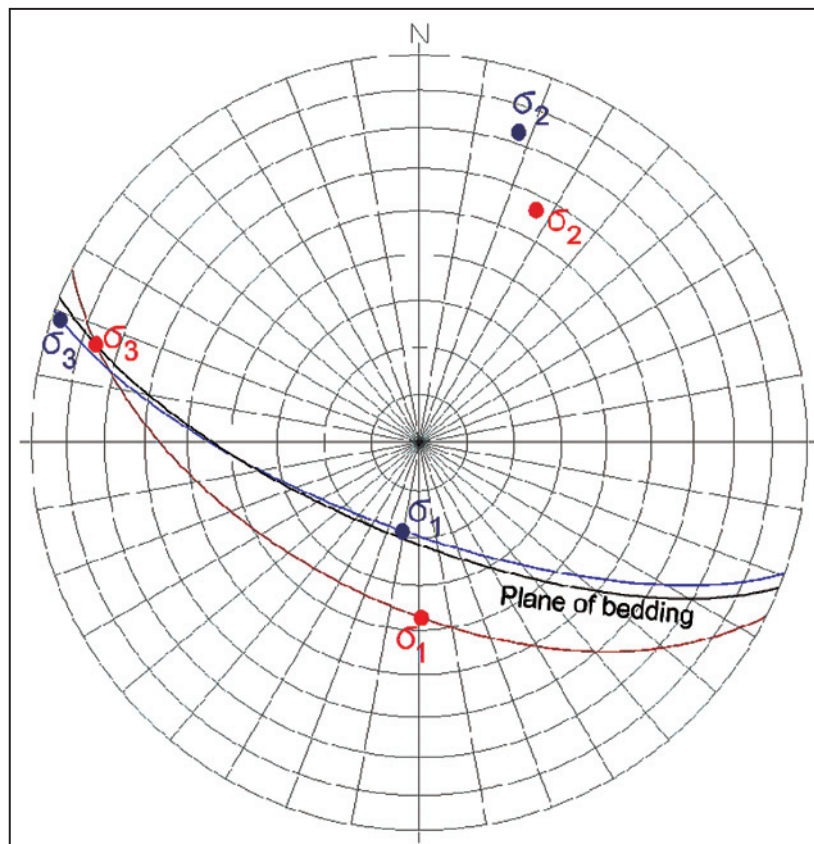
شکل ۶- وجود ۲ دسته شکستگی‌های باز با یک راستا (راستای تقریبی ۰۲۰ درجه) و دو سوی شیب متفاوت در ایستگاه شماره ۱۱ که با رنگ‌های آبی و زرد مشخص شده‌اند. همچنین یک دسته شکستگی‌های بسته (با راستای ۱۶۵ درجه) با رنگ سرخ مشخص شده است.



