

تحلیل ساختاری گسل مشا در گستره شمال خاور تهران

نوشته : ساره بحیرائی*، محمدرضا عباسی** و محمود الماسیان***

* مرکز تحقیقات و مطالعات محیط زیست و انرژی، تهران، ایران؛ ** پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
*** دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ایران

Structural Analysis of Mosha Fault in the Northeast of Tehran

By: S. Bahiraie*, M. Abbasi** & M. Almasian***

*Center for Environment and Energy Research and Studies (CEERS); **International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran; *** Department of Geology, Islamic Azad University of North Tehran Branch, Iran.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۵/۰۷/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۵/۱۵

چکیده

به طور عمده می‌توان مهم‌ترین عامل تکامل ساختاری البرز را وجود گسل‌های رانده و معکوسی دانست که اغلب با روند کم و بیش خاوری-باختری در طول این رشته‌کوه قرار گرفته‌اند، یکی از این گسل‌های اصلی، گسل مشا است. در این پژوهش گستره بین طول جغرافیایی $51^{\circ} 30'$ تا $51^{\circ} 45'$ بررسی می‌شود، که در برگیرنده بخش مرکزی-باختری گسل مشا است. با اندازه‌گیری ۱۲۰ صفحه گسلی و خش لغزهای مربوطه در شمال خاور شهر تهران به کمک روش وارون‌سازی، جهت‌های تنش بر روی گسل‌های موجود مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، دو جهت تنش بر روی گسل مشا در این منطقه شناسایی شد. یکی باعث پیدایش حرکت واژگون با مؤلفه راستالغز راستگرد و دیگری که جوان‌تر از اولی است، پدیدآورنده حرکت واژگون با مؤلفه راستالغز چپگرد می‌باشد. سامانه راستگرد، حاصل حرکت رو به شمال صفحه عربستان است که سن آن را به میوسن و به گمان پیش از آن نسبت داده‌اند و سامانه چپگرد، ناشی از تحول ساختاری رشته‌کوه البرز (دگرشکلی پیشرونده در البرز) است. نتایج حاصل، نشان‌دهنده بردار جا به جایی روی سطح رانده مشا به صورت ترکیبی از حرکت شیب لغز معکوس تا رانده و امتداد لغز چپگرد است. برای تعیین سن نسبی رویدادهای مختلف زمین‌ساختی، سن هر کدام از روندهای تنش پیشینه به کمک روابط تقدم و تأخر صفحه‌های گسلی مشخص شد.

کلید واژه‌ها: گسل مشا، روش معکوس سازی، دگرشکلی پیشرونده، گسل معکوس، گسل راستالغز

Abstract

Generally the most important factor in the structural evolution of Alborz is thrust and reverse faulting that often has an east-west trend, parallel to the mountain chain. Mosha fault, one of the main faults, in this study covers the area between longitudes $51^{\circ} 30'$ to $51^{\circ} 45'$ including central-western part of Mosha fault. The stress evolution on the available faults in northeast of Tehran city was studied by means of inversion of 120 striated fault planes and related striations. Finally, two different movement systems were identified. One of them generated dextral reverse faulting and the other one which is younger created sinistral reverse faulting. The dextral system, known to resulted from the movement of the Arabian plate toward the north, is determined to be Miocene and probably older. The sinistral system originates from structural transition of Alborz Mountain (progressive deformation in Alborz). Obtained result shows that the movement vector on the thrust Mosha is the consequence of the combination of sinistral and reverse faulting. The ages of stress changes were determined by using the cross cutting relations of individual fault planes and differentiation of events.

Keywords: Mosha Fault, Inversion Method, Progressive Deformation, Reverse Fault, Strike Slip Fault.



مقدمه

البرز مرتفع و سنگهای رخنمون شده قدیمی آن، کم و بیش در یک پهنه بین گسل خزر و یک خط در امتداد مشا، آستانه و گسلهای رودبار قرار گرفته‌اند (Allen et al., 2003). گسل مشا یکی از ساختارهای فعال عمده در حاشیه جنوبی البرز مرکزی و مرز بین توالیهای سنوزویک و پالئوزویک می‌باشد. شیب گسل فشاری مشا همیشه به سمت شمال و بین ۳۵ تا ۷۰ درجه است (Berberian and Yeats, 2001). بر اساس بررسیهای دورسنجی و ریخت‌زمین‌ساختی انجام گرفته، پهنه گسلی (fault zone) مشا از شمال خاور روستای امین‌آباد فیروزکوه در خاور شروع و پس از گذر از دره‌های تار، مشا، هزاردشت، آردینه، امامه، فشم- میگون و آهار- شهرستانک تا پل خواب و آیگان در باختر با روند $N125^{\circ}-N110^{\circ}$ ادامه می‌یابد از انتهای باختری دره شهرستانک- پل خواب نیز این گسل با تغییر روند به سوی جنوب باختر (در راستای $N75^{\circ}$) به صورت چند شکستگی ساختاری منفصل قابل شناسایی و پیگیری است. در این منطقه، با توجه به تظاهر گسل مشا در یک پهنه کوهستانی بیشتر رخنمونهای این گسل در بخشهای سنگی مشاهده می‌شود (به سبب چیرگی پدیده فرسایش در بلندیها و پدیده نهشتگی در مناطق پست‌تر). بر اساس بررسیهای دورسنجی، ریخت‌زمین‌ساختی و ساختاری انجام گرفته، گسل مشا یکپارچه نبوده و شامل مجموعه‌ای از قطعات گسلی است. به بیان دیگر، این سامانه گسلی در برخی مناطق مورد بررسی، شامل پهنه‌ای از شکستگیهای ساختاری است که در راستای طولی، در سطح زمین نیز پیوسته نیستند (سلیمانی و همکاران، ۱۳۸۱).

در محدوده مورد مطالعه، دگرشکلی کلی به صورت کوتاه‌شدگی مایل بوده که بر روی گسلهای رانده و معکوس با مؤلفه‌های راستالغز چپگرد و راستگرد تقسیم شده است، اگر چه سامانه ترافشاری کنونی البرز از نوع چپگرد است (Axen et al., 2001; Allen et al., 2003; Jakson et al., 2002) و این حرکت ناشی از واژگونی سوی برش در سامانه ترافشاری اولیه (راستگرد) در البرز باختری است (Axen et al., 2001; Allen et al., 2003) و عباسی، ۱۳۸۴)، اما با توجه به اینکه سامانه ترافشاری اولیه در البرز خاوری احتمالاً چپگرد بوده، این واژگونی فقط در بخشهای باختری البرز که این سامانه راستگرد بوده روی داده و در بخشهای خاوری تنها با تغییر در آهنگ حرکت همراه شده (Allen et al., 2003) که در برداشتهای انجام شده در این منطقه خش‌لغزهایی بر روی گسلهایی در راستای گسل مشا یافت شد که به صورت راستالغز چپگرد عمل کردند و خش‌لغزهای قدیمی‌تر را که عملکرد آنها معکوس با مؤلفه راستگرد بوده،

قطع کرده‌اند، محل برداشت این خش‌لغزها در نقشه ساختاری با شماره‌های ۶ و ۷ مشخص شده‌اند.

