

بازسازی میدان تنش محلی امروزی مؤثر بر گسل شمال تبریز و مناطق پیرامون آن براساس سازوکار کانونی زلزله‌ها با استفاده از روش وارون

احد نوری مخوری^(۱) و بهنام رحیمی^(۲)

۱. دانشجوی دکتری تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استاد تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۶

چکیده

در این مطالعه، میدان تنش زمین‌ساختی امروزی مؤثر بر گسل شمال تبریز و نواحی پیرامون آن با استفاده از ۳۷ سازوکار کانونی زلزله‌های جمع‌آوری شده از منابع مختلف، بازسازی شده است. برای تعیین ماهیت سازوکار کانونی زلزله‌ها و دامنه تغییرات ماهیت آن‌ها در رژیم‌های مختلف زمین‌ساختی از نمودارهای مثلثی استفاده شده است. ماهیت سازوکار این داده‌ها از رژیم امتدادلغزی تا راندگی تغییر می‌کند. برای به دست آوردن تنسورهای تنش تقلیل یافته‌ای که بیشترین تعداد داده‌ها در آن شرکت کنند و میدان‌های بازسازی شده، پوشش کاملی نسبت به تنش‌های مؤثر بر منطقه داشته باشد، فرایند جدایش تنش‌ها بر روی داده‌ها برای جداسازی رژیم‌های زمین‌ساختی متفاوت از سیستم چند مرحله‌ای اعمال شد. نتایج تحلیل وارون و جدایش داخلی داده‌ها، نشان می‌دهد در این منطقه سه سامانه تنش عمل می‌کنند. به‌طور جالب توجهی هر سه سامانه تنش دارای جهت فشارش افقی در جهت شمال غرب-جنوب شرق تا شمال شرق-غرب جنوب شرق هستند. جهت بیشینه فشارش در هر کدام از رژیم‌های تنش اول، دوم و سوم به ترتیب ۰۹/۳۲۹، ۲۸/۳۱۰ و ۰۳/۱۳۸ می‌باشد.

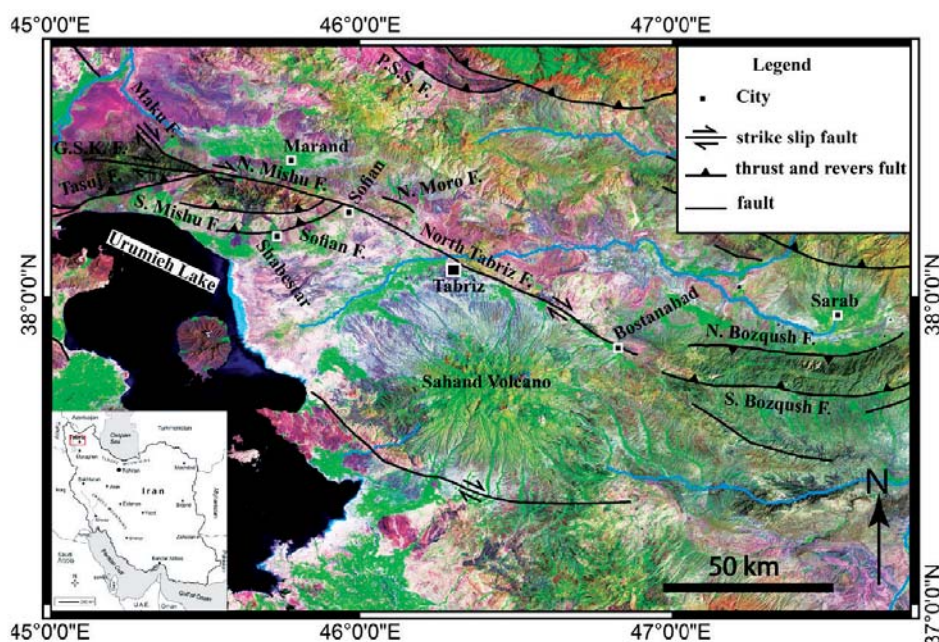
واژه‌های کلیدی: جدایش تنش، گسل شمال تبریز، مکانیسم کانونی زلزله، میدان تنش.

مقدمه

عمده و بزرگ (Copley and Jackson, 2006) و عملکرد آن‌ها (Berberian, 1976) از جمله گسل تبریز، گسل آناتولی شمالی، گسل شرق آناتولی، شاخه‌های گسل جوان اصلی (زاگرس) (Berberian, 1976)، گسل‌های البرز غربی (Berberian and Yeats, 1999)، میشو، ارس، ارومیه، آستارا-اردبیل و گسل میانه-اردبیل با روندهای متفاوت این گستره را به منطقه‌ای با ساختار زمین‌ساختی فعال و پیچیده تبدیل کرده است (شکل ۱).

صفحه ایران، یک پهنه تکتونیکی با زمین‌ساخت فعال است که درون کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا قرار گرفته است (Azizi and Moinevaziri, 2009). در این پهنه، موقعیت زمین‌ساختی منطقه آذربایجان در قسمت مرکزی پهنه برخوردی عربی-اوراسیا (Solaymani Azad et al., 2011) بین دو کوهزاد بزرگ قفقاز در شمال و زاگرس در جنوب واقع شده است. کینماتیک و تأثیر متقابل پایانه‌های گسل‌های

* نویسنده مرتبط: ahadnouri.m@gmail.com



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه همراه با گسل‌های اصلی منطقه (برگرفته از Siakhali Moradi et al., 2011 و نوری مخوری، ۱۳۹۲)

وارون‌سازی تنش زمین‌ساختی

حل سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها یکی از روش‌هایی است که برای تحلیل و برآورد تنسور تنش برای شناخت میدان تنش‌های زمین‌ساختی عهد حاضر استفاده می‌شود. این داده‌ها بیشترین کاربرد را در بازسازی میدان تنش زمین‌ساختی در نقشه جهانی تنش^۱ (Zoback, 1992) داشته‌اند. براساس Delvaux and Barth (2010) روش‌های وارون‌سازی تنش‌های زمین‌ساختی (فرضیه Wallace-Bott (Wallace, 1951; Bott, 1959)) با فرض اینکه میدان تنش، در زمان و فضا یکنواخت و ثابت است و لغزش زمین‌لرزه در جهت حداکثر تنش برشی اتفاق می‌افتد، عمل می‌کنند. هدف همه این روش‌ها دستیابی به تنسور تنشی است که با چهار مؤلفه σ_1 ، σ_2 ، σ_3 (تنش‌های اصلی فشارشی، خنثی و کششی) و شکل میدان تنش، $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ ، به تفسیر درباره رژیم تنش لرزه‌زمین‌ساختی منطقه می‌پردازد و با نام تنسور تنش تقلیل یافته^۲ شناخته می‌شود.

لرزه‌زمین‌ساخت

همگرایی صفحات عربی و اوراسیا (۲۲) میلی‌متر در سال)، به‌عنوان مهمترین عامل ژئودینامیک مؤثر بر تکامل زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت پهنه برخوردی عربی-اوراسیا (Vernant et al., 2004) در شمال غرب ایران و جنوب شرق ترکیه، در طول گسل‌های امتدادلغز راستگرد مستهلک می‌شود (Jackson and Mckenzie, 1984). گسل شمال تبریز، با حداقل نرخ لغزش ۲ میلی‌متر در سال، میزان لغزش افقی ۳/۱-۴ میلی‌متر در سال و لغزش عمودی ۰/۵-۰/۸ میلی‌متر در سال (Hessami et al., 2003)، در زمان‌های گذشته باعث زلزله‌های بزرگ با گسیختگی‌های سطحی قابل توجهی در منطقه شده است. به‌عنوان نمونه، زلزله سال ۱۷۲۱ میلادی شیبلی ($M \sim 7/3$)، با گسیختگی سطحی بیش از ۳۵ کیلومتر و زلزله سال ۱۷۸۰ میلادی تبریز ($M \sim 7/4$) با گسیختگی سطحی بیش از ۴۲ کیلومتر و ۲ تا ۴ متر جدایش عمودی را می‌توان نام برد (Berberian and Yezts, 1999).

1. . World stress map
2. . Reduced stress tensor

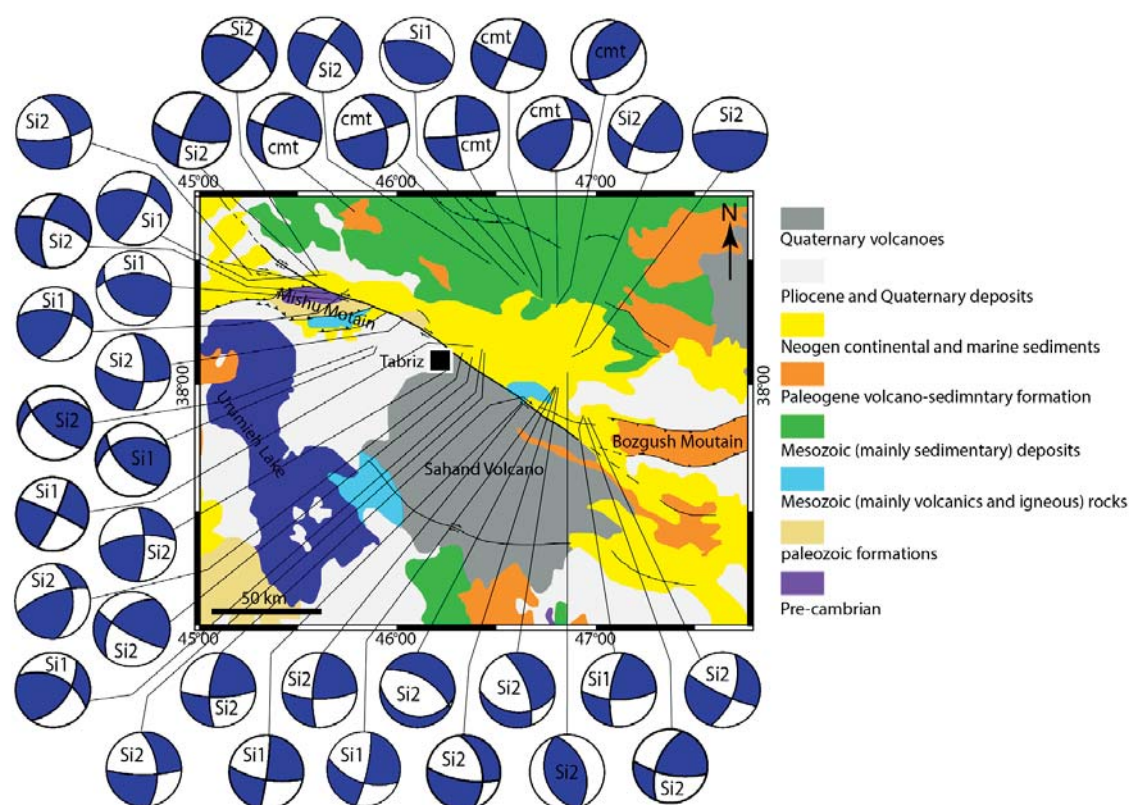
داده‌ها

کرد. این نمودارها یک روش گرافیکی-عددی برای نشان دادن مکانیسم‌های کانونی با استفاده از مقادیر زوایای محورهای P، B و T هستند. Frohlich (1992) از اولین افرادی است که با استفاده از این نمودارها به نمایش ماهیت مکانیسم‌های کانونی زلزله‌ها پرداخت. بر پایه Frohlich (1992)، زمانی که محور T قائم یا نزدیک به قائم ($>50^\circ$) باشد مکانیسم، تراستی (TF) است، زمانی که محور B قائم یا نزدیک به قائم ($>60^\circ$) باشد مکانیسم، امتدادلغزی (SS) و زمانی که محور P قائم یا نزدیک به قائم ($>60^\circ$) باشد مکانیسم، نرمال (NF) خواهد بود. مکانیسم‌های کانونی مورد استفاده در این مقاله اول بر روی نمودار Frohlich (1992) انتقال یافت. ماهیت این مکانیسم‌ها از امتدادلغزی تا تراستی متغیر است و مکانیسم‌های با ماهیت امتدادلغزی غالب هستند (شکل ۳).

برای مطالعه تنش‌های مؤثر در گستره مورد مطالعه، از مکانیسم کانونی زلزله‌های ارائه شده برای این منطقه در منابع مختلف (Siahkali Moradi et al., 2011؛ سیاهکالی مرادی و همکاران، ۱۳۸۷ و سایت GCMT^۱) استفاده شده است. تعداد داده‌هایی که در تحلیل تنش امروزی این منطقه مورد استفاده قرار گرفته ۳۷ مکانیسم کانونی می‌باشد. میانگین عمق کانونی آن‌ها تقریباً ۱۲/۹۲ کیلومتر و بیشتر دارای سازوکار امتدادلغزی تا راندگی هستند (شکل ۲).

تعیین ماهیت فوکال مکانیسم‌ها

در مواردی که برای تحلیل زمین‌ساختی یک منطقه، امکان نشان دادن اطلاعات مربوط به مکانیسم کانونی زلزله‌ها وجود ندارد، می‌توان از نمودارهای مثلی استفاده



شکل ۲. تصویر مکانیسم‌های کانونی زلزله‌های جمع‌آوری و استفاده شده با موقعیت رومرکز آن‌ها در روی نقشه زمین‌شناسی منطقه. واحدهای زمین‌شناسی براساس Si1: Solaymani Azad et al., 2011. سیاهکالی مرادی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Si2: Siahkali Moradi et al., 2011 و cmt: Centroid Moment Tensor

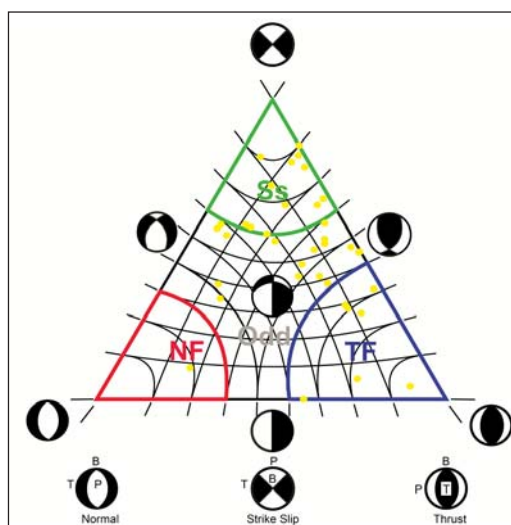
1. Global centroid moment tensor

وارون سازی تنش از مکانیسم کانونی زلزله‌ها

برای تعیین جهات تنش و رژیم‌های مؤثر قابل توجیه از میدان تنش، روش وارون سازی Delvaux and Sperner (2003) بر روی سازوکار کانونی زلزله‌های گردآوری شده اعمال شد. بازسازی میدان تنش بهینه غالب (شکل ۵) از روی این داده‌ها نشان‌دهنده سوگیری محورهای اصلی تنش با موقعیت $\sigma_1: 0.3/329$ ، $\sigma_2: 48/069$ و $\sigma_3: 41/232$ با رژیم تنش TS می‌باشد. دامنه تغییرات ماهیت سازوکار فوکال مکانیسم‌ها (شکل‌های ۳ و ۴) و عدم مشارکت تعداد زیاد داده‌ها (۵۰٪) در تنش بازسازی شده باعث توجه و تأکید روی فرآیند جدایش تنش‌ها شد. در واقع زمانی که داده‌های گسل-خش لغزش و مکانیسم کانونی زلزله‌ها ناهمگن باشند به‌طور کلی یک تنسور تنش نمی‌تواند یک مدل رضایت‌بخش از میدان تنش را برای تمام مشاهدات، لغزش‌های روی گسل‌ها و ساختارهای منطقه ارائه دهد. در چنین حالتی باید میدان‌هایی از تنش را بازسازی کرد که هر کدام دارای یک تنسور تنش نامشابه با میدان‌های دیگر باشد. برای این منظور داده‌ها به زیرمجموعه‌های مختلف تقسیم شد. جدایش داده‌ها نشانگر عملکرد سه رژیم تنش مؤثر بر کینماتیک منطقه است. رژیم تنش اول همان رژیم تنش غالب است. رژیم تنش دوم نشانگر سوگیری محورهای ماهیت این میدان از هیچ‌یک از میدان‌های تعریف شده در نقشه جهانی تنش براساس زوایای محوره‌های T و P، B (Zoback, 1992) تبعیت نمی‌کند. رژیم تنش سوم یک رژیم تنش TS با محوره‌های $\sigma_1: 0.3/138$ ، $\sigma_2: 48/045$ و $\sigma_3: 42/231$ است (جدول ۱ و شکل ۵).

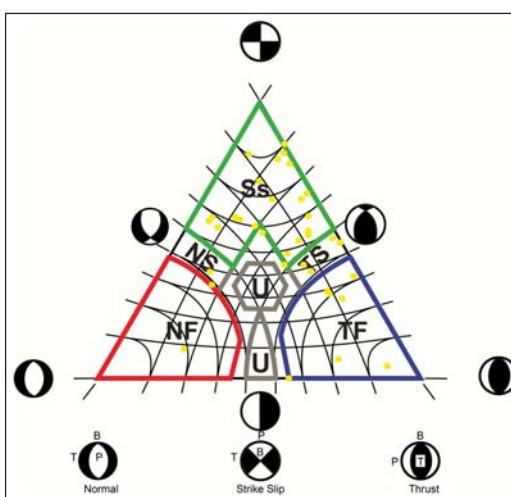
بحث

در طول فرایند وقوع یک زلزله، شرایط تنش در منطقه، جهت لغزش در صفحه گسل را تعیین می‌کند (De Vicente et al., 2008) به‌علاوه گسل تبریز از زلزله‌خیزترین گسل‌های کشور است (Berberian and



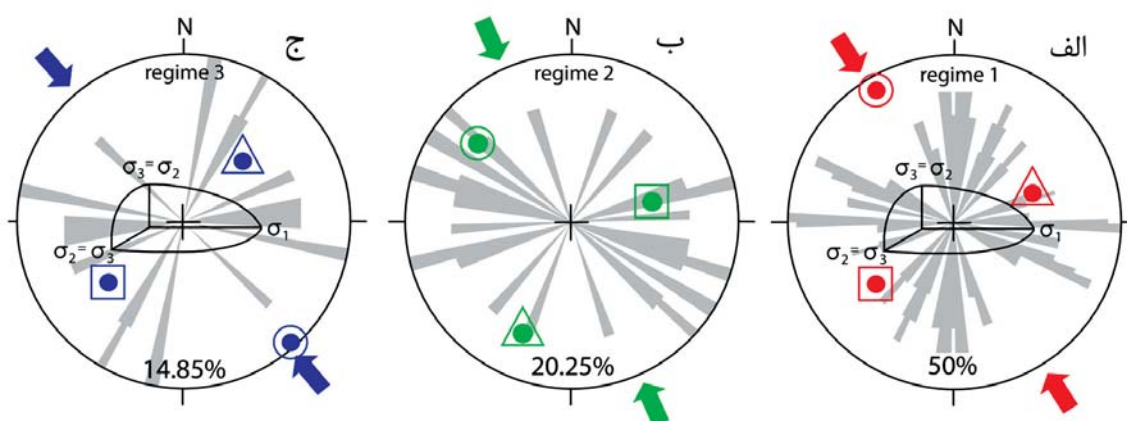
شکل ۳. گستره تغییرات ماهیت سازوکار کانونی زلزله‌ها که بر روی نمودار مثلثی برگرفته از Frohlich (1992) درج شده است. TF: تراستی، NF: نرمال، Ss: امتدادلغز و Odd: مکانیسم‌هایی هستند که از هیچ‌کدام از رژیم‌های تنش تبعیت نمی‌کنند

Soumaya et al. (2015) این دیاگرام را با تعاریفی متفاوت برای اندازه زوایای P، B، T و رژیم تنش، گسترش داده‌اند. لذا برای تعیین ماهیت مکانیسم‌های کانونی با جزئیات بیشتر، داده‌های مورد استفاده، بر روی این دیاگرام انتقال داده شد که نتیجه آن نشانگر غالب بودن ماهیت امتدادلغزی است و تغییرات ماهیت این مکانیسم‌ها، از امتدادلغزی تا تراستی می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴. گستره تغییرات ماهیت سازوکار کانونی زلزله‌ها که بر روی دیاگرام مثلثی برگرفته از Soumaya et al. (2015) درج شده است. TF: تراستی، NF: نرمال، Ss: امتدادلغز، NS: نرمال به امتدادلغزی، TS: تراستی به امتدادلغزی و U^۱: مکانیسم‌هایی هستند که از هیچ‌کدام از رژیم‌ها تبعیت نمی‌کنند

1. Unknown
2. Stress separation



شکل ۵. تصویر استریوگرافیک حاصل از وارون سازی مکانیسم های کانونی زلزله های به کار برده شده برای بازسازی میدان های تنش σ_1 ، σ_2 و σ_3 به ترتیب با دایره، مثلث و مربع نشان داده شده اند. رزیدیاگرامها مربوط به امتداد صفحات گرهی شرکت کننده در تنسور تنش هستند. بیضی داخل استریونت نشان دهنده بیضی های تنش حاصل از این رژیم تنش براساس Bada et al. (2007) می باشند. پیکانها نشانگر محور تنش افقی (در این موارد فشارشی) است و اعدادی که به درصد بیان شده اند نشانگر درصد داده های شرکت کننده در هر یک از میدان های تنش بازسازی شده است. الف) (رنگ قرمز) نشانگر فاز تنش اول، ب) (رنگ سبز) نشانگر فاز تنش دوم و ج) (رنگ آبی) نشانگر فاز تنش سوم است

۱۳۹۲ با استفاده از سازوکار کانونی ۱۰ ریزلرزه به بررسی میدان تنش امروزی مرتبط با گسل تبریز پرداختند. در این مطالعه علاوه بر اینکه تعداد داده ها به ۳۶ عدد افزایش پیدا کرده است، وسعت منطقه مورد مطالعه افزایش یافته، سازوکار زلزله های بزرگ نیز در این مطالعه شرکت داده شده است به علاوه با روشی کامل تر همراه با جدایش میدان های تنش (Delvaux and sperner, 2003; Delvaux and Barth, 2010) با دقت بالا به مطالعه پرداخته شده است. زمانی که تنسور تنش حاصل از مجموع مکانیسم های کانونی زلزله ها با رژیم تنش منطقه سازگار نباشد و یا داده ها همگن نباشند، عمل جدایش داده ها باعث می شود تا حد امکان بیشترین مقدار داده ها در تحلیل تنسوری میدان تنش به کار گرفته شوند و میدان های بازسازی شده پوشش کاملی نسبت به تنش های مؤثر بر منطقه داشته باشد و توجیه کامل و قابل قبولی از ساختارهای منطقه به دست آید (زمانی قره چمنی، ۱۳۹۲). درکل از تمام مکانیسم های کانونی با سازوکار متفاوت از راندگی تا امتدادلغزی، سه فاز تنش تفکیک شد که بر لرزه خیزی، دگرشکلی و فعالیت این گسل مؤثر هستند. روند محور فشارش در هر سه میدان تفکیک شده شمال شمال غربی- جنوب جنوب شرقی تا شمال غربی- جنوب شرقی است (شکل ۶ و جدول ۱). این گسل جنبش راستالغز راستگرد با مؤلفه راندگی را طی حرکات کوآترنری

(Arshadi, 1976) و لذا می توان درک بیشتر ویژگی های ژئودینامیکی و ساختاری این گسل و پیرامون آن به تعیین جهت گیری فضایی محورهای تنش های زمین ساختی و بازسازی میدان تنش با استفاده از مکانیسم کانونی زلزله های آن پرداخت. اولین قدم برای این کار، تعیین ماهیت نشانگرها یا داده های به کار گرفته شده است. برای تعیین ماهیت سازوکار داده های مورد استفاده از نمودارهای مثلثی استفاده شد. مزیتی که این نمودارها در تشخیص سازوکار مکانیسم های کانونی دارند این است که تعیین ماهیت سازوکار مکانیسم های کانونی در نمودار مثلثی فقط به زاویه میل محورهای P، B و T بستگی دارد و مستقل از جهت گیری آزمایشی آنها است. لذا این نمودارها برای تعیین تغییرات ماهیت سازوکار مکانیسم های کانونی مختلف و تعیین نسبت نوع حرکت (تراستی، نرمال و امتدادلغزی) آنها مفید خواهد بود (Frohlich, 1992). برای پیکربندی کلی موقعیت تنش های زمین ساختی، بهتر است تمام مکانیسم های کانونی زلزله ها (هم زلزله های بزرگ و هم کوچک) برای تحلیل به کار گرفته شوند (Lee et al., 1997). روشی که برای تحلیل تنسور تنش تقلیل یافته برای بازسازی میدان تنش امروزی بر روی داده ها اعمال شد، روش وارون (Delvaux and Sperner, 2003) است. نوری مخوری، ۱۳۹۲ و نوری مخوری و همکاران،

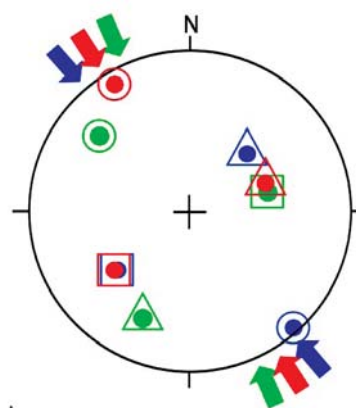
رژیم ۱: به عنوان تنش غالب در ارتباط با یک رژیم فشاری-امتداد لغزی (TS) است (شکل ۷). محور بزرگترین تنش اصلی دارای جهت گیری 329° از شمال است (جدول ۱ و شکل ۵-الف).

رژیم ۲: رژیم تنش با مکانیسم نامعلوم (در این میدان تنش، میل همه محورهای P، B و T از قائم یا نزدیک به قائم کمتر است) تا فشاری امتداد-لغزی (TS) (شکل ۷) است که محور بزرگترین تنش اصلی آن دارای جهت گیری 310° از شمال است (جدول ۱ و شکل ۵-ب).

رژیم ۳: رژیم تنش با مکانیسم مرتبط با یک رژیم فشاری امتداد-لغزی (TS) است (شکل ۷). محور بزرگترین تنش اصلی دارای جهت گیری 138° از شمال است (جدول ۱ و شکل ۵-ج).

تحلیل داده‌های لرزه‌ای به کارگرفته شده در گستره مورد مطالعه بر اساس جدایش داخلی داده‌ها با رعایت استانداردهای لازم، باعث دستیابی به تنسورهای تنش با کیفیت بالا (Delvaux and Barth, 2010) (A و B) با

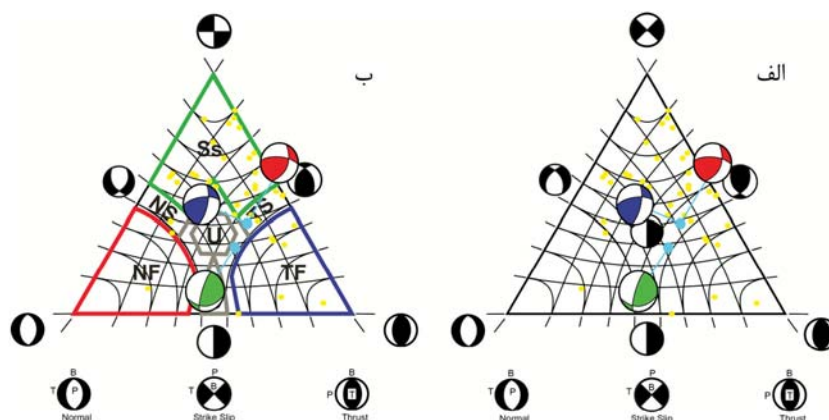
داشته است (Siahkali Moradi et al., 2011; Berberian and Arshadi, 1976; Soleymani Azad et al., 2015; Mesbahi et al., 2016) که این جهت‌گیری فشارش با حرکات راستا لغزی راستگرد گسل تبریز هم‌خوان است.



شکل ۶. نمایش استریوگرافیک سه فاز تنش تفکیک شده در روی یک استریونوت. σ_1 ، σ_2 و σ_3 به ترتیب با دایره، مثلث و مربع نشان داده شده‌اند که به ترتیب نشانگر محورهای اصلی تنش فشارشی، خنثی و کششی هستند. پیکان‌ها نشانگر محور تنش افقی (در این موارد فشارشی) است. رنگ قرمز نشانگر فاز تنش اول، رنگ سبز نشانگر فاز تنش دوم و رنگ آبی نشانگر فاز تنش سوم است.

جدول ۱. نتایج تحلیل و جدایش تنش‌ها. n : درصد داده‌های شرکت‌کننده در تنسور تنش σ_1 ، σ_2 و σ_3 به ترتیب نشانگر موقعیت محورهای اصلی تنش فشارشی، خنثی و کششی هستند. R: نسبت شکلی تنش، α : زاویه عدم انطباق و QRFm: میزان کیفیت بر اساس تعریف در پروژه نقشه جهانی تنش

Regime	σ_1	σ_2	σ_3	R	α	QRFm	%n
۱	۰۹/۳۲۹	۴۸/۰۶۹	۴۱/۲۳۲	۰/۱۲	۹/۵	A	%۵۰
۲	۲۸/۳۱۰	۲۸/۲۰۴	۴۹/۰۷۷	۰/۷۸	۹	A	%۲۰/۲۵
۳	۰۳/۱۳۸	۴۸/۰۴۵	۴۲/۲۳۱	۰/۸۲	۹/۵	B	%۱۴/۸۵



شکل ۷. تعیین رژیم زمین‌ساختی میدان‌های بازسازی شده مبتنی بر دیاگرام‌های مثلثی برگرفته از (Frohlich, 1992) و (Soumaya et al., 2015). (ب) مکانیسم‌های قرمز، سبز و آبی به ترتیب مربوط به رژیم‌های تنش اول، دوم و سوم

گسلش در زون گسلی امتدادلغز تبریز، فصلنامه علوم زمین، ۷۰، ۱۵۳-۱۴۰.

- نوری مخوری، ا.، ۱۳۹۲. مطالعه ساختار و سائزموکتونیک گسل شمال تبریز (فاصله بستان آباد تا مرند) و برآورد تنش‌های تکتونیکی مرتبه سوم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۲۶.

- نوری مخوری، ا.، زمانی قره چمنی ب.، موید م. و فریدی م.، ۱۳۹۲. تحلیل تنش امروزی در امتداد گسل شمال تبریز بر اساس داده‌های سازوکار کانونی زلزله‌ها. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین.

- Azizi, H. and Moinevaziri, M., 2009. Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran. *Journal of Geodynamics*, 47, 167-179.

- Bada, G., Horváth, F., Dövényi, P., Szafián, P., Windhoffer, G. and Cloetingh, S., 2007. Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin. *Global and Planetary Change*, 58, 165-180.

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

- Berberian, M. and Yeats, R.S., 1999. Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, 120-139.

- Berberian, M., 1977. Contribution to the seismotectonics of Iran. Ministry of Industry and Mines, Geological and Mining Survey of Iran, Tectonic and Seismotectonic Research Section, 3.

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

- Copley, A. and Jackson, J., 2006. Active tectonics of the Turkish-Iranian plateau. *Tecton-*

زایه عدم انطباق کمتر از 10° از 85% کل داده‌ها شد. لذا با توجه به مقدار کم زاویه عدم انطباق، کیفیت حل وارون تنش بسیار خوب است. بازسازی میدان‌های تنش امروزی و موقعیت تنسوری این میدان‌ها نشانگر تاثیر و عملکرد سه سامانه تنش با روند بیشترین تنش فشاری شمال غربی-جنوب جنوب شرقی تا شمال غربی-جنوب شرقی است. وقتی گسلی با این راستا (NW-SE) نسبت به چنین جهات فشارش افقی حاصل از میدان‌های تنش قرار گیرد، انتظاری که از مکانیسم حرکتی آن می‌رود، حرکت امتدادلغزی-رانده است و به عبارت ساده‌تر این‌گونه حرکات مورب‌لغزی برای گسلی با این جهت‌گیری در چنین میدانی از تنش دور از انتظار نیست.

نتیجه‌گیری

محدوده تغییرات ماهیت سازوکار داده‌های مورد استفاده برای بازسازی میدان تنش گسل شمال تبریز و نواحی اطراف آن نسبت به حرکات امتدادلغزی و فشاری گسل شمال تبریز انعطاف‌پذیری زیادی نشان می‌دهند و دامنه تغییرات آن‌ها از امتدادلغزی تا تراستی است. در کل سه میدان تنش با پایداری و اطمینان بالا بازسازی شد که جهت فشارشی افقی هر سه میدان مطابق با حرکات امتدادلغزی راستگردی گسل شمال تبریز است. به‌علاوه رژیم تنش میدان‌های ۱ و ۳ (جدول ۱ و شکل‌های ۵-الف و ج) در محدوده تغییرات امتدادلغزی-فشاری (TS) است که در توافق با حرکت امتدادلغزی راستگرد با مولفه فشارشی این گسل است.

سپاسگزاری

از داوران محترم که با نظرات خود به‌وضوح بیان متن و پربار شدن مقاله کمک فراوانی کردند تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- زمانی قره چمنی، ب.، ۱۳۹۲. مدل زمین‌ساخت فلات آذربایجان (شمال گسل تبریز و جنوب ارس)، فصلنامه علوم زمین، ۸۷، ۵۰-۴۱.

- سیاهکالی مرادی، ع.، تاتار، م.، هاتسفلد، د. و آن، پ.، ۱۳۸۷. مطالعه ساختار سرعتی پوسته و ساز و کار

ics, 25,6, 1-19.

- De Vicente, G.D., Cloetingh, S.A.P.L., Muñoz-Martín, A., Olaiz, A., Stich, D., Vegas, R., Galindo-Zaldívar, J. and Fernández-Lozano, J., 2008. Inversion of moment tensor focal mechanisms for active stresses around the microcontinent Iberia: Tectonic implications. *Tectonics*, 27,1, 1-22.
- Delvaux, D. and Barth, A., 2010. African stress pattern from formal inversion of focal mechanism data. *Tectonophysics*, 482, 105-128.
- Delvaux, D. and Sperner, B., 2003. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program. Geological Society, London, Special Publications, 212, 75-100.
- Frohlich, C., 1992. Triangle diagrams: Ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 75, 193-198.
- Hessami, K., Pantosti, D., Tabassi, H., Shabanian, E., Abbassi, M.R., Feghli, K. and Solaymani, S., 2003. Paleoearthquakes and slip rates of the North Tabriz Fault, NW Iran: preliminary results. *Annals of Geophysics*, 46, 903-915.
- Jackson, J. and McKenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal International*, 77,1, 185-246.
- Lee, C.F., Hou, J.J. and Ye, H., 1997. The movement potential of the major faults in Hong Kong area. *Episodes*, 20, 227-231.
- Mesbahi, F., Mohajjel, M. and Faridi, M., 2016. Neogene oblique convergence and strain partitioning along the North Tabriz Fault, NW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 129, 191-205.
- Siahkali Moradi, A., Hatzfeld, D. and Tatar, M., 2011. Microseismicity and seismotectonics of the North Tabriz fault, Iran. *Tectonophysics*, 506, 22-30.
- Solaymani Azad, S., Dominguez, S., Philip, H., Hessami, K., Forutan, M.R., Shahpasan Zadeh, M. and Ritz, J.F., 2011. The Zandjan fault system: Morphological and tectonic evidences of a new active fault network in the NW of Iran. *Tectonophysics*, 506, 73-85.
- Soleymani Azad, S., Philip, H., Dominguez, S., Hessami, K., Shahpasandzadeh, M., Forutan, M., Tabassi, H. and Lamothe, M., 2015. Paleoseismological and morphological evidence of slip rate variations along the North Tabriz fault (NW Iran). *Tectonophysics*, 640, 20-38.
- Soumaya, A., Ayed, N.B., Delvaux, D. and Ghanmi, M., 2015. Spatial variation of present-day stress field and tectonic regime in Tunisia and surroundings from formal inversion of focal mechanisms: Geodynamic implications for central Mediterranean. *Tectonics*, 34, 1154-1180.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, M., Bayer, R., 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, 381-398.
- Wallace, R.E., 1951. Geometry of shear stress and relation to faulting. *Journal of Structural Geology*, 59, 118-130.
- Zoback, M. L., 1992. First and second order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map project. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 97(B8), 11703-11728.