

تحلیل تنش دیرینه در سنگ‌های آذرین و رسوبی شمال قزوین در بازه زمانی ائوسن

نیر بایسته هستی^۱، عبدالله سعیدی^۲ و علیرضا شهیدی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی و احد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
^۲ دکتر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۱۳

چکیده

به منظور ارزیابی و تحلیل تنش دیرینه در منطقه مورد مطالعه، سطوح برشی دارای خش‌لغزش و صفحات گسلی اندازه‌گیری و تنسور تنش و تغییرات جهت تنش در واحدهای سنگی محاسبه شده است. برای این منظور ۱۸۶ صفحه گسلی و خش‌لغزش‌های مربوط به آنها در ۱۲ ایستگاه بررسی شد و پس از اندازه‌گیری آنها، تغییرات تنش از ائوسن و کمی پس از آن به کمک روش وارونه‌سازی آنزلیه (Angelier, 1991) بررسی شد. پس از گردآوری اطلاعات لازم، داده‌ها بر پایه رخداد‌های زمین‌ساختی دسته‌بندی و با استفاده از نرم‌افزار آنزلیه، محورهای اصلی تنش و جهت مربوط به هر ایستگاه محاسبه شد؛ با توجه به این که تنش چیره در منطقه از نوع کششی است و با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها می‌توان بیان کرد که در زمان ائوسن در این بخش از البرز باختری (شمال قزوین) جهت کشش چیره در سنگ‌های آذرین و رسوبی منطقه NE-SW است. این جهت‌یافتگی به وسیله دایک‌های موجود در منطقه نیز تأیید می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تنش دیرین، خش‌لغزش، تنسور تنش، روش وارونه‌سازی.

*نویسنده مسئول: نیر بایسته هستی

E-mail: hasty.bayeste@yahoo.com

۱- پیش‌گفتار

محدوده مورد مطالعه در $36^{\circ} 30' 00''$ تا $50^{\circ} 00' 00''$ طول‌خاوری و $36^{\circ} 00' 00''$ تا $36^{\circ} 30' 00''$ عرض شمالی جای گرفته است (برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ قزوین). این منطقه در برگیرنده بخشی از رشته‌کوه‌های البرز مرکزی و باختری است. منطقه مورد بررسی در محدوده شمالی شهر قزوین است، که بین استان‌های تهران در خاور و استان قزوین در باختر جای گرفته است (شکل ۱).

رشته‌کوه‌های ناحیه دارای راستای کلی شمال باختری- جنوب خاوری بوده و بلندی‌های شمال قزوین یعنی الموت را در بر می‌گیرد (شکل ۲). با توجه به گوناگونی و ترکیب سنگ‌ها و نهشته‌ها می‌توان پی برد که نوع و شکل فرسایش و گسترش سنگ‌های کسان نیست. آنچه‌ان که بخش‌های سست بیشتر شامل سازند سرخ بالایی بوده که به‌طور معمول مارنی است و تپه‌های ملایم را پدیدار ساخته و به‌طور عموم سازندهای فجن و کرج که به‌ترتیب دارای جنس کنگلومرا و توف است؛ دره‌های ۷ شکل و به نسبت ژرف را پدیدار ساخته‌اند. سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی اعم از دایک‌ها در برخی مناطق دارای پراکندگی بیشتری بوده و لایه‌بندی‌ها را به‌طور عموم به‌صورت قائم قطع کرده‌اند و فرایند فرسایش نیز به نوبه خود آنها را بیشتر در معرض دید قرار داده است. دره‌های پدید آمده در این نواحی به‌طور معمول تنگ و ژرف بوده و شیب توپوگرافی گاهی به ۶۰ تا ۷۰ درجه می‌رسد. زمین‌لغزش‌های (Land Slide) گوناگونی در نواحی با خاک سست به دلیل همین افزایش شیب قابل دید است. رشته‌کوه‌هایی با روند شمال باختری، جنوب خاوری دشت قزوین را از الموت جدا می‌کند.

منطقه مورد بررسی نزدیک به مرز بین البرز مرکزی و باختری قرار گرفته است. مرز بالایی آن به‌وسیله گسل بزرگ البرز از منطقه کاسپین جدا می‌شود. در داخل آن نیز گسل آبیگ- فیروزکوه جای گرفته و شامل سامانه یا راندگی مشا- فشم در دامنه جنوبی البرز است؛ که دارای شیبی به سوی شمال است. این سامانه گسلی، البرز مرکزی را به دو بخش مرتفع (شمالی) و کم‌ارتفاع (جنوبی) تقسیم کرده است. گسل بزرگ البرز (که در نقشه‌های زمین‌شناسی با حرف A نشان داده می‌شود) شیبی به سوی جنوب داشته و از نوع راندگی است و حرکت افقی چپ‌برداشته که فرورفتگی

دریای خزر و ریخت‌شناسی دشت‌های گیلان و مازندران به دلیل پایین رفتن بخش شمالی آن است.

بر پایه اطلاعات بالا و با توجه به ویژگی‌های شکننده محدوده و وجود سطوح شکستگی و برشی فراوان می‌توان از نظر دینامیکی، منطقه را مورد بررسی قرار داد. بنابراین تحلیل‌های تنش دیرینه می‌تواند کمک شایانی در پی بردن به نحوه تشکیل ساختارها باشد.

۲- روش مطالعه و بحث

یکی از فنون متداول امروزی بازسازی تنش دیرینه بر مبنای تحلیل داده‌های زمین‌ساخت شکننده است.

در زمین‌شناسی و ژئوفیزیک، اندازه‌گیری‌های محلی جهت تنش امروزی و تنش دیرینه مرسوم است. در طی چند دهه اخیر، روش‌های بسیاری برای بازسازی تنش و تنش دیرینه محلی گسترش یافته است. این گونه اندازه‌گیری‌های محلی تنش دیرینه نه تنها توصیف سازوکارهای محلی را ممکن می‌سازد، بلکه در شناسایی زمین‌ساخت ناحیه‌ای در مقیاس صفحه‌ای نیز کمک شایانی می‌کند. البته برای دست‌یابی به این هدف، باید مطالعات بر مبنای بازسازی منظم و قانونمند رژیم‌های تنش پیش‌رونده، در سکوه‌های قاره‌ای باشد. مطالعه دگرشکلی شکننده در سکوه‌های قاره‌ای کلیدی برای بازسازی تحولات ناحیه‌ای است. روش‌های متفاوتی برای تحلیل داده‌ها به‌وسیله دانشمندان بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. از میان روش‌های موجود برای اندازه‌گیری تانسورهای تنش دیرینه، روش‌های ریاضی مبتنی بر وارونه‌سازی داده‌های لغزش گسلی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. اینگونه تحلیل‌ها از تانسور تنش، می‌تواند برای سازوکار کانونی زمین‌لرزه نیز کاربرد داشته باشد. به تازگی تحلیل ساختارهای کششی و فشارشی (درزه‌ها و استیلولیت‌ها) نیز در کنار این روش‌ها قرار گرفته‌اند (Angelier, 1984). در این پژوهش بررسی‌های دقیق صحرایی بر مبنای داده‌های لغزش گسلی صورت گرفته و از روش وارونه‌سازی استفاده شده است. این روش بر مبنای روابط تنش- برش و وارونه‌سازی است.

پس از تشخیص خطوط خش لغز و برداشت مشخصات آنها، سوی لغزش مشخص شده است.

سوی لغزش اهمیت بسیاری دارد و تشخیص آن می‌تواند کمک شایانی در بررسی و یافتن محورهای تنش کند. بنابراین، ابتدا سوی لغزش در هر یک از موارد ثبت شده با توجه به نشانه‌ها و شاخص‌های مربوط مشخص شده است. این شاخص‌ها انواع مختلفی از ساختارهای نامتقارنی هستند که در سطح گسل یا صفحه لغزشی دیده شده‌اند. در هر یک از این ایستگاه‌ها از میان موارد دیده‌شده روی صفحات گسلی-لغزشی می‌توان به معیارهای زیر اشاره کرد.

