سازوکار جایگیری تودههای آذرین شمال شرق قزوین با بهره گیری از تحلیل تنش دیرین

محسن الیاسی*، علی کنعانیان، کیمیا کلانتری، محسن حیدری دانشکده زمینشناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۴۵۵، تهران

مسئول مکاتبات- آدرس الکترونیکی: eliassi@khayam.ut.ac.ir (دریافت: ۸۴/۵/۹ ؛ پذیرش:۸۴/۷/۱۳)

چکیدہ

به منظور شناسایی ساز و کار دقیق جایگیری توده های آذرین در منطقه مورد مطالعه از تحلیل تنش دیرین به کمک روش معکوس کردن استفاده شـده است. در دوازده محدوده بیش از ۲۰۹ سطح برش دارای خش لغزش برداشت و پس از تحلیل دقیق، ترژکتوری های بزرگ ترین تـنش تراکمـی دیـرین رسـم گردیـد. آرایش هندسی ترژکتوریهای بزرگترین تنش تراکمی دیرین ساز و کار تزریق سیل را مطرح میکند که با شواهد پترولوژیک نیز انطباق کامل دارد.

واژههای کلیدی: تنش دیرین، سیل، ترژکتوری تنش، دایره مور، توده آذرین قزوین.

مقدمه

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق استان قزوین با طول شرقی "۲۴ / ۲۰ مرفی "۲۴ / ۱۹ ۲۰ مرفی "۲۴ / ۱۹ ۳۶ تا "۱۲ / ۱۹ ۳۶° قرار دارد (شکل ۱).

فقدان هاله دگرریختی دراطراف توده آذرین در ناحیه مورد مطالعه نشان می دهد که در زمان فعالیت ماگما، مکانیزم جایگزاری به صورت اعمال فشار (Forceful emplacement) صورت نگرفته و الزامآ روش جایگزاری به صورتی غیر فعال (passive emplacement) با ایجاد شکستگی کششی فضای لازم برای جاگیری ماگما فراهم شده است. در این پژوهش سعی شده است برای نخستین بار با تعیین وضعیت تنش دیرین مکانیزم تزریق توده آذرین مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. برای سهولت در تحلیل هندسی و دینامیکی تزریق ، فضای تزریق از نظر هندسی به صورت صفحه (intrusion plane) مد نظر قرار گرفته است. این صفحه بصورت قائم یا تقریبآ قائم را بعنوان دایک (dike) و بصورت افقی یا تقریبآافقی بصورت سیل (sill) در نظر گرفته می شود. به جهت تعیین مکانیزم تزریق، از آنجا که سطوح برش دارای خش لغزش در منطقه دارای رخنمون زیاد و قابل دسترس میباشند، از روش تحلیل تنش دیرین برای این منظور استفاده شده است.

انتخاب محدودهها و برداشت سطوح برش: در انتخاب محدودههای برداشت سطوح برش دارای خش لغزش میبایستی به چند نکته اساسی توجه شود .سطوح برش روی سنگ هایی برداشت شوند که دارای جنس و سن یکسان بعبارت دیگر دارای رفتار ریولوژیک همانندی باشند، زیرا در این شرایط با اطمینان نسبی خوب میتوانیم

