

سازوکار جایگیری توده‌های آذرین شمال شرق قزوین با بهره‌گیری 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)

چکیده

به منظور شناسایی ساز و کار دقیق جایگیری توده‌های آذرین در منطقه مورد مطالعه از تحلیل تنش دیرین به کمک روش معکوس کردن استفاده شده است. در دوازده محدوده بیش از ۲۰۹ سطح برش دارای خش لغزش برداشت و پس از تحلیل دقیق، ترژکتوری‌های بزرگ‌ترین تنش تراکمی دیرین رسم گردید. 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.

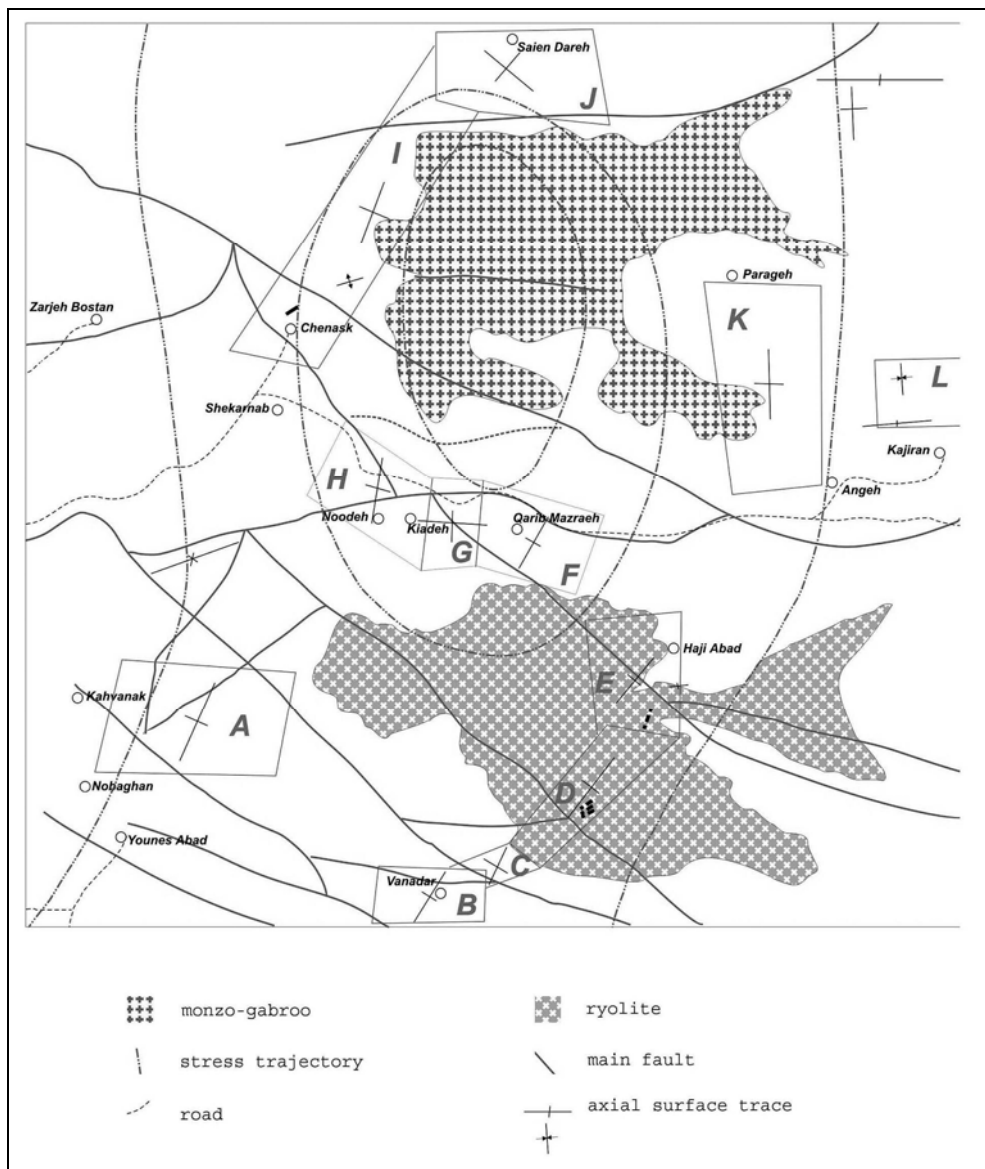
مقدمه

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 می‌بایستی توزیع مکانی نمونه‌ها یکسان و همگن باشد. با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه و با رعایت نکات فوق محدوده‌ها در پهنه‌ی 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 مولفه‌های محاسبه شده بر پایه تنسور تنش تقلیل یافته تعیین می‌گردد، لذا تعداد نمونه‌ها از نظر ریاضی نبایستی از چهار تا کمتر باشد (Angelier 1990). از آن جا که در برداشت‌های صحرائی 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 می‌شود. با توجه به رعایت کلیه موارد فوق از تعداد 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

