

## تحلیل دینامیکی شکستگی‌های شمال منطقه تروود - معلمان (ایران مرکزی، جنوب خاور دامغان)

آناهیتا کی‌نژاد<sup>۱\*</sup>، محسن پور کرمانی<sup>۲</sup>، مهران آرین<sup>۳</sup>، عبدالله سعیدی<sup>۳</sup> و محمد لطفی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۲</sup>دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

<sup>۳</sup>پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۰/۲۲

### چکیده

بر پایه مطالعات مقدماتی تا تفصیلی زمین‌شناسی، ساختاری و زمین‌ساختی منطقه شمال تروود - معلمان (ایران مرکزی) حد فاصل گسل انجیلو در شمال و گسل تروود در جنوب، عناصر زمین‌ساختی شامل گسل‌ها، شکستگی‌ها و چین‌خوردگی‌های این گستره شناسایی و ساز و کار هر یک و ارتباط آنها با پهنه برشی راستالغز چپ‌گرد دو گسل اصلی نام برده شده در بالا، بررسی شد و نقشه شکستگی‌های منطقه به تصویر درآمد. افزون بر آن، در این پژوهش به بررسی سامانه جنبش در گسل‌های چالو - گندی و حافظ پرداخته شد. بر مبنای داده‌های به‌دست آمده و با روش‌های نوین تحلیل لغزش گسل که در آن، موقعیت سطوح لغزش و بردار لغزشی، فاکتور شکل بیضوی تنش و زاویه اصطکاک درونی توده سنگ دخالت دارند، میدان تنش و جهت‌گیری محورهای اصلی تنش در گستره مورد مطالعه، تحلیل شد. موقعیت تنش‌های اصلی  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$ ،  $\sigma_3$  پس از تعیین میزان زاویه اصطکاک درونی برای هر پهنه گسل، محاسبه شد و در نهایت، با داده‌های ترکیبی برای تمامی منطقه، جهت‌گیری تنش‌های اصلی  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$ ،  $\sigma_3$  به ترتیب برابر با 104/07، 339/78، 195/10 تعیین شد. شکل بیضوی تنش نیز بر مبنای فاکتور شکل  $[R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)]$  تعریف شده توسط Angelier (1975) تعیین شد. مقدار R برای همه محدوده‌ها در حدود ۰/۵ و نوع دگر ریختی، ترفشارشی (Transpressional) چپ‌گرد با مؤلفه کوچک شاغولی به‌دست آمد. این نتیجه، نشان از وجود میدان تنش با سوی رو به شمال و در نتیجه حرکت رو به شمال پوسته در این پهنه از کشور دارد که با نتایج به‌دست آمده از بررسی شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه و تعیین ساز و کار هر یک از آنها در این پهنه برشی به‌طور کامل همخوانی دارد.

**کلید واژه‌ها:** شکستگی، تحلیل دینامیکی، تروود، تنش، ایران مرکزی، معلمان

\*نویسنده مسئول: آناهیتا کی‌نژاد

E-mail: anahita.keynezhad@gmail.com

### ۱- مقدمه

با زیرساختی دگرگونی به‌صورت نوار شاخصی در این منطقه، رخنمون یافته است. مجموعه دگرگونی پالتوزوییک - مزوزوییک در مناطق رشم و شمال خاور تروود، کهن‌ترین واحد زمین‌ساختی است که پایه و اساس ساختار منطقه را فراهم آورده است. پس از آن ردیف ستبری از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیبی از ریوداسیت تا پیروکسن آندزیت با آذر آواری‌های وابسته، این پهنه را می‌پوشاند (سهیلی و بدخشان ممتاز، ۱۳۸۱).

توده‌های کوچکی از سنگ‌های نفوذی با ویژگی‌های توده‌های کم‌ژرفا و با ترکیب گرانودیوریتی، این مجموعه آتشفشانی را قطع می‌کند. این نوار زمین‌ساختی، در حد فاصل دو گسل بزرگ انجیلو در شمال و تروود در جنوب واقع شده است. افزون بر این دو گسل که با حرکت امتداد لغز چپ‌گرد، در حد فاصل خود پهنه برشی ایجاد کرده‌اند، شمار زیادی از گسل‌های کوچک و بزرگ با راستاهای متفاوت موجب گسیختگی نوار آتشفشانی - نفوذی تروود - چاه شیرین شده‌اند (شکل ۲). گسل‌های حافظ، چالو و گندی جزو گسل‌های این پهنه به شمار می‌آیند که روندهای متفاوتی دارند. ویژگی‌های گسل‌های یاد شده، در جدول ۱ آورده شده است.

### ۳- روش مطالعه

از راه بازبینی گزارش‌های محدوده‌های مختلف منطقه و استفاده از عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای و برداشت‌های صحرائی، کلیه شکستگی‌ها و گسل‌های این محدوده مطالعه شد. شکل ۲، نشان‌دهنده نقشه شکستگی‌های این محدوده است. با توجه به این که هدف این پژوهش، تحلیل دینامیکی شکستگی‌های این گستره است، در همین راستا سه گسل از این منطقه که از این پس گندی، حافظ و چالو (شکل ۲)

منطقه مورد بررسی، در ۱۳۰ کیلومتری جنوب خاوری شهر دامغان و در شمال کویر جندق جای دارد (شکل ۱). این ناحیه از قله چاه موسی در خاور تا جاده آسفالتی رشم - دامغان در باختر و دشت‌های آبرفتی ستوه و مهدی آباد، و در جنوب تا مناطقی چند در دشت یزدان آبادان در حد شمالی آن را در بر می‌گیرد. این محدوده، در بر گیرنده شکستگی‌های مربوط به پهنه برشی دو گسل بزرگ تروود در جنوب و انجیلو در شمال است.

این مقاله، پس از پژوهش‌های مربوط به هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) در این ناحیه، برای نخستین بار به تحلیل دینامیکی و تعیین موقعیت محورهای تنش بر روی شکستگی‌های این منطقه می‌پردازد. چنین مطالعاتی نیاز به دقت بسیار زیادی در برداشت‌های صحرائی داشت که این داده‌های گردآوری شده شامل همه سطوح برش و خطوط لغزش سطح گسل‌های منتخب در این پهنه است. از میان شکستگی‌ها و گسل‌های این پهنه برشی، سه گسل گندی، چالو و حافظ که ویژگی‌های مناسب برای برداشت داده‌ها دارند، انتخاب و بر پایه داده‌های صحرائی مربوط به آنها، پردازش‌ها به صورت نرم افزاری و با استفاده از رایانه انجام شد که مراحل انجام کار در متن مشاهده می‌شود. از آنجا که کلیه بخش‌لغزها بر روی سنگ‌های مربوط به ائوسن قرار گرفته و شواهدی مبنی بر برش واحدهای کواترنری در امتداد این سه گسل مشاهده نشده است، تحلیل دینامیکی انجام شده مربوط به ترشیری و پس از ائوسن است.

### ۲- زمین‌شناسی عمومی

به‌طور کلی محدوده مورد نظر بخشی از نوار ماگمایی تروود - چاه شیرین است که

دارد، انتخاب و زاویه  $\varphi$  تعیین شد که باید در این روش، موقعیت گسل اصلی محدوده مورد مطالعه معلوم باشد.

با استفاده از روش‌های بالا، بهترین زاویه اصطکاک درونی برای هر محدوده انتخاب و موقعیت تنش‌های اصلی تعیین می‌شود. در ادامه پردازش‌ها، دواير مور سه محوری با تحلیل تنسور تنش به روش وارون کردن، برای هر محدوده رسم و با استفاده از آن فاکتور شکل بیضوی تنش (R) نیز برای هر گسل تعیین می‌شود. در نهایت با تماس داده‌های سه محدوده به صورت یک‌جا، وضعیت و جهت‌گیری تنش‌های اصلی محاسبه شد که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

#### ۴- تحلیل دینامیکی و موقعیت محورهای تنش در محدوده گسل چالو

منطقه چالو، در ۳ کیلومتری شمال باختر کلاته گندی و در ۱۶ کیلومتری شمال خاوری روستای معلمان جای دارد. کهن‌ترین برونزدهای منطقه را سنگ‌های دگرگونه شیستی به سن پالئوزویک تشکیل می‌دهند که با همبری گسلی بر روی دیگر واحدهای سنگی منطقه رانده شده‌اند. در باختر منطقه، برونزدهایی از سنگ آهک و ماسه‌سنگ آهکی با اندکی ماسه‌سنگ و عدسی‌هایی از کنگلومرا به سن کرتاسه دیده می‌شوند. گسترده‌ترین برونزدهای سنگی منطقه، به زمان انوسن نسبت داده شده و بیشتر از نوع اسپیلیت-کراتوفیر-تراکی آندزیت-تراکی آندزیت بازالت در بخش‌های زیرین و آندزیت داسیتی و آندزیت کربناتی شده در بخش‌های بالایی است (سهیلی و بدخشان ممتاز، ۱۳۸۱).

گسل چالو، یک گسل با روند N85-100 است که همبری واحدهای گفته شده در بالا را ایجاد کرده است (شکل ۲). در امتداد این گسل، داده‌های خام گردآوری شده‌اند. در شکل ۳، تصاویر سیکلو گرافیک و نقطه‌ای داده‌ها به صورت سیکلو گرافیک نمودارهای (Angelier (1994) و Hoepfner (1995)، پس از تصحیح داده‌ها نشان داده شده است. در این شکل‌ها، استقرار بردارهای لغزشی چپ‌گرد بر روی و یا در نزدیکی دایره محیطی شبکه در نمودار (Angelier (1994)، و نیز موازی بودن خطوط لغزش نمودار (Hoepfner (1995) با دایره محیطی شبکه و تمرکز آنها در نیمه جنوبی، نشان از روند چپ‌رو خاوری-باختری سطوح لغزش و سازوکار راست‌الغز چپ‌گرد بیشتر آنها دارد.

نمودارهای گل‌سرخ امتدادی و شیبی سطوح برش و نمودارهای گل‌سرخ امتدادی و میل (Plunge) مربوط به بردارهای لغزش، در شکل ۴ نشان داده شده است. آنچه از این نمودارها برداشت می‌شود این است که بیشترین روند سطوح برش، در بازه ۸۰ تا ۱۰۰ درجه قرار دارد و شیب این سطوح بیشتر ۷۰ تا ۹۰ درجه و در حد قائم است. خطوط لغزش، به حالت افقی نزدیک‌اند و سوی انحراف اندک آنها، از حالت افقی به سمت باختر است و حرکت شاغولی ناشی از مؤلفه کوچک شیب‌لغز سطوح لغزش با توجه به ساز و کار چپ‌گرد گسل چالو به گونه‌ای است که باعث برپایی بلوک جنوبی می‌شود.

برای دست‌یابی به زاویه اصطکاک درونی توده‌سنگ در هنگام گسلس همان‌طور که پیش از این گفته شد از سه روش استفاده شده است:

در رسم نمودار  $R\%$  طبق شکل ۵، مقدار  $\varphi$  بیشینه برای P، ۸۴ درجه و برای T، ۲۶ درجه به دست آمد. بنا بر نظر (Michel (1993)، در این روش باید زاویه ۸۴ درجه درصد بیشینه محور فشاری P را به کار برد اما با توجه به شرایط زمین‌شناسی حریم گسل چالو و برداشت سطوح برش از روی سنگ‌آهک‌های کرتاسه و جای‌گیری سنگ‌های تراکی آندزیتی انوسن در همبری این گسل، زاویه اصطکاک درونی به مراتب کمتر از ۸۴ درجه خواهد بود. به همین دلیل، محل تلاقی دو نمودار P برابر ۵۵ درجه به عنوان مقدار زاویه اصطکاک درونی انتخاب شد.

