

# شناخت تغییرات میدان تنش سنوزوئیک با استفاده از تحلیل زمین ساخت شکننده در زاگرس چین خورده ساده (گستره شیراز)

طهمورت یوسفی<sup>۱</sup>، کورس یزدجردی<sup>۲</sup>، منوچهر قرشی<sup>۲</sup>، علیرضا شهیدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکترا، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز و واحد علوم تحقیقات فارس، شیراز، ایران

<sup>۲</sup>استادیار، گروه علوم زمین، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

<sup>۳</sup>دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

<sup>۴</sup>دکترا، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶

## چکیده

شکل کنونی زاگرس چین خورده، حاصل برخورد اریب ورق عربی و ایرانی در سنوزوئیک بالایی می‌باشد. در این پژوهش، تغییرات میدان تنش سنوزوئیک در کمربند چین خورده ساده زاگرس و تکامل ساختاری پس از برخورد، در گستره شیراز مورد ارزیابی قرار گرفته است. سازندهای زمین شناسی مورد بررسی، در بازه زمانی کرتاسه بالایی تا نئوژن (سنوزوئیک بالایی) است. در این راستا داده‌های صفحه گسلی و خش لغزها، سطوح انحلال فشاری و دیگر شواهد زمین ساختی و چینه‌شناختی در ۳۰ ایستگاه برداشت گردید و وضعیت محورهای اصلی تنش ( $\sigma_3$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_1$ ) برای دسته داده‌های تفکیک شده به روش برگشتی، محاسبه شد. نتایج حاصل از بازسازی تنش دیرین، رژیم زمین ساخت فشاری و امتداد لغز را حاکم در سنوزوئیک است و چرخش پادساعت گرد نزدیک به ۶۰ درجه، مسیر اصلی تنش فشاری در طول زمان است چنانکه جهت بیشینه تنش اصلی ( $\sigma_1$ ) پیش از چین خوردگی جهتی نزدیک به N60E دارد و زمان آن میوسن و قبل از آن می‌باشد در حالی که جهت تنش هم‌زمان با چین خوردگی N35E است و سن هم ارز سازند بختیاری قدیمی و پلیوسن دارد، تغییرات تنش بیشینه پس از چین خوردگی جهت N20E را نشان می‌دهد که هم ارز سنی بختیاری جوان و کواترنری (پلئستوسن) است و در ادامه تا کنون راستای نزدیک به شمالی - جنوبی در گستره تأثیر گذار می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** کمربند چین خورده ساده زاگرس، روش برگشتی، سنوزوئیک، سطوح انحلال فشاری، زمین ساخت شکننده.

E-mail: kyazdi@yahoo.com

\*نویسنده مسئول: کورس یزدجردی

## ۱- مقدمه

ساختاری آن با فرورانش لیتوسفر اقیانوسی تیسس جوان به زیر صفحه ایران مرکزی در تریاس - ژوراسیک می‌باشد (Berberian and King, 1981)، جایگیری برگه‌های افیولیت و رادیولاریت بر روی حاشیه ورق عربی در کرتاسه پایانی (Braud and Ricou, 1971; Lanphere and Pamic, 1983; Ricou, 1994;) و برخورد و کوتاه‌شدگی از کرتاسه پایانی تاکنون صورت گرفته است. شکل کنونی زاگرس حاصل برخورد اریب ورق عربی و ایرانی در سنوزوئیک بالایی می‌باشد (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).

گستره مورد بررسی در کمربند چین خورده ساده زاگرس و فارس داخلی قرار دارد (Nabavi, 1976; Alavi, 1991)؛ نوگل سادات، ۱۳۷۲، نبوی (۱۳۵۵)؛ Hessami et al., 2001؛ آقاباتی، ۱۳۸۳؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۸۴؛ Sarkerinejad and Heibati, 2016; Sudi Ajirlu et al., 2016 (شکل ۱). این محدوده بخش‌های خاوری شیراز (از تاقدیس گدائون در شمال شهر داریون) تا جنوب خاوری شیراز (تا تاقدیس میمند در شمال فیروزآباد) را شامل می‌شود و بخش‌هایی از نقشه‌های زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، آباده طشک (یوسفی و کارگر، ۱۳۷۹)، رونیز (یوسفی، ۱۳۸۱)، شیراز (عندلیبی، اویسی و یوسفی، ۱۳۸۲)، ارسنجان (یوسفی، ۱۳۸۳)، سروستان (عندلیبی و یوسفی، ۱۳۸۴) و نقشه کوار (عندلیبی و یوسفی، ۱۳۸۹) را در بر می‌گیرد. آرایش محور تاقدیس‌ها و ناودیس‌های منطقه، شمال باختر - جنوب خاور با روند چیره ۴۵ تا ۷۰ درجه شمال باختر است. از شمار پدیده‌های ساختاری منطقه می‌توان به تاقدیس‌های گدائون، احمدی، مظفری (قره و کهدان)، سپیدار و تاقدیس میمند در شمال فیروزآباد اشاره کرد. سازوکار راندگی، عاملی کارساز در پیدایش واژگونی و شب زیاد لایه‌ها در تاقدیس قره، کهدان و سپیدار در این گستره بوده و همچنین سبب تمایل سطح محوری این تاقدیس‌ها شده است.

کمربند زاگرس در اثر چین خوردگی و روراندگی توالی حوضه جلوی پیشانی (foreland) سنوزوئیک و نهشته‌های پالئوزوئیک و مزوزوئیک در حاشیه ورق عربی تشکیل شده است (Sepehr and Cosgrove, 2004; Alavi, 2004) (Agard et al., 2011). تحلیل‌های تنش دیرین برای مشخص کردن تکامل ساختاری اینچنین کمربند‌های چین خورده بویژه مناطق دارای زمین ساخت شکننده بسیار سودمند هستند. (Chang et al., 2003) به کمک نشانگرهای جنبش شناختی (Kinematic) مربوط به دگرریختی‌های نسبی قدیمی (Paleostrain) می‌توان وضعیت تنش‌های دیرین مسبب هر مرحله دگرریختی را تعیین نمود (Navabpour et al., 2007). مطالعه تنش دیرین پیدا کردن تئسور تنش است که مسبب لغزش بر روی گسل‌های موجود در یک ناحیه است (Angelier, 1994;) (Twiss and Unruh, 1998)، که بر اساس روش‌های ریاضی برگشتی ارائه شده توسط محققینی چون (Carey and Brunier, 1974; Angelier, 1979, 1984, 1989, 1994) (Armijo et al., 1982; Yamaji, 2000 a,b; Sato and Yamaji, 2006; Otsubo et al., 2006 (Zalohar and Vrabec, 2007; Zalohar, 2014) صورت گرفته است.

در این تحقیق بررسی‌های دقیق میدانی بر اساس داده‌های لغزش گسلی صورت گرفته است و فرض اصلی بر این است که هر لغزش گسلی که با خطوط لغزشی مشخص شده است جهت و سویی از تنش برشی را دارد که به تانسور تنش واحد مربوط می‌شود (Angelier, 1994b). این اطلاعات بیانگر تاریخچه زمین جنبشی یک گستره یا عبارتی تنش دیرین است. هدف از این تحقیق تحلیل داده‌های زمین ساخت شکننده در زیرپهنه زاگرس چین خورده (گستره شیراز) در بازه زمانی سنوزوئیک، به منظور شناخت تغییرات میدان تنش پس از برخورد می‌باشد.

## ۲- زمین شناسی محدوده

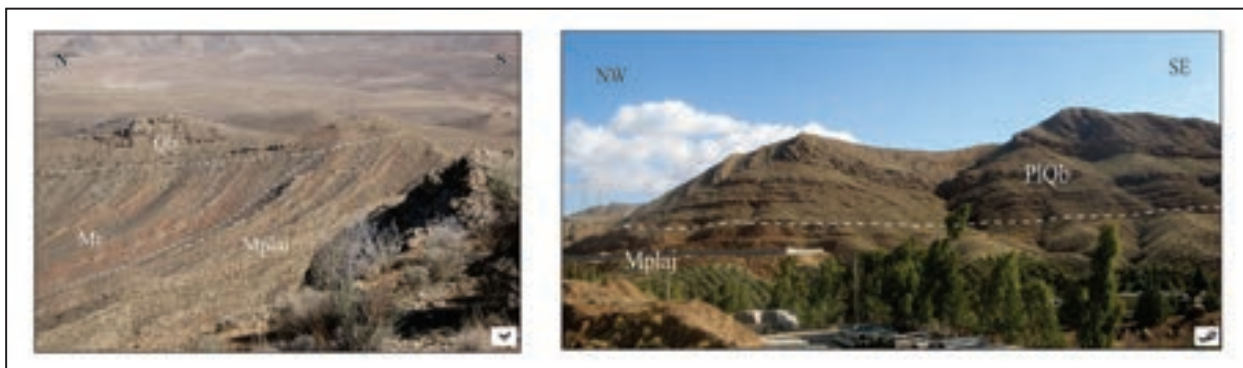
کوهزاد زاگرس از برخورد ورق ایرانی و عربی ایجاد شده است که شروع تکامل