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق استان قزوین با طول شرقی ۲۴" ۵۰° ۲۰' تا ۵۰° ۳۰' و عرض شمالی ۴۸" ۱۰' ۳۶" تا ۱۲' ۱۹" ۳۶° قرار دارد (شکل ۱).

فقدان هاله دگرریختی در اطراف توده آذرین در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در زمان فعالیت ماگما، مکانیزم جایگزاری به صورت اعمال فشار (Forceful emplacement) صورت نگرفته و الزاماً 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 تقریباً قائم را بعنوان دایک (dike) و بصورت افقی یا تقریباً افقی بصورت سیل (sill) در نظر گرفته می‌شود. 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 سنگ‌هایی برداشت شوند که دارای جنس و سن یکسان بعبارت دیگر دارای رفتار ریولوژیک همانندی باشند، زیرا در این شرایط با اطمینان نسبی خوب می‌توانیم



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساده شده و محدوده‌های اندازه‌گیری در منطقه مورد مطالعه. موقعیت محورهای اصلی تنش دیرین پس از دوران به منظور قائم شدن σ_3 در هر محدوده به نمایش در آمده و بر پایه آن ترژکتوری‌های بزرگ‌ترین تنش تراکمی رسم شده است.

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

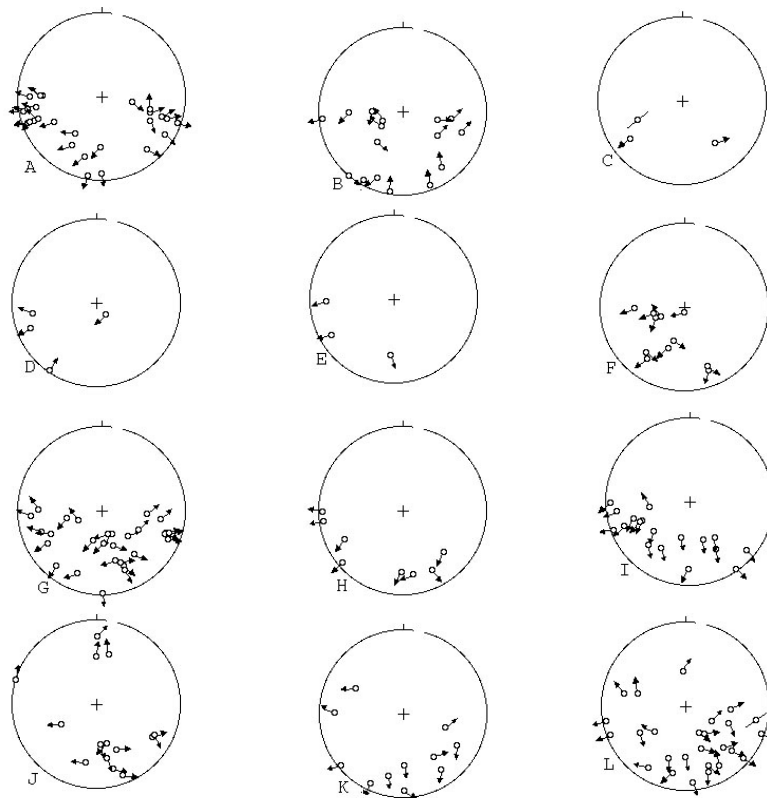
$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix}$$

صورت ماتریس زیر نمایش داد:

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

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

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



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

بصورت $\Phi = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$ تعریف نمود. حال می‌توان روابط فوق را

بصورت زیر جمع‌بندی 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 می‌توان به نزدیک ترین ماتریس به ماتریس واقعی تنش دست پیدا کرد که 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 می‌پردازیم.

