

# آرایش هندسی مسیرهای $\sigma_1$ در گستره کن-کرج (بخش جنوبی البرز مرکزی) بر پایه وارون سازی چند مرحله‌ای

نوشته: محسن الیاسی \* و سیران احمدیان \*\*

\*دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران \*\*پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور

## Determination of the Geometrical Configuration of $\sigma_1$ Trajectory in Kan-Karaj Area (Central Alborz) using Multiple Inverse Method

By: M. Eliassi \* & S. Ahmadian \*\*

\* School of Geology, University College of Science, University of Tehran

\*\* Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۵/۱۲/۰۹

### چکیده

هدف اصلی این پژوهش، تحلیل تاریخیچه تنش دیرینه در محدوده کن-کرج است. فازهای تنش دیرینه با استفاده از تعدادی گسل متوسط مقیاس دارای خطواره‌های لغزشی، تعیین و دسته‌بندی شدند. نتایج حاصل، با توجه به برخی پدیده‌های زمین‌شناسی دیگر همچون سطح محوری چینها، صفحات تزریق، و صفحات استیلولیت کنترل شدند. موقعیت محورهای اصلی تنش ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ) و شکل هندسی بیضوی تنش ( $\Phi$ ) در فضای تنش چهار بعدی توسط تعیین محور چرخش در هر محدوده با توجه به نظریه اندرسون تحلیل شده است. دو فاز تنش متفاوت شناسایی و وضعیت هندسی مسیرهای تنش بیشینه فشارشی روی نقشه ساختاری نمایش داده شد. مسیرهای تنش محاسبه شده روند شمالی - جنوبی داشته و همگرایی محسوسی به سمت شمال نشان می‌دهند که نشان‌دهنده افزایش شدت تنش در حین فعالیتهای سامانه گسلی است.

**کلید واژه‌ها:** روش وارون سازی چند مرتبه‌ای، مسیرهای تنش، تنسور تنش کاهش یافته، البرز مرکزی، گسلش

### Abstract

Analysis of paleostress history in Kan - Karaj Area is the main object of this research. Paleostress phases were determined and categorized by numerous mesoscale faults containing slickenside lineations. The results were controlled and supported by some other geological features such as orientation of axial plane of folds, intrusion and stylolitic planes. The orientation of finite principal stress axes and geometrical shape of stress ellipsoid in a 4-D stress space were analyzed by determination of rotational axis of each sub-area, according to Anderson Theory. Two different stress phases were separated and geometrical configuration of the maximum compressional stress trajectory were illustrating on the structural map. The resulting trajectory shows north- south trend with an outstanding convergence to the north which reflects incremental intensity of stress in that direction during the fault system activities.

**Keywords:** Multiple inverse method, Stress trajectories, Reduced stress tensor, Central Alborz, Faulting

## ۱- مقدمه

پلیوسن تا عهد حاضر را در جنوب تشکیل می‌دهد (Alavi, 1966). این راندگی مرز میان کوه و کوهپایه است و از قطعات پلکانی که دارای آرایش چپ پله هستند تشکیل شده است (Tchalenko, 1974). شیب راندگی در این محل  $45^{\circ}$  -  $10^{\circ}$  به سمت N است. علاوه بر راندگی شمال تهران، گسل مشا- فشم با طولی حدود 400 km و با راستای ESE - WNW در شمال باختر و راستای E - W در خاور (بربریان، 1364)، گسل معکوس امامزاده داوود با راستای NW - SE و شیب  $70^{\circ}$  به سمت NE و راندگی پورکان - وردیج با راستای NW - SE از مهم‌ترین گسل‌های منطقه هستند.

## ۳- پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، رساله‌های کارشناسی ارشد یساقی (1368)، صدر (1370)، صائب‌فر (1370)، ساعدی بناب (1371)، طبسی (1375) و فقهی (1376) به بررسی عناصر ساختاری در محدوده البرز پرداخته و در مقاله‌های کرمی (1376)، امید (1381) و عباسی (1384) به بررسی تنش دیرینه در البرز مرکزی پرداخته شده است که البته در این پژوهشها، تفکیک فازهای تنش دیرین صورت نگرفته است.

## ۴- روش مطالعه

برای تفکیک فازهای تنش دیرینه در محدوده مورد مطالعه، از روش وارون‌سازی چند مرتبه‌ای (multiple inverse method) استفاده شده است. در این روش، داده‌های مورد استفاده برای وارون‌سازی شامل وضعیت سطح گسل، خط خش مربوط به آن و سوی حرکت است که پس از محاسبه با نرم‌افزاری به همان نام، تفکیک فازهای تنش در یک فضای چهاربعدی مرکب از سه موقعیت محورهای اصلی تنش ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ) و شکل میدان ( $\Phi$ ) صورت می‌گیرد و تنش‌های محاسبه شده به صورت تجمعی از این نقاط محاسبه شده و خوشه‌ها را می‌سازند. در این نرم‌افزار رنگ این خوشه‌ها که شامل طیف نور مرئی از بنفش تا سرخ است معرف شکل میدان تنش به ترتیب از 0 تا 1 (به فاصله 0/1) است. روش محاسبه تنش در این نرم‌افزار، روش جستجوی شبکه‌ای (Grid Search Method) است که تنش عمومی تنش با بیشترین هماهنگی با داده‌ها را به نمایش می‌گذارد. تنش برشی محاسبه شده به واسطه این تنش ( $T$ )، با مسیر لغزش هر یک از گسلها (S) مقایسه و زوایای بین آنها ( $\Delta$ ) با عنوان زاویه عدم تناسب (Misfit Angle) معرفی می‌شود. از دید ریاضی، این زاویه

