

# تعیین طیف تغییرات فاکتور شکل و طبقه بندی بیضوی تنش دیرین پس از ائوسن به کمک تحلیل سطوح برش در بخش جنوبی البرز مرکزی

نوشته: دکتر محسن الیاسی\*، دکتر میرعلی اکبرنوگل سادات\*\* و دکتر منوچهر قرشی\*\*\*

## Determination of the shape factor variation spectrum with the classification of Paleostress ellipsoids in the southern part of Central Alborz

By : Dr. M.Eliassi\* , Dr.A.A. Nogol Sadat \*\*, Dr. M.Ghorashi\*\*

### چکیده

مقایسه روش‌های گوناگون تعیین فاکتور شکل (R) براساس تحلیل سطوح برش دارای خط خش پس از ائوسن در بخش جنوبی البرز مرکزی نشان می‌دهد قابل اطمینان‌ترین روش کارا، رسم دایره‌های موهر (Mohr) سه بعدی بدون مقیاس می‌باشد. تغییرات طیف R از نظر آماری در محدوده مورد مطالعه بصورت  $0 < R < 1$  و از رده نوع دو بوده و بیضوی معادل بسیار نزدیک به بیضوی مسؤل زایش گسل‌های مزوج می‌باشد. تغییرات طیف R همچنین مؤید تمایل به لغزش کم و زیاد به ترتیب در نره مبارک‌آباد و اطراف توچال بوده که نشان می‌دهد با تعیین شکل هندسی بیضوی تنش دیرین میتوان به‌طور نسبی میزان تمایل به لغزش را در یک ناحیه مورد بررسی قرار داد.

واژه‌های کلیدی: تنش دیرین، حل صفحه گسل، فاکتور شکل، دایره موهر

### Abstract

Shear planes, containing slickenside lineations were analysed statistically in 28 localities. The sampling sites were selected on the basis of Post-Eocene fault activations. The sites cover an area of 750 square kilometers of the southern part of the Central Alborz. Different methods of shape factor determination were tested. The results demonstrated that plotting 3-D unscaled Mohr diagram is the most reliable method. Variation in R-spectrum in the studied area proved to be of type II, i.e geometrically type flattened ( $0 < R < 1$ ).

The R- value of equivalent ellipsoid represents the whole ellipsoids can be replaced by an ellipsoid similar to that causing conjugate faults. Variation in R- spectrum also supports the slip-tendency model to be low and high in Mobarak Abad and Tochal area respectively.

Key words: Paleostress, fault Plane solution, shape factor, Mohr- circle

نمایش میبیم تا با زاویه اصطکاک داخلی اشتباه نشود. واضح است در صورتیکه بزرگای تنش اصلی متوسط بترتیب بطرف بزرگای بزرگترین و کوچکترین تنش اصلی میل کند، فاکتور شکل بترتیب به سمت 0 و 1 (بیضوی تنش محوری) میل خواهد کرد ( $0 < R < 1$ ). از آنجا که فاکتور شکل عدد منفی نمیپذیرد و کارایی آن نیز سادهتر است، بجای عدد لود در این نوشتار از آن استفاده میگردد.

### روش‌های تعیین R

الف - رابطه ریاضی: در صورتیکه یکی از تنش‌های اصلی قائم باشد، میتوان از رابطه ریاضی زیر برای دستیابی به فاکتور شکل استفاده نمود (Bott, 1959):

$$\tan r = \frac{n}{l-m} \left( m^2 - \frac{l \cdot n^2}{R} \right)$$

در رابطه بالا  $n, m, 1$  بترتیب خطوط هادی (direction cosine) قطب صفحه برش روی محورهای نکارتی تنش‌های اصلی و  $r$  زاویه ریک خط خش روی صفحه برش میباشد. تجربه روی تعیین شکل هندسی بیضوی تنش در بخش جنوبی البرز مرکزی نشان میدهد که در بکارگیری این رابطه محدودیت وجود دارد. در صورتی که برداشت روی سطوح برشی مزبوج (conjugate shear planes) صورت گیرد، فاکتور شکل به شکل واقعی بیضوی تنش نزدیکتر خواهد بود. لذا لازم است اگر صفحات برش روی زمین بصورت مزبوج قابل شناسائی نباشند، با رسم دایره‌های موهر در شرایط دینامیکی بشکل سه بعدی و تحلیل آن به مزبوج بودن آنها دست یافت (باین مورد در صفحه‌های بعدی اشاره خواهد شد).

به مقادیر ویژه (eigen values): از آنجا که داده‌ها بصورت ساخت یک بعدی جهتدار برداشت میشوند میتوان آنها را بعنوان بردار واحد (unit vector) در نیمکره پایین شبکه اشمیت رسم و با طراحی یک دستگاه مختصات فیزیکی  $x, y, z$  بترتیب در راستای شمال، خاور و قائم رو به پایین خطوط هادی داده‌ها را بدست آورد. با حل ماتریس داده‌ها که بهتر است برحسب تعداد داده‌ها نرمالیزه گردند، به راحتی میتوان مقادیر ویژه داده  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ، وابسته به بردارهای ویژه (eigen vectors) توزیع داده‌ها را محاسبه نمود.

با رسم یک نیاگرام مثلثی که گوشه‌های آنرا مقادیر ویژه داده‌ها تشکیل میدهد، میتوان بر برابر داده‌های آرمانی به کمک رایانه با اعمال فاکتور شکل از صفر تا یک نمودار استاندارد مطابق شکل ۱ تهیه نمود (Wallbrecher, 1996).

در تعیین سرگذشت نگرینختی یک محدوده از دیدگاه دینامیکی که در شرایط زمین‌ساختی مشخصی قرار دارد، دو پارامتر نقش اساسی ایفا میکند: الف- موقعیت محورهای اصلی تنش، ب- شکل هندسی بیضوی تنش. این دو پارامتر میتوانند با یکدیگر چهار مولفه اساسی تنسور تنش تقلیل (reduced stress tensor) را بر اختیار قرار دهد (Angelier, 1989). این تنسور بصورت تابع خطی یکی از سریهای تنسوری است که نزدیکترین شکل به وضعیت تنش در حالت تعادل را نشان میدهد. برای رسیدن به این تنسور در بخش جنوبی البرز مرکزی سطوح برشی که دارای خط خشانند در ۲۸ محدوده مطابق نقشه ۱ مورد تجزیه و تحلیل دینامیکی قرار گرفت و شکل هندسی بیضوی تنش دیرین که پس از ائوسن در منطقه فعال بوده بدست آمد.

