

بازسازی تنش دیرین نهشته‌های مزوزوییک در پهنه فارس داخلی (خاور جنوب خاور شیراز)

طهمورت یوسفی^۱، کورس یزدجردی^۲، منوچهر قرشی^۳ و علیرضا شهیدی^۴

^۱دانشجوی دکترا، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز و واحد علوم تحقیقات فارس، شیراز، ایران

^۲استادیار، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، شیراز، ایران

^۳دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۴دکترا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۶

چکیده

تاریخچه تکتونیک شکننده در کمربند زاگرس چین خورده ساده گویای رویدادهای مختلف تکتونیک است، که نتیجهی کشش مزوزوییک همراه با بازشدگی (Rifting) و کوتاه‌شدگی همراه با برخورد صفحه عربی و ایران در سنوزوییک است. به منظور بازسازی وضعیت تنش دیرینه در نهشته‌های مزوزوییک در خاور و جنوب خاوری شیراز، داده‌های صفحه‌های گسلی همزمان با رسوب‌گذاری و قبل از چین‌خوردگی مورد بررسی قرار گرفت تا با استفاده از روش برگشتی، زمان بازشدگی (Rifting) و تشکیل تئیس جوان و برخورد آن در کرتاسه و پالئوسن ارزیابی شود. در این راستا داده‌های صفحه گسلی و خش‌لغزهای ۲۱ ایستگاه در سازندهای زمین‌شناسی رخنمون یافته از خانه‌کت تا پابده برداشت و محورهای اصلی تنش (σ_1 , σ_2 , σ_3)، شکل بیضوی تنش یا مقدار نسبت اختلاف تنش Φ برای دسته‌داده‌های تفکیک شده محاسبه شد. نتایج حاصل به گونه‌ای است که از تریاس تا کرتاسه بالایی (Mastrichtian) در سازندهای خانه‌کت، سورمه، فهلیان، داریان، سروک، ایلام، گورپی، تاربور و قاعده عضو قربان از سازند ساچون، رژیم زمین‌ساخت کششی غالب است و راستای شمال خاور- جنوب باختر ($N052^\circ$) دارد و در سازند پابده با دیرینگی پالئوسن، رژیم زمین‌ساختی فشارشی شده که راستای تنش فشارشی شمال خاور- جنوب باختر ($N045^\circ$) است.

کلیدواژه‌ها: زاگرس چین خورده ساده، تنش دیرین، روش برگشتی، نهشته‌های مزوزوییک، تکتونیک شکننده.

E-mail: kyazdi@yahoo.com

*نویسنده مسئول: کورس یزدجردی

۱- پیش‌نوشتار

گستره مورد بررسی بین طول‌های خاوری 52° درجه و 30° دقیقه تا 53° درجه و 40° دقیقه و عرض‌های شمالی 29° درجه تا 29° درجه و 45° دقیقه در خاور و جنوب خاوری شیراز واقع شده است که در تقسیم‌بندی‌های انجام شده (Alavi, 1991؛ نبوی، ۱۳۵۵؛ نوگل‌سادات، ۱۳۷۲؛ آقائباتی، ۱۳۸۳) در پهنه زاگرس چین خورده- گسلیده و فارس داخلی قرار دارد. فرگشت ساختاری زاگرس با بازشدگی (Rifting) تئیس جوان در پرمین- تریاس شروع شده و توالی رسوبی آن درحاشیه قاره غیرفعال عربی در ژوراسیک- کرتاسه همراه با توسعه پوسته اقیانوسی تئیس جوان در شمال خاور ایجاد شده است و فرورانش لیئوسفر اقیانوسی تئیس جوان به زیر صفحه ایران مرکزی و جایگیری برکه‌های افیولیت و رادیولاریت بر روی حاشیه ورق عربی در کرتاسه پایانی (Braud and Ricou, 1971; Lanphere and Pamic, 1983; Ricou, 1994;)، (Beck et al., 1996) و برخورد و کوتاه‌شدگی از کرتاسه پایانی تاکنون، شکل کنونی رهاورد برخورد اریب ورق عربی و ایران در سنوزوییک بالایی است (Berberian et al., 1982; Jackson et al., 1995; McQuarri et al., 2003;) Talebian and Jackson, 2004; Authemayou et al., 2006; Navabpour et al., 2008; Agard et al., 2011). کمربند زاگرس بر اثر چین‌خوردگی و روراندگی توالی حوضه جلوی پیشانی (foreland) سنوزوییک و نهشته‌های پالئوزوییک و مزوزوییک در حاشیه صفحه عربی تشکیل شده است (Alavi, 2004;) (Sepeher and Cosgrove, 2004; Agard et al., 2011). بنابراین تاریخچه تکتونیک زاگرس در بردارنده رویدادهای تکتونیک چندگانه بوده (Navabpour, 2009) که نتیجه کشش مزوزوییک و بازشدگی (Rifting) و کوتاه‌شدگی همراه با برخورد صفحه عربی و ایران در سنوزوییک است (Lacombe et al., 2006;) (Navabpour et al., 2007 and 2011; Navabpour and Barrier, 2012; Jentzer et al., 2017). در این تحقیق وضعیت تنش دیرینه در مزوزوییک در حاشیه صفحه عربی با بررسی تکتونیک شکننده و تعیین گسل‌های همزمان با رسوب‌گذاری و قبل از چین‌خوردگی در زاگرس چین خورده- گسلیده در فارس داخلی بازسازی شده است تا با استفاده از روش برگشتی، زمان بازشدگی (Rifting) و

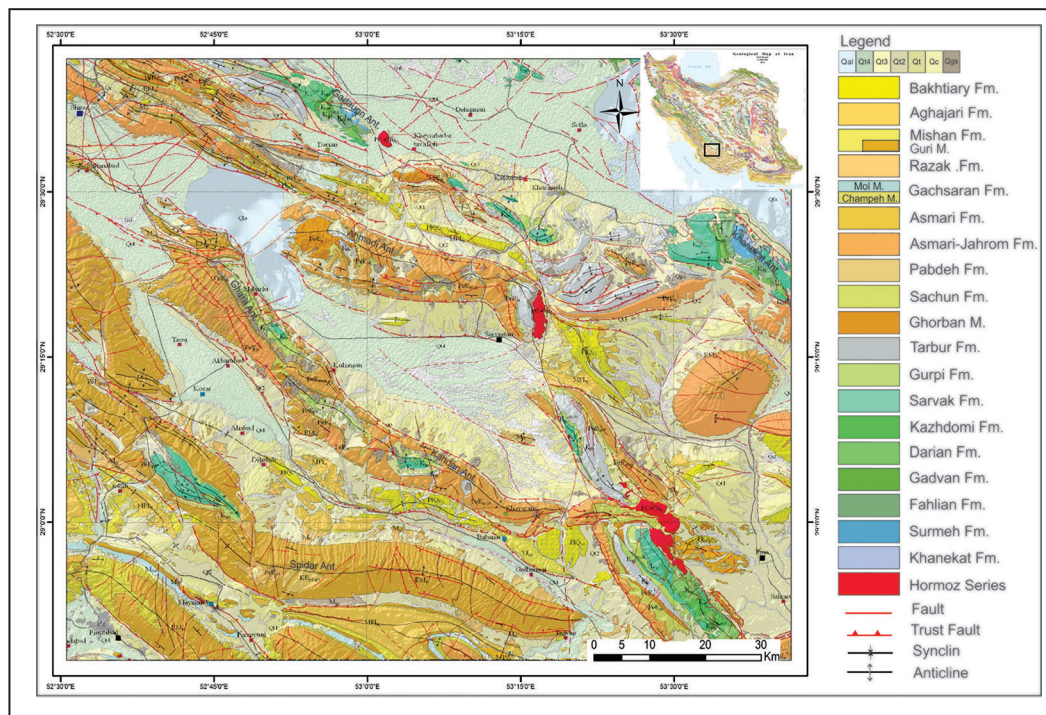
برخورد آن در کرتاسه و پالئوسن ارزیابی شود.