طول گسل مشا در این منطقه، حدود ۱۸ کیلومتر با روند شمال باختر- جنوب خاور و شیب آن به سمت شمال خاور است، روستاهای لواسان بزرگ، برگ جهان، افجه، کند، راحت آباد، امامه و فشم دقیقاً در روند گسل مشا و در پهنه خرد شده آن قرار گرفته‌اند که به علت وجود شرایط مناسب جهت کشاورزی در این پهنه می‌باشد (شکل ۱). نقشه زمین‌شناسی به همراه مدل رقمی ارتفاع منطقه با دقت تفکیک زمینی ۹۰ متر نیز در شکل ۲ به نمایش درآمده است.

سازوکار هر گسل، پیرو هندسه و جهت یافتگی آن نسبت به محورهای اصلی تنش حاکم بر پیرامون آن است. از این رو، با توجه به اینکه پهنه گسل مشا دربرگیرنده تعداد بیشماری از تکه‌های گسل با هندسه متفاوت و گاهی راستای مختلف است، دور از انتظار نیست که هر کدام از آنها بسته به ویژگیها و موقعیتشان در میدان تنش حاکم بر گستره، جنبشی منحصر به خود بروز دهند. در چنین مواردی بهترین کار برای شناسایی سازوکار پهنه‌های گسل، بررسی آماری تکه‌های تشکیل دهنده و تفسیر آنها نسبت به میدان تنش حاکم است. بر پایه بررسیهای انجام شده، سازوکار اصلی پهنه گسل مشا در منطقه مورد مطالعه، معکوس با مؤلفه چپ لغز پیشنهاد می‌شود؛ با این توضیح که در بخشهای خاوری حرکت گسل مشا راستالغز چپ لغز است.

روش مطالعه

به منظور بررسی دینامیک گسلها و تعیین تنشهای دیرینه لازم است که وضعیت سطح گسل، خش‌لغز موجود بر روی گسلها و سوی برش بلوکهای دو طرف گسل (سازوکار گسل) شناخته شده باشند. خش‌لغزها عبارتند از: آثار لغزش بلوکهای دو سوی گسل بر یکدیگر. سازوکار گسلها بر مبنای خطوط لغزشی آنها به استناد از مقاله (Gephart 1990) به شرح زیر است: در این روش، ابتدا موقعیت صفحه گسل و قطب آن بر روی نیمکره زیرین شبکه هم مساحت اشمیت تصویر شده و موقعیت خطوط لغزشی (Rake) بر روی صفحه گسل مشخص می‌شود. در این صورت، خطی که از موقعیت خطوط لغزشی و مرکز استریونت عبور می‌کند، راستای جابه‌جایی (Slip vector) را نشان می‌دهد. پس از آن با توجه به عادی یا معکوس بودن گسل مورد بحث، می‌توان راستای دقیق جابه‌جایی گسل (سازوکار) را بر روی استریونت تعیین کرد، بدین صورت که بر روی صفحه گسل از محل ریک، برای گسلهای عادی جهت بردار لغزش به سمت محیط استریونت، و برای گسلهای معکوس به سمت مرکز استریونت قرار دارد (استریوگرام ۱). اما

با مؤلفه راستگرد برآورد شد. در فرودیواره گسل شیلای نازک لایه ارغوانی رنگ سازند سرخ، و در فرادیواره آن توفهای سبز کرج قرار دارد. سازند باروت مشتمل بر دولومیت‌های توده‌ای شکل و سنگهای آهکی سیاه رنگ به صورت یک ورقه رورانه حدود چندین کیلومتر از محل اصلی خود بر روی توفهای سازند کرج رانده شده است که می‌تواند نشان‌دهنده میزان قابل توجه جا به جایی شاقولی گسل مشا باشد. بر پایه داده‌های به دست آمده توسط GPS، موقعیت ایستگاه در نقشه ۱ به همراه سوی بردار لغزش، طبق روش معکوس سازی مربوط به آن مشخص شده است. محل برداشت در نقشه ساختاری با شماره ۲ مشخص شده است.

مثالهایی از هر دو ساز و کار گسل مشا در منطقه

گسلهایی با ساز و کار معکوس با مؤلفه راستگرد

یکی از ساختارهایی که در محدوده پهنه گسل مشا برداشت شد و نمایانگر جهت تنش شمال خاوری در این محدوده است، گسلی با مختصات N140-30NE می‌باشد (استریوگرام ۳). این گسل در جنوب باختر روستای افجه در درون توفهای سازند کرج برداشت شد. با توجه به شواهد ساختاری در حین برداشت صحرایی، ساز و کار آن معکوس با مؤلفه راستگرد برآورد شد. شکل شماتیک کشیدگی لایه‌ها بر اثر عملکرد این گسل در شکل ۶ آمده است کشیدگی لایه‌ها بر اثر عملکرد گسل در فرادیواره با فلش سبز رنگ و در فرودیواره با فلش نارنجی رنگ مشخص شده است و پهنه خرد شده گسل به عرض تقریباً دو متر در شکل ۷ مشخص شده است.

گسلهایی با ساز و کار عادی با مؤلفه چپگرد

BF₃: ساختار دیگری که در محدوده پهنه گسل مشا برداشت شد و نمایانگر جهت تنش شمال باختری در این محدوده است، گسلی با مختصات N145-67NE است (استریوگرام ۴). این گسل در باختر روستای برگ جهان برداشت شد (شکل ۷). با توجه به شواهد ساختاری در حین برداشت صحرایی، ساز و کار آن عادی با مؤلفه چپگرد برآورد شد.

یکی از صفحه‌های گسلی با دو سری خش لغز

Af₁₁: مختصات این گسل N160-60NE در استریوگرام ۵ مشخص شده است. این گسل در شمال باختر روستای افجه در توفهای سازند کرج برداشت شد. با توجه به شواهد ساختاری در حین برداشت صحرایی، ساز و کار آن راستالغز چپگرد برآورد شد. بر روی سطح گسل، علاوه بر این خش لغز، خش لغز دیگری نیز یافت شد که به طور نسبی جوان تر بود (به علت بریده

گاهی نیز جهت شلوغ نشدن استریوگرام، خطوط لغزش از قطب صفحه گسل جدا می‌شوند. برای رسم نمودارهای مربوط به تحلیل سطوح گسلی و برآورد جهت تنشهای دیرینه موجود روی آنها از نرم افزار Tectonics FP استفاده شد. در این روش، فرض بر این است که خش لغزهای روی صفحه گسلی جهت نیروی برشی بیشینه را نشان می‌دهند، پس در این صورت، با برعکس کردن این پدیده می‌توان به جهت تنش دست یافت که باعث ایجاد صفحه گسلی و خش لغزهای روی آن شده است (عباسی، ۱۳۸۳). از این رو، به این روش برای بازسازی جهت تنشهای اصلی (σ_1 , σ_2 , σ_3) روش معکوس سازی (inversion) گفته می‌شود.

تفکیک ساختارها بر مبنای موقعیت مکانی آنها

هدف از انجام این پژوهش، بررسی ساز و کار گسل مشا در گستره لواسان است. بر این اساس ساختارهای موجود، بر پایه موقعیت مکانی خود به سه برش کند، افجه و برگ جهان، و یک برش از افجه تا برگ جهان تقسیم شدند. سه برش یاد شده (کند، افجه، برگ جهان)، عمود بر راستای گسل مشا هستند و برش افجه تا برگ جهان در راستای گسل مشا است. لازم به ذکر است که بیشتر برداشتهای صحرایی بر روی توفهای سازند کرج انجام شده و تنها تعداد معدودی از اندازه گیریها بر روی واحدهای دیگری صورت گرفته است.