لازم به ذکر است نقشه یادشده با استفاده از داده‌های رقومی تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT-4، یکمک نرم‌افزار ER-MAPPER با انتخاب مناسبترین باند (۳ و ۴ و RGB=5) و بهترین فیلتر تهیه شده و سپس با نرم‌افزار MAP-INFO نقشه ساختاری پایه منطقه مورد مطالعه تهیه و با کنترل دقیق زمینی تصحیح شده است.

### پارامترهای تعیین شکل هندسی بیضوی تنش

عدد لود (L): اولین پارامتری است که برای بیان شکل هندسی بیضوی تنش بکار گرفته شد (Lode, 1925). عدد لود عدد بدون بعدی است که از رابطه زیر بدست میاید:

$$L = \frac{2\sigma_2 - (\sigma_1 + \sigma_3)}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

در این رابطه  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  تنش‌های اصلی میباشند.

اگر بزرگای تنش اصلی متوسط بترتیب بطرف بزرگای بزرگترین و کوچکترین تنش اصلی میل کند، عدد لود بترتیب به سوی  $+1$  و  $-1$  میل خواهد کرد. یکی از ویژگی‌های عدد لود اینست که در صورتی که شکل هندسی بیضوی تنش، محوری باشد قدر مطلق عدد لود، واحد خواهد بود.

فاکتور شکل (R): به منظور بیان شکل هندسی بیضوی تنش از یک نسبت بدون بُعد دیگری بنام فاکتور شکل طبق رابطه زیر (Angelier, 1989) میتوان استفاده نمود:

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

در این نوشتار فاکتور شکل را با نشانه R (نسبت اختلاف تنش)



پ - روش Gephart: دو دستگاه مختصات دکارتی یکی برحسب موقعیت محوره‌های اصلی تنش و دیگری برحسب هندسه صفحه برش مطابق شکل ۲ تعریف می‌کنند؛ برای سادگی بهتر است بجای  $\sigma_2$ ،  $\sigma_3$  و  $\sigma_1$  بترتیب  $X1, X2, X3$  بکار رود و نیز  $X1$  موقعیت قطب صفحه برش  $X2$  موقعیت خط خش و  $X3$  عمود بر خط خش روی صفحه برش می‌باشد. کلیه داده‌ها روی نیمکره پایین شبکه اشعیت رسم و کسینوس زوایای مورد نیاز محاسبه می‌شود. با تعیین ماتریس تبدیل (transformation matrix)، فاکتور شکل بصورت رابطه زیر اثبات می‌گردد (Gephart, 1990):

$$R = \frac{\beta_{13} \cdot \beta_{23}}{\beta_{12} \cdot \beta_{22}}$$

$\beta$  کسینوس زاویه مورد نظر است (بعنوان مثال  $\beta_{13}$  کسینوس زاویه  $X1$  و  $X3$  می‌باشد). گفارت نشان می‌دهد فاکتور شکل در واقع بعنوان یک معیار عدم انطباق (missfit criterion) تعریف می‌گردد. این عدم انطباق مربوط به زاویه بین خط مش و موقعیت برش به‌شینه ناشی از شکل هندسی بیضوی تنش است.

ت - روش Wallbrecher: بر این روش یکمک رابطه‌ها در برابر فاکتور شکل‌های مشخص، یک سطح برش معینی را دوران داده موقعیت خط خش‌های ایجاد شده در یک میدان تنش از پیش تعریف شده را بدست آورده و سپس آنرا در نیمکره پایین شبکه اشعیت مطابق شکل ۳ رسم می‌نماییم (Wallbrecher, 1995).

در این روش فرض براینستکه گسلش در زمان فعالیت در میدان تنش قرار می‌گیرد که یکی از تنش‌های اصلی قائم است (Saintot, 2000). Twiss, 1991. Yamaji, حالت‌های غیر از این بدلیل گوناگونی موضعی میدان تنش و چرخش‌های بعدی شکل می‌گیرد. داده‌های برداشت شده از بخش جنوبی البرز مرکزی در استریونت طوری دوران داده شده است که کوچکترین تنش اصلی قائم گردد. دلیل این موضوع پهناهای ناشی از باز شدن بحر احمر و برخورد قاره به قاره پس از میوسن و حاکمیت رژیم زمین ساخت فشاری در مقیاس ناحیه‌ای در ایران است (Berberian, 1981).

ث - روش معکوس کردن با رسم دایره‌های موهر سه بعدی: تنسور تنش در حالت کلی بصورت رابطه زیر قابل بررسی است:

$$T = a \cdot \sigma + \sigma \cdot i$$

$\sigma$ : تنش انحرافی که باعث تغییر شکل می‌گردد.  $\sigma$ : تنش غیر انحرافی که از نظر مقدار معادل میانگین تنش‌ها بوده و تنها باعث تغییر حجم

