

بررسی مقایسه ای بردارهای ویژه و محورهای اصلی تنش دیرین در تعیین تیپ دگرریختی بخش جنوبی البرز مرکزی

محسن الیاسی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

Email: Eliassi@khayam.ut.ac.ir

میر علی اکبر نوگل سادات

موسسه تحقیقات علوم و فنون زمین

منوچهر قریشی

سازمان زمین شناسی کشور

(دریافت: ۷۹/۶/۳۰؛ پذیرش: ۷۹/۱۱/۲۹)

چکیده

بمنظور تعیین تیپ دگرریختی در بخش جنوبی البرز مرکزی باتکاء برداشتهای صحرایی روی سطوح برش دارای خش لغزش ابتدا با مناسبترین روش با رسم دووجهی های عمود بر هم (dihedra method) در ۲۸ ایستگاه وضعیت محورهای اصلی تنش دیرین پس از ائوسن تعیین و نتیجه حاصل با بردارهای ویژه توزیع داده ها مقایسه گردید. بردارهای ویژه V_3 , V_2 , V_1 بترتیب با محورهای اصلی تنش σ_3 , σ_2 , σ_1 انطباق بسیار مناسبی را نشان دادند. با در اختیار داشتن موقعیت محورهای اصلی تنش دیرین و تحلیل استریوگرافیک آن با مدلهای ایده آل، تیپ دگرریختی از نوع تراکمی شعاعی (radial compressional) شناسائی گردید.

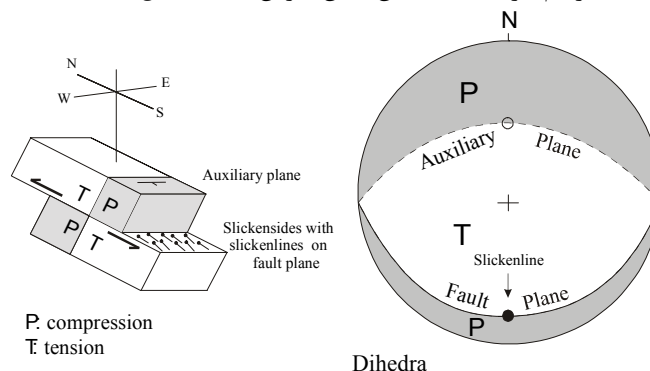
واژه های کلیدی: تنش دیرین، تحلیل صفحات گسل، تیپ دگرریختی، بردار ویژه.

۱- مقدمه

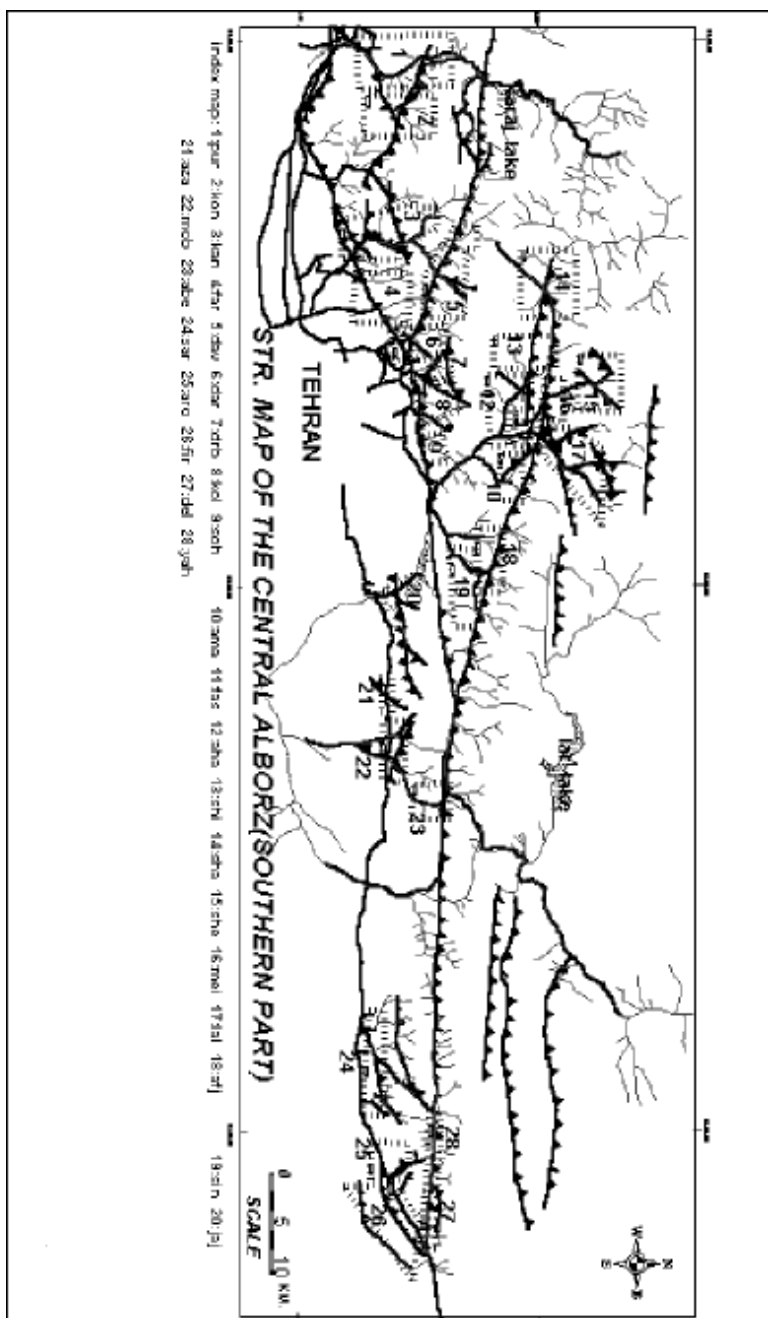
برای تحلیل تیپ دگرریختی در بخش جنوبی البرز مرکزی در ابتدا به کمک داده‌های رقومی تصاویر ماهواره‌ای Landsat-4 بوسیله نرم‌افزار ER-MAPPER با انتخاب مناسبترین باند (3 4 5=RGB) و بهترین فیلتر پردازشهای تصویری لازم صورت گرفت و سپس به کمک نرم‌افزار MAP INFO نقشه ساختاری دقیق منطقه با مناسبترین محدوده‌های برداشت صحرائی با مقیاس یک صد هزارم تهیه گردید. خلاصه‌شده نقشه مورد نظر با محدوده‌های برداشت داده‌های صحرائی که بصورت خط‌چین مشخص شده در نقشه ۱ ارائه گردیده است (قابل ذکر است کلیه داده‌ها، نقشه‌های تهیه شده و تصاویر در رساله دکتری موجود می‌باشد). لازم به ذکر است در موارد معدودی که خش لغزش بدلیل خطای متداول برداشت روی سطح برش قرار نگرفته، آنرا در محل تلاقی صغه برش با صفحه‌هایی که از قطب برش و خش عبور کرده در نیمکره پایین شبکه اشمیت تصویر و تصحیح شده‌است.