پیشانی دگرریختی به سوی جنوب باختری پیشروی کرده است. در کمربند چین خورده ساده، دگرریختی از پایان ائوسن آغاز شده و کمربند چین و راندگی به گونه‌ای مرحله‌ای، هر بار با افزوده شدن تعدادی چین فعال گسترش یافته است (Hessami et al., 2001). پس از به پایان رسیدن چرخه رسوب گذاری واحد مارنی گچساران و رازک، طی یک پیشروی مارن‌های میشان تشکیل و در ادامه با کاهش تدریجی ژرفای حوضه رسوبگیر و پسروی آب در میوسن بالایی، عاملی اساسی در تغییر رژیم رسوبگذاری و چیرگی محیط دلتایی و ماندندی و در ادامه آن تشکیل توالی رسوبی سازندهای آجاجاری و بختیاری بوده است (مطیعی، ۱۳۷۳) و سرانجام فاز فشاری پس از میوسن سبب چین خوردگی‌های ملایم زاگرس در قالب‌های تاقدیسی و ناودیسی گردیده است (Hessami et al., 2001)، در این راستا همبری بالایی واحد آجاجاری با سازند کنگلومرای بختیاری، تدریجی است (شکل ۲- الف) و اساسی‌ترین ناپوستگی و دگرشیبی در سازند بختیاری و در بخش زیرین و بالایی آن در پیوستگی با اثر رویداد کوهزایی ایجاد شده است، چنانکه بخش زیرین با نام بختیاری قدیمی (PIQb) و بخش بالایی با نام بختیاری جوان (Qb) مشخص شده است (مطیعی، ۱۳۷۳، نقشه زمین شناسی رونیز (یوسفی، ۱۳۸۱). بختیاری جوان (Qb) با بخش‌های زیرین خود (بختیاری قدیمی (PIQb) و دیگر سازندهای قدیمی تر از آن) دگرشیب است (شکل ۲- ب)، لایه‌های بختیاری جوان دارای شیب کم و کج شدگی است که می‌توان آن را ناشی از بالآمدگی زاگرس، طی زمان کوتاه‌تری دانست.

تکامل ساختاری زاگرس طی کرتاسه بالایی، توسط بسته شدن تیسس جوان و برخورد ورق عربی - ایرانی کنترل شده است، در کرتاسه بالایی، سازند گورپی به تقریب تمام حوضه زاگرس را باتوجه به خمش ورق عربی که به دنبال جایگیری افیولیت‌ها بوده است می‌پوشاند و تغییرات در حوضه رسوبی و ایجاد پستی و بلندی‌های نواری و بدنبال آن تغییرات رخساره‌ای در واحد گورپی و ساچون و همچنین حذف شدگی تدریجی سازند تاربور و در نهایت ایجاد همبری بی‌هنجار واحدهای تاربور و ساچون (در واحد زمانی مشابه) ادامه می‌یابد. بعد از بالا آمدگی افیولیت‌ها، نهشته‌های ائوسن با یک ناپوستگی زاویه دار در زاگرس مرتفع تشکیل شده است که گویای تغییر منطقه‌ای در رخساره رسوبگذاری از دریای باز تا محیط قاره‌ای است (James and Wynd, 1965; Berberian and King, 1981 و مطیعی، ۱۳۷۳). در محدوده مورد بررسی، طی پالتوسن و ائوسن یکی از عناصر ساختاری اصلی حوضه جلوی پیشانی زاگرس، گسله پیشانی کوهستان بوده که نقش مهمی در کنترل رسوبگذاری ترشیری داشته است (Hessami et al., 2001) (شکل ۱). این گسله حوضه زاگرس را به دو بخش تقسیم کرده که یکی در شمال خاور با نهشته‌های آواری و کربناتی و دیگری در جنوب باختر با نهشته‌های عمیق‌تر (شیل‌های پابده) مشخص می‌شود. در الیگوسن نهشته‌های آهک کم عمق دریایی سازند آسماری بصورت ناپوسته در بالای سازند جهرم و در بخش‌های جنوبی محدوده مورد بررسی به صورت تدریجی بر سازند پابده قرار گرفته است. نخستین حرکات فشارشی در زاگرس، در کرتاسه پسین و به دنبال فرورانش پوسته اقیانوسی تیسس جوان و برخورد اولیه صفحه‌های ایران و عربی بوده است (Ricou et al., 1977). با ادامه همگرایی



شکل ۱- محدوده مورد بررسی در نقشه پهنه‌ها و زیر پهنه‌های زاگرس مرکزی (تغییر یافته Hessami et al., 2001، یوسفی و همکاران ۱۳۸۴).

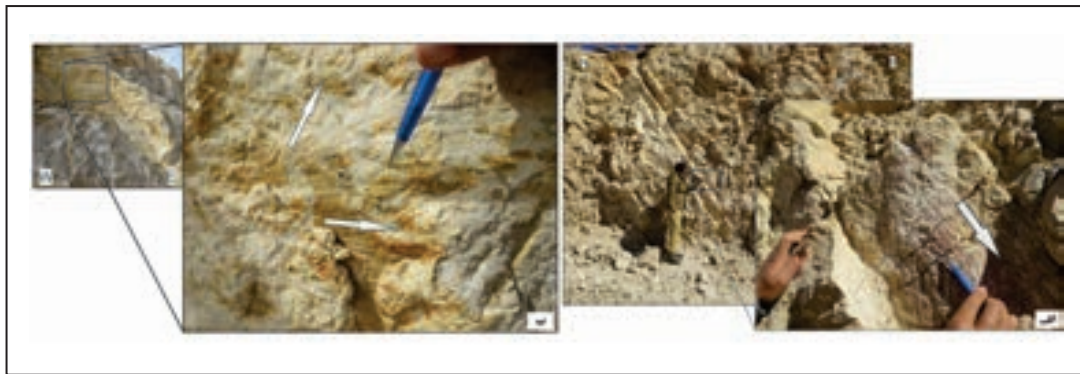


شکل ۲- الف) مرز هم شیب سازند بختیاری قدیمی و آجاجاری. ب) مرز دگرشیبی واحد بختیاری جوان با سازندهای رازک و آجاجاری.

### ۳- روش مطالعه و بررسی داده‌ها

چین خوردگی رخ می‌دهند (Lacombe et al., 2006)، خش لغزهای موازی لایه‌بندی روی گسل‌های شیب‌دار عمود بر لایه، گویای رخداد پیش از چین خوردگی است (شکل ۳ - الف) و در نهایت مشخص کردن ترتیب زمانی رخدادها بر اساس ارتباط هندسی آنها نسبت به هم دیگر است چنانکه در ایستگاه P36، درزه کششی در لایه سنگ‌آهک ایجاد شده و سپس توسط گسل راندگی بریده شدن است و یا در ایستگاه P35 یک صفحه گسلی، دو دسته خش لغز غیر همسوی راست‌الغز و راندگی را نشان می‌دهد (شکل ۳- ب) که بر اساس شواهد سطح گسل، حرکت راندگی قدیمی‌تر از امتداد لغز رخ داده است و نشان دهنده تغییر جهت لغزش با گذر زمان است، این موضوع می‌تواند به تغییر در جهت محورهای اصلی تنش باشد (Ramsay and Lisle, 2000).

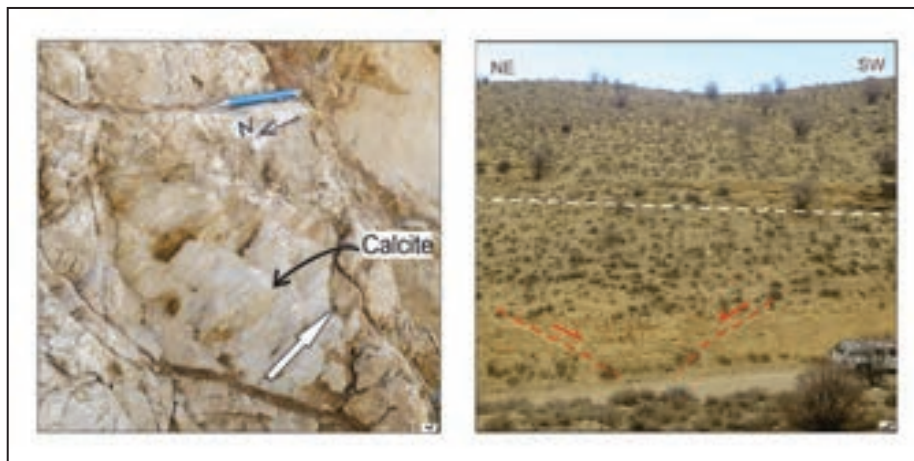
مطالعه تنش دیرین پیدا کردن تنسور تنش است که مسبب لغزش بر روی گسل‌های موجود در یک ناحیه است (Angelier, 1994; Twiss and Unruh, 1998). در این راستا اولین مرحله در تحلیل تنش دیرین، گردآوری داده‌های کمی و کیفی لغزش گسلی در مقیاس متوسط (Mesoscale) و کوچکتر (Small-scale) بر اساس برداشت‌های میدانی و رابطه سنی میان گسلش و چین خوردگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. برای شناخت سن نسبی داده‌های لغزش گسلی و ارتباط آنها با چین خوردگی علاوه بر استفاده از سن سازندهای زمین شناسی در هر ایستگاه، از شواهد مختلف دیگر استفاده شده است، بطور مثال: صفحات گسلی عمود بر لایه بندی، پیش از چین خوردگی می‌باشد (Navabpoure et al., 2007; Shahidi, 2008)، گسل‌های کوچک مقیاس (Small-scale) در لایه‌های شیب‌دار بطور غالب قبل از



شکل ۳- الف) خش لغزهای موازی لایه‌بندی روی گسل‌های شیب‌دار عمود بر لایه در ایستگاه P19، ب) خش لغز راست‌الغز چپ بر و راندگی در یک صفحه لغزشی که گسل راست‌الغز پس از راندگی شکل گرفته است، در ایستگاه P35.