- (۱) پله‌های تجمعی کانی‌ها،
- (۲) نشان‌های جریان‌های زمین‌ساختی (تول‌مارک‌های زمین‌ساختی)،
- (۳) زبر یا صیقلی بودن صفحه لغزش،
- (۴) شکستگی‌های ریدل،
- (۵) قله‌های استیلوبیتی در سطوح انحلال فشاری ساختاری،
- (۶) بازشدگی‌های کششی.

در نهایت با توجه به این معیارهای دیده‌شده و اصول تشخیص سوی لغزش، (Angelier, 1984) نوع حرکت و جابه‌جایی صورت گرفته روی هر صفحه تعیین شده است.

در هر ایستگاه افزون بر صفحات گسلی و لغزشی و خش لغزش‌های آنها، موقعیت و جهت‌گیری صفحات لایه‌بندی نیز اندازه‌گیری شده است. همچنین سعی شده است تا در صورت دیدن دیگر ساختارهای زمین‌ساختی از جمله محورهای چین، بازشدگی‌ها و درزه‌های کششی اطلاعات مورد نیاز برداشت شود.

به‌طور کلی تطابق‌های زمانی در صورت دیدن چندین جهت از خطوط خش لغز روی یک صفحه، توسط لغزش‌های پی‌درپی و همچنین بر مبنای دلایل هندسی صورت گرفته است.

دیگر معیارها مانند دسته‌درزه‌های مزدوج هم‌زمان با رسوب‌گذاری یا درزه‌های در ارتباط با چین‌خوردگی‌ها (هم‌زمان یا پس از چین‌خوردگی) نیز در این خصوص مد نظر قرار گرفته‌اند. بنابراین در هر ایستگاه، از موقعیت فضایی سطح لایه‌بندی به‌عنوان معیاری برای تعیین سن نسبی شکل‌گیری درزه نسبت به دگرشکلی ناشی از کج‌شدگی و چین‌خوردگی استفاده شده است.

در هر یک از این ۱۲ ایستگاه، کلیه اطلاعات موجود و برداشت‌های انجام شده، ابتدا به‌صورت کلی در یک استریوپلات پیاده شده است. در بیشتر ایستگاه‌ها دسته داده‌ها به‌صورت ناهمگن دیده می‌شوند. این دسته‌ها به‌طور معمول به دو یا چند وضعیت دیرینه‌تنشی تعلق دارد که می‌تواند رژیم کششی، فشارشی و یا رژیم راستا لغز باشند.

از این رو دگرشکلی‌های چندفازی که می‌توانند در نتیجه فازهای اصلی زمین‌ساختی یا تغییر محورهای تنش در طی یک فاز زمین‌ساختی باشند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این خصوص، جهت لغزش روی گسل‌های متعدد با عملکردهای متفاوت باید شناخته شده باشد تا از این راه بتوان به ماهیت تنش پی برد.

برخی از گسل‌های برداشت‌شده در چندین ایستگاه چندین جهت خطوط خش لغز دارند که نشان‌دهنده تغییر جهت لغزش در طی زمان است و تأیید می‌کند که گسل در یک راستای ثابت و مشخص فعالیت نداشته است. این مطلب می‌تواند مربوط به تغییر در جهت محورهای اصلی تنش $\Phi = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 - \sigma_3} \right)$ و یا تغییر در نسبت اختلاف تنش و یا هر دو آنها باشند (قاسمی، ۱۳۸۷).

با توجه به اهمیت شناخت فازهای دگرشکلی و نیز توجه به اهمیت این مطلب که در هر ایستگاه واحدهای سنگی می‌توانند تحت تنش‌های مختلفی قرار گیرند، سعی شده است که تا حد امکان در هنگام برداشت، داده‌ها بر اساس رویدادهای زمین‌ساختی دسته‌بندی شوند، سپس در مراحل بعدی برای تحلیل داده‌ها و پیشگیری

مسئله وارونی شامل مشخص کردن تانسور اصلی تنش (T) با توجه به جهت‌ها و سوی لغزش روی گسل‌های متعدد است و فرض اصلی بر این است که هر لغزش گسلی که با خطوط لغزشی مشخص شده است، جهت و سویی از تنش برشی را داراست که به یک تانسور تنش واحد مربوط می‌شود (Angelier, 1984).

یکی دیگر از فرض‌های مشخص این مسئله این است که همه گسل‌ها در طی یک رویداد زمین‌ساختی مشابه، به‌طور مستقل حرکت کرده‌اند ولی به‌طور یکپارچه تحت یک تانسور تنش واحد بوده‌اند.

تانسور حقیقی تنش ۶ درجه آزادی دارد. افزودن تنش همسان‌گرد (Isotropic Stress) و یا ضرب تنش در یک مقدار ثابت، هیچ کدام تأثیری بر جهت و سوی لغزش روی صفحه گسلی ندارد و آن را تغییر نمی‌دهند. چنانچه T^* نشانگر تانسور حقیقی تنش و T نشان‌دهنده هر تانسوری باشد که از آن حاصل می‌شود، معادله زیر برقرار خواهد بود:

$$T = kT^* + II \quad \text{معادله (۱)}$$

k و l هر ثابتی را نشان می‌دهند (k مثبت است) و l نشان‌دهنده ماتریس تنش واحد است. تانسور T چهار درجه آزادی دارد که می‌توان تانسور تنش کاهش یافته را از آن به‌دست آورد. از آنجا که تعداد مجهول‌ها چهار و تعداد معادله‌ها (تعداد لغزش‌های گسلی) بسیار بیشتر است، می‌توان گفت که مسئله وارونی به‌طور آشکار تحت کنترل بوده و یک مدل آماری مناسب باید به کار گرفته شود تا بتواند بهترین جورشدگی را بین لغزش‌های حقیقی و تنش‌های برشی تئوریک مشخص سازد (Angelier, 1984). به کارگیری این روش در موارد عینی متعددی سازگاری بالایی را با مبانی نظری آن نشان داده و مقادیر کوچکی از زوایای میانگین (α) را مشخص کرده است. (α) زاویه بین بردار لغزش واحد یا خش لغز دیده‌شده (S) و بردار تنش تئوریک (τ) است که از حل تانسور تنش مشتق شده است و گاهی با α نشان داده می‌شود.

گردآوری داده‌ها خطاهایی را به همراه دارد و منجر می‌شود که پراکندگی در الگوهای تنش محلی رخ دهد. حرکات گسلی نیز بر روی یکدیگر تأثیر گذارند. از این رو باید در عمل بهترین جورشدگی را در بین تمام داده‌های لغزش گسلی که متعلق به یک رویداد زمین‌ساختی هستند، جستجو کرد.

برای شناخت و بررسی آرایش محورهای تنش دیرینه در این پژوهش، برداشت‌های ساختاری به شیوه مستقیم صحرایی صورت پذیرفته‌اند. برداشت‌ها در برگیرنده صفحات گسلی، سطوح لغزش گسلی مزدوج، سطوح گسلی موازی یا مقاطع نسبت به لایه‌بندی، درزه‌های کششی، سطوح لایه‌بندی، سطوح انحلال فشاری ساختاری و خط‌خش‌ها هستند.

الگوی ثبت سطوح و خطوط در این پژوهش برای بررسی داده‌ها بر پایه میزان شیب (دو رقم) و راستای شیب (سه رقم) است (Dip/ Dipdirection). به منظور تحلیل داده‌ها و تعیین آرایش محورهای تنش از راه و روش وارون‌سازی ثبت داده‌ها با الگوی آزیموت (Azimuth) امتداد (سه رقم)، مقدار و جهت شیب و زاویه ریک استفاده شده است.

اطلاعات به‌دست آمده از سطوح لغزش گسلی و اثر بریدگی این گسل‌ها در واحدهای گوناگون زمین‌شناختی با سن مختلف است. با توجه به محدودیت‌های بسیار برای عبور و دسترسی در منطقه (محدودیت‌های طبیعی) سعی شده است تا ایستگاه‌های انتخابی به‌صورت پراکنده و در برگیرنده واحدهای سنگی مختلف موجود در محدوده باشند.

