

بررسی و تفکیک تنش‌های محلی در امتداد گسل شمال میشو (آذربایجان شرقی، شمال غربی ایران)

علیرضا یوسفی باویل^(۱*) و محسن مؤید^۲

۱. دانشجوی تکتونیک، دپارتمان ژئوتکتونیک و زمین‌شناسی منطقه‌ای، پژوهشگاه زمین‌شناسی آذربایجان، باکو، آذربایجان

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۱۱

چکیده

ارتفاعات میشو در شمال غرب ایران، استان آذربایجان شرقی و جنوب شهرستان مرند واقع شده است. آنها محصول یک ساختار گل وار مثبت می‌باشند و قسمت مرکزی آنها توسط گسل شمال میشو و گسل جنوب میشو محدود می‌شود. گسل شمال میشو به سه قطعه تقسیم شده که آزمون آنها بین ۱۰۹ تا ۱۲۰ درجه تغییر می‌کند. با بکارگیری روش‌های وارونش تنش، وضعیت تنش‌ها در طول گسل شمال میشو مورد بررسی قرار گرفت. دو فاز تکتونیکی تعیین گردید: (الف) رژیم تنش کششی مربوط به پلیوسن، (ب) رژیم تنش فشارشی مربوط به عصر حاضر. بطور عمومی رژیم‌های تنش کششی و فشارشی باعث ایجاد گسل‌های امتداد لغز و سبب تغییر شکل‌های تراکشنی و ترفاشاری شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: رژیم تنش، ساختارهای امتداد لغز، گسل شمال میشو، وارونش تنش

مقدمه

در طول سه دهه اخیر توسعه بررسی‌های تنش انجام گرفته در مناطق مختلف باعث درک بهتر پارامترهای دینامیکی و سینماتیکی تغییر شکل‌های پوسته زمین شده است (Lisle et al., 2006). در سطوح بالایی پوسته زمین تغییر شکل شکننده حاکم بوده و عمدتاً بواسطه گسلش صورت می‌پذیرد (Moore and Twiss, 1992). بر اساس پیشنهاد Wallace (1951) و Bott (1959) (یعنی وجود توازی بین امتدادهای خش لغزش و حداکثر تنش برش)، همچنین قابلیت استفاده از بعضی شاخص‌های سینماتیکی روی صفحه گسلی برای تعیین جهت لغزش (Doblas, 1998)، بررسی‌های تنش در بسیاری از مناطق تکتونیکی صورت پذیرفته است. در همین راستا با استفاده از داده‌های خش لغز، روش‌های متعددی جهت تعیین وضعیت تنش‌های دیرین پیشنهاد گردید است. (Yamaji, 2000 a; Fry, 1999; Nemcok and Lisle, 1995; Galido-Zaldívar and González-Lodeiro, 1988; Lisle, 1988; Etchecopar et al, 1981). هرچند که بواسطه فرضیه‌هایی که این روش‌ها روی آنها استوار شده‌اند، در بکارگیری این روش‌ها

و ارزیابی نتایج حاصله محدودیت‌های معینی وجود دارد (Nie-to-Samaniego and Alaniz-Alaniz-Alvarez, 1997). نتایج وارونش تنش به یک تنسور تنش تقلیل یافته محدود می‌شود (Angelier, 1989). این تنسور از چهار متغیر تشکیل می‌یابد (موقعیت محورهای اصلی تنش $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) و نسبت تنش بین جفت‌های تشکیل‌دهنده محورهای اصلی تنش (Φ). مقایسه بین تنش‌های نرمالیزه شده مختلف توسط اختلاف تنش (D)، تنسور متوسط (σ_M)، همچنین پراکنندگی نتایج تنش (toctM) امکان‌پذیر می‌باشد (Lisle and Orife, 2003؛ Orife and Lisle, 2002).

بعلت کمی حل سازوکار کانونی زلزله‌ها و غیرکافی بودن اطلاعات مربوط به وارونش داده‌های صفحه گسلی - خش لغز در اطراف گسل شمال میشو، داده‌های کمی درباره وضعیت تنش محلی موجود می‌باشد. این کمبود باعث ایجاد مانع در بررسی‌های سینماتیکی گسل مذکور شده است. به همین خاطر در این مطالعه وضعیت تنش‌های محلی در اطراف گسل شمال میشو مورد بررسی قرار گرفت. در همین راستا در امتداد قطعات مختلف گسل یاد شده، روی داده‌های صفحه گسلی - خش لغز جمع‌آوری شده،

* نویسنده مرتبط ayousefi@gia.ab.az

عدم رسوبگذاری دوره‌های اردویسین و سیلورین و ایجاد دگرشیبی زاویه‌ای بین رسوبات پیشرونده پرمین و سازندهای قدیمی‌تر به فاز هرسی نین نسبت داده می‌شود. رخنمون توده بزرگ گابرویی، دیابازی و سنگ‌های اولترامافیک در میشو به بقایای پوسته اقیانوسی پالئو تئیس اول نسبت داده شده‌اند (موید و مودن، ۱۳۸۱؛ مؤید و همکاران، ۱۳۸۴). این توده‌های نفوذی سازندهای کهر و سلطانیه را قطع کرده‌اند. رخنمون آلکالی - گرانیت تا گرانیت در شرق و جنوب غرب میشو که توده‌های گابرویی و دیابازی، و همچنین سازند سلطانیه را قطع کرده است به گرانیت‌های تیپ A پس از برخورد و در ارتباط با بسته شدن پالئو تئیس اول نسبت داده شده است (موید و حسین زاده، ۱۳۹۰).

مزوزوئیک

واحدهای مربوط به تریاس بصورت دگرشیبی فرسایشی روی واحدهای پرمین واقع شده‌اند. کنگلومرای پایه تشکیل شده در کرتاسه پیشین اشاره به کوهزایی قبل از کرتاسه دارد و به سیمین پایانی نسبت داده می‌شود. چین خوردگی رسوبات توریدایتی کرتاسه پسین، همچنین رخنمون سنگ‌های اسپیلیتی به رخدادهای فاز لارامید نسبت داده می‌شود.

سنوزوئیک

عدم تشکیل واحدهای الیگوسن، وجود کنگلومرای پی میوسن و وجود دگرشیبی زاویه دار بین آن و واحدهای قدیمتر به فاز پیرنه نسبت داده می‌شود. وجود دگرشیبی زاویه دار بین میوسن و پلیوسن و نیز فعالیت‌های آتشفشانی پلیوسن به فعالیت‌های تکنونیک میوپلیوسن (آستیرین و ساوین) نسبت داده می‌شود. ایجاد شیب ۷۰ درجه‌ای لایه‌های کنگلومرای پلیو- کوآرتنری مرتبط با فعالیت‌های فاز پاسادنین می‌باشد.

موادها و روش‌ها

در طول گسل شمال میشو سه قطعه در مقیاس عمده قابل تشخیص است: قطعه‌های جنوب شرقی و مرکزی که مابین‌شان تشکیل یک پله شدگی محدود شونده داده‌اند؛ قطعه مرکزی و شمال غربی که بواسطه گسل تسوج قطع می‌شوند. به منظور تعیین و تفکیک وضعیت تنش در پهنه‌های اطراف این قطعات گسلی، و بررسی تغییرات احتمالی آن در طول این قطعات، در امتداد گسل شمال میشو ۹۳ داده صفحه گسلی خش لغز از ایستگاه‌های مختلف جمع‌آوری شد. برداشت داده در سه زیرمنطقه ذیل صورت پذیرفت: (الف) محل درهم کنش قطعات شمال غرب و مرکزی گسل شمال میشو و نیز گسل تسوج بین جنوب روستای ونلواجاق و روستای سرخه (زیر منطقه اول)، (ب) در طول قطعه مرکزی بین روستای کله جر و جنوب ونلواجاق (زیر منطقه دوم)، (ج) در طول قطعه جنوب شرقی بین شهر صوفیان و کله جر (زیر منطقه سوم). تفکیک زیر منطقه‌ها بر اساس تغییر در جهت یافتگی عمومی این قطعات گسلی، ارتباط متقابل

روش‌های وارونش تنش اعمال گردید. نتایج حاصل از وارونش و مطالعات چینه نگاری، هندسه سطحی گسل‌ها، همچنین مطالعه ساختارها مورد استفاده قرار گرفت تا: (الف) تغییرات مکانی و زمانی وضعیت‌های تنش؛ (ب) نوع رژیم‌های تکنونیک در طول قطعات مختلف گسل شمال میشو تعیین گردد.