شکستگی‌های ریدل، قله‌های استیلولیتی، باز شدگی‌های کششی مشخص شده است. دومین مرحله در تحلیل، محاسبه تنسور تنش بر اساس وارون‌سازی یا روش برگشتی است، که در این پژوهش از نرم‌افزار T-TECTO 5 (Zalohar, 2015) استفاده شده است، این نرم‌افزار بر اساس برنامه T-Tecto 1.0, 2.0 می‌باشد که اولین بار توسط Angelier (1979, 1984) پایه‌گذاری شده است و (Zalohar 2009) مدل جدیدتر آن را T-TECTO 3.0 و در نهایت T-TECTO 5 را در سال ۲۰۱۵ با قابلیت‌های بیشتری نسبت به سه مدل قبلی، ارائه داده است. این نرم‌افزار بر اساس روش چند گانه (Multiple Slip Method)، سامانه‌های گسلی ناهمگن را به چند زیر سامانه همگن تقسیم کرده و مفهوم بهترین تنسور تنش را در بر می‌گیرد.

در این راستا جهت بازسازی وضعیت تنش دیرین در حاشیه شمال خاوری ورق عربی در سنوزوئیک و ارزیابی تنش در زمان برخورد در کرتاسه و پالئوسن و در نهایت چین خوردگی در محدوده مورد بررسی، در ۳۰ ایستگاه، داده‌های خش لغز گسلی، در باز دیده‌های میدانی، برداشت شد. پراکندگی ایستگاه‌ها به گونه ایست که سازندهای زمین‌شناسی سروک، گورپی و تاربور، ساجون، پابده، جهرم، آسماری، گچساران، رازک و میشان را شامل می‌شود. در هر ایستگاه بر اساس شواهد موجود ساختار شکننده، صفحه‌های گسلی همزمان با رسوبگذاری و افقی بودن لایه (شکل ۴- الف)، مشخص و سازوکار هر صفحه گسلی با دقت بالا توسط نشانگرهای سوی حرکت از قبیل پله‌های تجمعی کلسیتی (شکل ۴- ب)، زبر و صیقل بودن صفحه گسلی،



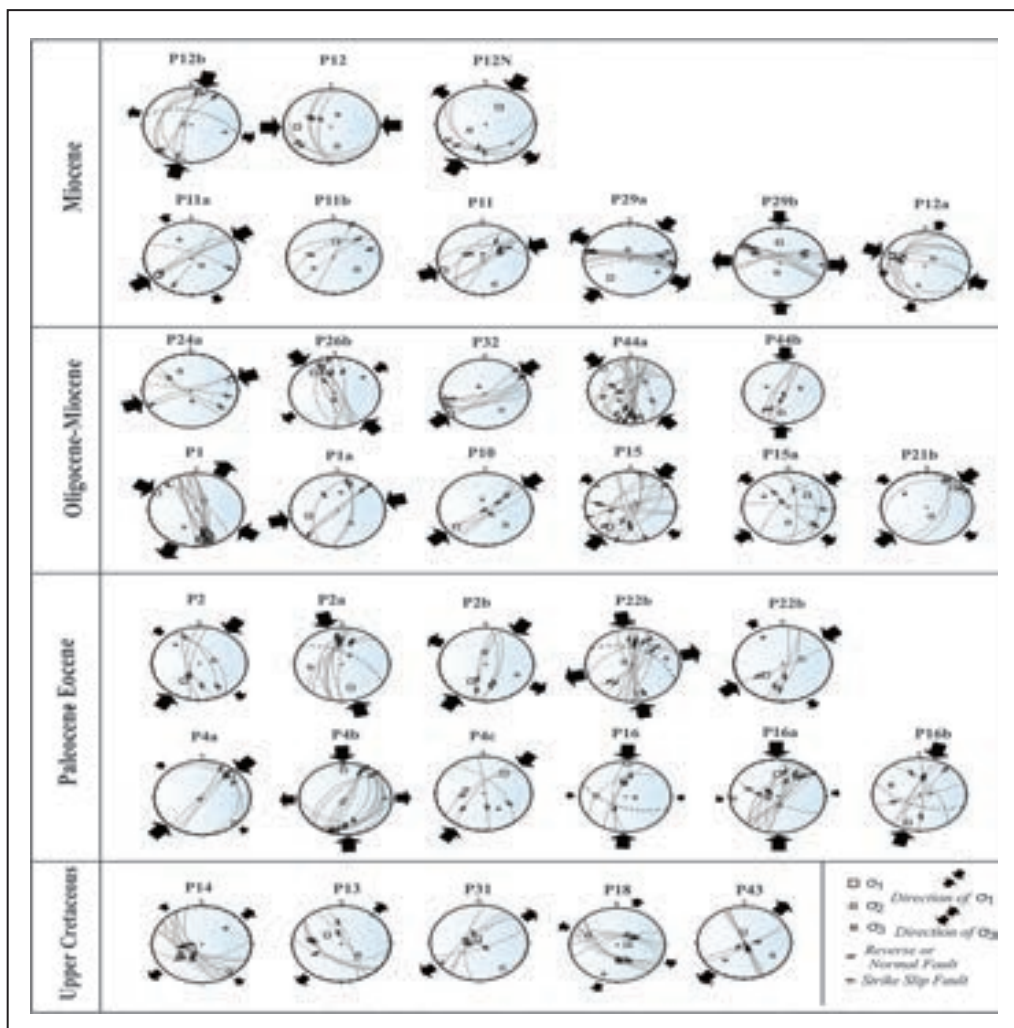
شکل ۴- الف) نمایی از گسل نرمال همزمان با رسوبگذاری در ایستگاه P6، بدون تأثیر بر لایه‌های بالایی خود که با خط چین سفید مشخص شده است، ب) پله‌های ناشی از رشد کلسیت در صفحه گسل راندگی در سازند آسماری.

مشخص شده است، موقعیت محورهای اصلی تنش، با شکل مربع کوچک موقعیت  $\sigma_3$ ، مربع بزرگ  $\sigma_1$  و مربع متوسط  $\sigma_2$  را نشان می‌دهد. در نهایت ایستگاه‌ها بر اساس واحدهای زمین‌شناسی و زمانی، تفکیک و تحلیل شده‌اند و وضعیت جهت تنش دیرین و روند تنش بیشینه ( $\sigma_1$ ) در رژیم‌های زمین ساختی فشاری و امتدادلغز و روند تنش کمینه ( $\sigma_3$ ) در رژیم زمین ساخت کششی، مشخص شده است.

### ۳-۱. میوسن

سازندهای زمین‌شناسی در بازه زمانی میوسن در محدوده مورد بررسی شامل سازندهای گچساران، رازک و میشان است که در بخش‌های جنوبی محدوده رخنمون دارند و به ترتیب ایستگاه‌های P11, P12, P29. از این سازندها برداشت شده است. در این ایستگاه‌ها، داده‌های لغزش گسلی بطور غالب گسل‌های امتدادلغز و راندگی است که تحت تأثیر تنش‌های وارده در منطقه ایجاد شده است، بیش از ۷۳ داده لغزش گسلی از این ایستگاه‌ها برداشت شده است و پس از دسته بندی و افقی کردن لایه‌ها، استریوپلات‌های آنها توسط نرم‌افزار ترسیم گردید، چنانکه رژیم‌های زمین ساخت امتدادلغز و فشاری از داده‌های لغزش گسلی در سازند میشان (شکل ۶- الف)، رازک و گچساران به دست آمده است (شکل ۶- ب). آزمون جهت بیشینه تنش اصلی ( $\sigma_1$ ) در استریوپلات‌های به دست آمده در سازند میشان، آزمون‌های ۳۰، ۱۹۴، ۲۹۲ و ۲۶۹ درجه می‌باشد (جدول ۱)، در سازند رازک جهت بیشینه تنش، آزمون ۳۵۹ و ۲۱۹ درجه و در سازند گچساران، راستای فشارش غالب آزمون ۲۳۸ و ۲۵۱ درجه برآورد شده است.