روشهای متفاوتی برای جدایش و تحلیل تنش‌های تنش از داده‌های لغزش گسلی ناهمگن وجود دارد که نتیجه همه این روشها پی بردن به تنشهای اولیه است (Brunier, 1974; Angelier, 1979; Etchecopar, 1981; Gephart 1984; Lisle, 1987; Fry, 1999). به کمک این روشها و با مطالعه ساختارهای مختلف زمین‌شناسی بر جای مانده از تنشهای زمین‌ساختی، تنشهای مسبب شکل‌گیری این ساختارها شناسایی می‌گردند. در این میان، تحلیل کیفی و کمی گسلها کلید قابل اعتمادی را برای فهم توزیع و تکامل میدانهای تنش دیرینه فراهم می‌کنند. بنابراین سعی شده است که برای یافتن تنش اولیه از تحلیل گسلها به دلیل ثبت رویدادهای زمین‌ساختی به صورت خط‌خش بر روی صفحه گسل و توانایی تعیین سوی حرکت استفاده شود. اولین قدم در تحلیل این گسلها بازسازی تنشور تنش کاهش یافته است. این تنشور تابعی خطی از معدل تنشور واقعی تنش است که سبب لغزش گسلها در محدوده مورد مطالعه شده است و بر پایه آن می‌توان مسیرهای فشارش و کشش را در جریان رویداد زمین‌ساختی تعیین کرد. تنشور تنش کاهش یافته موقعیت محورهای اصلی تنش ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ) و نسبت اختلاف تنشها  $\Phi = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$  را نشان می‌دهد. با تحلیل گسلها و محاسبه تنشور تنش می‌توان پارامترهای تنش را تعیین کرد. تعیین این پارامترها دو کاربرد اساسی دارد. اول این که می‌توان الگوی تنش (مسیرهای تنش اصلی) را بازسازی کرد و دوم، مسیر حرکت (بردار لغزش) روی صفحات گسلی مشخص کرده و موقعیت دیگر عوارض ساختاری از همچون چینها، دایکها، صفحات استیلولیت و ... را نیز می‌توان پیش بینی کرد.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در بخش جنوبی البرز مرکزی (طول جغرافیایی  $50^{\circ} 50'$  تا  $51^{\circ} 25'$  و عرض جغرافیایی  $35^{\circ} 45'$  تا  $36^{\circ} 08'$  شمالی) از امام زاده داوود در بخش خاوری تا روستای سیرود کرج در بخش باختری ادامه دارد. در قسمت جنوبی به بخش شمالی تهران و از شمال تا جنوب کوههای طالقان گسترش می‌یابد. مساحت این منطقه حدود  $1811 \text{ km}^2$  است. از دیدگاه سنگ‌شناسی محدوده مورد مطالعه غالباً شامل توفهای سبز سازند کرج به سن ائوسن است که از رسوبات آذرآواری زیردریایی و جریانهای آتشفشانی تشکیل شده است. از دیگر ترکیبهای سنگی این منطقه می‌توان ماسه‌سنگهای توفی، شیل، کنگلومرا، سیلتستون توفی، گدازه‌های آتشفشانی، مونوزوگابوریت و مونوزوگابوریت نام برد. راندگی شمال تهران یک مرز متمایز و واضح بین این سازند در شمال و آبرفتهای

آماری مشخص می‌کند). با محاسبه تنسور تنش کاهش یافته، مسیر لغزش هر دسته محاسبه و با داده‌های لغزشی گسلها مقایسه و با توجه به زوایای عدم تناسب فازهای مختلف تفکیک شده است. تنسور تنش کاهش یافته نمی‌تواند بزرگای تنشهای اصلی را نتیجه دهد، چرا که اطلاعات برداشت شده (موقعیت و سوی تنش روی صفحات گسلی) برای تعیین تنسور واقعی تنش کافی نبوده و تنها سوگیری محورهای اصلی تنش و نسبت اختلاف تنشها را نشان می‌دهد که بر پایه آن می‌توان مسیرهای فشارش و کشش را در جریان رویداد زمین‌ساختی تعیین کرد. با استفاده از این روش، تنسورهای تنش سازگار با لغزشهای گسلی محاسبه شده و آنها به صورت نقاطی در فضای چهاربعدی نمایش داده می‌شوند که تجمع آنها خوشه‌ها را می‌سازند و خوشه‌های با موقعیت یکسان و رنگ یکسان یک فاز تلقی می‌شوند. شکل ۳ نقشه ساختاری تهیه شده در این محدوده که شامل راستای گسلها، محور چینها، دایکها و آبراهه‌ها است را نمایش می‌دهد. این محدوده از لحاظ جغرافیایی به چهار بخش تقسیم شده است. نمودارهای گل سرخی رسم شده در این بخشها، راستای گسلهای برداشت شده را در محدوده کن NW-SE، در محدوده کرج NW-SE تا E-W، در بخش پایینی جاده چالوس WNW-ESE و در بخش بالایی جاده چالوس NE-SW نشان می‌دهد. همه گسلهای برداشت شده در این محدوده پر شیب هستند (عموماً  $70^\circ$  تا  $90^\circ$ ) که این امر گویای چرخش صفحات گسلی نسبت به وضعیت اولیه آنها از زمان پیدایش است که در همه جای منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. قطب گسلها و خشهای برداشت شده و سوی لغزش آنها نیز در نمودار هوپنر شکل ۳ نشان داده شده است.

#### ۴-۴- تحلیل داده‌ها

برای تحلیل داده‌ها سعی شده است ابتدا فازهای تنش دیرینه عمل کرده در محدوده مورد مطالعه تفکیک شده و سپس نتایج با توجه به مشاهدات صحرائی تفسیر شود. برای این کار، محدوده مورد مطالعه بر اساس موقعیت جغرافیایی به سه بخش کن، چالوس و کرج تقسیم شد و بر اساس روشهایی که در ابتدا گفته شد گسلهای این محدوده در مجموع به ۲۵ دسته تقسیم شدند. آشکار است که این دسته‌ها شامل مجموع داده‌های لغزش گسلی ناهمگن هستند. پس از پردازش داده‌های هر دسته، خوشه‌ها نمایان شده و با توجه به شکل منطقی نمودار زاویه عدم تطابق، فازها در هر دسته تفکیک شدند. هر دسته عموماً شامل ۲ تا ۴ فاز است که دو فاز (A و B) آن تقریباً در تمامی دسته‌ها مشاهده شدند. فاز A شکل میدان ۰/۱ و فاز B شکل میدان ۰/۵ را دارد. با مطالعه شکل میدان در

با توجه به سازوکار گسلش در حالت کلی محدوده‌ای از  $0^\circ$  تا  $90^\circ$  را شامل می‌شود، اما غالباً آن را در عمل  $0^\circ$  تا  $30^\circ$  در نظر می‌گیرند.

