Archive of SID

فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ششم، شماره بیست و چهارم، زمستان ۱۳۹۱، صفحات ۴۵-۵۳

سازوکار جایگیری رگه‌های آذرین در منطقه رکات (جنوب باختر بیرجند) با بهره‌گیری از تحلیل تنش دیرین

لاله بابائی[۱و*]، محمد مهدی خطیب[۲] و محمد حسین زرین‌کوب[۳]

۱. کارشناس ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند

۲. استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند

۳. دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۲۴

چکیده

به منظور شناسایی سازوکار دقیق جایگیری رگه‌های آذرین در منطقه رکات (جنوب باختر بیرجند) از تحلیل تنش دیرین به کمک روش وارون سازی استفاده شده است. بدین منظور در ۹ محدوده ۹۸ گسله برداشت شد و پس از تحلیل دقیق، سازوکار جایگیری ماگما به دست آمد. بر اساس نتایج و نمودارهای به دست آمده از روش وارون سازی چند مرحله‌ای، مولفه بیشینه تنش (σ_1) تقریبا قائم و مولفه کمینه تنش (σ_3) تقریبا افقی به دست آمد که سازوکار جایگیری ماگما را به صورت دایک نشان می‌دهد. این نتایج با شواهد و مشاهدات صحرایی مطابقت می‌کند. برای این منطقه، مولفه شکل میدان تنش Φ =۰/۴ محاسبه شد. این مقدار نمایانگر محیطی است که مولفه فشارش و نیز مولفه کشش در آن تاثیر دارد. اگرچه مولفه فشارش تأثیر کمتری دارد.

واژه‌های کلیدی: تنش دیرین، جنوب باختر بیرجند، دایره موهر، رکات، مولفه شکل میدان تنش

مقدمه

بررسی تنش دیرین، در هنگام جایگیری ماگما به درک نوع تنش در آن زمان (آیا منطقه تحت تنش کششی بوده است یا تنش فشارشی؟) و شناخت شکل بیضوی تنش کمک می‌کند. از آنجایی که منطقه رکات برای نخستین بار از این لحاظ مطالعه می‌شود، به رسیدن جهت درک بهتر از این منطقه در زمان جایگیری ماگما کمک می‌کند. منطقه مورد مطالعه تقریبا در ۲۵ کیلومتری جنوب باختر بیرجند، مرکز استان خراسان جنوبی، قرار گرفته است. در اطراف این منطقه روستاهای زینی، خلیلان، سیوجان واقع شده است (شکل ۱).

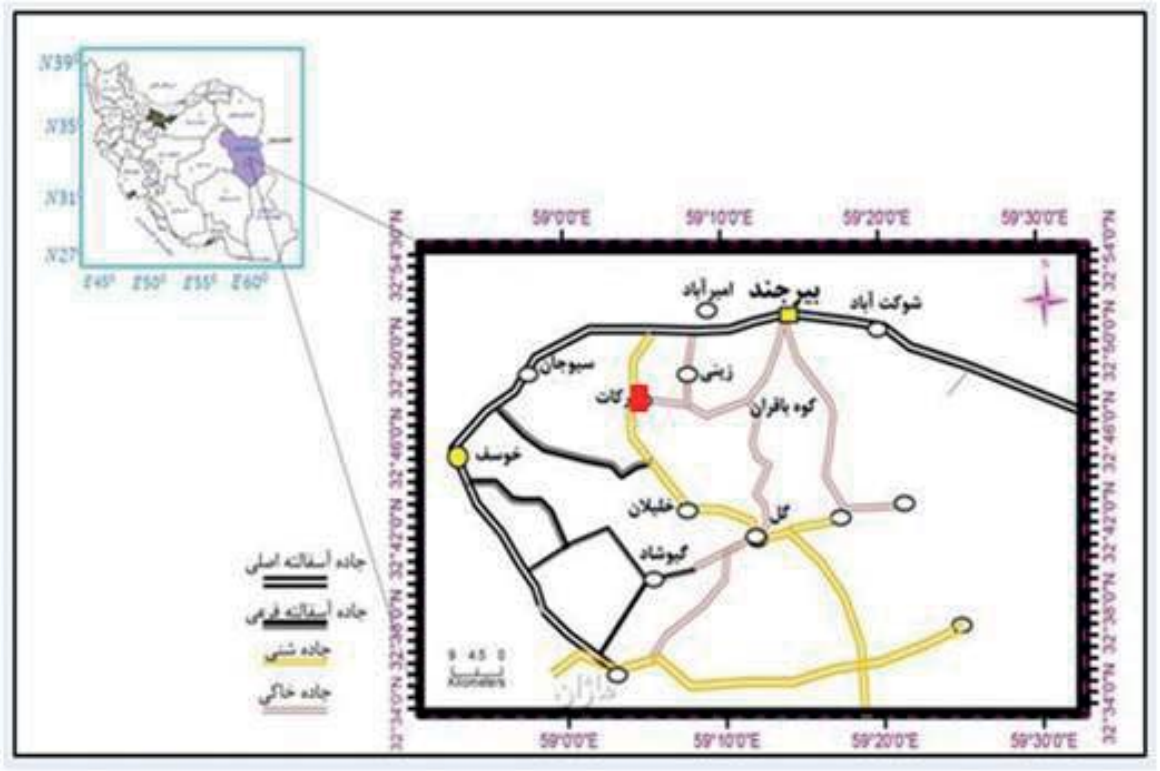
نبود هاله دگرریختی در اطراف رگه‌های آذرین در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در زمان فعالیت ماگما، سازوکار جایگیری به صورت اعمال فشار[۱] صورت نگرفته و الزاما روش جایگیری به صورت غیرفعال[۲] با ایجاد شکستگی کششی فضای لازم برای جایگیری ماگما را فراهم کرده است. در این پژوهش سعی شده است برای نخستین بار با تعیین وضعیت تنش دیرین، سازوکار تزریق رگه‌های آذرین مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. برای سهولت در تحلیل هندسی و دینامیکی تزریق، فضای تزریق از نظر هندسی به صورت صفحه قائم تقریباً قائم را به عنوان دایک[۳] و به صورت افقی یا تقریباً افقی به صورت سیل[۴] در نظر گرفته