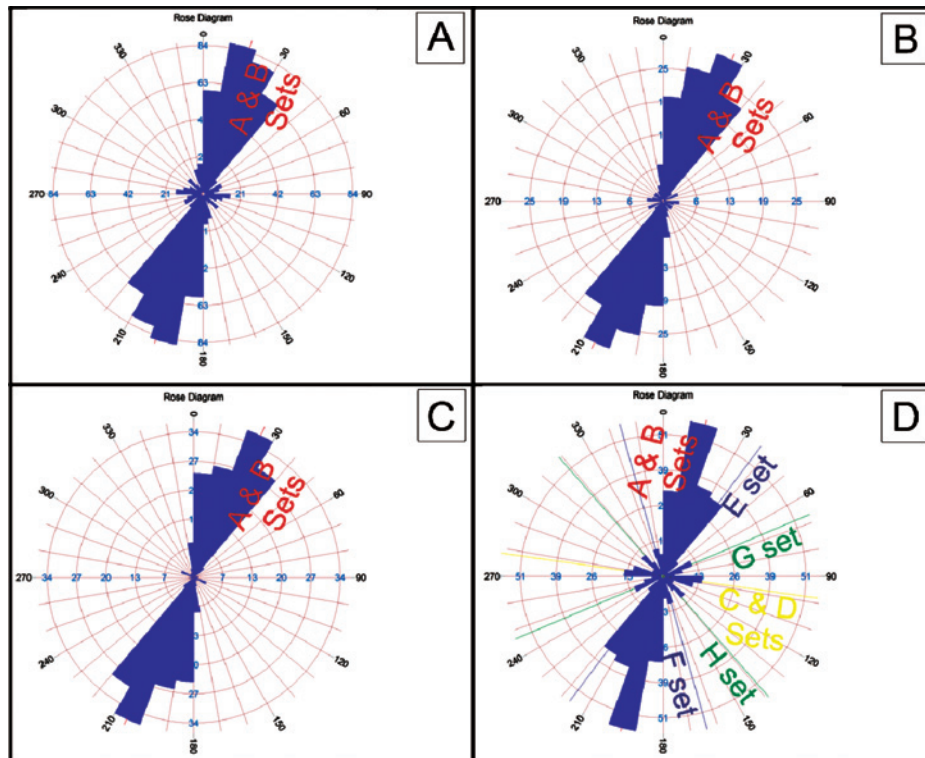
شکل ۸- وجود ساختارهای مختلف نشان‌دهنده لغزش موازی با لایه‌بندی؛ (A) قطع شکستگی‌ها با لغزش موازی با لایه‌بندی؛ (B) وجود خط خش در سطح لایه‌بندی؛ (C) رخ انحصالی فاصله‌دار که نشان‌دهنده لغزش لایه بالایی به سوی شمال است.



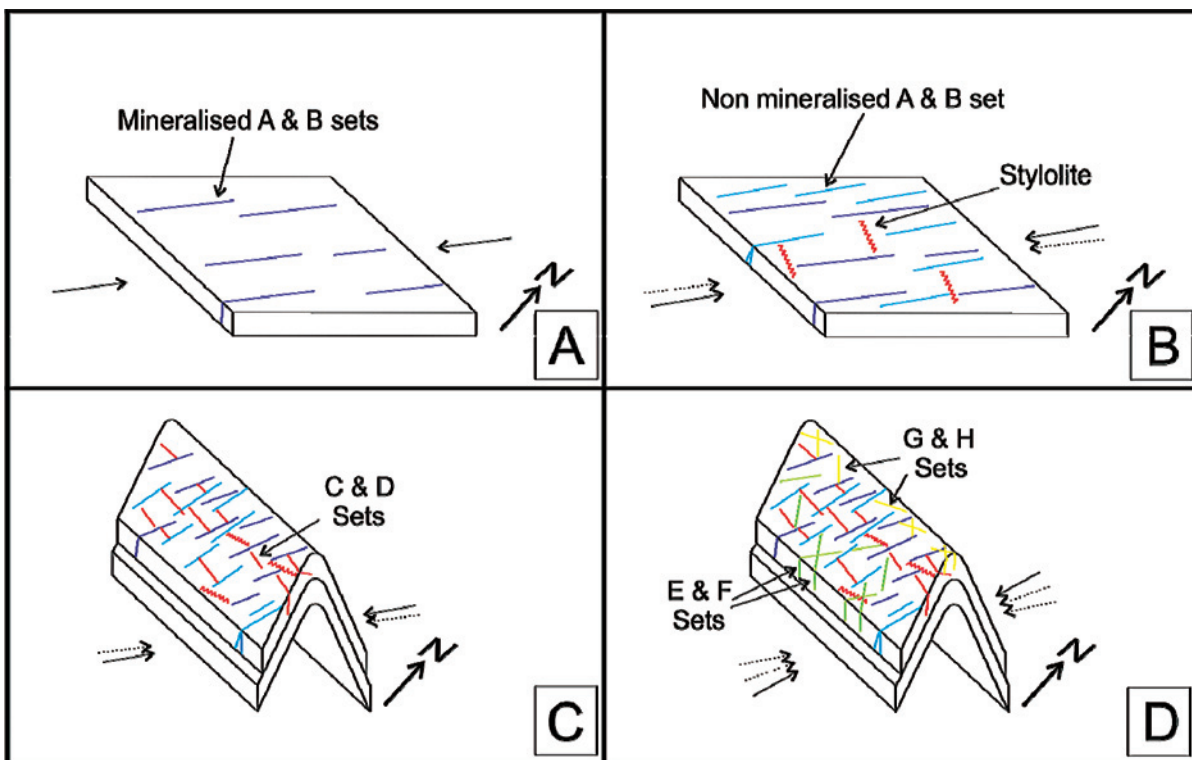
شکل ۹- A) استریونت مربوط به شکستگی‌های استیلولیتی شده و تنش بیشینه مؤثر در تشکیل آنها و شکستگی‌های کششی و تنش کمینه مؤثر در تشکیل آنها، B) استریونت مربوط به تنش‌های بیشینه و کمینه مؤثر در تشکیل شکستگی‌های کششی و استیلولیتی شده روی یک دایره بزرگ به همراه قطب این صفحه که به عنوان تنش متوسط در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۰- سوی لایه‌بندی و تنش‌های اصلی در زمان تشکیل شکستگی‌ها (تنش‌های اصلی ارائه شده با رنگ سرخ، نشان‌دهنده تنش‌های اصلی مؤثر در تشکیل شکستگی‌های مایل و تنش‌های اصلی ارائه شده با رنگ آبی، نشان‌دهنده تنش‌های اصلی مؤثر در تشکیل شکستگی‌های کششی و استیلولیت‌ها) در منطقه مورد مطالعه از تاق‌دیس کبیرکوه.