نامیده شده‌اند، انتخاب و داده‌های مربوط به سطوح لغزش و خراش‌های روی آنها گردآوری شد. کلیه داده‌های برداشت شده در پیرامون این گسل‌ها، پس از تصحیح، مورد پردازش تعیین تنش در منطقه مورد استفاده قرار گرفتند.

برای کلیه مجموعه داده‌های مربوط به هر گسل، از نمودارهای (Hoeppener (1995)، Angelier (1994) و نمودارهای گل‌سرخ امتدادی و شیبی برای نشان دادن روندهای اساسی، پراکنندگی آماری، ویژگی‌های هندسی داده‌ها و سازوکار آنها استفاده شده است. در همه نمودارها، نیمکره زیرین شبکه هم مساحت اشمیت انتخاب شده است. برای رسم همه نمودارها از نرم‌افزار Tectonics FP کمک گرفته شده است. پردازش برای مجموعه داده‌های هر گسل، یک بار با اعمال زاویه اصطکاک درونی و بار دیگر بدون اعمال این زاویه انجام و با یکدیگر مقایسه شده است. در نهایت برای داده‌های ترکیبی نیز به همان ترتیب، پردازش صورت گرفته است. برای تعیین زاویه اصطکاک داخلی توده‌سنگ در برگزیده این گسل‌ها از سه روش استفاده شد:

الف- روش فاکتور شکل  $R\%$  (Wallbrecher et al., 1996): این روش، پراکنندگی داده‌ها را در فضا، با اعدادی بین صفر تا ۱۰۰ درصد توصیف می‌کند. داده‌هایی که پراکنندگی تصادفی دارند، درصد نزدیک به صفر و داده‌هایی که پراکنندگی خوشه‌ای دارند، درصد بسیار بالا (نزدیک به ۱۰۰) را نشان می‌دهند. در این روش، هر خط به عنوان بردار واحد تلقی شده و در یک دستگاه مختصات دکارتی  $x, y, z$  کسینوس‌های هادی خط‌ها تعیین و به ترتیب با حروف  $n, m, l$  نمایش داده می‌شوند. سپس از رابطه  $|R| = \sqrt{(\sum xi)^2 + (\sum yi)^2 + (\sum zi)^2}$ ، مجموع طول بردارها و از رابطه  $R\% = \frac{2|R| - n}{n}$  که در آن  $n$  تعداد داده‌هاست  $R\%$  محاسبه می‌شود. با رسم نمودار  $(R\% - \varphi)$ ، زاویه  $\varphi$  به ترتیب زیر تعیین می‌شود.

ابتدا با روش تحلیل صفحه گسل، موقعیت محورهای P (محور فشار)، T (محور کششی) و B (محور متوسط) را محاسبه و سپس روی محورهای دکارتی در حالی که محور طول‌ها بر حسب زاویه اصطکاک درونی  $\varphi$  از ۱۰ تا ۸۰ درجه و محور عرض‌ها با  $R\%$  مدرج شده است، نقاط مربوط به محورهای T, P را رسم می‌کنیم. زاویه اصطکاک درونی سنگ، گاه مربوط به نقطه بیشینه و گاه مربوط به نقطه کمینه نمودار زاویه است. بنا به نظر (Michel (1993)، اگر نوع دگربرختی منطقه از نوع انتقال تراکمی (Transpresional) باشد، نقطه بیشینه نمودار مربوط به محورهای P، مناسب‌ترین زاویه  $\varphi$  است و چنانچه نوع دگربرختی، انتقال کششی (Transensional) باشد نقطه بیشینه نمودارهای محورهای T، مناسب‌ترین زاویه خواهد بود. در منطقه مورد مطالعه، در برخی محدوده‌ها، زاویه اصطکاک درونی ارائه شده در محل تلاقی محورهای T, P بهترین انطباق را با شرایط زمین‌شناسی آن محدوده داشته است.

ب- روش هیستوگرام پراکنندگی خط: برای رسم این هیستوگرام، سینوس زاویه انحراف بین تنش برشی به دست آمده از صحرا و تئوری، برای هر یک از داده‌ها محاسبه و روی محور طول‌ها به فواصل ۰/۱ از صفر تا یک آورده می‌شود. محور عرض‌ها بر حسب بسامد رده‌های خط‌ها درج شده و در نهایت با رسم هیستوگرام، شیوه پراکنندگی انحراف نتایج به دست می‌آید. در حالت ایده‌آل (زاویه  $\varphi$  توده‌سنگ در هنگام گسیختگی)، شیب هیستوگرام تغییرات  $\varphi$  پراکنندگی گوسی (Gaussian distribution) با شیب زیاد دارد (Sperner et al., 1993). براین مبنا، در استفاده از این روش با اعمال زاویه‌های  $\varphi$  مختلف به فاصله‌های مناسب (۵، ۱۰ و ... درجه)، هیستوگرام یاد شده، رسم و بهترین زاویه  $\varphi$  انتخاب می‌شود.

ج- روش مقایسه موقعیت گسل با دو وجهی‌های عمود بر هم: در این روش، از دو خط عمود بر هم که یکی سطح گسل و دیگری سطح کمکی را نشان می‌دهد، استفاده شده است. بنابراین، با اختصاص زوایای  $\varphi$  مختلف و رسم دووجهی‌های مربوطه، بهترین دووجهی که با موقعیت گسل برداشت شده در روی زمین انطباق

سیکلوگرافیک داده‌ها و استقرار بردارهای لغزشی چپ‌گرد، بر رو و در نزدیکی دایره محیطی شبکه در نمودار (Angelier (1994) و نیز موازی بودن خطوط لغزش نمودار (Hoeppener (1995) با دایره محیطی شبکه و تمرکز آنها در ربع جنوب‌خاوری آن، حکایت از روند چیره شمال‌خاوری - جنوب‌باختری و سازوکار راست‌الغز چپ‌گرد بیشتر آنها دارد. نمودارهای گل‌سرخ داده‌ها در شکل ۱۳ رسم شده است. نمودار گل‌سرخ امتدادی سطوح برش، نشان‌دهنده این است که بیشتر آنها در آزیموت ۵۰ تا ۷۰ درجه جای دارند. نمودار گل‌سرخ شیبی سطوح برش نیز شیب‌های نزدیک به قائم و حدود ۸۰ تا ۹۰ درجه را به تصویر کشیده است.

نمودار گل‌سرخ پلانچ لغزش نشان‌دهنده پلانچ چیره نزدیک به افق و نمودار گل‌سرخ سوی پلانچ به سوی شمال‌خاوری است. این ویژگی‌های هندسی و شیب تند روند اساسی گسل گندی، نشان از سازوکار راست‌الغز چپ‌گرد همراه با مؤلفه کوچک شاغولی به‌صورت وارون است که سبب بالاراندگی سنگ‌های توفی ائوسن فرا دیواره شده است.

برای دست‌یابی به زاویه اصطکاک درونی توده‌سنگ در هنگام گسلش، دوباره از سه روش یاد شده پیشین استفاده شده است.

با رسم نمودار R% (شکل ۱۴) مقدار  $\phi$  بیشینه برای P، ۲۹ و برای T، ۸۴ درجه به‌دست آمد. عددی که محل برخورد دو نمودار P و T نشان می‌دهد (۴۴ درجه) برای اصطکاک درونی سنگ‌های آذرآواری دگرسان‌شده و تکنیتزه، عدد قابل قبولی است. افزون بر آن، اندازه‌گیری سطوح لغزش و خراش‌های روی آنها به‌طور کامل بر روی توف‌های بلوک جنوبی گسل صورت گرفته است که با این عدد هماهنگی نسبی دارد.

هیستوگرام‌های پراکندگی خطا بر مبنای  $\phi$  داده‌های گسل گندی با زاویه  $\phi$  صفر تا ۹۰ و با فاصله ۵ درجه در شکل ۱۵ نشان داده شده است. با توجه به پراکندگی گوسی خطاها با بیشترین شیب، هیستوگرام با زاویه اصطکاک درونی ۴۴ درجه بهترین شیب را داراست که با روش پیشین هماهنگی زیادی دارد.

در روش دو وجهی‌های عمود بر هم (شکل ۱۶) و از ۱۵ مدل دووجهی به‌دست آمده، ۷ تای آنها با زوایای ۲۰ تا ۵۰ درجه سطحی دارند که امتداد آنها با امتدادهای گل‌سرخ امتدادی داده‌ها در شکل ۱۳ همخوانی دارد و در میان آنها نیز مدلی که هماهنگی بسیار مناسب با روند اساسی گسل گندی و سازوکار آن دارد، زاویه اصطکاک درونی ۴۴ درجه برای توده‌سنگ حریم گسل است.

با توجه به یکسان بودن زاویه اصطکاک درونی در هر سه روش، عدد ۴۴ درجه برای گسلش این توده‌سنگ پذیرفته می‌شود.

برای محاسبه موقعیت محورهای تنش، محورهای T، P و B برای این گسل بر روی شبکه تصویر (شکل ۱۷) و سپس با رسم کنتور برای نقاط P و B، نقاط تمرکز آنها محاسبه شد که نتایج مربوط به جهت‌گیری تنش‌های اصلی  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$  و  $\sigma_3$  در شکل ۱۸ و موقعیت آنها در جدول ۲ نشان داده شده است.

دوایر مور سه محوری بدون مقیاس با تحلیل تنسور تنش به روش وارون کردن به‌طور مستقیم برای داده‌های گسل گندی و بر مبنای زاویه اصطکاک درونی ۴۴ درجه رسم شده است (شکل ۱۹) که فاکتور به شکل بیضوی تنش (R)، ۰/۵۰۱۹ به‌دست آمده است. این فاکتور، شکل بیضوی تنش را همانند محدوده گسل چالو بین دو وضعیت انتهایی دو کی (R=0) و کلوچه‌ای (R=1) تعیین می‌کند.

کلیه نتایج به‌دست آمده از تعیین محورهای تنش، بدون دخالت زاویه اصطکاک درونی در شکل ۲۰ خلاصه شده است. در این روش، سطوح کمکی به‌دست آمده در مدل دو وجهی (شکل ۲۰-A) انطباق مناسبی را با موقعیت گسل گندی نشان نمی‌دهد و دوایر مور سه محوری آن (شکل ۲۰-C) فاکتور شکل (R) برابر ۰/۱۳۸۲

برای رسم هیستوگرام پراکندگی خطا، زاویه خطا از صفر تا ۹۰ درجه و با فاصله ۵ درجه روی محور طول‌ها پیاده شد. این هیستوگرام برای زوایای  $\phi$  از ۱۰ تا ۸۰ درجه و با فاصله ۵ درجه تکرار شد (شکل ۱۶). بنابراین، با این روش و با توجه به پراکندگی گوسی خطاها با بیشترین شیب، تنها هیستوگرام با زاویه اصطکاک درونی ۵۵ درجه قابل قبول است که با روش R% نیز همخوانی دارد.