دوره فعالیت سطوح برش را از نظر زمانی محدود و تقریباً در یک دگرریختی پیشرونده همزمان در نظر بگیریم البته در شرایطی که اثر مکانیکی بردار لغزش روی صفحه برش نیز یکسان باشد. از نظر آماری نیز می ایستی توزیع مکانی نمونه ها یکسان و همگن باشد. با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه وبا رعایت نکات فوق محدوده ها در پهنه ی اس مانند طوری انتخاب شدند که تمام محدودیتهای مزبور را پوشش دهند (شکل ۱). تعداد برداشتها بطور طبیعی در محدودههای مختلف متفاوت ولی نبایستی برای تحلیل تنش دیرین از چهار برداشت کمتر باشد.در تعیین تنسور تنش دیرین چون تعداد مولفه های محاسبه شده بر پایه تنسور تنش تقلیل یافته تعیین می گردد، لذا تعداد نمونه ها از نظر ریاضی نبایستی از چهار تا کمتر باشد (Angelier 1990). از آن جا که در برداشت های صحرایی همیشه کمی خطا وجود دارد، قبل از انجام آنالیز میبایستی هر خش لغزشی دقیقاً روی صفحه برش قرار گیرد. برای این منظور از قطب صفحه برش و خش لغزش روی استریونت دایره بزرگی عبور داده محل تلاقی آن را با صفحه برش به عنوان تصحیح شده بردار لغزش در نظر گرفته می شود .با توجه به رعایت کلیه موارد فوق ازتعداد سطوح برش برداشت شده در منطقه تعداد ۲۰۹ سطح برش دارای خش لغزش جهت آنالیز انتخاب گردید. تصویر استریو گرافیک سطوح برش دارای خش لغزش در محدودههای مختلف بشکل دیاگرام هوپنر (Hoppener diagram) در نیمکره پایین شبکه اشمیت جهت داشتن ایده کلی از توزیع سطوح برش دارای خش لغزش در شکل ۲ ارائه شده است.

تنسور تنش تقلیل یافته: در حالت کلی حالت تنش T را میتوان به



شکل ۱- نقشه زمینشناسی ساده شده و محدودههای اندازه گیری در منطقه مورد مطالعه. موقعیت محورهای اصلی تنش دیرین پس از دوران به منظور قائم شدن ₇ در هر محدوده به نمایش در آمده و بر پایه آن ترژکتوری های بزرگ ترین تنش تراکمی رسم شده است.

صورت ماتریس زیر نمایش داد:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} a & d & f \\ d & b & e \\ f & e & c \end{bmatrix}$$

عناصر روی قطر اصلی معرف مولفه های تنش نرمال و سایر عناصر مولفه های تنشهای برشی را نشان می دهند. در دستگاه مختصاتی که محورهای اصلی آن منطبق بر محورهای اصلی تنش باشد تنسور تنش بصورت ساده زیر نیز قابل نمایش است:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix}$$

در رابطه فوق سه متغیر نادیده گرفته شده که مربوط به موقعیت محورهای اصلی تنش می باشد. این موقعیت مرتبط با سه بردار واحد عمود بر هم در راستای محورهای اصلی تنش می باشد که به ترتیب بصورت زیرنمایش داده می شود:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix}$$

www.SID.ir



شکل ۲- نمایش قطبهای سطوح برش دارای خش لغزش در محدودههای مورد مطالعه روی دیاگرام هوپنر. پیکانها جهت حرکت فرادیواره را نسبت به فرو دیواره نشان میدهد.

در شرایط
$$T = T$$
 رابطه زیر برای بیان حالت تنش کافی خواهد بود:
 $\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & d & f \\ d & b & e \\ f & e & c \end{bmatrix}$
شکل ماتریسی فوق بیان انتقال دستگاه مختصات محورهای اصلی را به
یک دستگاه مختصات عمومی دکارتی نشان میدهد.

از آنجا که تنش های ایزوتروپیک (isotropic stresses) تاثیری روی مقدار تنش برشی حداکثر نداشته و مقدار تنش برشی حداکثر نداشته و روی شکل میدان تنش نیز بی تاثیر است (Angelier 1989) ، لذا هر گاه تنش ایزوتروپیک مورد نظر (σ_3) با عناصر ماتریس فوق جمع و سپس همه عناصر ماتریس را در $\frac{1}{\sigma_1 - \sigma_3}$

زير بدست خواهد آمد :

$$\sigma = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \Phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

در رابطه فوق Φ فاکتورشکل میدان تنش بوده که میتوان آن را

بصورت
$$\Phi = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$$
 تعریف نمود. حال میتوان روابط فوق را
بصورت زیر جمع بندی نمود :
T= $\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \Phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix}$

تنسور فوق را تنسور تنش تقلیل یافته (reduced stress tensor) مینامند. پس زمانی می توان به نزدیک ترین ماتریس به ماتریس واقعی تنش دست پیدا کردکه موقعیت محورهای اصلی تنش و نیز شکل میدان تنش در قالب ماتریس تنش تقلیل یافته بدست آمده باشد.