شکل ۱۱- نمودار گل سرخی کلی از شکستگی‌های برداشت شده از کل ایستگاه‌ها؛ (A) نمودار گل سرخی کل شکستگی‌ها؛ (B) نمودار گل سرخی شکستگی‌های طویل و بسیار طویل؛ (C) نمودار گل سرخی شکستگی‌های پرشده؛ (D) نمودار گل سرخی شکستگی‌های بدون پرشده گی.



شکل ۱۲- ترتیب تشکیل شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه از تاقدیس کبیر کوه. پیش از چین خوردگی؛ (A) ابتدا شماری از شکستگی‌های دسته‌های A و B به وجود آمده که سپس دچار پرشده گی شده‌اند؛ (B) سپس با تغییر روند فشارش رفتار کرده از سوی صفحه تازی، شکستگی‌های جوان‌تر این ۲ دسته که بدون پرشده گی هستند همراه با استیلولیت‌ها ایجاد شده‌اند؛ (C) طی چین خوردگی ابتدا شکستگی‌های طولی (دسته B و C) به وجود آمده‌اند و (D) در اثر روند جدید نیروی اعمال شده از سوی صفحه تازی (تقریباً دارای روند شمالی- جنوبی بوده است)، شکستگی‌های مورب (دسته‌های E, F, G و H) تشکیل شده‌اند.

جدول ۱- ویژگی‌های مختلف دسته‌های شکستگی: مختصات، شمار، تراکم (تصحیح‌شده و تصحیح‌نشده) و فاصله میان آنها (ظاهری و تصحیح‌شده) و طول و مختصات خط برداشت شکستگی‌ها در هر ایستگاه.