* نویسنده مرتبط laleh_babaee@yahoo.com

1. Forceful emplacement
2. Passive emplacement
3. Dyke
4. Sill

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. نقشه راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه، منطقه رکات با مربع مشخص شده است (نقشه ۴۵۰۰۰۰: ۱راه‌های استان خراسان جنوبی با تصحیح)

می‌شود. از آنجا که سطوح برش دارای خش لغزش(گسله‌ها) در منطقه دارای رخنمون زیاد و قابل دسترسی می‌باشند، جهت تعیین سازوکار تزریق از روش تحلیل تنش دیرین استفاده شده است.

سنگ میزبان این رگه‌های آندزیتی، کنگلومراهایی به سن پالئوسن – ائوسن بوده (بابائی، ۱۳۹۰) و قرمز رنگ می‌باشند که نمایانگر محیط رودخانه‌ای است (شکل ۲). در نتیجه براساس اصل تعیین سن نسبی (اصل ساختمان‌های قطع کننده)، رگه‌های آندزیتی جایگیری شده در این سنگ‌ها، جوانتر از آنها می‌باشد.

موقعیت زمین شناسی و تکتونیکی

منطقه رکات در جنوب غرب بیرجند و در ایالت ساختاری سیستان واقع شده است. قرار گرفتن این ایالت بین دو سیستم گسلی نایبند و نهبندان، و حرکت راستالغز این دو گسل، امکان ایجاد ساختارهای مربوط به پهنه برشی و حرکات راستالغز را برای این منطقه فراهم می‌کند. جایگیری ماگما در منطقه رکات تحت تاثیر محیط فشاری – برشی جنوب بیرجند و فضاهای کششی ایجاد شده می‌باشد.

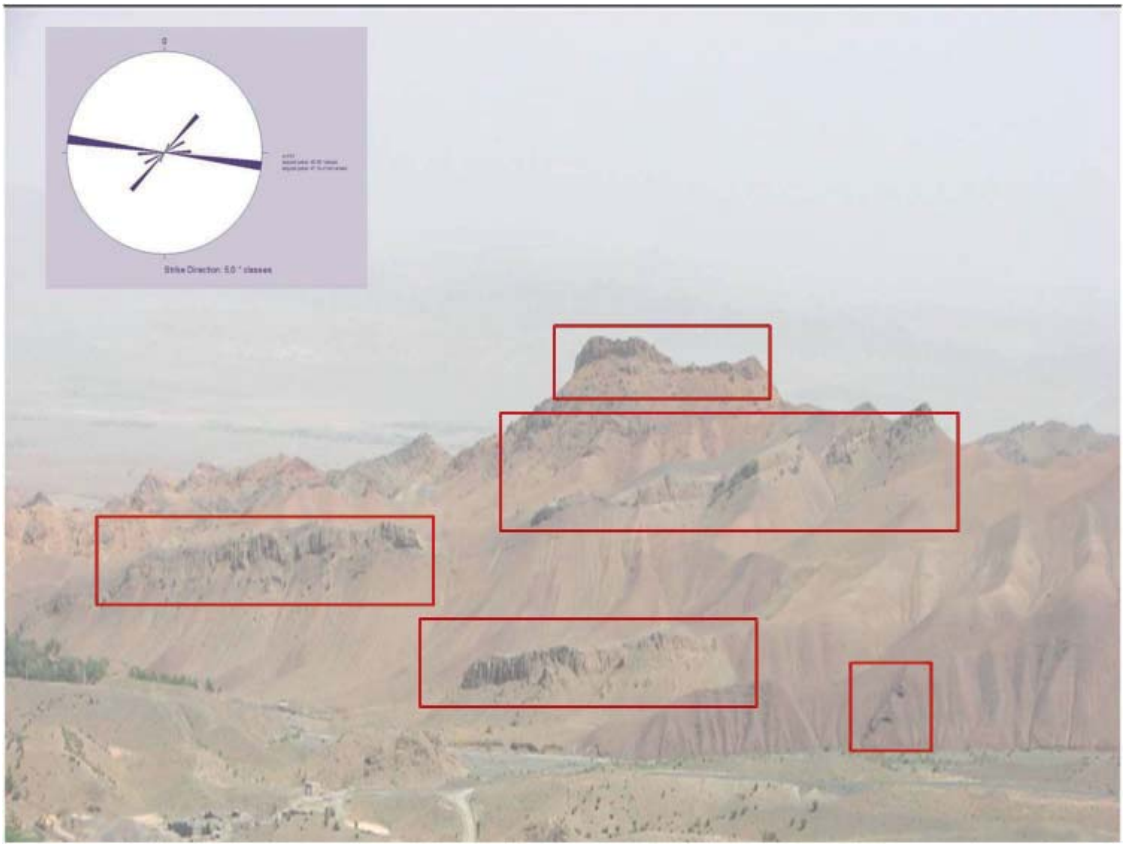
روش کار

انتخاب محدوده ها و برداشت سطوح برش(گسله‌ها)