موقعیت گسل مشا در برش کند

در حالت عادی، واحدهایی به سن الیگوسن (سازند سرخ زیرین در البرز) بر روی واحدهایی به سن اتوسن (سازند کرج در البرز) قرار می‌گیرند و واحدهای مرزی بین اتوسن و الیگوسن (سازند کند) میان آنها قرار دارند (شکل ۳). اما عملکرد گسل مشا در این منطقه باعث رانده شدن سازند کرج بر روی سازند سرخ زیرین شده است، شکل ۴ که موقعیت آن در نقشه ساختاری با شماره ۱ مشخص شده است.

موقعیت گسل مشا در روستای افجه

در این منطقه نیز همانند منطقه کند عملکرد گسل مشا باعث روی هم قرارگیری سازندهای کرج و سرخ زیرین شده است (شکل ۵). سازند باروت به صورت یک سفره رورانه در این محل بر روی توفهای کرج قرار دارد. مختصات گسل مشا در این منطقه N122-78NE است، (استریوگرام ۲). این گسل یکی از صفحه گسلهای گسل مشا در خاور روستای افجه می‌باشد. با توجه به شواهد ساختاری در حین برداشت صحرایی، ساز و کار آن معکوس



است، سامانه راستگرد حاصل حرکت رو به شمال صفحه عربستان است که سن آن را به میوسن و احتمالاً پیش از آن نسبت داده‌اند (Allen et al. 2003) و سامانه چپگرد ناشی از تحول ساختاری رشته کوه البرز (دگرشکلی پیشرونده در البرز) است.

سازوکار گسلهای موجود در زمان دو جهت تنش متفاوت

- در زمانی که رژیم حاکم بر منطقه در جهت NW بوده، گسلهای با راستای NE به صورت معکوس و راندگی عمل کرده‌اند، مانند گسلهای Af_2 و Af_8 . گسلهای فرعی خاوری-باختری و شمالی-جنوبی به ترتیب در این جهت تنش به صورت راستالغز راستگرد و چپگرد فعالیت نموده‌اند، مانند Af_6 و Af_9 . گسلهای با راستای NW به صورت عادی با مؤلفه راستالغز راستگرد و چپگرد عمل کرده‌اند، برای مثال به گسل Bf_3 می‌توان اشاره کرد.

گسل Af_{11} با دو سری خش لغز به رنگ زرد در شکل ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است، که عملکرد آن طی هر دو جهت تنش به روشنی مشخص است. گسل مشا با روند تقریبی N110 در جهت تنش NW به صورت معکوس با مؤلفه راستالغز راستگرد عمل کرده است.

- در زمانی که رژیم حاکم بر منطقه در جهت NE بوده، گسلهای با راستای NW به صورت معکوس و راندگی عمل کرده‌اند، برای مثال به گسل Kf_6 می‌توان اشاره کرد. گسلهای با راستای NE به صورت عادی با مؤلفه راستالغز راستگرد و چپگرد عمل کرده‌اند مانند گسل Af_1 . گسلهای فرعی خاوری-باختری و شمالی-جنوبی به ترتیب در این جهت تنش به صورت راستالغز چپگرد و راستگرد فعالیت کرده‌اند، مانند Kf_8 و Kf_{19} . گسل مشا با روند تقریبی N110 در جهت تنش NE به صورت معکوس با مؤلفه راستالغز چپگرد عمل کرده است.

در شرایط کاملاً آرامی، گسلهای مذکور به صورت بالا عمل می‌کنند، اما در حالت عادی در طبیعت، امکان وجود چنین حالتی بسیار کم است؛ زیرا شرایط کنترل کننده طبیعت از آنچه به نظر می‌رسد، پیچیده‌تر است. پس قطعاً همه سازوکارهای ذکر شده به صورت محض نبوده و دارای مؤلفه‌ای هر چند کوچک هستند. در نهایت، از همین روش شاید بتوان به وسیله موقعیت صفحه گسل در زمان شکل‌گیری و یا فعالیت دوباره و همچنین برآورد سازوکار ثبت شده بر روی آن، به طور نسبی بیان کرد که هر گسل در کدام جهت تنش شکل گرفته است و یا چه فعالیتی از خود نشان داده است البته به شرط اینکه مطمئن باشیم پس از گسلش، واحدهای زمین‌شناختی دربرگیرنده آن دچار چین‌خوردگی و یا دگرشکلی نشده باشند، در غیر این صورت نتایج مطلوبی حاصل نخواهد شد.

شدن خش لغزهای گسل Af_{11} توسط خش لغزهای گسل Af_{12} .

Af_{12} : در واقع صفحه گسل همان Af_{11} است (استریوگرام ۶) و فقط خش لغز دوم در این مرحله برداشت شده است، (شکل ۹). با توجه به شواهد ساختاری در حین برداشت صحرایی، سازوکار آن معکوس با مؤلفه راستگرد برآورد شد.

به طور کلی، بیشتر داده‌های به دست آمده از برداشت گسلها در این منطقه، بیانگر حرکت راستگرد گسل مشا است و حرکت چپگرد در این مناطق، علاوه بر اینکه به طور نسبی کمتر دیده شد (به علت جوان بودن این رژیم و اینکه مانند رژیم راستگرد فرصت زیادی برای عمل نداشته)، در یک منطقه دیگر نیز (شماره ۷ در نقشه ساختاری)، خش لغزهای ناشی از حرکت راستالغز راستگرد را نیز بریده بودند که نشان دهنده جوان تر بودن نسبی این حرکت نسبت به حرکت راستالغز راستگرد است (بر روی گسل مشا، امتداد N110). در این ایستگاه نیز با توجه به راستای گسل، بریده شدن خش لغزهای با مؤلفه چپگرد توسط خش لغزهای با مؤلفه راستگرد، نشان دهنده وجود دو جهت تنش است. پله‌های کانی هر دو سری خش لغز در شکل ۹ با رنگ مربوطه خود مشخص شده‌اند. محل برداشت در نقشه ساختاری با شماره ۶ مشخص شده است.

بر اساس بررسیهای به عمل آمده در ۳ برش ساختاری و پس از پردازش ۱۲۰ داده به کمک نرم‌افزارهای زمین‌شناسی، نمودار توصیف گسلهای امتداد لغز با مؤلفه شیب‌لغز در شکل ۱۰ کشیده شده است که برای انجام آن فقط از ۷۶ گسلی که امتداد آنها بین N100 تا N140 بود و در سازند کرج قرار داشتند، استفاده شد؛ که نمایانگر وجود گسلهای شیب لغز با مؤلفه‌های امتدادلغز راستگرد و چپگرد است. استریوگرام خش لغز صفحه‌های گسل در شکل ۱۱ به نمایش درآمده که با توجه به آن می‌توان روند بیشتر خش لغزهای منطقه را شمال خاور-جنوب باختر دانست، که بر اساس برداشتهای صحرایی نمایانگر حرکت معکوس گسل است.