۲- روش تحلیل صفحه گسل (fault plane solution)

با رسم خش لغزش و دو صفحه کمکی (auxiliary plane) یکی موازی صفحه گسل و دیگری عمود بر آن، می‌توان محدوده تنشهای اصلی را مطابق آنچه که در تعیین سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها (focal mechanism) بصورت مدل دو وجهی (dihedral model) که با تفکیک پولاترته امواج برشی و یا طولی متداول است به آنالیز تنش‌های دیرین دست زد (Pfiffer, 1987). در عمل می‌بایستی صفحه کمکی را عمود بر صفحه گسل به گونه‌ای در نیمکره پائین شبکه اشمیت رسم کرد که قطب آن خش لغزش باشد (شکل ۱).

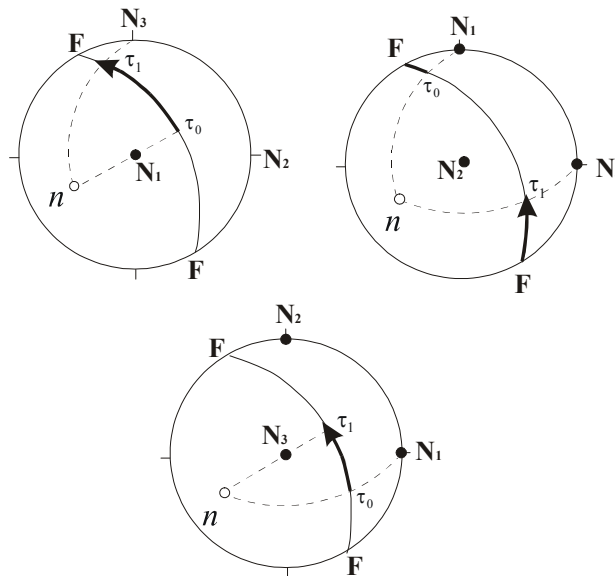


شکل ۱- نمایش بلوک دیاگرام هندسه صفحه گسل، خش لغزش و صفحه کمکی و استریوگرام دو وجهی آن روی نیمکره پائین شبکه اشمیت.



نقشه ۱ - نقشه ساختاری منطقه

در یک میدان تنش مشخص که محورهای اصلی تنش کاملاً تعریف شده‌اند در صورتیکه شکل هندسی بیضوی تنش با در دست داشتن فاکتور شکل (R) معلوم باشد براحتی می‌توان روی هر صفحه موقعیت خش لغزش را پیش‌بینی نمود. در روش عکس، با داشتن صفحه برش و خش لغزش روی آن می‌خواهیم حالت میدان تنش را بدست آوریم. در این راستا محدودیت‌هایی پیش می‌آید. درحالتی که یکی از تنش‌های اصلی قائم باشد، محورهای اصلی تنش را به ترتیب N_1, N_2, N_3 و سطحی را که می‌خواهیم موقعیت خش را روی آن بدست آوریم با F نمایش می‌دهیم. کافی است از قطب صفحه برش (n) و بزرگترین و کوچکترین تنش اصلی (N_1, N_3) دوایری در نیمکره پائین شبکه اشمیت عبور داده محل تلاقی آنرا با صفحه برش بترتیب با τ_0 و τ_1 مشخص نماییم (شکل ۲). بخشی از صفحه برش که بین τ_0 و τ_1 قرار گرفته حدود تغییرات بردار لغزش را بر حسب شکل هندسی بیضوی تنش مشخص می‌کند (Angelier, 1988).