#### ۴-۱- فرضیات

تحلیل تنش دیرینه بر پایه یک سری فرض بنا شده است: (۱) وضعیت تنش در حالت کلی ثابت است، (۲) لغزش روی یک گسل تأثیری روی لغزش دیگر گسلها ندارد، (۳) میدان تنش با موقعیت گسلهای همجوار خود تغییر نمی‌کند، (۴) بردار لغزش، موازی با تنش برشی بیشینه روی صفحه گسلی است، و همچنین (۵) لغزش روی هر گسل از قانون کولمب پیروی می‌کند (در سنگ بکر  $\tau = C + \sigma_n \tan \phi$  و در شکستگیهای قدیمی  $\tau = \sigma_n \tan \phi$  می‌باشد) (Johnson, 1999). همچنین بنا بر نظریه Anderson (1951) در زمان گسلش یکی از محورهای اصلی تنش قائم است.

در این مطالعه سعی شده است با برداشت گسلها در مقیاس قابل مشاهده، برداشت خط خشهای با رخساره مشابه از واحدهای سنگی یکسان، تعداد زیاد داده‌های برداشت شده از منطقه و پراکندگی داده‌ها تا حد امکان از خطاهای احتمالی جلوگیری شود.

#### ۴-۲- برداشتها

برای مطالعه تنش دیرینه در محدوده مورد مطالعه، کلیه عوارض ساختاری مشاهده شده با تأکید بر گسلها برداشت شد. به این جهت ۱۱۳۴ داده لغزش گسلی و خش لغزشهای مربوط به آنها با تعیین سوی لغزش هر گسل برداشت شد. شکلهای ۱ و ۲ نمونه‌هایی از صفحات گسلی برداشت شده را نشان می‌دهد.

#### ۴-۳- آماده‌سازی داده‌ها

داده‌های برداشت شده از منطقه به منظور تحلیل معکوس سازی چند مرحله‌ای دسته‌بندی و با روش آزمون و خطا پایدار شده‌اند. به گونه‌ای که با کم و زیاد کردن تعداد گسلها در هر دسته تغییرات محسوسی در پارامترهای ذکر شده (موقعیت محورها و شکل میدان) صورت نگیرد و برای هر دسته پارامتر  $K$  ( $3 \leq K \leq 8$ ) مناسب در فضای چهاربعدی را به گونه‌ای که دسته‌ها قابل شناسایی باشند محاسبه شد ( $K$  تعداد زیرمجموعه‌های ایجاد شده برای وارون‌سازی است و در حقیقت در استریوگرام ساخته شده در روش وارون‌سازی چند مرتبه‌ای درجه خوشه‌ای شدن را نشان می‌دهد). برای تحلیل داده‌های مورد مطالعه  $k=5$  به عنوان مناسب‌ترین مقدار از نظر آماری در نظر گرفته شده است (این پارامتر درجه خوشه‌ای شدن را از نظر

ایجاد چرخش می‌شود. همچنین فراخاست (Uplift) البرز می‌تواند بر روی چرخش صفحات گسلی آن بسیار مؤثر بوده باشد. آهنگ فراخاست متفاوت البرز در قسمت‌های مختلف می‌تواند چرخشهای متفاوتی را ایجاد کند. عامل دیگری که می‌تواند مسبب چرخش صفحات گسلی باشد موقعیت صفحه گسل در میدان تنش است، به عبارتی در شرایط تنش یکسان بسته به موقعیت صفحه گسل نسبت به محورهای اصلی تنش میزان چرخش گسل‌های همزمان متفاوت خواهد بود، همچنین قرار گرفتن گسل‌های با مقیاس متوسط در حريم پهنه‌های برشی گسل‌های بزرگ‌تر، چرخش مضاعفی را در این گسل‌ها به وجود خواهد آورد. در این پژوهش، از این گسل‌ها با توجه به فرضیات تنش دیرینه استفاده نشده است. چرخش گسل زمانی که به مرز بیهوش شدن می‌رسد، به شدت به صورت توانی کاهش می‌یابد (Jackson, 1998).

با چرخش صفحات گسلی، آنها به موقعیت اولیه خود در زمان گسلش (بر پایه نظریه اندرسون یکی از محورهای اصلی قائم باشد) بر گردانده می‌شوند. برای دستیابی به حالت اولیه تنش در زمان گسل خوردگی، محورهای اصلی تنش‌های محاسبه شده که مربوط به گسل‌های برداشت شده در حالت نهایی بوده است را چرخانده و به حالت اولیه برمی‌گردانیم. به دلیل فشارشی بودن منطقه مورد مطالعه در گذشته و زمان حال، محور اصلی  $\sigma_3$  را بر اساس محورهای چرخش محاسبه شده برای آن در هر دسته و فاز تفکیک شده چرخانده و قائم می‌کنیم و متقابلاً محورهای  $\sigma_1$  و  $\sigma_2$  مربوط به آنها افقی می‌شوند. برای این کار محور چرخش و زاویه چرخش را برای هر دسته محاسبه کرده و با توجه به آن همه داده‌های آن دسته را می‌چرخانیم. بر حسب موقعیت صفحات گسلی نسبت به محور دوران داده‌های گسلی با مقادیر متفاوتی چرخانده می‌شوند. زاویه چرخش و محور چرخش هر دسته در جدول ۱ نشان داده شده است.

#### ۷- مسیرهای تنش

پس از چرخش داده‌ها موقعیت جدید آنها پس از چرخش، برای رسم مسیرهای تنش ملاک قرار داده می‌شود. خطوطی که موازی با موقعیت محورهای اصلی تنش رسم می‌شوند، مسیرهای تنش (Stress Trajectories) نامیده می‌شوند و با روش مثلث‌بندی (Triangulation) رسم می‌شوند. تغییرات سه بعدی موقعیت تنش توسط مسیر محورهای اصلی تنش پیش‌بینی می‌شود. برای رسم مسیرهای تنش باید یکی از تنش‌های اصلی قائم باشد که در این محدوده، همان طور که گفته شد، به دلیل تحت فشار بودن منطقه محور اصلی  $\sigma_3$  به حالت قائم چرخانده می‌شود. شکل ۷ مسیرهای تنش رسم شده به روش مثلث‌بندی را برای دو فاز تفکیک