داده‌های برداشت شده در هر ایستگاه، شامل شیب و آزمون جهت شیب لایه‌بندی، شیب و آزمون جهت شیب صفحه گسلی، زاویه خط‌خش از افق (Rake)، سازوکار گسل، بررسی توالی رسوبی، تعیین دیرینگی واحد زمین‌شناسی و نوع ساخت تاقدیسی و ناودیسی در هر ایستگاه می‌باشد و در برخی ایستگاه‌ها بازشدگی‌های کششی کلسیتی و استیلولیت از دیگر ساختارهای برداشت شده است. در بیشتر ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه، داده‌های برداشت شده ناهمگن بوده و الگوی پیچیده‌ای را نشان می‌دهند که در این موارد داده‌ها، به زیر مجموعه‌هایی که از نظر مکانیکی همگن هستند تقسیم شده است، تا میدان‌های تنش مختلف که بطور معمول ناشی از رویدادهای زمین ساختی چند مرحله‌ای (Navabpour et al., 2007; Navabpour and Barrier, 2012; Lacombe et al., 2006) (سیستم‌های کششی، فشارشی و امتدادلغز) هستند از هم تفکیک شوند و پس از تفکیک در نرم‌افزار، جداگانه وارد می‌شود و نرم‌افزار، نوع رژیم زمین ساختی و وضعیت جهت تنش، محورهای اصلی تنش ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ )، شکل بیضی تنش یا مقدار نسبت اختلاف تنش  $\Phi$  و زاویه  $\alpha$  (زاویه بین بردار لغزش مشاهده شده بر روی سطح گسل و راستای بیشترین تنش برشی محاسبه شده می‌باشد) را برآورد و برای دسته‌های داده‌های تفکیک شده، به صورت استریوپلات‌های مختلف نمایش می‌دهد (شکل ۵) (جدول ۱). در هر استریوپلات، جهت تنش بصورت پیکان‌های توپر، موقعیت لایه‌بندی به صورت خط چین و جهت حرکت صفحه‌های گسلی بصورت پیکان نازک جهت نوک پیکان، سوی حرکت را نمایش می‌دهد،



شکل ۵- جهت تنش‌های وارده و رژیم‌های زمین ساختی به دست آمده در محدوده مورد بررسی است.



شکل ۶- الف) پله‌های حاصل از رشد کلسیت در صفحه گسل راندگی در عضو گوری در قاعده سازند میشان، ب) خش لغز صفحه گسلی چپ بر همراه با پله‌های ناشی از رشد کلسیت در سازند گچساران،

جدول ۱- وضعیت ایستگاه‌ها، موقعیت آنها و شیب و امتداد لایه و محورهای اصلی تنش پس از چرخش، تعداد برداشت  $\sigma_1$ ، تعداد داده مورد پردازش  $n$ ، شکل بیضی تنش  $\Phi$  و  $\alpha$  یا زاویه misfits زاویه بین بردار لغزش مشاهده شده بر روی سطح گسل و راستای بیشترین تنش برشی محاسبه شده است.

| Site   | Fault Type | Fm.     | $\sigma_1$ Strike/Dip (deg) | $\sigma_2$ Strike/Dip (deg) | $\sigma_3$ Strike/Dip (deg) | $\Phi$ | misfits (deg) | Site | Fault Type | Fm.     | $\sigma_1$ Strike/Dip (deg) | $\sigma_2$ Strike/Dip (deg) | $\sigma_3$ Strike/Dip (deg) | $\Phi$ | misfits (deg) |
|--------|------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|---------------|------|------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|---------------|
| P4     | DS         | Pabdeh  | 152/59                      | 005/27                      | 267/15                      | 0.1    | 13            | P4   | N          | Pabdeh  | 357/12                      | 212/76                      | 089/08                      | 0.3    | 12            |
| P5(a)  | DS         | Gurpi   | 136/01                      | 044/62                      | 227/28                      | 0.2    | 9             | P5   | N          | Gurpi   | 097/64                      | 232/20                      | 329/17                      | 0.1    | 6             |
| P5(b)  | DS         | Gurpi   | 211/02                      | 115/72                      | 302/18                      | 0.5    | 8             | P6   | N          | Tarbur  | 228/81                      | 134/01                      | 044/09                      | 0.2    | 28            |
| P6(a)  | DS         | Tarbur  | 358/08                      | 248/68                      | 091/21                      | 0.3    | 16            | P13  | N          | Ilam    | 309/48                      | 131/42                      | 040/01                      | 0.1    | 11            |
| P6(b)  | DS         | Tarbur  | 102/25                      | 253/62                      | 006/12                      | 0.4    | 8             | P14  | N          | Sarvak  | 243/64                      | 142/05                      | 050/25                      | 0.1    | 11            |
| P13(a) | DS         | Ilam    | 189/13                      | 031/77                      | 280/05                      | 0.1    | 14            | P17  | N          | Gurpi   | 234/51                      | 123/16                      | 021/34                      | 0.5    | 8             |
| P13(b) | DS         | Ilam    | 111/39                      | 018/03                      | 285/51                      | 0.1    | 5             | P19  | N          | Ghorban | 152/42                      | 258/17                      | 004/44                      | 0.4    | 17            |
| P14(a) | DS         | Sarvak  | 328/27                      | 061/05                      | 161/62                      | 0.1    | 15            | P25  | N          | Sarvak  | 310/81                      | 166/07                      | 075/05                      | 0.1    | 7             |
| P14(b) | DS         | Sarvak  | 078/02                      | 189/85                      | 348/05                      | 0.5    | 7             | P31  | N          | Gurpi   | 346/79                      | 145/10                      | 236/04                      | 0.1    | 8             |
| P16(a) | DS         | Pabdeh  | 359/29                      | 266/04                      | 168/61                      | 0.2    | 17            | P36  | N          | Sarvak  | 318/65                      | 154/24                      | 061/06                      | 0.1    | 6             |
| P16(b) | DS         | Pabdeh  | 197/12                      | 293/23                      | 082/63                      | 0.3    | 8             | P1   | N          | Asmari  | 036/13                      | 159/66                      | 302/19                      | 0      | 8             |
| P17(a) | DS         | Gurpi   | 033/17                      | 232/72                      | 124/06                      | 0.1    | 10            | P2   | N          | Jahrom  | 047/43                      | 302/16                      | 196/43                      | 0.5    | 10            |
| P17(b) | DS         | Gurpi   | 129/26                      | 007/47                      | 236/31                      | 0.2    | 17            | P10  | N          | Asmari  | 007/52                      | 197/38                      | 103/05                      | 0.3    | 4             |
| P17(c) | DS         | Gurpi   | 078/14                      | 246/76                      | 347/13                      | 0.3    | 15            | P12  | N          | Guri M. | 030/34                      | 247/50                      | 133/19                      | 0.3    | 5             |
| P18    | DS         | Tarbur  | 346/02                      | 249/72                      | 077/18                      | 0.8    | 15            | P15  | N          | Asmari  | 218/17                      | 051/73                      | 309/04                      | 0.1    | 15            |
| P19(a) | DS         | Ghorban | 092/07                      | 195/61                      | 358/28                      | 0.6    | 14            | P20  | N          | Asmari  | 183/50                      | 283/08                      | 020/38                      | 0.1    | 4             |
| P19(b) | DS         | Ghorban | 000/23                      | 207/65                      | 094/10                      | 0.6    | 16            | P21  | N          | Asmari  | 177/50                      | 286/16                      | 028/36                      | 0.2    | 6             |
| P25    | DS         | Sarvak  | 071/01                      | 147/50                      | 347/38                      | 0.4    | 15            | P24  | N          | Asmari  | 208/45                      | 332/29                      | 082/31                      | 0.2    | 8             |
| P30    | DS         | Sarvak  | 226/13                      | 163/56                      | 341/34                      | 0.1    | 13            | P32  | N          | Asmari  | 233/02                      | 142/28                      | 327/62                      | 0      | 4             |
| P31(a) | DS         | Gurpi   | 016/13                      | 222/76                      | 108/06                      | 0.6    | 16            | P4   | I          | Pabdeh  | 045/08                      | 135/02                      | 239/82                      | 0.1    | 4             |
| P31(b) | DS         | Gurpi   | 260/23                      | 095/66                      | 353/06                      | 0.5    | 7             | P6   | I          | Tarbur  | 102/25                      | 008/08                      | 261/64                      | 0.7    | 12            |
| P35    | DS         | Sarvak  | 292/04                      | 202/04                      | 069/84                      | 0.1    | 10            | P13  | I          | Ilam    | 187/35                      | 088/13                      | 341/52                      | 0.8    | 10            |
| P36(a) | DS         | Sarvak  | 244/09                      | 098/79                      | 335/06                      | 0.6    | 17            | P14  | I          | Sarvak  | 078/02                      | 348/23                      | 173/67                      | 0.8    | 19            |
| P36(b) | DS         | Sarvak  | 333/02                      | 064/16                      | 236/74                      | 0.3    | 4             | P16  | I          | Pabdeh  | 002/02                      | 272/24                      | 097/66                      | 0.2    | 12            |
| P43(a) | DS         | Ghorban | 123/16                      | 313/74                      | 214/03                      | 0.5    | 12            | P18  | I          | Tarbur  | 099/23                      | 190/02                      | 284/67                      | 0.9    | 3             |
| P43(b) | DS         | Ghorban | 234/42                      | 333/10                      | 073/46                      | 0.1    | 18            | P30  | I          | Sarvak  | 322/02                      | 052/12                      | 222/78                      | 0.7    | 11            |
| P1(a)  | DS         | Asmari  | 300/4                       | 035/56                      | 207/34                      | 0.5    | 12            | P36  | I          | Sarvak  | 280/01                      | 190/03                      | 036/87                      | 0.9    | 4             |
| P1(b)  | DS         | Asmari  | 215/29                      | 074/54                      | 316/19                      | 0      | 14            | P43  | I          | Ghorban | 246/14                      | 152/15                      | 018/69                      | 0.9    | 14            |
| P2(a)  | DS         | Jahrom  | 164/23                      | 263/22                      | 32/57                       | 0.5    | 8             | P1   | I          | Asmari  | 257/26                      | 141/42                      | 008/37                      | 0      | 14            |
| P2(b)  | DS         | Jahrom  | 215/31                      | 356/52                      | 113/20                      | 0.3    | 6             | P2   | I          | Jahrom  | 153/04                      | 254/71                      | 061/19                      | 0.9    | 10            |
| P3     | DS         | Ghorban | 179/17                      | 045/66                      | 274/16                      | 0.2    | 13            | P3   | I          | Ghorban | 211/23                      | 311/22                      | 080/57                      | 0.9    | 6             |
| P10(a) | DS         | Asmari  | 271/23                      | 094/67                      | 002/11                      | 0      | 16            | P10  | I          | Asmari  | 232/15                      | 134/27                      | 348/59                      | 0.5    | 14            |
| P10(b) | DS         | Asmari  | 000/10                      | 091/01                      | 186/80                      | 0.3    | 9             | P11  | I          | Champe  | 251/06                      | 160/17                      | 360/72                      | 0.5    | 11            |
| P11(a) | DS         | Champe  | 238/10                      | 131/58                      | 334/30                      | 0      | 4             | P12  | I          | Guri M. | 269/19                      | 166/32                      | 025/51                      | 0.4    | 5             |
| P11(b) | DS         | Champe  | 005/42                      | 123/28                      | 236/35                      | 0.3    | 15            | P24  | I          | Asmari  | 016/10                      | 108/13                      | 250/74                      | 0.3    | 9             |
| P12(a) | DS         | Guri M. | 292/11                      | 040/57                      | 195/30                      | 0.1    | 10            | P32  | I          | Asmari  | 309/13                      | 141/76                      | 039/03                      | 0.8    | 6             |
| P12(b) | DS         | Guri M. | 015/02                      | 279/72                      | 105/18                      | 0.1    | 16            |      |            |         |                             |                             |                             |        |               |
| P15(a) | DS         | Asmari  | 359/27                      | 209/59                      | 096/13                      | 0.5    | 15            |      |            |         |                             |                             |                             |        |               |