ساختارهای عمومی

در مقیاس بزرگ گسل شمال میشو به سه قطعه تقسیم می‌شود. آزمون آنها بین ۱۰۹ تا ۱۲۰ درجه تغییر می‌کند (شکل ۱). شیب عمومی گسل شمال تبریز که شامل گسل میشو نیز می‌باشد قائم در نظر گرفته می‌شود (Berberian and Arshadi, 1978). مرادی و همکاران (۱۳۸۷) براساس حل سازوکار کانونی زلزله‌ها، شیب گسل شمال میشو را به سمت شمال شرق در نظر می‌گیرند، درحالی‌که Karakhanian et al. (2004) و آقانباتی (۱۳۸۵) شیب آنرا به ترتیب، ۷۰ تا ۸۰ درجه به سمت جنوب و قائم در نظر می‌گیرند. Karakhanian et al. (2004) مولفه امتداد لغز گسل را راستگرد و مقدار آنرا ۱۰-۱ متر برآورد کردند. آنها مولفه قائم را بطور متوسط ۲-۳ متر برآورد کردند.

در طول قطعه مرکزی و جنوب شرقی، این گسل واحدهای سنگ‌شناسی مربوط به پرکامبرین، پالئوزوئیک و مزوزوئیک (واقع در جنوب) را از واحدهای سنوزوئیک - کوآرتنری (واقع در شمال) جدا می‌کند. قطعه شمال غرب این گسل واحدهای میوسن (واقع در جنوب غرب) را از رسوبات پلیو- کوآرتنری (واقع در شمال شرق) جدا می‌کند. قطعه مرکزی گسل شمال میشو در طرف شمال غرب خود با قطعه جنوبی این گسل و نیز گسل چپگرد تسوج در ارتباط می‌باشد. قطعه جنوب شرقی گسل شمال میشو، از سمت جنوب شرق با گسل شمال تبریز در ارتباط می‌باشد. در دامنه جنوبی کوه میشو گسل جنوبی میشو با راستای عمومی شرقی - غربی امتداد می‌یابد.

چینه‌نگاری و حوادث تکنونیک

با توجه به نتایج حاصل از بررسی گزارشات زمین‌شناسی انجام شده در مناطق نزدیک به این گسل (سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران ۱۳۷۲ و ۱۳۷۳)، زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بصورت زیر خلاصه می‌گردد.

پرکامبرین و پالئوزوئیک

واحدهای سنگ‌شناسی مربوط به این دوره‌ها به کوه میشو محدود می‌شود. این کوه محصول تغییرشکل فشارشی بوده و یک ساختار گل وار مثبت می‌باشد (موید و همکاران، ۱۳۸۴). قسمت مرکزی آن توسط سازند کهر اشغال شده است. این سازند از شیل میکادار همراه با ماسه سنگ ریزدانه و توف، همچنین سنگ آهک تیره رنگ که بصورت محلی از شیل سبزرنگ تا رخساره شیست سبز دگرگون شده تشکیل یافته است. زمان تشکیل این مجموعه به پرکامبرین و تغییرشکل آن به فاز آسینیتیک نسبت داده می‌شود.

زیاد و مؤلفه نرمال فشارشی کم می‌باشند، مورد استفاده قرار گرفتند (رجوع به Homborg et al., 1997; Ramsay and Lisle, 2000). برای این کار یک نمودار تهیه گردید. این نمودار اجازه می‌دهد تا هر دو معیار (معیار زاویه عدم انطباق (معیار اول) و معیار مربوط به مقادیر مؤلفه‌های نرمالیزه شده نرمال و برشی تنش حل شده روی صفحات گسلی (معیار دوم)) و نیز سایر پارامترهای منتج شده از وارونش مورد انطباق و بررسی همزمان قرارگیرد. این نمودار به عنوان هیستوگرام شعاعی بوده و از یازده شعاع با فاصله ۱۰ درجه بین ۰ تا ۹۰ درجه تشکیل شده است (برای مثال نگاه کنید به شکل ۲ تا ۴ c). هر شعاع به یک فاصله نسبت تنش (Φ) اختصاص داده شده است (Φ اسمی یا نومیال (Φn)). هر یک از یازده شعاع، زوایای عدم انطباق گسل‌ها نسبت به تنسور تنش تشخیص داده شده با Φn مربوطه را نشان می‌دهد.

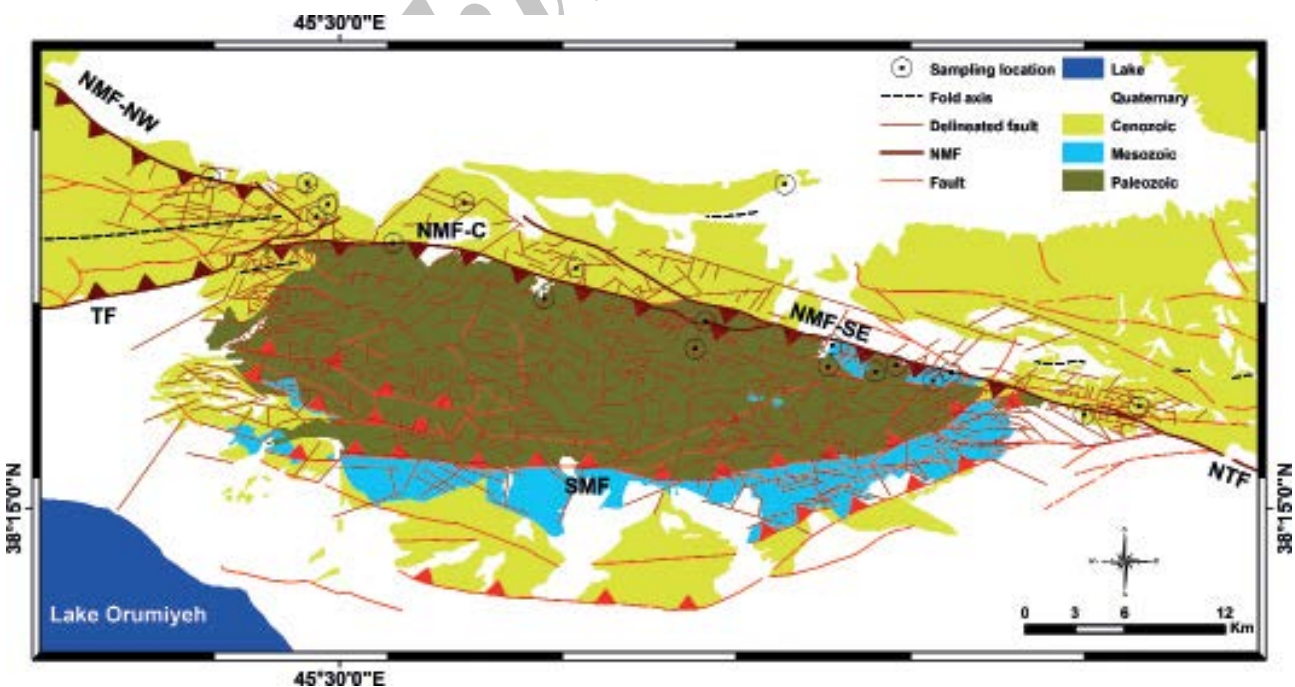
نتایج

نتایج حاصل از مشاهدات صحرایی و وارونش تنش درسه زیر منطقه، همچنین نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی به قرار زیر می‌باشند.

محل اتصال قطعات شمال غرب و مرکزی گسل شمال میشو و گسل تسوج (زیرمنطقه ۱)

در نتیجه تأثیر متقابل گسل‌های مذکور یک منطقه فشاری ایجاد شده است و متعاقباً واحدهای سنگ‌شناسی میوسن و کواترنر بالا آمده‌اند. در محل تلاقی قطعه غربی گسل شمال میشو و گسل تسوج گنبد داسیتی به سن پلیو-کواترنر تظاهر یافته است.