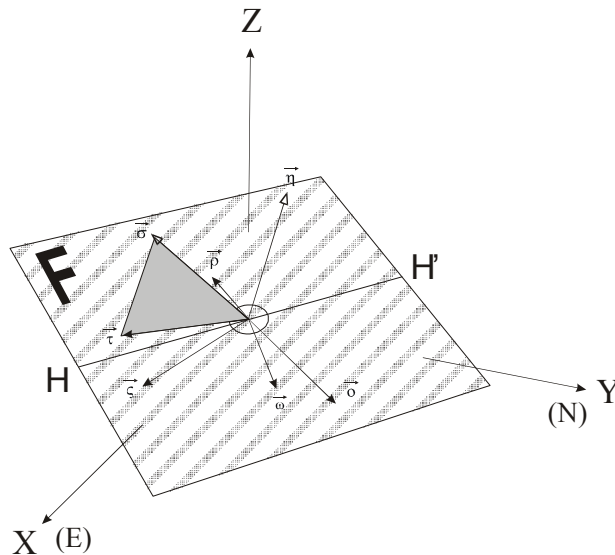


شکل ۲- حدود تغییرات بردار لغزش بر حسب قائم بودن یکی از محورهای اصلی تنش

در صورتیکه فاکتور شکل (R) از صفر تا یک تغییر کند، محل بردار لغزش از τ_0 تا τ_1 در طول برداری که روی شکل مشخص شده تغییر خواهد کرد. در بخش جنوبی البرز مرکزی با رسم دوایر مور سه محوری بدون مقیاس، دقیقاً شکل هندسی بیضوی تنش تعیین شده است (مقاله در دست چاپ). حال با توجه به فاکتور شکل و داده‌های برداشت شده در محدوده‌های مورد مطالعه با حل تنسور تنش موقعیت محورهای اصلی تنش دیرین بدست می‌آید.

۳- تحلیل ریاضی وضعییت محورهای اصلی تنش

به منظور تحلیل ریاضی محورهای اصلی تنش کلیه پارامترهای روی صفحه برش را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در صورتیکه F صفحه برش و HH' امتداد صفحه برش باشد می‌توان جهت بردار واحد لغزش S روی صفحه برش را با توجه به حرکت فرادیواره نسبت به فرادیواره مشخص نمود. بردار واحد عمود بر صفحه برش است (شکل ۳).



شکل ۳- هندسه صفحه گسل و تنشهای اعمال شده روی صفحه گسل.

شکل ۳ گسل را معکوس با مؤلفه راستا لغز چپگرد نشان می‌دهد. بردار واحد روی صفحه برش است بطوریکه: $\sigma = n \Lambda s$. اگر به صفحه برش تنش اعمال شود این تنش مولفه ای در راستای n بعنوان تنش نرمال و مولفه ای مانند τ بعنوان تنش برشی روی صفحه F خواهد داشت. می‌توان نوشت: $\sigma = T \cdot n$ (T تنسور تنش است). بردار ω روی صفحه برش است بطوریکه: $\omega = n \Lambda \sigma = n \cdot \tau$ و بالاخره ρ مؤلفه σ و τ در صفحه برش موازی σ می‌باشد بطوریکه: $\rho = \sigma \cdot \sigma = \sigma \cdot \tau$ محورهای فیزیکی مکان، x, y, z می‌باشند.

تحلیل ریاضی وضعییت فوق بر پایه به حداقل رساندن زاویه بین بخش لغزش و بردار لغزش یعنی زاویه بین S و τ بکمک به حد اقل رساندن مربع حداقل (Least Square Minimization) استوار است (Angelier & Goguel, 1978). با توجه به محورهای فیزیکی مکان، مولفه‌های تنسور تنش با ماتریس زیر قابل بیان می‌باشد:

$$\begin{bmatrix} e & d & \cos R \\ f & \cos(R + \frac{2\pi}{3}) & d \\ \cos(R + \frac{4\pi}{3}) & f & e \end{bmatrix}$$

R: زاویه خش لغزش با برش حداکثر و e، d و f پارامترهای ثابت ماتریس می‌باشند.

تابعی که باید به حداقل برسد به صورت زیر می‌باشد:

$$S = \sum_{k=1}^{k=x} \rho^2 \cdot x$$

k تعداد برداشتهای روی زمین است که می‌تواند از یک تا x تغییر کند. واضح است برای به حداقل رساندن تابع S، کافی است از آن مشتق جزئی گرفته مساوی صفر قرار داده شود. در این صورت با حذف چهارتا از مشتقات جزئی S نسبت به R، e، f، d چهارمعادله برای بدست آوردن آنها بوجود می‌آید. باین ترتیب با داشتن مقادیر R، e، f، d براحتی می‌توان موقعیت محورهای اصلی تنش را بدست آورد.