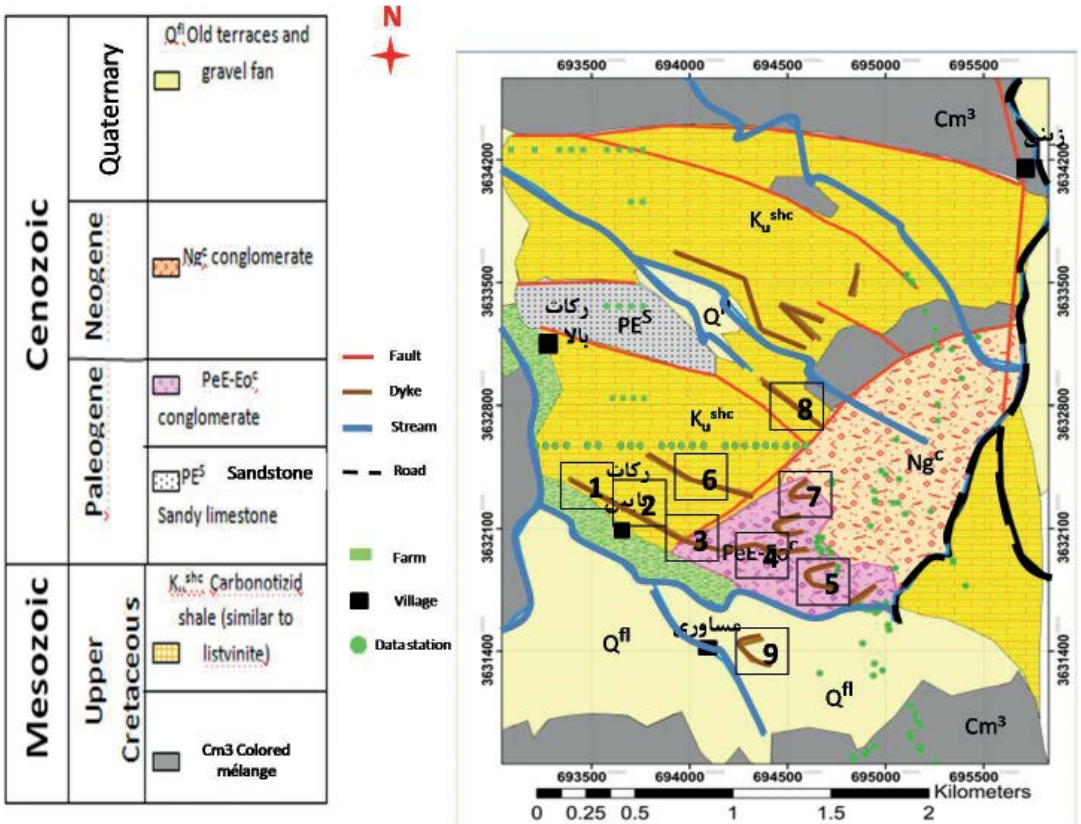
در انتخاب محدوده‌های برداشت سطوح برش دارای خش لغز (گسله‌ها) می‌بایستی به چند نکته اساسی توجه شود. گسله‌ها روی سنگ‌هایی برداشت شوند که دارای جنس و سن یکسان به عبارت دیگر دارای رفتار ریولوژیک همانندی باشند، زیرا در این شرایط با اطمینان نسبی خوب می‌توان دوره فعالیت گسله‌ها را از نظر زمانی محدود و تقریبا در یک دگرریختی پیشرونده همزمان در نظر گرفت. البته در شرایطی که اثر مکانیکی بردار لغزش روی صفحه برش نیز یکسان باشد (الیاسی و همکاران، ۱۳۸۶). از نظر آماری نیز می‌بایستی توزیع مکانی نمونه‌ها یکسان و همگن باشد. تعداد برداشت‌ها به طور طبیعی در محدوده‌های مختلف متفاوت است 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 می‌گردد، لذا تعداد نمونه‌ها از نظر ریاضی نبایستی از چهار تا کمتر باشد (Angelier,1990). از آن جا که در برداشت‌های صحرایی همیشه کمی خطا وجود دارد، قبل از انجام تحلیل می‌بایستی هر خش لغزشی دقیقا روی صفحه برش قرار گیرد. برای این منظور از قطب صفحه برش و خش لغز 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 ۹۸ سطح برش دارای خش لغز (گسله) در نه محدوده جهت تحلیل انتخاب گردید. نقشه محل برداشت سطوح برش دارای خش لغز در این مناطق نه‌گانه در شکل ۳ نشان داده شده است. تصویر نمودار کنتوردار این سطوح جهت تعیین قطب گسله‌ها در محدوده‌های مختلف در شکل ۴ و تصویر استریوگرافیک آن‌ها جهت داشتن ایده کلی از توزیع این سطوح در شکل ۵ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