در روش دو وجهی‌های عمود بر هم، داده‌های گسل چالو با اعمال زاویه‌های اصطکاک درونی از ۱۰ تا ۸۰ درجه و با فاصله ۵ درجه رسم شد (شکل ۱۷). از ۱۵ مدل دووجهی به‌دست آمده، ۶ تای آنها (۳۰ تا ۵۵ درجه) سطحی دارند که امتداد آنها در محدوده‌ای از امتدادهایی است که نمودار گل‌سرخ امتدادی داده‌ها در شکل ۴ نشان می‌دهد. بنابراین، با توجه به روند چیره گسل چالو، زاویه اصطکاک درونی ۳۵ درجه بهترین همخوانی را با گسل نشان می‌دهد.

اگر زاویه به‌دست آمده از روش R% ۵۵ درجه، از روش هیستوگرام پراکندگی خطا، ۵۵ درجه و از روش دو وجهی‌های عمود بر هم، ۳۵ درجه در نظر گرفته شود، می‌توان میانگین اعداد به‌دست آمده از سه روش (۴۸ درجه) را در پردازش تعیین جهت‌گیری تنش‌های اصلی به کار برد.

موقعیت محورهای فشاری (P) و کششی (T) برای کلیه داده‌های اصلاح شده چالو به ازای زاویه اصطکاک درونی ۴۸ درجه و با استفاده از روش وارون کردن به‌طور مستقیم محاسبه شد تا در تعیین محورهای تنش مورد استفاده قرار گیرد. محورهای B، T، P برای گسل چالو روی شبکه تصویر و سپس با رسم کنتور بر روی B، T، P، ها نقاط تمرکز آنها محاسبه شد (شکل ۱۸). جهت‌گیری تنش‌های به‌دست آمده در این منطقه با اعمال زاویه اصطکاک درونی ۴۸ درجه در شکل ۹ و موقعیت کمی آنها در جدول ۲، خلاصه شده است. دوایر مور سه محوری بدون مقیاس با تحلیل تنسور تنش به روش وارون کردن به‌طور مستقیم برای داده‌های گسل چالو و بر مبنای زاویه اصطکاک درونی ۴۸ درجه در شکل ۱۰ رسم شده است. در این نمودار، فاکتور شکل بیضوی تنش، ۰/۴۸۴۵ به‌دست آمده است. این فاکتور، شکل بیضوی تنش را بین دو وضعیت انتهایی دو کی شکل (R=0) و کلوچه‌ای (R=1) تعیین می‌کند. نتایج به‌دست آمده از تعیین تنش با روش وارون کردن به‌طور مستقیم و بدون اعمال زاویه اصطکاک درونی، در شکل ۱۱ آورده شده است. در این روش، هیچ‌کدام از سطوح کمکی به‌دست آمده در مدل دو وجهی عمود بر هم (شکل ۱۱-A) با موقعیت گسل چالو همخوانی ندارد. موقعیت تنش‌های اصلی  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$ ،  $\sigma_3$  و در جدول ۲ خلاصه شده است. این موقعیت‌ها با سازوکار چپ‌گرد گسل چالو همخوان هستند اما با موقعیت به‌دست آمده با اعمال زاویه اصطکاک درونی ۴۸ درجه اختلاف زیادی دارند (شکل ۱۱-B). دوایر مور سه محوری بدون مقیاس رسم شده با این روش (شکل ۱۱-C) نیز، فاکتور شکل بیضوی تنش (R) را ۰/۰۶۹۶ تعیین می‌کند که ناهمخوانی آشکار با فاکتور به‌دست آمده از روش پیشین (R=۰/۴۸۴۵) دارد.

## ۵- تحلیل دینامیکی و موقعیت محورهای تنش در محدوده گسل گندی

منطقه گندی، در ۱۵ کیلومتری شمال خاور روستای معلمان جای دارد. این محدوده از یک سری توالی توف - توف ماسه‌ای سیلستون و مارن ائوسن بالایی تشکیل شده است. این توالی، در شمال توسط گسل گندی از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن جدا می‌شود (بدخشان ممتاز، ۱۳۸۲). گسل گندی نیز مانند بیشتر شکستگی‌ها و گسل‌های محدوده گندی، روند شمال‌خاوری - جنوب‌باختری دارد. این گسل هم‌روند با گسل‌های اصلی منطقه تروود و انجیلو است. تصاویر سیکلوگرافیک و نقطه‌ای داده‌های برداشت‌شده از گسل گندی به‌صورت نمودارهای (Angelier (1994) و (Hoeppener (1995) در شکل ۱۲ نشان داده شده است. تصاویر

دوایر مور سه محوری با تحلیل تنسور تنش به روش وارون کردن به‌طور مستقیم برای داده‌های گسل حافظ و بر مبنای  $\varphi = 50^\circ$  در شکل ۲۸ رسم شده است که فاکتور شکل بیضوی تنش (R)،  $0/5018$  به‌دست آمده است. این فاکتور، شکل بیضوی تنش را همانند محدوده‌های پیشین، بین دو وضعیت انتهایی دوکی شکل ( $R=0$ ) و کلوچه‌ای ( $R=1$ ) تعیین می‌کند.

نتایج به‌دست آمده از تعیین تنش با روش وارون کردن به‌طور مستقیم و بدون اعمال زاویه اصطکاک درونی در شکل ۲۹ خلاصه شده است. چنانچه دیده می‌شود، هیچ کدام از سطوح کمکی به‌دست آمده در مدل دوجویی عمود بر هم، با موقعیت گسل حافظ قابل انطباق نیست (شکل ۲۹-A). موقعیت تنش‌های اصلی  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  و در شکل ۲۹-B و جدول ۲ آورده شده است که هیچ تناسبی با وضعیت محورها به روش پیشین ندارد. دوایر مور سه محوری به این روش نیز رسم شد (شکل ۲۹-C) که فاکتور شکل بیضوی تنش (R)،  $0/4887$  را نشان می‌دهد و با R به‌دست آمده از روش پیشین به‌نسبت، قابل انطباق است.

#### ۷- تحلیل دینامیکی و تعیین موقعیت محورهای تنش با داده‌های ترکیبی

چنانچه در شکل ۳۰ دیده می‌شود، ۷۴ داده ترکیبی در نمودارهای (Angelier (1994) و (Hoeppener (1995) مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین شکل ۳۱، نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی سطوح لغزش و آزمایشات و پلانچ خطوط لغزش را برای این داده‌ها نشان می‌دهد.

برای محاسبه زاویه اصطکاک درونی، مانند محدوده‌های جداگانه، از سه روش  $R\%$  هیستوگرام پراکنندگی خطا و دوجویی‌های عمود بر هم استفاده شد. در روش  $R\%$ ، مقدار  $\varphi$  برای بیشینه P، ۸۴ و برای بیشینه T، ۱۹ درجه به‌دست آمد (شکل ۳۲). با توجه به نوع دگر ریختی منطقه که از نوع انتقال فشاری است، محل برخورد دو نمودار P و T (زاویه ۴۰ درجه) سازوکار خوبی با شرایط توده‌سنگ‌های مناطق گسلی دارد.

در روش هیستوگرام، پراکنندگی خطا عدد ۵۵ درجه را تأیید می‌کند زیرا هیستوگرام رسم شده با زاویه ۵۵ درجه نسبت به دیگر زوایا بیشترین شیب را دارد (شکل ۳۳). در استفاده از روش دوجویی‌های عمود بر هم نیز، زاویه ۴۰ درجه با روند اساسی منطقه (شمال خاوری- جنوب باختری) همخوانی دارد (شکل ۳۴).

موقعیت تنش‌های اصلی  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  و با به‌کارگیری زاویه اصطکاک درونی میانگین ۴۵ درجه پس از جهت‌گیری محورهای فشاری و کششی و متوسط (P، T) و B) در شکل ۳۵ محاسبه و در شکل ۳۶ و جدول ۲ خلاصه شده است.

دوایر مور سه محوری رسم شده برای این داده‌ها، مقدار فاکتور شکل بیضوی تنش را  $0/4859$  ارائه کرده است (شکل ۳۷). این عدد با اعداد به دست آمده از دوایر مور سه محوری رسم شده برای محدوده‌های مجزا، تفاوت چندانی ندارد (جدول ۲) و شکل بیضوی تنش را در حد فاصل دوکی شکل ( $R=0$ ) و کلوچه‌ای ( $R=1$ ) ارائه می‌کند.

محاسبه موقعیت تنش‌ها با داده‌های ترکیبی، بدون اعمال زاویه اصطکاک درونی نیز صورت گرفت. نمودارهای حاصل در شکل ۳۸ آورده شده است. موقعیت‌های تنش‌های اصلی  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  به‌دست آمده از این روش در جدول ۲ خلاصه شده است. دوجویی به‌دست آمده با این روش، با دوجویی به دست آمده با اعمال زاویه اصطکاک درونی ۴۵ درجه شباهت کمی دارد. فاکتور شکل به‌دست آمده از این روش،  $0/7899$  است که با عدد به‌دست آمده با اعمال زاویه  $\varphi$  ( $0/4859$ ) اختلاف زیادی دارد.

دارند که با روش پیشین ( $R=0/5919$ )، اختلاف زیادی دارد. موقعیت محورهای تنش  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  و به‌دست آمده از این روش (شکل ۲۰-B) نیز در جدول ۲ آورده شده است که اختلاف قابل توجهی با روش پیشین دارد.

#### ۶- تحلیل دینامیکی و موقعیت محورهای تنش در محدوده گسل حافظ

این محدوده، در ۲۲ کیلومتری خاور معلمان و شمال خاور روستای سدغه و شمال مزرعه حافظ جای دارد. سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری که سازنده اصلی واحدهای این ناحیه‌اند از نظر ترکیب، طیف پیوسته‌ای از بازالت؟-آندزیت تا داسیت را تشکیل می‌دهند که با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از نواحی همسایه، سن این سنگ‌ها به ائوسن- الیگوسن نسبت داده می‌شود (سهیلی و بدخشان ممتاز، ۱۳۸۱). گسل حافظ، گسلی چپ‌گرد با شیب زیاد به سوی باختر و امتداد N350-N10 است که واحدهای آذرآواری و آندزیتی بازالتی چشمه حافظ را بریده است. داده‌های برداشت شده از سطوح برش و خطوط لغزش، بر روی این واحدها جای دارند. تصاویر سیکلوگرافیک و نقطه‌ای داده‌ها به‌صورت نمودارهای (Angelier (1994) و (Hoeppener (1995) در شکل ۲۱ نشان داده شده‌اند. تصاویر سیکلوگرافیک داده‌ها و استقرار بردارهای لغزشی آنها در نزدیکی دایره محیطی شبکه در نمودار (Angelier (1994) و نیز موازی بودن خطوط لغزش نمودار (Hoeppener (1995) با دایره محیطی و تمرکز آنها در خاور و باختر شبکه، حکایت از روند چیره شمالی- جنوبی و سازوکار راستالغز چپ‌گرد به‌همراه مؤلفه کوچک شاغولی به‌صورت وارون برای بیشتر داده‌ها دارد. نمودار گل سرخی داده‌ها در شکل ۲۲ نشان داده شده است. نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی، روند چیره شمالی- جنوبی و شیب تند آنها را بین ۹۰-۸۰ درجه تأیید می‌کند. دو نمودار گل سرخی امتدادی و میلی، نشان از پلانچ کم بیشتر خطوط لغزش به‌سوی جنوب دارند که تأییدکننده مؤلفه کوچک شاغولی در سازوکار گسل حافظ در هنگام گسلش است و از سه روش پیشین به‌دست می‌آید: در نمودار  $R\%$ ، مقدار  $\varphi$  بیشینه برای P، ۸۴ و برای T، ۱۳ درجه به‌دست آمده است (شکل ۲۳). بدیهی است که هیچ یک از این اعداد برای زاویه اصطکاک درونی این توده‌سنگ قابل قبول نیست اما نقطه برخورد دو نقطه P و T، زاویه‌ای از  $\varphi$  را ارائه می‌دهد (۴۵ درجه) که همخوانی بهتری با توده‌سنگ آندزیتی دگرسان شده نشان می‌دهد.