(dilation) می‌گردد.  $a$  و  $i$  اعداد ثابتی هستند (a وابسته به رفتار رئولوژیک و جنس سنگ است و  $i$  هویت ماتریس تنش غیرانحرافی را مشخص می‌کند). از رابطه بالا به خوبی میتوان دریافت هر تغییری در فشار آب منفذی و یا تنش لیتوستاتیک و یا به طور کلی هر تغییری در تنش غیرانحرافی، هیچگونه تاثیری روی پارامترهای ثابت تنسور تنش و نیز تنش برشی به‌شینه نداشته، فقط مرکز دایره موهر را روی محور تنش نرمال جابجا می‌کند، در نتیجه مقدار R همواره ثابت باقی می‌ماند. این امر بدان معنی است که با هر تغییری روی تنش غیرانحرافی میتوان دایره موهر سه بعدی بدون مقیاس (unscaled 3-D mohr circle) رسم و مقدار R را اندازه‌گیری نمود. روش رسم دایره‌های موهر بدون مقیاس بر پایه روش معکوس کردن بطور مستقیم (direct inversion method) استوار است (Angelier & Mechler, 1977). شایان ذکر است که کلیه روش‌های عنوان شده در این نوشتار در بخش جنوبی البرز مرکزی با برداشت سطوح برش مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت رسم دایره‌های موهر بدون مقیاس بعنوان دقیقترین روش مورد ارزیابی و استفاده قرار گرفت که در اینجا به تجزیه و تحلیل آن می‌پردازیم. با رسم دایره‌های موهر بدون مقیاس نه تنها فاکتور شکل بر اساس حل تنسور تنش‌های تیرین قابل اندازه‌گیری است، بلکه به کمک آن میتوان وضعیت گسل‌های مزدوجی که روی زمین قابل تشخیص نیستند را مورد شناسایی دقیق قرار داد. خطی از  $\sigma$  بصورت قائم خارج می‌کنیم هر نقطه‌ای روی آن نماینده قطب صفحه‌ای است که از محور  $\sigma$  عبور می‌کند. یکی از این نقاط (a) روی صفحه  $\sigma_1 - \sigma_3$  می‌باشد که نمایشگر قطب یکی از صفحات مزدوج است (قطب صفحه دیگر در نیمه پایین دایره موهر در همان راستا واقع است که در شکل فوق از رسم آن خودداری شده است). از آنجا که باستناد شکل بیضوی تنش در مورد گسل‌های مزدوج همواره تنش اصلی متوسط روی صفحه گسل و عمود بر خط خش قرار می‌گیرد و خش محل تلاقی صفحه حرکت (صفحه بیشترین اختلاف تنش) با صفحه برش است، لذا هر نقطه‌ای مانند a عمود بر  $\sigma_2$  روی صفحه حرکت، قطب یکی از صفحات مزدوج خواهد بود. با توجه باین که با روش معکوس کردن بطور مستقیم موقعیت محوره‌های اصلی تنش نیز مشخص شده است، تعیین موقعیت هر نقطه‌ای مانند a روی زمین بسهولت امکان‌پذیر خواهد بود. برداشت مهم دیگری که از دایره موهر بدون مقیاس میشود تعیین زاویه اصطکاک داخلی سنگها است ( $\Phi$ ) که برابر با نصف زاویه تند بو بردار لغزش روی شکستگی‌های مزدوج است.



### بررسی دایره‌های موهر در منطقه مورد مطالعه

با توجه به نقشه ۱ بر ۲۸ محدوده بر بخش جنوبی البرز مرکزی سطوح برش دارای خط خش برداشت و سپس در هر محدوده با حل تنسور تنش با روش معکوس کردن بطور مستقیم دایره‌های موهر سه بعدی بدون مقیاس رسم گردیده است (شکل ۵). در دایره‌های موهر هر محدوده در گوشه بالا سمت چپ حروف اختصاری نام محدوده، گوشه بالا سمت راست تعداد داده‌های برداشت شده مورد قبول، زیر آن فاکتور شکل و زاویه اصطکاک داخلی داخل پرانتز مشخص شده است.

روی هر دایره موقعیت صفحات برش مزبوج و زاویه اصطکاک داخلی سنگ برای تصحیح موقعیت محوره‌های اصلی تنش دیرین و نیز تصحیح فاکتور شکل بر آن محدوده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نکر این نکته نیز شاهان توجه است که زاویه اصطکاک داخلی با روش‌های  $R_1^*$ ، تحلیل صفحه گسل، بررسی آماری تغییرات  $\Phi$  و زاویه بین شکستگی‌های مزبوج نیز تعیین و روی نتایج اعمال شده است (الیاسی، ۱۳۸۰).

### طبقه بندی بیضوی تنش دیرین

بمنظور طراحی نموداری که بتواند ویژگی‌های هندسی بیضوی تنش را بنمایش بگذارد از ویژگی‌های نیاگرام ایده گرفته شده است.

$$\ln \frac{\sigma_3}{\sigma_2} \text{ و } \ln \frac{\sigma_3}{\sigma_2} \text{ محور عرضها بر حسب } \frac{\sigma_3}{\sigma_2}$$

مدرج شده است (شکل ۶).

باستناد دایره مورد تنش میتوان حالات مختلف را مورد بررسی قرار داد: اگر  $\sigma$  میانگین حسابی نو تنش دیگر باشد  $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$  در این حالت  $\sigma$  معادل تنش غیر انحرافی است که تنها باعث تغییر حجم (dilation) سنگ میگردد (شکل ۷-الف). در اینحالت تغییرات پارامتر  $K$  بصورت  $0 < K < 1$  و بیضوی از نوع تخت (flattened) خواهد بود. حال اگر  $\sigma_2$   $\sigma$  بطرف ۱ میل کند باز هم تغییرات  $K$  بهمان صورت و نوع بیضوی نیز همان تخت خواهد بود. در حالت خاص  $\sigma = \sigma$  (شکل ۷-ب)،  $K=0$  بیضوی شبیه کلوچه (oblate) بوده و از نوع محوری میباشد. در اینحالت محور  $\sigma$  محور تقارن بوده و کلیه مقاطع عمود بر آن دایره‌ای خواهند بود. در صورت  $K=0$ ،  $\sigma_2 = \sigma_1$  و  $\sigma_3 = \sigma$  یعنی  $\sigma_1$  واسطه هندسی نو تنش دیگر بوده که فقط نو مقطع دایره‌ای دارد که حول محور  $\sigma_1$  تقارن داشته و  $\sigma_1$  نیمساز زاویه حانه آنها خواهد بود. در اینحالت محل تلاقی نو مقطع دایره‌های منطبق با محور  $\sigma_2$  میباشد. شکستگی‌های مزبوج در این شرایط شکل میگیرند اگر  $\sigma_2$   $\sigma$  بطرف ۳ میل کند