فازهای تفکیک شده مشخص شد که فراوان‌ترین شکل میدان تنش در فازهای تفکیک شده مربوط به شکل میدان  $\sigma_1$  (حدواسط) و  $\sigma_1$  (دوکی) است (شکل ۴). شکل ۵ نمودارهای رسم شده به روش دو وجهی عمود بر هم را در حالت نهایی در سه محدوده کن-چالوس و کرج نشان می‌دهد. در منطقه کن و چالوس دو وجهی عمود بر هم رژیم زمین‌ساختی فشارشی را نشان می‌دهند ولی در محدوده کرج محورهای اصلی تنش محاسبه شده نشان‌دهنده سوی حرکت راستالغز در این منطقه هستند. در کل منطقه با توجه به ریک خط چرخش‌های برداشت شده مؤلفه راستالغز بزرگی مشاهده می‌شود. بردارهای میانگین  $\sigma_1$  و  $\sigma_3$  محاسبه شده از کلیه فازهای تفکیک شده در این سه محدوده نشان می‌دهد که بردار میانگین  $\sigma_1$  در تمام فازهای تفکیک شده در هر سه منطقه کن-کرج و چالوس تقریباً افقی و شمالی است. بردار میانگین  $\sigma_3$  در محدوده‌های کن و چالوس تقریباً قائم ولی در منطقه کرج خاوری-باختری و افقی است ( $\sigma_2$  قائم).

#### ۵- زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ

عواملی که موقعیت خش را روی صفحه گسل کنترل می‌کنند شکل میدان تنش، موقعیت محورهای اصلی تنش و زاویه اصطکاک داخلی هستند. گسل‌های برداشت شده ممکن است شکستگیهای قدیمی باشند که دوباره فعال شده‌اند (گسل‌های قدیمی) یا این که در جریان این رویداد زمین‌ساختی ایجاد شده باشند (گسل‌های جدید). در سنگ سالم و بدون شکستگی در شرایط  $\sigma_1 = \tau_{max}$  بردار لغزش بر مقاومت برشی و چسبندگی غلبه کرده و سنگ شکسته شده و واحدهای دو طرف شکستگی نسبت به هم می‌لغزند. در صورتی که در سنگ‌های از قبل شکسته شده که چسبندگی در آنها صفر است، زمانی که مقدار  $\tau_{max}$  از مقاومت برشی سنگ بیشتر شود، لغزش صورت می‌گیرد. از مهم‌ترین عوامل مؤثر در زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ، ویژگیهای سنگ‌شناسی سنگها (جنس و بافت) آن است. بیشترین فراوانی زاویه اصطکاک داخلی محاسبه شده در دسته‌های محدوده مورد مطالعه همان طور که در شکل ۶ نشان داده می‌شود، حدود  $45^\circ$  است که با ویژگیهای سنگ‌شناسی و مکانیکی محاسبه شده توسط دیگر پژوهشگران هماهنگی دارد (الیاسی، ۱۳۸۰ و نصیری، ۱۳۸۳).

#### ۶- چرخش

عامل اصلی چرخش گسل، گشتاور ایجاد شده بر روی آن است. بنابراین هر پارامتری که باعث افزایش گشتاور شود (افزایش مقدار نیرو-افزایش بازوی دوران) در شرایطی که گسل از درجه آزادی مناسبی برخوردار باشد، باعث

چالوس تقریباً قائم ولی در منطقه کرج خاوری-باختری و افقی است ( $\sigma_2$  قائم).  
 • با استفاده از روش وارون‌سازی چندمرتب‌های دو فاز A با شکل میدان  $0/1$  (دوکی) و فاز B با شکل میدان  $0/5$  (کلوچه‌ای) در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد که روند محور اصلی  $\sigma_1$  به طور کلی در هر دو فاز شمالی ولی گرایش مسیرها تنش در فاز A عموماً به سمت NNW و در فاز B به سمت NNE است.

• در هر دو فاز تفکیک شده مسیرهای تنش  $\sigma_1$  رسم شده همگرایی را به سمت شمال (کوههای طالقان) ایجاد می‌کنند که نشانه افزایش شدت تنش در این منطقه است.

• با توجه به فازهای تفکیک شده، شکل میدان تنش محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه در ابتدا دوکی ( $0/1$ ) بوده و به تدریج به حدواسط ( $0/5$ ) تغییر می‌یابد.  
 • زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ محاسبه شده برای کلیه فازها حدود  $45^\circ$  بوده است که با ویژگیهای سنگ‌شناسی و مکانیکی منطقه هماهنگی دارد.

#### ۹- سپاسگزاری

از آقای دکتر عبدالحسین امینی به خاطر در اختیار گذاشتن سیستم رایانه‌ای Mac. به منظور چرخش داده‌ها و از بخش GIS سازمان زمین‌شناسی کشور به دلیل همکاری در تهیه نقشه ساختاری منطقه صمیمانه تشکر کرده و از مسؤلان نقلیه سازمان زمین‌شناسی کشور نیز سپاسگزاری می‌شود.

شده A (خط ممتد) و B (خط چین) که شکل میدان تنش متفاوتی دارند را نشان می‌دهد. این مسیرهای تنش در هر دو فاز سمت و سوی یکسانی را نشان می‌دهند و به طور میانگین، روند محورهای اصلی  $\sigma_1$  به سمت شمال است. محور اصلی  $\sigma_1$  در هر دو فاز در قسمت خاور (کن) و مرکز (جاده چالوس) روند N-NW و در سمت باختر منطقه یعنی در سمت کرج روند NE دارند. می‌توان چنین استنباط کرد که روند محور اصلی  $\sigma_1$  در بخش جنوبی البرز مرکزی همگرایی را به سمت شمال (کوههای طالقان) ایجاد می‌کند. فاز A مربوط به شکل میدان  $0/1$  (دوکی) می‌باشد و روند محور اصلی  $\sigma_1$  در آن اغلب N-NW است. در صورتی که فاز B مربوط به شکل میدان  $0/5$  (حدواسط) و روند محور اصلی  $\sigma_1$  در آن غالباً N تا NE است. در هر دو فاز تفکیک شده مسیرهای تنش اصلی بیشینه در بخش شمال باختری به هم نزدیک شده‌اند که نشانه افزایش شدت تنش در این منطقه می‌باشد. محل دیگری که به نظر می‌آید محل تغییر جهت مسیرهای تنش باشد، در راستای دره کن قرار گرفته است. محورهای چین‌ها در منطقه تقریباً عمود بر روند مسیرهای تنش  $\sigma_1$  است (موازی با روند محور اصلی  $\sigma_2$ ) و دایکها غالباً در فاز A موازی با روند محور اصلی  $\sigma_1$  هستند.