ماتریس تنش تقلیل یافته برای کلیه محدودههای منطقه مورد مطالعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته که به بررسی مراحل آنها می پردازیم.

انتخاب معیار: در ابتدا به این نکته مهم نیز بایستی اشاره شود که تعیین تنسور تنش تقلیل یافته بدون در نظر گرفتن معیاری جهت انتخاب بهترین تنسور کاملاً بی معنی است .بطور سیستماتیک دو معیار را میتوان مطرح نمود: الف زاویه عدم انطباق (misfit angle): زاویه بین تنش برشی حداکثربا خش لغزش اندازه گیری شده روی زمین زاویه عدم انطباق نامیده میشود (Choi 1996). موقعیت تنش برشی حداکثر با حل تنسور تنش بدست می آید. واضح است که در این معیار فرض اصلی بر پایه فرضیه بات (Bott 1959) و والاس (Wallace 1951) استوار شده است. بر اساس این فرضیه خش لغزش در راستای تنش برشی حداکثر قرار می گیرد. طبیعتآ در بررسی سیستمهای سطوح برش طیف تغییرات این زاویه هر چه محدودتر و به حد اقل مقدار ممکن نزدیکتر باشد، تنسور تنش تقلیل یافته به طرف کمترین فاصله از تنسور تنش واقعی میل خواهد کرد.

ب- زاویه محوری (axial angle): میتوان دو دستگاه مختصات raction ideal stress tensor): میتوان دو دستگاه مختصات دیگری نمود: یکی برای تنسور تنش ایدهآل (ceneral stress tensor) و دیگری برای حالت عمومی تنسور تنش (raction identication) منظور از حالت تنش ایدهآل شرایطی از تنش است که شکل میدان تنش روی موقعیت تنش برشی حداکثر بیتاثیر باشد مانند شرایط حاکم برگسلهای مزدوج. معیار مورد نظر در این حالت زاویه بین محورهای مشابه تعریف میشود که بهترین حالت زمانی است که زاویه مین مربور به حداقل ممکن برسد. این روش دارای محدودیتهای زیادی میباشد (یادی این این یادی میباش این میباش این یادی میشود که بهترین حالت زمانی است که زاویه میباش میباشد (یادی محدودیتهای زیادی میباشد (یادی بیشتر به عنوان بهترین معیار استفاده شده است.

تعیین محورهای کشش و فشار: روی هر صفحه برش می توان موقعیت محورهای R، B، T به ترتیب به عنوان محورهای فشارش، متوسط و کشش را تعیین کرد (Aleksandroski 1985).محورهای مزبور روی هر صفحه برش و در هر محدوده بصورت استریو گرافیک ترسیم و میانگین برداری آنها نیز مشخص شده است (شکل ۳). میانگین برداری محورهای تعیین شده در هر محدوده به عنوان تقریبی قابل قبول و دور نمایی مناسب از موقعیت محورهای اصلی تنش لحاظ گردیده و صرفاً جنبه کنترلی دارد .در روش های کارای تعیین تنسور تنش دیرین بصورت غیر مستقیم لازم است تا زاویه اصطکاک داخلی سنگ به هنگام فعالیت سیستم گسل ها نیز تعیین گردد. زاویه اصطکاک داخلی توده سنگهای بالای پوسته زمین حدود ۳۰ درجه است (Ragan 1985). به دلایل محلی امکان دارد زاویه مزبورنوساناتی از خود نشان دهد که لازم است مقدار آن تعیین گردد .در روشهای کلاسیک زاویه مزبور با رسم دوایر مور در شکست و رسم منحنی پوش بدست میآید. در این شرایط شیب منحنی پوش زاویه اصطکاک داخلی را در اختیار خواهد گذارد. روش مزبور با صرف هزینه زیاد امکان پذیر میباشد. به جهت پرهيز از صرف بودجه مورد نياز براى محاسبه زاويه مزبور به تحلیل دینامیکی سطوح برش اقدام گردید.



شکل ۳– تصاویر استریوگرافیک محورهای کشش و فشارش در محدوده های مورد مطالعه. نشانه های مربع توپر، مربع توخالی و مثلث توپر به ترتیب محورهای فشارش، متوسط و کشش را نشان می دهد.

زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ: در تعیین زاویه اصطکاک داخلی

سنگ ها به روش دینامیکی روی محور طول ها زاویه عدم انطباق و

روی محور عرضها فرکانس ردههای سطوح برش و یا در صد آنها قرار

گرفته و هیستوگرامهای حاصل ترسیم می گردد. به کمک رایانه

می توان زوایای اصطکاک داخلی مختلفی را اعمال نمود. تغییر این

زاویه موقعیت سطوح برش دارای خش لغزش را تغییر میدهد. با

آزمایش و خطا آنقدر زاویه مزبور را تغییر میدهیم تا بهترین حالت بوجود آید. بهترین حالت زمانی است که ستون بیشترین فرکانس در

انتهای سمت چپ نمودار قرار گرفته ونمودار زنگی هیستوکرام از منحنی توزیع گوس تبعیت نماید (Sperner 1993). برای کل منطقه مورد مطالعه هیستوگرام های مزبور ترسیم گردید (شکل ۴). همانطور که در شکل ملاحظه می شود، بهترین حالت با اعمال زاویه ۳۵ درجه بدست میآید که با مقدار متوسط آن در بخش فوقانی پوسته زمین هماهنگی دارد .در این پژوهش برای دقت بیشتر زاویه ۲/۵ ۳۲/۵ به عنوان بهترین زاویه در صورت لزوم وارد محاسبات گردیده است.

> total1.n35 Datasets: 209 Skipped: 3 Maximum: 22% % 20 -10 0.2, 0.4 Q.0 0.6 0.8, 1.0 Sin(Error) 0° 15° 30° 45° 60° 90° Error [°]

شکل ۴– هیستوگرام نوسانات زاویه عدم انطباق با اعمال زاویه اصطکاک داخلی ۳۵ درجه برای کل منطقه. محور طولها بر حسب زاویه عدم انطباق و محور عرضها بر حسب فرکانس دادهها مدرج شده است.

دارای خش لغزش میخواهیم میدان تنش دیرین را بدست آوریم. در این متد تعداد زیادی تنسور تولید میشود. تنسوری قابل قبول ترخواهد بود که زاویه عدم انطباق کوچکتری را نشان دهد. موقعیت محورهای اصلی تنش دیرین در هر محدوده با این متد تحلیل گردیده و سپس تصاویراستریوگرافیک مربوط به موقعیت محورها ارائه شده است. به منظور به حداقل رساندن خطاهای حاصل و اطمینان نسبی از پارامترهای تنسور تنش تقلیل یافته از روش جستجو در فضای چهار متد معکوس کردن (inversion method): برای تعیین موقعیت محورهای اصلی تنش دیرین و نیز شکل میدان تنش در این پژوهش از متد معکوس کردن استفاده شده است. دراین متد فرض اساسی این است که در یک میدان تنش تعریف شده به راحتی میتوان روی هر صفحهای با موقعیت معین مولفههای تنش برشی حداکثر را تعیین نمود. حال در طبیعت شرایط به عکس است، با داشتن سطوح برش



مولفهای (Angelier 1994) نیز استفاده شده است. در روش جستجو در فضای چهار مولفهای از متغیرهای زیر استفاده می شود: ۱ – آزیموت از صفر تا ۳۶۰ درجه ۲ – پلانج از صفر تا ۹۰ درجه ۳ – ریک از صفر تا ۱۸۰ درجه روی صفحه ای که قطب آن σ_1 است ۴ – شکل میدان Φ از صفر تا ۱ تعداد بسیار زیادی تنسور طور دلخواه می توان تولید کرد که با استناد به معیار زاویه عدم انطباق بهترین تنسور مشخص و پس از مقایسه با متدهای قبل نتیجه نهایی به شکل تصاویر استریو گرافیک ارائه شده است (شکل ۵).