نمودار گل سرخی همه صفحه‌های گسلی در شکل ۱۲ به نمایش درآورده شده و با توجه به آن می‌توان گفت که بیشتر گسلهای منطقه، روند شمال باختر-جنوب خاور (N110) دارند. در شکل ۱۳ موقعیت محورهای اصلی تنش یعنی σ_1 , σ_2 , σ_3 (محورهای P, T) و مقدار آنها مشخص شده است. در شکل ۱۴ قطب گسلها به همراه سوی حرکت خش لغز موجود در آنها نشان داده شده که روند بیشتر آنها شمال خاور-جنوب باختر برآورد شد. رفتار گسل مشا در این منطقه، معکوس با یک مؤلفه راستالغز است (در نسل اول معکوس با مؤلفه راستالغز راستگرد و در نسل دوم معکوس با مؤلفه راستالغز چپگرد) که این دو نسل حرکتی در تصویر با فلش مشخص شده

چینه‌های مورد مطالعه در منطقه

مشخصات هندسی چینه‌های منطقه در جدول ۲ خلاصه شده است. نکته قابل توجه در هنگام مطالعه محور چینه‌های موجود در منطقه، اختلاف در روند محور چینه‌های واقع در شمال گسل مشا و جنوب آن است. برای نمونه، محور ناودیسهای گرچال (در نقشه ساختاری مشخص شده است) و مرچال کوه واقع در شمال گسل مشا روندی عمود بر امتداد گسل مشا دارند (البته چند تاقدیس و ناودیس کوچک مقیاس نیز در شمال گسل مشا با همین روند محور دیده شد که قابل پیاده کردن بر روی نقشه ساختاری نبود)؛ در صورتی که روند بیشتر محور چینه‌های موجود در جنوب گسل مشا در راستای گسل می‌باشد که به طور آماری به چند نمونه از آنها اشاره شده است.

نحوه شکل‌گیری چینه‌ها در زمان دو جهت تنش متفاوت

به طور کلی، دو نسل متفاوت چین خوردگی در منطقه مشاهده شده است. چینه‌های موجود در شمال گسل مشا که دارای محوری با روند شمال خاوری- جنوب باختری هستند، در جهت تنش شمال باختری شکل گرفته‌اند و مربوط به نسل اول چین خوردگی هستند، اما چینه‌های موجود در جنوب گسل مشا که محور آنها موازی با گسل مشا هستند، در جهت تنش شمال خاوری تشکیل شده‌اند و مربوط به نسل دوم تشکیل ساختارها می‌باشند. در نمودار گل سرخی ۲۰ و ۲۱ دو روند متفاوت محور چینه‌های موجود در شمال و جنوب گسل مشا به نمایش درآمده است و جهت تنش ایجاد کننده آنها در زمان تشکیل، با فلش مشخص شده است.

نتیجه‌گیری

روند گسل‌های موجود در منطقه تقریباً موازی با گسل مشا است و می‌توان گفت که به صورت نسبی تمامی آنها معکوس با مؤلفه‌های راستگرد و چپگرد می‌باشند.

گسل اصلی مشا، باعث گسیختگی واحدهای سنگی مختلفی گردیده و سازندهایی با سنین متفاوت را در مقابل هم قرار داده است. عملکرد گسل مشا در این ناحیه به صورت رانده شدن سازند کرج بر روی سازند سرخ پایینی به سن میوسن است، علاوه بر این سازند باروت در شمال افجه به

صورت یک ورقه رو رانده بر روی توالی نامبرده رانده شده است.

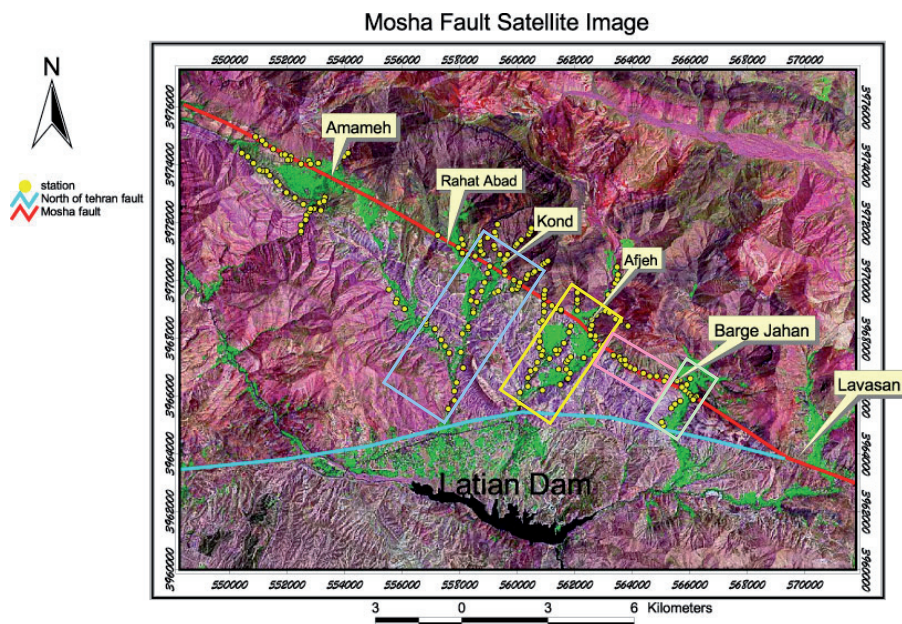
طبق مشاهدات صحرایی، به علت بریده شدن خش لغزهای با مؤلفه چپگرد توسط خش لغزهای با مؤلفه راستگرد، سن گسل‌های با مؤلفه‌های راستگرد (در راستای شمال شمال باختر- جنوب جنوب خاور) جوان‌تر از گسله‌های با مؤلفه‌های چپگرد تعیین شد؛ همچنین بر اثر بریده شدن خش لغزهای با مؤلفه راستگرد توسط خش لغزهای با مؤلفه چپگرد (در راستای گسل مشا)، سن گسله‌های با مؤلفه چپگرد، جوان‌تر از گسل‌های با مؤلفه‌های راستگرد ارزیابی شد؛ که بیانگر عملکرد دو سامانه متفاوت حرکتی در این ناحیه می‌باشد (لازم به ذکر است، همانطور که بحث شد راستای گسل در زمان تشکیل و یا فعالیت مجدد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است).

چینه‌ها بخش عمده‌ای از کوتاه شدگی ناحیه را جبران نموده‌اند و از نظر هندسی در جنوب گسل مشا، بیشتر نامتقارن هستند و تمایل سطح محوری آنها، به طور عمده به سمت شمال خاور می‌باشد. محور اغلب چینه‌های منطقه، میل ملایمی به سوی جنوب خاور دارد. همچنین چینه‌های ناحیه مورد پژوهش از نظر زاویه بین یالی، در رده چینه‌های بسته تا باز قرار می‌گیرند.