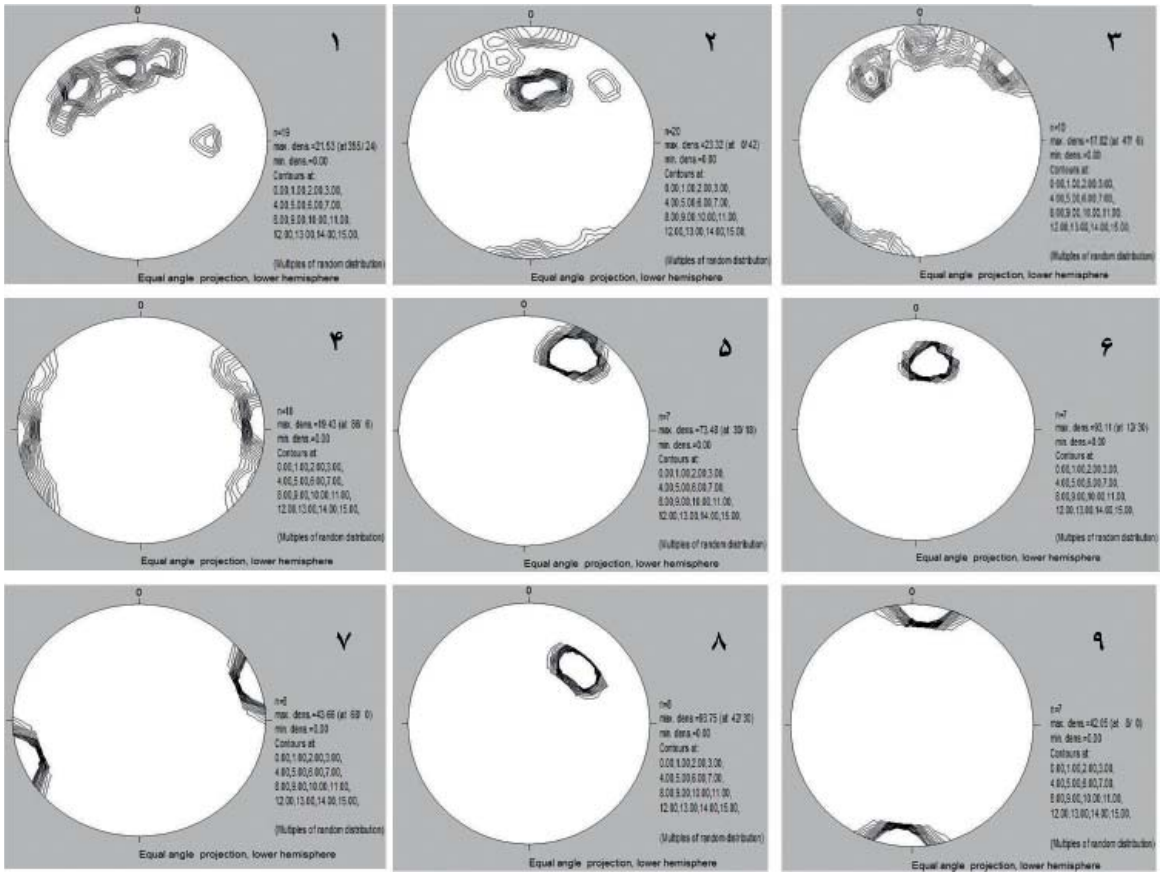
شکل ۲. تصویر رگه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه و نمودار گل سرخی مربوط به آن (دید به سمت شمال غرب)



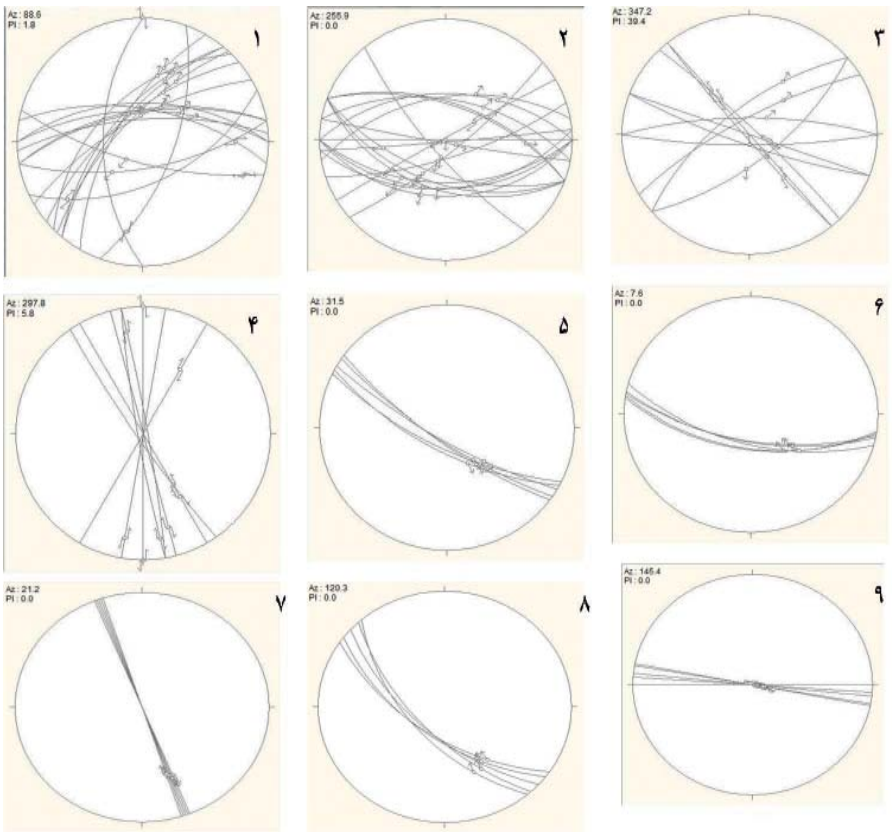
شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی منطقه رکات که محل برداشت سطوح برش دارای خش لغز روی آن نشان داده شده است. (نقشه ۱۰۰۰۰۰: ۱ بیرجند با تصحیح، افتخار نژاد، ۱۹۸۶).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴.نمودار کنتوردار گسله‌ها



شکل ۵. نمایش گسله‌ها در محدوده‌های مورد مطالعه . پیکان‌ها جهت حرکت فرادیواره را نسبت به فرودیواره نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