ادامه جدول ۱-

| Site   | Fault Type | Fm.    | $\sigma_1$ Strike/Dip (deg) | $\sigma_2$ Strike/Dip (deg) | $\sigma_3$ Strike/Dip (deg) | $\Phi$ | misfits (deg) | Site | Fault Type | Fm. | $\sigma_1$ Strike/Dip (deg) | $\sigma_2$ Strike/Dip (deg) | $\sigma_3$ Strike/Dip (deg) | $\Phi$ | misfits (deg) |
|--------|------------|--------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|---------------|------|------------|-----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|---------------|
| P15(b) | DS         | Asmari | 050/34                      | 181/44                      | 300/27                      | 0.6    | 15            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P20    | DS         | Asmari | 314/33                      | 213/16                      | 101/53                      | 0.3    | 14            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P21(a) | DS         | Asmari | 002/23                      | 097/11                      | 211/64                      | 0.2    | 12            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P21(b) | DS         | Asmari | 046/12                      | 158/61                      | 310/26                      | 0.1    | 8             |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P22(a) | DS         | Jahrom | 170/13                      | 294/68                      | 076/18                      | 0.5    | 17            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P22(b) | DS         | Jahrom | 229/42                      | 072/46                      | 330/12                      | 0      | 11            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P24(a) | DS         | Asmari | 072/06                      | 338/31                      | 172/58                      | 0      | 13            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P24(b) | DS         | Asmari | 032/19                      | 206/71                      | 301/02                      | 0.2    | 5             |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P26(a) | DS         | Asmari | 022/43                      | 165/41                      | 273/20                      | 0.4    | 13            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P26(b) | DS         | Asmari | 320/18                      | 183/66                      | 055/15                      | 0.2    | 9             |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P28(a) | DS         | Asmari | 200/00                      | 291/63                      | 110/27                      | 0.3    | 11            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P28(b) | DS         | Asmari | 087/15                      | 240/73                      | 355/08                      | 0.2    | 10            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P29(a) | DS         | Razak  | 219/22                      | 352/59                      | 120/20                      | 0.6    | 11            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P29(b) | DS         | Razak  | 359/30                      | 193/59                      | 093/06                      | 0.6    | 11            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P32    | DS         | Asmari | 340/40                      | 207/40                      | 093/25                      | 0.4    | 2             |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P44(a) | DS         | Asmari | 317/04                      | 051/42                      | 223/48                      | 0.4    | 16            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |
| P44(b) | DS         | Asmari | 182/23                      | 072/40                      | 294/41                      | 0.3    | 10            |      |            |     |                             |                             |                             |        |               |

### ۳-۴. کرناسه بالایی

سازندهای زمین‌شناسی در بازه زمانی کرناسه بالایی در محدوده مورد بررسی ایستگاه‌های P19، P34 از عضو قربان در قاعده سازند ساچون، P18، P6 از سازند تارپور، P17، P31، P5 از سازند گورپی، ایستگاه P13 از سازند ایلام و P36، P35، P30، P25، P14 از سازند سروک برداشت شده است. بیش از ۳۶۴ داده لغزش گسلی از این ایستگاه‌ها برداشت شده است که پس از دسته بندی و افقی کردن لایه‌ها، استریوپلات‌های آنها توسط نرم‌افزار ترسیم گردیده است. داده‌های لغزش گسلی به‌طور غالب شامل گسل‌های نرمال و امتدادلغز است که گسل‌های نرمال، به ارث رسیده از رژیم زمین‌ساخت کششی حاکم بر منطقه می‌باشد، چنانکه مثالی از گسل‌های نرمال همزمان با رسوبگذاری در شکل ۴-الف نمایش داده شده است و گسل‌های امتدادلغز، منتج از رژیم زمین‌ساخت راستالغز است. آزمون جهت کمینه تنش اصلی ( $\sigma_3$ ) در استریوپلات‌های به‌دست آمده در عضو قربان سازند ساچون، آزمون ۳۴ درجه می‌باشد، در سازند تارپور جهت کمینه تنش، آزمون ۴۰ و ۷۷ درجه، در سازند گورپی آزمون ۵۶ درجه، در سازند ایلام آزمون ۴۰ درجه و در سازند سروک میانگین جهت کمینه تنش اصلی آزمون نزدیک به ۵۰ درجه دارد. آزمون جهت بیشینه تنش اصلی ( $\sigma_1$ ) در استریوپلات‌های به‌دست آمده در زمان کرناسه بالایی در راستای شمالی - جنوبی، آزمون نزدیک به ۲۰ درجه، آزمون نزدیک به ۳۰ درجه، آزمون بین ۴۶ تا ۷۸ درجه و آزمون نزدیک به ۱۳۰ درجه برآورد شده است.

### ۳-۵. سطوح انحلال فشاری

از دیگر داده‌های شاخص جهت تنش، وضعیت سطوح و قله‌های استیلولیتی (سطح انحلال فشاری) می‌باشند. این سطوح انحلال فشاری در راستای عمود و نوک قله‌های آن در راستای جهت بیشینه تنش فشاری ایجاد می‌شوند و در تعیین جهت تنش دیرین مناسب می‌باشند (Ebner et al., 2010b). استیلولیت‌ها هم‌زمان با سنگ‌شدگی لایه‌ها و قبل، هم‌زمان و بعد از چین‌خوردگی لایه‌ها تشکیل می‌شوند و بر اساس وضعیت سطح و قله‌های استیلولیتی نسبت به لایه‌بندی و محور چین‌خوردگی امکان تعیین جهت تنش دیرین و زمان تشکیل قبل، هم‌زمان و یا پس از چین‌خوردگی مشخص می‌شود

### ۳-۲. الیکومپوسن

لایه‌های سنگ آهک ضخم و بسیار ضخیم سازند آسماری با دیرینگی الیکومپوسن، بیشترین گستردگی و رخنمون در محدوده مورد بررسی را دارد. ایستگاه‌های P15، P20، P21، P24، P26، P28، P32، P44 از این سازند برداشت شده‌اند، داده‌های لغزش گسلی به‌طور غالب گسل‌های امتدادلغز و راندگی می‌باشند که در این ایستگاه‌ها، تحت تأثیر تنش‌های وارده در منطقه ایجاد شده است، بیش از ۲۷۰ داده لغزش گسلی از این ایستگاه‌ها برداشت شده است و پس از دسته‌بندی و افقی کردن لایه‌ها، استریوپلات‌های آنها توسط نرم‌افزار ترسیم گردیده است (شکل ۵). رژیم‌های زمین‌ساخت امتدادلغز و فشاری به‌طور غالب از داده‌های لغزش گسلی در این سازند به‌دست آمده است. آزمون جهت بیشینه تنش اصلی ( $\sigma_1$ ) در استریوپلات‌های بدست آمده از این سازند، در شش زیر دسته قابل جدایش است: ۱- دسته‌ای با جهت بین ۵۰ تا ۷۰ درجه شمالی، ۲- آزمون نزدیک به ۳۵ درجه، ۳- آزمون نزدیک به ۲۰ درجه، ۴- راستای نزدیک به شمالی - جنوبی، ۵- آزمون نزدیک به خاوری - باختری با جهت کمینه تنش اصلی ( $\sigma_3$ ) نزدیک به شمالی - جنوبی، ۶- آزمون نزدیک به ۱۳۰ درجه می‌باشد.