قطعات یاد شده با یکدیگر و نیز با گسل‌های عمده شمال تبریز و تسوج و همچنین تغییر در برنزدهای لیتولوژیکی در طول این قطعات صورت گرفت. در کنار مشاهدات صحرایی، بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه جهت تعیین حرکات نسبی گسل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای این کار از روابط قطع‌شدگی گسل‌ها و نیز روی هم افتادگی خش لغزهای روی صفحه گسلی استفاده گردید. برای جلوگیری از اثرات ناشی از در هم کنش گسل‌ها، Nieto-Samaniego and Alaniz-Alvarez (1997) فاصله بین محل قرائت‌ها در حدود ۴۰ متر انتخاب گردید. جهت تعیین وضعیت تنش‌های مهم از روش وارونش چندگانه (Yamaji, 2000) استفاده شد (پردازنده نسخه ۶). با در نظر گرفتن نکات ضعف مندرج در (Lisea and Lisle, 2004) برای افزایش قدرت تفکیک نرم افزار MIM از ضریب افزایشنده ۵ استفاده گردید. اختلاف بین تنسورهای تنش تشخیص داده شده توسط برنامه "STRESSTAT" تعیین گردید (Lisle and Orife, 2002). مؤلفه نرمالیزه شده نرمال و برشی تنسورهای تنش تشخیص داده شده به عنوان معیار اضافی مورد استفاده قرار گرفت. این معیار جهت کنترل غیرپایداری گسل‌هایی که نسبت به تنسور تنش تشخیص داده شده دارای زاویه عدم انطباق کمتر از زاویه معیار هستند، استفاده گردید. در این راستا، زوایای ۶۰ و ۱۴۰ درجه (زاویه بین محورهای اصلی تنش و عمود وارد بر صفحه گسلی (θ)) به عنوان زوایای معیار انتخاب شدند. این زوایا برای جدا کردن گسل‌هایی که نسبت به یکی از محورهای اصلی تنش بصورت موازی و یا تقریباً موازی قرار می‌گیرند، همچنین برای محدود کردن راستای گسل‌هایی که نسبت به تنسور تنش تعیین شده دارای مؤلفه برشی

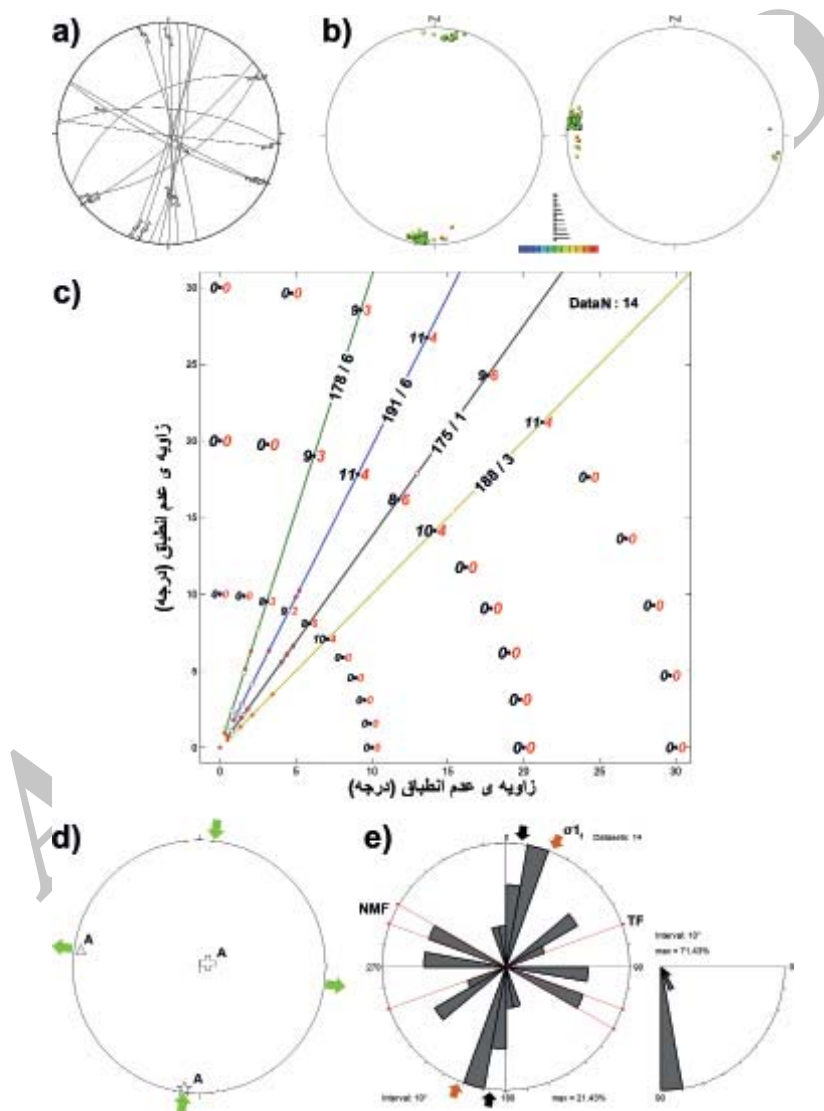


شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی مربوط به پهنه تغییر شکل میشو. گسل شمال میشو (NMF)؛ گسل جنوب میشو (SMF)؛ گسل تسوج (TF)؛ گسل شمال تبریز (NTF).

در اولین مبادرت وارونش تنها یک خوشه تشخیص داده شده‌اند. این خوشه از چهار تنسور تنش با Φn متفاوت تشکیل می‌گردد. براساس دامنه‌های پیشنهاد شده برای پارامتر اختلاف تنسوری D که توسط (Lisle and Orife, 2003) جهت ارزیابی تفاوت بین تنسورهای تنش ارائه گردید، این تنسورها "خیلی مشابه" ارزیابی شدند. خوشه‌ی مربوط به تنسورهای تنش مربوط به ششمین Φn ($\Phi n = 0/53$) دارای بیشترین تراکم می‌باشد. براساس معیار دوم، نسبت به هفتمین وضعیت تنش تعداد بیشتری گسل بصورت ناپایدار بروز می‌کنند. نسبت به وضعیت تنش تشخیص داده شده مذکور، دو گسل دارای زاویه عدم انطباق بیش از 30° درجه می‌باشند. با حذف گسل‌های مذکور و انجام وارونش دوم تغییری

در جناح شمال غربی و جنوب شرقی گسل تسوج واحدهای سنگ‌شناسی میوسن در مقیاس‌های کوچک و بزرگ دچار چین خوردگی شده‌اند. صفحه محوری مربوط به چین بزرگ به سمت شمال غرب شیب دارد ($248^\circ/76^\circ$) و موقعیت محورهای اصلی مربوط به آن بصورت $30^\circ/347^\circ = 1\sigma$ ، $11^\circ/251^\circ = 2\sigma$ و $58^\circ/143^\circ = 3\sigma$ می‌باشد (شکل ۱).

رابطه برش متقاطع بین صفحات گسلی، جهت یافتگی ترجیحی خاصی را برای قطع شدگی گسلی نشان نمی‌دهد. در این زیرمنطقه ۱۴ داده صفحه گسلی - خش لغز اندازه‌گیری شد. این گسل‌ها تماماً روی واحدهای پلیو-کواترنری واقع شده‌اند. روی صفحه‌های گسلی مذکور روی هم افتادگی خش لغز مشاهده نگردید.