۴- ارتباط بردارهای ویژه با تنشهای اصلی

در زمین‌شناسی ساختمانی می‌توان هر ساخت یک بعدی جهت‌دار را بعنوان یک بردار واحد در نظر گرفت. در نیمکره پائین شبکه اشمیت سه محور فیزیکی مکان x، y و z بترتیب در جهت شمال، خاور و قائم رو به پائین تعریف نموده خطوط هادی (direction cosine) هر بردار را بترتیب با l، m و n مشخص می‌نمائیم. به‌ازاء مجموع N برداشت، شکل توزیع بردارها از ماتریس مجموع حاصل ضرب‌های متقاطع خطوط هادی بصورت زیر تعیین می‌گردد (Wood cock, 1977).

$$T = \begin{bmatrix} \sum l^2 & \sum lm & \sum ln \\ \sum ml & \sum m^2 & \sum mn \\ \sum nl & \sum nm & \sum n^2 \end{bmatrix}$$

بهتر است در عمل از حالت نرمالیزه ماتریس فوق یعنی T/N استفاده شود که در

اینصورت این حالت تنسور وضعییت داده‌ها خواهد (Scheidegger, 1965)

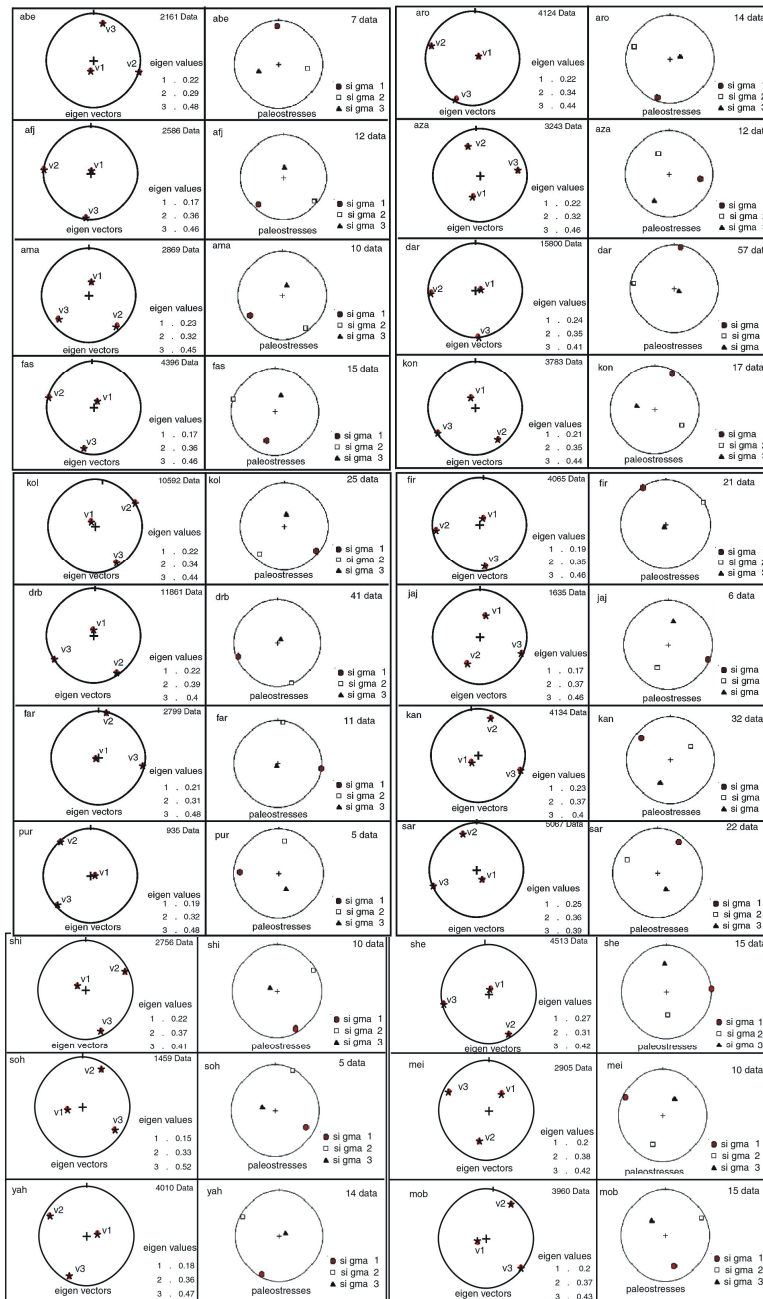
بردارهای ویژه v_1, v_2, v_3 مربوط به N وضعییت داده‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید (vollmer, 1990).

$$M = \sum I_i \cdot I_i$$

I_i ترانهاده (transpose) می‌باشد. \sum از یک تا N تغییر می‌کند.