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:

در شرایط $\sigma = T$ 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 تنش‌های ایزوتروپیک (isotropic stresses) تاثیری روی مقدار تنش برشی حداکثر و موقعیت تنش برشی حداکثر نداشته و روی شکل میدان تنش نیز بی تاثیر است (Angelier 1989)، لذا هر گاه تنش ایزوتروپیک مورد نظر ($-\sigma_3$) با عناصر ماتریس فوق جمع و سپس همه عناصر ماتریس را در $\frac{1}{\sigma_1 - \sigma_3}$ ضرب نماییم ماتریس ساده

زیر بدست خواهد آمد:

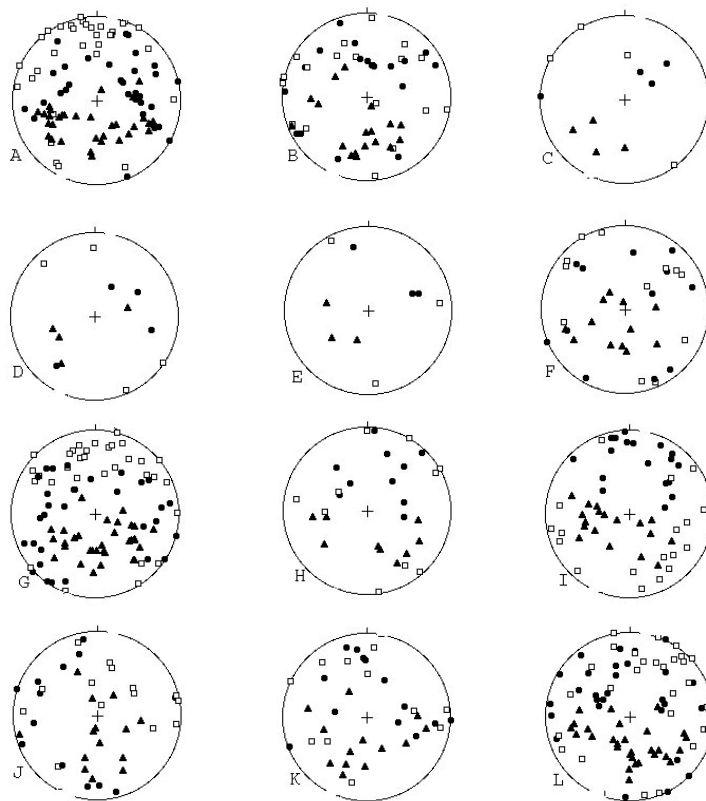
$$\sigma = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \Phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

در رابطه فوق Φ فاکتور شکل میدان تنش بوده که می‌توان آن را

تعیین محورهای کشش و فشار: روی هر صفحه برش می‌توان موقعیت محورهای T، B، P 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 استریوگرافیک 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 نمای مناسب از موقعیت محورهای اصلی تنش لحاظ گردیده و صرفاً جنبه کنترلی دارد. در روش‌های کارای تعیین تنسور تنش دیرین بصورت غیر مستقیم لازم است تا زاویه اصطکاک داخلی سنگ به هنگام فعالیت سیستم گسل‌ها نیز تعیین گردد. زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ‌های بالای پوسته زمین حدود ۳۰ درجه است (Ragan 1985). به دلایل محلی امکان دارد زاویه مزبور نوساناتی از خود نشان دهد که لازم است مقدار آن تعیین گردد. در روش‌های کلاسیک زاویه مزبور با رسم دواپس 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 پرهیز از صرف بودجه مورد نیاز برای محاسبه زاویه مزبور به تحلیل دینامیکی سطوح برش اقدام گردید.

الف- زاویه عدم انطباق (misfit angle): زاویه بین تنش برشی حداکثر با خش لغزش اندازه گیری شده روی زمین زاویه عدم انطباق نامیده می‌شود (Choi 1996). موقعیت تنش برشی حداکثر با حل تنسور تنش بدست می‌آید. 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 می‌گیرد. طبیعتاً 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.