بحث

تنسور تنش کاهش یافته

در حالت کلی تنش T را می‌توان به 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 به صورت ساده زیر نیز قابل نمایش است:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma3 \end{bmatrix}$$

در رابطه فوق سه متغیر نادیده گرفته شده است که مربوط به موقعیت محورهای اصلی تنش می‌باشند که به ترتیب به صورت زیر نمایش داده می‌شوند:

$$\begin{bmatrix} x1 \\ y1 \\ z1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x2 \\ y2 \\ z2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x3 \\ y3 \\ z3 \end{bmatrix}$$

در شرایط $\sigma = T$ رابطه زیر برای بیان حالت تنش کافی خواهد بود:

$$\begin{bmatrix} x1 & x2 & x3 \\ y1 & y2 & y3 \\ z1 & z2 & z3 \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} \sigma1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma3 \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} x1 & y1 & z1 \\ x2 & y2 & z2 \\ x3 & y3 & z3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & d & f \\ d & b & e \\ f & e & c \end{bmatrix}$$

شکل ماتریسی فوق بیان انتقال دستگاه مختصات محورهای اصلی را به یک دستگاه مختصات عمومی دکارتی نشان می‌دهد.

از آنجا که تنش‌های همسانگرد[1] تاثیری روی مقدار تنش برشی بیشینه و موقعیت تنش برشی بیشینه نداشته و روی شکل میدان تنش نیز بی‌تاثیر است (Angelier, 1989)، لذا هرگاه تنش همسانگرد مورد نظر (σ3-) با عنصر ماتریس فوق جمع و سپس همه عناصر ماتریس را در $\frac{1}{\sigma1-\sigma3}$ ضرب نماییم ماتریس ساده زیر به دست 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 به صورت $\Phi = (\sigma2-\sigma3)/(\sigma1-\sigma3)$ تعریف نمود. حال می‌توان روابط فوق را به صورت زیر جمع بندی نمود:

$$T = \begin{bmatrix} x1 & x2 & x3 \\ y1 & y2 & y3 \\ z1 & z2 & z3 \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \Phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} x1 & y1 & z1 \\ x2 & y2 & z2 \\ x3 & y3 & z3 \end{bmatrix}$$

تنسور فوق را تنسور تنش کاهش یافته[2] می‌نامند. پس زمانی می‌توان به نزدیکترین ماتریس به ماتریس واقعی تنش دست پیدا کرد که موقعیت محورهای اصلی تنش و نیز شکل میدان تنش در قالب ماتریس تنش کاهش یافته به دست آمده باشد.

زاویه ناپرازش[3]

زاویه بین تنش برشی بیشینه با خش لغزش اندازه‌گیری شده روی زمین زاویه ناپرازش نامیده می‌شود (Choi and Angelier, 1996). موقعیت تنش برشی بیشینه با حل تنسور تنش به دست می آید. واضح است که در این معیار فرض اصلی بر پایه فرضیات Bott (1959) و Wallace (1951) استوار شده است. بر اساس این فرضیه خش لغزش در راستای تنش برشی بیشینه قرار می‌گیرد.

تعیین محورهای کشش و فشارش

روی هر صفحه برش می‌توان موقعیت محورهای P و T را به ترتیب به عنوان محورهای فشارش و کشش را تعیین کرد (Alek-sandroski, 1985). محورهای مزبور برای هر محدوده تعیین شده و در شکل ۶ آورده شده است.

اگر موقعیت محورهای تنش برای کل منطقه را بررسی کنیم، تنش فشاری (σ1 (تقریبا قائم و تنش کششی (σ3) تقریباً افقی به دست می‌آید (شکل۷) که سازوکار جایگیری ماگما را به صورت دایک بیان می‌دارد.

روش وارون سازی[4]

برای تعیین موقعیت محورهای اصلی تنش دیرین و نیز شکل میدان تنش در این پژوهش از روش وارون سازی استفاده شده است. در این روش فرض اساسی این است که در یک میدان تنش تعریف شده به راحتی می‌توان روی هر صفحه‌ای با موقعیت معین مولفه‌های تنش برشی بیشینه را تعیین نمود. حال در طبیعت شرایط به عکس است، با داشتن گسله‌ها می‌خواهیم میدان تنش را به دست آوریم. در این روش تعداد زیادی تنسور تولید می‌شود. تنسوری قابل قبول‌تر خواهد بود که زاویه ناپرازش کوچکتری را نشان دهد. به منظور کم کردن خطاهای حاصل و اطمینان نسبی از پارامترهای تنسور تنش کاهش یافته از روش جستجو در فضای چهار مولفه‌ای (Angelier, 1994) نیز استفاده شده است. در روش جستجو در فضای چهار مولفه‌ای از متغیرهای زیر استفاده می‌شود:

۱- آزیموت از صفر تا ۳۶۰ درجه

۲- میل از صفر تا ۹۰ درجه

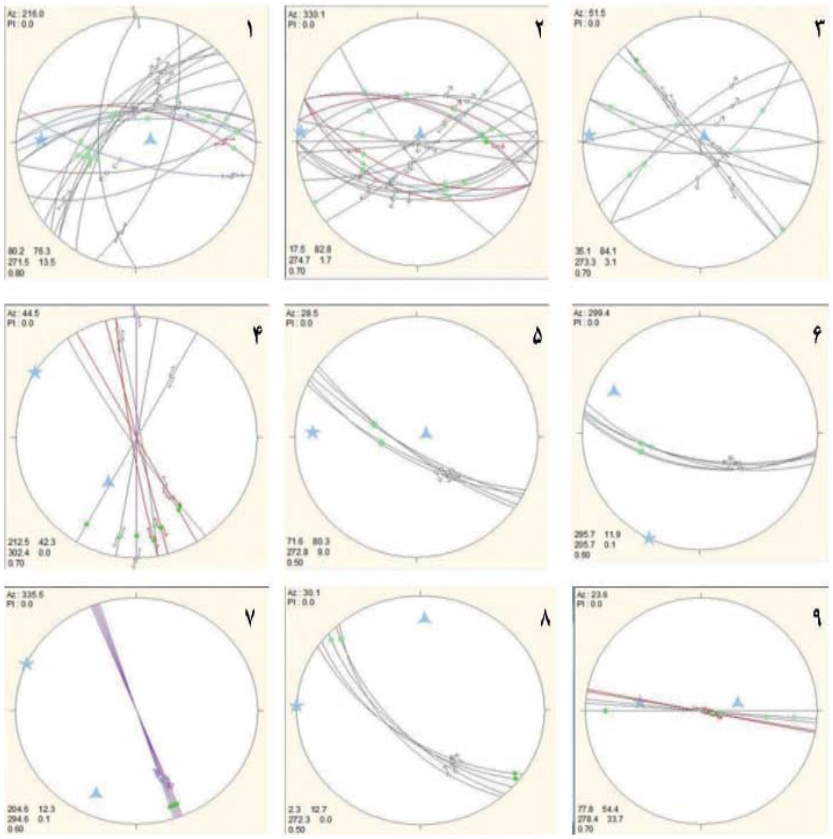
۳- ریک از صفر تا ۱۸۰ درجه روی صفحه‌ای که قطب آن σ1 است

۴- شکل میدان Φ از صفرتا یک

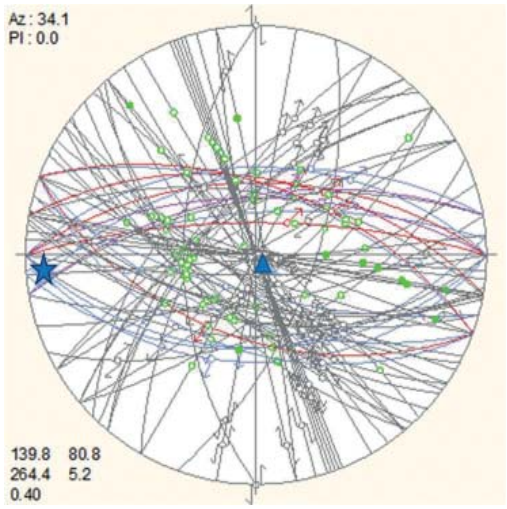
1. Isotropic stresses
2. Reduced stress tensor
3. Misfit angle
4. Inversion method

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. تصاویر استریوگرافیک محورهای کشش و فشارش در محدوده‌های مورد مطالعه. مثلث و ستاره به ترتیب محورهای σ1 و σ3 را نشان می‌دهد.



شکل ۷. موقعیت محورهای تنش برای کل منطقه. مثلث نشان دهنده σ1 و ستاره نمایانگر σ3 می باشد.