۵- پردازش داده ها در بخش جنوبی البرز مرکزی

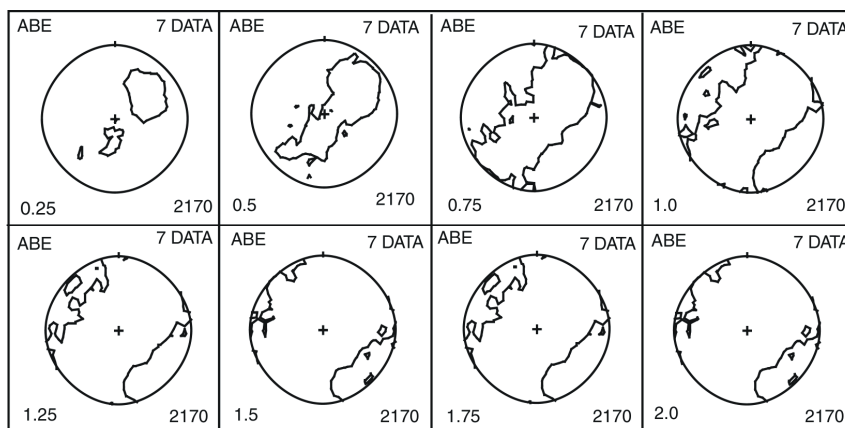
در بخش جنوبی البرز مرکزی در ۲۸ محدوده (نقشه ۱) ابتدا با روش تحلیل صفحه گسل موقعیت محورهای اصلی تنش دیرین مشخص گردید و سپس ۲۲ محدوده جهت آنالیز بردار ویژه انتخاب گردید (محدوده های DAV, AHA, SHA, LAL, SIN, DEL که از نظر انتخاب مناسبترین داده ها از نظر آماری تأثیری روی نتیجه نهائی نداشتند حذف گردیدند). نتایج بدست آمده از آنالیز بردارهای ویژه با نتایج محورهای اصلی تنش مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۴). تصاویر استریوگرافیک انطباق بسیار آشکاری بین محورهای اصلی تنش دیرین و بردارهای ویژه مربوط به توزیع داده ها را مشخص مینمایند. بردار ویژه v_1 مربوط به کوچکترین مقدار ویژه λ_3 با کوچکترین تنش تراکمی اصلی σ_3 انطباق دارد در حالی که بردار ویژه v_3 مربوط به بزرگترین مقدار ویژه λ_1 با بزرگترین تنش تراکمی اصلی σ_1 منطبق میباشد. بردار ویژه v_2 مربوط به مقدار ویژه متوسط λ_2 با متوسط تنش تراکمی اصلی σ_2 انطباق دارد. دلیل عدم انطباق کامل در برخی از محدوده ها ناهمگنی است که در برداشت داده ها روی زمین صورت گرفته که این موضوع بدلیل توپوگرافی بسیار شدید البرز و عدم دسترسی به کلیه صفحات برش است که طبیعتاً امری اجتناب ناپذیر میباشد. این نتیجه نشان می دهد در صورتیکه برداشت کافی روی زمین صورت گرفته باشد عدم انطباق بین محورهای مزبور می تواند ناشی از عدم استفاده از متد مناسب در تعیین موقعیت محورهای اصلی تنش باشد (Saintot, 2000). در این پژوهش نتایج بدست آمده از مقایسه متدهای مختلف با بردارهای ویژه نشان می دهد بهترین روش، تحلیل صفا گسل است که توضیح آن قبلاً داده شد.



شکل ۴- تصاویر استریو گرافیک محورهای اصلی تنش و بردارهای ویژه در بخش جنوبی البرز مرکزی.

۶- تعیین تیپ دگرریختی در شرایط شکننده

بمنظور تعیین تیپ دگرریختی در هر محدوده با متد حل صفحه گسل، مدل دووجهی‌های هر صفحه برش دارای خش لغزش را دقیقاً تعیین و در بخشهایی که محل بزرگترین تنش تراکمی اصلی است ردیفهائی از نقاط افقی بصورت همگن در نظر می‌گیریم. عمل مزبور عیناً در مورد کلیه صفحات برش یک محدوده انجام می‌گیرد (Yamaji, 2000). با روی هم قرار دادن دو وجهی‌ها چگالی نقاط در بخشهای مزبور در فصل مشترک آنها بشدت افزایش می‌یابد. حال با رسم کنتورهای هم چگالی براحتی می‌توان تیپ دگرریختی را در آن محدوده تعیین نمود. نکته قابل توجه، تعیین فاصله کنتورها (Interval) است به نحوی که بهترین شکل را برای آنالیز دگرریختی در اختیار قرار دهد. در این زمینه تستهای گوناگونی در بخش جنوبی البرز مرکزی صورت گرفته که بعنوان نمونه بیک مورد اشاره می‌شود. در محدوده آبعلی (نقشه ۱- ABE) هفت صفحه برش دارای خش لغزش برداشت شدند که پس از پردازش بروش فوق الذکر تعداد داده‌های پردازش شده به ۲۱۷۰ داده ارتقاء یافت. کنتورهائی بترتیب بقواصل 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, ..., 2.0 روی داده‌های پردازش شده بمنظور کسب بهترین فاصله رسم گردید (شکل ۵). بوضوح می‌توان مشاهده کرد مناسبترین فاصله کنتوری 0.5 می‌باشد که این فاصله برای کلیه داده‌ها تعمیم داده شد.



شکل ۵-مقایسه فواصل کنتوری مختلف در تشخیص تیپ دگرریختی در محدوده ABE داخل کنتور محل σ_1 میباشد.