در هیستوگرام پراکنندگی خطای داده‌ها، با توجه به وضعیت شیب تند نمودار عدد ۶۵ قابل پذیرش است (شکل ۲۴). اما با در نظر گرفتن جنس سنگ‌های در برگیرنده گسل حافظ عدد قابل قبول باید از این عدد کمتر باشد.

در روش دوجویی‌های عمود بر هم (شکل ۲۵)، مدل به‌دست آمده با زاویه ۴۵ درجه سطح کمکی با روند شمالی- جنوبی دارد که هماهنگی خوبی با موقعیت گسل حافظ و سازوکار آن دارد. بنابراین، با این روش می‌توان زاویه اصطکاک درونی ۴۵ درجه را برای توده‌سنگ پذیرفت.

میانگین زوایای به‌دست آمده برای زاویه اصطکاک درونی سه روش بالا، ۵۰ درجه است که تا حدی با وضعیت برشی بودن سنگ‌ها در دو طرف گسل حافظ و زاویه‌دار بودن قطعات در برگیرنده آن هماهنگی بسیار مناسبی دارد. برای محاسبه موقعیت محورهای تنش، ابتدا موقعیت محورهای فشار (P) و کششی (T) برای داده‌های اصلاح شده گسل حافظ به ازای زاویه اصطکاک درونی ۵۰ درجه و با استفاده از روش وارون کردن به‌طور مستقیم محاسبه می‌شود (شکل ۲۶). محورهای  $P, T, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  و B برای سطح برش از مجموعه داده‌ها بر روی شبکه تصویر و سپس با رسم کنتور برای نقاط  $P, T, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ، نقاط تمرکز آنها محاسبه و به ترتیب معادل  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  در نظر گرفته شد (شکل ۲۷). موقعیت تنش‌های اصلی در جدول ۲ آورده شده است.



### ۸- نتیجه گیری

- چنانچه در جدول ۲ دیده می شود، مقدار R در کلیه محدوده های گسلی و حتی در مورد داده های ترکیبی کل منطقه، در حدود ۰/۵ است و شکل بیضوی را در حد فاصل دو کی شکل (R=0) و کلوچه ای (R=1) ارائه می کند.

- از آنجا که روند گسل گندی از روند کلی شکستگی های شمال منطقه تروود- معلمان پیروی می کند، نزدیکی زیادی بین نتایج به دست آمده از موقعیت تنش های اصلی بین محدوده گندی و داده های ترکیبی (کل منطقه) وجود دارد (جدول ۲).

- نوع دگرریختی این ناحیه، ترفاشاری (Transpresional) چپ گرد با مؤلفه کوچک شاغولی به دست آمده است که با کلیه نتایج حاصل از بررسی شکستگی ها و گسل هادر پهنه برشی چپ گرد دو گسل تروود و انجیلو در منطقه شمال تروود- معلمان انطباق کامل دارد.

### سپاسگزاری

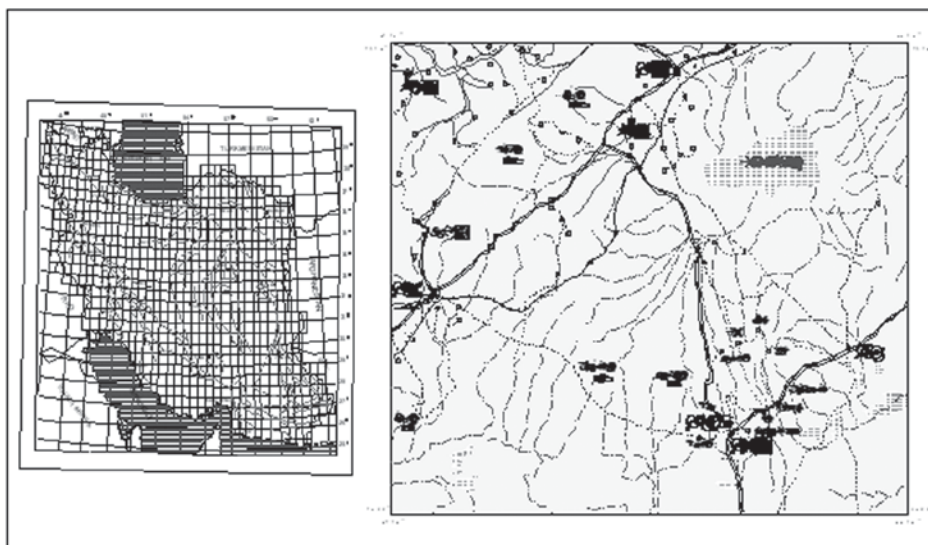
در این پژوهش از راهنمایی و حمایت بی دریغ بسیاری از اساتید، همکاران و دوستان بهره گرفته شده است که از آن جمله لازم است از آقایان مهندس بهروز برنا، مهندس قیس بدخشان، مهندس منوچهر سهیلی، مهندس اشراقی و کلیه پرسنل شرکت توسعه علوم زمین قدردانی شود. همچنین از زحمات آقایان مهندس امام جمعه، مهندس تاج الدین، مهندس کوثری و کلیه عزیزانی که به هر نحو ما را در به ثمر رسیدن این مقاله یاری رساندند، سپاسگزاری می شود.

موقعیت تنش های اصلی و فاکتور بیضوی تنش در حالات اعمال و بدون اعمال زاویه اصطکاک درونی در محدوده های مختلف در جدول ۲ خلاصه شده است. موقعیت  $\sigma_1$  محدوده ها، از آزیموت ۱۳۴ درجه تا ۲۲۴ درجه متغیر است. گرچه، موقعیت  $\sigma_2$  در همه حالت ها نزدیک به قائم است اما موقعیت  $\sigma_3$  به دست آمده میدان، تغییراتی بین ۱۰۰ تا ۲۲۷ درجه را نشان می دهند. با توجه به بررسی های انجام شده می توان به نتایج زیر اشاره کرد:

- مقدار زاویه اصطکاک درونی توده سنگ در زمان گسیختگی در کلیه محدوده های گسلی تقریباً یکسان و بین ۴۴ تا ۵۰ درجه متغیر است. این زاویه در داده های ترکیبی ۴۵ درجه به دست آمده که تا حد زیادی با میانگین داده های سه محدوده تفکیکی (۴۷ درجه) نزدیک است.

- موقعیت تنش های اصلی به دست آمده به روش اعمال زاویه اصطکاک درونی و بدون اعمال این زاویه، اختلاف های زیادی داشته و نتایج به دست آمده با زاویه اصطکاک درونی ( $\phi$ ) برای هر محدوده و حتی در مورد داده های ترکیبی منطقه، با سازوکار گسل ها همخوانی داشته و منطقی تر به نظر می رسند.

- موقعیت محورهای تنش اصلی  $\sigma_1$ ،  $\sigma_2$ ،  $\sigma_3$  در کل منطقه به ترتیب برابر 195/10، 339/78 و 104/07 است که نشان از وجود میدان تنش با سوی  $\sigma_1$  رو به شمال و در نتیجه حرکت رو به شمال پوسته در این ناحیه دارد.



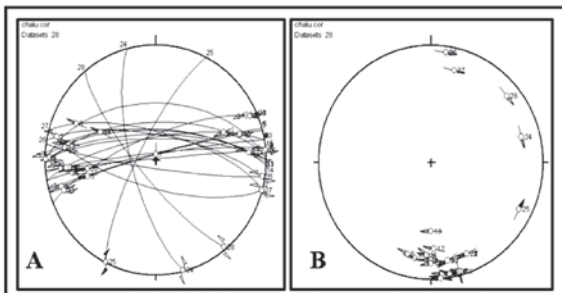
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی و راه های دسترسی به آن.

جدول ۱- ویژگی های گسل های چالو، حافظ و گندی در کنار دو گسل اصلی تروود و انجیلو.

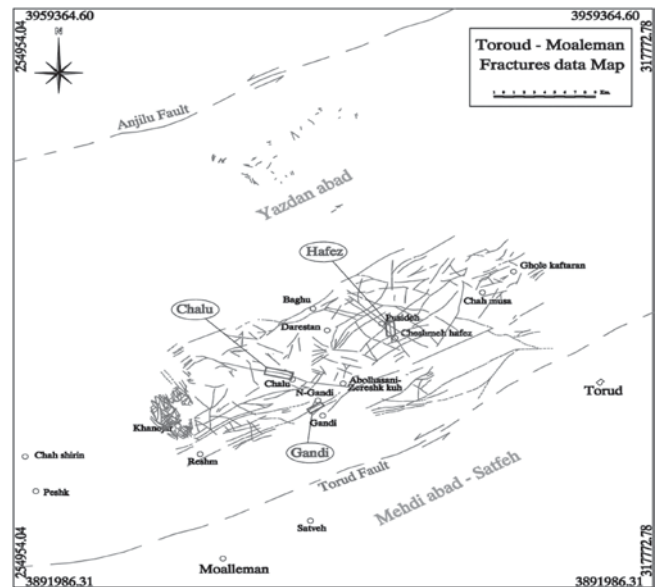
نام گسل	روند	شیب	سازوکار	جنس و سن سنگ های بریده شده
تروود	شمال خاور- جنوب باختر (N60-70E)	۸۰ درجه به شمال- شمال باختر	راستالغز چپ گرد+ معکوس	سنگ های کامبرین تا کواترنری
انجیلو	شمال خاور- جنوب باختر (N60-70E)	به سمت شمال- شمال باختر	راستالغز چپ گرد+ معکوس	سنگ های کامبرین تا کواترنری
چالو	N85-100	۷۰ درجه به جنوب- جنوب باختر	راستالغز چپ گرد	سنگ آهک های کرتاسه و تراکی آندزیت ائوسن
گندی	N60-70E	۷۰-۵۰ درجه به شمال باختر	راستالغز چپ گرد+ معکوس	سنگ های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن
حافظ	در شمال و میانه N340-350 و در جنوب N10E	۶۰-۵۰ درجه به سوی باختر	راستالغز چپ گرد	واحدهای آذرآواری و آندزیتی بازالتیک ائوسن- الیگوسن

جدول ۲- موقعیت تنش‌های اصلی و فاکتور شکل بیضوی تنش در محدوده‌های مختلف با اعمال و بدون اعمال زاویه اصطکاک درونی.

