

# تحلیل تنش دیرینه در خاور و جنوب خاوری تهران (سرخه حصار - خجیر)

نویسنده: مهرناز سعادت\*، سید احمد علوی\* و عبدالله سعیدی\*\*

\*گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

\*\*پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

## The Paleostress Analysis in the East and South East of Tehran (Sorkheh Hessar-Khodjir)

By: M. Saadat\*, S. A. Alavi\* & A. Saedi\*\*

\*Faculty of Earth Sciences, Geology Department, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

\*\*Geological Survey of Tehran Iran

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۵/۱۰/۱۲

### چکیده

به منظور ارزیابی و تحلیل تنش دیرینه در منطقه سرخه حصار- خجیر، سطوح برشی دارای خش لغزش و صفحات گسلی اندازه گیری شده و تانسور تنش و تغییرات جهت تنش در واحدهای سنگی محاسبه شده است. برای این منظور، حدود ۱۷۰ صفحه گسلی و خش لغزشهای مربوطه در ۱۶ ایستگاه انتخاب شد و پس از اندازه گیری آنها، تحولات تنش از تریاس پسین تا الیگوسن به کمک روش وارون سازی (Inversion Method) بررسی شده است. پس از گردآوری اطلاعات لازم، داده ها برپایه رخدادهای زمین ساختی دسته بندی شده و با استفاده از روش ذکر شده، محورهای اصلی تنش و جهت مربوط به کشش و فشارش در هر ایستگاه به دست آمده است. با توجه به استریوپلاتها و نتایج حاصل، می توان جهت تنش فشارشی NE-SW را در سازندهای مزوزوییک غالب دانست. از آنجا که این تنش در سنگهای جوان تر دوران سوم نیز دیده می شود، می توان گفت که پس از مزوزوییک تا الیگوسن، این تنش سبب دگرشکلی لایه های مزوزوییک شده و در زمان ترشیری ادامه یافته است. از سوی دیگر، تنش جدیدتر N-S که سنگهای کهن تر و جوان تر را تحت تأثیر قرار داده نیز مشاهده شده است که مربوط به یکی از فازهای کوهزایی آلپ پایانی است.

**کلید واژه ها:** تنش دیرینه، خش لغزش، تانسور تنش، روش واژگون سازی، رویدادهای زمین ساختی

### Abstract

To analyze the paleostress in Sorkheh Hessar – Khodjir area, different shear – fault planes and the associated slickenside lineations are measured. The stress tensor and the variation of the stress direction in the upper Triassic to Oligocene formations are discussed. Numerous shear data are determined from different locations in the study area and categorized into 16 sites according to the stratigraphic age. The main criteria used to identify the sense of slip are accretionary mineral steps, tectonic tool marks, polished and rough facets, and riedel shears. According to the inversion method which includes determination of the mean stress tensor orientation and sense of slip on numerous faults, all data are classified based on tectonic events and the principal stress axes and corresponding compressional and extensional directions are calculated.

Based on the derived results from the diagrams, it is suggested that a prominent NE- SW compressional stress direction, which is obvious in Mesozoic and the younger Cenozoic formations, caused the deformation of the Mesozoic strata after Mesozoic and was continuous in Tertiary (Oligocene). It seems that a younger N-S stress direction exists and has had effects on both older and younger formations. It is believed that it would be related to one of the last Alpine orogenic phases.

**Keywords:** Paleostress, Slickenside, Stress tensor, Inversion method, Tectonic events



## مقدمه

## روش مطالعه و بحث

یکی از فنون متداول امروزی بازسازی تنش دیرینه بر مبنای تحلیل داده‌های زمین‌ساخت شکننده است.

در زمین‌شناسی و ژئوفیزیک، اندازه‌گیریهای محلی جهت تنش امروزی و تنش دیرینه مرسوم است. در طی چند دهه اخیر، روشهای بسیاری برای بازسازی تنش و تنش دیرینه محلی گسترش یافته است. این گونه اندازه‌گیریهای محلی تنش دیرینه نه تنها توصیف سازوکارهای محلی را ممکن می‌سازد، بلکه در شناسایی زمین‌ساخت ناحیه‌ای در مقیاس صفحه‌ای نیز کمک شایانی می‌کند. البته برای دستیابی به این هدف، باید مطالعات بر مبنای بازسازی منظم و قانونمند رژیمهای تنش پیشرونده، در سکوه‌های قاره‌ای باشد. مطالعه دگر شکلی شکننده در سکوه‌های قاره‌ای کلیدی برای بازسازی تحولات ناحیه‌ای است (Bergerat, 1994). روشهای متفاوتی برای تحلیل داده‌ها توسط دانشمندان بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. از میان روشهای موجود برای اندازه‌گیری تانسورهای تنش دیرینه، روشهای ریاضی مبتنی بر وارون‌سازی داده‌های لغزش گسلی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. این گونه تحلیلها از تانسور تنش، می‌تواند برای ساز و کار کانونی زمین لرزه نیز کاربرد داشته باشد. به تازگی تحلیل ساختارهای کششی و فشارشی (درزه‌ها و استیلولیتها) نیز در کنار این روشها قرار گرفته‌اند (Angelier, 1994 a). در این پژوهش بررسیهای دقیق صحرایی بر مبنای داده‌های لغزش گسلی صورت گرفته و از روش وارون‌سازی استفاده شده است. این روش بر مبنای روابط تنش-برش و وارون‌سازی است.

مسئله وارونی شامل مشخص کردن تانسور اصلی تنش (T) با توجه به جهتها و سوی لغزش بر روی گسلهای متعدد 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 داراست که به یک تانسور تنش واحد مربوط می‌شود (Angelier, 1994 b).

یکی دیگر از فرضهای مشخص این مسئله این است که همه گسلها در طی یک رویداد زمین‌ساختی مشابه، به طور مستقل حرکت کرده‌اند ولی به طور یکپارچه تحت یک تانسور تنش واحد بوده‌اند.

تانسور حقیقی تنش ۶ درجه آزادی دارد. اضافه کردن تنش همسانگرد (Isotropic Stress) و یا ضرب تنش در یک مقدار ثابت، هیچ کدام تأثیری بر جهت و سوی لغزش روی صفحه گسلی ندارد و آن را تغییر نمی‌دهند. چنانچه  $T^*$  نشانگر تانسور حقیقی تنش و T نشان دهنده هر تانسوری باشد که از آن حاصل می‌شود، معادله زیر برقرار خواهد بود:

$$T = k T^* + II$$

گستره مورد مطالعه در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز مرکزی در بین عرضهای ۳۰، ۳۵ و ۴۵، ۳۵ شمالی و طول ۵۱۰، ۳۰ و ۴۵، ۵۱۰ خاوری واقع شده و بخشی از لبه جنوبی البرز مرکزی است و واحدهای سنگی با سن تریاس پیشین - میانی تا عهد حاضر را در بر می‌گیرد. این محدوده در خاور و جنوب خاوری شهر تهران واقع است و بخشی از محدوده سرخه حصار- خجیر که تحت حفاظت سازمان محیط زیست کشور است، می‌باشد (شکل ۱). این گستره، از شمال به گسل سرخه حصار، از خاور به شاخه باختری رودخانه جاجرود و از باختر و جنوب باختری توسط محدوده شهر تهران و گسل قصر فیروزه محدود می‌شود.

در جنوب خاور تهران، کوههای آنتی البرز یک بلوک جداگانه با تاریخچه زمین‌شناسی مجزا از رشته کوه اصلی می‌سازد (درویش زاده، ۱۳۷۰). سنگهای تشکیل دهنده این کوه بیشتر شامل سازندهای آهکی و سنگهای رسوبی از زمان دونین تا تشریری آغازی و مقداری سنگهای آذرین و نفوذی است. سیمای کلی زمین‌ساختی منطقه بیشتر متشکل از گسلها و چینهای رانده شده و یا خوابیده به سمت جنوب است. گسل قصر فیروزه با جهت شیب شمال خاوری (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱) و ساز و کار معکوس از جمله گسلهای اصلی منطقه است که به همراه گسلهای فرعی زیادی با راستای شمال باختر - جنوب خاور دیده می‌شود. در شمال باختر روستای توجال (شکل ۲) می‌توان عملکرد گسل قصر فیروزه را به صورت راندگی سازند آهکی لار بر روی توده‌های آندزیتی مشاهده کرد. سازندهای فجن و زیارت نیز در زیر واحد جنوب باختری پراکندگی بیشتری دارند ضمن این که همبری آنها با توده‌های آندزیتی، گسلی، گاه از نوع راندگی همراه می‌شود (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۶). از جمله گسلهای اصلی دیگر و احاطه کننده این محدوده می‌توان به گسلهای سرخه حصار، مملوک و پارچین اشاره کرد (شکل ۳).

پس از ائوسن، این واحد چین نخورده و با چندین گسل پرشیب تا قائم با روند NW-SE, N به شدت خرد و شکسته شده و با رگه‌ها و توده‌های آذرین همراه شده است. باور بر این است که هم ساختار و هم مشخصات زمین ریخت‌شناختی این ناحیه در طول مدت تشکیل رشته اصلی البرز به نسبت پایدار باقی مانده است (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۶).