#### ۸- بحث و نتیجه گیری

• محور اصلی  $\sigma_1$  در همه فازهای تفکیک شده در محدوده مورد مطالعه تقریباً افقی و شمالی است در حالی که محور اصلی  $\sigma_3$  در محدوده‌های کن و



b.



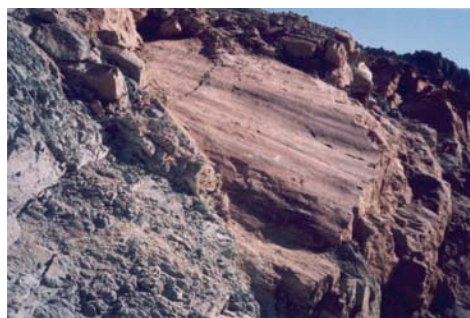
a.

شکل ۱- شکل a صفحه گسلی با موقعیت  $N2E, 53NW$  و ریک لغزش ۱۲- را در منطقه سیروود نشان می‌دهد که سازوکار چپگرد دارد (جهت دید E). شکل b صفحه گسلی با موقعیت  $N22W, 83SW$  و ریک لغزش ۶۳+ را در منطقه روستای سرک نشان می‌دهد. این گسل معکوس دارای مؤلفه راستالغز راستگرد است (جهت دید E).





b.

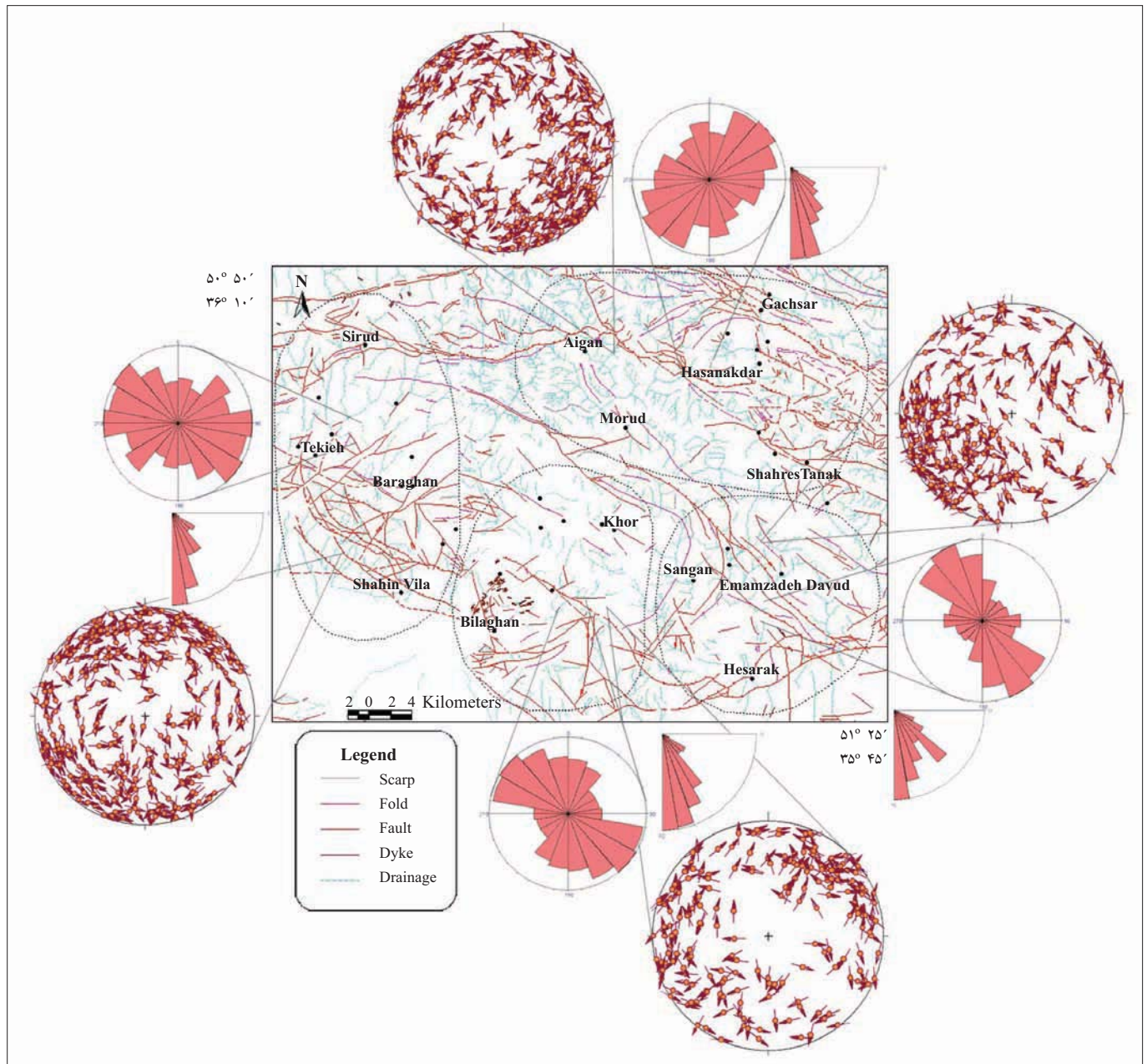


a.