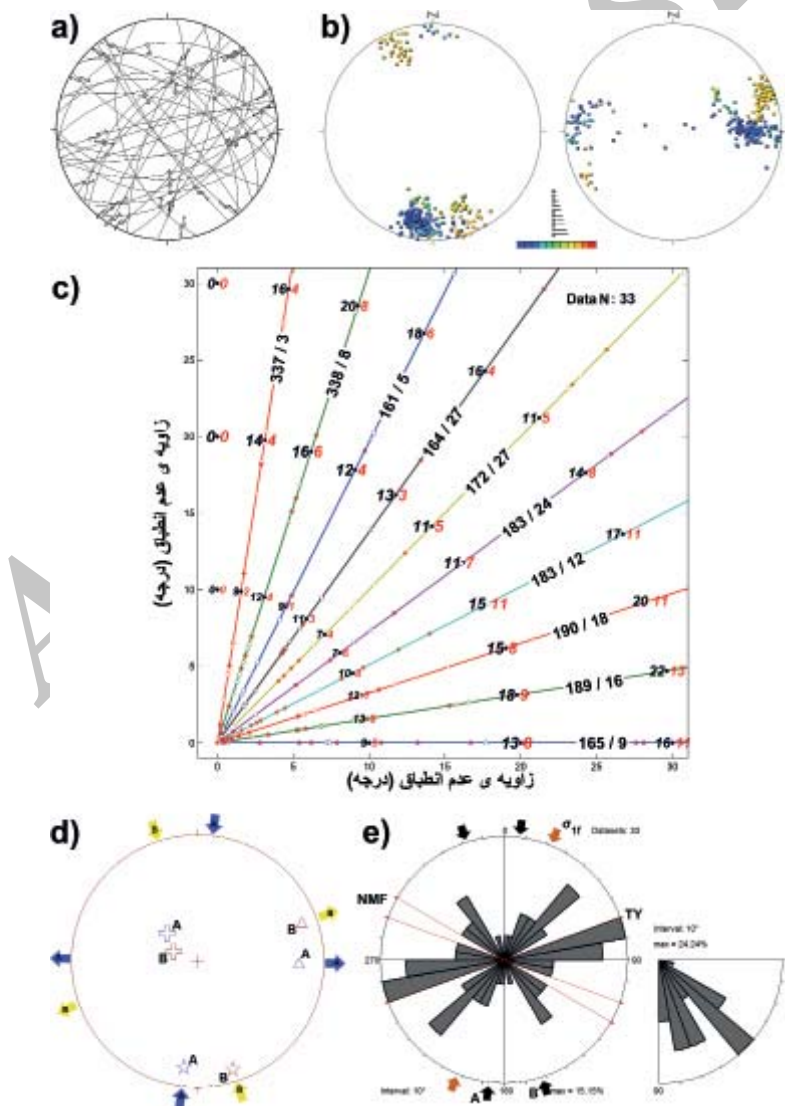
شکل ۲- نتایج حاصل از وارونش دوم برای زیرمنطقه اول. (a) استریوگرام مربوط به داده‌های صفحه گسلی - خش لغز مورد استفاده قرار گرفته در وارونش تنش. (b) استریوگرام‌های مربوط به تنسورهای تنش تشخیص داده شده توسط روش وارونش چند مرحله‌ای (MIM). (c) هیستوگرام Φ - زاویه‌ی عدم انطباق. رقم‌های سیاه و قرمز مربوط به سه زاویه عدم انطباق بحرانی تعداد گسل‌هایی را که به ترتیب مطابق معیارهای اول و دوم هستند را نشان می‌دهند. دایره‌های توخالی و توپر قرمز رنگ بیانگر گسل‌هایی هستند که به ترتیب مطابق با معیار اول و مطابق با هر دو معیار مذکور می‌باشند. اعداد روی محورهای مختلف جهت یافتگی 1σ را نشان می‌دهد. (d) نمادهای ستاره، مثبت و منتهی به ترتیب مرتبط با جهت یافتگی 2σ ، 1σ و 3σ وضعیت تنش‌های تعیین شده می‌باشند. (e) انطباق بین وضعیت تنش‌های تعیین شده و موقعیت گسل‌های اندازه‌گیری شده.

در این زیرمنطقه ۳۳ داده صفحه گسلی - خش لغز اندازه‌گیری گردید. این داده‌ها از روی سنگ‌های آتشفشانی پلیوسن و قبل از پرمین، همچنین واحدهای رسوبی میوسن و پلیو-کواترنری جمع آوری گردیدند. در میان داده‌های یادشده روی هم افتادگی خش لغز گسلی مشاهده نگردید. در نتیجه وارونش داده‌ها دوخوشه اهمیت دار تشخیص داده شد. آنها از تنسورهای تنش با محدوده $n\Phi$ مابین ۱ و ۱۰ تشکیل شده‌اند. سه وضعیت تنش "مشابه" (وضعیت‌های تنش دارای ۱-۵، ۶-۸، ۹-۱۰ و $n\Phi = 1-5$) و دو وضعیت تنش متفاوت (وضعیت‌های تنش دارای ۱-۵ و $n\Phi = 6-10$) تشخیص داده شد. تمامی صفحات گسلی کمتر از ۳۰ درجه و ۲۹ گسل کمتر از ۲۰ درجه زاویه‌ی عدم انطباق نشان می‌دهند. تنسورهای فشارشی نسبت به تنسورهای کششی دارای تراکم بیشتری می‌باشند. همچنین در روی استریوگرامهای مربوط به وارونش موقعیت محورهای اصلی بیشینه نسبت به کمینه تمرکز بیشتری نشان می‌دهند (شکل ۳- a, b و c، جدول ۱).

روی تنسورهای تنش بوجود نیامد. نسبت به چهار وضعیت تنش حاصله همه گسل‌ها دارای زاویه عدم انطباق کمتر از ۱۰ هستند (شکل ۲- a, b و c، جدول ۱).

نواحی اطراف قطعه مرکزی گسل شمال میشو (زیر منطقه ۲)

در طول قطعه مرکزی واحدهای سنگ‌شناسی مربوط به پرکامبرین، همچنین سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی مربوط به قبل از پرمین در جناح جنوبی گسل روی واحدهای سنگ‌شناسی ترشیری و کواترنری در جناح شمالی رانده شده‌اند. در انتهای غربی این قطعه گنبدها و رخنمون‌های داسیتی و تراکیتی - داسیتی به سن پلیوسن تظاهر می‌یابند. بین قطعه مرکزی و شرقی گسل شمال میشو یک پله‌شدگی محدود شونده بوجود آمده است. در ارتباط با برش متقابل گسلی جهت یافتگی ترجیحی معینی وجود ندارد.



شکل ۳- نتایج حاصل از وارونش برای زیرمنطقه دوم. برای توضیح قسمتهای مختلف به توضیحات شکل ۲ مراجعه شود.

جدول ۱- نتایج آخرین وارونش برای زیرمنطقه‌های مختلف در طول گسل شمال میشو؛ پارامتر D مقادیر اختلاف تنسورهای تنش را نشان می‌دهد که توسط برنامه STRESSTAT محاسبه شده‌اند. $(Max.D)$ مقادیر بیشینه D مابین وضعیت‌های تنش تشخیص داده شده که بعنوان یک وضعیت تنش معین حساب گردیدند را نشان می‌دهد. پارامترهای $DMIM$ و Θ مقادیر حاصله از نرم افزار MIM را نشان می‌دهند و به ترتیب مربوط به اختلاف تنش متوسط و اختلاف زاویه‌ای تنش متوسط هستند.

وضعیت‌های تنش معین شده	وضعیت‌های تنش تشخیص داده شده توسط وارونش				وضعیت تنش
	σ_1	σ_3	Φ	DMIM	
زیر منطقه ۱	۰,۳۳ / ۱۸۸,۴	۰,۵۳ / ۲۷۸,۷	۰,۵۷	۰,۱۲۲	۰,۰۲۷
	۰,۱,۱ / ۱۷۴,۹	۰,۶۰ / ۲۶۵,۰			
	۰,۶,۰ / ۱۹۰,۷	۰,۶۶ / ۲۸۱,۲			
زیر منطقه ۲	۰,۳,۳ / ۱۸۸,۴	۰,۵۳ / ۲۷۸,۷	۰,۵۷	۰,۱۲۲	۰,۰۲۷
	۰,۱,۱ / ۱۷۴,۹	۰,۶۰ / ۲۶۵,۰			
	۰,۶,۰ / ۱۹۰,۷	۰,۶۶ / ۲۸۱,۲			
	۰,۵,۹ / ۱۷۷,۷	۰,۷۹ / ۲۶۸,۴			
	۰,۹,۰ / ۱۶۵,۰	۰,۰۴ / ۵۳,۰ / ۰,۶۲,۹			
	۱۶,۱ / ۱۸۹,۴	۰,۰۵ / ۲۳,۷ / ۰,۹۲,۲			
	۱۷,۵ / ۱۸۹,۵	۰,۲۱ / ۲۳,۵ / ۰,۹۱,۶			
	۱۲,۰ / ۱۸۳,۰	۰,۲۴ / ۰,۵,۶ / ۰,۹۱,۸			
	۲۳,۷ / ۱۸۲,۶	۰,۳۱ / ۳۱,۷ / ۰,۷۷,۰			
	۲۷,۱ / ۱۷۲,۰	۰,۵۴ / ۳۲,۲ / ۰,۶۳,۳			
	۲۶,۹ / ۱۶۴,۳	۰,۵۴ / ۱۰,۲ / ۰,۶۹,۱			
	۰,۴,۶ / ۱۶۱,۰	۰,۷۵ / ۱۰,۹ / ۰,۷۰,۲			
۰,۸,۳ / ۳۳۸,۰	۰,۷۸ / ۱۲,۰ / ۰,۶۹,۸				
۰,۳,۰ / ۳۳۶,۵	۰,۸۸ / ۰,۰,۶ / ۲۴۶,۵				
۰,۴,۰ / ۱۴۸,۰	۰,۰۳ / ۶۷,۰ / ۰,۴۹,۰				
زیر منطقه ۳	۰,۳,۰ / ۳۴۶,۷	۰,۰۵ / ۱۲,۶ / ۲۵۶,۰			
	۰,۱,۷ / ۳۴۷,۸	۰,۱۸ / ۱۷,۳ / ۰,۷۸,۴			
	۰,۲,۲ / ۳۵۴,۷	۰,۲۰ / ۱۰,۲ / ۰,۸۵,۱			
	۴,۹ / ۰,۰۰۶,۱	۰,۳۱ / ۰,۴,۲ / ۲۷۵,۷			
	۰,۷,۰ / ۰,۰۰۶,۰	۰,۳۸ / ۰,۷,۴ / ۲۷۵,۱			
	۰,۶,۳ / ۰,۰۰۴,۸	۰,۵۲ / ۱۲,۴ / ۲۷۳,۴			
۰,۳,۴ / ۰,۰۱,۴	۰,۷۶ / ۱۵,۸ / ۲۷۰,۴				
۱۳,۸ / ۳۵۸,۱	۰,۸۸ / ۱۹,۶ / ۲۶۳,۰				
۰,۲,۱ / ۳۴۹,۲	۰,۹۷ / ۱۱,۸ / ۲۵۸,۷				
۶,۰,۱ / ۱۳۲,۷	۰,۹۷ / ۱۳,۰ / ۲۴۶,۴				