با توجه به ویژگیهای شکننده محدوده و وجود سطوح شکستگی و برشی فراوان می‌توان از نظر دینامیکی، منطقه را مورد بررسی قرار داد. لذا تحلیلهای تنش دیرینه می‌تواند کمک شایانی در پی بردن به نحوه تشکیل ساختارها باشد.

گسلی و خط خشهای مربوطه هستند که تحولات تنش را در واحدهای گوناگون سنگی در مکانهای مختلف با سن ذکر شده نشان می‌دهند. در هر یک از این موارد ابتدا مشخصات صفحه گسلی برداشت شده و پس از تشخیص خطوط خش لغز و برداشت مشخصات آنها، سوی لغزش مشخص شده است.

سوی لغزش اهمیت بسیاری دارد و تشخیص آن می‌تواند کمک شایانی در بررسی و یافتن محورهای تنش کند. بنابراین، ابتدا سوی لغزش در هر یک از موارد ثبت شده با توجه به نشانه‌ها و شاخصهای مربوطه مشخص شده است. این شاخصها انواع مختلفی از ساختارهای نامتقارنی هستند که در سطح گسل یا صفحه لغزشی مشاهده شده‌اند. در هر یک از این ایستگاهها از میان موارد مشاهده شده بر روی صفحات گسلی - لغزشی می‌توان به معیارهای زیر اشاره کرد (شکل ۶).

- ۱) پله‌های تجمعی کانیا،
- ۲) نشانهای جریانهای زمین‌ساختی (تول مارک‌های زمین‌ساختی)
- ۳) زبر یا صیقلی بودن صفحه لغزش،
- ۴) شکستگیهای ریدل،
- ۵) قله‌های استیلولیتی در سطوح انحلال فشاری ساختاری،
- ۶) بازشدگیهای کششی.

در نهایت با توجه به این معیارهای مشاهده شده و اصول تشخیص سوی لغزش، (Angelier, 1994 b) نوع حرکت و جابه‌جایی صورت گرفته روی هر صفحه تعیین شده است.

در هر ایستگاه افزون بر صفحات گسلی و لغزشی و خش لغزشهای آنها، موقعیت و جهت‌گیری صفحات لایه‌بندی نیز اندازه‌گیری شده است. همچنین، سعی شده است تا در صورت مشاهده دیگر ساختارهای زمین‌ساختی از جمله محورها چین، بازشدگیها و درزه‌های کششی اطلاعات مورد نیاز برداشت شود.

به طور کلی تطابقهای زمانی در صورت مشاهده چندین جهت از خطوط خش لغز بر روی یک صفحه، توسط لغزشهای پی در پی و همچنین بر مبنای دلایل هندسی صورت گرفته است.

سایر معیارها مانند دسته درزه‌های مزدوج همزمان با رسوبگذاری یا درزه‌های در ارتباط با چین خوردگیها (همزمان یا پس از چین خوردگی) نیز در این خصوص مد نظر قرار گرفته‌اند (شکل ۷، ایستگاه H). بنابراین در هر ایستگاه، از موقعیت فضایی سطح لایه‌بندی به‌عنوان معیاری برای تعیین سن نسبی شکل‌گیری درزه نسبت به دگرشکلی ناشی از کج‌شدگی و چین‌خوردگی استفاده شده است.

k و l هر ثابتی را نشان می‌دهند (K مثبت است) و I نشان دهنده ماتریس تنش واحد می‌باشد. تانسور T چهار درجه آزادی دارد که می‌توان تانسور تنش کاهش یافته را از آن به دست آورد. از آنجا که تعداد مجهولها ۴ و تعداد معادله‌ها (تعداد لغزشهای گسلی) بسیار بیشتر است، می‌توان گفت که مسئله وارونی به‌طور واضح تحت کنترل بوده و یک مدل آماری مناسب باید به کار گرفته شود تا بتواند بهترین جورشدگی را بین لغزشهای حقیقی و تنشهای برشی تئوریک مشخص سازد (Angelier, 1994 b).

به‌کارگیری این روش در موارد عینی متعددی سازگاری بالایی را با مبانی نظری آن نشان داده و مقادیر کوچکی از زوایای میانگین ( $\alpha$ ) را مشخص کرده است. ( $\alpha$ ) زوایه بین بردار لغزش واحد یا خش لغز مشاهده شده (S) و بردار تنش برشی تئوریک ( $\tau$ ) است که از حل تانسور تنش مشتق شده است و گاهی با  $\alpha$  نشان داده می‌شود (شکل ۴).

جمع‌آوری داده‌ها خطاهایی را به همراه دارد و منجر می‌شود که پراکندگی در الگوهای تنش محلی رخ دهد. حرکات گسلی نیز بر روی یکدیگر تأثیر گذارند. از این رو باید در عمل بهترین جورشدگی را در بین تمام داده‌های لغزش گسلی که متعلق به یک رویداد زمین‌ساختی هستند، جستجو کرد.

برای شناخت و بررسی آرایش محورهای تنش دیرینه در این پژوهش، برداشتهای ساختاری به شیوه مستقیم صحرایی صورت پذیرفته‌اند. برداشتها در برگزیده صفحات گسلی، سطوح لغزش گسلی مزدوج، سطوح گسلی موازی یا متقاطع نسبت به لایه‌بندی، درزه‌های کششی، سطوح لایه‌بندی، سطوح انحلال فشاری ساختاری و خط خشها هستند.

الگوی ثبت سطوح و خطوط در این تحقیق برای بررسی داده‌ها از طریق روش دو وجهی راست (Right Dihedral) بر پایه میزان شیب (دو رقم) و راستای شیب (سه رقم) می‌باشد (Dip/Dipdirection). به منظور تحلیل داده‌ها و تعیین آرایش محورهای تنش از راه روش وارون‌سازی ثبت داده‌ها با الگوی آزیموت (Azimuth) امتداد (سه رقم)، مقدار و جهت شیب و زاویه ریک صورت پذیرفته است.

اطلاعات به‌دست آمده از سطوح لغزش گسلی و اثر بریدگی این گسلها در واحدهای گوناگون زمین‌ساختی با سن مختلف است. با توجه به محدودیتهای بسیار برای عبور و دسترسی در منطقه (محدودیتهای طبیعی و نظامی) سعی شده است تا ایستگاههای انتخابی به صورت پراکنده و در برگزیده واحدهای سنگی مختلف موجود در محدوده باشند.

داده‌های برداشت شده در ۱۶ ایستگاه دسته‌بندی شده‌اند (شکل ۵). این ایستگاهها در برگزیده سازندها و واحدهای سنگی مختلف از تریاس بالا تا الیگوسن هستند. از میان این برداشتها، ۱۷۰ مورد متعلق به صفحات لغزش

در هر یک از این ۱۶ ایستگاه، کلیه اطلاعات موجود و برداشتهای انجام شده، ابتدا به صورت کلی در یک استریوپلات پیاده شده است. در بیشتر ایستگاهها دسته دادهها به صورت ناهمگن دیده می شوند. این دستهها معمولاً متعلق به دو یا چند وضعیت دیرینه تنشی هستند که می توانند مربوط به رژیم کششی، فشارشی و یا رژیم راستالغز باشند.

از این رو دگر شکلیهای چند فازی که می توانند در نتیجه فازهای اصلی زمین ساختی یا تغییر محورهای تنش در طی یک فاز زمین ساختی باشند، مورد توجه قرار گرفته اند. در این خصوص، جهت لغزش بر روی گسلهای متعدد با عملکردهای متفاوت باید شناخته شده باشد تا از این طریق بتوان به ماهیت تنش پی برد.

برخی از گسلهای برداشت شده در چند ایستگاه چندین جهت خطوط خش لغز دارند که نشان دهنده تغییر جهت لغزش در طی زمان است و تأیید می کند که گسل در یک راستای ثابت و مشخص فعالیت نداشته است. این مطلب می تواند مربوط به تغییر در جهت محورهای اصلی تنش و یا تغییر در نسبت اختلاف تنش  $\Phi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 - \sigma_3}$  و یا هر دو آنها باشند (Ramsay, 2000).

با توجه به اهمیت شناخت فازهای دگر شکلی و نیز توجه به اهمیت این مطلب که در هر ایستگاه واحدهای سنگی می توانند تحت تنشهای مختلفی قرار گیرند، سعی شده است که تا حد امکان در هنگام برداشت، دادهها بر اساس رویدادهای زمین ساختی دسته بندی شوند. سپس در مراحل بعدی برای تحلیل دادهها و پیشگیری از خطاهای ناشی از محاسبه موقعیت محورهای تنش مربوط به فازهای گوناگون و سامانههای مختلف شکستگی، دادههای برداشت شده از هر ایستگاه پس از تفکیک از یکدیگر در نرم افزارهای رایانه ای مربوطه به طور جداگانه وارد شده اند.

در مراحل اولیه کار، برای دست یافتن به یک نتیجه کلی، در هر یک از ۱۶ ایستگاه ذکر شده با توجه به دادههای برداشت شده اولیه و با استفاده از روش دو وجهی راست و با بهره گیری از نرم افزار Tectonic FP (Ortner et al., 2002) یک دو وجهی کلی رسم شده است. نتایج حاصل در شکل ۴ نشان داده شده است.