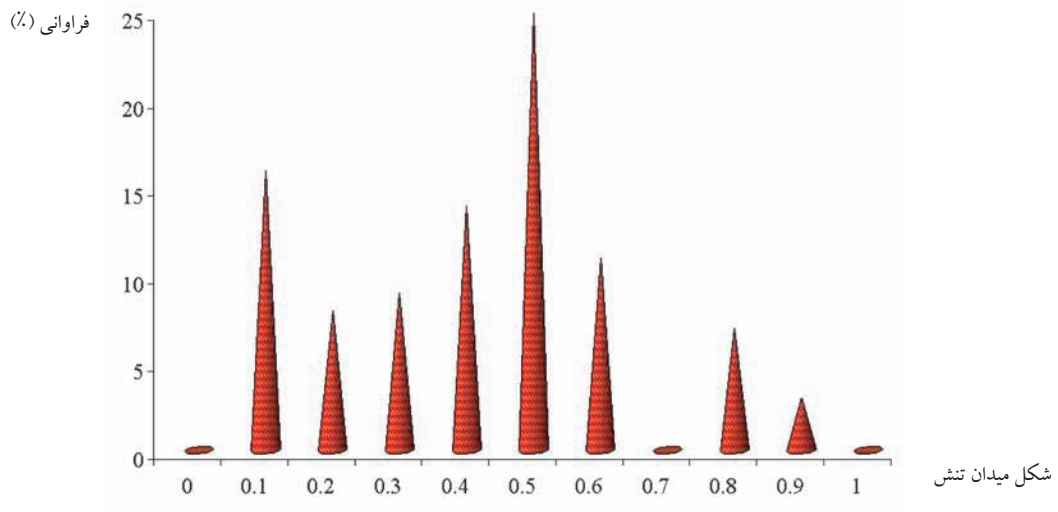
شکل ۲- شکل a گسل معکوس با مؤلفه راستالغز راستگرد در روستای لاینز را نشان می‌دهد (جهت دید N). شکل b صفحه گسلی با موقعیت S60E,85SW و ریک لغزش ۸۹- را در منطقه امام زاده داوود نشان می‌دهد که این گسل معکوس شیب لغز عمل کرده است (جهت دید NE).

جدول ۱- محور و زاویه چرخش و موقعیت محورهای اصلی تنش پس از چرخش

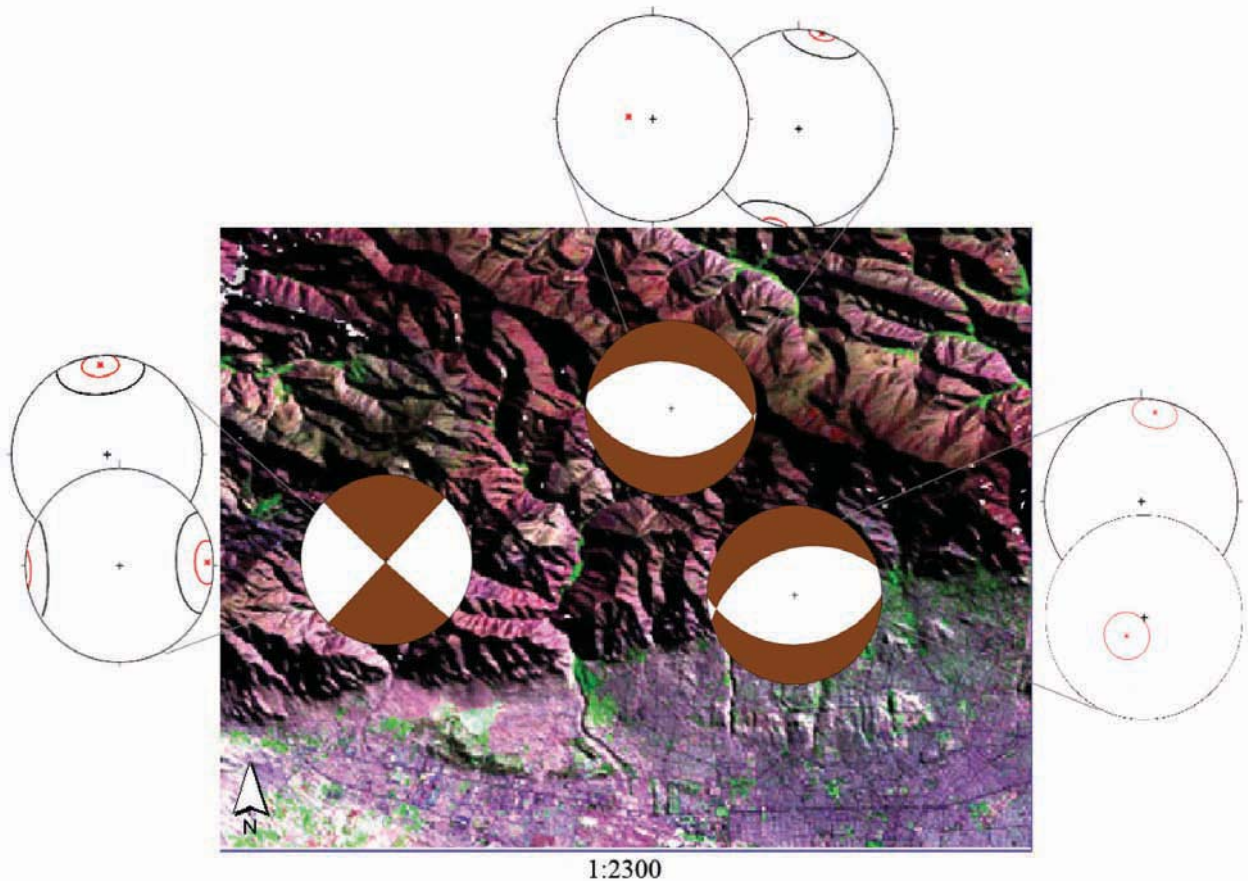
محدوده	محور چرخش	زاویه چرخش	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$
1	164/00	38°	189/01	099/00	342/88
2	164/00	19°	199/01	289/00	025/88
3	346/00	72°	350/00	260/00	148/89
4	142/00	26°	182/00	092/00	342/89
5	172/00	81°	173/01	263/02	053/87
6	197/00	39°	188/00	278/10	082/88
7	347/00	12°	341/00	071/10	239/88
8	016/00	33°	020/00	290/00	159/89
9	188/00	80°	194/10	284/10	060/88
10	329/00	23°	005/0	095/0	217/88
11	281/00	11°	005/0	095/1	248/88
12	174/00	90°	176/01	086/00	286/89
13	022/00	26°	026/00	116/00	269/89
14	014/00	87°	016/10	106/00	205/88
15	031/00	12°	174/00	084/10	283/88
16	182/00	89°	190/00	280/00	090/89
17	30/00	49°	025/0	115/0	246/89
18	029/00	21°	198/0	108/0	341/89
19	00/000	71°	357/00	087/00	237/88
20	015/00	20°	351/00	082/03	257/86
21	175/00	83°	172/00	082/00	348/89
22	180/00	78°	185/01	275/00	044/88
23	161/00	88°	157/0	247/0	357/88
24	173/00	75°	171/1	261/1	039/88
25	177/00	83°	176/00	266/00	029/88



شکل ۳- نقشه ساختاری محدوده مورد مطالعه واقع در بخش جنوبی البرز مرکزی که امتداد گسلها، سطح محوری چینها و دایکها را نشان می‌دهد. ساختارهای این نقشه از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی تهران، مرزن آباد، کرج و شکران برداشت شده است. نمودار گل سرخی راستای گسلهای برداشت شده و نمودار هویتر قطب گسلها و سوی لغزش آنها را نشان می‌دهد.