$K > 1$  نوع بیضوی کشیده (constricted) خواهد بود. در حالت خاص که  $\sigma_2 = \sigma_3$  باشد (شکل ۷-پ) و  $K = \frac{1}{0}$ ، بیضوی نوکی شکل (prolate) بوده و از نوع محوری میباشد. در اینحالت  $\sigma_1$  محور تقارن بوده و مقاطع عمود بر آن دایره‌ای میباشد. برای سادگی میتوان نوع بیضوی‌های تنش را بصورت جدول زیر نیز طبقه‌بندی نمود:

مقدار $K$	$K=0$	$0 < K < 1$	$K=1$	$1 < K < \frac{1}{0}$	$K = \frac{1}{0}$
تیپ	یک	دو	سه	چهار	پنج

در ۲۸ نقطه محدوده مورد مطالعه در بخش جنوبی البرز مرکزی با توجه به نمودار طبقه‌بندی بیضوی تنش طیف تغییرات پارامتر  $K$  ترسیم شده است (شکل ۷). همان گونه که نمودار نشان میدهد اکثریت قریب باتفاق بیضوی‌های تنش در محدوده نوع نو قرار داشته و شکل آنها تخت میباشد. فقط در یک مورد تیپ سه و در سه مورد نوع چهار مشاهده میشود.

برای طراحی بیضوی معادل یعنی بیضوی که بتواند در نگر ریختی پیشرونده بجای همه بیضوی‌ها نشسته محصول نگر ریختی مشابه به بار آورد مناسبترین خط را از میان نقاط رسم شده روی نمودار طبقه‌بندی بیضوی تنش عبور دانیم. شیب نمودار معرف پارامتر  $k$  برای بیضوی معادل است (شکل ۸).

همان‌گونه که در شکل دیده میشود معادله نمودار حاصل از ترجه یک بوده و ضریب زاویه آن 0.95 است (علامت منفی بر معادله بخاطر جهت شیب نمودار است). با مراجعه به نمودار طبقه‌بندی بیضوی تنش نوع بیضوی معادل تخت از نوع نوم بسیار نزدیک به نوع سوم میباشد. دلیل نزدیکی آن به نوع سوم بالا بودن بزرگای اختلاف تنش دیرین مربوط به بیضوی‌های نوع سوم و چهارم در مقایسه با انواع نوع نوم میباشد. نکته مهمی را که می‌بایست اشاره نمود مربوط به بیضوی‌هایی است که دارای مقطع دایره‌ای میباشد. در طیف تغییرات پارامتر  $K$  محدوده‌هایی که دارای سطوح برش موازی مقاطع دایره‌ای هستند بردارهای لغزشی را ارائه میکنند که دارای موقعیت‌های متفاوتی میباشند. این تفاوت بر موقعیت به هیچوجه مربوط به فازهای مختلف نگر ریختی نبوده بلکه مرتبط با تلاقی سطوح برش با صفحات حرکتی میشود که وضعیت تصادفی (randomly) بخود میگیرند. بعنوان مثال بر محدوده لالون (lal) شکل بیضوی تنش دیرین از تیپ یک بوده ( $\sigma_1 = \sigma_2$ ) و بشکل کلوچه میباشد. خطوط لغزش روی سطوح برش در منطقه مزبور در جهات مختلف قابل مشاهده است (شکل ۹). از آنجا که صفحه حرکت با عبور از تنش  $\sigma_3$   $\sigma$  میخواید از تنش  $\sigma_1$  که معادل  $\sigma_2$  است عبور نماید، این وضعیت فقط بصورت تصادفی میتواند



صورت بگیرد لذا وضعیت تلاقی آن با سطح برش در وضعیت‌های مختلفی قرار می‌گیرد که باین ترتیب نهایی موقعیت‌های مختلف خطوط لغزش آن محدوده و محدوده‌های مشابه را مربوط به عملکرد فازهای مختلف نگرینختی نسبت داد.

### تمایل به لغزش (Slip tendency)

احتمال لغزش یا تمایل به لغزش روی هر سطحی تابع مقاومت اصطکاکی روی آن سطح است که آن هم خود وابسته به ویژگی‌های مکانیکی سنگ برگرد و نیز نسبت تنش برشی به تنش نرمال روی آن سطح است. در واقع تعیین مجموعه‌ای از وضعیت سطوح که احتمال لغزش روی آنها امکان‌پذیر باشد به طور دقیق وابسته به نسبت تنش برشی به تنش نرمال است زیرا زمانی لغزش بوقوع می‌پیوندد که تنش برشی روی صفحه مورد نظر مساوی یا بزرگتر از نیروی مقاوم اصطکاکی در مقابل لغزش باشد که خود متناسب با تنش نرمال است که بر صفحه وارد می‌شود. (Jaeger & Cook, 1979). آشکار است روی یک صفحه، زمانی تنش برشی به حداکثر می‌رسد که، تنش نرمال اعمال شده روی آن معادل تنش غیرانحرافی گردد و به طور لزوم موقعیت این صفحه به بزرگی تنش‌های اصلی نیز بستگی ندارد. در مورد اغلب گسلها چون لغزش روی سطوح شکسته قبلی صورت می‌گیرد از معیار کولب در شکست بصورت زیر میتوان استفاده کرد:

$$\mu = \frac{\tau}{\sigma n}$$

در رابطه بالا  $\tau$  تنش برشی،  $\sigma n$  تنش نرمال و  $\mu$  ضریب اصطکاک داخلی سنگ است.  $\mu$  بعنوان یک کمیت عددی بدون بعد نمایشگر تمایل به لغزش نیز میباشد. واضح است تمایل به لغزش تنها به وضعیت تنسور تنش و موقعیت سطح مورد نظر بستگی دارد.