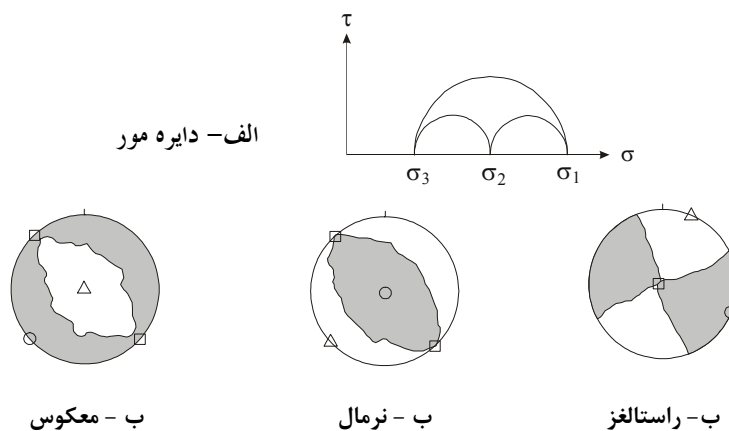
۱-۶ الگوهای استریوگرافیکی تیپهای دگرریختی در حالت ایده آل

در آنالیز تیپ دگرریختی در هر محدوده رمینساختی مشخص، دو پارامتر نقش اساسی ایفا میکند: یکی موقعیت محورهای اصلی تنش و دیگری شکل هندسی بیضوی تنش که در این مقاله با فاکتور شکل (R) طبق رابطه زیر مشخص شده است (Angelier, 1988).

$$R = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

در صورتیکه σ_2 بترتیب سمت σ_3 و σ_1 میل کند R بترتیب سمت صفر و یک میل خواهد کرد ($0 < R < 1$). فاکتور شکل در محدوده‌های مورد مطالعه در بخش جنوبی البرز مرکزی با متدهای مختلف تعیین گردیده است که از ذکر آن در اینجا خودداری می‌شود (در دست چاپ). تیپهای دگرریختی در حالت ایده‌آل را می‌توان در سه حالت کلی زیر مورد بررسی قرار داد:

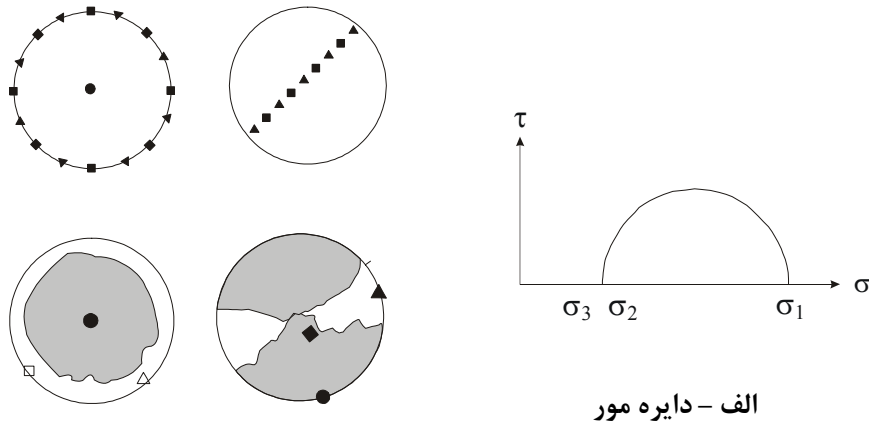
۱ - $R = 0.5$ در اینصورت $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ یعنی تنش اصلی متوسط، میانگین حسابی دو تنش اصلی دیگر بوده که از نظر بزرگی معادل تنش غیرانحرافی (nondeviatoric stress) است که صرفاً باعث تغییر حجم (dilation) سنگ می‌گردد. تحت یک چنین شرایط تنش، وضعیت دایره مور شکل مقارنی خواهد داشت (شکل ۶-الف). تصویر استریوگرافیک داده‌های پردازش شده با رسم کنتور بفاصله 0.5 با قائم بودن یکی از محورهای اصلی تنش تیپ دگرریختی را بوضوح نشان می‌دهد. طبق تئوری آندرسون با قائم بودن σ_1 ، σ_2 و یا σ_3 تیپ دگرریختی بترتیب تراکمی، کششی و راستالغز خواهد بود (شکل ۶-ب).



شکل ۶-دایره مور و تیپ دگرریختی در شرایط $R = 0.5$

۲ - $R = 0$ در این صورت $\sigma_2 = \sigma_3$. در این شرایط شکل هندسی بیضوی تنش، محوری و کشیده بوده (axial & prolate)، شکل ظاهری دایره مور شبیه سیستم‌های دو محوری است (شکل ۷-الف). توزیع محورهای σ_2 و σ_3 روی دایره بزرگ استریونت بوده که دو حالت انتهائی آن بصورت زیر است (شکل ۷-ب).

الف- در صورتیکه مکان هندسی محورهای σ_2 و σ_3 روی دایره افقی استریونت باشد تیپ دگرریختی کششی شعاعی (Radial Extentional) می‌باشد.