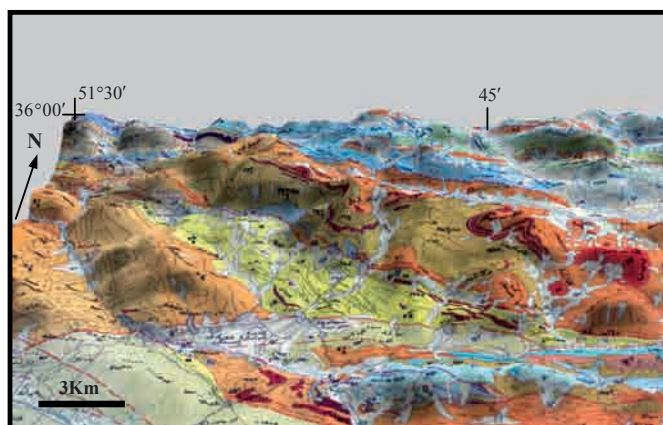
اختلاف در روند محور چینه‌های موجود در شمال و جنوب گسل مشا نیز می‌تواند نشان دهنده وجود دو جهت تنش باشد؛ چینه‌های موجود در شمال گسل مشا که دارای محوری با روند شمال خاور- جنوب باختر می‌باشند، در جهت تنش شمال باختری شکل گرفته‌اند و مربوط به نسل اول چین خوردگی هستند، اما چینه‌های موجود در جنوب گسل مشا که محور آنها موازی با گسل مشا است در جهت تنش شمال خاوری، تشکیل شده‌اند و مربوط به نسل دوم تشکیل ساختارها می‌باشند.

بردارجا به جایی گسل مشا در این منطقه در نسل اول به علت حرکت رو به شمال صفحه عربستان راستالغز راستگرد و در نسل دوم به علت دگرشکلی پیشرونده در البرز، راستالغز چپگرد می‌باشد. گسل مشا، تابع سامانه ترافشارشی چپگرد (کوتاه شدگی مایل ناشی از فشارش با مؤلفه چپگرد) می‌باشد.

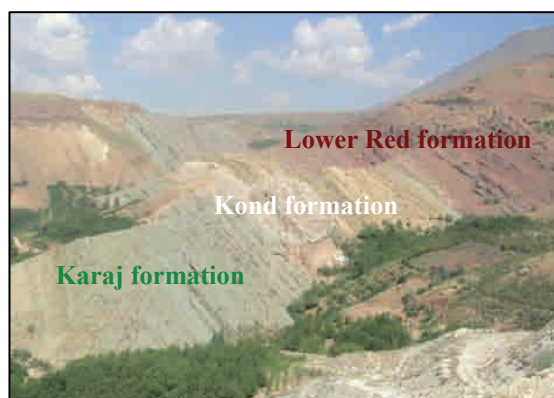
نسل اول در این بخش از البرز رخنمون غالب دارد؛ این مسئله شاید به این علت باشد که سن مؤلفه چپگرد بسیار جوان است و هنوز فرصت زیادی برای تأثیر نداشته، در نتیجه باعث شده تا فعالیت گسل‌های با مؤلفه چپگرد با شواهد ژئومورفولوژیکی کمتری در منطقه همراه باشند.



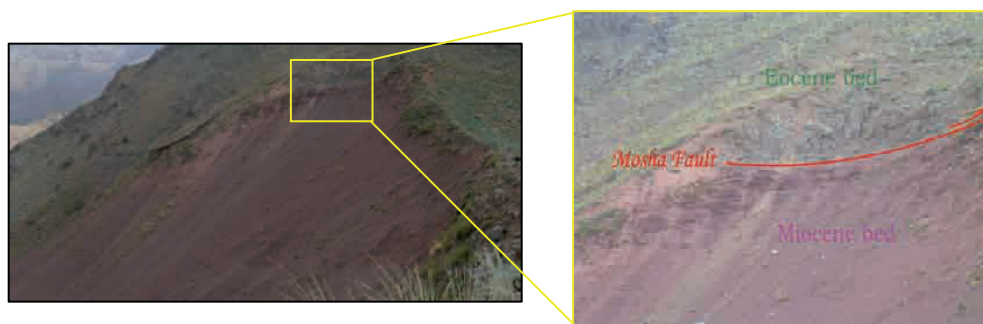
شکل ۱- عکس ماهواره‌ای Landsat 7 از ناحیه مورد مطالعه به همراه موقعیت برشهای ساختاری



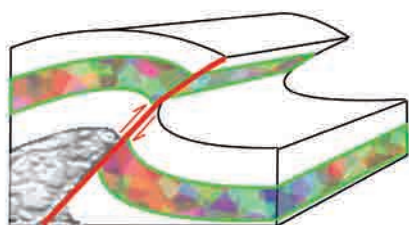
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه به همراه مدل رقومی ارتفاع SRTM



شکل ۳- روی هم قرارگیری واحدهای ذکر شده به ترتیب زمان تشکیل (بدون اثر گسلش). دید به سمت شمال باختر



شکل ۴- تأثیر گسل مشا در منطقه کند. دید به سمت شمال خاور



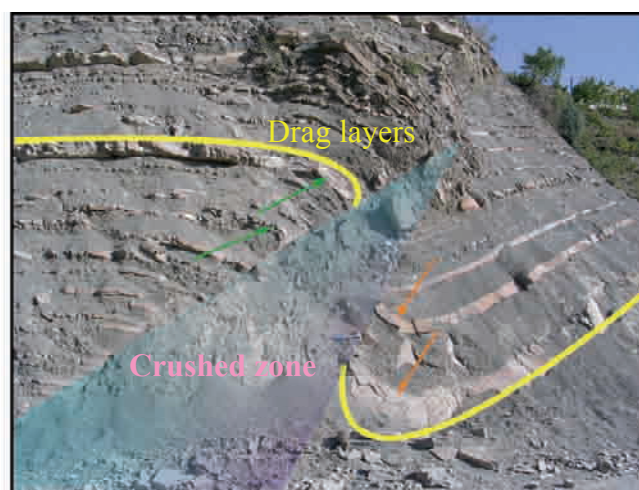
شکل ۶- شکل شماتیک کشیدگی لایه‌ها بر اثر عملکرد یک گسل رانده



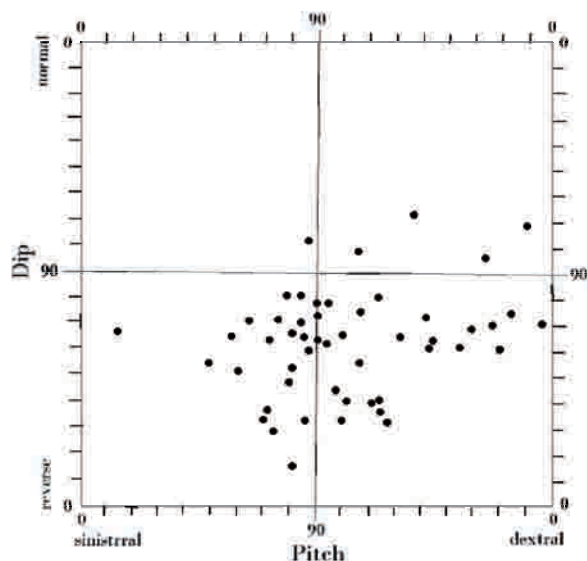
شکل ۵- نمایی از گسل مشا در ایستگاه Af_{15} .
دید به سمت جنوب خاور