### ۳-۳. پالتوسن - ائوسن

سازندهای زمین‌شناسی در بازه زمانی پالتوسن - ائوسن در محدوده مورد بررسی شامل سازندهای پابده و جهرم است که در بخش‌های مرکزی محدوده رخنمون دارند. ایستگاه‌های P4 و P16 از سازند پابده و ایستگاه‌های P2 و P22 از سازند جهرم برداشت شده است. داده‌های لغزش گسلی به‌جز تعدادی که در ایستگاه P4 برداشت شده، به‌طور غالب شامل گسل‌های امتدادلغز و راندگی است، بیش از ۱۰۹ داده لغزش گسلی از این ایستگاه‌ها برداشت شده است که پس از دسته‌بندی و افقی کردن لایه‌ها، استریوپلات‌های آنها توسط نرم‌افزار ترسیم گردیده است. رژیم‌های زمین‌ساخت امتدادلغز و فشاری از داده‌های لغزش گسلی در سازند جهرم و پابده به‌دست آمده است (شکل ۵). آزمون جهت بیشینه تنش اصلی ( $\sigma_1$ ) در استریوپلات‌های بدست آمده در سازند جهرم، آزمون ۲۱۵، ۶۱، ۴۱ و ۱۷۰ و ۲۲۹ درجه می‌باشد، در سازند پابده جهت بیشینه تنش، آزمون ۴۵ و ۱۷ درجه و نزدیک به شمالی - جنوبی

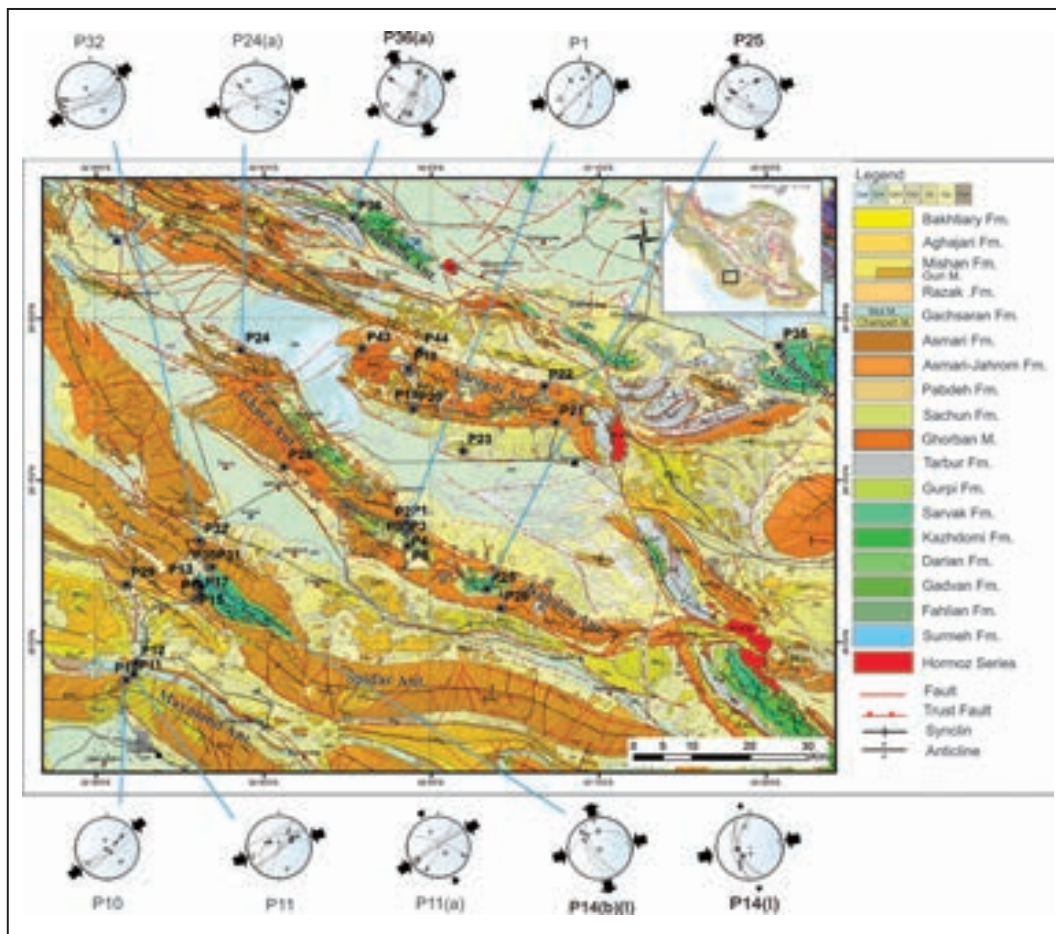
نشان می‌دهد.

در این پژوهش، اطلاعات مربوط به ایستگاه‌ها و نتایج حاصل از استریوپلات‌ها (شکل ۵) براساس دسته گسله‌های نرمال، امتداد لغز و رانندگی در جدول ۱ آورده شده است و در نهایت جهت‌های بیشینه تنش اصلی با آزمون‌های بین ۵۰ تا ۷۰ درجه (شکل ۸)، آزمون نزدیک به ۳۰ درجه (شکل ۹) و آزمون‌های نزدیک به ۲۰ درجه تا شمالی - جنوبی را در شکل ۱۰ نمایش داده است و شکل ۱۱ خلاصه‌ای از نتایج حاصل از این تحقیق، در ارتباط با زمان چین خوردگی و نوع رژیم‌های زمین‌ساختی و جهت تنش وارده در کمربند چین‌خورده زاگرس در محدوده مورد بررسی را نشان می‌دهد.

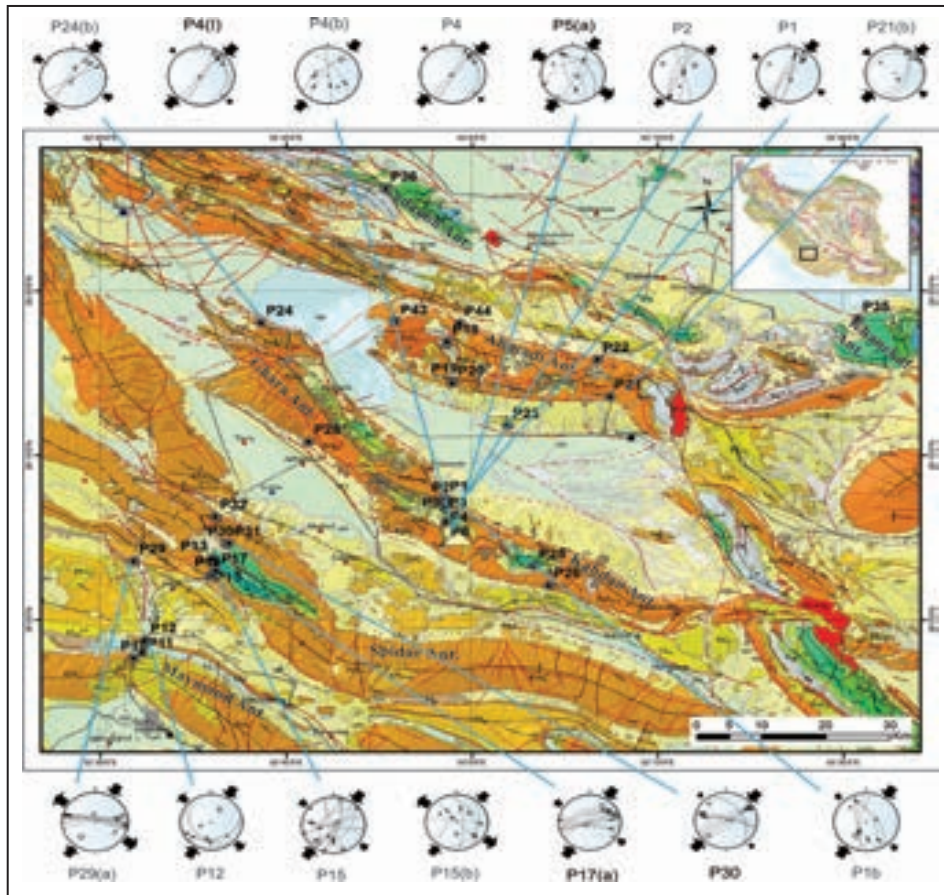
(Navabpour et al., 2007; Ebner et al., 2010b; Sarkarinejad and Heibati, 2016) در این ارتباط در سازندهای آسماری و بخش آهکی سازند میشان سطوح انحلال فشاری زیادی برداشت گردید بطور مثال، در یکی از برداشتها در سازند آسماری (شکل ۷) پس از افقی کردن لایه، سطح انحلال فشاری مایل بر لایه‌بندی بوده و آزمون جهت تنش بیشینه فشاری را نزدیک به ۵۰ درجه نشان می‌دهد که قبل از چین‌خوردگی ایجاد شده است (Navabpour et al., 2007; Ebner et al., 2010b) همچنین در بخش آهکی قاعده سازند میشان نیز سطح انحلال فشاری برداشت شد که سطح آن عمود بر لایه‌بندی و موازی با محور چین‌خوردگی است که گویای تشکیل همزمان با چین‌خوردگی است و آزمون جهت تنش بیشینه فشاری را نزدیک به ۳۰ درجه