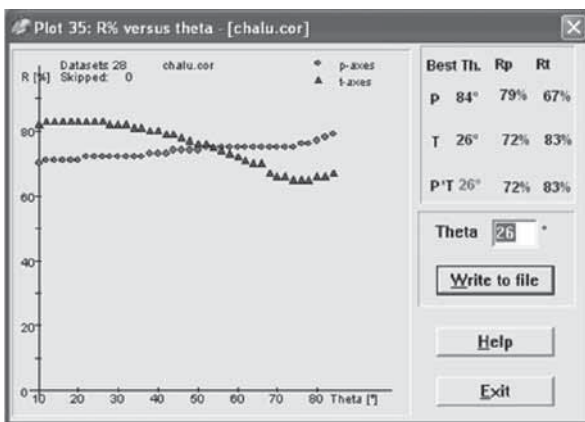
محدوده	موقعیت تنش‌های اصلی با اعمال زاویه اصطکاک درونی			زاویه اصطکاک درونی $\phi$ (درجه)	فاکتور شکل بیضوی تنش (R) در زمان اعمال زاویه اصطکاک درونی	موقعیت تنش‌های اصلی بدون اعمال زاویه اصطکاک درونی			فاکتور شکل بیضوی تنش (R) بدون اعمال زاویه اصطکاک درونی
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$			$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	
چالو	۲۲۴/۱۱	۰۳۷/۷۹	۱۳۴/۰۱	۴۸	۰/۴۸۴۵	۰۸۱/۱۱	۲۵۱/۷۹	۳۵۱/۰۳	۰/۰۶۹۶
گندی	۱۹۲/۰۵	۳۰۰/۷۵	۱۰۰/۱۴	۴۴	۰/۵۰۱۹	۰۳۴/۰۱	۲۵۷/۸۸	۱۲۴/۰۱	۰/۱۳۸۲
حافظ	۱۳۴/۱۳	۳۵۵/۷۳	۲۲۷/۱۱	۵۰	۰/۵۰۱۸	۱۷۸/۶۴	۳۴۷/۲۶	۰۸۰/۰۵	۰/۴۸۸۷
داده‌های ترکیبی	۱۹۵/۱۰	۳۳۹/۷۸	۱۰۴/۰۷	۴۵	۰/۴۸۵۹	۱۷۴/۰۶	۳۲۰/۸۳	۰۸۳/۰۴	۰/۷۸۹۹



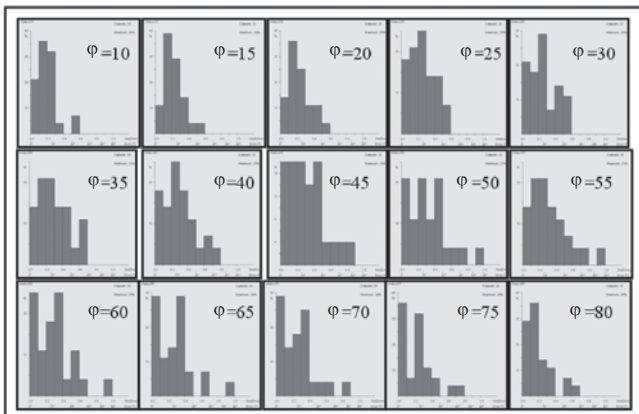
شکل ۳- نمودارهای Angelier و Hoepfner داده‌های گسل چالو.



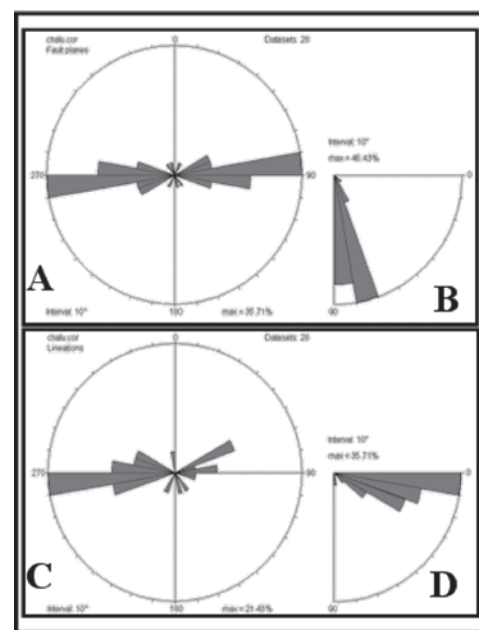
شکل ۲- نقشه شکستگی‌های شمال منطقه تروود- معلمان و جانمایی گسل‌های چالو، گندی و حافظ.



شکل ۵- نمودار تغییرات R% (محور عمودی) در برابر  $\phi$  (محور افقی).

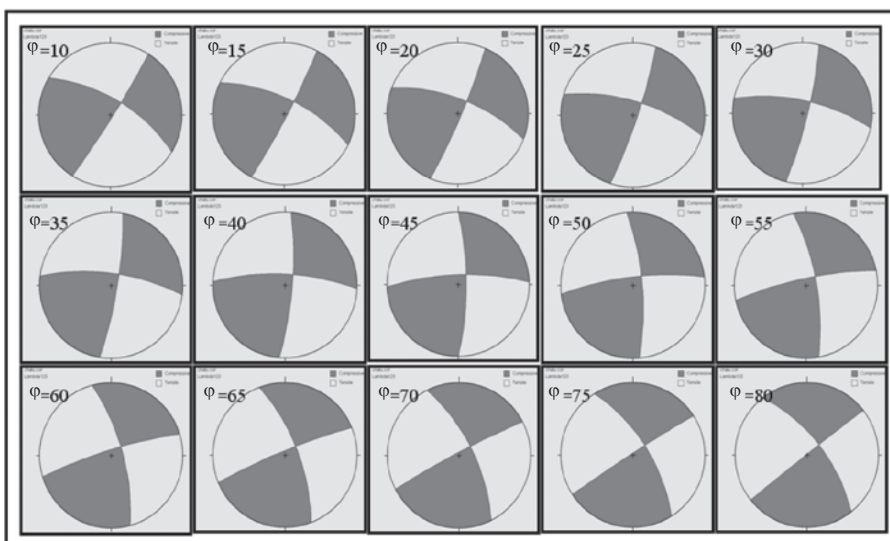


شکل ۶- نمودارهای پراکنندگی خطای داده‌های گسل چالو با اعمال بین ۱۰ تا ۸۰ درجه.

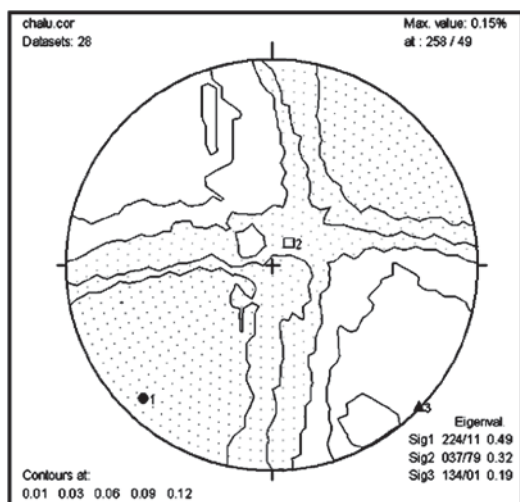


شکل ۴- نمودارهای گل‌سرخ‌های امتدادی (A) و شیبی (B) سطوح

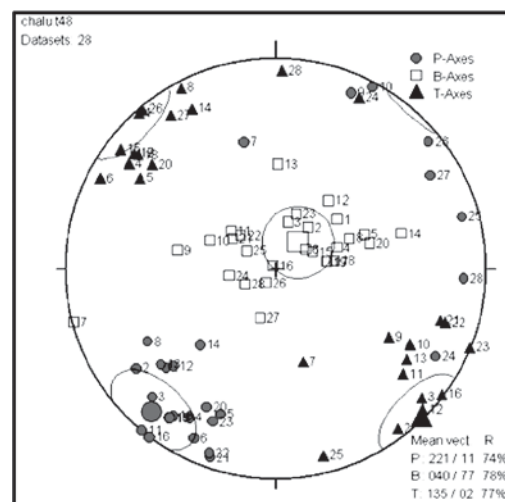
گسل و آزیومتی (C) و پلانچ (D) خطوط لغزش گسل چالو.



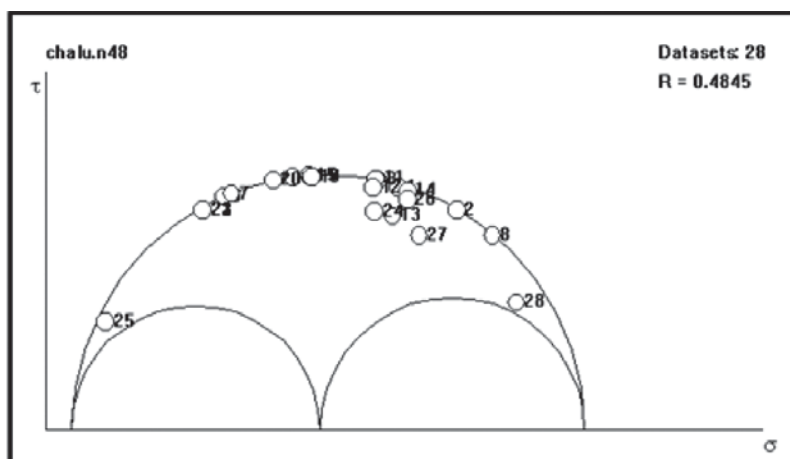
شکل ۷- دووجهی‌های تحلیل صفحه گسل چالو با اعمال بین ۱۰ تا ۸۰ درجه.



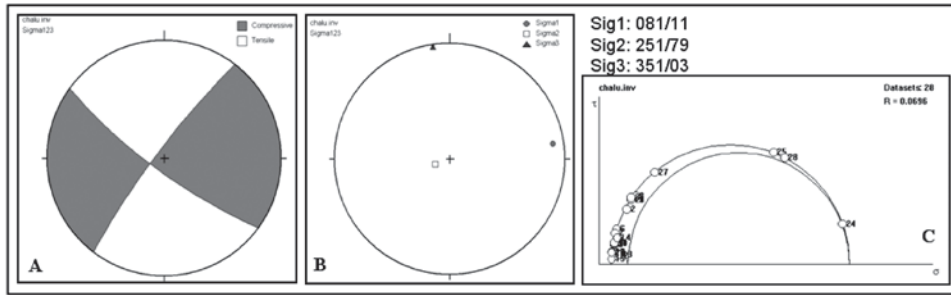
شکل ۹- کنتوردیگرام داده‌ها و موقعیت تنش‌های اصلی در محدوده چالو گسل با زاویه اصطکاک درونی ۴۸ درجه.



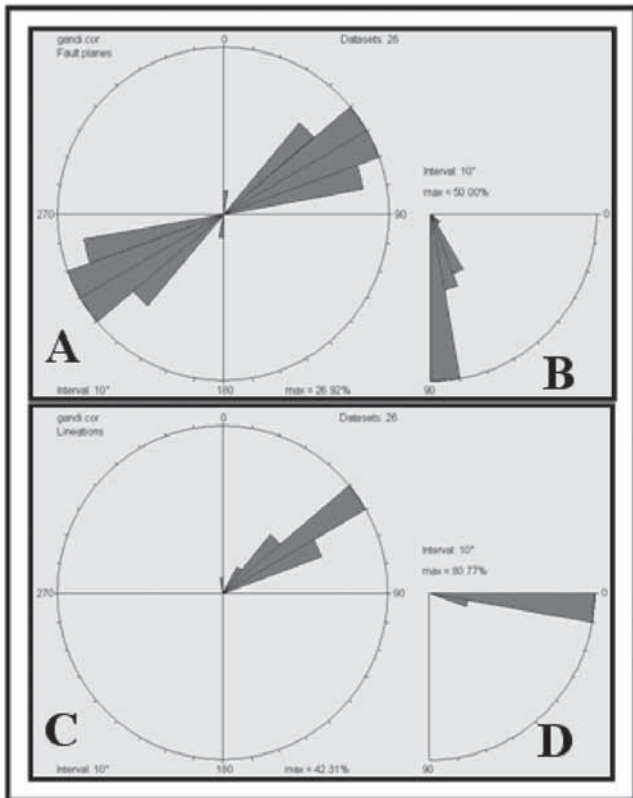
شکل ۸- موقعیت محورهای T، P و B در محدوده چالو با زاویه اصطکاک درونی ۴۸ درجه.