داده‌های برداشت‌شده در ۱۲ ایستگاه دسته‌بندی شده‌اند. این ایستگاه‌ها در برگیرنده سازندها و واحدهای سنگی مختلف از انوسن به بعد هستند. از میان این برداشت‌ها، ۱۸۶ مورد مربوط به صفحات لغزش گسلی و خط‌خش‌های مربوط هستند که تحولات تنش را در واحدهای گوناگون سنگی در مکان‌های مختلف با سن گفته‌شده نشان می‌دهند. در هر یک از این موارد ابتدا ویژگی‌های هندسی صفحه گسلی برداشت و

نرم افزار، استریوپلات به دست آمده باز هم جهت تنش کششی چیره را در امتداد N010 مشخص کرده است.

در ایستگاه شماره پنج جنس سنگ‌ها از نوع کنگلومرای سرخ سازند فجن است، تعداد گسل‌های برداشت شده در این ایستگاه ۱۴ عدد است که پس از تفکیک داده‌ها دو استریوپلات از آن به دست آمده است. در این ایستگاه رژیم زمین‌ساختی چیره در هر دو فاز از نوع کششی است. با توجه به صفحه‌های برشی در آن جهت کشش در استریوپلات اول N080 درجه و برای استریوپلات دوم N105 درجه است. پس از چرخش داده‌ها توسط نرم‌افزار، استریوپلات به دست آمده در استریوپلات اول جهت تنش امتداد لغز را نشان می‌دهد که جهت کشش چیره در امتداد N080 مشخص شده و در استریوپلات دوم جهت کشش چیره N075 درجه است.

۲-۲. محدوده دوم

این محدوده شامل ایستگاه‌های شماره دو، سه و شش است (شکل ۴). در ایستگاه شماره دو جنس سنگ‌ها از نوع توف خاکستری رنگ سازند کرج به سن ائوسن است. شکستگی‌ها و درزه‌ها در آن کمتر بوده و به علت تازه بودن رخنمون‌ها در اثر عملیات تعریض جاده هواز دگی بر آن تأثیر ناچیزی داشته است. تعداد گسل‌های برداشت شده در این ایستگاه ۲۱ عدد است که پس از تفکیک داده‌ها دو استریوپلات از آن به دست آمده است. رژیم زمین‌ساختی چیره برای این ایستگاه در استریوپلات اول از نوع امتداد لغز بوده که با توجه به صفحه‌های برشی در آن جهت کشش چیره در استریوپلات اول N110 درجه و در استریوپلات دوم از نوع امتداد لغز بوده و دارای جهت کشش چیره N060 است.

در ایستگاه شماره سه جنس سنگ‌ها از نوع آهک زرد تا آجری رنگ سازند فجن است (شکل ۸). تعداد گسل‌های برداشت شده در این ایستگاه ۲۶ عدد است که پس از تفکیک داده‌ها دو استریوپلات از آن به دست آمده است. در این ایستگاه رژیم زمین‌ساختی چیره در هر دو استریوپلات از نوع امتداد لغز است، با این تفاوت که جهت کشش چیره در استریوپلات اول N175 و در استریوپلات دوم N00 است. پس از چرخش داده‌ها همچنان رژیم زمین‌ساختی چیره از نوع امتداد لغز است ولی امتدادها تغییر کرده و در استریوپلات اول جهت کشش چیره N00 و در استریوپلات دوم N175 است. در ایستگاه شماره شش جنس سنگ‌ها از نوع توف ماسه‌ای- توف ماسه‌ای سیلیسی به رنگ خاکستری تیره همراه با رگه‌های فراوان کلسیت است. تعداد گسل‌های برداشت شده در این ایستگاه ۹ عدد است. پس از تفکیک داده‌ها یک استریوپلات از آن به دست آمده است. رژیم زمین‌ساختی چیره در این ایستگاه از نوع امتداد لغز بوده، که جهت کشش چیره در آن N095 است، پس از چرخش داده‌ها رژیم زمین‌ساختی چیره همچنان از نوع امتداد لغز و در امتداد نزدیک به N100 است.

۲-۳. محدوده سوم

این محدوده شامل ایستگاه‌های شماره هفت، هشت، نه و ده است. در ایستگاه شماره هفت جنس سنگ‌ها از نوع کنگلومرای درشت‌دانه همراه با قله‌های آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ و توف است (شکل ۱۰). سیمان و خمیره این واحد کنگلومرای بیشتر توفی بوده و از نظر جورشدگی و گردشگی به‌طور کامل ضعیف است، آنچنانکه برخی از قطعات سازنده این واحد زاویه‌دار است. همراه با این کنگلومرا لایه‌هایی از ماسه‌سنگ توفی سرخ و توف ماسه‌ای نیز دیده می‌شود. رنگ این کنگلومرا صورتی بوده و قطعات آن بیشتر سفید رنگ هستند. تعداد گسل‌های برداشت شده در این ایستگاه ۷ عدد است که پس از تفکیک داده‌ها یک استریوپلات از آن به دست آمده است. رژیم زمین‌ساختی چیره برای این ایستگاه از نوع کششی بوده که با توجه به صفحه‌های برشی در آن، جهت کششی چیره دارای امتداد N155 است. پس از چرخش داده‌ها رژیم زمین‌ساختی چیره از نوع امتداد لغز است، که جهت کشش چیره در آن در امتداد N125 است.

در ایستگاه شماره هشت جنس سنگ‌ها از نوع توف‌های خاکستری تا بنفش

از خط‌های ناشی از محاسبه موقعیت محورهای تنش مربوطه فازهای گوناگون و سامانه‌های مختلف شکستگی، داده‌های برداشت شده از هر ایستگاه پس از تفکیک از یکدیگر در نرم‌افزارهای رایانه‌ای مربوط به‌طور جداگانه وارد شده‌اند.

در این پژوهش کلیه مراحل نرم‌افزاری تحلیل و دسته‌بندی داده‌ها توسط نرم‌افزار Angelier (1984)، انجام شده است. داده‌های متعلق به هر ایستگاه با دقت تفکیک شده و موقعیت محورهای تنش دیرینه با استفاده از نرم‌افزار Tector (Angelier, 1991) به دست آمده است.

استفاده از این روش، این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان محورهای تنش دیرینه را با سازی و جهت‌های مربوط به کشش و فشارش را محاسبه کرد. پس از محاسبه محورهای تنش یعنی σ_1 ، σ_2 ، σ_3 ، مقدار نسبت Φ متعلق به هر دسته از داده‌ها به دست آمده است. در نهایت میانگین زاویه بین لغزش واقعی روی صفحه گسلی و بردار تنش برشی ثنوری (α) محاسبه شده است. مقدار α درجه سازگاری لغزش گسلی محاسبه شده را با تنش برشی واقعی نشان می‌دهد. زوایای α با مقادیر بیش از 45° قابل قبول نبوده و ناسازگاری بالایی را نشان می‌دهند. بنابراین، هر چه مقدار این زاویه کمتر باشد، درجه اطمینان بیشتر خواهد بود (Angelier, 1990).

با توجه به به روش وارونگی و دسته‌بندی داده‌ها، اطلاعات حاصل از هر ایستگاه تحلیل شده‌اند. دسته داده‌های موجود در هر ایستگاه گاهی متعلق به دو یا چند وضعیت تنش بوده که مربوط به رژیم کششی، فشارشی یا راستالغز هستند. از این رو در هر ایستگاه دو یا چند استریوپلات از استریوپلات کل مشتق شده است. در هر کدام یک رژیم زمین‌ساختی خاص متعلق به واحد سنگی مربوط مشاهده شد. در استریوپلات مربوط به هر یک از این ایستگاه‌ها خط‌چین‌ها نمایانگر موقعیت لایه‌بندی، خطوط پیوسته به‌همراه نقاط توپر نشان‌دهنده صفحه‌های لغزشی- گسلی و خش لغزش و پیکان‌های مشخص شده نمایانگر سوی حرکت است. در برخی از ایستگاه‌ها درزه‌های کششی با خطوط پیوسته و ساده نشان داده شده است. موقعیت‌های σ_1 ، σ_2 ، σ_3 در هر استریوپلات به ترتیب با ستاره‌های ۵پر، ۴پر و ۳پر مشخص شده است و سرانجام جهت نهایی کشش یا فشارش با پیکان‌های توپر نشان داده شده است. در این پژوهش ایستگاه‌ها با توجه به موقعیت محلی دسته‌بندی و بررسی شده‌اند. در این بررسی ۴ محدوده مشخص شده که در سازندهای کرج، کنگلومرای فجن و در بعضی نقاط زیارت است، که بیشتر دارای سن چینه‌شناختی ائوسن تا ائوسن میانی هستند. در این محدوده هر سه نوع گسل عادی، وارون و امتداد لغز دیده شده ولی بیشتر گسل‌ها، امتداد لغز است. در تمامی ایستگاه‌ها، برداشت داده‌ها بر اساس مشاهده سامانه‌های درزه‌ای و صفحه‌های برشی و همچنین اندازه‌گیری لایه‌بندی در محل صورت گرفته است.