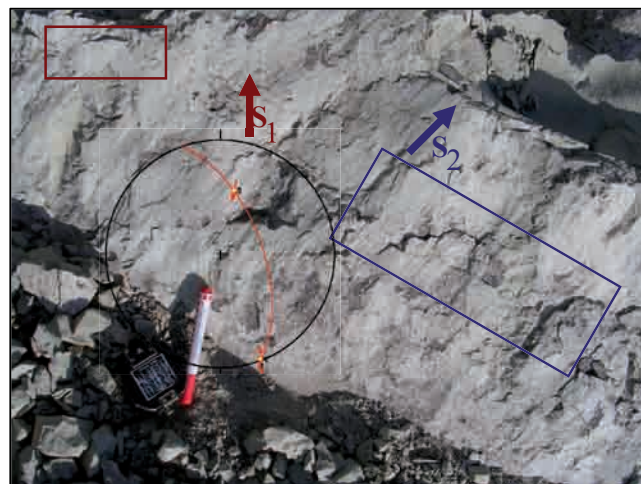
شکل ۸- نمایی از گسل ایستگاه Bf_3 . دید به سمت باختر



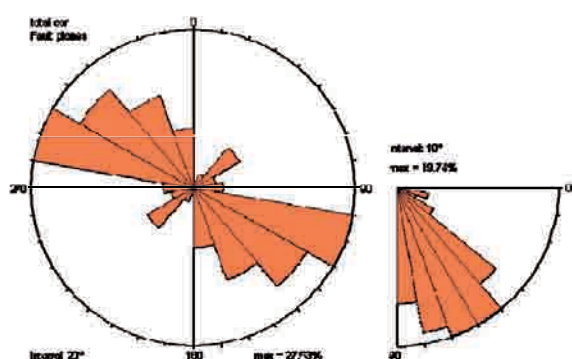
شکل ۷- کشیدگی لایه‌ها و پهنه خرد شده گسل ایستگاه Af_{14} .
دید به سمت جنوب خاور



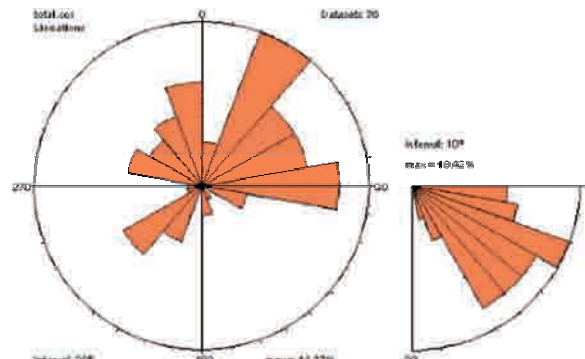
شکل ۱۰- نمودار توصیف گسلهای شیب لغز با مؤلفه امتداد لغز



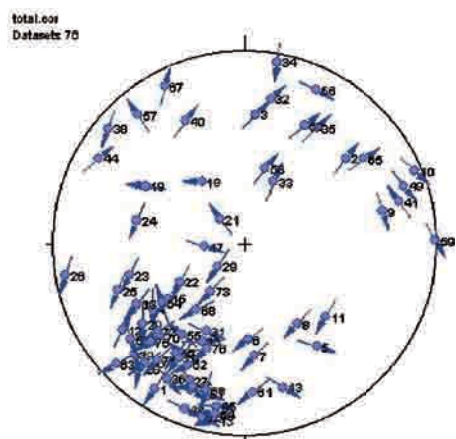
شکل ۹- نمایی از دو خش لغز بر روی گسل ایستگاه Af₁₁ به همراه استریو گرام هر دوی خش لغزها. دید به سمت جنوب باختر



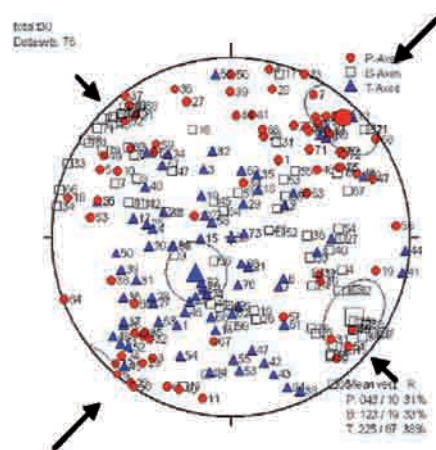
شکل ۱۲- نمودار گل سرخی همه صفحه‌های گسلی برداشت شده در منطقه



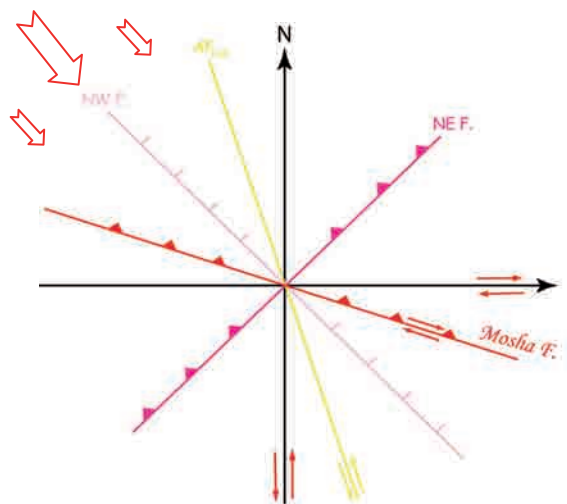
شکل ۱۱- نمودار گل سرخی خش لغزهای برداشت شده در منطقه



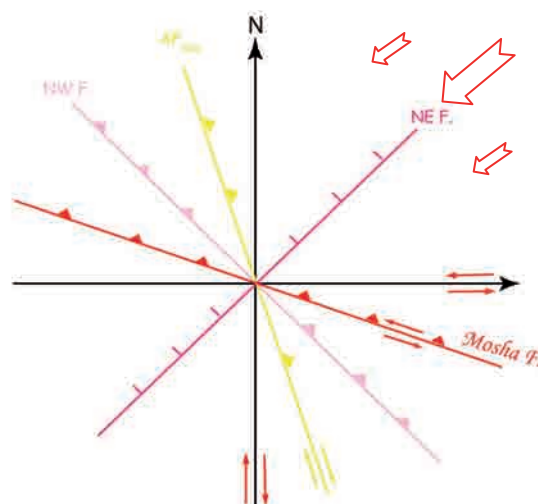
شکل ۱۴- نمایش سوی حرکت خش لغزها بر روی قطب صفحه‌های گسلی (بر خلاف روش توضیح داده شده در متن که بر روی خود صفحه گسل رسم می شده است).