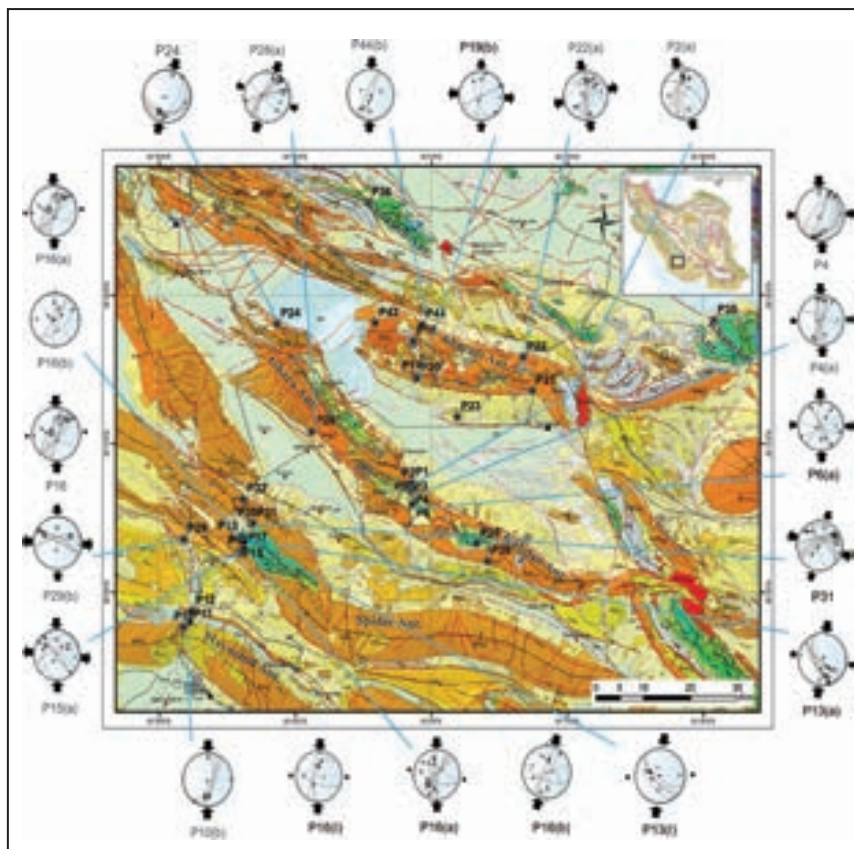
شکل ۷- سطوح انحلالی فشاری عمود بر لایه‌بندی و مورب به امتداد چین‌خوردگی در سازند آسماری و با آزمون جهت تنش بیشینه نزدیک به ۵۰ درجه که قبل از چین‌خوردگی ایجاد شده است.



شکل ۸- جهت بیشینه تنش اصلی ( $\sigma_1$ ) با آزمون بین ۵۰ تا ۷۰ درجه در استریوپلات‌های به دست آمده و جایگاه آنها در نقشه زمین‌شناسی منطقه.

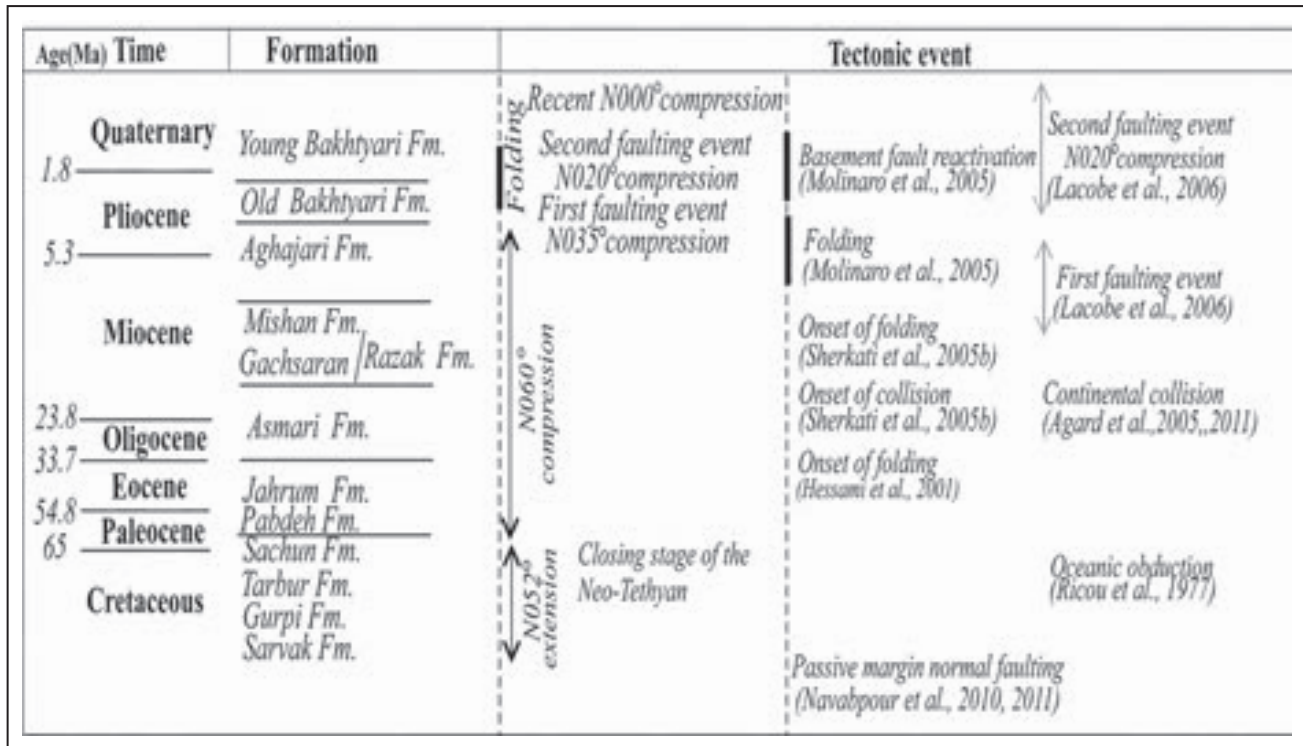


شکل ۹- جهت بیشینه تنش اصلی ( $\sigma_1$ ) با آزیموت نزدیک به ۳۰ درجه در استریوپلات‌های به‌دست آمده و جایگاه آنها در نقشه زمین‌شناسی منطقه.



شکل ۱۰- جهت بیشینه تنش اصلی ( $\sigma_1$ ) با آزیموت نزدیک به ۲۰ درجه و شمالی - جنوبی در استریوپلات‌های به‌دست آمده و جایگاه آنها در نقشه زمین‌شناسی منطقه.





شکل ۱۱- خلاصه‌ای از نتایج حاصل از این تحقیق در ارتباط با زمان چین خوردگی، نوع رژیم‌های زمین‌ساختی و جهت تنش وارده در کمربند چین خورده زاگرس در محدوده مورد بررسی.

## ۵- نتیجه‌گیری

بر اساس داده‌های زمین‌ساخت‌شکننده و دیگر شواهد ساختاری و چینه‌نگاشتی سازندها به ویژه سازند بختیاری و همچنین بررسی سطوح انحلال فشاری، نتایج زیر حاصل شد.

- تحلیل تنش دیرین تاثیر چیره زمین‌ساخت فشاری و راستالغز در سنوزوئیک را نشان می‌دهد و تغییر تنش کششی به فشاری در مرز کرتاسه بالائی (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶) و سنوزوئیک رخ داده است.

- مرز سازند بختیاری (PIQb) با سازند آغاچاری تدریجی و همشیب است و دگرشیبی در سازند بختیاری بین بخش زیرین و بالایی آن ایجاد شده که بخش زیرین با نام بختیاری قدیمی و بخش بالایی با نام بختیاری جوان (Qb) مشخص شده است. بختیاری جوان با دیگر واحدهای زمین‌شناسی قدیمی‌تر از خود دگرشیب می‌باشد بنابراین، می‌توان شروع چین‌خوردگی اصلی را به زمان تشکیل سنگ نهشته‌های سازند بختیاری قدیمی و زمان تشکیل بختیاری جوان را به پس از چین‌خوردگی نسبت داد که کج‌شدگی و شیب کم لایه‌های آن را نیز می‌توان با بالاآمدگی زاگرس در این زمان دانست.

- نتایج حاصل از این تحقیق گویای راستای غالب بیشینه تنش اصلی ( $\sigma_1$ ) پیش از چین‌خوردگی در منطقه، جهت نزدیک N60E دارد و سنی پیش از میوسن دارد، هم‌زمان با چین‌خوردگی، جهت تنش نزدیک به N35E بوده و سنی معادل سازند بختیاری در پلیوسن می‌باشد و استمرار تغییرات تنش موثر بر تکامل گستره و پس از چین‌خوردگی جهت N20E با سن هم ارز سنی بختیاری جوان در کواترنری (پلئستوسن) را دارد و در ادامه تنش بیشینه نزدیک به شمالی - جنوبی (این جهت در مطالعات Vernant et al. (2004); Vernant and Chery (2006) با استفاده از GPS نیز به دست آمده است) می‌باشد که به صورت رژیم‌های زمین‌ساخت راستالغز و فشاری در تکامل گستره نقش دارند.

- نتایج حاصل از تعیین جهت تنش با استفاده از تحلیل سطوح انحلال فشاری، تأییدی

بر نتایج حاصل از داده‌های خش لغز گسلی می‌باشد.