الف - دایره مور

ب - انتقال تراکمی ب - کششی شعاعی

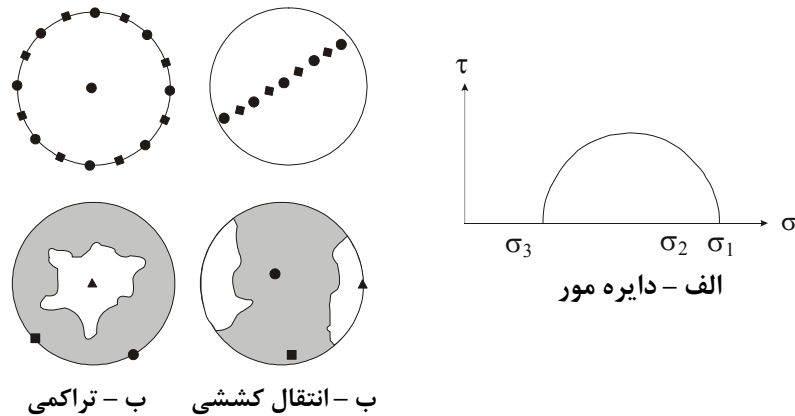
شکل ۷-دایره مور و تیپ دگر ریختی در شرایط $R=0$

ب - در صورتیکه مکان هندسی محورهای فوق قائم باشد تیپ دگرریختی انتقال تراکمی (Trans Pressional) می‌باشد.

۳ - $R = 1$ در این صورت $\sigma_1 = \sigma_2$. شکل بیضوی تنش محوری و کلوچه‌ای (axial & oblate) بوده و دایره مور بطور ظاهری شبیه سیستم‌های دو محوری است (شکل ۸-الف). توزیع محورهای σ_1 و σ_2 روی دایره بزرگ استریونت بوده، دو حالت انتهائی آن بصورت زیر است:

الف- در صورتیکه مکان هندسی σ_1 و σ_2 افقی باشد تیپ دگرریختی بصورت تراکمی شعاعی (Radial Compressional) می‌باشد.

ب- در صورتیکه مکان هندسی محورهای فوق قائم باشد تیپ دگرریختی بصورت انتقال کششی (Trans Extentional) می‌باشد.



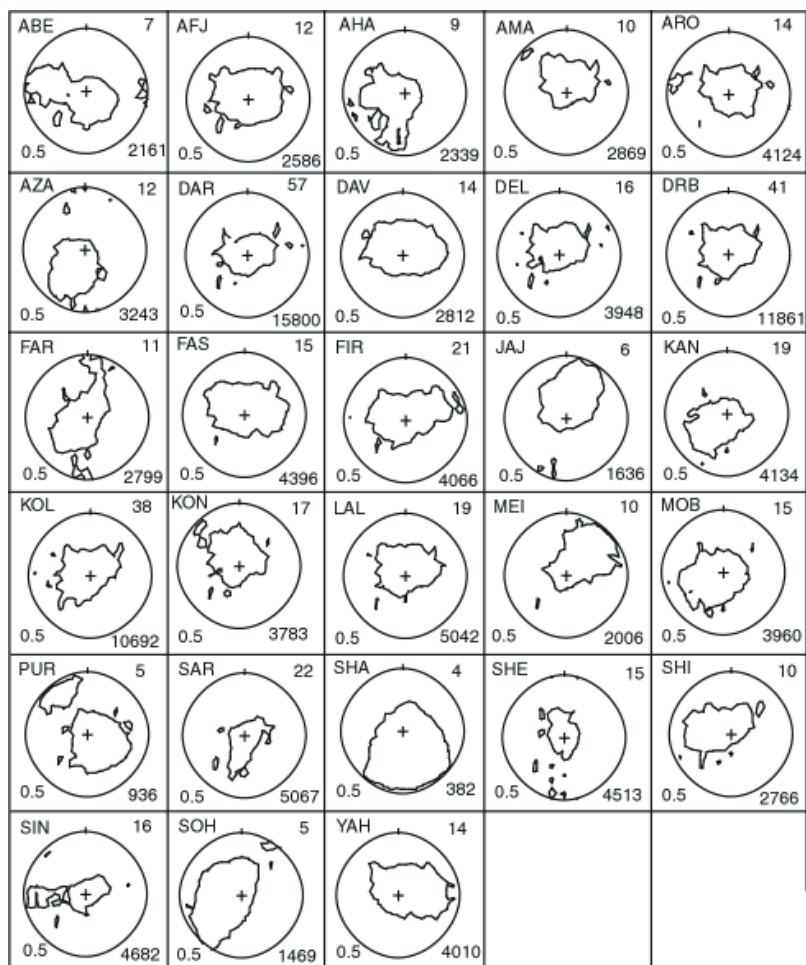
شکل ۸- دایره مور و تیپ دگرریختی در شرایط $R=1$.