شکل ۱۳- استریو گرام محورهای P,T



شکل ۱۶- نمایش سازوکار گسلهای موجود، در زمانی که جهت تنش شمال باختری در منطقه حاکم بوده است



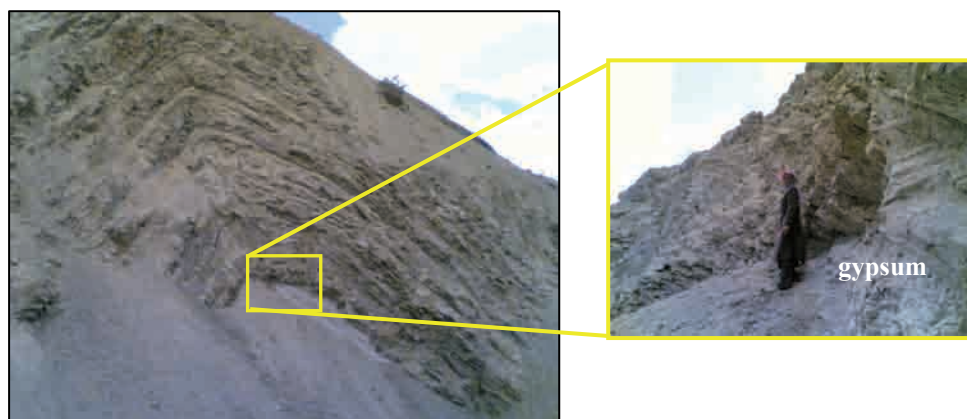
شکل ۱۵- نمایش سازوکار گسلهای موجود، در زمانی که جهت تنش شمال خاوری در منطقه حاکم بوده است



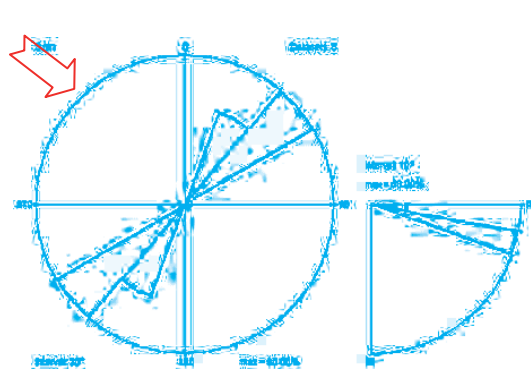
شکل ۱۷- نمایی از ناودیس افجه و ریز چینهای موجود در یال آن. دید به سمت خاور (شماره ۴ در نقشه ساختاری)



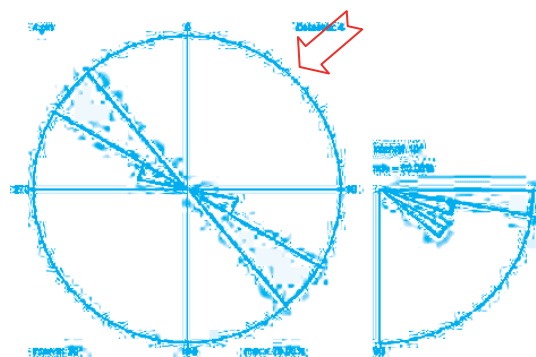
شکل ۱۸- نمایی از تاقدیس برگ جهان و نمونه‌ای از گسلهای معکوس موجود در یال آن. دید به سمت جنوب خاور (شماره ۵ در نقشه ساختاری)



شکل ۱۹- نمایی از تاقدیس هنزک و وجود لایه شکل پذیر گچ در هسته آن. دید به سمت شمال-شمال باختر (شماره ۳ در نقشه ساختاری)

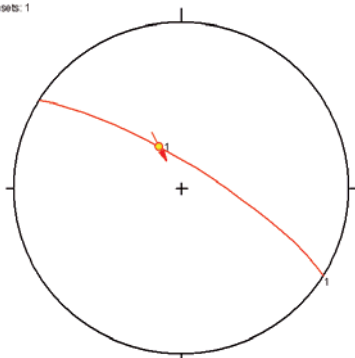


شکل ۲۱- نمودار گل سرخی محور چینهای موجود در شمال گسل مشا

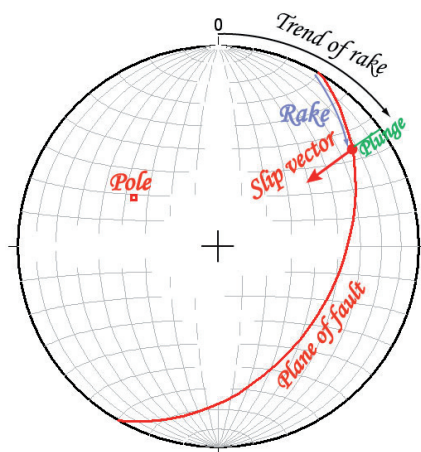


شکل ۲۰- نمودار گل سرخی محور چینهای موجود در جنوب گسل مشا

25.cor
Datasets: 1

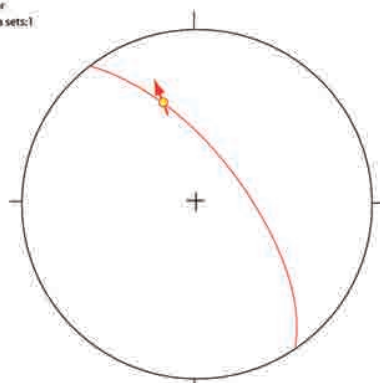


استریوگرام ۲- نمایش صفحه گسل



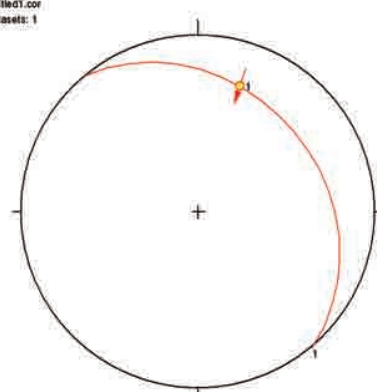
استریوگرام ۱- برآورد سازوکار یک گسل معکوس بر روی استریونت