۲- زمین‌شناسی عمومی محدوده

منطقه مورد مطالعه در کمربند زاگرس چین خورده ساده قرار دارد و شامل توالی رسوبی تریاس تا ترشیاری با ضخامت بیش از ۱۰ کیلومتر چین‌خورده در زمان میوسن- پلیوسن (Sherkati and Letouzey, 2004; Homke et al., 2004) است که از جنوب دریاچه بختگان و دشت مرودشت (خاور شیراز) تا دشت زنجیران- فیروزآباد (جنوب خاور شیراز) را دربر می‌گیرد و نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس یک صد هزارم شیراز (عندلیبی و همکاران، ۱۳۸۲)، سروستان (عندلیبی و یوسفی، ۱۳۸۲)، رونیز (یوسفی، ۱۳۸۱)، ارسنجان (یوسفی، ۱۳۸۳) و کوار (عندلیبی و یوسفی، ۱۳۸۹) را شامل می‌شود (شکل ۱). آرایش محور تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها شمال باختر- جنوب خاور با روند چیره 45° تا 70° درجه شمال باختر است. روند‌های چین‌خوردگی از شمار ویژگی‌های مهم در هندسه گسیختگی‌های راندگی است، اثر سازوکار گسل‌های بنیادی، گذشته از پیدایش تغییرات مهم ساختاری در ساختمان‌های چین خورده منطقه، سبب زایش سامانه‌ای از گسل‌های فرعی امتدادلغز نیز شده است. از پدیدارهای ساختاری منطقه می‌توان به تاقدیس‌های کوه خانه‌کت، قره، کهدان (مظفری)، احمدی، گدائون و کوه سپیدار اشاره کرد. اثر سازوکار راندگی در گسیختگی‌های طولی، عاملی کارساز در پیدایش واژگونی و شیب زیاد لایه‌ها در تاقدیس کوه خانه‌کت، قره، کهدان (مظفری) و سپیدار در این گستره بوده و همچنین سبب تمایل سطح محوری این تاقدیس‌ها شده است. سازندهای رخنمون یافته در محدوده مورد بررسی دارای دیرینگی تریاس تا پلیستوسن هستند که سازندهای دولومیت خانه‌کت، دولومیت نریز، دولومیت سورمه، سنگ‌آهک فهلیان، شیل گدوان، سنگ‌آهک داریان، شیل کزدمی، سنگ‌آهک سروک، سنگ‌آهک ایلام، سنگ مارن گورپی، سنگ‌آهک تاربور، سنگ‌آهک عضو قربان، مارن و کنگلومرای ساچون، سنگ مارن پابده، سنگ‌آهک دولومیتی جهرم، سنگ‌آهک آسماری، مارن، گچ و آهک گچساران، مارن و ماسه‌سنگ رازک، مارن، ماسه‌سنگ

دارای سطوح لغزشی و برشی (تکتونیک شکننده) بر اساس داده‌های خوش لغز و دیگر شواهد مهم تعیین کننده جهت تنش) جهت بازسازی تنش دیرین بررسی و تحلیل شده است.

و کنگلومرای آجاجاری و کنگلومرای بختیاری را دربر دارد و همچنین سری هرمز با سن کامبرین، به صورت دیاپیرهای نمکی و دولومیتی در بخش شمالی و شمال خاوری محدوده پروتزد دارند. در این تحقیق واحدهای زمین‌شناسی مزوزوییک



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد بررسی و جایگاه آن در نقشه زمین‌شناسی ایران.

۳- روش مطالعه و بحث

داده‌های لغزش گسلی متعلق به یک رویداد زمین‌ساختی مشخص کرد. به همین دلیل از روش گاوس استفاده شده که یک روش عددی (numerical) است. این روش بر اساس بازگردانی داده‌های لغزش گسلی و یافتن بهترین تانسور (best-fit tensor) تنش استوار است و همچنین نرخ تنش نرمال و برشی روی سطح گسل را محاسبه می‌کند (Zalohar and Vrabec, 2007). فرض اساسی در تنش دیرین این است که بردار لغزش به موازات بیشترین تنش برشی روی صفحه گسلی روی می‌دهد. با این حال به علت پخش شدن‌های (dispersion) طبیعی، جهت لغزش تا حدودی موازی جهت برش نخواهد بود و زاویه α را با آن می‌سازد. α زاویه بین بردار لغزش مشاهده شده بر روی سطح گسل و راستای بیشترین تنش برشی محاسبه شده است.

جهت بازسازی وضعیت تنش دیرینه حاشیه صفحه عربی در مزوزوییک و ارزیابی تنش در زمان بازشدگی (Rifting) و برخورد آن در کرتاسه و پالئوسن در محدوده مورد بررسی، ۲۱ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. پراکندگی ایستگاه‌ها به گونه‌ای است که سازندهای زمین‌شناسی با دیرینگی تریاس تا کرتاسه (مزوزوییک) و پالئوسن را در بردارد. در هر ایستگاه بر اساس شواهد موجود، صفحه‌های گسلی همزمان با رسوب گذاری برداشت شده و سازوکار هر صفحه گسلی با دقت بالا توسط نشانگرهای سوی حرکت از قبیل پله‌های تجمعی کلسیتی، زبر و صیقل بودن صفحه گسلی، شکستگی‌های ریدل، قله‌های استیلولیتی و بازشدگی‌های کششی مشخص شده است. داده‌های برداشت شده شامل شیب و آزیموت جهت شیب لایه‌بندی، شیب و آزیموت جهت شیب صفحه گسلی، زاویه خط خش از افق (Rake)، سازوکار گسل، بررسی توالی رسوبی، تعیین دیرینگی واحد زمین‌شناسی و نوع ساخت تاق‌دییسی و ناودییسی در هر ایستگاه است و در برخی ایستگاه‌ها بازشدگی‌های کششی کلسیتی و استیلولیت از دیگر ساختارهای برداشت شده است. داده‌های برداشت شده غالب ایستگاه‌ها هم دارای ناهمگنی داده‌ها هستند که در این موارد داده‌ها به زیرمجموعه‌های از نظر مکانیکی همگن تقسیم شده است تا میدان‌های

تحلیل‌های تنش دیرین برای مشخص کردن تکامل ساختاری کمربندهای چین خورده به ویژه مناطق دارای تکتونیک شکننده بسیار سودمند هستند (Chang et al., 2003). تعیین جهت تنش با استفاده از داده‌های لغزش گسلی را بازگردانی (inversion) می‌گویند که با روش‌های ریاضی مبتنی بر بازگردانی ارائه شده توسط محققینی بسیاری صورت گرفته است (Carey and Brunier, 1974; Angelier and Goguel, 1979; Angelier, 1984, 1989, 1994 and 2002; Armijo et al., 1982; Yamaji, 2000a and b; Sato and Yamaji, 2006; Otsubo et al., 2006; Zalohar and Vrabec, 2007; Zalohar, 2014). روش‌های ارائه شده توسط این محققین علی‌رغم تفاوت‌هایی در اجرا، همگی بر این فرضیات استوار هستند که بردار لغزش به موازات بیشترین تنش برشی روی صفحه گسلی است (Wallace 1951; Bott, 1959) و لغزش روی هر گسل از قانون کولمب پیروی می‌کند. این قانون در سنگ بکر به شکل $|\tau| = C + \sigma_n \cdot \tan \phi$ و بر روی شکستگی‌های قدیمی به صورت $|\tau| = \sigma_n \cdot \tan \phi$ است (Johnson, 1999). گسل‌ها برهم کنش ندارند؛ لغزش بر روی سطح یک گسل تأثیری بر لغزش بر روی گسل‌های دیگر ندارند؛ میدان تنش که باعث فعالیت این گسل‌ها شده همگن و مستقل از زمان است و در زمان گسلش یکی از محورهای اصلی تنش قائم است (Anderson, 1951). در این تحقیق بررسی‌های دقیق میدانی بر اساس داده‌های لغزش گسلی صورت گرفته و از روش وارون سازی استفاده شده است. مسئله بازگشتی و وارونگی شامل تعیین تانسور اصلی تنش بر اساس جهت‌ها و سوی لغزش بر روی گسل‌های متعدد بوده و فرض اصلی بر این است که هر لغزش گسلی که با خطوط لغزشی مشخص شده است جهت و سوی از تنش برشی را دارد که به تانسور تنش واحد مربوط می‌شود (Angelier, 1994). برداشت داده‌ها خطاهایی را به همراه دارد که در الگوی تنش محلی پراکندگی ایجاد می‌کند و یا اینکه حرکات گسلی می‌تواند بر روی همدیگر تأثیرگذار باشند. از این رو می‌بایست در عمل بهترین جورشدگی را در بین تمام

به صورت خط چین و جهت حرکت صفحه های گسلی به صورت پیکان نازک مشخص شده است که جهت نوک پیکان، سوی حرکت را نمایش می دهد و موقعیت محورهای اصلی تنش با شکل مربع (مربع کوچک: σ_3 ، مربع بزرگ: σ_1 و مربع متوسط: σ_2) نشان داده شده است. در نهایت ایستگاه ها بر اساس واحدهای زمین شناسی یکسان، تفکیک و تحلیل شده اند و جهت تنش دیرین در آنها مشخص و با استفاده از نرم افزارهای Corel Draw X7 خروجی ها پردازش و در نرم افزار Spheri Stat3 نیز نمودار گل سرخی ترسیم شده است. در استریوپلات ها از نیم کره پایینی شبکه اشمیت استفاده شده است.

۳-۱. ایستگاه سازند خانه کت

ایستگاه P33 در رخنمون برش نمونه سازند خانه کت در تاقدیس کوه خانه کت در جنوب دریاچه بختگان و شمال خاور محدوده مورد بررسی قرار دارد (شکل ۲-ب). این سازند شامل تناوب لایه های ضخیم و بسیار ضخیم دولومیت خاکستری تا تیره با سن تریاس بوده و محل ایستگاه در یال جنوب باختری تاقدیس است. ۱۸ گسل نرمال و ۴ گسل امتداد لغز در این ایستگاه برداشت شد. امتداد غالب گسل ها شمال باختر- جنوب خاور است. پس از دسته بندی داده ها، استریوپلات آنها به دست آمد. گسل های نرمال، زمین ساخت کششی را نشان می دهند که جهت غالب کشش $N038^\circ$ است. استریوپلات گسل های امتداد لغز رژیم زمین ساخت راستالغز با جهت فشارش $N046^\circ$ و کشش $N356^\circ$ را نشان می دهد.