۲-۶/ ارائه مدل تیپهای دگرریختی در بخش جنوبی البرز مرکزی

در ۲۸ محدوده در بخش جنوبی البرز مرکزی (نقشه ۱) تیپهای دگرریختی مورد تجزیه و تحلیل استریو گرافیکی قرار گرفتند (شکل ۹). کلیه تصاویر در نیمکره پائین شبکه اشمیت ترسیم و فاصله کنتوری 0.5 روی آنها اعمال گردیده است. از خط کنتور مزبور بطرف داخل توزیع موقعیت بزرگترین محور اصلی تنش دیرین قرار می‌گیرد. در هر مربع گوشه بالا سمت چپ سه حرف اختصاری نام محدوده مورد مطالعه و سمت راست تعداد داده‌های برداشت شده روی زمین (صفحه برش با خش روی آن) را مشخص می‌کند. گوشه پائین سمت چپ فاصله مناسب‌ترین کنتور و سمت راست تعداد داده‌های پردازش شده را نشان می‌دهد.

تعداد داده‌های پردازش شده بصورت توانی نسبت به داده‌های برداشت شده افزایش می‌یابد. بعنوان مثال کمترین و بیشترین تعداد برداشت بترتیب مربوط به محدوده‌های شهرستانک (SHA) و درکه (DAR) ۴ و ۵۷ می‌باشد که پس از پردازش تعداد مزبور به ترتیب به ۳۸۳ و ۱۱۸۶۱ ارتقاء یافته است.

با مقایسه مدل‌های استریوگرافیکی تیپهای دگرریختی با حالات ایده‌آل بوضوح می‌توان نتیجه گرفت در کلیه محدوده‌های مورد مطالعه تیپ دگرریختی بصورت تراکمی شعاعی است که کمی مولفه انتقال تراکمی دریافت کرده است، مولفه مزبور بویژه در محدوده فرحزاد (FAR) و سینک (SIN) خود را بهتر نشان می‌دهد. نتیجه این نوع دگرریختی برپائی شدید در راستای سطوح برش و ستبرائی پوسته زمین در این بخش از البرز می‌باشد.



شکل ۹- تصاویر استریوگرافیک تپه‌های دگر ریختی در بخش جنوبی البرز مرکزی.

از نظر سینماتیک شرایط حاکم بر بخش جنوبی البرز مرکزی در صورتیکه از دریچه دو بعدی به آن نگریسته شود در طبقه‌بندی دو بعدی بیضی‌های استرین حاصل در میدان ۳ (field 3) رمزی قرار می‌گیرند (Ramsay, 1983). به استناد نقشه ۱ از آنجا که روند طولی گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه تقریباً شرقی- غربی است اوجگیری منطفه در این راستا از دید دینامیکی و سینماتیکی امری کاملاً طبیعی است.

نتیجه گیری

استفاده از روشهای گوناگون در تعیین وضعیت تنش های دیرین در بخش جنوبی البرز مرکزی نشان می دهد که مناسب ترین روش، تحلیل صفحه گسل می باشد. در صورتیکه توزیع داده ها از نظر آماری همگن باشد با تعیین موقعیت بردارهای ویژه مربوط به توزیع داده ها صحت تشخیص موقعیت محورهای اصلی تنش می تواند مورد تأیید قرار گیرد. در مناسب ترین حالت همواره بردار ویژه V_3 با σ_1 ، V_2 با σ_2 ، V_1 با σ_3 همخوانی دارند. با در اختیار داشتن وضعیت دقیق محورهای اصلی تنش و فاکتور شکل تیپ دگرریختی در این بخش از البرز تراکمی شعاعی مشخص می شود که عامل اصلی اوجگیری البرز در این منطقه است.

References

- Angelier, J., (1979) *Determination of the mean directions of stresses for a given fault population*, Tectonophysics, **56**, T17-T56
- Angelier, J., (1983) *analyses quantitative des populations de jeux de failles*, Bull., Soc., France, **5**, 661-678.
- Angelier, J., (1988) *From orientation to magnitudes in paleostress determination using fault slip data*, Journal of Structural Geology, **11**(1/2), 37-50.
- Lisle, R., (1989) *The statistical analysis orthogonal orientation data*, Journal of Geology, **97**, 360-364.
- Pfiffner, O.A., & Burkhard, M., (1987) *Determination of paleostress axes orientation from fault, twin and earthquake data*, Anales Tectonicae, **8**, 48-57.
- Ramsay, I.G., & Huber, M.I., (1983) *The techniques of modern structural geology vol.1*, Academic Press, inc., London.
- Saito, A., & Angelier, J., (2000) *Paleo-Quaternary paleostress regimes and relation to structural development in the Kertch-Tanian (Ukraine and Russia)*, Journal of Structural Geology, **22**, 1049-1064
- Scheidegger, A.E., (1965) *On the statistics of the orientation of bedding planes, grain axis and similar sedimentological data*, US. Geol. Survey, paper **525c**, 164-167.
- Volmer, f.w., (1989) *An analysis of orthogonal orientation data*, Journal of Geology, **97**, 360-364.
- Woodcock, N.H., (1977) *Specification of fabric shapes using an eigenvalue method*, Geological Survey of America Bulletin, **88**, 1231-1236.
- Yamaji, A., (2000) *The multiple inverse method : a new technique to separate stresses from heterogenous fault-slip data*, Journal of Structural Geology, **22**, 441-452.