با توجه به این که در صورت استفاده از دو وجهی راست، امکان تحلیل و دسته بندی دادهها به صورت جزئی و جداسازی وقایع وجود ندارد، همه دادهها با توجه به روش وارون سازی ارائه شده توسط (Angelier, 1994b)، تحلیل شده اند.

دادههای متعلق به هر ایستگاه با دقت تفکیک شده و موقعیت محورهای تنش دیرینه با استفاده از نرم افزار Tector (Angelier, 1991) به دست آمده

است.

استفاده از این روش، این امکان را فراهم می سازد تا بتوان محورهای تنش دیرینه را بازسازی و جهتهای مربوط به کشش و فشارش را محاسبه کرد. پس از محاسبه محورهای تنش یعنی  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$ ،  $\sigma_3$ ، مقدار نسبت  $\Phi$  متعلق به هر دسته از دادهها به دست آمده است. در نهایت میانگین زاویه بین لغزش واقعی بر روی صفحه گسلی و بردار تنش برشی تئوری ( $\alpha$ ) محاسبه شده است. مقدار  $\alpha$  درجه سازگاری لغزش گسلی محاسبه شده را با تنش برشی واقعی نشان می دهد. زوایای  $\alpha$  با مقادیر بیش از  $45^\circ$  قابل قبول نبوده و ناسازگاری بالایی را نشان می دهند. بنابراین، هر چه مقدار این زاویه کمتر باشد، درجه اطمینان بیشتر خواهد بود (Angelier, 1990).

با توجه به روش وارونگی و دسته بندی دادهها، اطلاعات حاصل از هر ایستگاه تحلیل شده اند. دسته دادههای موجود در هر ایستگاه گاه متعلق به دو یا چند وضعیت تنش بوده که مربوط به رژیم کششی، فشارشی یا راستالغز هستند. از این رو در هر ایستگاه دو یا چند استریوپلات از استریوپلات کل مشتق شده است. در هر کدام یک رژیم زمین ساختی خاص متعلق به واحد سنگی مربوطه مشاهده شد. در استریوپلات مربوط به هر یک از این ایستگاهها خط چینها نمایانگر موقعیت لایه بندی، خطوط پیوسته به همراه نقاط توپر نشانده صفحههای لغزشی - گسلی و خش لغزش و پیکانهای مشخص شده نمایانگر سوی حرکت است. در برخی از ایستگاهها درزههای کششی با خطوط پیوسته و ساده نشان داده شده اند. موقعیتهای  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$ ،  $\sigma_3$  در هر استریوپلات به ترتیب با ستارههای ۵، ۴، ۳ پر مشخص شده است و سرانجام جهت نهایی کشش یا فشارش با پیکانهای توپر نشان داده شده است. در این پژوهش ایستگاهها با توجه به موقعیت محلی دسته بندی و بررسی شده اند.

### ایستگاههای باختر و شمال باختری روستای ترکمن ده

این محدوده در بردارنده ایستگاههای O، I، H، B و P است (شکل ۷) که به ترتیب در سازندهایی با سن چینه شناختی ژوراسیک پایینی، کرتاسه پایینی، کرتاسه بالایی و الیگوسن اندازه گیری شده است. در ایستگاه B، تفکیک دادهها بر پایه مشاهده سامانههای درزه ای و صفحههای برشی در محل صورت گرفته است و سه استریوپلات مجزای B1، B2 و B3 از دادههای برداشت شده به دست آمده است. در این ایستگاه رژیم زمین ساختی راستالغز چیره بوده و با توجه به صفحههای برشی راست بر و چپ بر یک فاز فشارشی جوان در امتداد N165 مشخص شده است. در ایستگاه H دادههای برداشت شده گسلهای راستالغز غالباً راست بر را در

اثر گذاشته‌اند، می‌توان استنباط کرد که این درزه‌ها مربوط به پیش از چین خوردگی هستند. از این رو برای به دست آوردن جهت تنش مؤثر باید از دوران محورها استفاده کرد. بدین منظور لایه بندی را افقی کرده تا شرایط درزه‌ها پیش از چین خوردگی به دست آید.

در استریوپلات A2 دو دسته لغزش معکوس مشاهده می‌شود و بیانگر رژیم فشارشی است. یک دسته که در بالا مشاهده می‌شود. در واقع حرکت درزه به صورت وارون را پس از کج شدگی و کم شیب شدن دوباره نشان می‌دهد. این سری از شکستگیها در استریوپلات A1 نیز با خش لغزشهایی که نمایانگر حرکت راستالغز چپ بر هستند، نشان داده شده‌اند و از آنجا که روی این سری از شکستگیها دو سری خط خش مشاهده شده است، با توجه به روابط هندسی و مقایسه با لایه بندی می‌توان گفت که حرکت معکوس در پی حرکت راستالغز ایجاد شده است. از سوی دیگر یک دسته لغزش وارون نیز در پایین استریوپلات دیده می‌شود که به موازات لایه بندی بوده و با راستای تنش یکسان است.

در کل، با مقایسه استریوپلاتهای A1، A2 می‌توان گفت که در این ایستگاه رژیم زمین ساختی حاکم، ابتدا به صورت راستالغز عمل کرده و سپس دسته درزه‌های مزدوج چرخیده و به صورت معکوس عمل کرده است. جهت تنش فشارشی در رژیم راستالغز معادل N066 در زمان تریاس بالایی - ژوراسیک زیرین بوده (A1) و در کرتاسه بالایی جهت تنش فشاری شمالی - جنوبی و معادل N185 می‌شود (A2).

در ایستگاههای L، K، J و M تنشهای فشارشی به ترتیب امتداد، N346، N046، N225 و N200 دارند.

### ایستگاههای شمال باختری روستای توچال

در این محدوده ایستگاههای G، F، E، D، C و N قرار دارند که با توجه به موقعیت گسل قره چشمه، تمرکز برداشتها در اطراف قره چشمه بیشتر است (شکل ۹). برداشتها بیشتر متعلق به واحدهایی با سن ژوراسیک پایینی تا بالایی است. در ایستگاههای C و D رژیم زمین ساختی راستالغز با چیرگی در کنار رژیم زمین ساختی نرمال در ایستگاه C و معکوس در ایستگاه D دیده می‌شود که به ترتیب راستای تنش فشارشی N231 و N006 را نشان می‌دهند.

داده‌های برداشت شده در ایستگاه E حاکی از یک حرکت نرمال با مؤلفه راست بر است و کششی را در جهت N310 مشخص می‌سازد.

در ایستگاه F تمام داده‌های مربوط به گسلهای با حرکت معکوس و راستالغز با مؤلفه راست بر بر روی دو استریوپلات پیاده شده‌اند. موقعیت خش لغزشهای

کنار گسلهای شیب لغز نرمال نشان می‌دهد. خش لغزش بر روی لایه بندی اثر گذاشته است و خش لغزشها در اثر حرکت لایه‌ها شکل گرفته‌اند. چنین استنباط می‌شود که حرکات راستالغز و شیب لغز مربوط به پیش از چین خوردگی بوده و برای دست‌یابی به محورهای اصلی تنش از دوران محورها استفاده شده است. به این ترتیب شرایط تنش حاکم پیش از چین خوردگی و جهت تنش فشارشی معادل N083 مشخص شده است.

در ایستگاه I داده‌های برداشت شده عبارتند از مشخصات لایه بندی، صفحات گسلی - لغزشی و درزه‌های کششی. از استریوپلات کلی مربوط به این ایستگاه یک استریوپلات متعلق به یک دسته درزه برشی چپ بر مشتق شده است. با توجه به موقعیت لایه بندی و مقایسه آن با وضعیت درزه‌های کششی، نمی‌توان اطمینان حاصل کرد که این درزه‌ها مربوط به پیش از چین خوردگی یا در ارتباط با آن است. در کل جهت تنش فشارشی مؤثر N191 است.

برداشت داده‌های ایستگاه O در سنگهای الیگوسن صورت پذیرفته است و درزه‌های جوان متعلق به پس از چین خوردگی و تنش فشارشی با راستای N039 را نشان می‌دهند. از سوی دیگر، یک سامانه گسلش نرمال به موازات محور چین خوردگی وجود دارد که با توجه به مشاهدات می‌توان تنش فشارشی با امتداد N231 را برای این سامانه در نظر گرفت.

در ایستگاه P نیز داده‌های برداشت شده در واحدهای الیگوسن بررسی شده است. این واحدها به صورت توده‌ای بوده و تشخیص لایه بندی ناممکن است. با توجه به صفحه‌های لغزشی، درزه‌های کششی و در کل با توجه به نبود لایه بندی و با تکیه بر خش لغزشهای شناخته شده می‌توان یک تنش فشارشی شمالی - جنوبی را با امتداد N192 برای این ایستگاه در نظر گرفت.