تنشی مختلف که معمولاً ناشی از رویدادهای زمین ساختی معجزا (سیستم های کششی، فشارشی و امتداد لغز) هستند از هم تفکیک شوند و بعد از تفکیک فازهای تنش، داده های لغزش گسلی حول امتداد لایه بندی چرخانده شوند تا جهت تنش هنگام افقی بودن لایه به دست آید و یا محورهای تنش به شکل اولیه آنها بازگردانده شود. برای این منظور از نرم افزار T-TECTO5 (Zalohar, 2015) استفاده شده است. در ایستگاه های شماره P43 و P35 دو جهت خط خش در صفحه لغزشی دیده می شود که نشان دهنده تغییر جهت لغزش با گذر زمان است (شکل ۲-الف). این موضوع می تواند به سبب تغییر در جهت محورهای اصلی تنش و یا تغییر در نسبت اختلاف تنش (Φ) و یا هر دو باشد (Ramasay and Lisle, 2000).

در این بررسی، محورهای اصلی تنش ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$)، شکل بیضوی تنش یا مقدار نسبت اختلاف تنش Φ و زاویه α محاسبه شد (جدول ۱). زاویه α برای مقادیر صفر تا 30° قابل قبول است و هر چه میزان آن کمتر باشد، درجه اطمینان بیشتر است (Angelier, 1990). اغلب ایستگاه ها دارای دو یا سه دسته از داده های گسلی دسته بندی شده هستند که گویای سیستم های کششی، فشارشی و امتداد لغز است و گاه داده های یک دسته گسلی به دو زیر گروه تشکیل شده در رویدادهای ساختاری مختلف تقسیم شده اند.

برای تمامی دسته و یا گروه داده های خش لغز در ۲۱ ایستگاه، استریوپلات های واحد ترسیم و جهت تنش به صورت پیکان های توپر و بزرگ، موقعیت لایه بندی



شکل ۲- الف) نمونه گسل نرمال و خش لغز گسلی در سازند خانه کت؛ ب) نمونه ای از دو جهت خط خش در صفحه لغزشی که خش لغز راندگی قدیمی تر از خش لغز راست بر است. پیکان سفید، جهت حرکت فرا دیواره را نشان می دهد.

۳-۲. ایستگاه های سازند سورمه

رنگ است. در ایستگاه P38 ۱۸ گسل برداشت شد. ۱۲ گسل نرمال راستای غالب شمال باختر- جنوب خاور (شکل ۳-الف و ب) دارند که قبل و بعد از افقی کردن لایه، رژیم زمین ساختی کششی با راستای کشش $N052^\circ$ نشان می دهند. در ایستگاه P41 ۱۹ گسل برداشت شد. پس از دسته بندی داده ها تنها یک استریوپلات با ۱۱ گسل نرمال به دست آمد که گویای رژیم کششی با راستای کشش $N015^\circ$ است.

۳-۴. ایستگاه سازند داریان

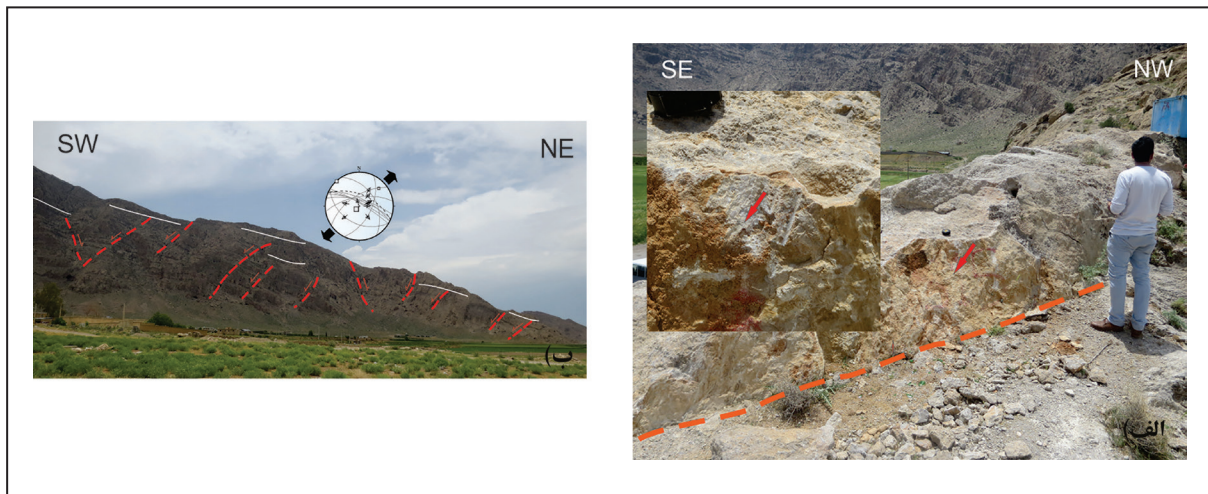
ایستگاه P40 در رخنمون سازند داریان، در یال جنوب باختری تاقدیس کوه گدائون در شمال محدوده مورد بررسی برداشت شده است. این سازند سن کرتاسه پایینی (Albian-Aptian) دارد و شامل تناوب لایه های متوسط تا بسیار ضخیم لایه سنگ آهک خاکستری است. در این ایستگاه ۲۱ گسل برداشت شد.

راستای غالب گسل ها شمال خاور- جنوب باختر و شمال باختر- جنوب خاور است که زاویه بین دو دسته گسل نزدیک به 110° درجه است. پس از دسته بندی و افقی کردن لایه ها یک استریوپلات با رژیم زمین ساختی کششی به دست آمد. راستای کشش $N052^\circ$ است.

ایستگاه های P39 و P42 از سازند سورمه در تاقدیس کوه گدائون در شمال محدوده مورد مطالعه برداشت شده است. سازند سورمه با دیرینگی ژوراسیک میانی و بالایی، دارای تناوب لایه های دولومیتی و سنگ آهک دولومیتی به رنگ خاکستری تیره تا سیاه همراه با سنگواره های لیتوتیس در محل ایستگاه P39 است. در ایستگاه P39 ۱۶ گسل برداشت شد. گسل های نرمال با راستای غالب شمال خاور- جنوب باختر، رژیم زمین ساخت کششی را نشان می دهند که جهت کشش $N070^\circ$ است. گسل های راندگی با راستای شمال خاور- جنوب باختر گویای زمین ساخت فشارشی هستند که جهت فشارش $N149^\circ$ را نشان می دهد. در ایستگاه P42 ۱۹ گسل نرمال برداشت شد که بیانگر رژیم زمین ساخت کششی در جهت شمال خاور- جنوب باختر با جهت کشش $N061^\circ$ است.

۳-۳. ایستگاه های سازند فهلیان

ایستگاه های P38 و P41 از سازند فهلیان در تاقدیس کوه گدائون در شمال محدوده مورد مطالعه برداشت شده است. این سازند دیرینگی کرتاسه پایینی (Neocomian) دارد و شامل تناوب لایه های ضخیم تا بسیار ضخیم سنگ آهک خاکستری تا تیره



شکل ۳- الف) نمایی از خش لغز صفحه لغزشی گسل نرمال؛ ب) دورنمای دسته گسل‌های نرمال همراه با استریوپلات گسل‌های نرمال در سازند فهلیان (خطوط خط چین قرمز، گسل و خطوط سفید ممتد، خط لایه هستند).

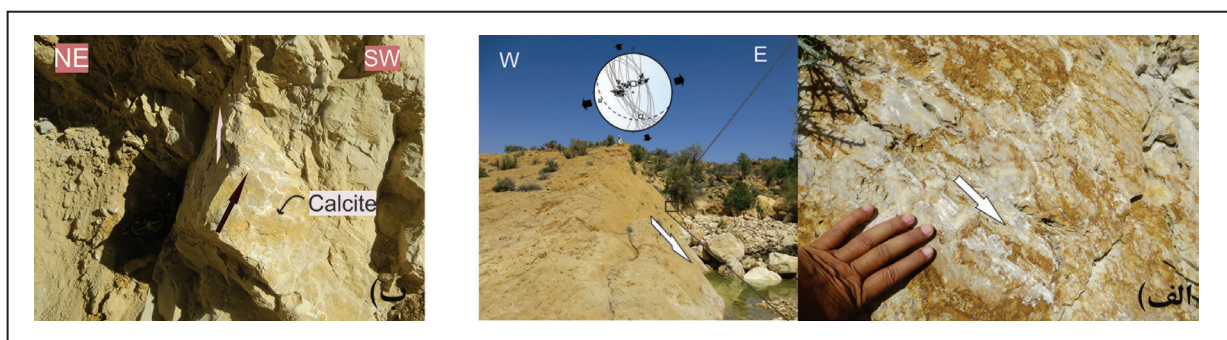
۳-۵. ایستگاه‌های سازند سروک

$348^{\circ}N$ را نشان می‌دهد. استریوپلات گسل‌های راندگی گویای رژیم زمین‌ساخت فشارشی دو سویه است که سوی غالب $78^{\circ}N$ دارد. علت فشارش دو سویه بالا بودن میزان ϕ نسبت به یک (۸ / ۰) است که سبب بالا رفتن احتمال جابه‌جایی بین محوره‌های σ_1 و σ_3 (Hu and Angelier, 2004; Angelier, 1994) و تبدیل حوضه‌هایی به زمین‌ساخت فشارشی دو سویه می‌شود.

ایستگاه P25 در یال جنوب باختری هسته تاقدیس کهدان قرار دارد. در این ایستگاه ۲۵ گسل برداشت شد. راستای غالب گسل‌ها شمال باختر- جنوب خاور است (شکل ۴- الف).