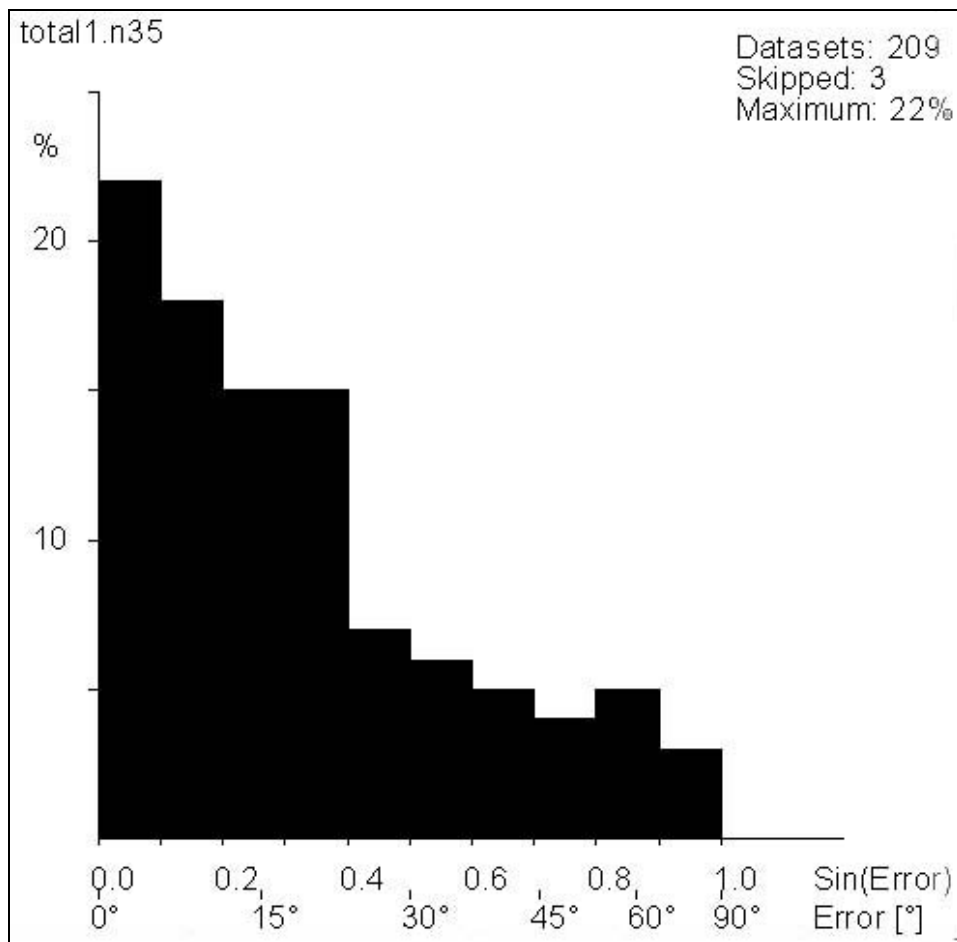
ب- زاویه محوری (axial angle): می‌توان دو دستگاه مختصات تعریف نمود: یکی برای تنسور تنش ایده‌آل (ideal stress tensor) و دیگری برای حالت عمومی تنسور تنش (general stress tensor). منظور از حالت تنش ایده‌آل شرایطی از تنش است که شکل میدان تنش روی موقعیت تنش برشی حداکثر بی‌تاثیر باشد مانند شرایط حاکم بر گسل‌های مزدوج. معیار مورد نظر در این حالت زاویه بین محورهای مشابه تعریف می‌شود که بهترین حالت زمانی است که زاویه مزبور به حداقل ممکن برسد. این روش دارای محدودیت‌های زیادی می‌باشد (Reches 1992). در این پژوهش از معیار زاویه عدم انطباق به دلیل کارایی بیشتر به عنوان بهترین معیار استفاده شده است.



شکل ۳- تصاویر استریوگرافیک محورهای کشش و فشارش در محدوده‌های مورد مطالعه. نشانه‌های مربع توپر، مربع توخالی و مثلث توپر به ترتیب محورهای فشارش، متوسط و کشش را نشان می‌دهد.

انتهای سمت چپ نمودار قرار گرفته و نمودار زنگی هیستوگرام 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 می آید که با مقدار متوسط آن در بخش فوقانی پوسته زمین هماهنگی دارد. در این پژوهش برای دقت بیشتر زاویه ۲/۵ به ۳۲/۵ به عنوان بهترین زاویه در صورت لزوم وارد محاسبات گردیده است.