### ایستگاههای جنوب روستای ترکمن ده

ایستگاههای L، K، J، A و M در این محدوده جای دارند (شکل ۸). از میان ایستگاههای ذکر شده، تنها در ایستگاه A در چند مورد واحدهای با سن چینه شناختی تریاس بالایی - ژوراسیک پایینی انتخاب شده و بخشهایی از این ایستگاه و دیگر ایستگاهها متعلق به کرتاسه بالایی است. با توجه به اینکه در برخی از صفحات لغزشی - گسلی برداشت شده بخصوص آن دسته برداشتهایی که متعلق به سنگهای کرتاسه بالایی است، دوسری خش لغزش مشاهده شده است و همچنین بر مبنای دلایل هندسی و رویدادهای زمین ساختی می‌توان داده‌های کل را به دو دسته مجزا تقسیم کرد. دو استریوپلات مشتق شده از داده‌های این ایستگاه به صورت A1، A2 نشان داده شده است.

در استریوپلات A1 رژیم زمین ساختی از نوع راستالغز بوده و دو دسته درزه مزدوج دیده می‌شود که با توجه به این که خش لغزشها بر روی لایه بندی

الف) جهت تنش فشارشی شمال خاوری که تا زمان الیگوسن وجود دارد. داده‌های با این جهت، مربوط به قبل، بعد و همچنین همزمان با چین خوردگی هستند. از آنجا که این جهت تنش در همه زمانها وجود دارد، می‌توان گفت که کل چین خوردگی منطقه در اثر فشارش شمال خاور بوده است.

ب) جهت تنش فشارشی شمالی - جنوبی که در همه سنگهای قدیمی و جوان دیده می‌شود. فراوانی بیشتر جهت تنش اخیر از زمان ژوراسیک میانی و ایجاد گسلهای معکوس، موازی و همزمان با لایه‌بندی، حکایت از جوان تر بودن این جهت فشارشی نسبت به جهت فشارشی شمال خاوری دارد.

۲) با توجه به نمودارها، استریوپلاتها و شکل ۱۲ که نشان دهنده تغییرات جهت تنشهای فشارشی مربوط به ایستگاههای اندازه‌گیری شده در مقایسه با زمان (از تریاس بالایی تا الیگوسن) است و همچنین تحلیل داده‌ها، می‌توان جهت تنش NE - SW را در سازندهای مزوزویک غالب دانست. از آنجا که تنش NE در سنگهای جوان (سنوزویک) نیز دیده می‌شود، می‌توان گفت که پس از مزوزویک تا الیگوسن تنش با راستای NE - SW سبب دگرشکلی لایه‌های مزوزویک شده و از آن پس در زمان تشریری ادامه یافته است. از سوی دیگر تنش جدیدتر N-S سنگهای قدیمی تر و جوان تر (ژوراسیک و تشریری) را تحت تأثیر قرار داده و از این رو می‌تواند مربوط به یکی از فازهای کوهزایی آلپ پسین (آتیکان یا پاسادین) باشد.

با توجه به این نتایج و استریوپلاتهای به دست آمده، به منظور تعیین دقیق تر این فازهای جدید و تنش وابسته به آنها داده‌های بیشتری از تشریری و بویژه ائوسن، میوسن و پلیوسن نیاز است؛ و از آنجا که در منطقه مورد بررسی واحدهای جوان تر رخنمون ندارد، شاید با بررسی داده‌ها در محدوده وسیع تر و مقایسه آن با سایر نتایج به دست آمده از تحلیل تنش دیرینه در لبه جنوبی البرز مرکزی (عباسی و شبانیان بروجنی، ۱۳۸۴) و دیگر نقاط ایران (نواب‌پور و همکاران، ۱۳۸۵؛ Navabpour & Angelier, 2006) بتوان به نتایج کامل تری در این زمینه دست یافت و به شناخت بیشتری از زمین ساخت ایران رسید.

روی این صفحه‌ها نمایانگر حرکتهای جوان است و هر دو استریوپلات راستای تنش فشارشی یکسانی را با امتداد N344 نشان می‌دهند.

ایستگاه G مجموعه‌ای از درزه‌های کششی قائم و صفحه‌های راستالغزی را در بر گرفته که با توجه به موقعیت خش لغزشها نسبت به لایه‌بندی، پس از چین خوردگی شکل گرفته‌اند و تنش فشارشی تقریباً شمالی - جنوبی معادل N167 را نشان می‌دهند.

داده‌های ایستگاه N متعلق به پائوسن است و تنش فشارشی جوانی را با راستای N010 نشان می‌دهد. نتیجه حاصل از استریوپلات این ایستگاه بسیار شبیه به جهت تنش به دست آمده در ایستگاه D است و می‌توان چنین استنباط کرد که طی گذر زمان جهت تنش در این دو واحد ثابت بوده و یا تنش جوان تر (استریوپلات N)، تنش مؤثر بر چین خوردگیهای قبلی بوده است (در صورت وجود دگرشبی).

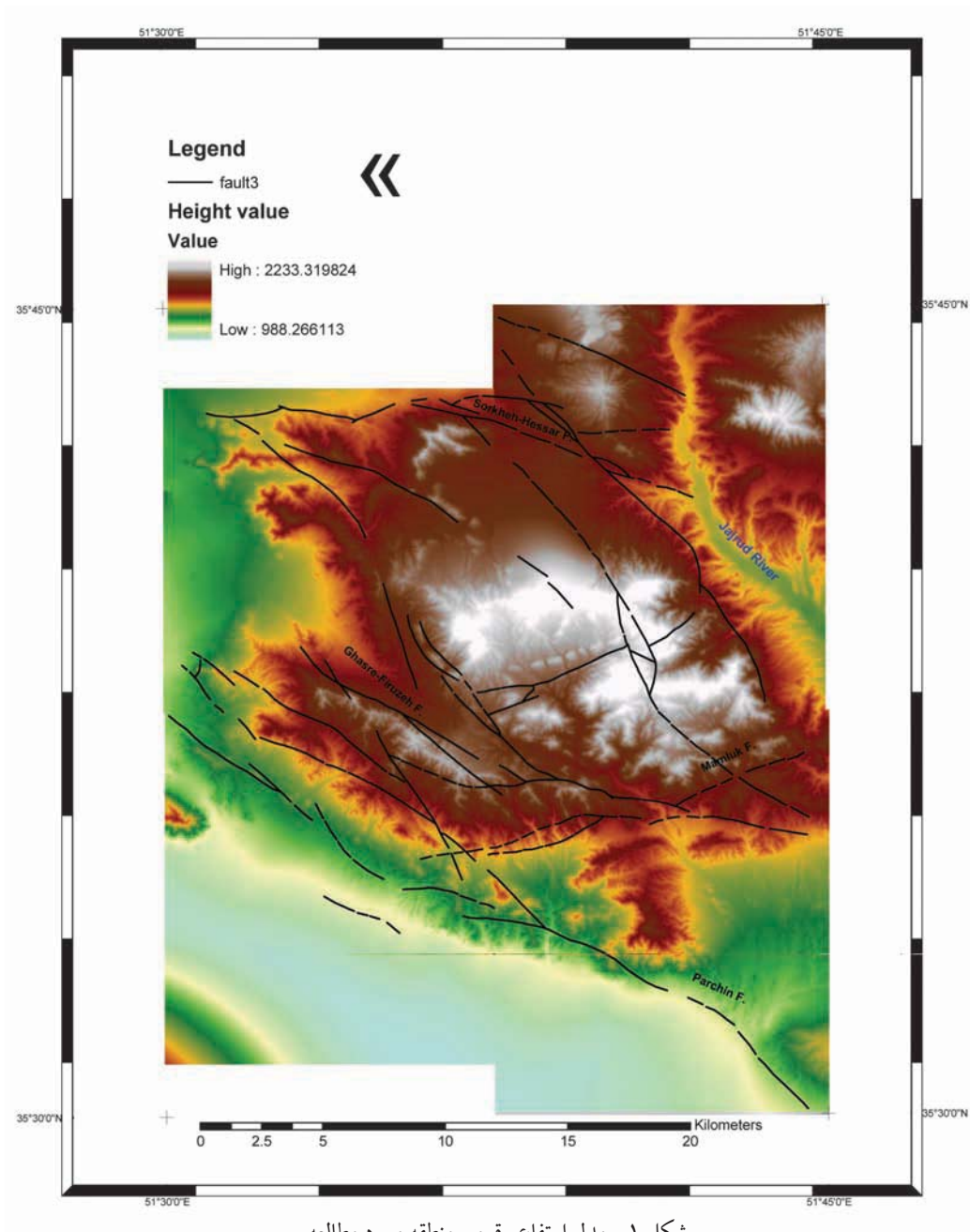
همه اطلاعات مربوط به هر یک از ایستگاهها و استریوپلاتها با توجه به زمان (از قدیم به جدید) در شکل ۱۰ پیاده شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول یاد شده، جهت‌های مربوط به کشش و فشارش در هر یک از رژیمهای ساختاری نرمال، معکوس و راستالغز، به صورت نمودارهای گل سرخی مجزا نشان داده شده‌اند. نمودارهای گل سرخی به دست آمده را با نمودار گل سرخی مربوط به امتداد لایه‌بندی که روند ساختاری منطقه را نشان می‌دهد، مقایسه شده است (شکل ۱۱).

چنانچه روند لایه‌بندی منطقه با جهت تنشها مقایسه شود، نشان می‌دهد که روندهای غالب در هر کدام از نمودارهای گل سرخی مربوط به رژیمهای نرمال، معکوس و راستالغز تقریباً عمود بر امتداد لایه بندی است و مؤید ارتباط محور تنشها با چین خوردگیهای منطقه است.