استریوپلات ۱۸ گسل نرمال، زمین‌ساخت کششی دو سویه را نشان می‌دهد که سوی غالب $75^{\circ}N$ دارند. استریوپلات ۶ گسل امتدادلغز، جهت فشارش $71^{\circ}N$ را نشان می‌دهد. ایستگاه P30 در یال شمال خاوری تاقدیس سپیدار قرار دارد. در این ایستگاه ۲۵ گسل برداشت شد. استریوپلات ۱۳ گسل امتدادلغز، زمین‌ساخت فشارشی با راستای $46^{\circ}N$ و استریوپلات ۱۳ گسل معکوس، راستای فشارش $322^{\circ}N$ را نشان می‌دهد.

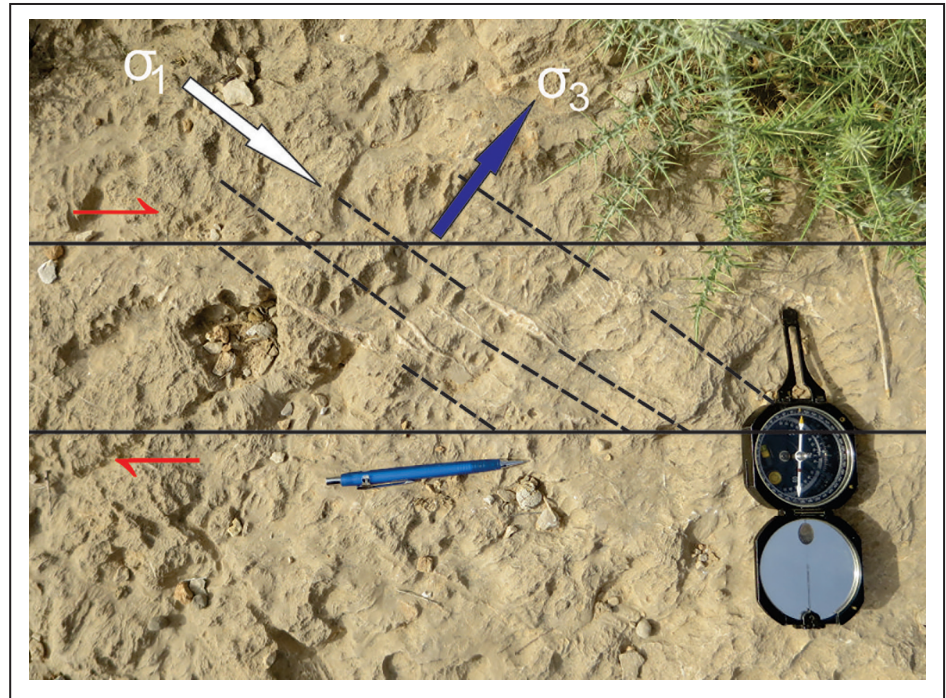
رخمون‌های سازند سروک در تاقدیس‌های کوه خانه‌کت، گدائون، کهدان (مظفری) و سپیدار در محدوده مورد بررسی انتخاب و ایستگاه‌های P14، P25، P30، P35 و P36 از این سازند برداشت شد. این سازند دیرینگی کرتاسه بالایی (Cenomanian- Turonian- Coniacian) دارد. سنگ‌نهشته‌های این سازند شامل تناوب لایه‌های سنگ آهک ضخیم تا بسیار ضخیم به رنگ خاکستری است. ایستگاه P14 در یال جنوب باختری هسته تاقدیس سپیدار برداشت شد. در این ایستگاه ۳۶ گسل برداشت شد که پس از دسته‌بندی و جدایش فازها و افقی کردن لایه، استریوپلات ۱۰ گسل نرمال، رژیم زمین‌ساخت کششی دو سویه و کشش غالب با راستای $050^{\circ}N$ را نشان می‌دهد. علت کشش دو سویه نزدیک بودن میزان ϕ به صفر (۱ / ۰) است که سبب بالا رفتن احتمال جابه‌جایی بین محوره‌های σ_2 و σ_3 (Hu and Angelier, 2004; Angelier, 1994) و تبدیل حوضه‌هایی به زمین‌ساخت کششی دو سویه می‌شود (میرزایی سوزنی و همکاران، ۱۳۹۲). ۱۰ گسل امتدادلغز، استریوپلات a رژیم زمین‌ساخت راستالغز را نشان می‌دهند که جهت کشش ضعیف $061^{\circ}N$ و جهت فشارش $328^{\circ}N$ است. استریوپلات b جهت فشارش $078^{\circ}N$ و کشش



شکل ۴- الف) صفحه گسلی نرمال همراه با استریوپلات گسل‌های نرمال و خطوط خش گسلی در سازند سروک؛ ب) دو صفحه متقاطع گسل راندگی در سازند پابده.

جهت کشش $061^{\circ}N$ را نشان می‌دهد. استریوپلات گسل‌های امتدادلغز گویای فشارش با راستای $064^{\circ}N$ است. استریوپلات گسل‌های راندگی فشارش دو سویه با آزیموت 100° و 10° درجه را نشان می‌دهد. در ایستگاه‌های P35 و P36، درزه‌های کششی برداشت شده (شکل ۵) گویای راستای کشش شمال خاور- جنوب باختر است.

ایستگاه P35 در یال جنوب باختر تاقدیس خانه‌کت برداشت شد. استریوپلات گسل‌های راستالغز این ایستگاه، جهت فشارش $292^{\circ}N$ و کشش $022^{\circ}N$ را نشان می‌دهد. ایستگاه P36 در یال جنوب باختری تاقدیس کوه گدائون قرار دارد. در این ایستگاه ۲۴ گسل برداشت شد. استریوپلات گسل‌های نرمال، زمین‌ساخت کششی با



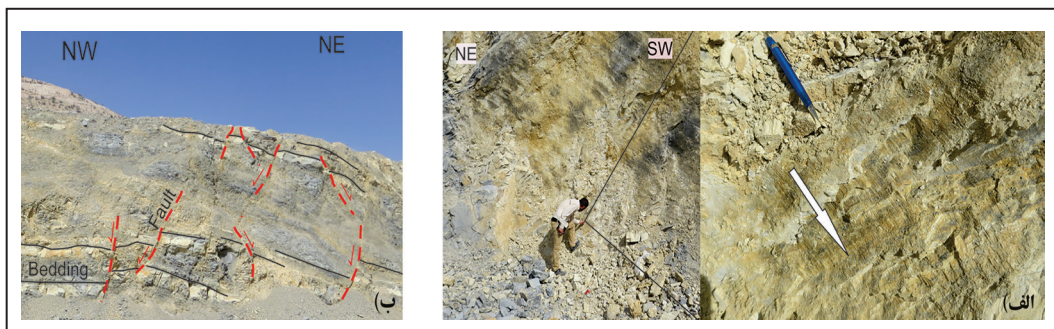
شکل ۵- نمایی از درزه‌های کششی در سازند سروک که تانسور تنش کششی راستای شمال خاور- جنوب باختر را نشان می‌دهد.

۳-۶. ایستگاه سازند ایلام

ایستگاه P13 از سازند ایلام در یال جنوب باختری تاقدیس سپیدار قرار دارد. سازند ایلام شامل تناوب لایه‌های سنگ آهک ضخیم تا بسیار ضخیم لایه به رنگ خاکستری است. دیرینگی سازند ایلام کرتاسه بالایی (Coniacian-Santonian) است. ۳۷ گسل در این ایستگاه برداشت گردید، ۲۰ گسل امتداد لغز، ۶ گسل رانندگی و ۶ گسل نرمال، راستای غالب گسل‌ها شمال باختر- جنوب خاور است. پس از دسته بندی، استریوپلات گسل‌های نرمال زمین ساخت کششی با جهت کشش غالب $N040^\circ$ دارد، استریوپلات گسل امتداد لغز a جهت فشارش $N009^\circ$ و استریوپلات b جهت کشش $N018^\circ$ و جهت فشارش شمال باختر- جنوب خاور را نشان می‌دهد. استریوپلات گسل رانندگی زمین ساخت فشارشی جهت $N007^\circ$ را نشان می‌دهد.

۳-۷. ایستگاه‌های سازند گورپی

از این سازند ۳ ایستگاه P17، P5 و P31 برداشت شد. سازند گورپی با دیرینگی کرتاسه بالایی (Santonian to Maastrichtian)، شامل تناوب لایه‌های متوسط تا بسیار ضخیم سنگ مارن به رنگ خاکستری گراپیده به زرد و آبی است. ایستگاه P5 در یال شمالی تاقدیس کوه کهدان است، در این ایستگاه ۲۷ گسل برداشت شد. استریوپلات



شکل ۶- الف) خطوط خش صفحه گسل نرمال در سازند گورپی؛ ب) نمایی از گسل‌های نرمال در سازند گورپی.

۳-۸. ایستگاه‌های سازند تارپور

تا گراپیده به قهوه‌ای با دیرینگی کرتاسه بالایی (Maastrichtian) است. ایستگاه P6 در یال جنوب باختری تاقدیس کهدان قرار دارد. در این ایستگاه ۲۳ گسل برداشت شد.