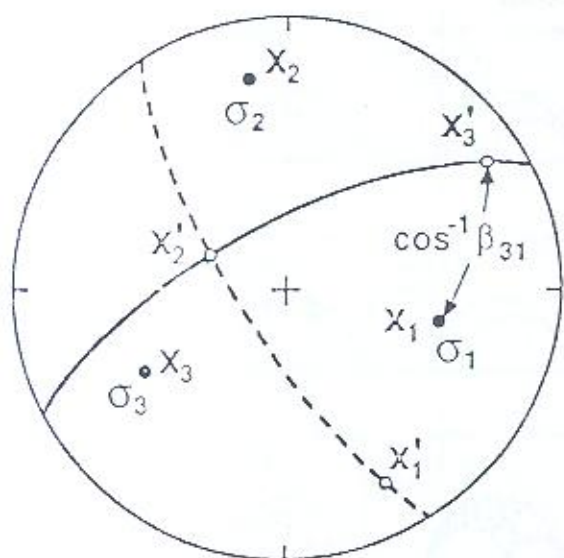
به منظور بررسی تمایل به لغزش میتوان از یک دستگاه مختصات برحسب  $\ln \sigma_2 / \sigma_3$  و  $\ln \sigma_1 / \sigma_2$ ، خمهای فاکتور شکل (R)، مقابله K،  $t_{max}$  بصورت عادی استفاده نمود (شکل ۱۰). پارامتر K که بعنوان فاکتور شکل بیضوی‌های تنش دیرین مورد استفاده قرار گرفتند در اینجا بعنوان پارامتری برای تحلیل تمایل به لغزش استفاده میشوند. در شرایط  $K=1$  قطب سطوح برش با تمایل شدید به لغزش روی نیمکره پائین شبکه اشمیت انتشار گسترده‌ای خواهند داشت. در شرایط  $K < 1$  قطب سطوح برش حول محور  $\sigma_3$  و در شرایط  $K > 1$  قطب سطوح برش حول  $\sigma_1$  با تمایل لغزش زیاد گسترش خواهند داشت (Morris, 1996).

به منظور طراحی مدلی که بتواند تمایل به لغزش را در بخش جنوبی البرز مرکزی بنمایش در آورد بااستناد دایره‌های موهر بدون مقیاس که بر

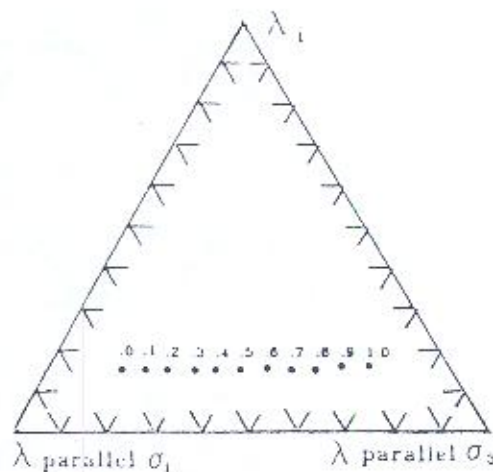
پایه موقعیت هندسی گسلها و خط خش روی آنها ترسیم گردیدند (شکل ۵) نسبت تنش‌های اصلی دیرین محاسبه و سپس بکمک نمودار استاندارد تنش برشی بهینه بصورت عادی شده استخراج و به ضریب اصطکاک داخلی توده سنگ که برش‌های گوناگون محاسبه شده است (الیهاسی، ۱۳۸۰) تقسیم و حاصل بشکل درصد گوهائی در محدوده‌های مورد مطالعه، کنتوربندی گردیدند (شکل ۱۱). با توجه به شکل مزبور به روشنی دیده میشود درصد تمایل به لغزش در توده مبارک‌آباد بسیار کم و در اطراف قله توچال بسیار بالا است. پائین بودن تمایل به لغزش در اطراف توده مبارک‌آباد احتمالاً مربوط به رویداد زمینلرزه ۱۴ مهرماه ۱۳۰۹ خورشیدی (۶ اکتبر ۱۹۳۰ میلادی) با بزرگای  $M_s = 5.2$  است که با زمین لغزش بزرگی که هنوز آثار آن بوضوح در منطقه دیده میشود و نیز بازمانده‌های قبل از آن مرتبط میباشد. بالا بودن لغزش در توچال و اطراف آن با عملکرد خزش تدریجی در اوج‌گیری بیشتر این بخش از البرز در راستای گسل‌های معکوس نقش مهمی ایفا میکند. طبیعی است در بخش‌هایی که تمایل به لغزش بالائی دارند و میزان خزش نیز در آنجا پایین است امکان دارد از خطر لرزه‌خیزی بالائی برخوردار باشند.

### نتایج

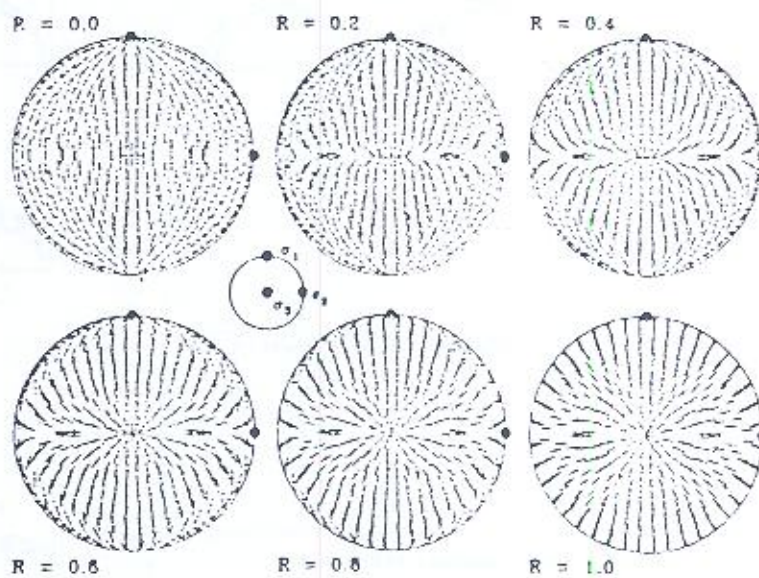
بررسی روی سطوح برش دارای خط خش در بخش جنوبی البرز مرکزی نشان می‌دهد طیف تغییرات پارامتر K بین صفر و یک بوده که حکایت از شکل تخت بیضوی‌های تنش دیرین نموده و آنها را در نوع دو طبقه‌بندی سه بعدی بیضوی‌های تنش قرار میدهد. رسم دایره‌های موهر سه بعدی همچنین امکان تشخیص زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ را فراهم نموده و تشخیص سطوح برش مزبور را نیز میسر می‌سازد. این بررسی همچنین نشان میدهد که شکل هندسی بیضوی تنش معادل، شبیه بیضوی‌های مسئول زایش گسل‌های مزبور میباشد. براساس داده‌های بدست آمده از دایره‌های موهر و بکمک نمودارهای استاندارد تمایل به لغزش سطوح برش در منطقه مورد مطالعه نیز مشخص گردید.