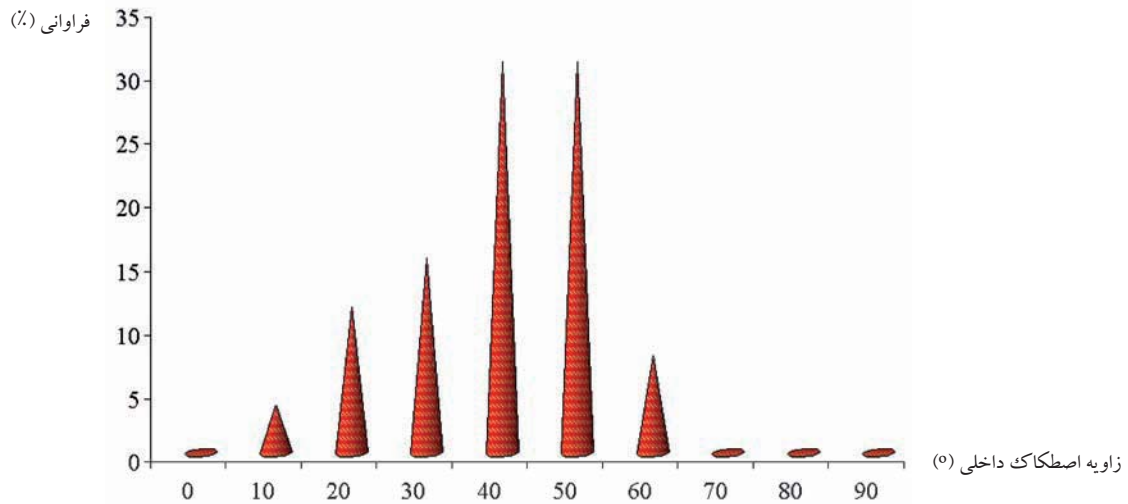


شکل ۴- نمودار مخروطی فراوانی شکل میدان تنش که محور افقی نمایانگر شکل میدان تنش از ۰ تا ۱ و محور قائم نمایانگر فراوانی آنهاست. بیشترین فراوانی مربوط به شکل میدان ۰/۵ و ۰/۱ است.

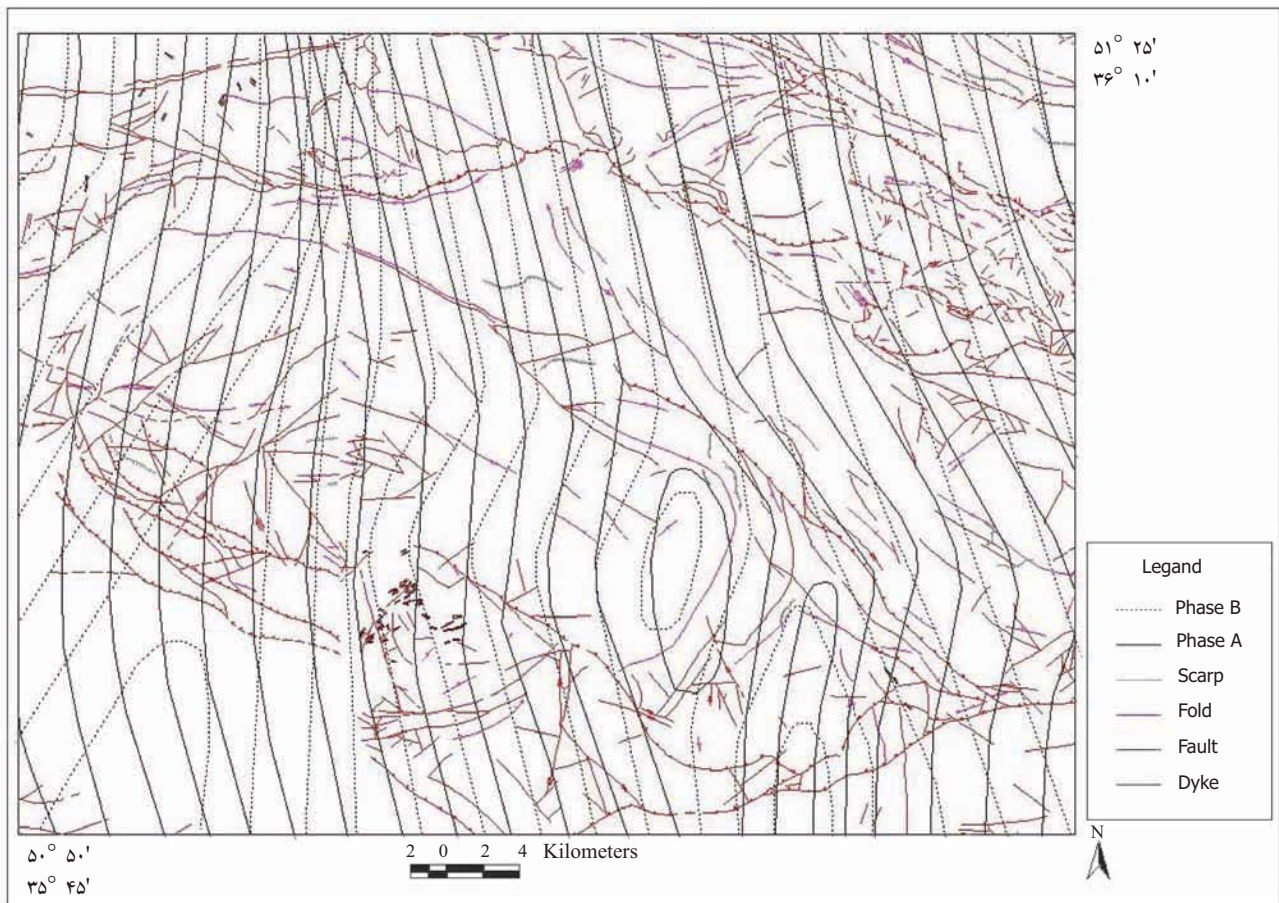


شکل ۵- تصویر ماهواره لندست باند ۷-۴-۲ بر روی تصاویر SRTM. نمودارهای رسم شده به روش دو وجهی عمود بر هم در حالت نهایی در سه منطقه کن-چالوس و کرج که نشان می‌دهد در منطقه کن و چالوس فشارش و در محدوده کرج راستالغز حاکم است.