ایستگاه‌های P6 و P18 از سازند تارپور برداشت شد. سنگ نهشته‌های این سازند شامل تناوب لایه‌های متوسط تا ضخیم لایه سنگ آهک و سنگ آهک رس دار خاکستری

۳-۱۰. ایستگاه‌های سازند پابده

ایستگاه‌های P4 و P16 از سازند پابده برداشت شد. سازند پابده سنگ‌نهشته‌های ضخیم تا بسیار ضخیم لایه سنگ مارن و در قاعده خود سنگ‌آهک متوسط تا ضخیم لایه دارد. دیرینگی این سازند پالئوسن است. ایستگاه P4 در یال شمال خاوری تاقدیس کهدان (مظفری) قرار دارد. در این ایستگاه ۳۳ گسل برداشت شد. پس از دسته‌بندی و افقی کردن لایه‌ها، استریوپلات گسل‌های امتدادلغز، جهت فشارش غالب $357^{\circ}N$ و کشش ضعیف $87^{\circ}N$ را نشان می‌دهند. استریوپلات گسل‌های راندگی جهت فشارش چیره $45^{\circ}N$ دارند و استریوپلات گسل‌های نرمال قبل از افقی کردن لایه، زمین‌ساخت کششی را نشان می‌دهد و پس از چرخش لایه، رژیم امتدادلغز با جهت فشارش غالب $357^{\circ}N$ و جهت کشش $89^{\circ}N$ دارد.

ایستگاه P16 در یال جنوب باختری تاقدیس سپیدار قرار دارد. در این ایستگاه ۲۵ گسل برداشت شده که شامل ۲۱ گسل امتدادلغز و ۴ گسل راندگی است (شکل ۴-ب) که پس از دسته‌بندی، دو دسته گسل امتدادلغز با استریوپلات‌های a و b مشخص شد. استریوپلات a فشارش غالب $395^{\circ}N$ و استریوپلات b گسل‌های آن پس از چین‌خوردگی است که فشار غالب $17^{\circ}N$ را نشان می‌دهد. استریوپلات گسل راندگی جهت فشارش $002^{\circ}N$ دارد.

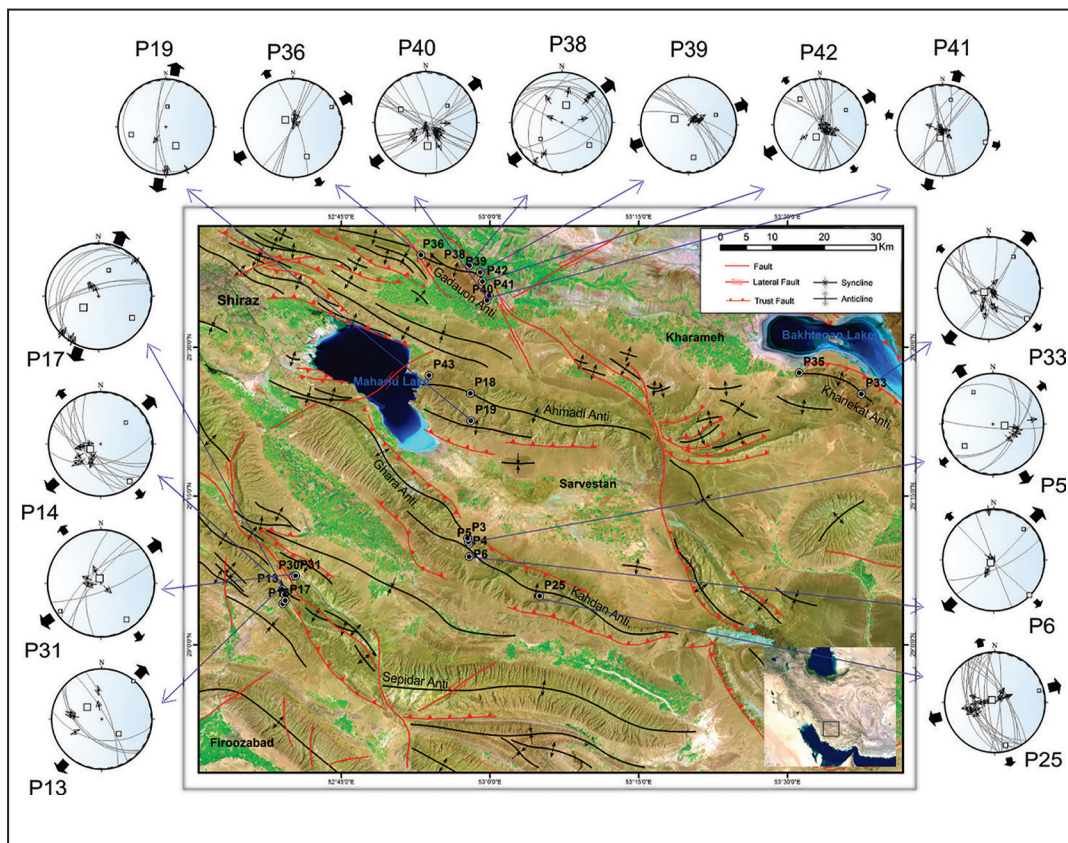
در این پژوهش، اطلاعات مربوط به هر یک از ایستگاه‌ها و نتایج حاصل از استریوپلات‌ها بر اساس دسته‌بندی‌های نرمال (شکل ۷)، امتدادلغز (شکل ۸) و راندگی (شکل ۹) در جدول ۱ آورده شده است.

نمودار گل‌سرخ‌ی مربوط به جهت رژیم‌های زمین‌ساختی فشارشی (شکل ۱۰-الف) و کششی (شکل ۱۰-ب) ترسیم و در نهایت ستون تکنونواستراتیگرافی زمان مزوزوییک همراه با بازسازی تنش دیرین به روش برگشتی (شکل ۱۱) مشخص شد.

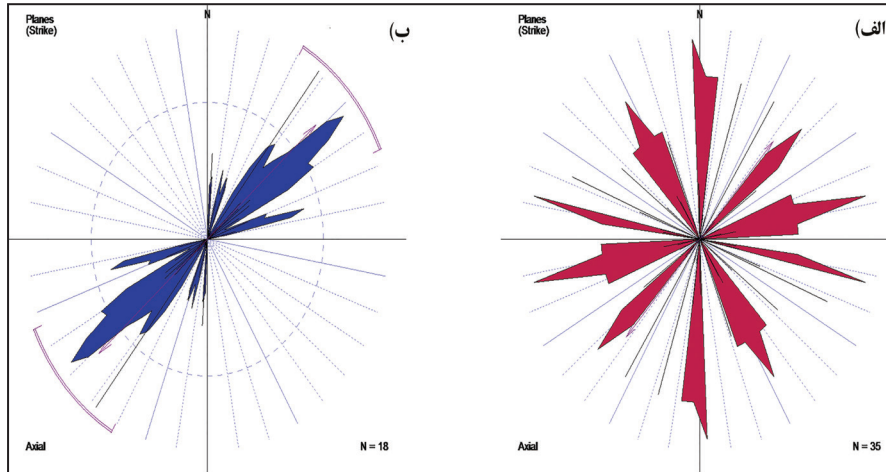
گسل‌های امتدادلغز دو دسته گسلی را نشان می‌دهند، استریوپلات دسته a گسل‌های امتدادلغز، جهت فشارش $358^{\circ}N$ و جهت کشش $91^{\circ}N$ و استریوپلات b، فشارش غالب $102^{\circ}N$ و کشش $06^{\circ}N$ دارند. استریوپلات گسل‌های راندگی فشارش $102^{\circ}N$ و کشش شمال خاور و استریوپلات گسل‌های نرمال، رژیم کششی دو سویه با کشش غالب $40^{\circ}N$ را نشان می‌دهند. ایستگاه P18 در هسته تاقدیس احمدی قرار دارد. در این ایستگاه ۲۶ گسل برداشت شد، شیب لایه در این ایستگاه صفر و لایه‌ها افقی هستند. استریوپلات گسل‌های امتدادلغز، جهت کشش غالب $77^{\circ}N$ و فشارش ضعیف $346^{\circ}N$ را نشان می‌دهد. استریوپلات گسل‌های راندگی، رژیم فشارشی دو سویه در جهت $10^{\circ}N$ و $99^{\circ}N$ را دارد.