### نتیجه‌گیری

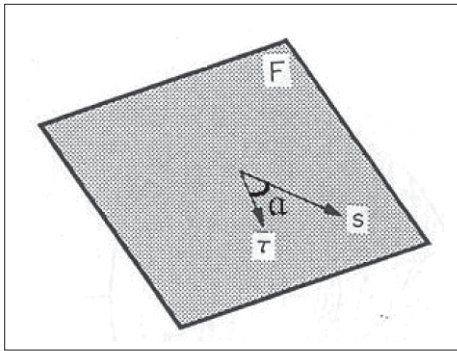
۱) با توجه به نمودارهای گل سرخی به دست آمده دو جهت پیشینه تنش دیده شده است که عبارتند از:



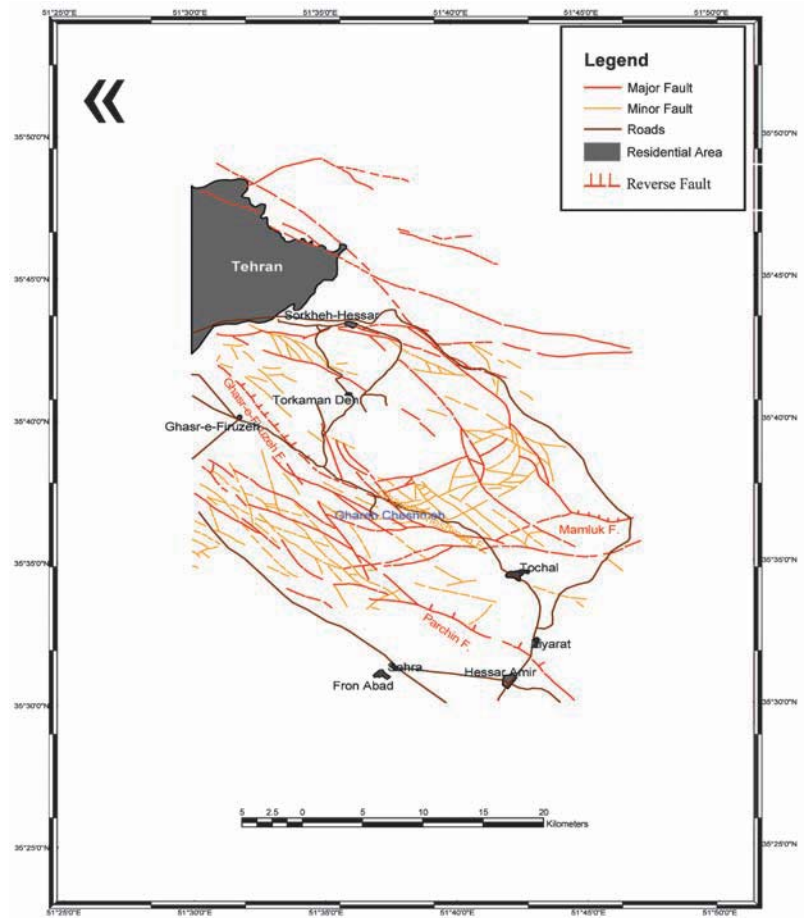
شکل ۱- مدل ارتفاع رقومی منطقه مورد مطالعه



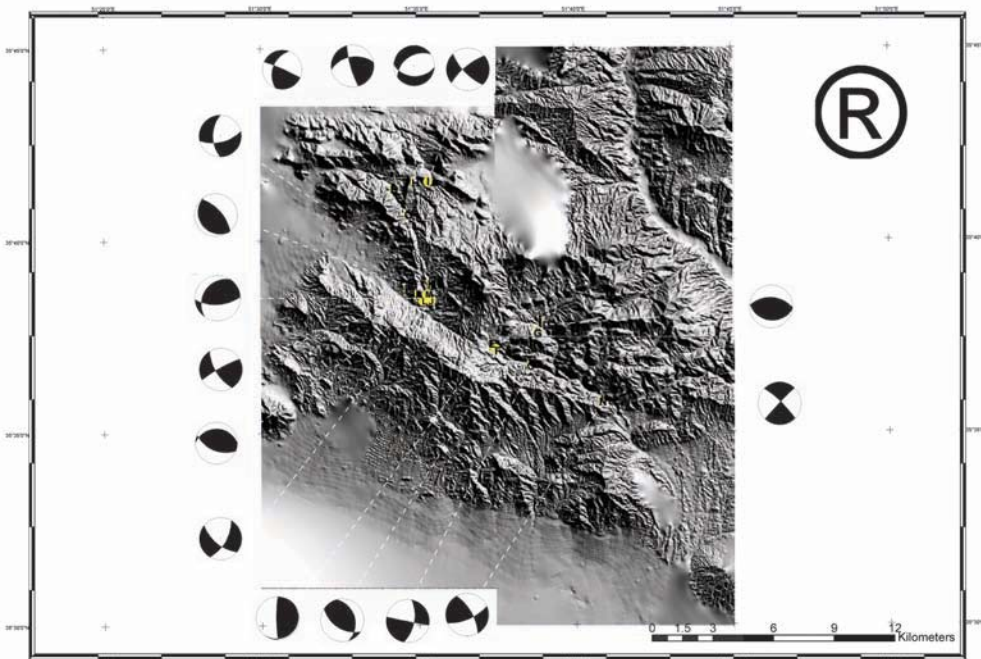
شکل ۲- تصویر دورنمایی از شمال باختر روستای توچال. ارتباط توده‌های آذرین و سایر واحدها (نگاه به سمت خاور).



شکل ۴- موقعیت زاویه  $\alpha$  بر روی صفحه گسلی (F). (S) نمایانگر بردار لغزش واحد و ( $\tau$ ) نمایانگر بردار تنش برشی تئوریک می باشد (بر گرفته از Angelier, 1994 b)

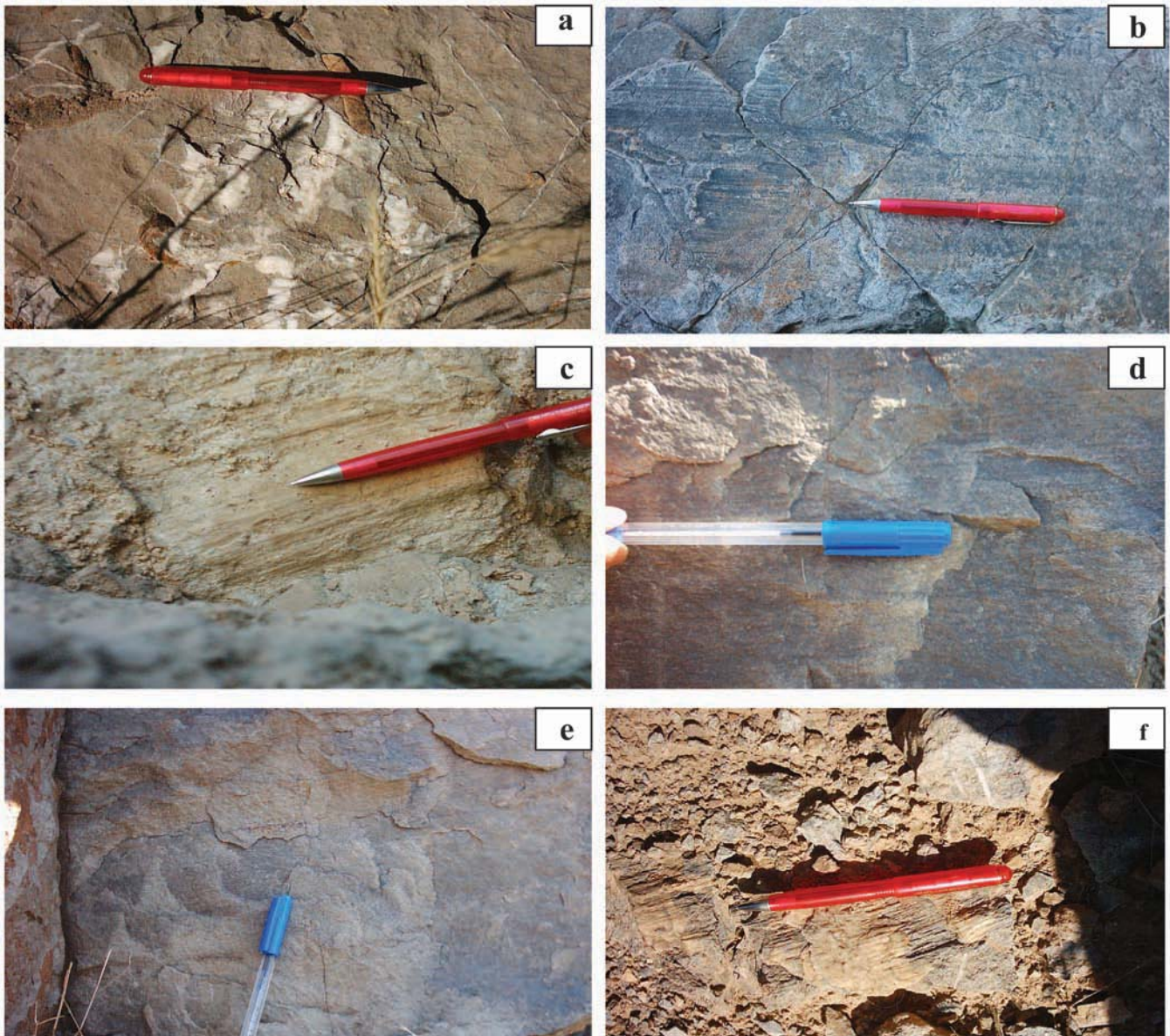


شکل ۳- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ساختارهای اصلی آن.