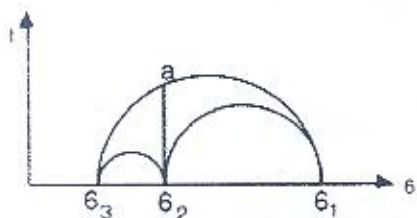
شکل ۲- استریوگرام محورهای اصلی تنش با هندسه صفحه برش



شکل ۱- نمودار مثلثی R بر حسب مقادیر ویژه

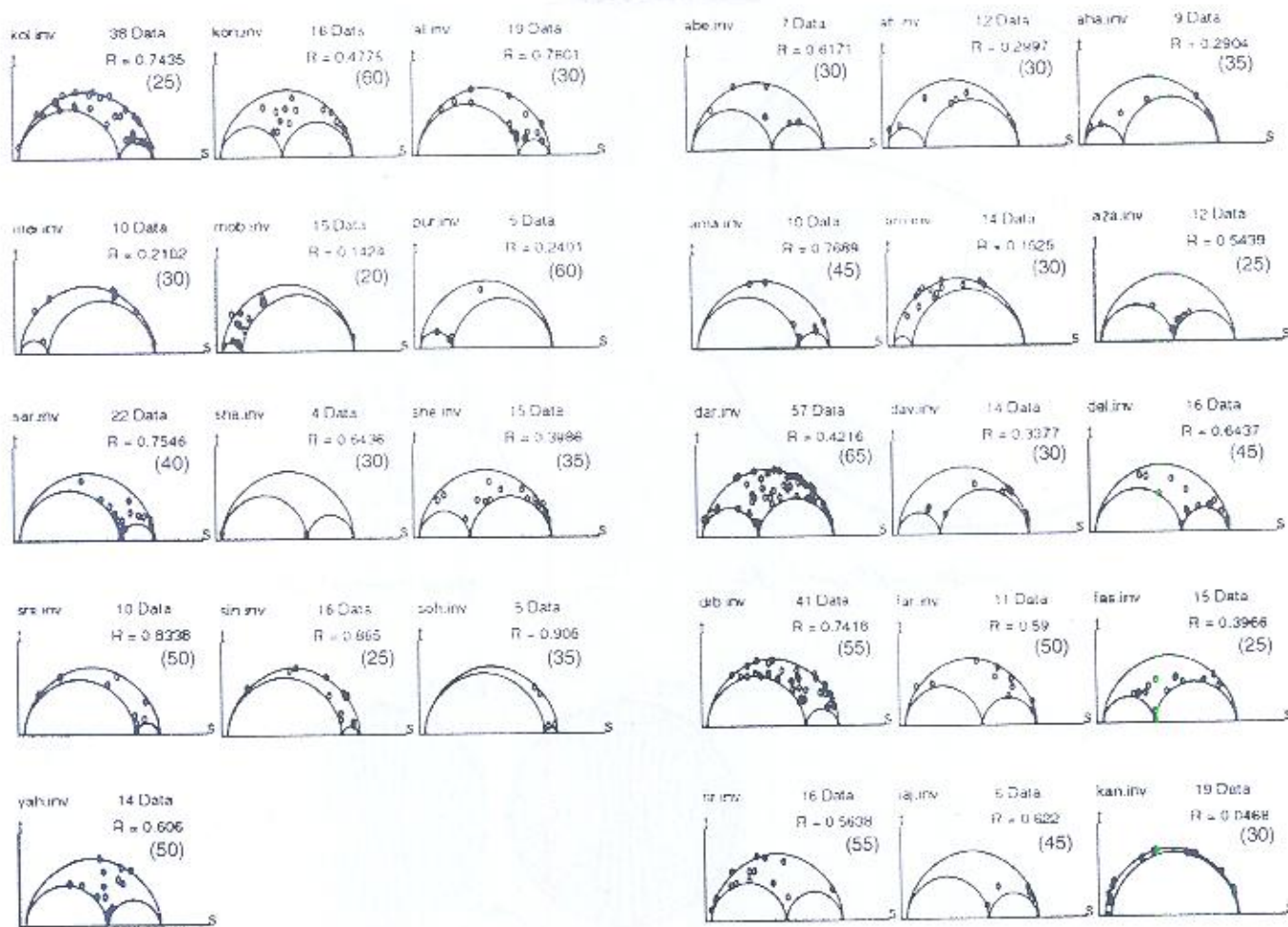


شکل ۳- توزیع خط خش‌های ایجاد شده توسط رایانه در گسایش معکوس

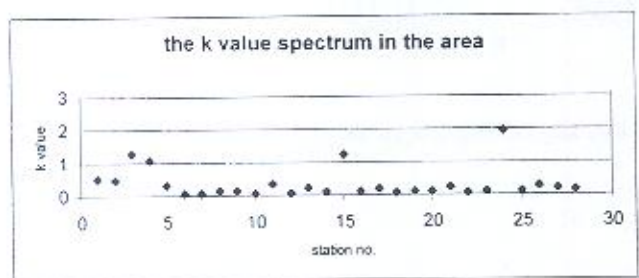


شکل ۴- دایره موهر 3-D بدون مقیاس

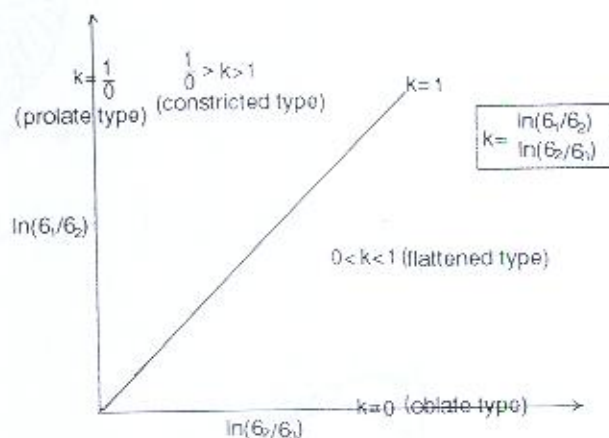




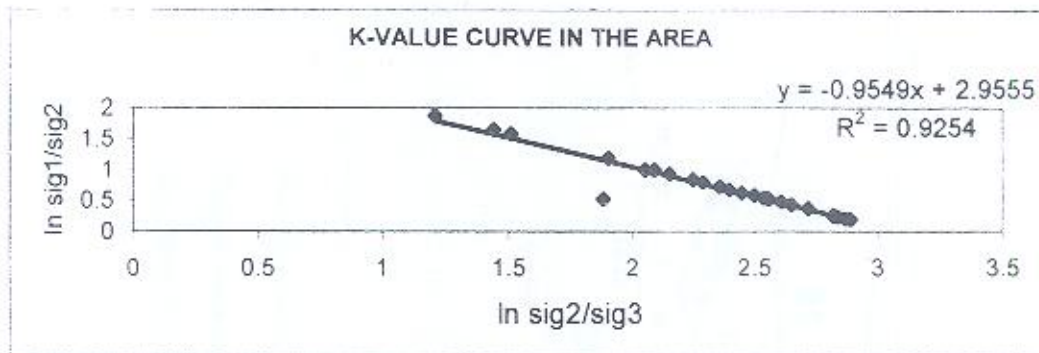
شکل ۵- دایر موهر سه بعدی بدون مقیاس در محدوده‌های مورد مطالعه



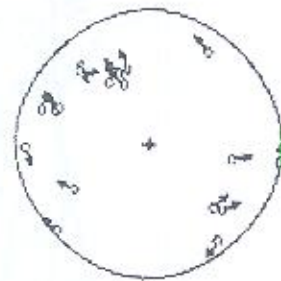
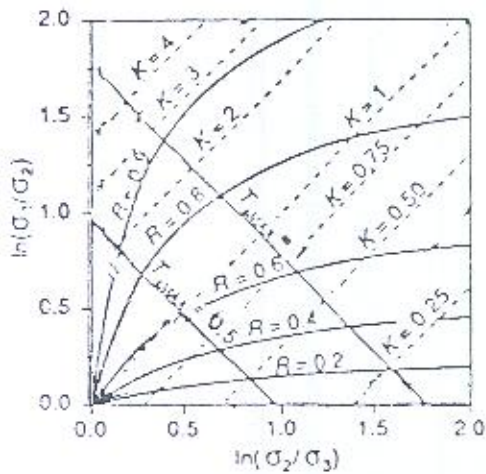
شکل ۶- طیف تغییرات پارامتر K در بخش جنوبی البرز مرکزی