۳-۹. ایستگاه‌های عضو قربان از سازند ساچون

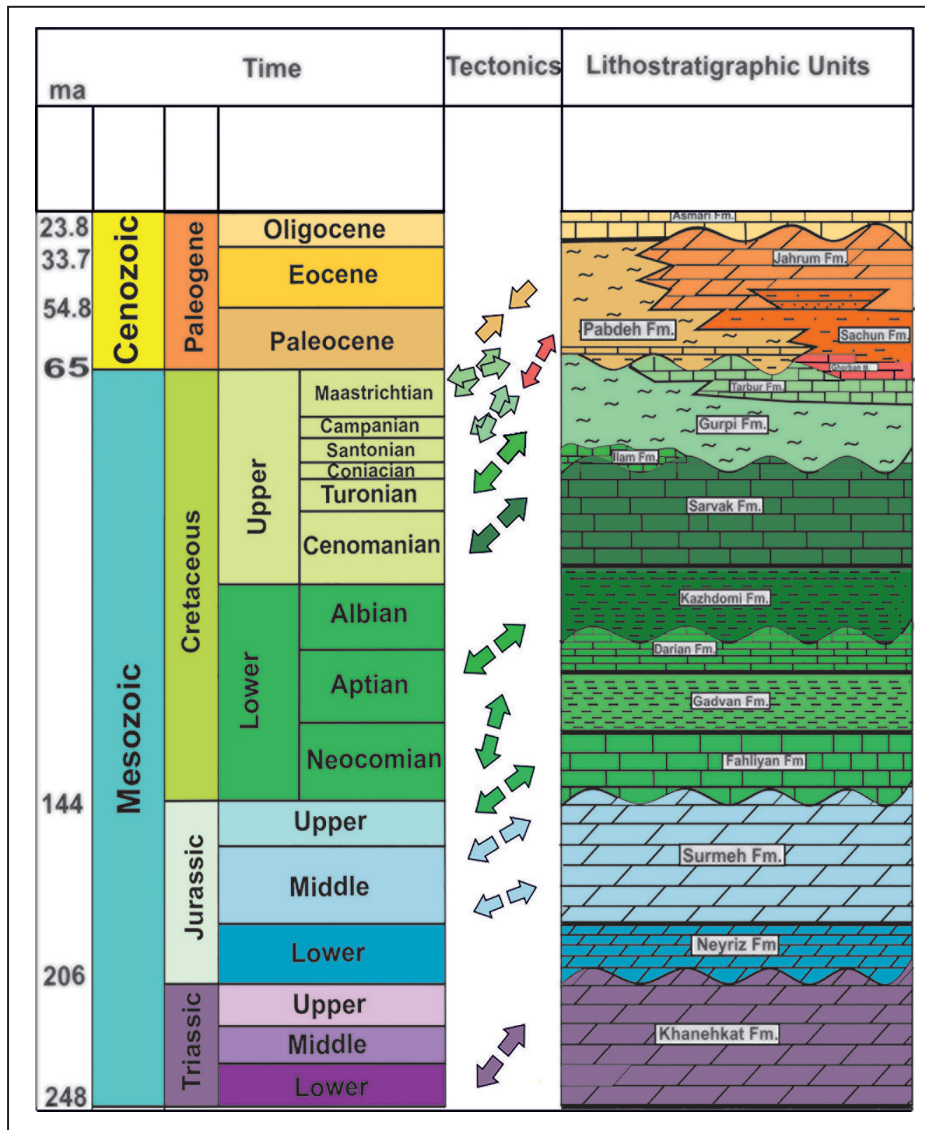
ایستگاه‌های P19 و P43 از عضو قربان برداشت شد. عضو قربان بخش آهکی قاعده سازند ساچون و در بردارنده تناوب لایه‌های سنگ‌آهک و آهک رس دار خاکستری تا گراپیده به زرد و دیرینگی کرتاسه بالایی تا پالئوسن در تاقدیس احمدی است. ایستگاه P19 در یال جنوب باختری تاقدیس احمدی است که ۲۳ گسل در این ایستگاه برداشت شد. گسل‌های امتدادلغز در استریوپلات a جهت کشش غالب $359^{\circ}N$ و فشار $92^{\circ}N$ و استریوپلات b جهت فشارش $000^{\circ}N$ و کشش $94^{\circ}N$ را نشان می‌دهند. استریوپلات گسل‌های نرمال جهت کشش غالب نزدیک به شمالی- جنوبی ($004^{\circ}N$) را نشان می‌دهد. ایستگاه P43 در یال شمال خاوری تاقدیس احمدی قرار دارد. در این ایستگاه ۳۴ گسل برداشت شد. استریوپلات دسته a گسل‌های امتدادلغز، رژیم امتدادلغز با راستای غالب کشش $034^{\circ}N$ و فشارش $123^{\circ}N$ و استریوپلات b، راستای فشارش غالب $054^{\circ}N$ را نشان می‌دهند. استریوپلات گسل‌های راندگی، زمین‌ساخت فشارشی با راستای غالب فشارش $066^{\circ}N$ و استریوپلات گسل‌های نرمال رژیم زمین‌ساخت با جهت غالب کشش $041^{\circ}N$ را نشان می‌دهند.



شکل ۷- استریوپلات‌های دسته‌های گسلی نرمال پس از چرخش و جایگاه آنها در عکس نقشه ساختاری محدوده مورد بررسی که گویای زمین‌ساختی کششی در جهت شمال خاور- جنوب باختر است.



شکل ۱۰- الف) نمودار گل‌سرخ‌ی راستاهای محور σ_1 که جهت رژیم فشارشی را در جهت‌های شمال- جنوب، خاور شمال خاور- باختر جنوب باختر، شمال باختر- جنوب خاور نشان می‌دهد که در غالب زمان‌ها تکرار شده‌اند و راستای شمال خاور- جنوب باختر که مربوط به زمان پالئوسن است، ب) نمودار گل‌سرخ‌ی راستاهای محور σ_3 که گویای جهت غالب کشش در راستای شمال خاور- جنوب باختر در محدوده مورد بررسی است.



شکل ۱۱- ستون تکتونواستراتیگرافی زمان مزوزوییک همراه با بازسازی تنش دیرین به روش برگشتی در نهشته‌های مزوزوییک (جهت پیکان‌های از هم دور شده، رژیم زمین‌ساخت کششی و جهت پیکان‌های به هم نزدیک شده فشارش را نشان می‌دهند و رنگ پیکان‌ها گویای سازند زمین‌شناسی مورد نظر است).

جدول ۱- وضعیت ایستگاه‌ها، موقعیت آنها و شیب و امتداد لایه و محورهای اصلی تنش پس از چرخش (nT: تعداد برداشت، n: تعداد داده مورد پردازش، Φ : شکل بیضی تنش و α : زاویه بین بردار لغزش مشاهده شده بر روی سطح گسل و راستای بیشترین تنش برشی).

Site	Latitude (N°)	Longitude (E°)	Bedding /Strike (Dip(deg)	nT	n	Fault Type	Formation	Age	σ_1 Strike/ Dip (deg)	σ_2 Strike/ Dip (deg)	σ_3 Strike/ Dip (deg)	Φ	misfits (deg)
P4	29°10'22"	52°57'49"	112/71NE	33	13	N	Pabdeh	Paleocene	357/12	212/76	089/08	0.3	12
P5	29°10'10"	52°57'52"	138/34NE	27	6	N	Gurpi	Upper Cre.	097/64	232/20	329/17	0.1	6
P6	29°08'53"	52°57'53"	118/07SW	23	5	N	Tarbur	Upper Cre.	228/81	134/01	044/09	0.2	28
P13	29°05'35"	52°39'03"	047/17NW	27	6	N	Ilam	Upper Cre.	309/48	131/42	040/01	0.1	11
P14	29°05'04"	52°39'17"	146/27SW	36	10	N	Sarvak	Upper Cre.	243/64	142/05	050/25	0.1	11
P17	29°04'27"	52°39'21"	139/42SW	34	8	N	Gurpi	Upper Cre.	234/51	123/16	021/34	0.5	8
P19	29°21'49"	52°58'23"	084/46SW	23	4	N	Ghorban	Cre.-Paleoc.	152/42	258/17	004/44	0.4	17
P25	29°04'54"	53°05'00"	111/21SW	25	18	N	Sarvak	Upper Cre.	310/81	166/07	075/05	0.1	7
P31	29°06'57"	52°40'23"	147/27NE	28	5	N	Gurpi	Upper Cre.	346/79	145/10	236/04	0.1	8
P33	29°25'17"	53°37'26"	129/17SW	19	12	N	Khanehkat	Triassic	229/76	129/02	038/14	0.2	19
P36	29°39'17"	52°53'01"	153/14SW	24	5	N	Sarvak	Upper Cre.	318/65	154/24	061/06	0.1	6
P38	29°38'14"	52°57'55"	113/52NE	18	10	N	Fahliyan	Lower Cre.	015/51	129/19	232/33	0.4	16
P39	29°37'33"	52°59'00"	069/21NW	16	8	N	Surmeh	Jurassic	293/55	171/21	070/27	0.5	12
P40	29°34'43"	52°59'42"	097/37SW	21	17	N	Darian	Lower Cre.	176/40	298/32	052/33	0.1	12
P41	29°35'13"	52°59'54"	103/35SW	19	11	N	Fahliyan	Lower Cre.	199/69	105/02	015/21	0.1	14
P42	29°36'37"	52°59'14"	099/30SE	19	14	N	Surmeh	Jurassic	197/59	322/19	061/23	0.2	12
P4	29°10'22"	52°57'49"	112/71NE	33	9	DS	Pabdeh	Paleocene	152/59	005/27	267/15	0.1	13
P5(a)	29°10'10"	52°57'52"	138/34NE	27	11	DS	Gurpi	Upper Cre.	136/01	044 / 62	227 / 28	0.2	9
P5(b)	29°10'10"	52°57'52"	138/34NE	27	5	DS	Gurpi	Upper Cre.	211/02	115/72	302/18	0.5	8
P6(a)	29°08'53"	52°57'53"	118/07SW	23	8	DS	Tarbur	Upper Cre.	358/08	248/68	091/21	0.3	16
P6(b)	29°08'53"	52°57'53"	118/07SW	23	6	DS	Tarbur	Upper Cre.	102/25	253/62	006/12	0.4	8
P13(a)	29°05'35"	52°39'03"	047/17NW	27	12	DS	Ilam	Upper Cre.	189/13	031/77	280/05	0.1	14
P13(b)	29°05'35"	52°39'03"	047/17NW	27	5	DS	Ilam	Upper Cre.	111/39	018/03	285/51	0.1	5
P14(a)	29°05'04"	52°39'17"	146/27SW	36	10	DS	Sarvak	Upper Cre.	328/27	061/05	161/62	0.1	15
P14(b)	29°05'04"	52°39'17"	146/27SW	36	4	DS	Sarvak	Upper Cre.	078/02	189/85	348/05	0.5	7
P16(a)	29°04'08"	52°39'06"	110/55SW	25	12	DS	Pabdeh	Paleocene	359/29	266/04	168/61	0.2	17
P16(b)	29°04'08"	52°39'06"	110/55SW	25	6	DS	Pabdeh	Paleocene	197/12	293/23	082/63	0.3	8
P17(a)	29°04'27"	52°39'21"	139/42SW	34	10	DS	Gurpi	Upper Cre.	033/17	232/72	124/06	0.1	10
P17(b)	29°04'27"	52°39'21"	139/42SW	34	8	DS	Gurpi	Upper Cre.	129/26	007/47	236/31	0.2	17
P17(c)	29°04'27"	52°39'21"	139/42SW	34	4	DS	Gurpi	Upper Cre.	078/14	246/76	347/13	0.3	15
P18	29°25'21"	52°58'00"	282/0000	26	20	DS	Tarbur	Upper Cre.	346/02	249/72	077/18	0.8	15
P19(a)	29°21'49"	52°58'23"	094/46SW	23	11	DS	Ghorban	Cre.-Paleoc.	092/07	195/61	358/28	0.6	14
P19(b)	29°21'49"	52°58'23"	084/46SW	23	5	DS	Ghorban	Cre.-Paleoc.	000/23	207/65	094/10	0.6	16
P25	29°04'54"	52°05'00"	111/21SW	25	6	DS	Sarvak	Upper Cre.	071/01	147/50	347/38	0.4	15
P30	29°06'55"	52°40'10"	137/31NE	28	9	DS	Sarvak	Upper Cre.	226/13	163/56	341/34	0.1	13
P31(a)	29°06'57"	52°40'23"	147/27NE	28	16	DS	Gurpi	Upper Cre.	016/13	222/76	108/06	0.6	16
P31(b)	29°06'57"	52°40'23"	147/27NE	28	6	DS	Gurpi	Upper Cre.	260/23	095/66	353/06	0.5	7
P33	29°25'17"	52°37'26"	129/17SW	19	4	DS	Khanehkat	Triassic	266/01	168/83	356/07	0.1	6
P35	29°39'17"	52°53'01"	137/21SW	14	10	DS	Sarvak	Upper Cre.	292/04	202/04	069/84	0.1	10
P36(a)	29°39'17"	52°53'01"	153/14SW	24	9	DS	Sarvak	Upper Cre.	244/09	098/79	335/06	0.6	17