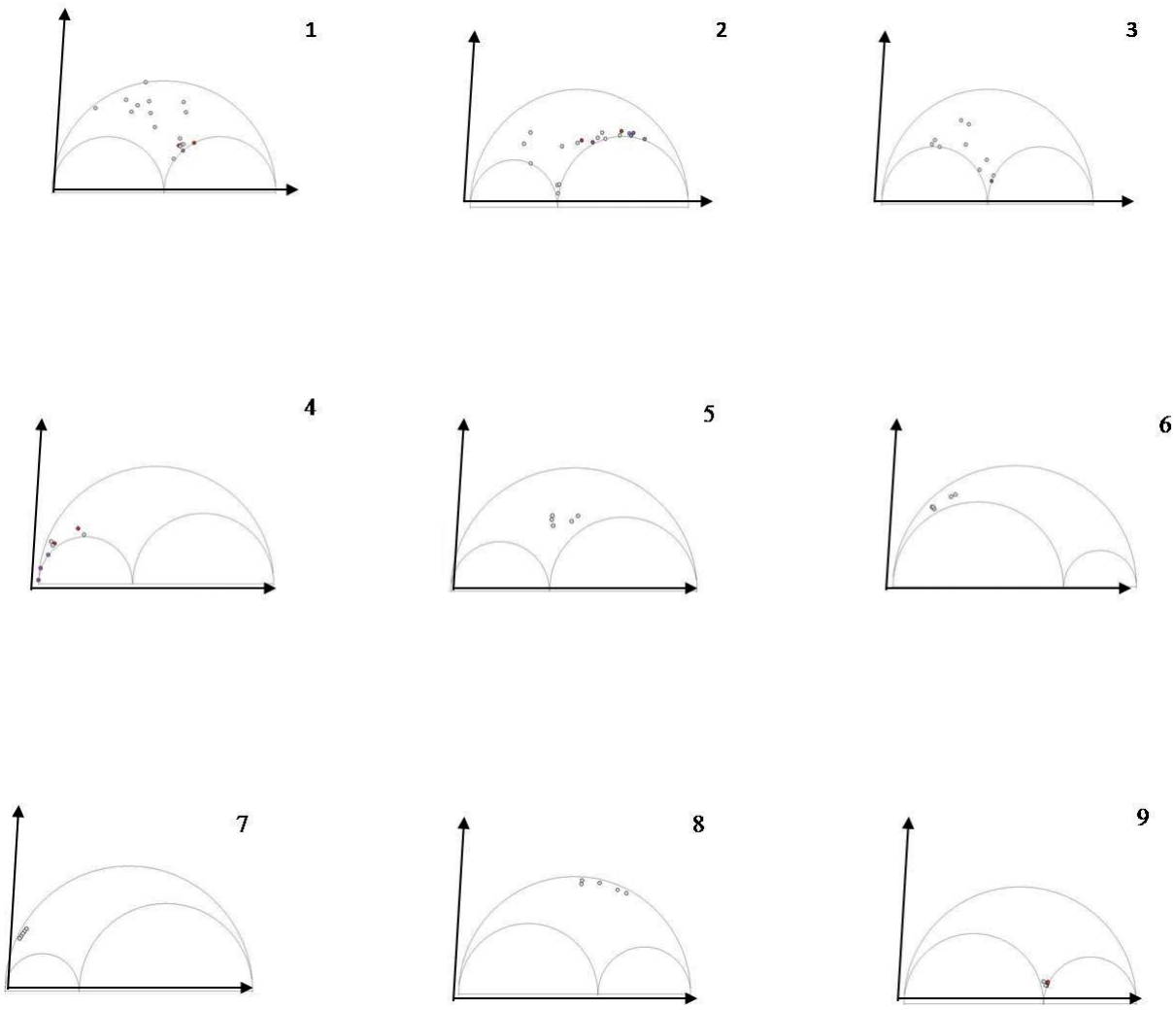
شکل میدان تنش معادل

در هر محدوده با رسم دوایر موهر سه محوری شکل میدان تنش برپایه فاکتور شکل ارائه شده است (شکل۸). برای بدست آوردن شکل میدان به صورت معادل برای کل منطقه به دلیل ماهیت تنسوری تنش نمی‌توان با روش‌های میانگیری 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 موهر طوری در آن دستگاه طراحی شود که پوشش مناسبی بین داده‌ها بوجود آورد. دایره موهر سه محوری برای کل منطقه در شکل ۹ آمده است.

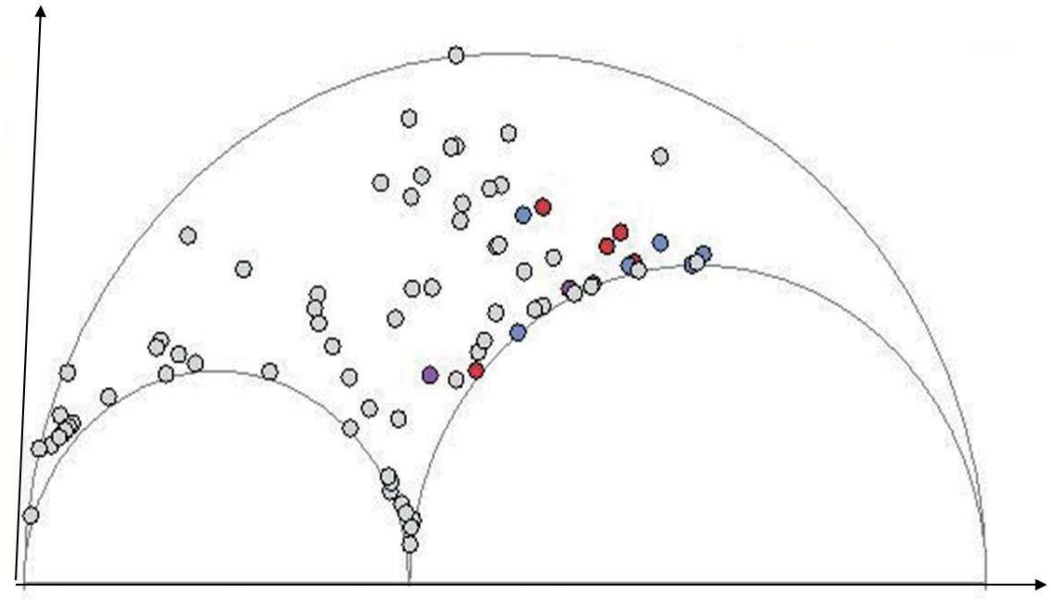
تحت این شرایط نسبت اختلاف تنش اندازه گیری شده روی دایره موهر شکل میدان تنش معادل را نشان خواهد داد. با توجه به دایره موهر این گونه نتیجه گیری می‌شود که در شکل میدان تنش دیرین هم مولفه فشارش و هم برش تاثیر دارد. این موضوع با سازوکار گسل های منطقه (معکوس و راستگرد) هم خوانی دارد و فاکتور شکل Φ=۰/۴ می باشد. Φ=۱ نمایانگر فشار مطلق

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸ دوایر موهر بدون مقیاس در۹ محدوده مورد مطالعه



شکل ۹. دایره موهر بدون مقیاس برای کل منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

و بیضوی تنش کلوچه‌ای شکل می‌باشد در صورتیکه $\Phi = ۰$ نشان دهنده کشش مطلق و بیضوی دوکی شکل است. $\Phi = ۰/۴$ نشان دهنده محیطی است که هم کشش و هم فشار در آن تاثیر دارد. بنابراین مولفه کشش موثرتر است که به دلیل جایگیری ماگما در سطح و برونزد آن روی سطح زمین، ایجاد منطقه کم فشار قابل پیش‌بینی است. سازوکار گسلها و فاکتور شکل میدان تنش، تاییدکننده جایگیری ماگما در فضاهای کششی ایجاد شده در محیط فشاری - برشی جنوب بیرجند می‌باشد.