n.cor
Data sets: 1



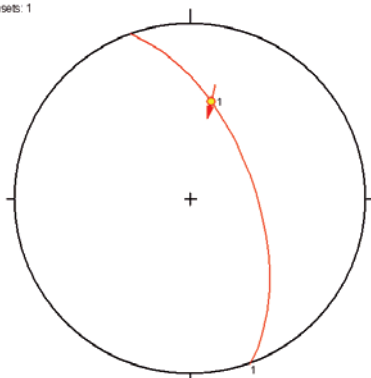
استریوگرام ۴- نمایش صفحه گسل Bf_3

untitled1.cor
Datasets: 1



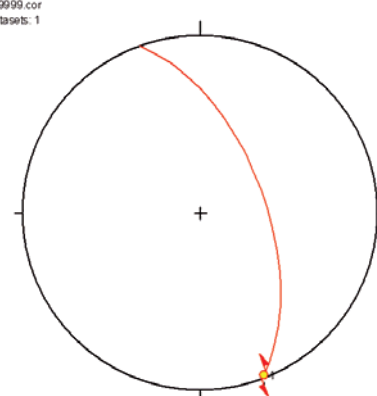
استریوگرام ۳- نمایش صفحه گسل Af_{14}

22.cor
Datasets: 1

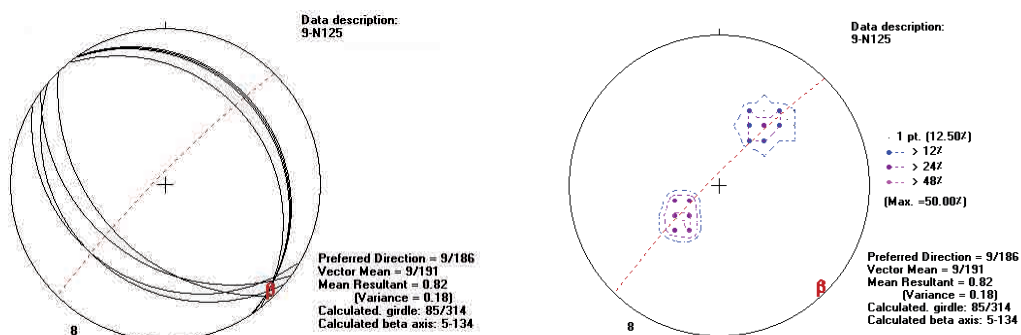


استریوگرام ۶- نمایش صفحه گسل Af_{12}

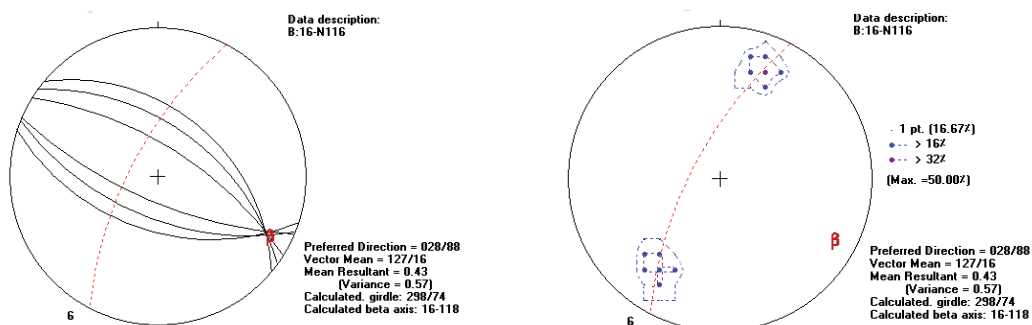
199999.cor
Datasets: 1



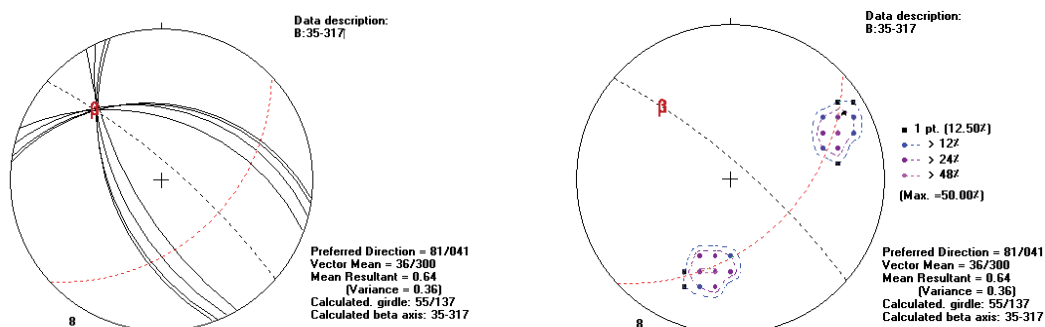
استریوگرام ۵- نمایش صفحه گسل Af_{11}



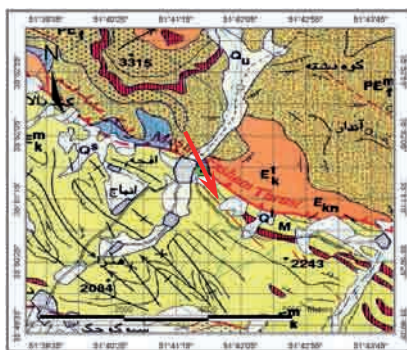
استریوگرام ۷- موقعیت محور ناودیس افجه و نمودار پربندی (کنطورد یاگرام) یالهای آن



استریوگرام ۸- موقعیت محور تاقدیس برگ جهان و نمودار پربندی یالهای آن



استریوگرام ۹- موقعیت محور تاقدیس هنزک و نمودار پربندی یالهای آن


نقشه ۱- نمایی از محل برداشت صفحه گسل Af_{15}

جدول ۱- مثالهایی از ساز و کار گسلهای موجود در زمان دو جهت تنش متفاوت

نام گسل	موقعیت صفحه گسل	بردار لغزش (ریک)	جهت تنش در زمان تشکیل و یا فعالیت دوباره	سازوکار گسل
Af_2	N63E-60SE	72	NW	معکوس
Af_6	N100-75NE	10	NW	راستالغز راستگرد
Af_8	N225-15SE	80	NW	رانندگی
Af_9	N105-70NE	2	NW	راستالغز راستگرد
Af_{11}	N160-60NE	2	NW	راستالغز چپگرد
Af_1	N40E-82SE	30	NE	نرمال با مؤلفه راستگرد
Kf_8	N100-79NE	5	NE	راستالغز چپلغز
Kf_{19}	N179-89SW	41	NE	معکوس
kf_6	N132-55NE	88	NE	معکوس با مؤلفه چپلغز

جدول ۲- مشخصات هندسی چینهای منطقه

نام چین	موقعیت چین نسبت به گسل مشا	محل چین	موقعیت محور چین	نوع چین بر اساس زاویه بین پهلوها	نوع چین بر اساس خطوط همشیب
ناودیس افجه	شمال گسل مشا	جنوب روستای افجه	5/134	باز	2
تاقدیس برگ جهان	شمال گسل مشا	غرب روستای برگ جهان	5/118	باز	1A
تاقدیس هنزک	شمال گسل مشا	غرب روستای هنزک	35/317	باز	1C
ناودیس گرچال	جنوب گسل مشا	شمال روستای افجه	18/035	ملازم	1A

کتابنگاری

سلیمانی، ش.، فقهی، خ.، شبانیان، ا.، عباسی، م. و ریتس، ژ. ف.، ۱۳۸۱- بررسیهای دیرینه لرزه‌شناسی مقدماتی بر روی گسل مشا در دره مشا. برنامه ملی تحقیقات شماره ۵۰۰۴ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ص ۲۳-۴۹.

عباسی، م. و شبانیان بروجنی، ا.، ۱۳۸۴- تعیین وضعیت تنش به روش برگشتی از صفحه‌های گسلی لبه جنوبی البرز مرکزی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۵، ص ۲-۱۷.

عباسی، م. و فرید، ی.، ۱۳۸۳- مقدمه‌ای بر تعیین وضعیت تنش به کمک روش برگشتی صفحه‌های گسلی و خط خشکهای مربوطه، فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۴، ص ۲-۹.

نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خاور تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۱۳۷۴.

References

- Allen, M. et al., 2003 - Accommodation of Late Cenozoic Oblique Shortening in the Alborz range. Journal of structural geology 25, P.659-672.
- Axen, G. J. et al., 2001- Exhumation of the west- central Alborz mountain , Iran , Caspian subsidence, and collision - related tectonics. Geology; V.29; no.6; p.559-562.
- Berberian, M. and Yeats, R. S., 2001- Contribution of archaeological data to studies of earthquake history in the Iranian plateau, Journal of Structural Geology 23, P. 563-584.
- Jackson, J. et al., 2002- Active tectonics of the south Caspian basin. Geophysical Journal International 148, P. 214-245. Gephart, J. W., 1990- Stress and the direction of slip on fault planes. Tectonics, V.9, No.4, P.845-858.
- Ramsay, J. G., Huber, M. I., 1987- The techniques of modern structural geology, Vol.2 : Folds and Fractures, p.309- 462.