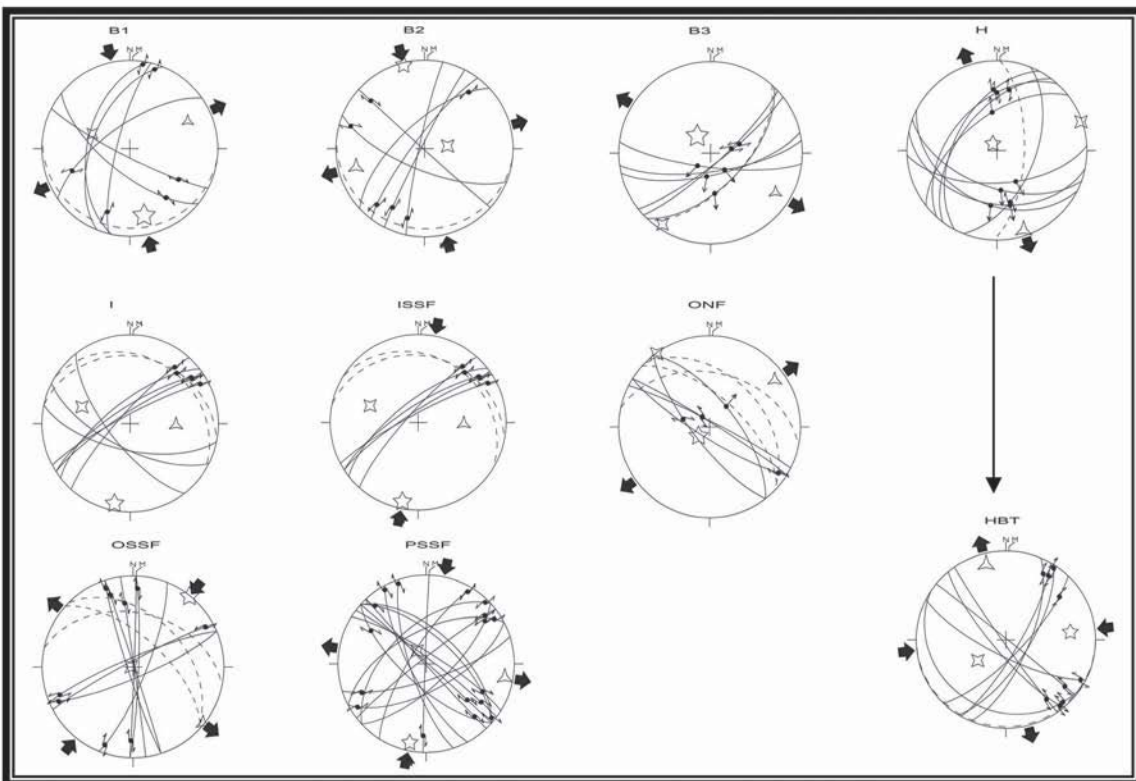
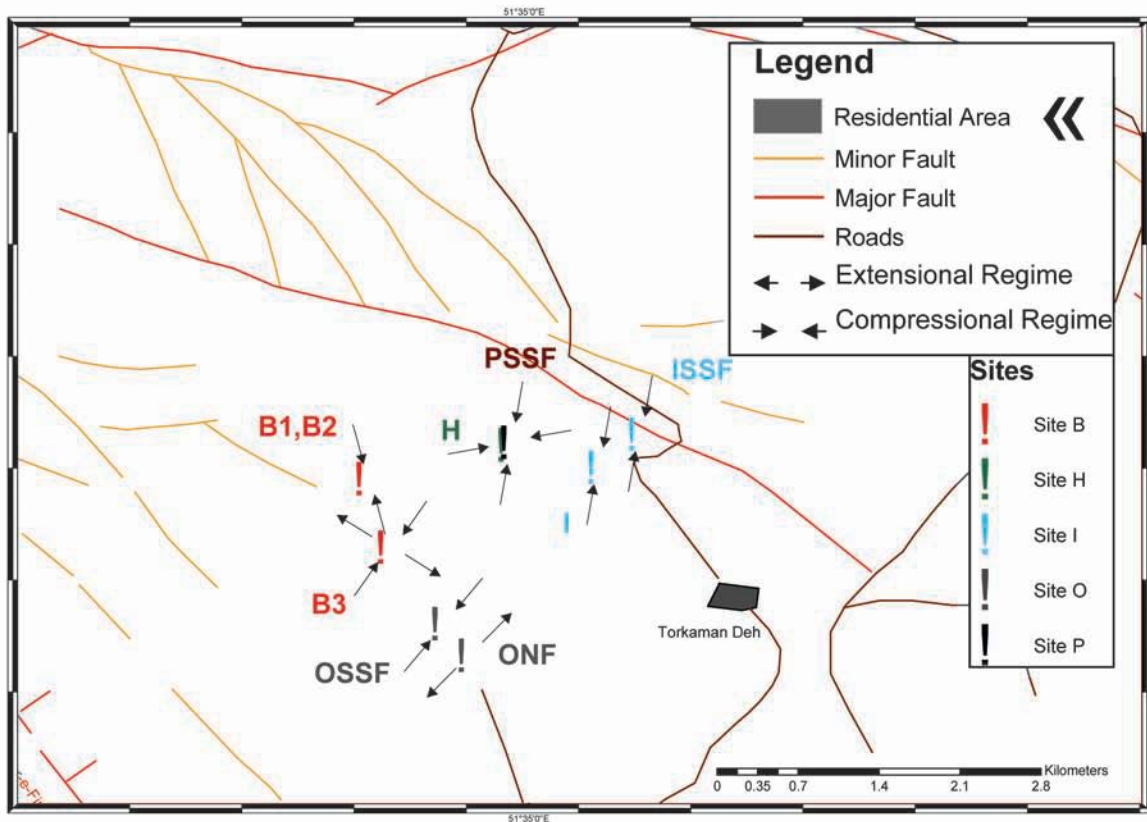
شکل ۵- ایستگاههای اندازه گیری شده و دو وجهیهای راست مربوط به هر ایستگاه محدوده های سیاه نشان دهنده محدوده کشش و محدوده های سفید نشان دهنده محدوده فشارش می باشد.



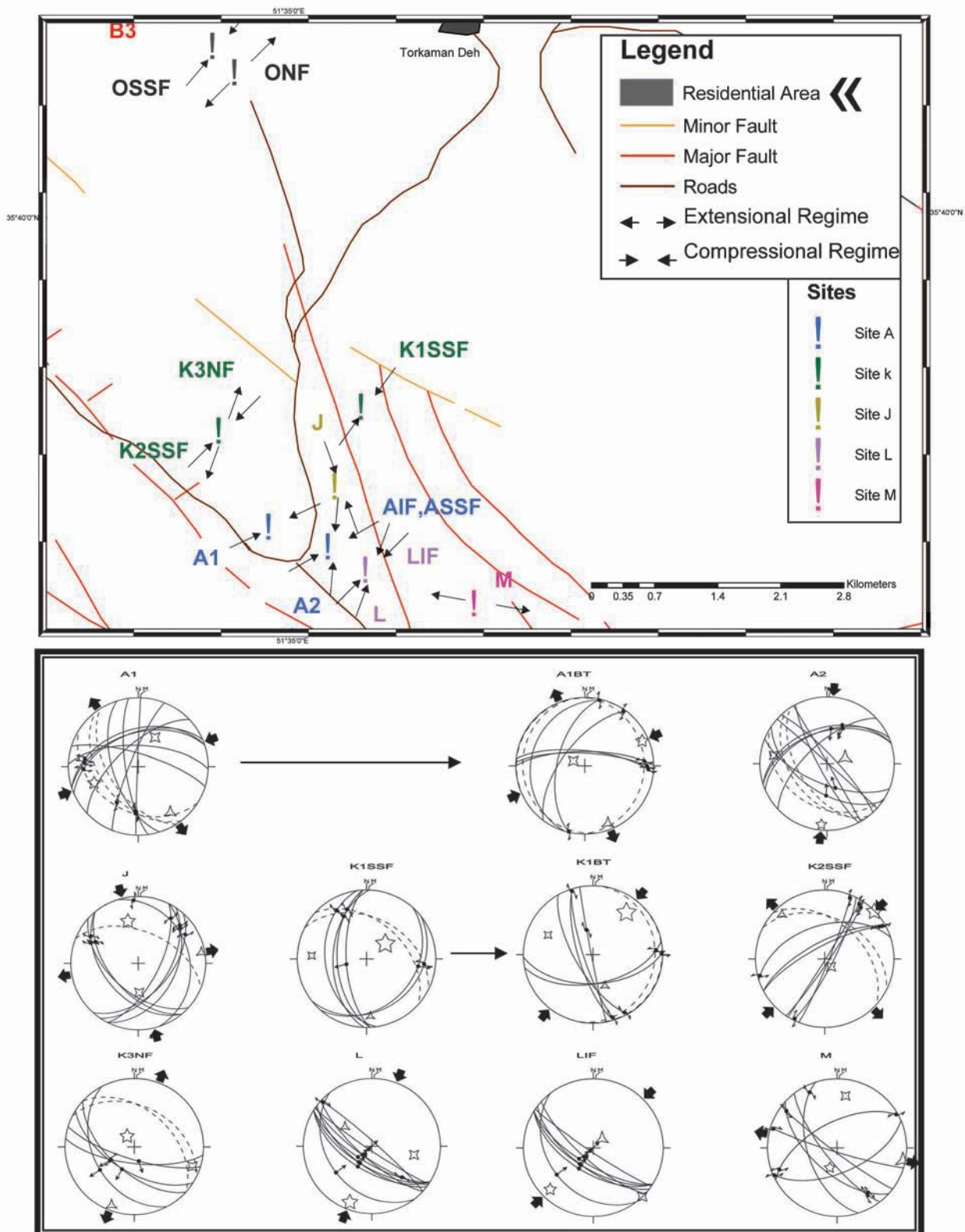


شکل ۶- تصاویر مربوط به علائم و شاخصهای تشخیص سوی لغزش.