شکل ۶- زاویه اصطکاک داخلی محاسبه شده برای ۲۸ دسته که فراوان‌ترین زاویه اصطکاک داخلی حدود  $45^\circ$  است. محور افقی زاویه اصطکاک داخلی و محور قائم فراوانی را نشان می‌دهد.



شکل ۷- مسیرهای تنش محور اصلی  $\sigma_1$  رسم شده در دو فاز تفکیک شده A (خط ممتد) و B (خط چین) را نشان می‌دهد که فاز A مربوط به شکل میدان دوکی و فاز B مربوط به شکل میدان حد واسط می‌باشد. تجمع این مسیرهای تنش در شمال باختر است. این مسیرها تقریباً با دایکهای منطقه موازی و عمود بر محور چینها و راندگیها هستند.

**کتابنگاری**

- الیاسی، م.، ۱۳۸۰- ارزیابی تنسورهای تنش دیرین و نوع دگرریختی بر پایه تحلیل خش لغزهای گسلی در دامنه جنوبی البرز مرکزی، رساله دکتری، دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس.
- امیدی، پ.، نوگل سادات، م.ع.ا. و قرشی، م.، ۱۳۸۱- بازسازی تنش کواترنری بر اساس تحلیل لغزش گسل در نیمه جنوبی البرز خاوری، فصلنامه علوم زمین، شماره ۴۵-۴۶. بربریان، م. و همکاران، ۱۳۶۴- پژوهش و بررسی ژرف نو زمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه گلشن در گستره تهران و پیرامون، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره ۵۶.
- ساعدی بناب، ج.، ۱۳۷۲- تحلیل تکنیکی تداخل دو سری گسل در مبارک آباد، تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- صائب فر، و.، ۱۳۷۰- بررسی ژئودینامیسم گسل شمال تهران (جنوب غرب کرج)، تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.
- صدر، ا.، ۱۳۷۰- بررسی و تحلیل دگرشکلی ناحیه آئینه ورزان، تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- طیسی، ه.، ۱۳۷۵- آنالیز ساختاری معدن فلورین شش رودبار (جنوب غرب زیر آب مازندران)، تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- عباسی، م.ر. و شبانین بروجنی، ا.، ۱۳۸۴- تعیین وضعیت تنش به روش برگشتی از صفحه های گسلی لبه جنوبی البرز مرکزی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۵. فقهی، خ.، ۱۳۷۶- تحلیل ساختاری منطقه سنگان (بین طالون و کوه گندم چال)، تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- کریمی، ح.ر.، قرشی، م. و عباسی، م.ر.، ۱۳۷۶- تعیین تنش دیرینه و جهت حرکت راندگی گستره شمال تهران- بین دره که تا دره کن، فصلنامه علوم زمین، شماره ۲۵-۲۶. نصیری، ش.، ۱۳۸۳- پهنه بندی خطر لغزشهای حاصل از زلزله شمال تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس.
- مهدی زاده تهرانی، س.، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کرج، سازمان زمین شناسی کشور.
- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن آباد، E. Dedual (1967)، سازمان زمین شناسی کشور.
- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران، بهروز امینی، سازمان زمین شناسی کشور.
- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شکران، R.N. Annell, R.S. Arthurton, R.A.B. Bazley، سازمان زمین شناسی کشور.
- یساقی، ع.، ۱۳۶۸- تحلیل ساختاری و تکوین زمین ساختی جنوب باختری البرز (شمال تهران)، تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

**References**

- Alavi, M., 1966- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran: *J. Geodyn.* v. 21, no. 1, p. 1-33.
- Anderson, E. M., 1951- The dynamics of faulting and dyke formation with application to Britain, Oliver & Boyd, Edinburgh, 206 pp.
- Angelier, J., 1988- From orientation to magnitudes in paleostress determinations using fault slip data: *J. Struct. Geol.*, v. 11, no. 1/2, p. 37-50.
- Angelier, J., 1979- Determination of the mean principal direction of stresses for a given fault population: *Tectonophys.*, v. 56, p. T17-T26.
- Carey, E. & Brunier, B., 1974, Analyse théorique et numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles: *C.R. Acad. Sci. Paris. D.* 279, p. 891-894.
- Etchecopar, A., Vasseur, G. & Daignieres, M., 1981- An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensor from fault striation analysis: *J. Struct. Geol.*, v. 3, p. 51- 65.
- Fry, N., 1999- Striated faults: visual appreciation of their constraint on possible paleostress tensor: *J. Struct. Geol.*, v. 21, p. 7-21.
- Gephart, J. W., Forsyth, D.W., 1984- An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: an application to the San Fernando earthquake sequence: *J. Geophys. Res.*, v. 89, p. 9305-9320.
- Jackson, J., 1998- Fault death: a perspective from actively deforming regions: *J. Struct. Geol.*, v. 21, p. 1003-1010.
- Johnson, K. M., 1999, Analysis of multiple sets of band faults in porous sandstone, San Rafael monocline, UTAH: p. 1-18.
- Lisle, R. J., 1987- Principal stress orientations from faults: an additional constraint: *Ann. Tectonicae*, v. 1, p. 155-158.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: *Petrol. Geol. Bull.*, v. 52, p. 1229-1258.
- Tchalenko, J. S., 1974, Recent destructive earthquakes in the Central Alborz: *Geol. Surv. Iran.* v. 29, p. 97-116.
- Yamaji, A., 2000- The multiple inverse method: a new technique to separate stresses from heterogeneous fault-slip data: *J. Struct. Geol.*, v. 22, p. 441-452.