سازوکار جایگیری دایک‌ها

به طور کلی توزیع میدان تنش در ماگما عامل تنوع در سازوکار جایگیری ماگما در پوسته است و از این نظر ماگما نقش مهمی در فرایندهای تکاملی پوسته دارد. با صعود ماگما و نزدیک شدن آن به سطح زمین توزیع تنش به دو گونه کنترل می‌شود (Bussell et al., 1976; Pitcher, 1979):

۱- جایگیری غیر فعال: سازوکار جایگیری که در آن شکستگی‌ها و فضاهای باز قبلا ایجاد شده‌اند و ماگما در داخل آن جایگیری کرده است.

۲- میدان تنش ناشی از ماگما و تاثیر آن بر سنگ میزبان: در این حالت میدان تنش حاصل در اطراف ماگما به صورت فشار سیال عمل می‌کند و باعث شکل‌گیری شکستگی‌های جدید می‌شود و دلیل ناپایداری‌ها و بر هم زدن میدان تنش اولیه تاثیری است که بر سنگ میزبان در پوسته بالایی شکنا می‌گذارد.

در این صورت فشار ماگما به صورت فشار سیال عمل می‌کند و حرکت آن دگرشکلی را در پوسته به همراه دارد. تاثیر ماگما بر سنگ میزبان در هنگام صعود آن اینگونه است که چنانچه تنش ناشی از صعود ماگما از مقاومت نهایی سنگ بیشتر باشد و بر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی آن غلبه کند باعث پیدایش شکستگی‌ها و گسل‌های جدید می‌شود.

در جایگیری فعال در حین جایگیری ماگما مکانسیم جایگیری به صورت اعمال فشار سنگ های رویین انجام می‌گیرد و جهت جریان در سیال عمود بر جهت فشار داخلی موجود در سیال است اما در جایگیری غیر فعال الزاما شکستگی‌های کششی، فضای لازم را برای جایگیری ماگما فراهم می‌کند.

سازوکار جایگیری دایک‌ها در منطقه رکات، با توجه به شواهد صحرایی از قبیل نبود هاله دگرگونی و وجود مرز مشخص بین رگه‌ها و سنگ میزبان (شکل ۱۰) به صورت غیرفعال می‌باشد که وجود شکستگی کششی برای جایگیری ماگما و محیط کم فشار را نشان می‌دهد.

شکل ۱۰. نمایش عدم وجود هاله دگرگونی و مرز مشخص بین رگه آندزیتی و کنگلومرای میزبان (دید به سمت شمال غرب)

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری

با تحلیل تنش دیرین بر پایه سطوح برش دارای خش لغزش (گسله‌ها) در منطقه مورد مطالعه با روش وارون‌سازی چند مرحله‌ای، وضعیت تنش دیرین در زمان تزریق رگه‌های آذرین مورد بررسی دقیق قرار گرفته و با حمایت روش‌های گوناگون و نیز حمایت عوارض ساختاری، درستی نتایج مورد تایید قرار گرفته است. قائم بودن σ1 جایگیری این ماگما را به صورت دایک نشان می‌دهد و فاکتور شکل میدان تنش Φ =۰/۴ می‌باشد. از آنجا که Φ =۱ منطقه تحت فشار و Φ =۰ منطقه تحت کشش را نشان می‌دهد، جایگیری ماگما در منطقه رکات، بیانگر محیط کم فشار می‌باشد که با سازوکار جایگیری دایک‌ها در شکستگی‌های الزاماً کششی به دلیل جایگیری غیرفعال، همخوانی دارد.

منابع

– افتخار نژاد، ج.، ۱۹۸۶. نقشه ۱۰۰۰۰۰: ۱ بیرجند. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

– الیاسی، م.، کنعانیان، ع.، کلانتری، ک. و حیدری، م.، ۱۳۸۶. سازوکار جایگیری توده‌های آذرین شمال شرق قزوین با بهره‌گیری از تحلیل تنش دیرین. مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۳، ۱، ۴۹–۵۶.

– بابائی، ل.، ۱۳۹۰. سازوکار جایگیری دایک‌ها در منطقه رکات (جنوب غرب بیرجند)، دانشگاه بیرجند، پایان نامه کارشناسی ارشد،۱۲۶.

– اداره راه و ترابری استان خراسان جنوبی، نقشه ۴۵۰۰۰۰: ۱ راه‌های استان خراسان جنوبی.

- Aleksandroski, P., 1985. Graphical determination of principle stress directions for slickenside lineation population. Structural Geology, 7, 73-82.

- Angelier, J., 1989. From orientation to magnitudes in paleostress determination using fault slip data. Structural Geology, 11, 17-50.

- Angelier, J., 1990. Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress. International Journal of Geophysics, 103, 363-376.

- Angelier, J., 1994. Fault slip Analysis and Paleostress Reconstruction In Hancock, P (Ed.), Continental Deformation. Pergmon Press Oxford, 53-100.

- Bott, M.H.P., 1959. The mechanics of oblique slip faulting, Geology Magazine, 96, 109-117.

- Bussell, M.A., Pitcher, W.S. and Wilson, P.A., 1976. Ring complexes of the Peruvian Coastal Batholith: a long-standing subvolcanic regime. Canadian Journal Earth Science, 13, 1020– 1030.

- Choi, P.Y. and Angelier, J., 1996. Distribution of angular misfits in fault – slip data. Structural Geology, 18, 1353-1367.

- Pitcher, W.S., 1979. The nature, ascent and emplacement of granite magmas. Geological Society of London, 136, 627-662.

- Wallace, R.E., 1951. Geometry of shearing stress and relation to faulting. Geology, 59, 118-130.

www.SID.ir