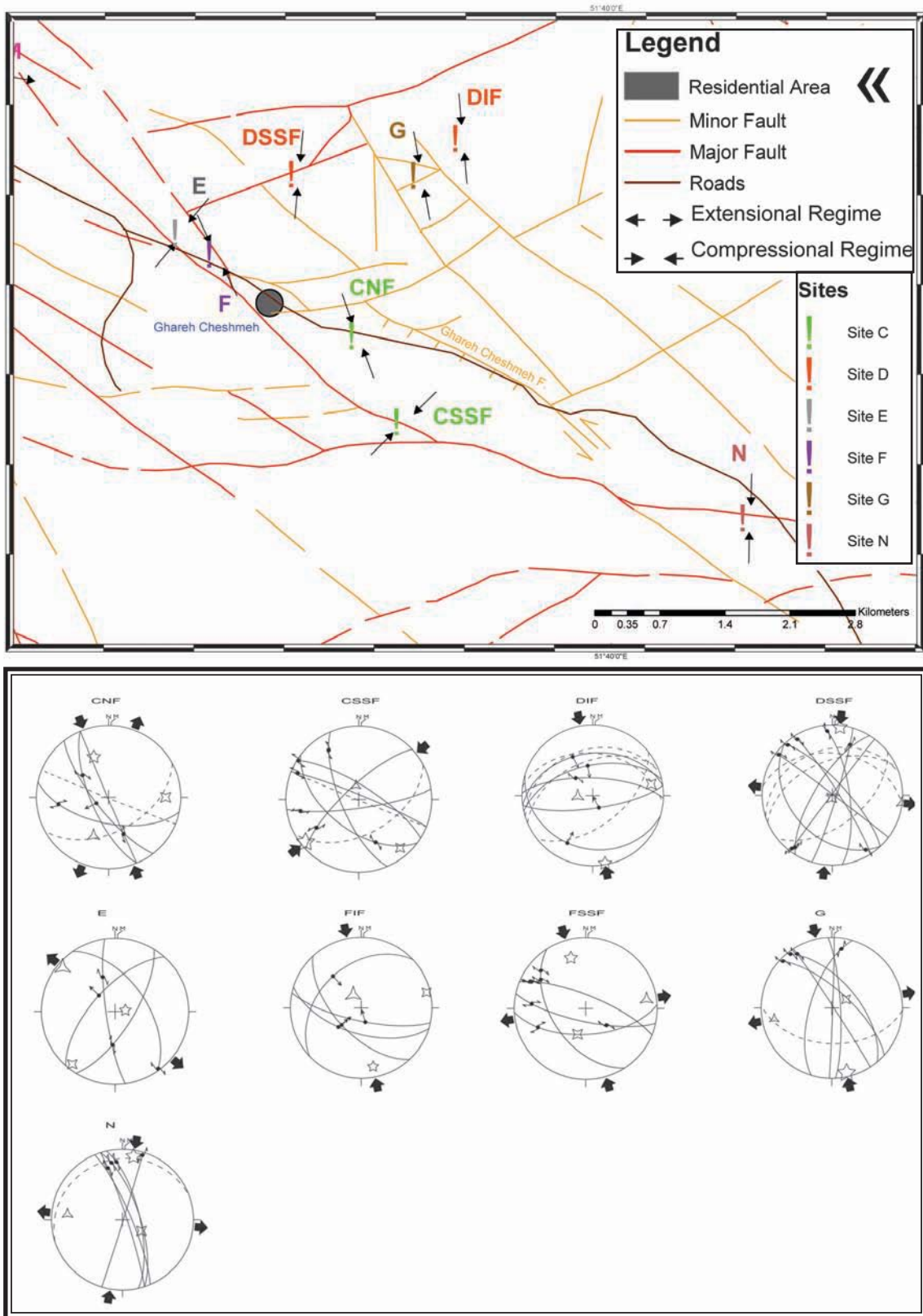
(a) پله‌های تجمعی کانیها مربوط به صفحه لغزش ، (b) تول مارکهای زمین ساختی، (c) زبر و صیقلی بودن صفحه لغزش ، (d) شکستگیهای ریدل، (e) بازشدگیهای کششی ، (f) قله‌های استیلولیتی در کنار پله‌های کلسیتی.



شکل ۷- ایستگاههای اندازه گیری در باختر و شمال باختری روستای ترکمن ده- استریوپلاتهای ترسیم شده برای هر ایستگاه و میدان تنش مربوطه مشخص شده است.



شکل ۸- ایستگاههای اندازه گیری در جنوب روستای ترکمن ده. استریوپلاتهای ترسیم شده برای هر ایستگاه و میدان تنش مربوطه مشخص شده است.



شکل ۹- ایستگاههای اندازه گیری در شمال باختری روستای توچال (قره چشمه)- استریوپلاتهای ترسیم شده برای هر ایستگاه و میدان تنش مربوطه مشخص شده است.

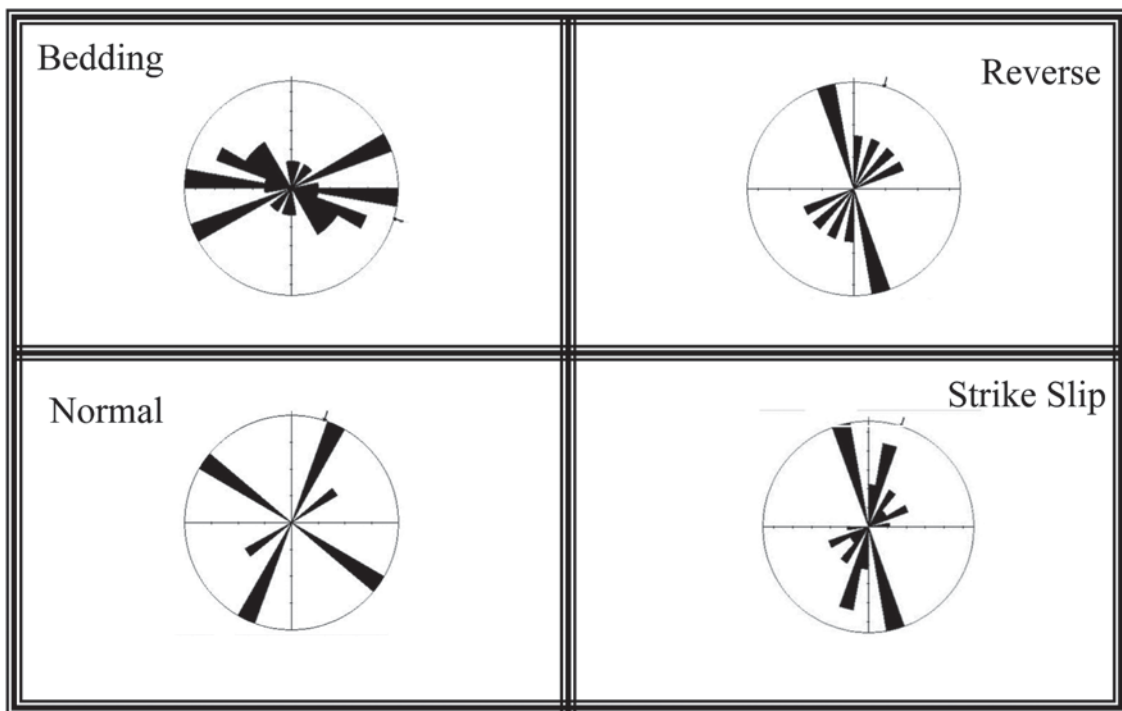
Site	Stratigraphic age	Regime	Coordinate (UTM)	Lithology	$\sigma_1$		$\sigma_2$		$\sigma_3$		A	$\phi$
					Dir.	Plung.	Dir.	Plung.	Dir.	Plung.		
A1	Upper Triassic-Lower Jurassic	S*	552851 3944522	Shale, Siltstone	66	10	293	75	158	10	8.6	0.5
AIF	Upper Triassic-Lower Jurassic	R	553197 3944258	Shale, Siltstone	242	10	337	27	133	60	37.1	0.5
ASSF	Upper Triassic-Lower Jurassic	S	553100 3944682	Sandstone, Limestone	242	10	337	27	133	60	37.1	0.5
B1	Lower Jurassic	S	551632 3949616	Siltstone, Marly limestone	168	23	291	52	65	28	11.3	0.1
B2	Lower Jurassic	S	551632 3949616	Siltstone, Dolomite	346	3	84	69	255	21	7.5	0.5
B3	Lower Jurassic	N	551782 3949180	Siltstone, Dolomite	322	71	214	6	122	18	13.2	0.2
CNF	Lower Jurassic	N	558068 3941228	Siltstone, Limestone	340	40	90	22	201	42	16.1	0.5
CSSF	Lower Jurassic	S	558425 3940380	Siltstone, Limestone	231	7	140	14	348	75	40	0.2
DIF	Lower-Middle Jurassic	R	558983 3943113	Limestone, Marl, Siltstone	170	2	79	17	267	73	5.9	0.5
DSSF	Lower-Middle Jurassic	S	558983 3943113	Limestone, Marl	6	3	193	87	96	0	8.4	0.4
E	Middle Jurassic	N	556414 3942120	Marly Limestone	84	79	219	8	310	8	11.7	0.8
FIF	Middle Jurassic	R	556659 3941978	Limestone	169	16	77	6	328	73	10.8	0.8
FSSF	Middle Jurassic	S	556810 3941780	Marly Limestone	344	27	198	59	81	15	22.5	0.6
G	Upper Jurassic	S	558582 3942739	Limestone, Lithic Tuff, Andesite	167	6	59	71	259	18	7.5	0.2