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 عرض ها فرکانس رده های سطوح برش و یا در صد آن ها قرار گرفته و هیستوگرام های 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 می دهد. با آزمایش و خطا آنقدر زاویه مزبور را تغییر می دهیم تا بهترین حالت بوجود آید. بهترین حالت زمانی است که ستون بیشترین فرکانس در



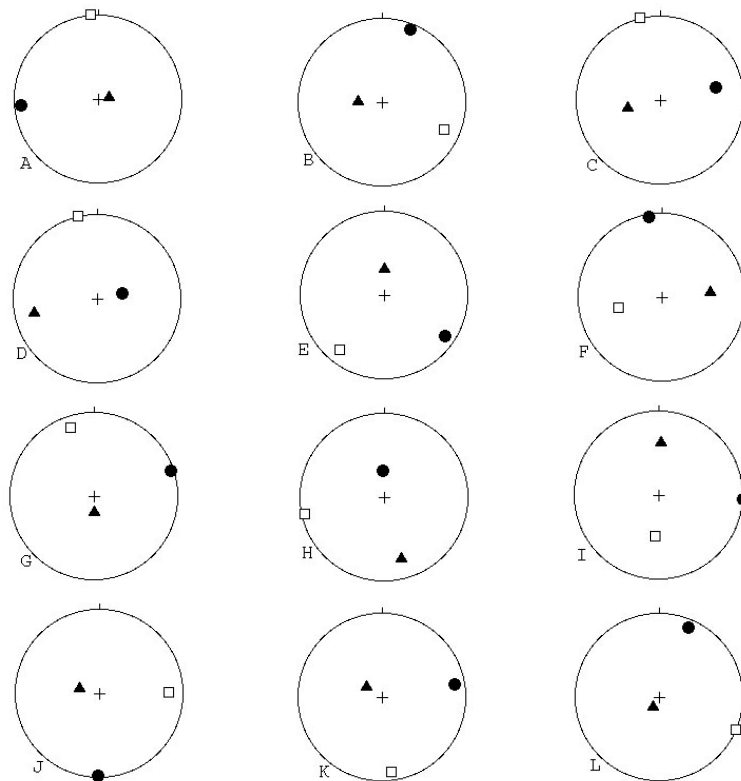
شکل ۴- هیستوگرام نوسانات زاویه عدم انطباق با اعمال زاویه اصطکاک داخلی ۳۵ درجه برای کل منطقه. محور طول ها بر حسب زاویه عدم انطباق و محور عرض ها بر حسب فرکانس داده ها مدرج شده است.

دارای خش لغزش می خواهیم میدان تنش دیرین را بدست آوریم. در این متد تعداد زیادی تنسور تولید می شود. تنسوری قابل قبول تر خواهد بود که زاویه عدم انطباق کوچکتری را نشان دهد. موقعیت محورهای اصلی تنش دیرین در هر محدوده با این متد تحلیل گردیده و سپس تصاویر استریوگرافیک 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. در این متد فرض اساسی این است که در یک میدان تنش تعریف شده به راحتی می توان روی هر صفحه ای با موقعیت معین مولفه های تنش برشی حداکثر را تعیین نمود. حال در طبیعت شرایط به عکس است، با داشتن سطوح برش

نمی‌شود در انتها دو تنسور تنش تقلیل یافته که طبیعتاً مکمل همدیگر هستند ارائه می‌گردد. 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 می‌شود پلانچ بسیار زیاد است ولی قائم نمی‌باشد. در حالیکه در زمان فعالیت گسل‌ها در بخش‌های 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 پلانچ محور مزبور قائم گردد (Yamaji 2005).



شکل ۵- تصاویر استریوگرافیک موقعیت محورهای اصلی تنش دیرین در محدوده‌های مورد مطالعه. نشانه دایره، مربع و مثلث به ترتیب محورهای تنش اصلی تراکمی، متوسط و کششی را نشان می‌دهد.

دلیل ماهیت تنسوری تنش نمی‌توان با روش‌های میانگین‌گیری 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).

مولفه‌ای (Angelier 1994) نیز استفاده شده است. در روش جستجو در فضای چهار مولفه‌ای از متغیرهای زیر استفاده می‌شود:

۱- آزمون از صفر تا ۳۶۰ درجه

۲- پلانچ از صفر تا ۹۰ درجه

۳- ریک از صفر تا ۱۸۰ درجه روی صفحه ای که قطب آن σ_1 است

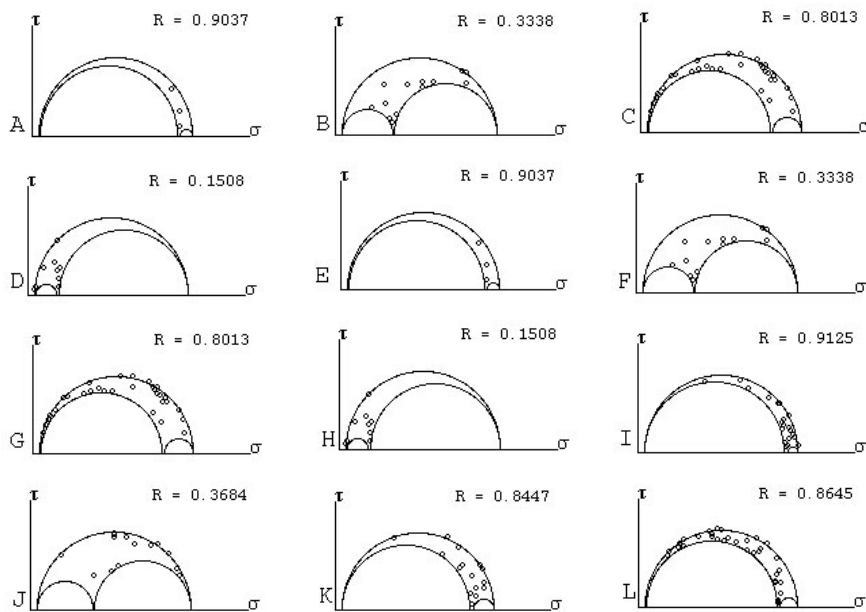
۴- شکل میدان Φ از صفر تا ۱

تعداد بسیار زیادی تنسور بطور دلخواه می‌توان 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 استریوگرافیک ارائه شده است (شکل ۵).

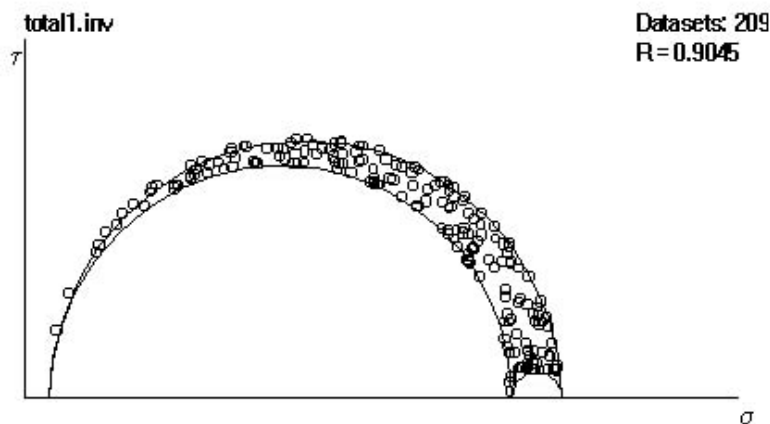
این نکته را نیز باید خاطر نشان ساخت که در روش فضای چهار مولفه‌ای چون مکانیزم گسلش بعنوان یک مولفه جدید وارد سیستم

به منظور ارائه طیف تغییرات شکل میدان تنش نیز دایره 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 دایره 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



شکل ۶- دایره مور بدون مقیاس در محدوده‌های مورد مطالعه. پارامتر R روی هر شکل نسبت اختلاف تنش را نشان میدهد.



شکل ۷- دایره مور بدون مقیاس برای کل منطقه مورد مطالعه. پارامتر $R=0.9$ شکل میدان تنش معادل را نشان میدهد.

بندی استفاده شده است. در این روش مراکز سه محدوده کنار هم را بصورت مثلی به یکدیگر وصل کرده چرخش قطر بزرگ بیضی از یک راس به راس دیگر را خطی در نظر می‌گیریم. به این ترتیب پراحتی 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

تحت این شرایط نسبت اختلاف تنش اندازه‌گیری 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 $\phi = 0.9$ می‌باشد.

مکانیزم تزریق: به منظور رسیدن به مدل هندسی که چگونگی تزریق مواد آذرین را در منطقه مورد مطالعه نشان دهد، در مراکز 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 σ_1 و قطر کوچک تنش دیرین σ_2 را نشان می‌دهد. رسم ترژکتوری‌های تنش مربوط به σ_1 روی نقشه بخوبی می‌تواند مکانیزم تزریق توده آذرین را روشن نماید. در رسم این خطوط از روش مثلث-

توجه به نتیجه شکل ۷ مورد تایید قرار می‌گیرد. **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 می‌گردد.

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 می‌گردد.

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 طبیعتاً 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 هندسه نیز به شکل تخت میدان تنش دیرین نیاز است که این امر با

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 Wiley & 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., Raschbacher L., Ott R. 1993: Fault stress 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.