۲-۱. محدوده اول

این محدوده در بردارنده ایستگاه‌های شماره یک، شماره چهار و شماره پنج است (شکل ۳). در ایستگاه اول جنس سنگ‌ها از نوع توف آندزیتی سازند کرج بوده که ۴ گسل در آن برداشت شده است (شکل ۹). پس از تفکیک داده‌ها یک استریوپلات از آن به دست آمده است. در این ایستگاه رژیم زمین‌ساختی چیره از نوع فشارشی بوده و با توجه به صفحه‌های برشی در آن جهت فشارش در امتداد N060 درجه مشخص شده است. پس از چرخش داده‌ها توسط نرم‌افزار، استریوپلات به دست آمده جهت تنش کششی را چیره نشان داده و با توجه به صفحه‌های برشی در آن جهت کشش چیره در امتداد N010 مشخص شده است.

در ایستگاه چهارم جنس سنگ‌ها از نوع آندزیت- آندزیت بازالت به رنگ بنفش است، تعداد گسل‌های برداشت شده در این ایستگاه ۹ عدد است که پس از تفکیک داده‌ها یک استریوپلات از آن به دست آمده است. رژیم زمین‌ساختی چیره برای این ایستگاه از نوع کششی بوده و با توجه به صفحه‌های برشی در آن جهت کششی در امتداد N010 درجه مشخص شده است. پس از چرخش داده‌ها توسط

و دایک‌ها و امتداد آنها نیز است. در این نمودار تنها برای بیان میزان شیب رسم شده و جهت شیب‌ها در آن بیان نشده است. با توجه به مطالعات صورت گرفته و تحلیل‌های انجام شده، یک سری بررسی‌های آماری نیز با نرم‌افزار استریونت انجام شده که به شرح زیر است.

در این پژوهش، از داده‌های لغزش گسلی به‌عنوان داده‌های اصلی برای تحلیل تنش دیرین استفاده شده است. با استفاده از این داده‌ها، ابتدا به محدوده‌بندی منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. بر این پایه، منطقه که شامل ۱۲ ایستگاه بوده به ۴ محدوده جداگانه تفکیک شده، که بر اساس نزدیک بودن ایستگاه‌ها از بعد مسافت، به یکدیگر صورت پذیرفت؛ سپس به تحلیل تنش دیرین در هر یک از ایستگاه‌ها به تفکیک فازهای تنش پرداخته شد.

در مرحله بعد، پس از رسم نمودارهای گل‌سرخ و بررسی آرایش گسل‌ها در هر محدوده تفکیک شده، بر پایه میدان تنش میانگین به‌دست آمده از هر ایستگاه، نمودارها تحلیل شد. با توجه به نمودار گل‌سرخ رسم شده برای دایک‌های منطقه مورد مطالعه بیشترین دایک‌ها راستای ۱۴۰ تا ۱۵۰ درجه آزیموتی یعنی امتداد شمال باختر- جنوب خاور دارند. از نمودار به‌دست آمده از گسل‌های همه ایستگاه‌ها می‌توان به این نکته پی برد که بیشترین امتداد گسل‌ها از ۳۰ تا ۶۰ درجه بوده که دارای روند کلی شمال خاور - جنوب باختر است. این روند عکس جهت کشش اصلی است که به‌طور کامل روشن است. نمودار گل‌سرخ گسل‌های عادی نشان‌دهنده این است که این گسل‌ها پیش از چرخش روند عمومی خاصی را دنبال نمی‌کنند و بیشتر جنوبی هستند، ولی پس از چرخش، جهت جنوب خاوری را نشان می‌دهند.

تعداد گسل‌های رانندگی در منطقه مورد مطالعه بسیار کم است. روند عمومی بیشتر این گسل‌ها پیش از چرخش داده‌ها، شمال خاوری - جنوب باختری است. ولی پس از چرخش، روند آن عوض شده و جنوب باختری را نشان می‌دهد. در نمودار گل‌سرخ ۵۱ گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر، جهت تنش فشارشی افقی و تنش کششی شمالی- جنوبی است و پیش و پس از چرخش به‌طور نزدیک به هم یک امتداد اصلی خاوری دارد. در نمودار گل‌سرخ ۵۳ گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر، جهت تنش فشارشی نزدیک به افق و تنش کششی نیز نزدیک به شمالی- جنوبی است. نمودار گل‌سرخ این گسل‌ها پیش از چرخش دارای روند جنوبی است و پس از چرخش بیشتر جهت شمال را نشان می‌دهد. نمودار گل‌سرخ ۵۱ گسل‌های امتدادلغز راست‌بر، جهت تنش فشارشی نزدیک به شمالی- جنوبی و تنش کشش نزدیک به خاوری- باختری را نشان می‌دهد. در نمودار گل‌سرخ ۵۳ گسل‌های امتدادلغز راست‌بر، جهت تنش فشارشی نزدیک به شمالی- جنوبی و تنش کشش نزدیک به خاوری- باختری است. نمودار رسم شده پیش و پس از چرخش جهت شمال باختر- جنوب خاور را نشان می‌دهد که با جهت‌یافتگی دایک‌ها در منطقه همخوانی دارد.

بنابراین بر اساس این تحلیل‌ها، می‌توان این گونه برداشت کرد که جهت عمومی کشش در منطقه شمال قزوین راستای نزدیک به شمالی- جنوبی دارد. این مطلب را می‌توان با جهت‌گیری عمومی دایک‌ها و همچنین راستای جهت کشش در گسل‌های عادی منطقه اثبات کرد. البته می‌توان به جهت‌گیری عمومی گسل‌ها نیز اشاره کرد که با بررسی نمودار گل‌سرخ آن در شکل ۱۱ به روشنی قابل درک است. در این میان می‌توان به نمودار گل‌سرخ گسل‌های امتداد لغز نیز اشاره کرد که با راستای عمومی گسل‌ها همخوانی دارد.

است که همراه با ریزدانه‌های سفید رنگ است. رگه‌های سفید کلسیتی نیز در تمام جهات درون سنگ دیده می‌شود. بعضی از سطوح گسلی نیز با لایه‌های کلسیتی پوشانده شده است. تعداد گسل‌های برداشت شده در این ایستگاه ۱۴ عدد است، که پس از تفکیک داده‌ها دو استریوپلات از آن به‌دست آمده است. در این ایستگاه رژیم زمین‌ساختی چیره در فاز اول از نوع کششی بوده و جهت کشش چیره در این فاز دارای امتداد N180 است که پس از چرخش داده‌ها به امتداد N162 رسیده است، رژیم زمین‌ساختی چیره در فاز دوم از نوع امتداد لغز است که جهت کشش چیره در آن در امتداد N149 است و پس از چرخش داده‌ها به N147 تغییر می‌یابد.

در ایستگاه شماره نه جنس سنگ‌ها از نوع توف خاکستری تا بنفش است. خطوط لغزش در این ایستگاه بیشتر صیقلی تا مخمط است. تعداد گسل‌های برداشت شده در این ایستگاه ۱۲ عدد است، که پس از تفکیک داده‌ها دو استریوپلات از آن به‌دست آمده است. در این ایستگاه رژیم زمین‌ساختی چیره در فاز اول از نوع فشارشی است و جهت فشارش چیره در آن در امتداد N053 بوده که پس از چرخش داده‌ها به N035 تغییر یافته است. و رژیم زمین‌ساختی چیره در فاز دوم از نوع امتدادلغز است، که جهت کشش چیره در آن در امتداد N003 و پس از چرخش داده به امتداد N007 تغییر یافته است.

در ایستگاه شماره ده جنس سنگ‌ها از نوع توف‌های آندزیتی با برش‌های هیالوکلاستیک به‌صورت خرد شده و دگرسان شده است. تعداد گسل برداشت شده در این ایستگاه ۱۰ عدد است، که پس از تفکیک داده یک استریوپلات از آن به‌دست آمده که رژیم زمین‌ساختی چیره در این ایستگاه از نوع امتداد لغز است؛ جهت کشش چیره در امتداد N023 بوده که پس از چرخش داده‌ها به امتداد N025 تغییر یافته است.

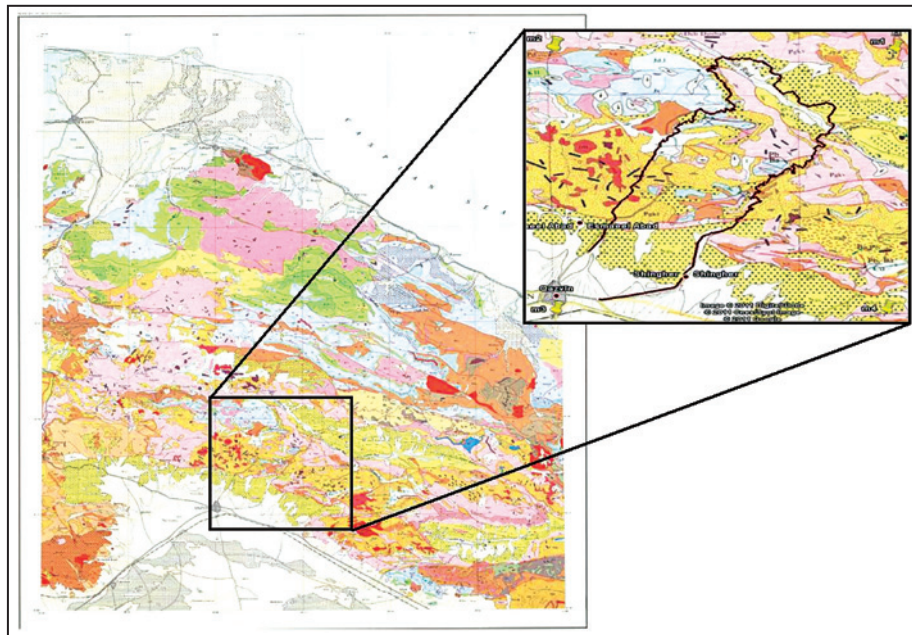
۲-۴. محدوده چهارم

این محدوده شامل ایستگاه‌های یازده و دوازده است. در ایستگاه شماره یازده جنس سنگ‌ها از نوع توف آندزیتی خاکستری تا بنفش است و در برخی جاها برش‌های هیالوکلاستیک نیز دیده شده است. تعداد گسل برداشت شده در این ایستگاه ۱۸ عدد است که پس از تفکیک داده‌ها دو استریوپلات از آن به‌دست آمده است. در استریوپلات اول رژیم زمین‌ساختی چیره از نوع امتدادلغز است و جهت کشش چیره در آن در امتداد N126 است و پس از چرخش داده‌ها به امتداد N124 تغییر یافته است. در استریوپلات دوم رژیم زمین‌ساختی چیره از نوع کششی و دارای امتداد N160 بوده که پس از چرخش داده‌ها به امتداد N163 تغییر یافته است.

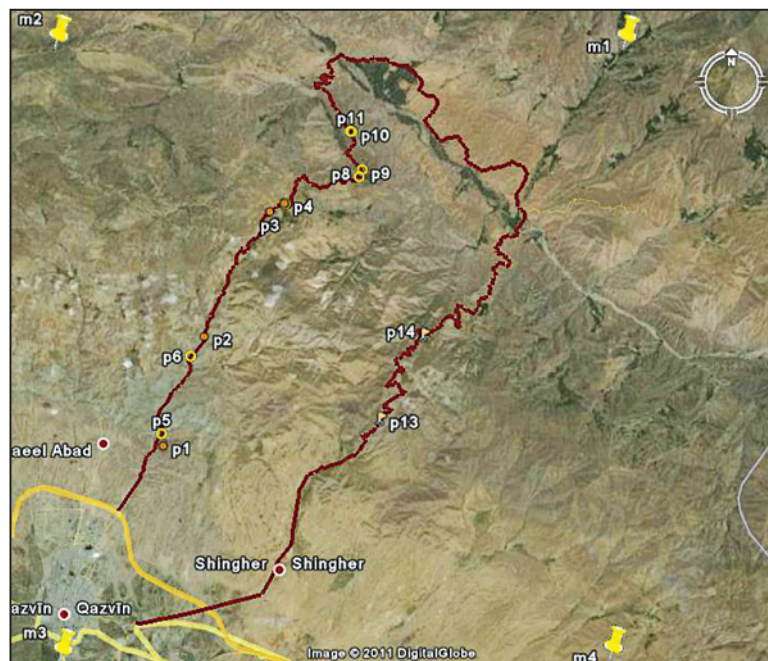
در ایستگاه شماره دوازده جنس سنگ‌ها از نوع توف‌های خاکستری است. انواع برش‌های ریدل در این ایستگاه قابل دیدن است. تعداد گسل‌های برداشت شده در این ایستگاه ۴۶ عدد است که پس از تفکیک داده‌ها دو استریوپلات از آن به‌دست آمده است. در استریوپلات اول رژیم زمین‌ساختی چیره از نوع امتدادلغز و جهت کشش چیره در آن در امتداد N169 بوده که پس از چرخش داده به امتداد N159 تغییر یافته است و در استریوپلات دوم نیز که دارای رژیم زمین‌ساختی امتدادلغز است، جهت کشش چیره در امتداد N093 است که پس از چرخش داده‌ها به امتداد N095 تغییر یافته است.

۳- نتیجه‌گیری

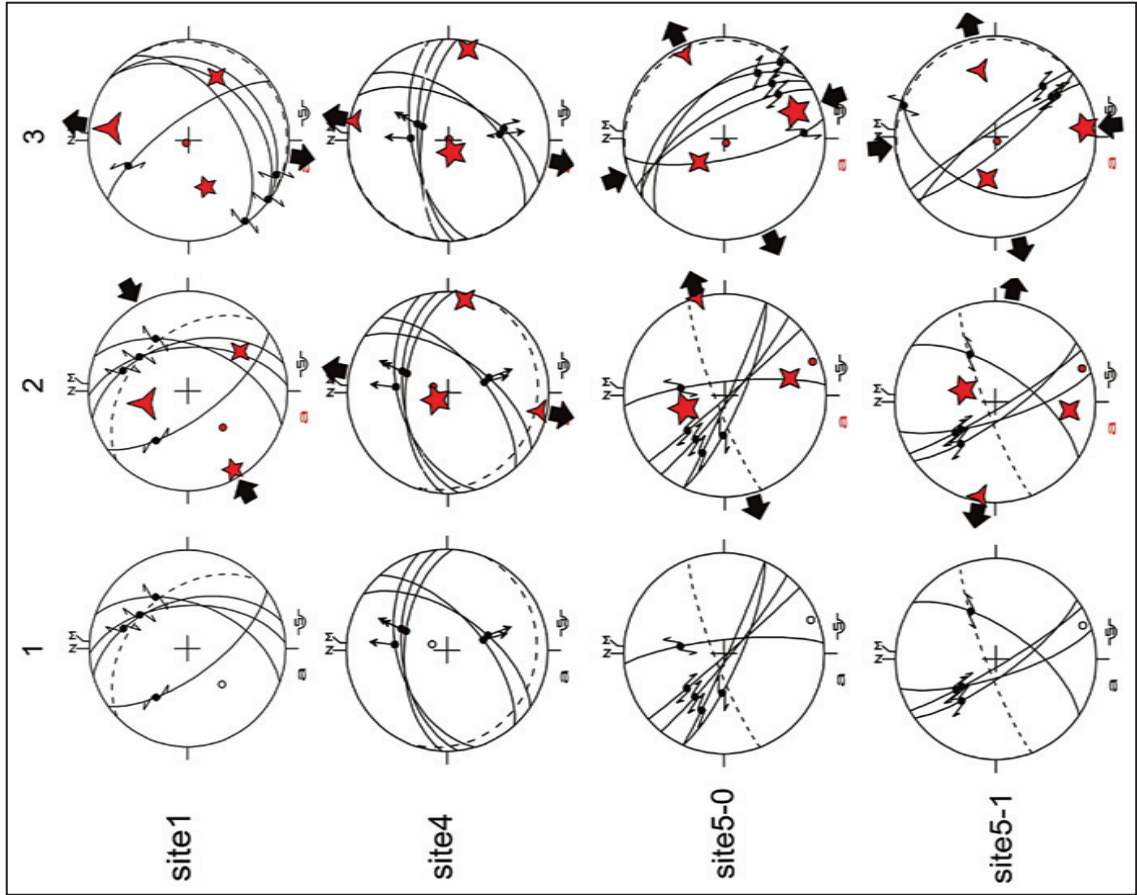
برای بررسی فراوانی شیب و امتداد و موقعیت گسل و همچنین امتداد اصلی کشش در منطقه برای هر دسته گسل تفکیک شده و دایک‌های موجود در منطقه، نمودار گل‌سرخ رسم شده است. این نمودار افزون بر راستای گسل، شامل شیب گسل‌ها



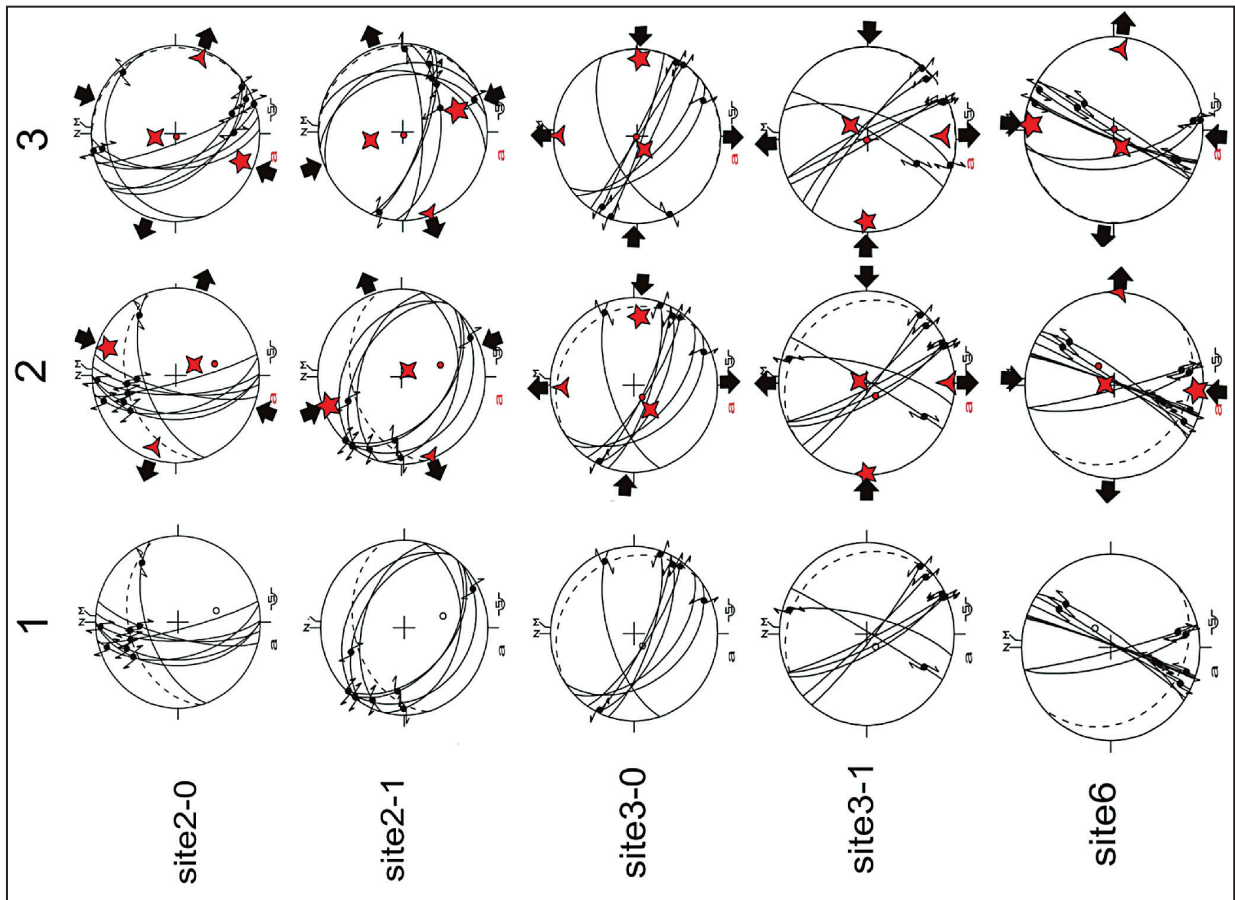
شکل ۱- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه- شمال قزوین (Annells et al., 1985).



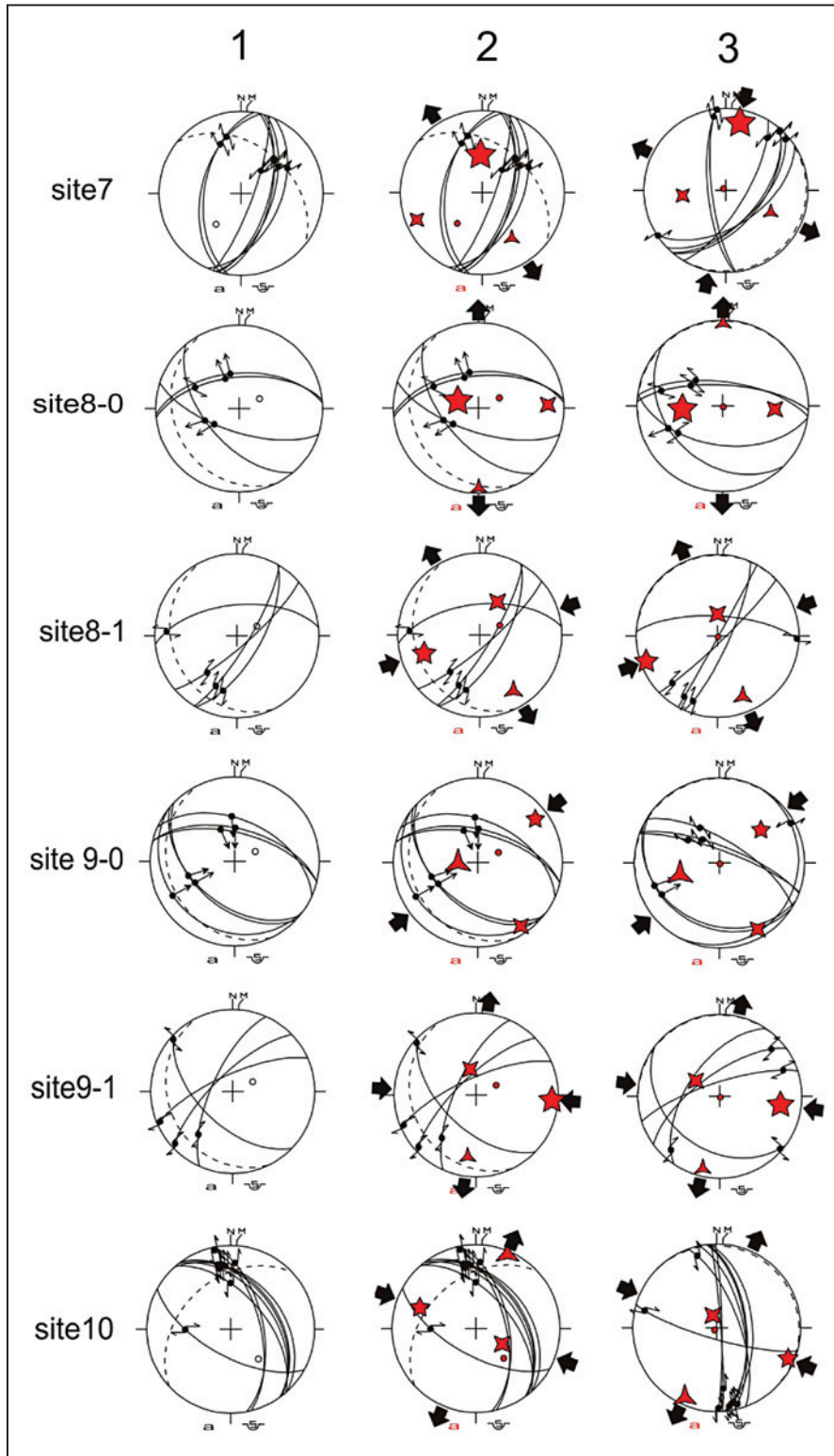
شکل ۲- پراکندگی ایستگاه‌ها در منطقه شمال قزوین (تصویر ماهواره‌ای از ماهواره Google Earth- Spot).



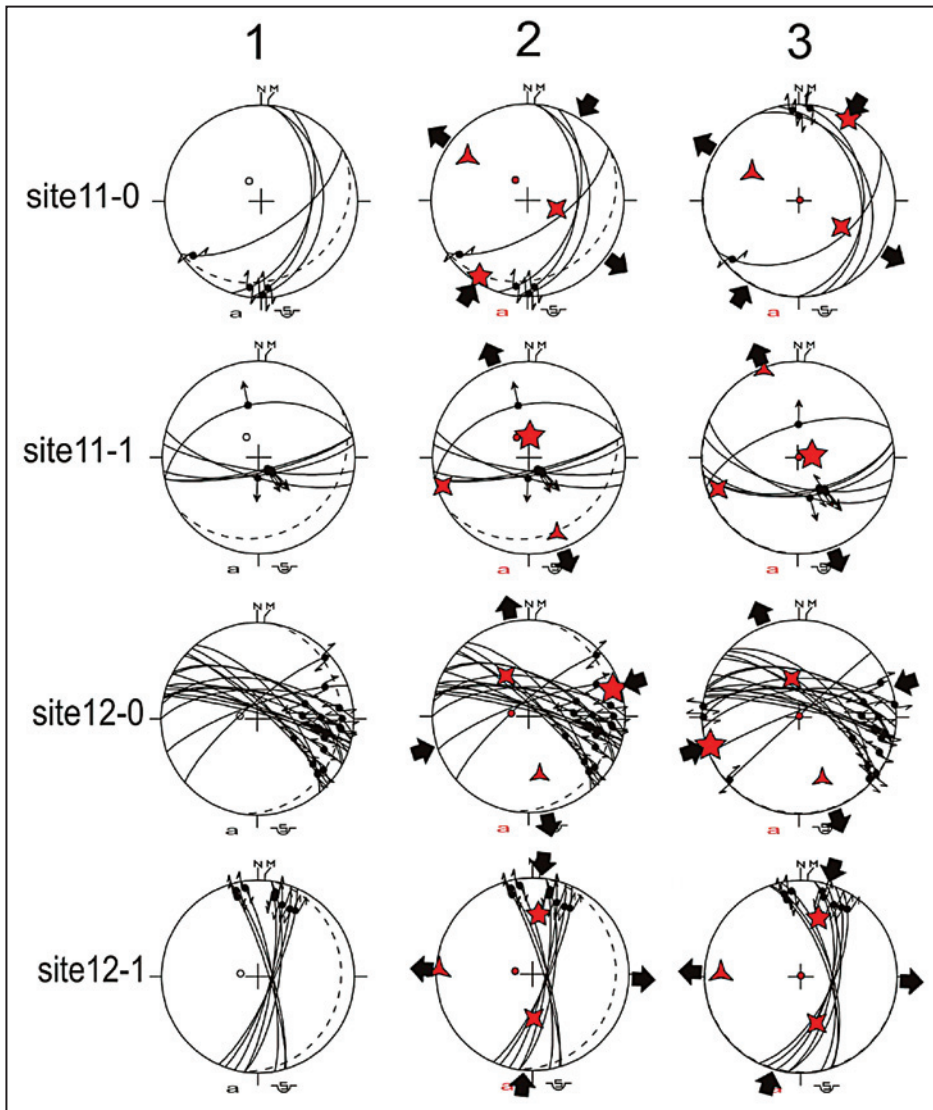
شکل ۳- جهات تنش در ایستگاه‌های یک، چهار و پنج (۱) گسل‌ها به‌همراه لایه‌بندی؛ (۲) جهت تنش امروزی؛ (۳) جهت تنش پس از چرخش، فلش‌ها جهت تنش کلی را نشان می‌دهد. ستاره پنج‌پر نشان‌دهنده σ_1 و ستاره چهارپر نشان‌دهنده σ_2 و ستاره سه‌پر نشان‌دهنده σ_3 است.



شکل ۴- جهات تنش در ایستگاه‌های دوه و سه و شش؛ (۱) گسل‌ها به‌همراه لایه‌بندی؛ (۲) جهت تنش امروزی؛ (۳) جهت تنش پس از چرخش، فلش‌ها جهت تنش کلی را نشان می‌دهد. ستاره پنج‌پر نشان‌دهنده σ_1 و ستاره چهارپر نشان‌دهنده σ_2 و ستاره سه‌پر نشان‌دهنده σ_3 است.



شکل ۵- جهات تنش در ایستگاه‌های هفت، هشت، نه و ده. (۱) گسل‌ها به همراه لایه‌بندی؛ (۲) جهت تنش امروزی؛ (۳) جهت تنش پس از چرخش. فلش‌ها جهت تنش کلی را نشان می‌دهد. ستاره پنج‌پر نشان‌دهنده σ_1 و ستاره چهارپر نشان‌دهنده σ_2 و ستاره سه‌پر نشان‌دهنده σ_3 است.



شکل ۶- جهات تنش در ایستگاه‌های یازده و دوازده. (۱) گسل‌ها به همراه لایه‌بندی؛ (۲) جهت تنش پس از چرخش. فلش‌ها جهت تنش کلی را نشان می‌دهد. ستاره پنج‌پر نشان‌دهنده σ_1 و ستاره چهارپر نشان‌دهنده σ_2 و ستاره سه‌پر نشان‌دهنده σ_3 است.



شکل ۸- سطوح گسلی و خش‌لغزهای شیاری و پلکانی در سازند کرج که همراه با هماتیت و لیمونیت هستند.



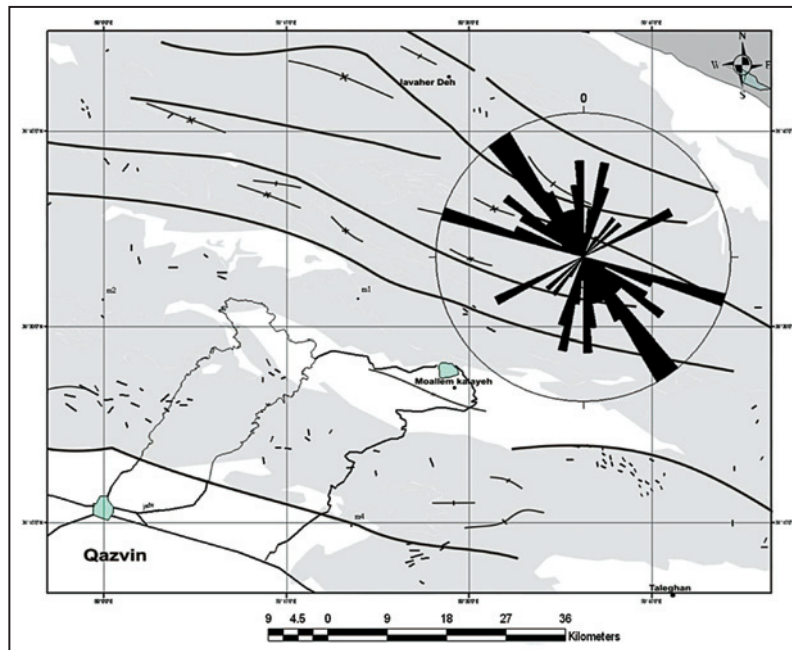
شکل ۷- سطوح خش‌لغز شیاری و پلکانی در سازند توفی کرج.



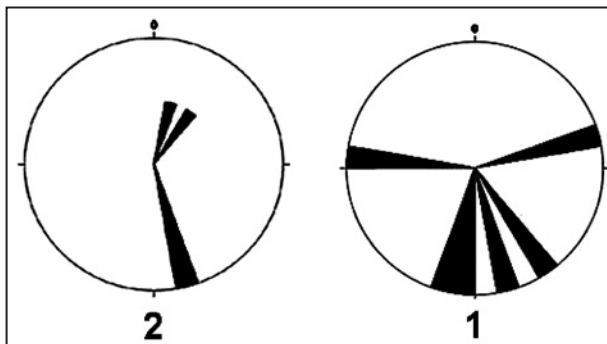
شکل ۱۰- خشخاش لغز پلکانی در کنگلومرای فجن.



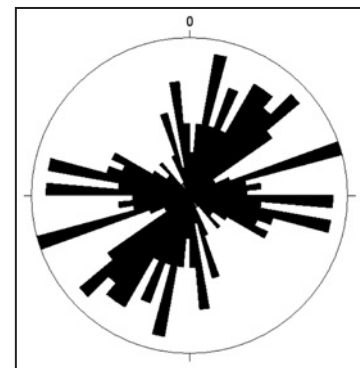
شکل ۹- خشخاش لغز شیاری در توف آندزیتی کرج.



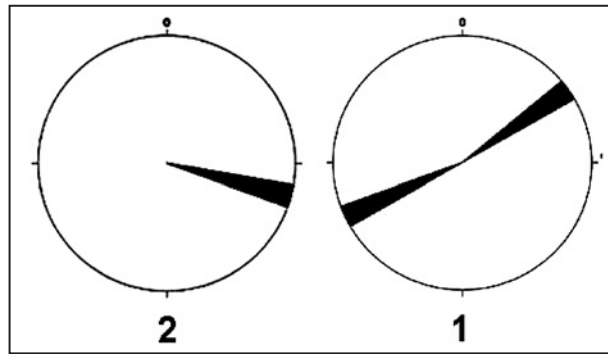
شکل ۱۱- نقشه پراکندگی دایک‌های منطقه شمال قزوین، ترکیب شده با نمودار گل سرخی امتداد بیشینه دایک‌های موجود (تعداد برداشت دایک ۶۸ مورد).



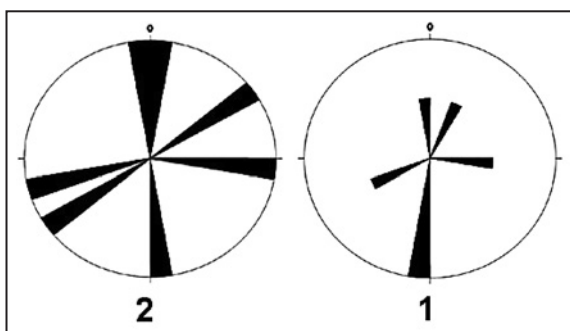
شکل ۱۳- نمودار گل سرخی گسل‌های عادی. (۱) پیش از چرخش؛ (۲) پس از چرخش.



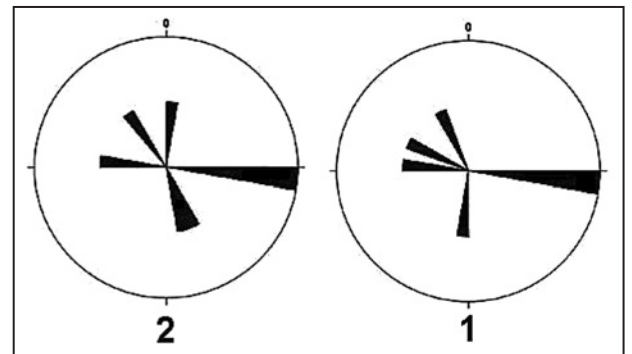
شکل ۱۲- نمودار گل سرخی امتداد همه گسل‌های برداشت‌شده در منطقه که دارای جهت کلی شمال خاور- جنوب باختر است (تعداد برداشت گسل ۱۸۸ عدد).



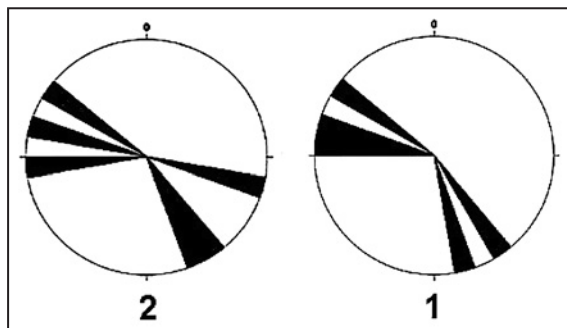
شکل ۱۴- نمودار گل سرخی گسل‌های راندگی.



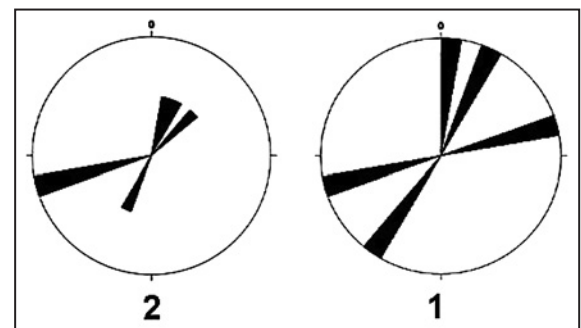
شکل ۱۶- نمودار گل سرخی σ_3 گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر.



شکل ۱۵- نمودار گل سرخی σ_1 گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر.



شکل ۱۸- نمودار گل سرخی σ_3 گسل‌های امتدادلغز راست‌بر.



شکل ۱۷- نمودار گل سرخی σ_1 گسل‌های امتدادلغز راست‌بر.

کتابنگاری

قاسمی، م.ر.، ۱۳۸۷- پایه‌های زمین‌شناسی ساختمانی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۲۰ صفحه.

References

- Annells, R. N., Arthurton, R.S., Bazley, R. A. B., Davies, R. G., Hamed, M. A. R. & Rahimzadeh, F., 1985- Geological Map of Qazvin-Rasht, 1:250,000, geological Survey of Iran.
- Angelier, J., 1984- Tectonic analyses of fault slip data sets. J. Geophys., Res. 89 (B7): 5835-5848.
- Angelier, J., 1990- Fault slip slip analysis and paleostress reconstruction. 55-63.
- Angelier, J., 1991- Chronological matrix analysis and regional succession of tectonic events. C. R. Acad. Sci. Paris, 312 (Série II): 1633-1638.

The Paleostress Analysis of Eocene Volcanic and Sedimentary Rocks in North of Qazvin City

N. Bayeste Hasty ^{1*}, A. Saidi ² & A. R. Shahidi ²

¹ M. Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Basic Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

² Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2012 February 07

Accepted: 2012 September 03

Abstract

In order to investigate the structural evolution and paleostress analysis of the study area, north of Qazvin, geometry and kinematics of the faults were measured. Following these measurements, the stress tensor and variation of stress directions in different rock units were calculated. For this purpose, 186 fault surfaces and slicken lines from 12 sites were selected and measured. The results of the dynamic analysis using Angelier's (1991) inversion method indicated that the stress direction changed during Eocene. They also show some changes in the stress field direction, which occurred after Eocene. According to our dynamic analysis on the faults, we classified the tectonic events in the study area. The principal stress axes and their directions for all sites are calculated using Angelier's software. The results of our study indicate that the main stress dominated in this area is an extension during Eocene. Analysis of the obtained data from this part of the western Alborz Mountains (north Qazvin), indicates a major NE-SW extension in the Eocene volcanic and sedimentary rocks. This extension direction is also confirmed by the direction of volcanic dykes, which have intruded in the same period in this area.

Keywords: Paleo-Stress, Sliken Side, Tensor, Inversion methods.

For Persian Version see pages 3 to 12

*Corresponding author: N. Bayeste Hasty; E-mail: hasty.bayeste@yahoo.com