این نکته را نیز باید خاطر نشان ساخت که در روش فضای چهار مولفهی چون مکانیزم گسلش بعنوان یک مولفه جدید وارد سیستم

نمی شود در انتها دو تنسور تنش تقلیل یافته که طبیعتاً مکمل همدیگر هستند ارائه می گردد. از آنجا که منطقه مورد مطالعه با چین خوردگی و عملکرد گسلش معکوس رخنمون پیدا کرده است، از تنسور تنش مرتبط با گسلش نرمال پرهیز شده است. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود پلانج بسیار زیاد است ولی قائم نمی باشد. در حالیکه در زمان فعالیت گسل ها در بخش های فوقانی

پوسته یکی از تنشهای اصلی قائم میباشد (Anderson 1951). طبیعتاً دلیل خروج ناچیز از حالت قائم مربوط به چرخش سطوح برش در طول عملکرد تنش دیرین است. در تحلیل مکانیزم تزریق با چرخش مناسب دادهها شرایطی را ایجاد کردیم که پلانج محور مزبور قائم گردد (Yamaji 2005).



شکل ۵− تصاویر استریوگرافیک موقعیت محورهای اصلی تنش دیرین در محدوده های مورد مطالعه. نشانه دایره، مربع و مثلث به ترتیب محورهای تنش اصلی تراکمی، متوسط وکششی را نشان میدهد.

به منظور ارائه طیف تغییرات شکل میدان تنش نیز دوایر مور سه محوری بدون مقیاس بر اساس مولفههای نسبی تنش (Ramsay 2000) بصورت نرمالیزه برای هر محدوده ترسیم شده است (شکل ۶). **شکل میدان تنش معادل:** در هر محدوده با رسم دوایر مور سه محوری شکل میدان تنش بر پایه فاکتور شکل ارائه شده است (شکل ۶). برای بدست آوردن شکل میدان بصورت معادل برای کل منطقه به

دلیل ماهیت تنسوری تنش نمیتوان با روشهای میانگین گیری متداول فاکتور شکل معادل را بدست آورد. بهترین راه این است که تمامی دادهها بر حسب مولفههای نسبی تنش در یک دستگاه مختصات دکارتی پیاده شده، سه دایره مور طوری در آن دستگاه طراحی شود که پوشش مناسبی بین دادهها بوجود آورد (شکل ۷).



شکل ۶− دوایر مور بدون مقیاس در محدوده های مورد مطالعه. پارامتر R روی هر شکل نسبت اختلاف تنش را نشان میدهد.



شکل γ−دایره مور بدون مقیاس برای کل منطقه مورد مطالعه. پارامتر R=0.9 شکل میدان تنش معادل را نشان میدهد.

تحت این شرایط نسبت اختلاف تنش اندازه گیری شده روی دایره مور شکل میدان تنش معادل را نشان خواهد داد. با توجه به دایره مور شکل میدان تنش دیرین حالت تخت (flattened type ellipsoid) داشته و فاکتور شکل $0.9 = \phi$ می باشد.

مکانیزم تزریق: به منظور رسیدن به مدل هندسی که چگونگی تزریق مواد آذرین را در منطقه مورد مطالعه نشان دهد، در مراکر محدودهها روی نقشه موقعیت قطر بزرگ و قطر کوچک بیضی تنش دیرین به نمایش درآمده است (شکل ۱). واضح است که قطر بزرگ بیضی تنش دیرین مایش درآمده است (شکل ۱). واضح است که قطر بزرگ بیضی تنش تر دیرین مایش درآمده است (شکل ۱). واضح است که قطر بزرگ می می تواند مکانیزم دیرین می تواند مکانیزم تر کتوری های تنش مربوط به σ_1 روی نقشه بخوبی می تواند مکانیزم تر رسم این خطوط از روش مثلث-

بندی استفاده شده است. در این روش مراکز سه محدوده کنار هم را بصورت مثلثی به یکدیگر وصل کرده چرخش قطر بزرگ بیضی از یک راس به راس دیگر را خطی در نظر میگیریم. به این ترتیب براحتی میتوان مسیر دقیق ترژکتوریها را ترسیم نمود.