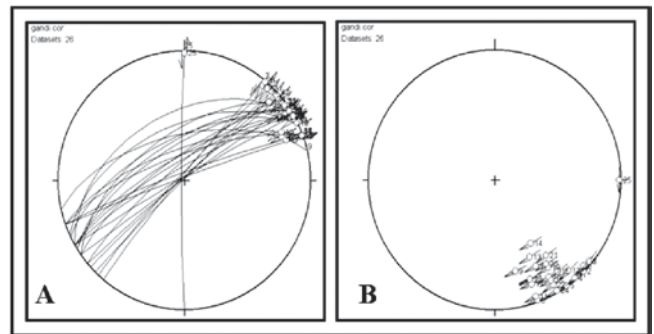
شکل ۱۰- دایره مور سه محوری بدون مقیاس داده‌های اصلاح شده محدوده گسل چالو با  $\phi$  برابر درجه.



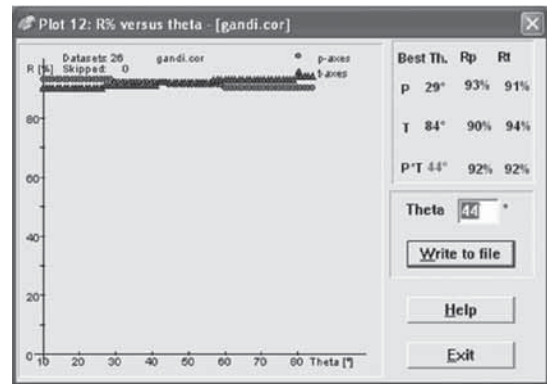
شکل ۱۱- موقعیت تنش‌های اصلی و دایره مورسه محوری داده‌های اصلاح شده محدوده گسل چالو بدون اعمال زاویه اصطکاک درونی.



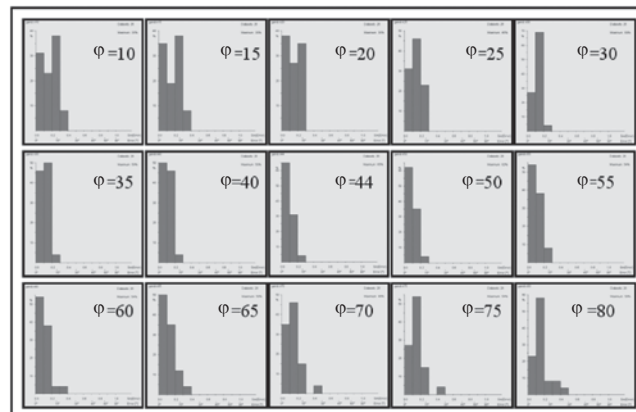
شکل ۱۳- نمودارهای گل سرخی امتدادی (A) و شیبی (B) سطوح گسل و آزمونوتی (C) و پلانچ (D) خطوط لغزش گسل گندی.



شکل ۱۲- نمودارهای Angelier و Hoepfener داده‌های گسل گندی.

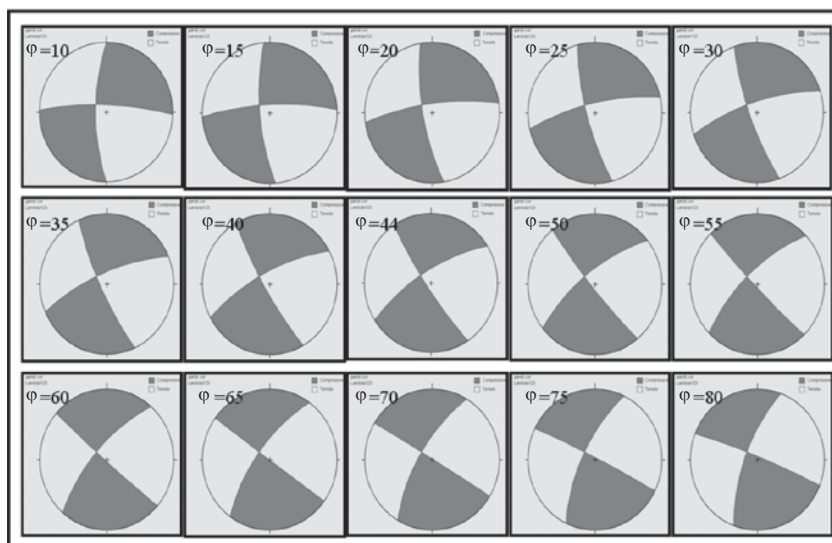


شکل ۱۴- نمودار تغییرات R% (محور عمودی) در برابر  $\phi$  (محور افقی).

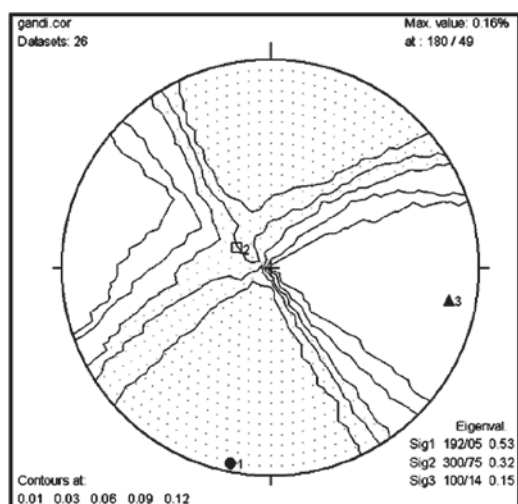


شکل ۱۵- نمودارهای پراکنندگی خطای داده‌های گسل گندی با اعمال  $\phi$  بین ۱۰ تا ۸۰ درجه.

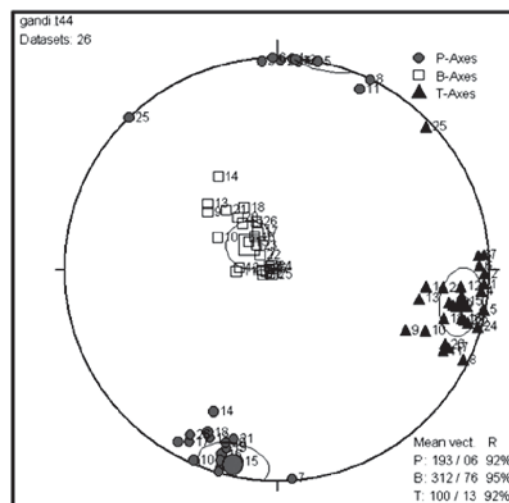




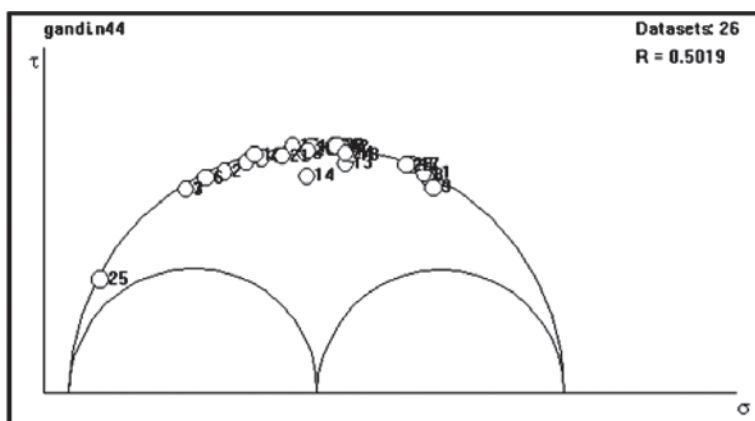
شکل ۱۶- دووجهی‌های تحلیل صفحه گسل گندی با اعمال بین ۱۰ تا ۸۰ درجه.



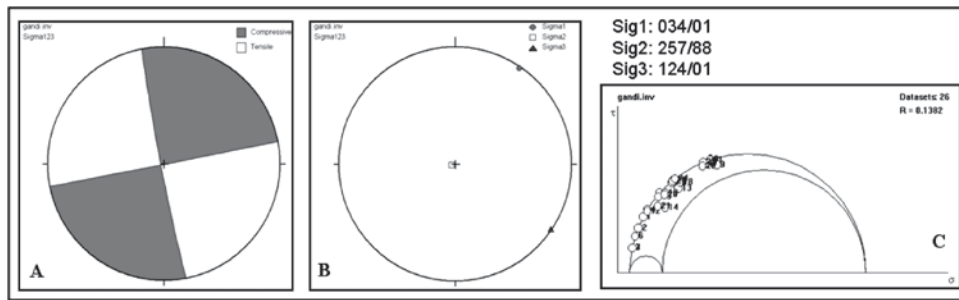
شکل ۱۸- کنتوردیگرام داده‌ها و موقعیت تنش‌های اصلی در محدوده گسل گندی با زاویه  $\phi$  ۴۴ درجه.



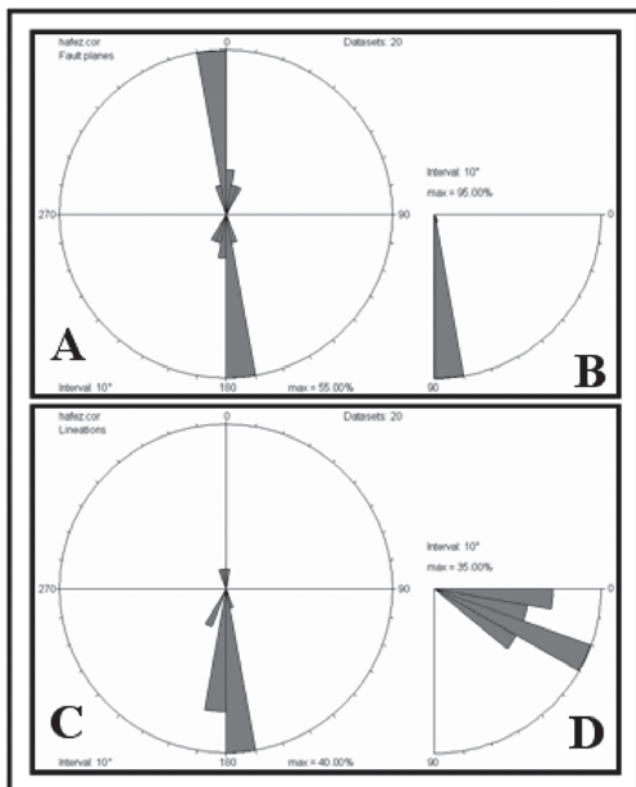
شکل ۱۷- موقعیت محورهای P، B و T در محدوده گسل گندی با زاویه اصطکاک درونی ۴۴ درجه.



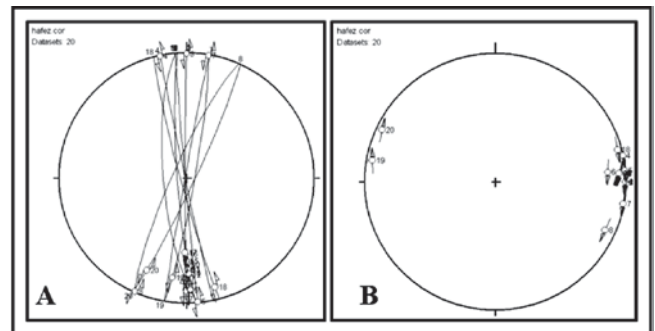
شکل ۱۹- دایره مور سه محوری بدون مقیاس داده‌های اصلاح شده محدوده گسل گندی با  $\phi$  ۴۴ درجه.