کرده و واحدهای مربوط به میوسن و کواترنری فرا آمده شده‌اند. در جناح شمالی این قطعه روی رسوبات میوسن چین‌های کوچک مقیاس با امتداد عمومی شرقی - غربی ایجاد شده است. در این زیرمنطقه نیز روابط برش متقابل گسل‌ها جهت یافتگی ترجیحی نشان نمی‌دهند. روی واحدهای سنگ‌شناسی مربوط به سازند کهر، مزوزوئیک و میوسن همچنین رسوبات کواترنری ۴۶ داده صفحه گسلی - خش لغز اندازه‌گیری گردید. روی صفحات گسلی اندازه‌گیری شده روی هم افتاده گی خش لغز مشاهده نگردید.

نواحی اطراف قطعه شرقی گسل شمال میشو (زیر منطقه ۳)

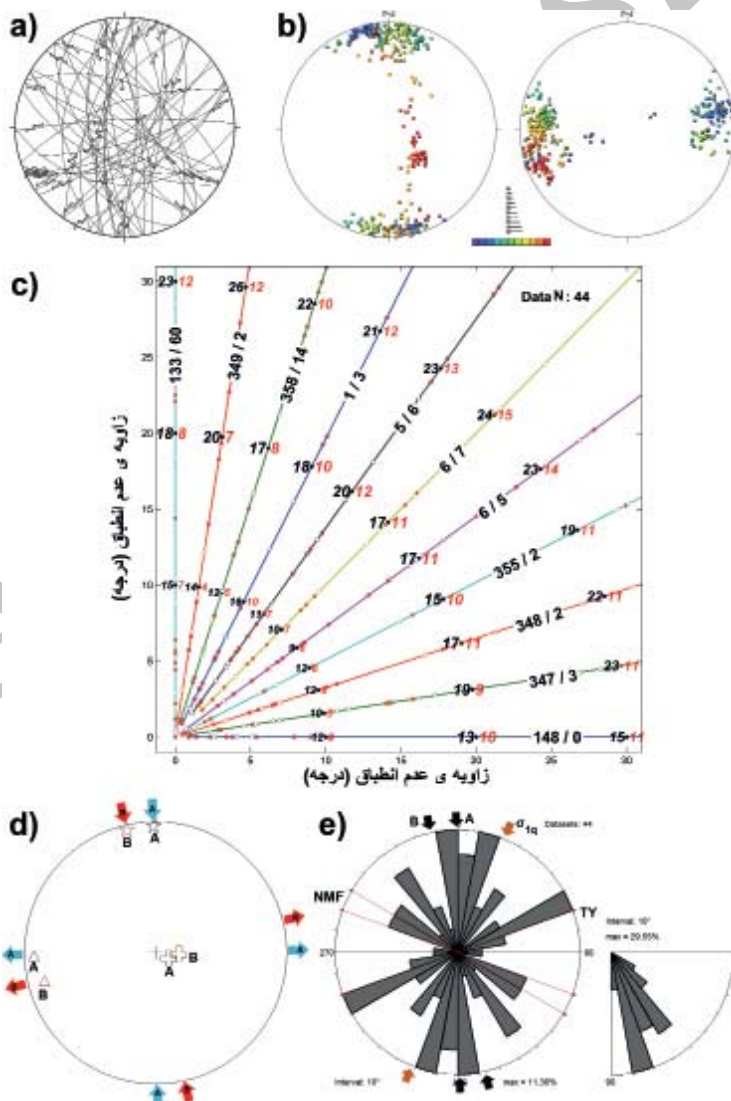
در سمت شمال غرب این قطعه واحدهای سنگ‌شناسی پالئوزوئیک و مزوزوئیک در جناح جنوبی گسل روی رسوبات کواترنری در جناح شمالی گسل رانده شده‌اند. داخل منطقه فرا آمده میشو سنگ‌های کربناته به سن پرمین روی سنگ‌های آهکی مارن دار مربوط به تریاس رانده شده‌اند. در انتهای شرقی گسل، این قطعه با گسل شمال تبریز یک پله شدگی محدود شونده ایجاد

دارای زاویه‌ی عدم انطباق بین ۳۰-۲۰ درجه بوده و بقیه کمتر از ۲۰ درجه زاویه‌ی عدم انطباق نشان می‌دهند.

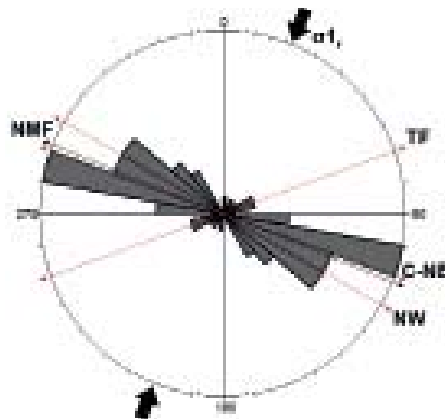
چین‌ها

به منظور برآورد تقریبی از امتداد بیشینه تنش فشارشی در محدوده وسیع تر امتداد یافتگی محورهای چین در مقیاس بزرگ تر مورد بررسی قرار گرفت. در اطراف پهنه فرا آمده میشو (عموماً دور از منطقه مورد مطالعه در سمت شمال گسل شمال میشو) روی واحدهای سنگ‌شناسی مربوط به کرتاسه، اتوسن و میوسن چین خوردگی با مقیاس‌های مختلف ایجاد شده است. واحدهای کرتاسه عموماً از رسوبات توریدیتی تشکیل می‌شوند. این رسوبات به همراه واحدهای میوسن واحدهای نسبتاً کم مقاومتی را تشکیل می‌دهند که توسط تغییر شکل‌های محلی بطور مؤثری تحت تأثیر قرار می‌گیرند. به همین دلیل تنها محورهای چین با طول بیش از ۳ کیلومتر مورد مطالعه قرار گرفتند. نمودار گل سرخی مربوط به این داده‌ها بصورت یک نمایی بوده و جهت

در اولین مبادرت وارونش دو خوشه اهمیت دار تشخیص داده شد. تنسورهای تشکیل دهنده این خوشه‌ها تمامی فاصله‌های $n\Phi$ را شامل می‌شود. براساس پارامتر D سه وضعیت تنش "خیلی مشابه" (وضعیت‌های تنش دارای ۹-۱۱ و ۷-۸، ۶-۱ و Φ_n) و دو وضعیت "متفاوت" (وضعیت‌های تنش دارای ۷-۱۱ و ۶-۱ = Φ_n) تعیین گردید. نسبت به وضعیت‌های تنش تشخیص داده شده دو گسل زاویه عدم انطباق بیش از ۳۰ درجه دارند. تنسورهای حاصل از وارونش دوم (بعد از حذف گسل‌های غیرمنطبق) دوباره دو خوشه مهم نشان می‌دهند، هرچند که بر اساس پارامتر D سه وضعیت تنش "خیلی مشابه" (وضعیت‌های تنش دارای ۹-۱۱ و ۵-۸، ۴-۲ = Φ_n) و سه وضعیت "متفاوت" (وضعیت‌های تنش دارای ۹-۱۱ و ۲-۸، ۱ = Φ_n) تعیین گردید (شکل ۴-۱، ۲-۴، ۳-۴، ۴-۱). تنسور مربوط به اولین خوشه تشکیل نمی‌دهد ولی بر اساس معیار دوم قابلیت ایجاد ناپایداری در ۱۰ صفحه گسلی را دارا می‌باشد. بنابراین به عنوان یک وضعیت تنش مجزا در نظر گرفته شد. نسبت به تنش‌های تشخیص داده شده، ۳ داده گسلی



شکل ۴- نتایج حاصل از وارونش دوم برای زیرمنطقه سوم. برای توضیح قسمت‌های مختلف به توضیحات شکل ۲ مراجعه شود.