Station no.	Total Number of Fractures	Attitude of main sets	Attitude of Scan line	Length of Scan line (cm)	Number of systematic fracture	Modified Number of systematic fracture	Total Number of Modified systematic fracture	Apparent Spacing of fracture (cm)	Modified Spacing of each set (cm)
1	27	N 15 E, 70 NW	25 / 275	340	9	12	31.9	37.8	26.2
		S 5 E, 49 E			9	9		37.8	35.5
		S 25 W, 82 SE			3	3		113.3	102
		S 15 W, 59 SE			6	6		56.7	55
2	13	N 40 E, 79 NW	10 / 290	190	5	5	31.08	38	33.2
		N 20 E, 86 NW			3	3		63.3	61.4
		S 50 E, 31 NE			5	22		38	8.5
3	16	N 30 E, 65 NW	5 / 295	145	7	8	30.68	20.7	18
		N 20 W, 89 SE			7	9		20.7	14.1
		N 49 W, 40 SW			2	12		72.5	11.2
4	16	N 13 E, 82 NW	15 / 295	223	7	7	25.94	31.9	29
		S 65 W, 40 SE			5	8		44.6	26
		S 40 E, 41 NE			4	9		55.8	23.1
5	7	N 60 W, 59 SW	45 / 270	130	4	33	37.75	32.5	3.9
		S 45 W, 20 SE			3	4		43.3	28.3
6	33	N 30 E, 75 NW	24 / 290	610	27	35	63.66	22.6	17.3
		N 90 E, 55 N			5	28		122	21.2
7	34	S 20 W, 80 SE	42 / 300	950	21	25	68.19	45.2	37.7
		S 40 E, 20 NE			13	43		73.1	21.9
8	35	N 25 E, 75 NW	5 / 115	500	14	14	31.42	35.7	35
		S 5 W, 75 E			5	5		100	88.4
		S 10 E, 30 NE			4	11		125	43.1
9	25	N 10 E, 70 NW	40 / 260	970	17	36	43.82	57.1	26.8
		S 40 E, 25 NE			6	7		161.7	128
10	44	S 10 E, 75 NE	37 / 90	670	24	39	222.35	27.9	16.7
		S 60 E, 25 NE			19	182		35.3	3.7
11	18	S 25 W, 56 NW	70 / 210	215	6	284	376.7	35.8	0.8
		N 20 E, 80 SE			8	92		26.9	2.3
		N 15 W, 23 NE			4	5		53.8	38.2
12	69	S 20 W, 85 SE	16 / 085	950	27	31	52.88	35.2	29.8
		N 10 E, 75 NW			19	20		50	45.5
13	34	N 90 W, 75 S	30 / 340	410	13	18	84.77	31.5	22.4
		N 10 E, 80 NW			9	23		45.6	17.5
		S 80 E, 35 NE			3	39		136.7	11.9
		N 60 E, 75 SE			3	3		136.7	128.6
14	92	N 25 E, 75 NW	38 / 125	770	73	80	108.91	10.5	9.5
		N 90 E, 15 N			13	28		59.2	27
15	54	S 5 W, 60 E	20 / 290	770	19	19	51.05	40.5	38.1
		N 30 E, 60 NW			8	21		55	34.5
		N 10 E, 85 NW			8	8		96.3	85.8

جدول ۲- فراوانی شکستگی‌ها بر پایه نوع آنها از دید باز یا بسته بودن.

	Frequency	Percent	Cumulative Percent
Close	319	76.3	76.3
Open	92	22.0	98.3
Unknown	7	1.7	100.0
Total	418	100.0	

کتابنگاری

شمیرانی، ع.، ۱۳۷۰- سیستم پریرود کرتاسه، جزوه زمین‌شناسی ایران، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۴۷ ص.
 مطیعی، ه.، ۱۳۷۴- زمین‌شناسی نفت زاگرس، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۴۰ صفحه.