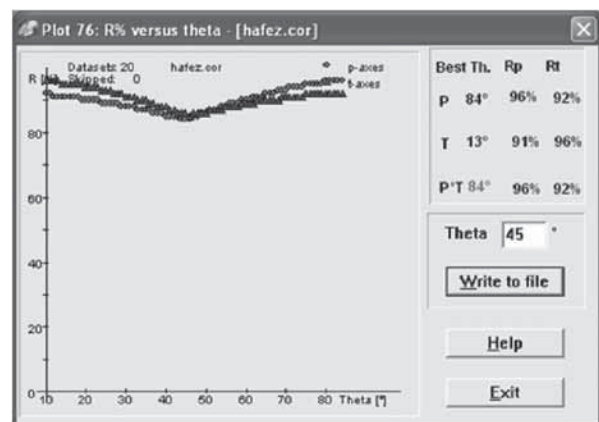
شکل ۲۰- موقعیت تنش‌های اصلی و دایره مور سه محوری داده‌های اصلاح شده محدوده گسل گندی بدون اعمال زاویه اصطکاک درونی.



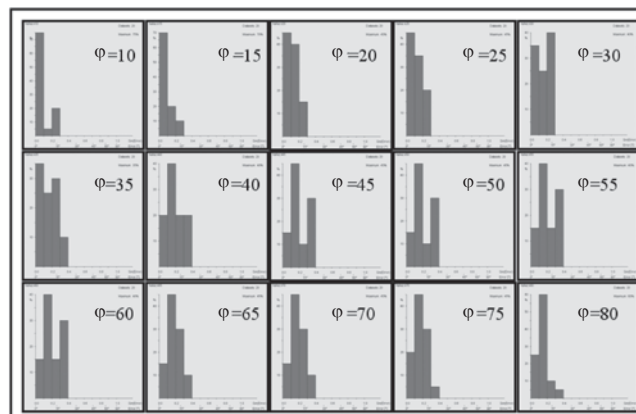
شکل ۲۲- نمودارهای گل سرخی امتدادی (A) و شیبی (B) سطوح گسل و آزمون‌های (C) و پلانچ (D) خطوط لغزش گسل حافظ.



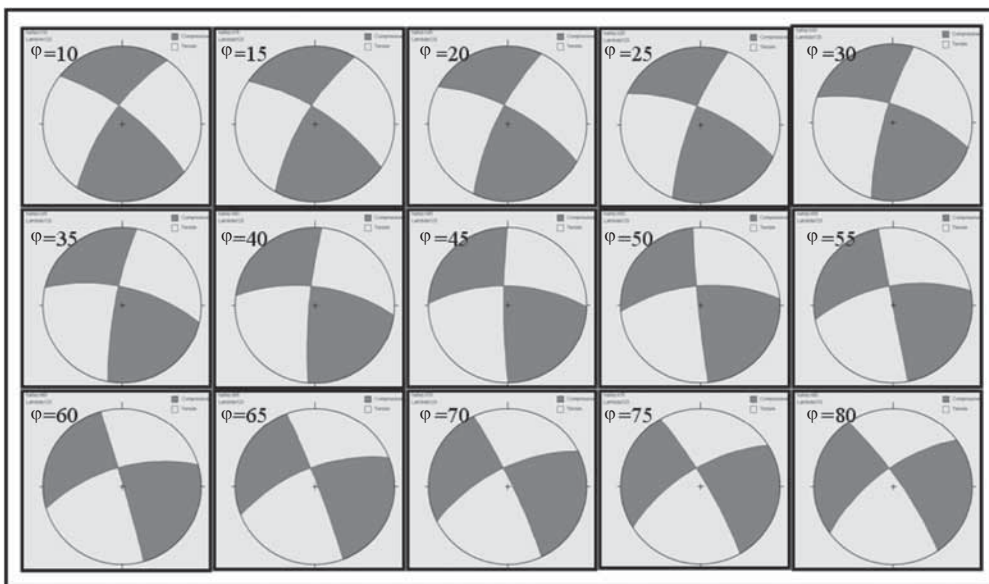
شکل ۲۱- نمودارهای Angelier و Hoepfner داده‌های گسل حافظ.



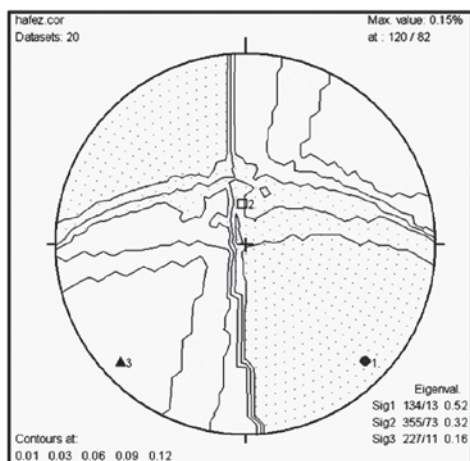
شکل ۲۳- نمودار تغییرات R% (محور عمودی) در برابر  $\phi$  (محور افقی).



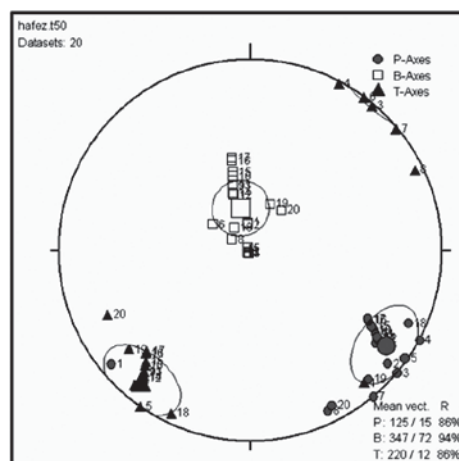
شکل ۲۴- نمودارهای پراکنندگی خطای داده‌های گسل حافظ با اعمال  $\phi$  بین ۱۰ تا ۸۰ درجه.



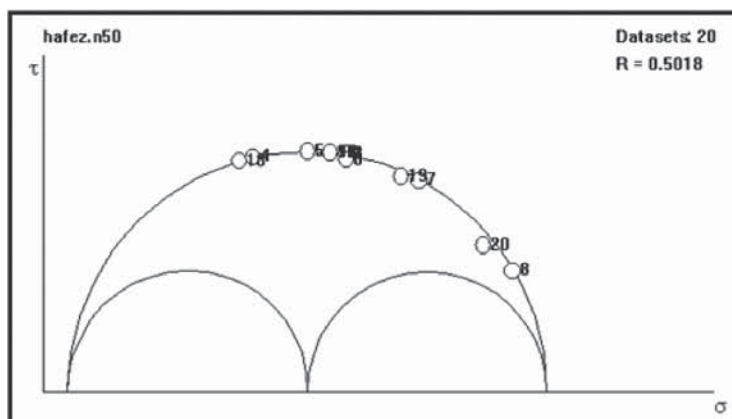
شکل ۲۵- دووجهی‌های تحلیل صفحه گسل حافظ با اعمال  $\phi$  بین ۱۰ تا ۸۰ درجه.



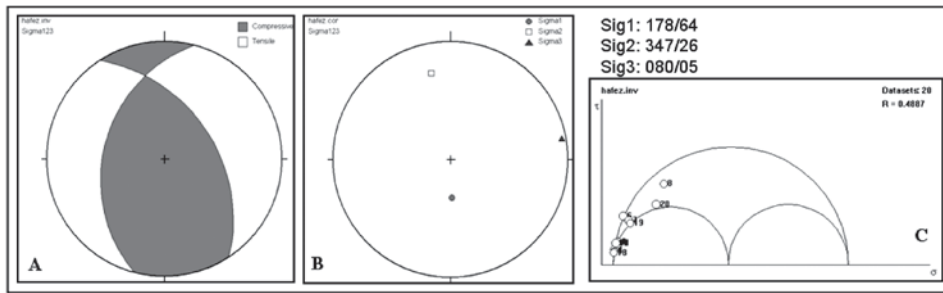
شکل ۲۷- کنتوردیگرام داده‌ها و موقعیت تنش‌های اصلی در محدوده گسل حافظ با زاویه  $\phi$  ۵۰ درجه.



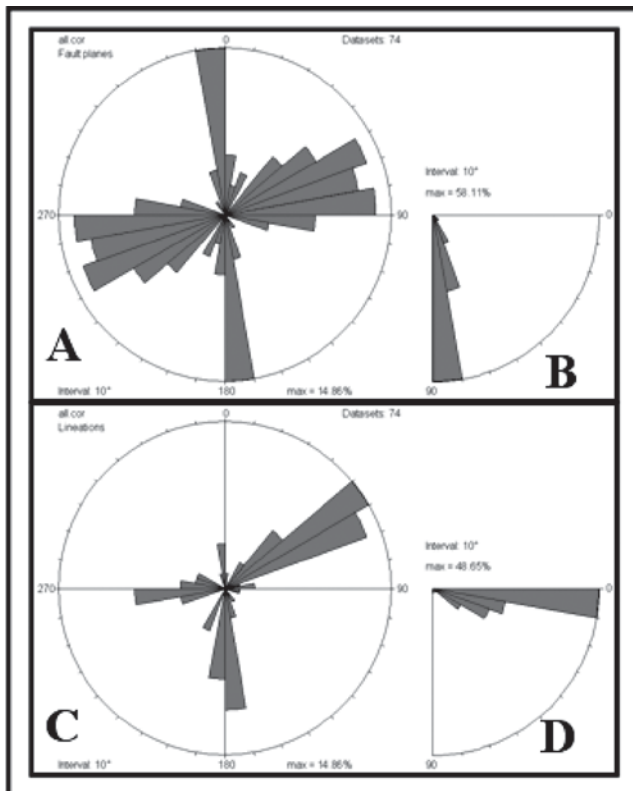
شکل ۲۶- موقعیت محورهای P، B و T در محدوده گسل حافظ با زاویه اصطکاک درونی ۵۰ درجه.



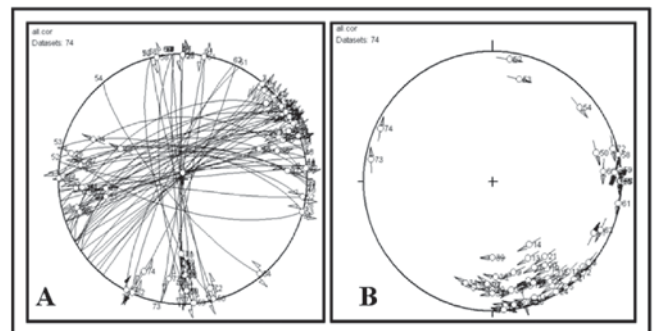
شکل ۲۸- دایره مور سه محوری بدون مقیاس داده‌های اصلاح‌شده محدوده گسل حافظ با  $\phi$  ۵۰ درجه.