شکل ۷- طبقه بندی بیضوی های تنش

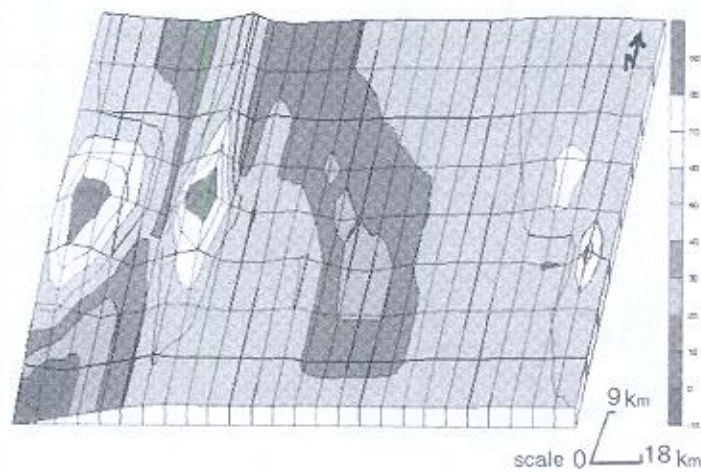


شکل ۸- نمودار مقدار K بیضوی تنش معادل - بخش جنوبی البرز مرکزی



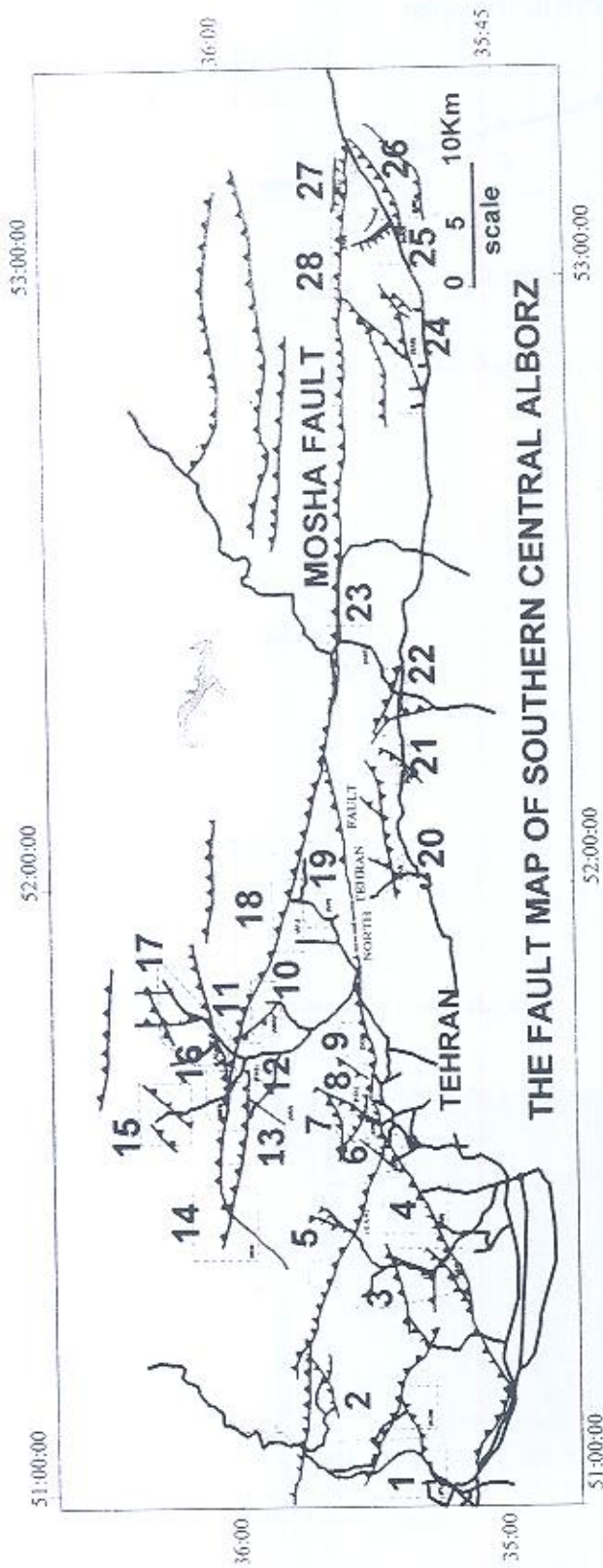
شکل ۹- تصویر استریوگرافیک خطوط لغزش (slip linear) در منطقه لالرن (lal)

شکل ۱۰- نمودار استاندارد تحلیل تمایل به لغزش



شکل ۱۱- مدل تمایل به لغزش در بخش جنوبی البرز مرکزی





نقشه ۱ - نقشه ساختاری بخش جنوبی البرز مرکزی. محدوده‌های خط چین محل‌های برداشت را نشان می‌دهد. ۱: نوردکن (FUR)، ۲: کتسر (KON)، ۳: کن (KAN)، ۴: فرخزاد (FAR)، ۵: امامزاده داود (DAV)، ۶: درک (DAR)، ۷: دریند (DAR)، ۸: کلکچان (KOL)، ۹: سوهانک (SOH)، ۱۰: امام (AMA)، ۱۱: قشم (FAS)، ۱۲: آهار (AHA)، ۱۳: شکراب (SHI)، ۱۴: شهرستانک (SHA)، ۱۵: شمشک (SHE)، ۱۶: میگردن (MEI)، ۱۷: لالون (LAL)، ۱۸: افجند (AFJ)، ۱۹: سینک (SIN)، ۲۰: جاجروند (JAJ)، ۲۱: جنوب غریمی مبارک آباد - آزاد (AZA)، ۲۲: مبارک آباد (MOB)، ۲۳: آبلی (ABA)، ۲۴: سریندان (SAR)، ۲۵: آرو (ARO)، ۲۶: شرق آرو - راه فیروزکوه (FIR)، ۲۷: دلچای (DEL)، ۲۸: نهر (YAH).



## کتابنگاری

الیاسی، م، توکل سادات، ع، ا، و قریشی، م. ۱۳۸۰- بررسی مقایسه‌ای بردارهای ویژه و محورهای اصلی تنش دیرین در تعیین تیپ نگرینختی بخش جنوبی البرز مرکزی. مجله علوم دانشگاه تهران، در دست چاپ.

## References

- Angelier, J., Mechler, P. 1977- Sur une methode graphique de recherche des contraintes principales egalement utilisable en tectonique et en seismologie: la methode des diedres droits, Bull. Soc. Geol. Fr. 19, 1309-1318
- Angelier, J. 1989- From orientation to magnitudes in paleostress determination using fault slip data, J. Struct. Geol., vol. 11, no. 1/2, 37-50
- Berberian, M. & King, G.C.P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, Can. J. Earth Sci. 18, 210-265.