References

- Alavi, M., 1994- Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211–238.
- Alavi, M., 2004- Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforland evolution. *Am. J. Sci.* 304, 1–20.
- Alavi, M., 2007- Structures of the Zagros fold thrust belt in Iran. *Am. J. Sci.* 307, 1064–1095.
- Ameen, M. S., Buhidma, I. M. & Rahim, Z., 2010- The function of fracture and in-situ stresses in Khuff reservoir performance, onshore fields, Saudi Arabia; *AAPG Bulletin*, v. 94, no. 1 p. 27 -60.
- Bellahsan, N., Fiore, P. & Pollard, D., 2006- The role of fractures in the structural interpretation of Sheep Mountain Anticline, Wyoming. *Journal of structural Geology* 28, 850-867.
- Bordenave, M. I. & Sahabi, F., 1971- Geochemical project, Appraisal of Lurestan. *Geology and Exploration Division, Iranian Oil Operating Companies, Report*, 1182.
- Bordet, E., Malo, M. & Kirkwood, D., 2010- A structural study of western Anticosti Island, St. Lawrence platform, quebec: a fracture analysis that integrates surface and subsurface structural data: *Bulletin of Canadian Petroleum Geology.*, v. 58, no. 1, p. 36-55.
- Coward, M. P., Daltaban, T. S. & Johnson, H., 1998- *Structural Geology in Reservoir Characterization*. Geological Society Special Publication 127, London, 266 pp.
- Falcon, N. L., 1974- Southern Iran: Zagros Mountains. In: A. Spencer (Editor), *Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts*. Spec. Publ. Geological Society of London, 4, 199-211.
- Farzipour, A. S., Yassaghi, A., Sherkati, S. & Koyi, H., 2009- Basin evolution the Lurestan region in the Zegros fold-and-thrust belt, Iran: *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 32 (1), pp 5-20.
- Gosh, K. & Mitra, S., 2009- Structural controls of fracture orientations, intensity, and connectivity, Teton anticline, Sawtooth Range, Montana; *AAPG Bulletin*, v. 93, no. 8 p. 995 -1014.
- Gross, M. R., 1993- The origin and spacing of cross joints: Examples from the Monterrey Formation, Santa Barbara coastline, California: *Journal of Structural Geology*, v. 15, no. 6, p. 737– 751.
- Haneberg, W. C., Mosley, P. S., Moores, J. C. & Goodwin, L. B., 1999- Faults and subsurface fluid flow in the shallow crust. In: *Geophysical Monograph series*. American Geophysical Union, Washington, DC, 222 pp.
- Huang, Q. & Angelier, J., 1989- Fracture spacing and its relation to bed thickness: *Geological Magazine*, v. 126, no. 4, p. 355–362.
- James, G. A. & Wynd, J. G., 1965- Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area. *AAPG Bulletin*, 49, 2182-2245.
- Ji, S. & Saruwatari, K., 1998- A revised model for the relationship between joint spacing and layer thickness: *Journal of Structural Geology*, v. 20, no. 11, p. 1495– 1508.
- Major, R. P. & Holtz, M. H., 1997- Predicting reservoir quality at the development scale: methods for quantifying remaining hydrocarbon resource in diagenetically complex carbonate reservoirs, in kupecs, J. A., Gluyas, J. and Bloch, S., eds., *Reservoir quality prediction in sandstones and carbonates: American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 69, p. 231-248.
- Marshak, S. & Mitra, G., 1988- *Basic Methoeds of Structural Geology*: Prentice – Hall.
- McClay, K. R., 1987- *The mapping of Geological Structures: Geological Society of London Handbook*, 161p.
- Mcquarrie, N., Stock, J. M., Verdel, C. & Wernicke, B. P., 2003- Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophys. Res. Lett.* 30 (20).
- Narr, W., 1991- Fracture density in the deep subsurface: Techniques with application to Point Arguello oil field: *AAPG Bulletin*, v. 75, no. 8, p. 1300– 1323.
- National Research Council, 1996- *Rock Fractures and Fluid Flow-Contemporary Understanding and Applications*, National Academy Press, Washington, DC, 551 pp.
- Navabpour, P., Angelier, J. & Barrier, E., 2007- Cenozoic post-collisional brittle tectonic history and stress reorientation in the High Zagros Belt (Iran, Fars Province). *Tectonophysics* 432, 101-131.