ادامه جدول ۱

Site	Latitude (N°)	Longitude (E°)	Bedding /Strike (Dip(deg)	nT	n	Fault Type	Formation	Age	σ_1 Strike/Dip (deg)	σ_2 Strike/Dip (deg)	σ_3 Strike/Dip (deg)	Φ	misfits (deg)
P36(b)	29°39'17"	52°53'01"	153/14SW	24	5	DS	Sarvak	Upper Cre.	333/02	064/16	236/74	0.3	4
P43(a)	29°27'09"	52°53'51"	115/21NE	34	11	DS	Ghorban	Cre.-Paleoc.	123/16	313/74	214/03	0.5	12
P43(b)	29°27'09"	52°53'51"	115/21NE	34	6	DS	Ghorban	Cre.-Paleoc.	234/42	333/10	073/46	0.1	18
P4	29°10'22"	52°57'49"	112/71NE	33	5	I	Pabdeh	Paleocene	045/08	135/02	239/82	0.1	4
P6	29°08'53"	52°57'53"	118/07SW	23	4	I	Tarbur	Upper Cre.	102/25	008/08	261/64	0.7	12
P13	29°05'35"	52°39'03"	047/17NW	27	6	I	Ilam	Upper Cre.	187/35	088/13	341/52	0.8	10
P14	29°05'04"	52°39'17"	146/27SW	36	6	I	Sarvak	Upper Cre.	078/02	348/23	173/67	0.8	19
P16	29°04'08"	52°39'06"	110/55SW	25	4	I	Pabdeh	Paleocene	002/02	272/24	097/66	0.2	12
P18	29°25'21"	52°58'00"	272/0000	26	4	I	Tarbur	Upper Cre.	099/23	190/02	284/67	0.9	3
P30	29°06'55"	52°40'10"	137/31NE	28	11	I	Sarvak	Upper Cre.	322/02	052/12	222/78	0.7	11
P36	29°29'17"	52°53'01"	153/14SW	24	4	I	Sarvak	Upper Cre.	280/01	190/03	036/87	0.9	4
P39	29°37'33"	52°59'00"	069/21NW	16	4	I	Surmeh	Jurassic	149/23	056/08	308/66	0.5	9
P43	29°27'09"	52°53'51"	115/21NE	34	10	I	Ghorban	Cre.-Paleoc.	246/14	152/15	018/69	0.9	14

۴- نتیجه گیری

تغییرات راستای فشارش رژیم زمین‌ساخت فشارشی که در ارتباط با قبل از، همزمان با و بعد از چین خوردگی است، در راستاهای شمالی- جنوبی تا ۱۰ درجه شمال باختر یا شمال خاور، شمال باختر- جنوب خاور، خاور شمال خاور- باختر جنوب باختر و خاور جنوب خاور- باختر شمال باختر، در غالب زمان‌ها از تریاس تا پالئوسن دیده می‌شود (دیاگرام گل‌سرخشی جهت σ_1) که گویای فازهای جوان‌تر از پالئوسن است. چنان‌که راستاهای شمالی- جنوبی تا ۱۰ درجه شمال باختر یا شمال خاور مربوط به فازهای آلپ پایانی و زمان حال است. در نهایت چنین استنباط می‌شود که در زاگرس چین خورده- گسلیده در فارس داخلی زمان بازشدگی (Rifting) ایجاد اقیانوس تیس جوان تریاس و یا زمان قدیمی‌تر از آن (پرمین) و شروع رژیم زمین‌ساخت فشارشی آن در پالئوسن است.

نتایج حاصل از بازسازی وضعیت تنش دیرینه به روش برگشتی، به صورت استریوپلات‌های به دست آمده بر سطح عکس نقشه ساختاری و در ستون تکتونواستراتیگرافی در بازه زمانی تریاس تا پالئوسن ترسیم شده است. به گونه‌ای که از تریاس تا کرتاسه بالایی (Mastrichtian) در سازندهای خانه‌کت تا تارپور و قاعده عضو قربان از سازند ساچون، رژیم زمین‌ساخت کششی غالب است و راستای شمال خاور- جنوب باختر را نشان می‌دهد و با توجه نمودار گل‌سرخشی ترسیم شده بر اساس داده‌های σ_3 ، میانگین راستا نزدیک به $N052^\circ$ است. در سازند پابده با دیرینگی پالئوسن، رژیم زمین‌ساختی فشارشی شده و راستای تنش فشارشی شمال خاور- جنوب باختر است. بر اساس استریوپلات‌های ترسیم شده، در معکوس‌شدگی جهت تنش، راستای جهت تنش کششی و فشارشی تغییر محسوسی ندارد و راستای فشارش در پالئوسن $N045^\circ$ است.

کتابنگاری

- آفانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی کشور، ۶۴۰ ص.
- عندلیبی، م. ج. و یوسفی، ط.، ۱۳۸۲- نقشه زمین شناسی با مقیاس یک صد هزارم سروستان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- عندلیبی، م. ج. و یوسفی، ط.، ۱۳۸۹- نقشه زمین شناسی با مقیاس یک صد هزارم کوار، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- عندلیبی، م. ج.، اویسی، ب. و یوسفی، ط.، ۱۳۸۲- نقشه زمین شناسی با مقیاس یک صد هزارم شیراز، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- میرزایی سوزنی، م.، شهیدی، ع.، رمضانی اومالی، ر. و علیزاده صوری، ف.، ۱۳۹۲- تحلیل کشش در حوضه رسوبی گروه شمشک (دره بلده، البرز مرکزی). فصلنامه علوم زمین، بهار ۹۴، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵، ص. ۳۹ تا ۴۸ (زمین ساخت).
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- مقدمه ای بر زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نوگل سادات، م. ح.، ۱۳۷۲- نقشه تکتونیک ایران، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- یوسفی، ط.، ۱۳۸۱- نقشه زمین شناسی با مقیاس یک صد هزارم رونیز، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- یوسفی، ط.، ۱۳۸۳- نقشه زمین شناسی با مقیاس یک صد هزارم ارسنجان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B. and Wortel, R., 2011- Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine* 148, 692- 725.
- Alavi, M., 1991- Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnant in NE Iran, *Geol.*
- Alavi, M., 2004- Regional stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust Belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science* 304, 1-20.
- Anderson, E. M., 1951- The dynamic of faulting, 2nd edn. Edinburgh, Oliver and Boyd, p 133147
- Angelier, J. and Goguel, J., 1979- Sur uneméthode simple de détermination des axes principaux des contraintes pour une population de failles. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris (D)* 288, 307-310.
- Angelier, J., 1984- Tectonic analyses of fault slip data sets. *Journal of Geophysical Research*, 89, 5835-5848.
- Angelier, J., 1989- From orientation to magnitudes in paleostress determinations using fault slip data. *J. Struct. Geol.* 11 (1/2), 37-50.
- Angelier, J., 1990- Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress III. A new rapid direct inversion method by analytical means. *Geophysical Journal International*, 103, 363-376.
- Angelier, J., 1994- Fault-slip analysis and palaeostress reconstruction. In: Hancock, P.L. (Ed.), *Continental Deformation*. Pergamon Press, 53-100.
- Angelier, J., 2002- Inversion of earthquake focal mechanisms to obtain the seismotectonic stress IV-a new method free of choice among nodal planes. *Geophysical Journal International* 150, 588- 609.
- Armijo, R., Carey, E. and Cisternas, A., 1982- The inverse problem in microtectonics and the separation of tectonic phases. *Tectonophysics*, 82, 145- 160.
- Authemayou, C., Chardon, D., Bellier, O., Malekzadeh, Z., Shabanian, E. and Abbassi, M. R., 2006- Late Cenozoic partitioning of oblique plate convergence in the Zagros fold-and-thrust belt (Iran). *Tectonics*, 25, TC3002, doi:10.1029/2005TC001860.
- Beck, A., Burbank, D. W., Sercombe, W. J., Khan, A. M. and Lawrence, R. D., 1996- Late Cretaceous ophiolite obduction and Paleocene India-Asia collision in the westernmost Himalaya. *Geodinamica Acta*, 9, 114- 144.
- Berberian, F., Muir, I. D., Pankhurst, R. J. and Berberian, M., 1982- Late Cretaceous and early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *Journal of the Geological Society, London*, 139, 605- 614.
- Bott, M. H. P., 1959- The mechanics of oblique slip faulting. *Geological Magazine* 96(2), 109-117.
- Braud, J. and Ricou, L. E., 1971- L'accident du Zagros ou Main Thrust un charriage et un coulissement. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 272, 203- 206.
- Carey, E. and Brunier, B., 1974- Analyse théoretique et numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué a l'étude d'une population de failles, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris* D279, 891- 894.
- Chang, C. P., Angelier, J., Lee, T. G. and Huang, C., 2003- From continental margin extension to collision orogeny: structural development and tectonic rotation of the Hengchun peninsula, southern Taiwan, *Tectonophysics*, 361, 61- 82.
- Homke, S., Verge's, J., Garce's, M., Emami, H. and Karpuz, R., 2004- Magnetostratigraphy of Miocene-Pliocene Zagros foreland deposits in the front of the Push-e Kush Arc (Lurestan Province, Iran). *Earth and Planetary Science Letters*, 225, 3970- 410.
- Hu, J. C. and Angelier, J., 2004- Stress permutations: Three-dimensional distinct element analysis accounts for a common phenomenon in brittle tectonics, *J. Geophys. Res.*, 109, B09403, doi:10.1029/2003JB002616.

- Jackson, J. A., Haines, J. and Holt, W., 1995- The accommodation of Arabian– Eurasia plate convergence in Iran. *Journal of Geophysical Research*, 100, 15205-15219.
- Jentzer, M., Fournier, M., Agard, Ph., Omrani J., Khatib M. M. and Whitechurch, H., 2017- Neogene to Present paleostress field in Eastern Iran (Sistan belt) and implications for regional geodynamics. *Tectonics* DOI.1002/2016TC004275. Vol, D.36, pp. 321- 339.
- Lacombe, O., Mouthereau, F., Kargar, Sh., and Meyer, B., 2006- Late Cenozoic and modern stress fields in the western Fars (Iran): implications for the tectonic and kinematic evolution of central Zagros. *Tectonics* 25, TC1003.
- Lanphere, M. A. and Pamic, J., 1983- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages and tectonic setting of ophiolite from the Neyriz area, southeast Zagros range, Iran. *Tectonophysics*, 96, 245- 256.
- McQuarrie, N., Stock, J. M., Verdel, C. and Wernicke, B. P., 2003- Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophysical Research Letters*, 30, 2036, doi:10.1029/2003GL017992.
- Navabpour, P. and Barrier, E., 2012- Stress states in the Zagros fold-and-thrust belt from passive margin to collisional tectonic setting. *Tectonophysics* 581, 76- 83.
- Navabpour, P., 2009- Brittle tectonics and palaeostress reconstructions in the Zagros: passive palaeo-margin and continental collision. PhD thesis, University of Nice–Sophia Antipolis.
- Navabpour, P., Angelier, J. and Barrier, E., 2007- Cenozoic post-collisional brittle tectonic history and stress reorientation in the High Zagros Belt (Iran, Fars Province). *Tectonophysics* 432, 101- 131.
- Navabpour, P., Angelier, J. and Barrier, E., 2008- Stress state reconstruction of oblique collision and evolution of deformation partitioning in W Zagros (Iran, Kermanshah). *Geophysical Journal International*, 175, 755- 782.
- Navabpour, P., Angelier, J. and Barrier, E., 2011- Brittle tectonic reconstruction of palaeo-extension inherited from Mesozoic rifting in West Zagros(Kermanshah, Iran). *Journal of the Geological Society, London*, Vol, 168, pp, 979- 994.
- Otsubo, M., Sato, K. and Yamaji, A., 2006- Computerized identification of stress tensor determined from heterogeneous fault-slip data by combining the multiple inverse method and K-means clustering. *Journal of Structural Geology*, 28, 991- 997.
- Ramsay, J. G. and Lisle, R. J., 2000- *The Techniques of Modern Structural Geology. Vol. 3: Fault slip Analysis and Stress Tensor Calculations*, Academic Press. PP.758-810.
- Ricou, L. E., 1994- Tethys reconstructed: plates, continental fragments and their boundaries since 260 Ma from Central America to Southeastern Asia. *Geodynamica Acta*, 7, 169- 218.
- Sato, K. and Yamaji, A., 2006- Embedding stress difference in parameter space for stress tensor inversion. *Journal of Structural Geology*, 28: 957- 971.
- Sepehr, M. and Cosgrove, J. W., 2004- Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology* 21, 829- 43.
- Sherkati, S. and Letouzey, J., 2004- Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21, 535- 554.
- Talebian, M. and Jackson, J. A. 2004- A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. *Geophysical Journal International* 156, 506- 26.
- Wallace, R. E., 1951- Geometry of shearing stress and relation to faulting. *Journal of Geology*, 59(2), 118- 130.
- Yamaji, A., 2000a- Multiple inverse method applied to mesoscale faults in mid Quaternary sediments near the triple trench junction off central Japan. *J Struct Geol* 22:429- 440.
- Yamaji, A., 2000b- The multiple inverse method: a new technique to separate stresses from heterogeneous fault-slip data. *J Struct Geol* 22:441- 452.
- Žalohar, J. and Vrabec, M., 2007- Paleostress analysis of heterogeneous fault-slip data: the Gauss method. *Journal of Structural Geology* 29(11), 1798- 1810.
- Žalohar, J., 2014- Explaining the physical origin of Båth's law. *Journal of Structural Geology* 60, 1- 16.
- Zalohar, J., 2015- On a new law of faulting along tectonic wedges: Gust explanation of the preferred (paleo) stress states in the Earth's crust, *Journal of Structural Geology*, 77: 107- 125.

Paleostress Reconstruction of Mesozoic deposits In Interior Fars Area (E-SE of Shiraz)

T. Yousefi¹, K. Yazdjerdi^{2*}, M. Ghorashi³ and A. R. Shahidi⁴

¹Ph.D. Student, Department of Earth Sciences, Islamic Azad University, Shiraz Branch and Fars Science and Research Branch Shiraz, Iran

²Assistant Professor, Department of Earth Sciences, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran

³Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

⁴Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2017 August 31

Accepted: 2017 December 27

Abstract

The brittle tectonic history expresses different tectonic events in the Zagros Simply Folded Belt. Consequence of Mesozoic extension, rifting and the shortening derived from the Cenozoic Eurasia – Arabia collision. In order to reconstruction the ancient tensions in the Mesozoic deposits in the east and south-east of Shiraz, geometry and kinematics of the faults data simultaneously with sedimentation was investigated using the inversion method, to evaluated rifting time, the former of Neo-Tethys and its collisions in Cretaceous and Paleocene. In this regard 21 stations have been exposed in Khanekat to Pabdeh Formations. The resulted geometry and kinematics of the faults data were calculated situation main tension axes (σ_1 , σ_2 , σ_3), tension ellipsoid figure or ratio of difference (Φ). The results are as follows: from Triassic to upper Cretaceous (Mastrichtian) in Khanekat, Surmeh, Fahlian, Darian, Sarvak, Ilam, Gurpi, Tarbur Formations and Ghorban Member; extensional tectonic regime was dominant and having NE-SW direction (N052°) but in Pabdeh Formation with Paleocene age, tectonic regime has changed into compression with NE-SW compressional stress direction (N045°). So it was concluded that in simply folded Zagros of interior Fars, time of rifting and the forming of Neo-Tethyan basin was Triassic or older (Permian) with NE-SW extensional direction. The beginning of compressional tectonic regime with the same direction has been in Paleocene.

Keywords: Zagros Simply Folded, Ancient tension, Inversion method, Mesozoic deposit, Brittle tectonic.

For Persian Version see pages 53 to 64

*Corresponding author: K. Yazdjerdi; E-mail:kyazdi@yahoo.com