شکل ۱۰- جدول ویژگی‌های وضعیت تنش در ایستگاهها

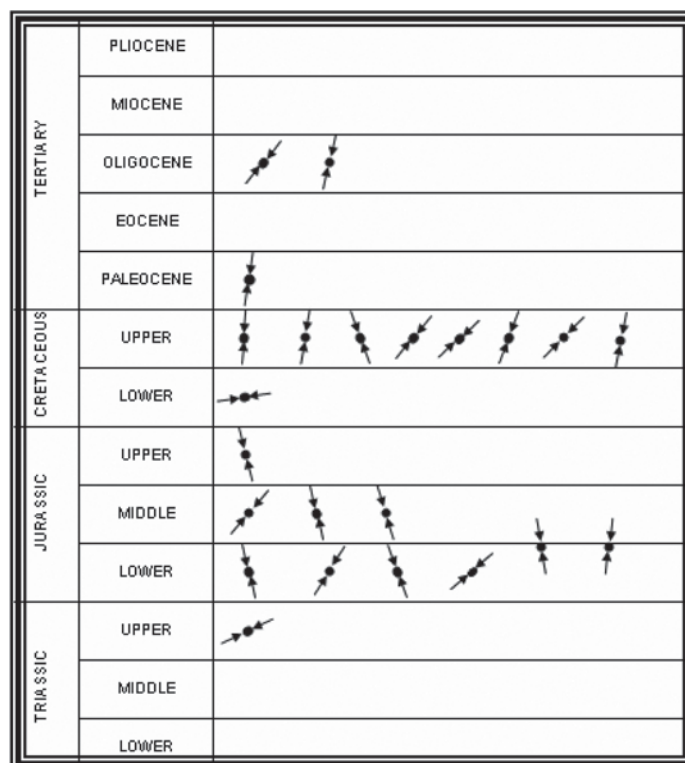
S، گسلش راستالغز؛ N، گسلش نرمال؛ R، گسلش معکوس؛ \*، نتایج مربوط به تنسور تنش دوران یافته؛  $\sigma_1$ ، محور تنش بیشینه؛  $\sigma_2$ ، محور تنش متوسط؛  $\sigma_3$ ، محور تنش کمینه؛ Dir.، راستای محور تنش به درجه؛ Plung.، شیب محور تنش به درجه؛  $\alpha$ ، میانگین زاویه بین لغزش مشاهده شده و برش محاسبه شده به درجه؛  $\phi$ ، نسبت تفاضل تنشها.

H	Lower Cretaceous	S*	552664 3949936	Sandstone,Limestone Shale,Siltstone	83	28	233	58	345	13	7.1	0.6
A۲	Upper Cretaceous	R	553197 3944258	Limestone,Sandstone Conglomerate Granodiorite	185	9	279	21	73	67	5.4	0.8
I	Upper Cretaceous	S	553340 3949875	Sandstone,Marl, Siltstone	191	9	289	42	92	47	2.4	0.4
ISSF	Upper Cretaceous	S	553484 3949987	Sandstone, Siltstone	191	9	289	42	92	47	2.4	0.4
J	Upper Cretaceous	S	553217 3944692	Conglomerate, Sandstone	346	36	178	54	80	6	10.7	0.3
K۱SSF	Upper Cretaceous	S*	553444 3945085	Conglomerate, Siltstone,Sandstone	38	24	293	30	159	50	17.9	0.02
K۲SSF	Upper Cretaceous	S	553217 3944692	Conglomerate, Siltstone,Sandstone	46	1	141	78	316	12	9.5	0.2
K۳NF	Upper Cretaceous	N	553277 3944797	Conglomerate, Siltstone,Sandstone	326	75	109	12	201	9	10.1	0.4
L	Upper Cretaceous	R	553197 3944258	Sandstone,Siltstone, Igneous rocks	201	12	102	37	306	50	18.1	0.3
LIF	Upper Cretaceous	R	553100 3944682	Sandstone,Siltstone, Igneous rocks	225	15	135	0	44	75	3.1	0.6
M	Upper Cretaceous	S	553314 3944437	Conglomerate, Sandstone	200	65	9	25	101	4	45	0.8
N	Paleocene	S	552664 3949936	Marly Limestone, Pyroclastics,Tuff	10	10	121	65	276	23	12.8	0.4
ONF	Oligocene	N	552358 3948388	Limestone,Siltstone, Granodiorite	231	77	324	1	54	13	16.9	0.4
OSSF	Oligocene	S	552248 3948532	Limestone,Siltstone, Granodiorite	39	1	278	88	129	1	16.1	0.4
PSSF	Oligocene	S	552340 3944838	Granite, Granodiorite	192	10	325	75	100	10	14.6	0.6

ادامه شکل ۱۰- جدول ویژگیهای وضعیت تنش در ایستگاهها



شکل ۱۱- نمودارهای گل سرخی مربوط به روند لایه‌بندی منطقه (Bedding) و جهت‌های کشش و فشارش در رژیم‌های ساختاری نرمال (Normal)، معکوس (Reverse) و راستالغز (Strike Slip).



شکل ۱۲- تغییرات جهت تنش‌های فشارشی از تریاس بالایی تا الیگوسن در منطقه مورد مطالعه.

**کتابنگاری**

- بربریان، م، قریشی، م، ارژنگک روش، ب. و مهاجر اشجعی، الف.، ۱۳۷۱- پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه- گسلش در گستره تهران و پیرامون، گزارش شماره ۵۶. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین شناسی ایران، نشر دانش امروز.
- عباسی، م. ر.، شبانیان پروجنی، الف.، ۱۳۸۴- تعیین وضعیت تنش به روش برگشتی از صفحه های گسلی لبه جنوبی البرز مرکزی. فصلنامه علوم زمین. شماره ۵۵.
- نواب پور، پ.، ۱۳۸۵- پیش درآمدی بر آرایش تنشهای دیرینه در گستره کپه داغ پس از تریاس، تحت چاپ، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۷۶- گزارش حاشیه نقشه شرق تهران، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور.

**References**

- Angelier, J., 1994a- Inversion of brittle tectonic data in order to determine Stress & Tensor: Faults, non faults and pressure – tension structures. geol. France. pp. 211-219.
- Angelier, J., 1994b- Fault slip Analysis & paleostress reconstruction In: Hancock, P. L. 1994. Continental Deformation, pergamon press Ltd. Chapter 4, pp. 53-100.
- 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. Geophys. J. IntVol. 103, pp. 363-376.
- Bergerat, F., 1994- From Inversion methods to paleostress Field reconstructions in platforms, Chains and Basins: an over-view. Some examples in Western and Central Eroupe. Peri-Tethyan platforms, pp. 159-178.
- Dellenbach, J., 1964 - Contribution a L'etude geologique de la r'egion situe'e a l'est de Tehran (Iran). FAC. Sci., Univ. Strasbourg (France), 117 p.
- Navabpour, P., Angelier, J. & Barrier, E., 2005- (submitted). Cenozoic post-collisional paleostress reorientation in the High Zagros fold-and-thrust belt of Iran, Fars Province. Tectonophysics.
- Ortner, H., Retier, F., Acs, P., 2002- Easy handling tectonic data: the programs VB for Mac and Tectonics FP for windows. computers & Geosciences. Vol. 28, PP 1193-1200.
- Ramsay, J.G. & Lisle, R. J., 2000- The Techniques of Modern Structural Geology. Vol. 3: Fault slip Analysis and Stress Tensor Calculations, Academic Press. PP. 758-810.