- Ortega, O. J., Marrett, R. A. & Laubach, S. E., 2006- A scale-independent approach to fracture intensity and arithmetic mean spacing measurement. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 90, 193–208.
- Price, N. J. & Cosgrove, J. W., 1990- *Analysis of geological structures*; Cambridge Univ. Press, Cambridge, 502 p.
- Ragan, D. M., 2009- *Structural geology An Introduction to Geometrical Techniques*; Fourth Edition: Cambridge University Press, 602 p.
- Ramsay, J. G. & Huber, M. I., 1987- *The techniques of modern structural geology, v. 2; folds and fractures*: Academic Press, London, 392 p.
- Stephenson, B. J., Koopman, A., Hillgartner, H., Mcquillan, H., Bourne, S., Noad, J. J. & Rawnly, K., 2007- Structural and stratigraphic controls on fold-related fracturing in the Zagros Mountains, Iran: implications for reservoir development. *Fractured reservoirs. Geological Society, London, Special Publication*, 270, 1-21.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG Bull.* 52, 1229–1258.
- Stoneley, R., 1981- The geology of Kuh-e-Dalneshin area of southern Iran, and its bearing on the evolution of southern Tethys: *Journal of Geological Society of London*, V. 138, 509-526.
- Twiss, R. J. & Moores, E. M., 1992- *Structural geology*: University of California at Davis, 532 p.

Systematic Analysis of Fractures in Garau Formation Within the Kabir-Kuh Anticline, Effects of the Arabian Plate Rotation on Fracture Arrays

A. Pireh^{1*}, S. A. Alavi², M. R. Ghassemi³ & A. Shaban⁴

¹ M.Sc., Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

² Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

³ Assistant Professor, Research Institute for Earth Science, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

⁴ M.Sc., NIOC Exploration Directorate, Tehran, Iran.

Received: 2011 May 01

Accepted: 2011 December 31

Abstract

A major part of source rocks in the Zagros Fold Belt were deposited during Neocomian time; the lowermost part of the Garau Formation has charged the Early Cretaceous Petroleum System of the Lurestan province. These source rocks are widely distributed in the Lurestan Depression and in the NW part of the Dezful Embayment. The Kabir-Kuh anticline, which is a prominent structure of the Lurestan province, is more than 200 km long, and contains outcrop of the Garau Formation. Natural fracture systems have an important role in increasing of permeability and sometimes porosity of many reservoirs, and are necessary for the primary migration of hydrocarbons from the source rock to the reservoir. We have collected and analyzed field data on fracture set densities and types in Garau Formation and in parts of Sarvak Formation which outcrop in the Kabir kuh anticline of Zagros Belt. According to our analyses we have identified 8 fracture sets in 4 fracture systems: 1) a NNE-SSW transverse fracture system (sets A and B), 2) an ESE-WNW longitudinal fracture system (sets C and D), 3) a NE-SW and NNW-SSE oblique fracture system (sets E and F), 4) a SE-NW and ENE-WSW oblique fracture system (sets G and H). The transverse fractures and their orthogonal stylolites are Early Cretaceous to pre-late Miocene in age, while longitudinal and oblique fracture systems have formed since Late Miocene. Some transverse fractures show calcite infillings. We suggest that there have been two phases of counterclockwise rotation in orientation of the stress fields that produced these fractures, 1) a counterclockwise rotation of the stress field between development of non-mineralized fractures and open fractures and 2) a counterclockwise rotation of the stress field between development of the oblique fracture system (sets E and F) and the extension fractures (sets A and B). These rotations in the stress field have probably occurred due to rotation of the Arabian plate during its convergence to the Eurasian plate.

Keywords: Fracture systems, Zagros, Garau Formation, Kabir-Kuh anticline, Lurestan Province, Oil reservoir rock.

For Persian Version see pages 105 to 116

*Corresponding author: A. Pireh; E-mail: piraasad@gmail.com