شکل ۵- نمودار گل سرخی مربوط به جهت یافتگی محورهای چین و امتداد بیشینه تنش فشارشی تعیین شده از مطالعه محور چین‌ها در پهنه‌های اطراف میشو (C، NW، f1σ) SE اشاره به قطعات شمال غرب، مرکزی و جنوب شرقی گسل شمال میشو دارد.

مورد بحث در جنوب روستای پیر اسحق بر روی نهشته‌های آواری و تخییری سازند سرخ فوقانی قرار می‌گیرند و لذا سن آنها به پلیوسن نسبت داده شده است (احمدزاده، ۱۳۸۹). این دایکها بطور عمومی جهت یافتگی N-S تا NNW-SSE دارند که با جهت یافتگی بیشینه محور فشارشی وضعیت تنش B تقریباً موازی می‌باشد. همچنین این جهت یافتگی با امتداد f1σ در روی واحدهای سنگ‌شناسی میوسن موازی می‌باشد. بدین دلایل وضعیت تنش B به فعالیتهای تکتونیکی پلیوسن نسبت داده شد. بطور عمومی می‌توان گفت که رژیم تنش A که بعد از کرتاسه فعال بوده توسط رژیم تنش B در پلیوسن قطع شده است هرچند که تنش A در عهد حاضر نیز به فعالیت خود ادامه داده است.

وضعیت تنش B تعیین شده در زیرمنطقه ۳ مشابه وضعیت B در زیرمنطقه ۲ می‌باشد. در زیرمنطقه ۳ در وضعیت تنش B، مترکم ترین تنسورهای تنش مربوط به تنسورهای تنش مربوط به یازدهمین فاصله nΦ می‌باشند. براساس مقادیر D بین این تنسور و وضعیت تنش B از زیرمنطقه ۲، این دو تنسور "خیلی مشابه" هستند (D= ۰/۲۸۵۲). در جناح شمالی گسل میشو سنگ‌های آتشفشانی مربوط به پلیوسن (برش آتشفشانی همراه با توف و گدازه آندزیتی و تراکی آندزیتی) سطح نسبتاً وسیعی را می‌پوشانند. علاوه بر این، بیشینه محور فشاری این تنش نیز موازی با امتداد N-S تا NNW-SSE دایک‌های تفریتی و بازالتی یاد شده می‌باشد. برپایه این شواهد وضعیت تنش B به فعالیتهای تکتونیکی پلیوسن منتسب گردید.

در داخل پهنه فرا آمده میشو و همچنین در طول گسل‌های شمالی و جنوبی میشو راندگی واحدهای سنگ‌شناسی قدیمی‌تر بر روی واحدهای جوان تر بصورت متناوب بواسطه گسل‌های با راستای عمومی شرقی - غربی را می‌توان در ارتباط با وضعیت تنش A در نظر گرفت. در این مورد واحدهای رسوبی سازند کهر بر روی سنگ‌های کرتاسه و آنها نیز به نوبه خود روی واحدهای سنگ‌شناسی مربوط به میوسن رانده شده‌اند. بیشینه محور تنش مربوط به این وضعیت تنش نسبت به امتداد عمومی طبقات سنگ‌های آتشفشانی پلیوسن عمود می‌باشد. این طبقات و

یافتگی ترجیحی ESE-WNW را نشان می‌دهد (شکل ۵). این جهت یافتگی ترجیحی خود را در واحدهای مزوزوئیک، پالئوژن و نئوژن بصورت مجزا نشان می‌دهد. غیر از این جهت یافتگی، تعداد کمی از محور چین‌ها دارای جهت یافتگی ENE-WSW هستند. بطور عمومی جهت یافتگی متوسط محورهای چین بصورت $292^{\circ} - 112^{\circ}$ است. بنابراین امتداد $202^{\circ} - 022^{\circ}$ به عنوان امتداد بیشینه تنش فشارشی بدست آمده از اندازه‌گیری‌های محور چین‌ها (بعد از این f1σ) در نظر گرفته شد.

بحث

روابط زمانی وضعیت‌های تنش

در زیرمنطقه یک با توجه به اینکه تمامی داده‌ها از روی سنگ‌های آتشفشانی مربوط به پلیو- کواترنری جمع‌آوری شده بودند وضعیت تنش تعیین شده (A) به عنوان تنش عهد حاضر در نظر گرفته شد.

در دومین زیرمنطقه، وضعیت تنش A نسبت به گسل‌های شمالی و جنوبی میشو عمود می‌باشد. در همین مورد در قسمت جنوبی پهنه فرا آمده میشو (جناح شمالی گسل جنوب میشو) واحدهای سنگ‌شناسی قدیمی‌تر بطور متناوب روی واحدهای جوان‌تر در امتداد گسل‌های با امتداد عمومی W-E رانده شده‌اند. با توجه به اینکه جهت یافتگی بیشینه محور فشارشی این وضعیت با f1σ در روی واحدهای مزوزوئیک و جوانتر موازی می‌باشد، این وضعیت تنش به فعالیتهای تکتونیکی بعد از کرتاسه منسوب گردید. همچنین با در نظر گرفتن بالآمدگی رسوبات پلیوسن، پلیو- کواترنری و کواترنری و ایجاد محورهای چین در اراضی نزدیک به گسل شمال میشو با امتداد عمود بر بیشینه محور فشارشی این وضعیت تنش، فعال بودن این وضعیت تنش در عهد حاضر نتیجه گرفته شد.

رخنمون یافتن سنگ‌های آتشفشانی نئوژن، همچنین وجود دایکهای تفریتی و بازالتی در داخل سنگ‌های آتشفشانی و آذراواری در منطقه گله بان در ارتفاعات قلعه داغی نشانگر وجود رژیم کششی در منطقه می‌باشد. نهشته‌های آتشفشانی و آذراواری

بودن بیشینه محور اصلی فشارشی این تنسور با $f_{1\sigma}$ ، این وضعیت تنش عامل اصلی بالا آمدگی پهنه تغییرشکل میشو در نظر گرفته شد. در این مورد، با در نظر گرفتن گسل جنوبی میشو به عنوان محل پهنه فرورانش پالئوتیس اول (مؤید و همکاران ۱۳۸۴؛ مؤید و حسین زاده، ۱۳۹۰) و محل رانده شدگی در کامپانین پسین- پالئوسن پیشین که مرتبط با فرورانش نئوتیس به زیر بلوک تالش در آپتین بالایی- سنومانین میانی است (Golonka, 2004)، ایجاد ناپیوستگی های ضعیف شده ناشی از آن ها، و شیب به سمت شمال این گسل، به نظر می رسد که امتداد گسل یاد شده محل مناسبتری برای فرا آمدگی پهنه تغییرشکل میشو تشکیل می دهد. در میان گسل های اندازه گیری شده، اکثراً آنها جهت یافتگی NW-SE و NE-SW دارند. این جهت یافتگی ها خود را در خطواره های مشخص شده برای این پهنه تغییرشکل نیز نشان می دهد (شکل ۱). بنابراین می توان نتیجه گرفت که تغییرشکل، بیشتر توسط گسل های کوچکتر و درون پهنه تغییرشکل صورت می گیرد.

دومین وضعیت تنش تعیین شده مربوط به یک رژیم تنش کششی می باشد. بیشینه محور اصلی این تنسور افقی بوده و نسبت به گسل شمال میشو زاویه حاده ساخته و نسبت به گسل تسوج عمود می باشد. پرمیل ترین محور آن مربوط به محور اصلی متوسط می باشد. جهت گیری محورهای اصلی تنسور تنش برای تغییرشکل امتداد لغز مناسب می باشد. نسبت به این وضعیت تنش، انتظار می رود که در گسل هایی که دارای امتداد مشابه با گسل شمال میشو و تسوج هستند به ترتیب مؤلفه امتداد لغز راستگرد و مؤلفه شیب لغز اصلی باشد.

در زیرمنطقه ۳ اولین وضعیت تنش (A) نتیجه یک رژیم تنش فشارشی است. بیشینه محور فشاری آن افقی بوده و نسبت به گسل شمال میشو و تسوج زاویه حاده بزرگ می سازد (شکل e و ۴-d). پرمیل ترین محور، مربوط به محور اصلی متوسط می باشد. جهت یافتگی اکثر گسل های اندازه گیری شده نسبت به گسل شمال میشو زاویه بزرگی می سازند و شیب ۵۹ درصد آنها در بازه ۹۰-۶۰ درجه قرار می گیرد. در کل، این شرایط برای تشکیل گسل های امتداد لغز مستعد می باشند. نسبت به وضعیت تنش عهد حاضر انتظار می رود تا گسل شمالی میشو دارای مؤلفه امتداد لغز راستگرد باشد. با توجه به بالا آمدگی جناح جنوبی گسل نسبت به جناح شمالی انتظار می رود که شیب این قطعه ی گسل زیاد و به سمت جنوب باشد.

دومین وضعیت تنش (B) مربوط به یک رژیم تنش کششی می باشد. بیشینه محور فشارشی آن افقی و نسبت به گسل های شمالی و جنوبی میشو زاویه بزرگی می سازد. پرمیل ترین محور تنسور تنش مربوط به محور متوسط می باشد. این وضعیت نیز برای تشکیل گسل های امتداد لغز مناسب می باشد.

انطباق بین زیرمنطقه ها

انطباق بین وضعیت های تنش معین شده نشان می دهد که در طی پلیوسن و تحت یک رژیم تنش کششی، بیشینه تنش فشارشی

نیز رسوبات پلیو- کواترنری دارای شیب متوسط تا زیاد می باشند. همچنین این محور عمود بر محور چین های کوچک مقیاس تشکیل شده در واحدهای رسوبی کواترنری می باشد. بر پایه این شواهد وضعیت تنش A به عنوان وضعیت مربوط به عهد حاضر در نظر گرفته شد. هر چند که این وضعیت را می توان به فعالیت های تکتونیکی مربوط به بعداز کرتاسه و قبل از پلیوسن نیز بسط داد.

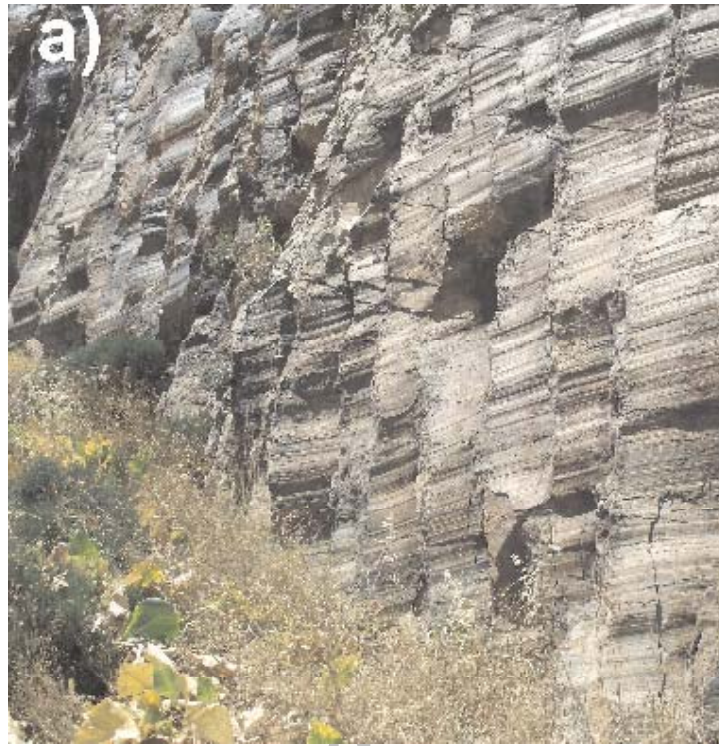
توزیع فضایی وضعیت های تنش و نحوه رژیم های تغییرشکل در طول گسل شمال میشو

در اولین زیرمنطقه تنها یک رژیم تنش معین گردید (شکل ۲-d و جدول ۱). این وضعیت تنش یک رژیم با حالت کششی می باشد و بیشینه محور فشارشی آن افقی می باشد. جهت یافتگی این محور تقریباً موازی با $f_{1\sigma}$ می باشد. محور اصلی متوسط این وضعیت تنش تقریباً قائم بوده و پرمیل ترین محور تنسور تنش را تشکیل می دهد. جهت یافتگی گسل های اندازه گیری شده حالت سه نمایی تشکیل می دهد که اغلب آنها تقریباً موازی با جهت یافتگی های $f_{1\sigma}$ و $f_{2\sigma}$ این تنش هستند (شکل e-۲). بقیه با امتداد گسل تسوج و گسل شمال میشو موازی می باشند. بیش از ۷۱ درصد گسل های اندازه گیری شده دارای شیبی مابین ۸۰ و ۹۰ درجه می باشند. با توجه به جهت یافتگی محورهای اصلی این وضعیت تنش، همچنین توزیع فضایی گسل ها، می توان گفت که رژیم تغییرشکل امتداد لغز در این زیرمنطقه حاکم می باشد. نسبت به این وضعیت تنش در طول قطعه شمال غرب گسل شمال میشو انتظار می رود که مؤلفه شیب لغز اصلی باشد. با توجه به بالا آمدگی جناح جنوبی این گسل و ترفیع واحدهای سنگ شناسی میوسن نسبت به رسوبات کواترنری، شیب این گسل باید به سمت جنوب باشد. همچنین همانطور که انتظار می رفت گسل تسوج نسبت به این وضعیت تنش دارای مؤلفه چپگرد می باشد. فرا آمدگی واحدهای میوسن در جناح غربی این گسل نسبت به رسوبات کواترنری در جناح شرقی و جهت یافتگی محورهای اصلی تنسور تنش، شیب به سمت غرب را برای این گسل پیشنهاد می کند.

زیرمنطقه ۲ تجربه کردن دو رژیم تنش را نشان می دهد (شکل ۳-d و جدول ۱). اولین رژیم تنش تعیین شده (A) تقریباً یک وضعیت تنش فشارشی محوری می باشد. بیشینه محور اصلی فشارشی این تنسور تنش افقی بوده و نسبت به گسل های شمالی و جنوبی میشو و نیز گسل تسوج زاویه ی بزرگ تشکیل می دهد. محور اصلی متوسط پرمیل ترین محور این تنسور تنش می باشد. این شرایط برای تشکیل رژیم تغییرشکل امتداد لغز مناسب می باشد. نظر به قائم بودن تقریبی گسل شمال میشو و وضعیت این تنسور تنش، مقدار مؤلفه شیب لغز در روی این گسل کم می باشد (شکل e-۳). همچنین با توجه به زیاد بودن مقدار مؤلفه نرمال تنش روی صفحه گسلی، مقدار مؤلفه امتداد لغز بایستی کم باشد. در همین راستا در امتداد گسل شمال میشو، کمتر می توان به انحراف مسیر آبراهه بطور مشخص برخورد کرد. با توجه به موازی

ضمیمه:

تصاویری از صفحه‌های گسلی و شاخص‌های کینماتیکی همراه شان. صفحه گسلی در روی سنگ‌های (a) داسیتی به سن پلئو کواترنری (زیر منطقه ۱)؛ (b) داسیتی و ترکی داسیتی به سن نئوژن- بعد از میوسن (زیر منطقه ۲)؛ (c) مارن‌های ژیبسی به سن میوسن (زیر منطقه ۳).





میشو نتیجه تغییر شکل ترفشارشی می‌باشد.

بیشینه اختلاف بین وضعیت‌های دیرینه تنش (B در دو زیرمنطقه) برابر با 0.7545 است که بیانگر مشابه بودن تنش‌های مربوطه می‌باشد. پارامترهای متوسط مربوط به این دیرینه تنش‌ها بصورت $163/11 = 3\sigma = 02/253 = 2\sigma$ و $79/353 = 1\sigma$ و $\Phi = 80/0$ است. این تنسور بیانگر این است که پهنه تغییر شکل میشو یک رژیم تغییر شکل تراکشی را تجربه کرده است. بطور کلی، نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر فرا آمدگی میشو در نتیجه ایجاد ساختارهای امتداد لغز و تغییر شکل ترفشارشی بوده و وجود ساختار گل وار مثبت را مورد تایید قرار می‌دهند.

نتیجه گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش در طول گسل شمال میشو دو مرحله تکتونیکی تشخیص داده شد:

۱- در زیرمنطقه‌های ۲ و ۳ رژیم کششی در طی پلیوسن حاکم بوده است. در این رژیم تنش، 1σ و 3σ افقی بوده و 2σ پرمیل ترین محور را تشکیل می‌دهد.

۲- در زیرمنطقه ۱ رژیم تنش کششی توسط 1σ و 3σ افقی و 2σ پرمیل شکل گرفته است. این رژیم مربوط به عهد حاضر می‌باشد.

۳- در زیرمنطقه‌های ۲ و ۳، رژیم تنش فشارشی عهد حاضر توسط 1σ و 3σ افقی، همچنین 2σ پرمیل شکل گرفته است.

بطور کلی فرا آمدگی میشو نتیجه ایجاد ساختارهای امتداد لغز و تغییر شکل ترفشارشی بوده که وجود ساختار گل وار مثبت را تایید می‌کنند.

دارای امتداد NNW-SSE بوده است. این محور در وضعیت‌های تنش عهد حاضر دارای امتداد عمومی شمالی - جنوبی می‌باشد. علیرغم اینکه در طول قطعات مختلف گسل شمال میشو جهت یافتگی بیشینه محور فشارشی وضعیت‌های تنش معاصر نزدیک به هم می‌باشند، این وضعیت‌های تنش دارای عامل شکل متفاوتی می‌باشند. اختلاف زیاد عامل شکل در زیرمنطقه اول ممکن است ناشی از تأثیر گسل تسوج (آشفتگی میدان تنش) باشد.

بیشینه اختلاف تنسور تنش مابین وضعیت‌های تنش مربوط به عهد حاضر (وضعیت تنش A در هر سه زیرمنطقه) برابر با 0.6264 است. این مقدار بیانگر مشابه بودن این وضعیت‌های تنش می‌باشد. پارامترهای تنسور تنش متوسط آنها بصورت $184/06 = 2\sigma$ و $83/1\sigma = 02/274 = 3\sigma$ و $\Phi = 36/0$ می‌باشد. این پارامترها مستعد برای تشکیل ساختارهای امتداد لغز می‌باشند. نسبت به این تنسور تنش، جابجایی در طول گسل شمال میشو اساساً باید بواسطه مولفه‌ی امتداد لغز صورت گیرد. جهت یافتگی بیشینه محور فشارشی این تنسور تقریباً هم راستا با جهت کوتاه شدگی N-S حاصل از اندازه‌گیری‌های GPS ارائه شده توسط (Vernant et al., 2004) و نیز امتداد تقریبی N-S حاصل از حل سازوکار کانونی زلزله‌ها در منطقه شمال غرب ایران (Talebian and Jackson, 2002) و نیز در اطراف گسل شمال تبریز (مرادی و همکاران، ۱۳۸۷) می‌باشد. با توجه به اینکه جهت یافتگی بیشینه محور فشارشی این تنسور نسبت به امتداد عمومی گسل جنوبی میشو عمودی است مؤلفه شیب لغز روی صفحات این گسل بایستی مؤلفه اصلی لغزش را تشکیل دهد. همچنین طبق این تنسور متوسط، پهنه بالا آمده

tion of stress tensors from fault striation analysis. *Journal of Structural Geology*, 3, 51–65.

- Fry, N., 1999. Striated faults: visual appreciation of their constraint on possible palaeostress tensors. *Journal of Structural Geology*, 21, 7–21.

- Galindo-Zaldívar, J. and González-Lodeiro, F., 1988. Faulting phase differentiation by means of computer search on a grid pattern. *Annales Tectonicae*, 2, 90–97.

- Golonka, J., 2004. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. *Tectonophysics*, 381, 235–273.

- Homberg, C., Hu, C., Angelier, B., Bergerat, F. and Lacombe, O., 1997. Characterization of stress perturbations near major fault zones: insights from 2-D distinct-element numerical modelling and field studies (Jura mountains). *Journal of Structural Geology*, 19(5) 703–718.

- Karakhaniana, A.S., Trifonovb, V.G., Philip, H., Avagyana, A., Hessamid, K., Jamalie, F., Bayraktutan, M.S., Bagdassariana, H., Arakeliana, S., Davtian, V. and Adilkhanyan, A., 2004. Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwestern Iran. *Tectonophysics*, 380, 189–219.

- Liesa, C.L. and Lisle R.J., 2004. Reliability of methods to separate stress tensors from heterogeneous fault-slip data. *Journal of Structural Geology*, 26, 559–572.

- Lisle, R.J., 1988. Romsa: a Basic program for palaeostress analysis using fault-striation data. *Computers & Geosciences*, 14, 255–259.

- Lisle, R.J. and Orife, T., 2002. STRESSTAT: a Basic program for numerical evaluation of multiple stress inversion results. *Computers and Geosciences*, 28, 1037–1040.

- Lisle, R.J., Orife, T.O., Arlegui, L., Liesa, C. and Srivastava, D.C., 2006. Favoured states of palaeostress in the Earth's crust: evidence from fault-slip data. *Journal of Structural Geology*, 28, 1051–1066.

- Nemcok, M. and Lisle, R.J., 1995. A stress inversion procedure for polyphase fault/slip data sets. *Journal of Structural Geology*, 17, 1445–1453.

- Nieto-Samaniego, A.F. and Alaniz-Alvarez, S.A., 1997. Origin and tectonic interpretation of multiple fault patterns. *Tectonophysics*, 270, 197–206.

- Orife, T. and Lisle, R.J., 2003. Numerical processing of palaeostress results. *Journal of Structural Geology*, 25, 949–957.

- Ramsay, J.G. and Lisle, R.J., 2000. *The Techniques of Modern Structural Geology*; Vol. 3. Applications of Con-

تشکر و قدردانی

ما از دو داور گرامی که با ارائه نظرات سازنده‌شان به پربارتر شدن این مقاله کمک کردند تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع

- آقا نباتی، آ.، ۱۳۸۶. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران، ۵۸۶.

- احمدزاده، غ.، ۱۳۸۹. مطالعات پترولوژیکی سنگ‌های ولکانیک شمال مرند با تاکید بر سنگ‌های آکالن. رساله دکتری پترولوژی، دانشگاه تبریز، ۲۴۷.

- سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۳۷۳، مرند، آذربایجان شرقی، ایران، سری زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، برگه ۵۱۶۶.

- سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۳۷۳، تسوج، آذربایجان شرقی، ایران، سری زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، برگه ۵۰۶۶.

- مرادی سیاهکلی، ع.، تاتار، م.، هاتسفلد، د. و پل، آ. ۱۳۸۷. مطالعه ساختار سرعتی پوسته و سازوکار گسلش در زون گسلی امتداد لغز تبریز. *علوم زمین*، ۷۰، ۱۵۳–۱۴۰.

- مویبد، م.، حسین زاده، ق. ۱۳۹۰. سنگ‌نگاری و سنگ‌شناسی گرانیتوئیدهای A-type شرق کوه‌های میشو با نگرشی بر اهمیت ژئودینامیکی آن‌ها، *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، ۳، ۵۲۹–۵۴۴.

- مویبد، م. و موذن، م. کلاگری ع. ا. و حسین‌زاده ق. ۱۳۸۴. کانی‌شناسی و پترولوژی توده گرانیتوئیدی میشو (جنوب غرب مرند- آذربایجان شرقی) و اهمیت ژئودینامیکی آن. *مجموعه مقالات سیزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۴۱–۱۴۶.

- مویبد، م.، موذن، م.، نگرشی نو بر موقعیت خط درز پالئوتتیس در ایران، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، پوستر. ارائه پوستر در: ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه باهنر کرمان، ۵–۷ شهریور ۱۳۸۱، کرمان.

- Angelier, J., 1989. From orientation to magnitudes in paleostress determination using fault slip data. *Journal of Structural Geology*, 11 (2), 37–50.

- Berberian, M. and Arshadi, S., 1976. On the evidence of the youngest activity of the North Tabriz Fault and the seismicity of Tabriz city, *Geological Survey of Iran, Report*, 39, 397–418.

- Bott, M.H.P., 1959. The mechanisms of oblique slip faulting. *Geological Magazine*, 96, 109–117.

- Doblás, M., 1998. Slickenside kinematic indicators. *Tectonophysics*, 295, 187–197.

- Etchecopar, A., Vasseur, G. and Daignieres, M., 1981. An inverse problem in microtectonics for the determina-

tinuum Mechanics in Structural Geology. Academic Press, 701-1060.

- Talebian, M. and Jackson, J.A., 2002. Offset on the Main Recent Fault of the NW Iran and implications for the late Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone, *Geophysical Journal International*, 150, 422-439.

- Twiss, R.J. and Moores, E.M., 1992. *Structural Geology*, W.H. Freeman, 532.

- Vernant, P., Nilforushan, F., Hatzfeld, D., Abbasi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinold, j., Ashtiani, A., Tavakoli, F. and Chery, J., 2004. Present-

day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman, *Geophysical Journal International*, 157, 38-398.

- Wallace, R.E., 1951. Geometry of shearing stress and relation to faulting. *Journal of Geology* 59, 118-130.

- Yamaji, A., 2000. The multiple inverse method applied to meso-scale faults in mid-Quaternary fore-arc sediments near the triple trench junction off central Japan. *Journal of Structural Geology*, 22, 429-440.

Archive of SID