نقشه شکل ۱ هندسه ترژکتوریهای بزرگترین تنش تراکمی دیرین را نمایش میدهد. برای اطمینان از درستی نقشه بدست آمده آن را با عوارض ساختاری منطقه کنترل نمودیم به وضوح دیده میشود سطوح محوری چینها و سطوح برش خشدار با مکانیزم معکوس عمود بر ترژکتوریهای مزبور و روند دایکها نیز به موازات این خطوط قرار میگیرند. هماهنگی عوارض ساختاری با هندسه ترژکتوریهای تنش دیرین خود موید صحت نتایج حاصل از تحلیل تنش دیرین در منطقه توجه به نتیجه شکل ۷ مورد تایید قرار می گیرد. نتیجه گیری: با تحلیل تنش دیرین بر پایه سطوح برش دارای خش لغزش در منطقه مورد مطالعه با متد معکوس کردن وضعیت تنش دیرین پس از تزریق توده آذرین مورد بررسی دقیق قرار گرفته و با حمایت روشهای گوناگون و نیز حمایت عوارض ساختاری درستی نتایج مورد تایید قرار گرفته است. با رسم ترژکتوریهای تنش دیرین بر اساس حل تنسورهای تنش دیرین مکانیزم تزریق مواد آذرین بصورت سیل اعلام می گردد.

سپاسگزاری: اجرای این پژوهش بدون حمایت صحرایی و مشاوره علمی پر ارزش همکار ارجمند دکتر عباس آسیانها امکان پذیر نبوده که صمیمانه از عنایات نامبرده تقدیر و سپاسگزاری می گردد. مورد مطالعه است. با دقت روی هندسه ترژکتوریهای بزرگترین تنش تراکمی دیرین بخوبی میتوان مکانیزم سیل (Sill mechanism) را برای تزریق توده آذرین در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد نمود. این نکته را نیز خاطر نشان باید ساخت که طبیعتآ صفحه تزریق سیل بعکس دایک نمیتواند در ژرفای زیاد پوسته به دلیل بار لیتواستاتیکی پوسته تشکیل شود مگر آنکه فشار آب منفذی بتواند بار مزبور را خنثی نماید. در منطقه مورد مطالعه هیچگونه دلیلی بر بالا بودن فشار آب منفذی وجود نداشته و بعلاوه بافت سنگهای منطقه نیز نشان میدهد که ماگما در ژرفای زیاد پوسته متبلور نشده است. نکته دیگری که میباید مد نظر قرار گیرد شکل بیرونی و رخنمون توده آذرین است که از شکل هندسی عمومی ترژکتوریهای بزرگترین تنش تراکمی دیرین تبعیت میکند آخرین نکته جالب این است که برای ایجاد رخنمونی با این

منابع:

- Aleksandroski P. 1985: Graphical determination of principal stress directions for slickenside lineation population. J. Struc. Geo. 7: 73-82.
- Anderson E.M. 1951: The dynamics of faulting. Oliver & Boyd, Edinburgh.
- Angelier J. 1989: From orientation to magnitudes in paleostress determinations using fault slip data. J. Struc. Geo. 11: 17-50.
- Angelier J. 1990: Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress. *Geophys. J. Int.* **103**: 363-376.
- Angelier J. 1994: Fault slip analysis and paleostress reconstruction. In: Hancock P. (Ed.), Continental deformation., Pergamon Press, Oxford. Pp. 53-100.
- Bott M.H.P. 1959: The mechanics of oblique slip faulting. Geo. Mag. 96: 109-117.
- Choi P.Y., Angelier J. 1996: Distribution of angular misfits in fault-slip data. J. Struc. Geo. 18: 1353-1367.
- Ragan D.M. 1985: Structural Geology. John Wily & Sons, New York.
- Ramsay J.G., Lisle R. 2000: The techniques of modern structural. Geo. 3: 785-810.
- Reches Z.E., Bear G. 1992: Constraints on the strength of the upper crust from stress inversion of fault slip data. *J. Geophys. Res.* **97:** 481-493.
- Sperner B., Raschbachar L., Ott R. 1993: Fault strea analysis: A turbo-Pascal program package for graphical presentation and reduced stress tensor calculation. *Comp. & Geosci.* 19(9): 1361-1388.
- Wallace R.E. 1951: Geometry of shearing stress and relation to faulting. J. Geo. 59: 118-130.
- Yamaji A., Tomita S. 2005: Bedding tilt test for paleostress analysis. J. Struc. Geo. 27: 161-170.