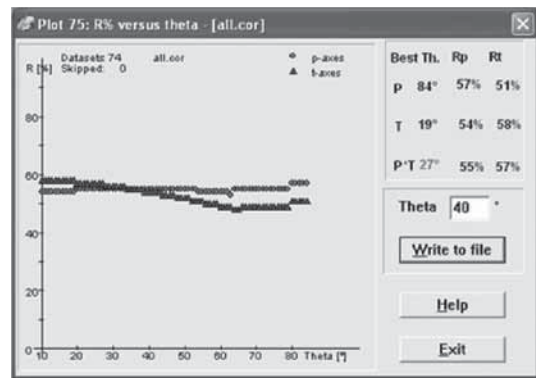
شکل ۲۹- موقعیت تنش‌های اصلی و دایره مور سه محوری داده‌های اصلاح‌شده محدوده گسل حافظ بدون اعمال زاویه اصطکاک درونی.



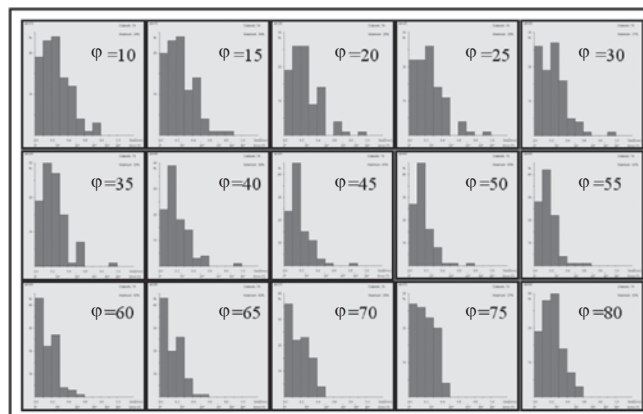
شکل ۳۱- نمودارهای گل سرخی امتدادی (A) و شیبی (B) سطوح گسل و آزیموتی (C) و پلانچ (D) خطوط لغزش داده‌های ترکیبی.



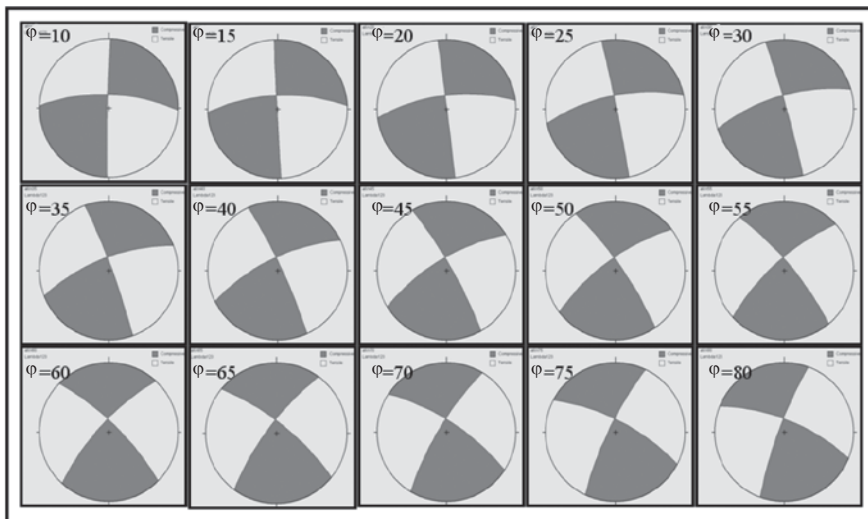
شکل ۳۰- نمودارهای Angelier و Hoepfner داده‌های ترکیبی.



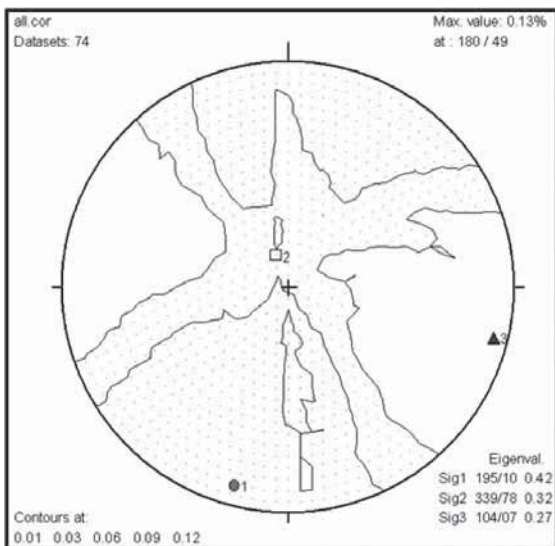
شکل ۳۲- نمودار تغییرات R% (محور عمودی) در برابر  $\varphi$  (محور افقی).



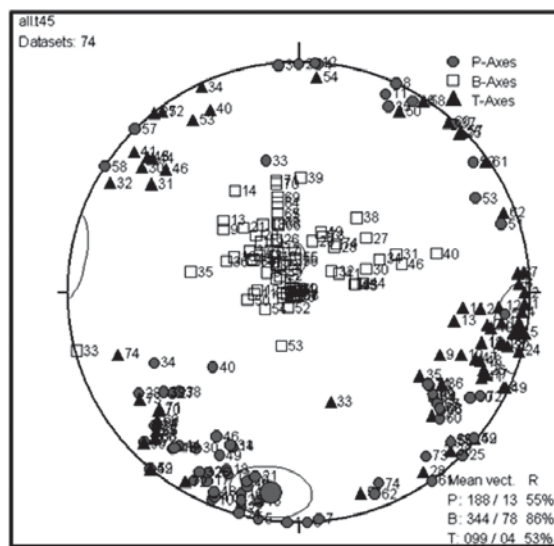
شکل ۳۳- نمودارهای پراکنندگی خطای داده‌های ترکیبی با اعمال  $\varphi$  بین ۱۰ تا ۸۰ درجه.



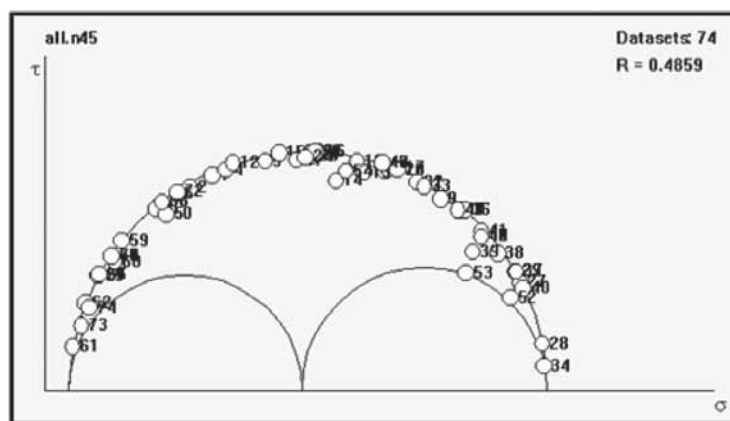
شکل ۳۴- دووجهی های تحلیل صفحه گسل با اعمال  $\phi$  بین ۱۰ تا ۸۰ درجه برای داده های ترکیبی.



شکل ۳۶- کنتوردیگرام داده ها و موقعیت تنش های اصلی با زاویه  $\phi$  ۴۵ درجه برای داده های ترکیبی.

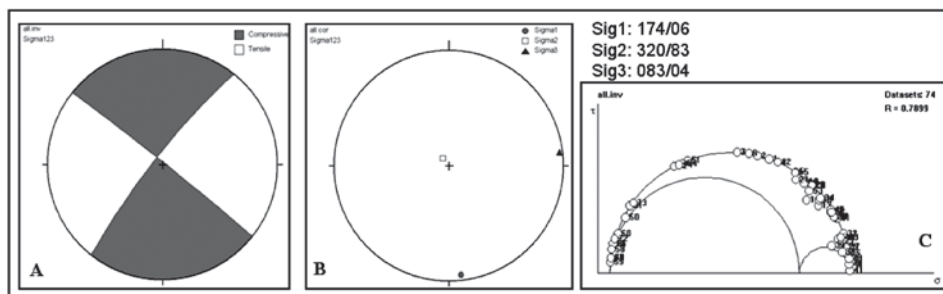


شکل ۳۵- موقعیت محورهای T، P، و B برای داده های ترکیبی با زاویه  $\phi$  ۴۵ درجه.



شکل ۳۷- دایره مور سه محوری بدون مقیاس داده های اصلاح شده با  $\phi$  ۴۵ درجه برای داده های ترکیبی.





شکل ۲۸- موقعیت تنش‌های اصلی و دایره مور سه محوری داده‌های اصلاح‌شده ترکیبی بدون اعمال زاویه اصطکاک درونی.

## کتابنگاری

بدخشان ممتاز، ق.، ۱۳۸۲- گزارش تهیه و تکمیل نقشه زمین‌شناسی معدنی با مقیاس ۱:۵۰۰ منطقه گندی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور سیهیلی، م. و بدخشان ممتاز، ق.، ۱۳۸۱- گزارش نتایج بررسی‌های اکتشافی مرحله نیمه تفصیلی در کانسارهای پلی متال - طلای چشمه حافظ و چالو، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.

## References

- Angelier, J., 1975b- Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. *Tectonophysics* 56, T17-T26.
- Angelier, J., 1994- Fault slip analysis and paleostress reconstruction. P 53-100. In: *Continental deformation* Eds. M, I. Honcock, P. L., pergamon press, London.
- Hoepfner, R., 1995- *Tectonic in Schiefergebirge.*, Geol. Rdsch, 44, 26-58, Stuttgart.
- Michael, A., 1984- Determination of stress from slip data: fault and folds. *J. geophys. Res.*, B 89, 11517-11526.
- Michel, G. W., 1993- Modeling fault slip data sets: A key for approximating stretching ratios. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*. 144, 150-158.
- Sperner, B., Ott, R. & Ratschbacher, L., 1993- Fault-strain analysis: a turbo pascal program package for graphical presentation and reduced stress-tensor calculation. *Computers & Geosciences*, (19)9, 1361-1388, Manchester.
- Wallbrecher, E., 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.

# Dynamic Analysis of Fractures in North of Torud – Moalleman Area (Central Iran, East South of Damghan)

A. Keynezhad <sup>1\*</sup>, M. Pourkermani<sup>2</sup>, M. Arian<sup>1</sup>, A. Saeedi<sup>3</sup> & M. Lotfi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Research and Science Campus, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Research Institute of Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2009 January 11

Accepted: 2009 August 16

## Abstract

Detailed geological and structural analysis of north of Torud-Moalleman area (Central Iran), between Anjilu fault in north and Torud fault in the south, led to tectonic elements of this limit such as fractures and relative of their mechanism with left lateral sheared zone of two main faults. This study provides a movement system of Chalu, Gandi and Hafez faults in this shear zone. On the basis of kinematics findings and using general methods of fault slip analysis (orientation of slip plane, slip vector, shape of stress ellipsoid and angle of internal friction) region stress field were calculated after determining the angle of internal friction for each one of fault limits. Then, the main stress orientation determinates for combination data that values of  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  were 195/10, 339/78 and 104/07 respectively. The shape of stress ellipsoid was defined on the basis of shape factor,  $[R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)]$ , (Angelier, 1975). The R-value for whole studied regions was about 0.5 and deformation type was mainly left lateral transpressional with reverse component. Such results are evident from N-NE (N195) trending  $\sigma_1$  in the region and northward movement of the lithosphere. These finding are in line with field research results of fractures, faults and mechanism in this general shear zone.

**Key words:** Fracture, Dynamic Analysis, Torud, Stress, Central Iran, Moalleman

For Persian Version see pages 3 to 16

\*Corresponding author: A. Keynezhad; E-mail: anahita.keynezhad@gmail.com