- بازسازی تنش دیرین در منطقه، گویای چرخش پادساعت گرد در مسیر اصلی تنش فشاری در طول زمان است، که بر اساس نظر Lacombe et al. (2006) Talebian and Jackson (2004) عملکرد گسله‌های مورب و راستالغز کازرون، کره‌بس، سبزپوشان و سروستان تغییر روند تنش بیشینه را در طول زمان کنترل کرده‌اند و McQuarri et al. (2003) چرخش پاد ساعت گرد را متأثر از چرخش بلوکی ایران مرکزی و تأثیر آن بر تغییر همگرایی صفحه عربی نسبت به اوراسیا در طول زمان می‌دانند و در این تحقیق ضمن تأیید تأثیر گسله‌های راستالغز بنیادی کازرون، کره‌بس، سبزپوشان و سروستان، نمی‌توان، تأثیر نیروی اعمال شده از چرخش گسل‌های بنیادی ایران مرکزی بر بلوک فارس (عبادی و همکاران، ۱۳۹۶) را بی‌تأثیر دانست.

- در بازسازی مسیر تانسورهای تنش رویدادهای فشاری و امتدادلغز با راستای شمال باختر - جنوب خاور و با جهت ۱۳۰ درجه شمالی مشخص شده است. این روند با توجه به تکامل ساختاری زاگرس، مبهم است، Ricou (1994) این جهت را به فشارش پایانی که گسترش چین‌ها را با امتداد شمال خاور - جنوب باختر را به عهد دارد، دانسته و Lacombe et al. (2006) معتقد است این روند در مجاور گسل‌های امتدادلغز بنیادی منطقه ایجاد شده است (Navabpour et al., 2007, 2011) و Navabpour and Barrier, 2012 این جهت تنش را، به قبل از چین‌خوردگی با سن اوایل میوسن نسبت داده است و در این تحقیق چنین روندی در سازند آسماری و رازک به دست آمده است که سنی هم ارز الیگوسن - میوسن دارد و پس از چین‌خوردگی می‌تواند ادامه داشته باشد و از نیروهای فرامنه‌ای و یا نیروی ثانویه در راستای محور ساختمان‌های چین‌خورده (این جهت در مطالعات Vernant et al. (2004) و Vernant and Chery (2006) با استفاده از GPS نیز گزارش شده است) می‌تواند ناشی شده باشد همچنین این جهت با حرکت گسل اصلی زاگرس (Authemayou et al., 2006) نیز سازگاری دارد.

## کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی کشور. ۶۴۰ ص.
- عبادی، ل.، علوی، س. ا. و قاسمی، م. ر.، ۱۳۹۶- رمز گشایی تغییرات میدان تنش با استفاده از واکاوی زمین ساخت شکننده در گستره شهر بابک. فصل نامه علوم زمین، پانزدهم، سال بیست و هفتم، شماره ۱۰۵، صفحه ۸۱ تا ۹۶.
- 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.
- عندلیبی، م. ج. و یوسفی، ط.، ۱۳۸۴- 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.
- مطیعی، ۱۳۷۳- کتاب چینه شناسی زاگرس. انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- نبوی، م.، ۱۳۵۵- مقدمه ای بر زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- نوگل سادات، م. ع.، ۱۳۷۲- نقشه تکتونیک ایران، مقیاس یک میلیونیم. 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.
- یوسفی، ط.، قرشی، م.، سعیدی، ع. و قاسمی، م.، ۱۳۸۴- بازنگری و تعیین حدود ساختاری زیرپهنه زاگرس خردشده در منطقه ده بید - شیراز. بیست چهارمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور.
- یوسفی، ط. و کارگر، ش.، ۱۳۷۹- نقشه زمین شناسی با مقیاس یک صد هزارم آباده طشک. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- یوسفی، ط.، یزدجردی، ک.، قرشی، م. و شهیدی، ع. ر.، ۱۳۹۶- بازسازی تنش دیرین نهشته های مزوزوئیک در پهنه ی فارس داخلی (خاور جنوب خاور شیراز). فصل نامه علوم زمین، بهار ۹۸، سال بیست و هشتم، شماره ۱۱۱، صفحه ۵۳ تا ۶۴.

## 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.
- Angelier, J., 1979 - Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. *Tectonophysics* 56(3–4):T17–T26.
- 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., 1994- Fault-slip analysis and palaeostress reconstruction. In: Hancock, P.L. (Ed.), *Continental Deformation*. Pergamon Press, 53–100.
- Angelier, J., 1994b- Fault slip Analysis & paleostress reconstruction In: Hancock, P. L. 1994. *Continental Deformation*, pergamon press Ltd. Chapter 4, pp. 53-100.
- 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., Dominique, C., 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*, Vol. 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, M. and King, G. C. P., 1981- Towards the paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of the Earth Sciences* 18, 210–265.
- 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.
- 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 à 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.
- Ebner, M., Toussaint, R., Schmittbuhl, J., Koehn and D., Bons, P., 2010b- Anisotropic scaling of tectonic stylolites: a fossilized signature of the stress field? J Geophys Res 115: B06403. Doi: 10.1029/2009JB006649.
- Hessami, K., Koyi, H. A., Talbot, C. J., Tabasi, H. and Shabanian, E., 2001- Progressive unconformities within an evolving foreland fold-thrust belt, Zagros Mountains. J Geol Soc Lond 158:969-981.
- 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.
- James, G. A. and Wynd, J. G., 1965- Stratigraphic Nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area. AAPG Bulletin, Vol. 49, No. 12, 1965, pp. 2182-2245.
- 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. & Pamic, J., 1983- <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>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. Geophys Res Lett 30(20): SDE6.1-SDE6.4.
- 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.
- 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.
- 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., Braud, J. and Brunn, J. H., 1977- Le Zagros. In Livre à la mémoire de A.F. de Lapparent (1905-1975). Mémoire hors Série de la Société Géologique de France 8, 33-52.
- Ricou, L., 1994- Tethys reconstructed: plates, continental fragments and their boundaries since 260 Ma from Central America to Southeastern Asia. Geodyn. Acta 7 (4), 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.
- Sarkarinejad, Kh. and Heibati, Z., 2016- Vorticity analysis in the Zagros orogeny, Shiraz area, Iran. Int J Earth Sci. DOI 10.1007/s00531-016-1411-3.
- Sepehr, M. and Cosgrove, J. W., 2004- Structural framework of the Zagros fold-thrust belt, Iran. Mar Pet Geol 21:829-843.
- Shahidi, A. R., 2008- Evolution tectonique du Nord de l'I, Iran (Alborz et Kopet-Dagh), depuis le Mésozoïque, Thèse d'état Paris Université, p. 500.
- Sudi Ajirlu, M., Moazzen, M. and Hajialioghli, R., 2016- Tectonic evolution of the Zagros Orogen in the realm of the Neotethys between the Central Iran and Arabian Plates: An ophiolite perspective. Central European Geology, Vol. 59/1-4, 1-27. DOI: 10.1556/24.59.2016.001
- 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.
- Twiss, R.J. and Unruh, J.R., 1998- Analysis of fault slip inversions: do they constrain stress or strain rate? J Geophys Res 103:12205-12222.

- Vernant, P. and Chery, J., 2006- Low fault friction in Iran implies localized deformation for the Arabia-Eurasia collision zone, Earth and Planetary Science Letters 246 (2006) 197–206.
- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, MR., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chéry, J., 2004- Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. Geophys J Int 157:381–398.
- 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., 2009- Program T-TECTO 3.0 Professional.
- Žalohar, J., 2014- Explaining the physical origin of Båth's law. Journal of Structural Geology 60, 1-16.
- Žalohar, J., 2015- Program T-TECTO 5.0 Professional.

## Recognition of Cenozoic stress field changes using brittle tectonic analysis in the Zagros simply folded belt (Shiraz Area)

T. Yousefi<sup>1</sup>, K. Yazdjerdi<sup>2\*</sup>, M. Ghorashi<sup>3</sup>, A. Shahidi<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Earth Sciences, Shiraz branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

<sup>3</sup>Associate Professor, Earth Sciences Research Institute, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

<sup>4</sup>Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2017 August 01

Accepted: 2018 February 05

### Abstract

The current form of the folded Zagros is the result of the oblique collision the Arabian and Iranian plates in Late Cenozoic. In this study, Cenozoic stress field changes in Zagros Simply folded belt and structural evolution after collision in Shiraz Area have been evaluated. The geological formations under investigation are from Late Cretaceous to Neogene (Late Cenozoic). In this regard, geometry and kinematics of the faults, stylolites and other tectonic and stratigraphic evidence in geological formations outcrops in the study area at 30 stations were taken. The tension main axes ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ) were calculated by Inversion Method for the categorized data. The results of the reconstruction of the paleo stress show compressional and Strike-Slip tectonic regime in Cenozoic. Moreover, anticlockwise rotation of the direction of compressive stress over time is about 60 degrees. As pre-folding compressional stress direction ( $\sigma_1$ ) is about N60E and its time is Miocene and before that. Whereas syn-folding stress direction is N35E and its age is equivalent to Pliocene that is the same age as old Bakhtiary formation. Stress changes in post-folding indicate N20E and its age equivalent to Pleistocene that is the same age as young Bakhtiary formation. At the present time, the maximum stress direction that is about N-S affects the area.

**Keywords:** Zagros simply folded belt, inversion method, Cenozoic, stylolite, brittle tectonic.

For Persian Version see 229 to 240

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