- Flinn, D. 1965- On the symmetry principle and the deformation ellipsoid, Geological Magazine, V. 2, P. 35-45.
- Bott, M.H.P. 1959- The mechanics of oblique slip fault in, geo. Mag., 96, 109-117
- Gephart, J., W. 1990- Stress and the direction of slip on fault plane. Tectonophysics, Vol. 9, no. 8, 45-85
- Jaeger, J. C., Cook, K.N., 1979- Fundamental of rock mechanics, Fletcher & Son Ltd. U.K.
- Morris, A., Ferrill, D.A. and Brent Anderson, D., 1995- Slip tendency analysis and fault reactivation, Geology, 24, no. 3, 275-278
- Ramsay, G., J. 1967- Folding and fracturing of rocks, McGraw-Hill, inc, USA, 136-137
- Saint, A., Angelier, J. 2000- Plio- Quaternary Paleostress regims and relation to structural development in the Kertch- Taman Peninsulas (Ukraine and Russia), J. Struct. Geol., 22, 1049-1064
- Twiss, R.J. 1991- Theory of slickenline pattern based on the velocity gradient tensor and microrotation, Tectonophysics, 186, 215-239
- Wallbrecher, W., Fritz, H., Unzog, W. 1996- Estimation of the shape factor of a paleostress ellipsoid by comparison with theoretical slickenline patterns and application of an eigen value method, Tectonophysics, 255, 177-187
- Yamaji, A. 2000- The multiple inverse method: a new technique to separate stresses from heterogeneous fault slip data, J. Struct. Geol., 22, 444-452

\* Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Tehran,

\*\* Institute of Earth Techniques & Scientific Researches, Tehran, Iran

\*\*\* Geological Survey of Iran

\* گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم - دانشگاه تهران

\*\* مؤسسه تحقیقات علوم و فنون زمین

\*\*\* سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور