

تفکیک فازهای تنش دیرین به روش برگشتی از صفحه‌های گسلی در منطقه جنوب بیرجند

سید مرتضی موسوی^۱، سید احمد علوی^۲ و محمد مهدی خطیب^۳

۱. دانشجوی دکتری تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی و عضو هیئت علمی دانشگاه بیرجند

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۲۷

تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۸

چکیده

تکوین ساختاری گستره آمیزه افیولیتی جنوب بیرجند، مستلزم اعمال فازهای متعدد تنش در درازنای تاریخ فرگشت این سرزمین می‌باشد. تفکیک فازهای مختلف به روش معکوس‌سازی چند مرتبه‌ای بیانگر این است که محور تنش پیشینه (S1) در موقعیت‌های مختلف پهنه به طور عمده جهت گیری شمال خاوری - جنوب باختری تا خاوری - باختری و محور تنش کمینه (S2) جهت گیری شمال باختری - جنوب خاوری تا شمالی - جنوبی را نشان می‌دهند. با استفاده از جهت گیری‌های تنش به دست آمده و تلفیق آنها با سایر داده‌های ساختاری برداشت شده از جمله ساختارهای فشاری (گسل‌های راندگی، روند برگ‌واره‌ها، خطواره‌ها و جهت گیری روند محور چین‌ها)، ساختارهای فشاری - برشی (انواع شکستگی‌های پهنه برشی) و ساختارهای کششی (گسل‌های امتداد لغز با مولفه نرمال، بازشدگی‌های کششی و سیگموئیدال)، درخصوص پیشینه زمین ساختی منطقه، سه مرحله فشاری، فشاری - برشی و کششی نتیجه گیری شد.

واژه‌های کلیدی: تنش دیرین، پهنه آمیزه افیولیتی جنوب بیرجند، روش معکوس‌سازی چند مرتبه‌ای

مقدمه

فازهای مختلف و گاه متضاد، تنش را در منطقه تحکیم می‌بخشد. بر این پایه با تفکیک فازها و بازسازی فرآیند شکل‌گیری، می‌توان مشخص کرد که در طی این مسیر پیشرونده زمانی، مولفه‌های تنش چه تغییراتی را پذیرفته‌اند و چه تعداد فاز تنش بر منطقه اثر کرده تا سیستم زمین ساختی کنونی پدیدار شود. از سوی دیگر قطعا بازسازی جهت‌گیری تنش‌های جدید و دیرینه علاوه بر کمک به تحلیل مکانیزم‌های محلی، در شناسایی و تحلیل زمین ساخت ناحیه‌ای در مقیاس صفحه‌ای نیز بسیار موثر بوده و در این راستا می‌توان از نتایج به دست آمده، در تفسیرهای کلی بهره گرفت.

روش مطالعه

با توجه به این اصل که الگوی تنش با زمان تغییر می‌کند،

گستره مورد مطالعه در منطقه جنوب بیرجند در حد فاصل مختصات جغرافیایی ۳۵° ۳۵' تا ۳۲° ۵۲' عرض شمالی و ۰۰° ۵۹' تا ۰۱° ۵۹' طول شرقی واقع شده است. این منطقه با توجه به تقسیم بندی زمین ساختی ایران، درحد فاصل ایالت ساختاری سیستان و لوت مرکزی قرار می‌گیرد (نوگل سادات، ۱۳۷۲)، که در اثر عملکرد سرشاخه‌های گسل نهندان به شدت خرد شده است. با توجه به شواهد زمین ساختی موجود در منطقه از جمله تشکیل ساختارهایی با ساز و کارهای متنوع (کششی و فشاری) و جهت‌گیری‌های متفاوت پهنه نسبت به جهت کلی تنش اصلی (Berberian, 1977)، امکان تشکیل میدان‌های جزئی و متفاوت تنش در فرآیند شکل‌گیری آن وجود داشته است. این شواهد فرض وجود

* نویسنده مرتبط

ثبت شده روی آن‌ها داریم. برای آن‌ها که آن‌ها را به دسته‌های گسلی با زیر مجموعه‌های کوچک مطابق با تنش‌ی که آن زیردسته را فعال نموده تقسیم کنیم، یک ضریب k برای هر زیرگروه (دارای N داده) در نظر گرفته می‌شود. مقدار k که از نظر آماری درجه خوشه‌ای شدن را نشان می‌دهد، می‌تواند بین ۲ تا ۷ متغیر باشد که برای $k = 2$ یا $k = 3$ معمولاً جواب صحیح به دست نیامده و خوشه‌هایی ساخته نمی‌شود. بنابراین برای هر دسته گسلی پارامتر k مناسب در فضای چهار بعدی به نحوی که زیر مجموعه‌های آن قابل شناسایی باشند را به دست می‌آوریم (Otsubo et al., 2006). برای تحلیل داده‌های مورد مطالعه، $k = 5$ در نظر گرفته شده است. در هر صورت تعداد زیر مجموعه‌های هر دسته که شامل N داده می‌باشد، از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$N_{ck} = N! / K! (N - K)! \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه C تعداد زیر مجموعه‌ها، N تعداد کل داده‌های لغزش گسلی و k پارامتر دلخواه مناسب می‌باشد. روش محاسبه تنسور تنش در نرم‌افزار MIM5 Otsubo and Yamaji, 2006 روش جستجوی شبکه‌ای^۳ می‌باشد که تنسور عمومی تنش‌ی که بیشترین هماهنگی را با داده‌ها دارد، محاسبه و به صورت نقاط یا مربع‌های کوچک در فضاهای چهار بعدی نمایش داده می‌شوند. در مرحله بعد، تنش برشی به دست آمده از این تنسور، با جهت بیشینه تنش برشی اندازه‌گیری شده از داده‌های میدانی، مقایسه می‌گردد و زاویه اختلاف بین آن‌ها تحت عنوان زاویه ناهمخوانی معرفی می‌شود. در این برنامه، زاویه ناهمخوانی تا ۳۰ درجه قابل قبول بوده و مقادیر بیش از این، بدلیل عدم پیروی از منحنی گوسی مورد پذیرش نرم‌افزار قرار نگرفته و از محاسبات حذف شده است. نرم‌افزار با محاسبه تنسور تنش کاهش یافته، مسیر لغزش تئوری هر زیرمجموعه را محاسبه و با داده‌های لغزش گسلی مقایسه نموده و هیستوگرام زوایای ناهمخوانی را برای آن زیرمجموعه رسم می‌کند. سپس با روش آزمون و خطا و با در نظر گرفتن کمترین زوایای ناهمخوانی و تبعیت آن‌ها از منحنی گوسی، فازهای مختلف تفکیک می‌شوند. بنابراین در هر زیر مجموعه گسلی انتخاب شده (یک فاز)، سه موقعیت محورهای اصلی تنش و شکل میدان آن مشخص می‌شود. با این روش، برای هر دسته از گسل‌های برداشت شده می‌توان دو یا چند فاز را تفکیک نمود.

موقعیت زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در محدوده پهنه آمیزه ی افیولیتی شرق کشور قرار گرفته که سن واحدهای سنگی آن جوان تر از کرتاسه میانی است. این پهنه توسط شاخه‌های پایانی گسل نهپندان با یک راستای شمال باختری - جنوب خاوری در بر گرفته شده است که جبهه شمالی آن به دشت بیرجند و جبهه جنوبی آن به کفه گیو ختم می‌گردد (شکل ۱). مهمترین مجموعه‌های سنگی منطقه

جهت انجام مطالعات تعیین و تفکیک فازهای تنش دیرین، باید از ساختارهایی که در اثر عملکرد تنش‌ها شکل گرفته و در طول زمان اثرات آن‌ها را حفظ کرده‌اند، استفاده شود. در این راستا، تحلیل کیفی و کمی ساختارهای شکننده‌ای مانند گسل، ابزار مناسبی می‌باشند. در این مطالعه، بازسازی تنش دیرینه بر مبنای تحلیل داده‌های زمین ساخت‌شکننده صورت گرفت، که از اطلاعات گسل‌های دارای خش لغز که نوع و سوی حرکت را نشان می‌دهند، استفاده شد. از طرفی، طی چند دهه اخیر، روش‌های بسیاری در خصوص بازسازی جهت تنش و تعیین تنش حال و دیرینه توسعه یافته است که در این بین، روش‌های مبتنی بر الگوی برگشتی نسبت به سایر روش‌ها نتایج دقیق‌تری را نشان داده است (Angelier, 1990).

پس از برداشت داده‌های بالا، جهت تحلیل آن‌ها از روش ریاضی مبتنی بر واژگون‌سازی داده‌های لغزش گسلی یعنی روش معکوس‌سازی چند مرتبه‌ای^۱ (Yamaji, 2000; Otsubo et al., 2006) استفاده شد. این روش، برای تفکیک فازهای تنش با استفاده از داده‌های لغزش گسلی ناهمگن مورد پذیرش بیشتر پژوهشگران می‌باشد. اساس این روش، استفاده از طرح معکوس‌سازی در خصوص یک مجموعه با تعداد K گسل است (Angelier, 1979) که تنش میانگین برای این دسته از گسل‌ها به وسیله رابطه ۱ و ۲ محاسبه می‌شود:

$$S = F(d^{(i)}) + \dots + F(d^{(k)}) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$F(d) = \begin{cases} 1 - d / dt (d \leq dt) \\ 0 (dt < d) \end{cases} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در رابطه ۱ $d^{(i)}$ زاویه ناهمخوانی^۱، i تعداد گسل و $F^{(i)}$ یک تابع خطی می‌باشد.

در این تابع d_i مقدار آستانه است که با توجه به مقادیر بیشترین یا کمترین آن، تنش‌هایی با چندین مجهول از داده‌های لغزش گسله به دست می‌آید. تحقیقات قبلی مقدار d_i را در مقادیر بین ۱۰ تا ۳۰ درجه نشان می‌دهند، که مقدار آن در این محاسبات $d_i = 20$ در نظر گرفته شده است (Angelier, 1979). به طور کلی در این روش، چهار فاکتور تنسور تنش کاهش یافته (جهت‌گیری سه محور اصلی تنش و شکل بیضوی تنش) به صورت تجمعی از نقاط در فضای چهار بعدی نمایش داده می‌شوند که فازهای غالب به صورت تجمعی از این نقاط و به شکل خوشه‌هایی ظاهر می‌شوند. خوشه‌های با رنگ‌ها و موقعیت محورهای یکسان (دنباله‌های موازی) یک فاز تلقی می‌گردند. رنگ این خوشه‌ها که شامل طیف نور مرئی از بنفش تا قرمز می‌باشد، معرف شکل میدان تنش به ترتیب از ۰ تا ۱ (به فاصله ۰/۱) است.

اساس این روش شبیه تحلیل خوشه‌ای بوده که با استفاده از جورشدگی داده‌ها انجام می‌شود. به عنوان مثال، فرض کنیم N داده لغزش گسلی، بدون اطلاع از چگونگی یا نوع میدان تنش

1. The multiple inverse method
2. Misfit angle
3. Grid search method

۳- سنگ‌های آتشفشانی حد واسط که بیشتر ترکیب داسیتی و آندزیت - داسیتی داشته و دارای سن ائوسن بالایی می‌باشند (Stocklin et al., 1972). این سنگ‌ها در بخش‌های مرکزی و باختری منطقه، رخنمون بیشتری دارند. از نظر ساختاری و با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و نقشه زمین‌شناسی محدوده، گسل‌های موجود در منطقه از چهار روند شمال باختری - جنوب خاوری، خاوری - باختری، شمالی - جنوبی و شمال خاوری - جنوب باختری تبعیت می‌کنند. روندهای شمال باختری - جنوب خاوری و خاوری - باختری از روندهای غالب در منطقه می‌باشند (شکل ۱).

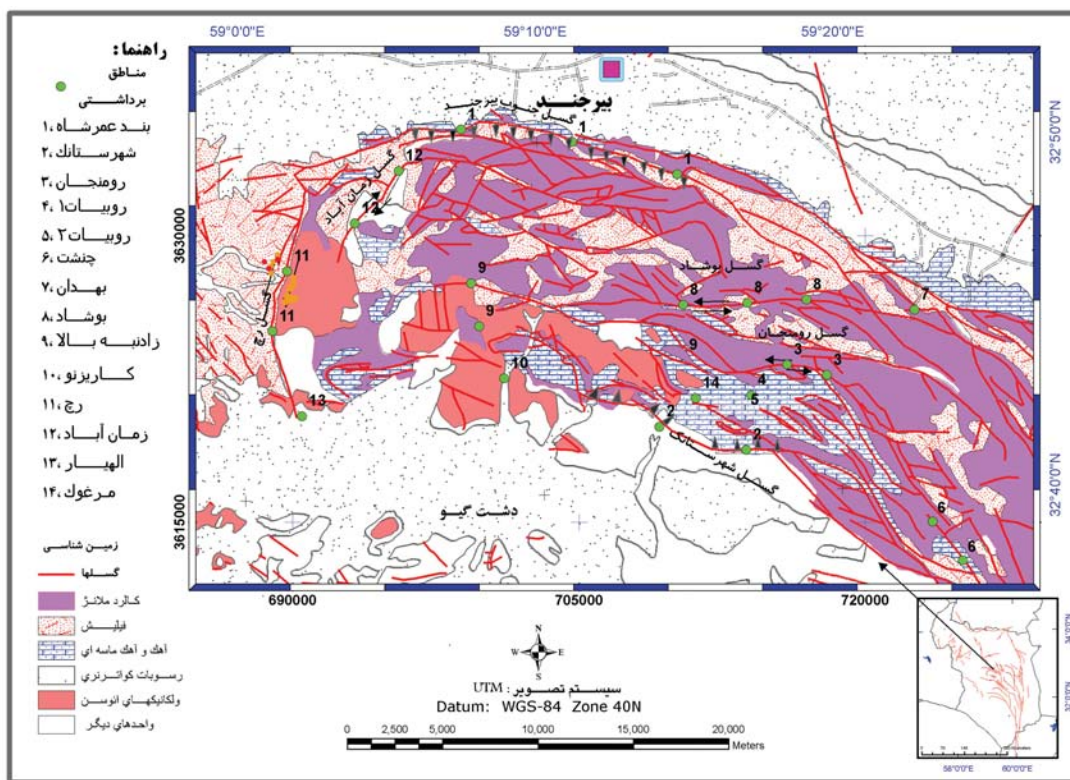
بحث

داده‌های پایه جهت تعیین تنش دیرینه در روش برگشتی، استفاده از صفحه‌های گسلی و خش لغزش‌های مربوط به آن‌ها است. بدلیل اهمیت تشخیص سوی لغزش روی صفحه گسل و وجود روش‌های فراوان برای تشخیص آن، در منطقه بیشتر از روش پله‌های تجمعی کانی‌ها روی صفحه لغزش و زبری یا صیقلی بودن سطح آن استفاده شده است (شکل ۲، الف-ج). بنابراین برای به دست آوردن و وضعیت تنش دیرین، ۳۴۱ داده لغزش گسلی بر اساس موقعیت‌شان در جایگاه توالی سنگ‌شناسی محدوده و با اعمال فاکتورهای نرم افزاری جهت همگن‌سازی و در نظر گرفتن میزان چرخش واحدها در طول تکامل (رژیم اولیه کاملاً فشاری) و مقایسه حالت اولیه و نهایی در زمان گسل خوردگی، از مهم‌ترین واحدهای منطقه شامل سازندهای کرتاسه

با تکیه بر ویژگی‌های خاص زمین ساختی، به سه گروه اصلی زیر تقسیم می‌شوند (شکل ۱).

۱- واحدهای افیولیتی و آمیزه رنگین با سن کرتاسه بالایی که در کل منطقه پراکندگی داشته و تحت تاثیر یک دگرگونی ناحیه ای - حرکتی درجه پایین به همراه رخساره فلیش قرار گرفته‌اند (Stocklin et al., 1972). این بخش مهم‌ترین قسمت واحدهای سنگی را از نظر حجم بیرون زدگی تشکیل داده و به صورت مجموعه درهمی از سنگ‌های الترابازیک (پریدوتیت‌ها و سرپانتینیت‌ها)، بازیگ (گابروها، دایک‌های دیابازی و بازالت‌های اسپیلیتی شده)، رگه‌های لیستونیتی، شیل‌های ارغوانی رنگ رادیولردار و آهک‌های ماسه‌ای رخنمون دارند.

۲- رسوبات رخساره فلیش، که در کل منطقه پراکندگی داشته ولی در بخش‌های باختری و جبهه شمالی نسبت به بقیه مناطق، آمیزه‌های رنگین را بیشتر همراهی می‌کنند. واحدهای مذکور به دو دسته با سن متفاوت کرتاسه پسین و پالتوسن تقسیم‌بندی می‌شوند (Stocklin et al., 1972)، بخشی از آن‌ها که دربرگیرنده شیل، ماسه سنگ، شیل ماسه‌ای و تداخل‌هایی از آهک‌های نازک لایه می‌باشد و همراه با سنگ‌های بازیگ و الترابازیک، آمیزه‌های رنگین منطقه را تشکیل می‌دهند و در اثر دگرگونی ناحیه‌ای در بیشتر بخش‌ها تا حد فیلیت و اسلیت دگرگون شده‌اند. بخش دیگر شامل شیل‌های فیلیتی - ماسه‌ای، گاه ارغوانی رنگ به همراه آهک‌های ماسه‌ای رنگ روشن (کرم تا قهوه‌ای) می‌باشند، که کمتر تحت تاثیر دگرگونی قرار گرفته‌اند و سن آن‌ها را به پالتوسن نسبت می‌دهند (Stocklin et al., 1972).



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه



ب



الف



د



ج

شکل ۲- الف- ه) نمونه‌هایی از سطوح گسله و خش لغزهای مربوط به آن‌ها در منطقه مورد مطالعه و د) سطح گسله با جهت گیرید و خش لغز متفاوت، بیانگر تاثیر دو فاز تنش در یک مکان (ایستگاه کاریز نو) است.

آن رسم شد. آنگاه با استفاده از روش آزمون و خطا و با در نظر گرفتن کمترین زوایای ناهمخوانی و تبعیت آن‌ها از منحنی گوسی، فازهای مختلف تفکیک شدند (شکل‌های ۴ و ۵).

از شواهد وجود چند فاز تنش عمل کرده بر منطقه و به عبارت دیگر فرآیند فعال شدن مجدد صفحات گسلی، گسل‌هایی با موقعیت‌های مشابه ولی لغزش‌های متفاوت، با چندین مجموعه درزه‌های کششی که سازگار با یک تنسور تنش نیستند، می‌باشد. به عنوان مثال می‌توان به گسلی با مشخصه N30E-65SE در ایستگاه کاریز نو اشاره نمود که روی سطح آن دو سری خش لغز با مشخصات 35NE و 55S مشاهده می‌شود (شکل ۲، د).

در این پژوهش، در واحدهای اصلی آمیزه رنگی و فلیش‌ها (کرتاسه بالایی)، سنگ آهک‌های ماسه‌ای (پالئوسن) و برای سنگ‌های نیمه آتشفشانی (ائوسن بالایی - الیگوسن) عملکرد تنش‌ها تفکیک شد، و در هر موقعیت محورهای اصلی تنش و شکل میدان به دست آمد (شکل‌های ۴ و ۵)، که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود،

بالایی (آمیزه‌های رنگی و فلیش‌ها)، پالئوسن (سنگ آهک‌های ماسه‌ای و نومولیت‌دار)، ائوسن - الیگوسن (توده‌های نیمه آتشفشانی) برداشت شدند. در این داده‌ها، گسل‌های برداشت شده اکثراً شبیه بیش از ۴۵ درجه داشته و خطواره‌های لغزشی آن‌ها نیز روندهای SE، NE و SW را نشان می‌دهند که تغییرات زاویه میل آن‌ها بین ۰ تا ۷۵ درجه می‌باشد (شکل ۳).

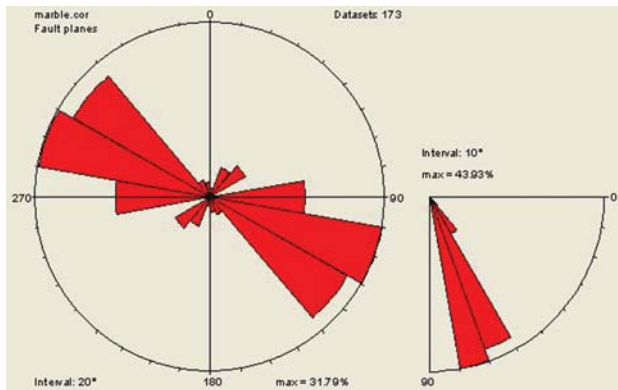
بر این پایه، داده‌های مورد نیاز، از ۱۲ منطقه (هر منطقه دربرگیرنده چندین ایستگاه) شامل: ۱- بند عمر شاه (گسل جنوب بیرجند)، ۲- شهرستانک، ۳- رومنجان، ۴- روییات ۱، ۵- روییات ۲، ۶- چنشت، ۷- بهدان، ۸- پهنه گسله بوشاد، ۹- زادنه بالا، ۱۰- بالای کاریز نو، ۱۱- زمان‌آباد و ۱۲- بالای الهیار، برداشت شدند (شکل ۱). سپس با استفاده از نرم‌افزار Tectonic FP3.2 (Ortner et al., 2002) داده‌های برداشت شده، وارد برنامه اصلی شدند. پس از تصحیح داده‌ها و محاسبه تنسور تنش کاهش یافته، از مقایسه مسیر لغزش تئوری هر زیر مجموعه با داده‌های لغزش گسلی در مناطق برداشتی، هیستوگرام زوایای ناهمخوانی برای

تا ۴۰ درجه، دسته‌های شمال خاوری - جنوب باختری میل ۱۰ تا ۳۰ درجه و دسته‌های ۵۱ خاوری - باختری، میل صفر تا ۴۰ درجه را نشان می‌دهند. در این وضعیت‌ها محور ۵۳ دارای میل‌های متغیر ۴۵ تا ۸۰ درجه می‌باشد (جدول ۱).

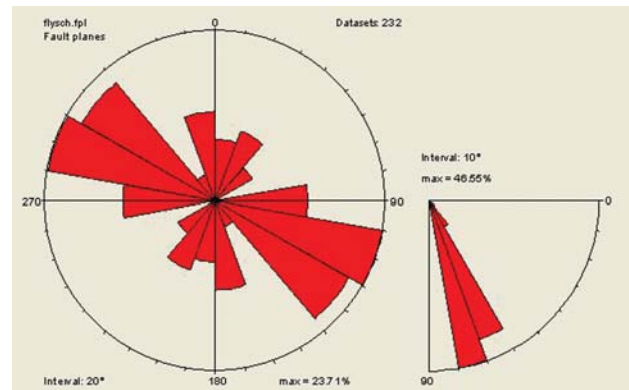
علاوه بر این، با رسم نمودار امتدادی محورهای تنش برای فازهای تفکیک شده، مشخص می‌شود محور تنش اصلی ۵۱ به طور عمده در سه بخش خاور، مرکز و باختر منطقه، متفاوت

شکل میدان تنش فازهای تفکیک شده بیشتر محدوده ۵/۰ را نشان می‌دهند (شکل ۶). این امر نشان‌دهنده آن است که بدلیل غلبه رژیم‌های برشی، میانگین شکل بیضوی تنش در منطقه، حد واسط بین اشکال دوکی و کلوچه‌ای^۱ می‌باشد.

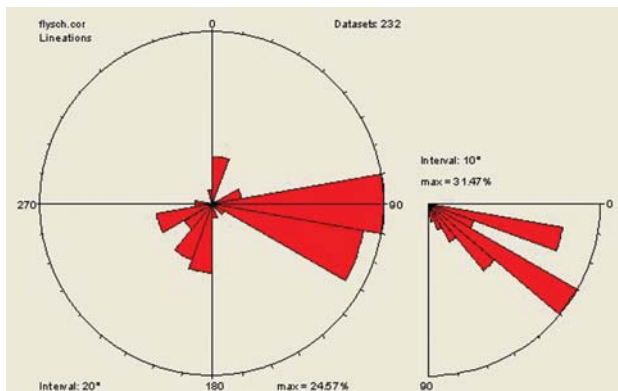
همچنین از مقایسه محورهای تنش در شکل میدان ثابت، نتیجه‌گیری می‌شود که دسته‌های با روندهای مختلف دارای میل‌های متفاوتی هستند. دسته‌های شمالی - جنوبی زوایه میل ۳۰



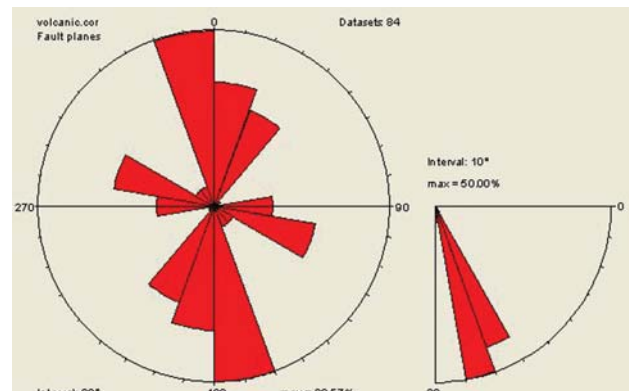
ب - آهک های ماسه ای پالتوسن



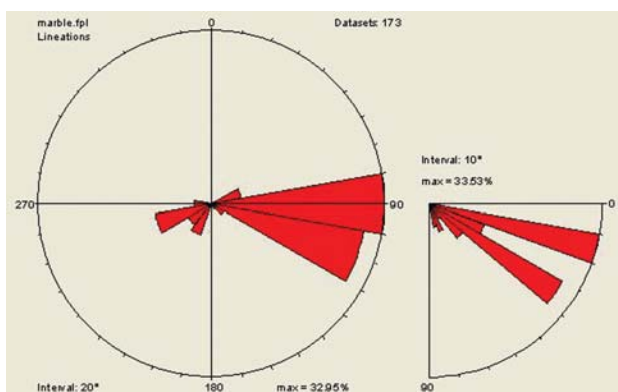
الف - آمیزه رنگین و فلیش ها



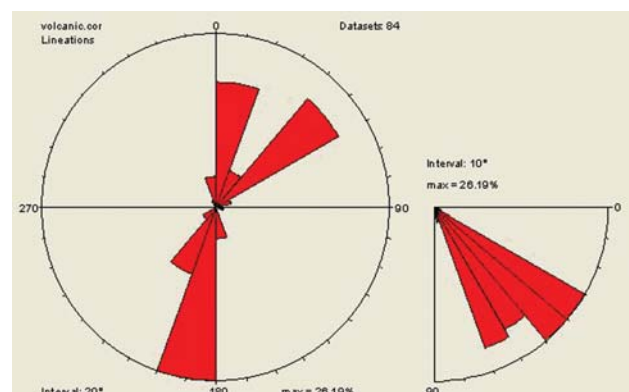
د - آمیزه رنگین و فلیش ها



ج - واحدهای نیمه آتشفشانی ائوسن

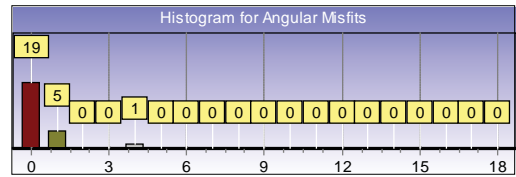
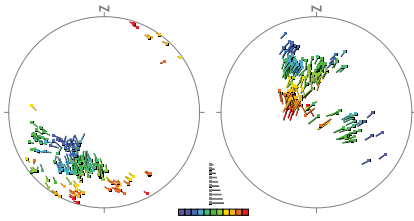


و - آهک های ماسه ای پالتوسن

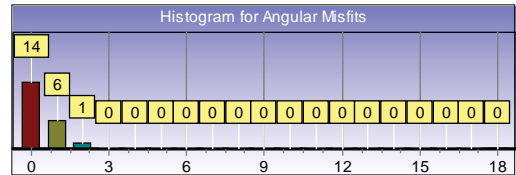
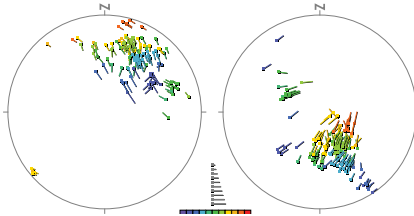


ه - واحدهای نیمه آتشفشانی ائوسن

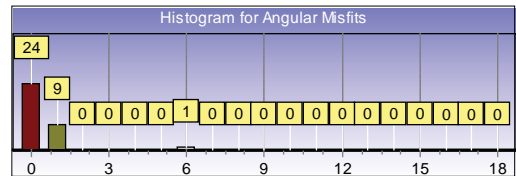
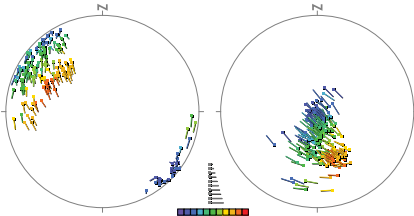
شکل ۳- الف، ب و ج) نمودار امتدادی گسل‌های برداشت شده از واحدهای سنگی اصلی منطقه. د، و، ه) دیاگرام امتدادی روند خطواره‌های برداشت شده از گسل‌های بالا.



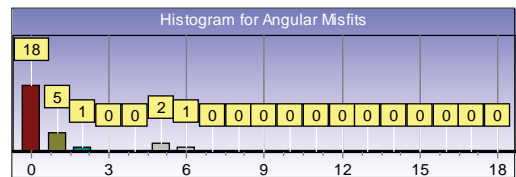
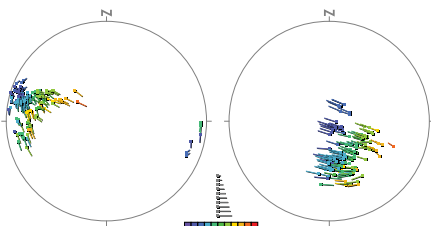
الف



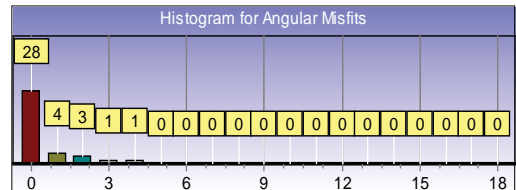
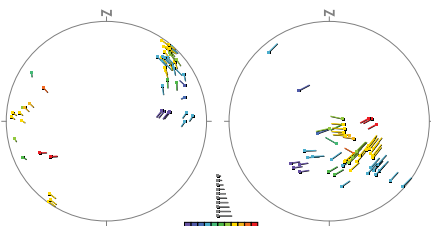
ب



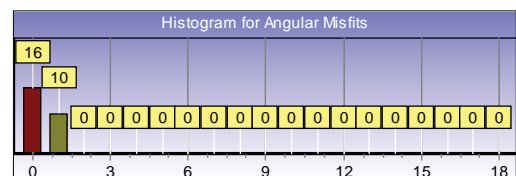
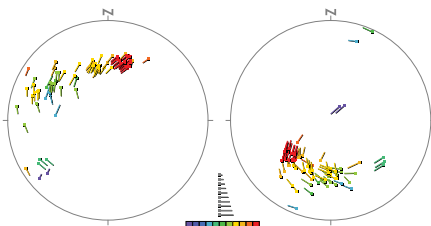
ج



د

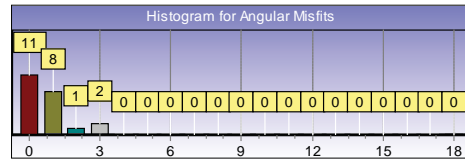
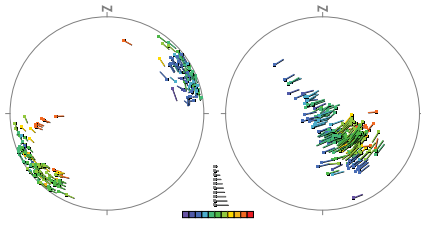


ه

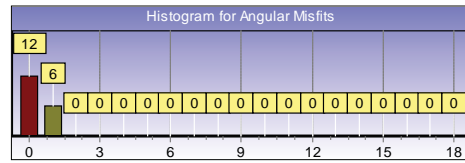
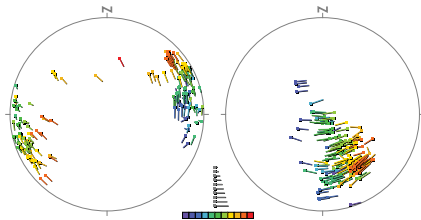


و

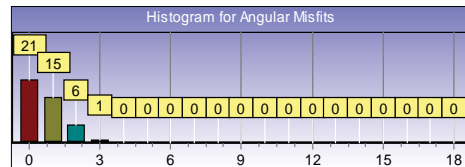
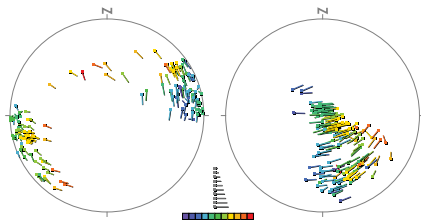
شکل ۴- تفکیک فازهای تنش با استفاده از داده‌های گسله در واحدهای آمیزه رنگین و فلیش‌ها، نمودارهای سمت راست هیستوگرام زوایای ناهمخوانی، نمودارهای سمت چپ استریوگرام‌های مشخصات (نمودار سمت چپ) و (نمودار سمت راست) در ایستگاه‌های الف) بند عمر شاه، ب) شهرستانک، ج) چنشت، د) بهدان و سورگ، و) بوشاد و ه) زادنبه بالا.



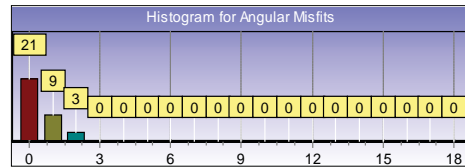
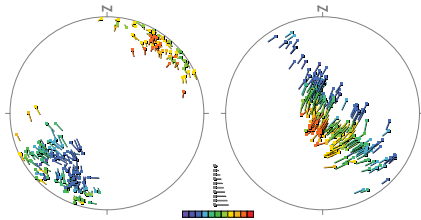
الف



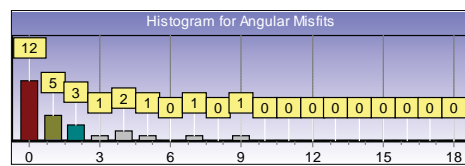
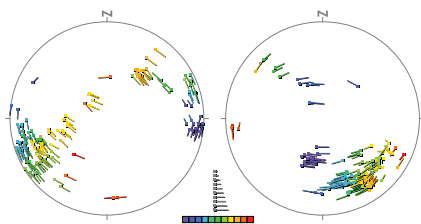
ب



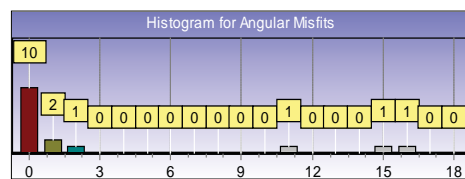
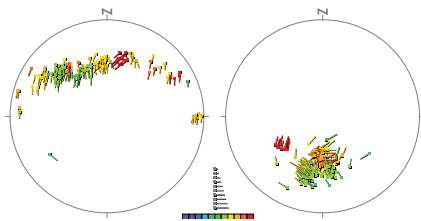
ج



د



ه

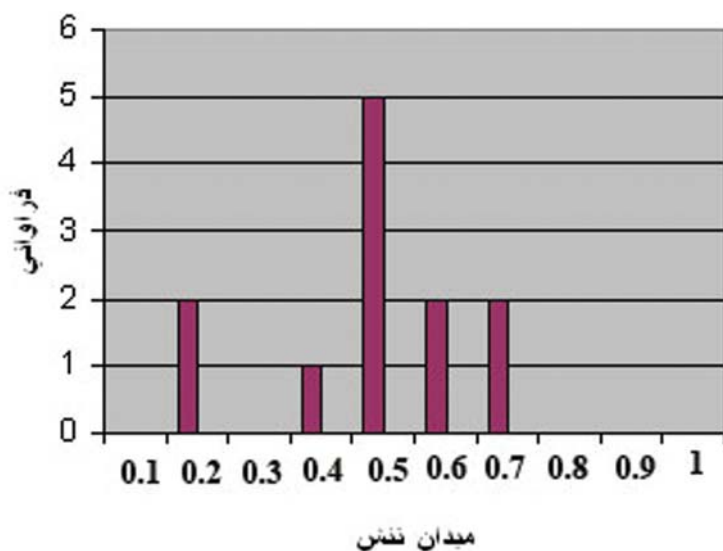


و

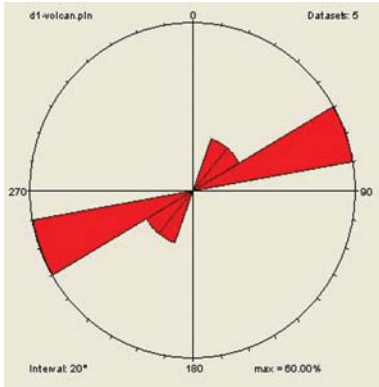
شکل ۵- تفکیک فازهای تنش با استفاده از داده‌های گسلی الف-ج: واحدهای آهک ماسه‌ای نو مولیت‌دار در ایستگاه‌های الف) روبیات ۲، ب) روبیات ۱ و ج) رومنجان. د- ه: واحدهای نیمه آتشفشانی ائوسن، در ایستگاه‌های د) بالای الهیار، و) رچ و ه) بالای کاریزنو.

جدول ۱- ویژگی‌های میدان تنش در مناطق مختلف برداشتی

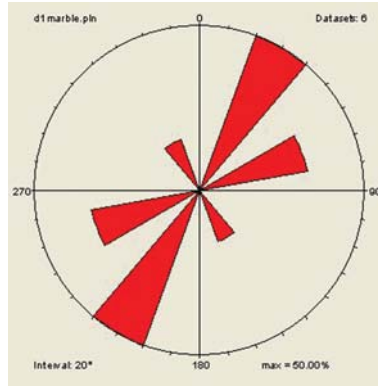
ردیف	نام منطقه برداشتی	نام فاز	$\sigma_1(Az / PI)$	$\sigma_3(Az / PI)$	بیضوی تنش \emptyset	رژیم زمین ساختی	واحد سنگی	سن واحد
۱	منطقه بند عمرشاه (گسل جنوب بیرجند)	۱	۲۲/۳۶	۱۷۸/۵۱	۰/۲	فشاری	آمیزه رنگی و فلیش	کرتاسه
۲	منطقه شهرستانک	۱	۲۰۸/۳۰	۳۵۵/۵۵	۰/۲	فشاری	آمیزه رنگی و فلیش	کرتاسه
۳	منطقه چنشت	۲	۱۷۰/۱۷	۲۹۱/۵۸	۰/۵	فشاری - برشی	آمیزه رنگی و فلیش	کرتاسه
۴	منطقه بهدان	۲	۱۷۴/۱۲	۲۷۷/۴۵	۰/۵	فشاری - برشی	آمیزه رنگی و فلیش	کرتاسه
۵	پهنه گسله بوشاد	۲	۲۲۸/۱۴	۱۴۰/۳۸	۰/۵	فشاری - برشی	آمیزه رنگی و فلیش	کرتاسه
۶	منطقه زادنبه بالا	۳	۲۹۹/۳۴	۱۷۷/۳۷	۰/۷	برشی - کششی	آمیزه رنگی و فلیش	کرتاسه
۷	منطقه روییات ۲	۱	۲۱۳/۱۵	۱۰۲/۵۳	۰/۴	فشاری - برشی	آهک‌های ماسه‌ای	پالئوسن
۸	منطقه روییات ۱	۱	۶۵/۱۱	۱۶۳/۳۵	۰/۵	فشاری - برشی	آهک‌های ماسه‌ای	پالئوسن
۹	منطقه رومنجان	۲	۲۵۹/۰۵	۱۳۱/۸۲	۰/۶	برشی - کششی	آهک‌های ماسه‌ای	پالئوسن
۱۰	منطقه بالای الهیار	۱	۲۴۳/۲۶	۱۳۸/۳۷	۰/۵	فشاری - برشی	آندزیت داسیتی	ائوسن
۱۱	منطقه بالای کاریزنو	۲	۳۳۵/۴۷	۱۷۱/۴۱	۰/۷	برشی - کششی	آندزیت داسیتی	ائوسن
۱۲	منطقه زمان‌آباد و رج	۲	۲۵۵/۲۱	۳۱۴/۴۱	۰/۶	برشی - کششی	آندزیت داسیتی	ائوسن



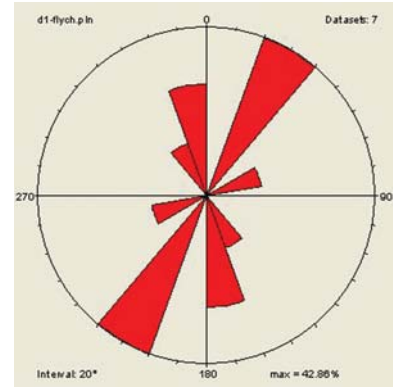
شکل ۶- نمودار میله‌ای فراوانی شکل میدان تنش (مقدار ۰/۵= بیشترین فراوانی را دارد).



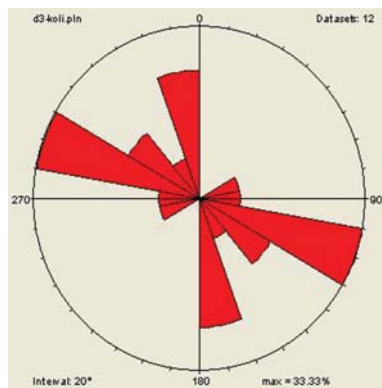
ج



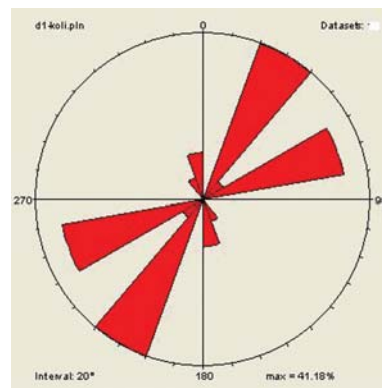
ب



الف



ه



د

شکل ۷- نمودار امتدادی جهت گیری σ_1 محور تنش در واحدهای اصلی منطقه الف) واحدهای آمیزه رنگین و فلیش، ب) واحد آهکی، ج) سنگ‌های نیمه آتشفشانی ائوسن- الیگوسن، د) نمودار کلی جهت گیری σ_1 محور تنش در منطقه و ه) نمودار کلی جهت گیری محور تنش σ_3 .

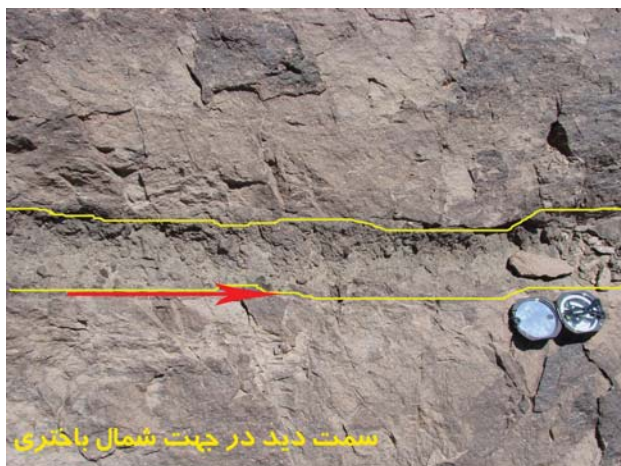


ب



الف

شکل ۸- الف) نمایی از ناودیس مرغوک در بخش مرکزی منطقه و ب) نمونه‌ای از تورق‌های ایجاد شده با روند NW-SE عمود بر تنش اصلی در واحدهای فلیشی



ب



الف



د



ج

شکل ۹- الف) نمایی از گسلش نرمال در واحدهای نیمه آتشفشانی منطقه، ب) نمونه‌ای از درزه‌های کششی در منطقه با روند شمال خاوری - جنوب باختری به موازات تنش اصلی، ج) تصویری از بازشدگی سیگمونیدال در واحدهای فلیشی منطقه و د) قطع شکستگی‌های شمالی - جنوبی (قدیمی‌تر) توسط شکستگی‌های خاوری - باختری (جوان‌تر) در بخش باختری منطقه.

شده مانند ناودیس مرغوک (شکل ۱ و شکل ۸، الف)، در بخش مرکزی منطقه (موقعیت محور چین، $N80W, 20$) و تشکیل صفحات برگ واره‌ای و خطواره‌ای در واحدهای فلیشی (با سن کرتاسه - پالئوسن) که جهت‌گیری هر دوی این ساختارها، تقریباً عمود بر جهت محور σ_1 محاسبه شده در این بخش (روبیات) می‌باشد، اشاره نمود (شکل ۸، ب). تاثیر مرحله دوم تنش، به صورت رژیم زمین ساختی راستالغز فشاری بوده که شاهد آن ایجاد گسل‌های امتداد لغز چپ گرد با مولفه معکوس، مانند گسل بوشاد در بخش مرکزی منطقه می‌باشد (شکل ۱) و نهایتاً مرحله سوم عملکردی غالباً کششی داشته که گسل‌های با روند شمال خاوری - جنوب باختری (مانند گسل زمان‌آباد) مسبب آن بوده‌اند (شکل ۱). این گسل‌ها غالباً دارای سازوکار راستالغز نرمال می‌باشند و فراوانی آن‌ها در بخش باختری منطقه بیشتر از سایر مناطق است. این به آن دلیل است که در نتیجه عملکرد فاز راستالغز فشاری، یک پهنه فشاری - برشی در این بخش تشکیل شده که با توجه

به ترتیب به روندهای شمالی - جنوبی، شمال خاوری - جنوب باختری و خاوری - باختری دسته‌بندی می‌شود. همچنین محور تنش اصلی σ_3 نیز در سه بخش مذکور به ترتیب روندهای خاوری - باختری، شمال باختری - جنوب خاوری و شمالی - جنوبی را نشان می‌دهد (شکل ۷). این نشان دهنده تغییر در جهت‌گیری محورهای تنش σ_1 و σ_3 از خاور به باختر منطقه با یک چرخش در جهت عقربه‌های ساعت می‌باشد (شکل ۷). لذا با توجه به موقعیت محورهای بالا در فازهای مختلف تفکیک شده، می‌توان حداقل انتظار تاثیر سه مرحله تنش در منطقه را داشته باشیم. بدین گونه که، عملکرد مرحله اول تنش، به صورت رژیم زمین ساختی فشاری بوده است. از نتایج آن می‌توان به تشکیل ساختارهایی با ماهیت مذکور، از قبیل گسل‌های راندگی جنوب بیرجند در حاشیه جبهه شمالی و شهرستانک در حاشیه جبهه جنوبی مابین مرز کوهستان و دشت مختاران (گیو) اشاره نمود (شکل ۱). همچنین می‌توان به پدیداری، چین‌های طویل فشرده

منابع

- اوهایان، ش. و افتخارزاد، ج.، ۱۳۵۷. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ بیرجند. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خطیب، م.م.، ۱۳۷۷. هندسه پایانه گسل‌های امتداد لغز. رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۲۴ص.
- نوگل سادات، م.ع.، ۱۳۷۲. نقشه تکتونیک ایران. مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Angelier, J., 1990. Inversion of data in fault tectonics to obtain the regional stress. III. A new rapid direct inversion method by analytical means, *Geophysical Journal International*, 103, 363-376.
- Angelier, J., 1979. Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. *Tectonophysics*, 56 (3/4), 17-26.
- Berberian, M., 1977. Against the rigidity of the Lut block a seismotectonic discussion. In contribution to the seismotectonic of Iran (Part III), Geological Survey of Iran, report 40, 88.
- Otsubo, M., and Yamaji, A., 2006. Improved resolution of the multiple inverse methods by eliminating erroneous solutions. *Journal of Computers and Geosciences*. 32, 1221-1227.
- Otsubo, M., Sato, K., and Yamaji, A., 2006. Computerized identification of stress tensor determined from heterogeneous fault-slip data by combining the multiple inverse method and K-means clustering. *Journal of Structural Geology*, 28, 991-997.
- Ortner, H., Retier, and F., Acs, P., 2002. Easy handling tectonic data: the programs VB for mac and tectonics fp for windows. *Journal of Computers and Geosciences*. 28, 1193-1200.
- Stocklin, J., Eftekhari-Nezhad, J., and Hushmand-Zadeh, A., 1972. Central lut reconnaissance, east Iran, Geological Survey of Iran, report 22, 62.
- Yamaji, A., 2000. The multiple inverse methods: A new technique separate stresses from heterogeneous fault slip data. *Journal of Structural Geology*, 22, 441-452.

به جهت حرکت چپ گرد آن، در مرحله ثانویه، شکستگی‌های مذکور از آن منشعب شده‌اند. از شواهد عملکرد این فاز در این بخش می‌توان به تشکیل گسل‌های با مولفه نرمال در واحدهای نیمه آتشفشانی و فلیشی (شکل ۹، الف)، ایجاد درزه‌های کششی همسو با جهت تنش (شکل ۹، ب) و تشکیل بازشدگی‌های کششی سیگموئیدال در سنگ‌های فلیشی و نیمه آتشفشانی اشاره نمود (شکل ۹، ج). همچنین جهت‌گیریدرزه‌های کششی همسو با جهت تنش در این بخش (بخش باختری) به صورت تقریباً خاوری - باختری است که در ایستگاه زادنبه (واقع در بخش باختری منطقه) جهت‌گیری‌های اخیر، روند درزه‌های کششی شمالی - جنوبی را قطع می‌کنند (شکل ۹، د). این مسئله نشان دهنده، قدیمی تر بودن روندهای مذکور (شمالی - جنوبی)، نسبت به روندهای خاوری - باختری و به تبع آن برقراری این رابطه در خصوص تنش‌های شکل دهنده آن‌ها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث بالا، نتایج مطالعات را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ۱- مطالعه داده‌های لغزش گسلی ناهمگن و خطواره‌های لغزشی مربوط به آن‌ها بر روی گسل‌های موجود و تحلیل این خطواره‌ها با استفاده از روش معکوس‌سازی چند مرتبه‌ای، نشان‌دهنده حداقل تاثیر سه فاز تنش در منطقه می‌باشد. در این فازها محور تنش بیشینه σ_1 در موقعیت‌های مختلف پهنه آمیزه‌ی افیولیتی، به طور عمده جهت‌گیری شمال خاوری - جنوب باختری تا خاوری - باختری و محور تنش کمینه σ_3 جهت‌گیری جنوب خاوری - شمال باختری تا شمالی - جنوبی را نشان می‌دهند.
- ۲- بر پایه تحلیل‌های صورت گرفته، تأثیر عملکرد اولین مرحله تنش به صورت رژیم زمین ساختی فشاری بوده که از شواهد آن تشکیل ساختارهایی از قبیل چین‌خوردگی‌ها، تشکیل برگ واره‌ها و خطواره‌ها در واحد فلیشی و عملکرد گسل‌های معکوس در حاشیه‌های شمالی و جنوبی منطقه (مانند گسل جنوب بیرجند در شمال و گسل شهرستانک در جنوب) می‌باشد. در مرحله دوم، در اثر تغییر جهت‌گیری پهنه آمیزه‌ی افیولیتی نسبت به جهت تنش اصلی، ناشی از تغییر روندها در پایانه شمالی سیستم گسل نهبندان (خطیب، ۱۳۷۷)، یک رژیم زمین ساختی فشاری - برشی چپ گرد شکل گرفته است. شاهد این فرآیند، عملکرد سیستم گسل‌های راستا لغز با مولفه معکوس در منطقه است، به طوری که اکثر گسل‌های بخش مرکزی، از قبیل گسل بوشاد از این دسته هستند. نهایتاً تأثیر مرحله سوم تنش، عمدتاً به صورت برشی - کششی بوده که در اثر عملکرد آن ایجاد شکستگی‌های کششی در منتهی الیه باختری پهنه برشی چپ گرد و گسل‌های امتداد لغز با مولفه نرمال که روندهای شمال خاوری - جنوب باختری را در این بخش شکل داده‌اند.