

بررسی وضعیت تنش در محدوده پهنه گسلی سیاه چشمه - خوی (شمال باختر ایران) و استفاده از روش تحلیل جدایش تنش‌ها در جدایش تنش‌های نوزمین ساخت از تنش‌های دیرین

بهزاد زمانی قره چمنی^{۱*}

^۱ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۱۸

چکیده

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، در شمال‌باختری ایران و در استان آذربایجان غربی قرار دارد و شهر خوی به عنوان بزرگ‌ترین منطقه مسکونی در حاشیه جنوب خاوری منطقه یاد شده قرار گرفته است. در این پژوهش وضعیت رژیم تنش در محدوده گسل سیاه چشمه - خوی، بر پایه روش تحلیل وارون، بر مبنای داده‌های سازوکار کانونی زلزله‌ها و داده‌های صحرایی لغزش گسل‌های فعال بررسی شده است که متوسط رژیم تنش حاکم را تنش امتداد لغز با روند NW-SE به دست داده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تنش‌های متوسط به دست آمده برای داده‌های لرزه‌ای و داده‌های صحرایی اختلاف دارند که مربوط به عملکرد تنش‌های چندگانه در این ناحیه است. اما انجام تحلیل جداسازی تنش‌ها با به وجود آوردن امکان شناسایی تنش‌های چندگانه انطباق قابل قبول دو مورد یاد شده را با هم نشان داده است به گونه‌ای که مقایسه نتایج تحلیل جداسازی تنش‌ها برای داده‌های صحرایی و لرزه‌ای نشان داد که رژیم تنش اول و دوم هر دو به طور کامل با یکدیگر همخوان هستند. همچنین مقایسه نتایج حاصل در این پژوهش در ارتباط با رژیم‌های تنش تحلیل شده از داده‌های لرزه‌ای همراه با داده‌های صحرایی نشان داده است که رژیم تنش دوم و سوم به دست آمده، تنش‌های نوزمین ساختی حاکم بر این گسل هستند. تنش چهارم نیز با توجه به این که در تحلیل داده‌های لرزه‌ای ظاهر شده است یک تنش نوزمین ساختی است ولی احتمالاً تنها در بخش‌های ژرفایی و گسل‌های پی‌سنگی عمل می‌کند که آثار آن در گسل‌های اندازه‌گیری شده در سطح زمین دیده نمی‌شود. اما رژیم تنش اول به دست آمده از تحلیل همزمان داده‌های لرزه‌ای و صحرایی احتمالاً رژیم تنش دیرینی است که در تحلیل داده‌های لرزه‌ای دیده نشده است. مقایسه نتایج به دست آمده از بازسازی رژیم‌های تنش در این پژوهش با نتایج بررسی دیگر پژوهشگران در این محدوده و به ویژه با نتایج اندازه‌گیری‌های ژئودزی با GPS همخوانی خوبی نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: سیاه چشمه - خوی، گسل، تنش نوزمین ساخت، تنش دیرین

*نویسنده مسئول: بهزاد زمانی قره چمنی

E-mail: b.zamani@tabrizu.ac.ir

۱- پیش‌گفتار

پهنه‌های زمین‌ساختی فعال در رژیم‌های زمین‌ساختی همگرا با تداخل پیچیده‌ای از گسل‌های امتداد لغز و گسل‌های وارون تکامل می‌یابند. فلات ایران که در میدان همگرایی صفحات عربی - اوراسیا قرار گرفته است که برخورد قاره‌ای صفحات یاد شده موجب شکل‌گیری کمربندهای چین‌خورده‌ای در طول گسل‌های راندگی اصلی در جنوب خاور آناتولی و قفقاز شده است. در این نواحی گسل‌های امتداد لغز گسترده‌ای نیز شکل گرفته که از خاور آناتولی تا شمال باختر ایران تداوم داشته و موجب رویداد زمین‌لرزه‌های مخربی در تاریخ این نواحی شده‌اند.

در شمال باختر ایران، آذربایجان ناحیه‌ای است که دگرشکلی شدید همراه با لرزه‌خیزی بالا دارد و میان دو کمر بند راندگی اصلی قفقاز کوچک در شمال و زاگرس در جنوب قرار گرفته است. ناحیه خوی که در بخش شمال باختر ایران و در مرز ایران و ترکیه قرار گرفته است (شکل ۱) ویژگی‌های لرزه‌خیزی پیچیده‌ای دارد. از نظر ساختاری گسل‌های اصلی ناحیه‌ای همچون گسل شمال آناتولی، گسل خاور آناتولی، گسل اصلی جوان (زاگرس) و گسل شمال تبریز همگی در این حوالی به هم نزدیک می‌شوند و یا پایانه‌های شاخه‌های فرعی آنها در این منطقه به هم می‌رسند. این گسل‌ها عامل اصلی رویداد زمین‌لرزه‌های تاریخی و امروزی در این ناحیه بوده‌اند. شهر خوی با جمعیت بیش از ۱۸۰۰۰۰ نفر که در ۷۸۰ کیلومتری شمال باختر تهران قرار گرفته است، در استان آذربایجان باختری در جنوب محدوده مورد مطالعه قرار دارد. زمین‌لرزه‌های تاریخی سال‌های ۱۸۴۳ و ۱۹۰۰ (Berberian, 1997) این شهر از رویدادهایی است که هنوز در یاد مردم این شهر باقی است. شهر سلماس در ۴۵ کیلومتری جنوب باختری این شهر نیز با زمین‌لرزه معروف ۷ ریشتری سال ۱۹۳۰ (Berberian, 1997) خود در ناحیه مورد مطالعه قرار دارد. زمین‌لرزه یاد شده سبب جان باختن بیش از ۲۵۰۰ نفر در این شهر شد. با وجود چنین رویدادهایی در این منطقه و کارهای چندی که در رابطه با لرزه‌خیزی این ناحیه صورت گرفته است،

تاکنون در ارتباط با عوامل رویداد این زمین‌لرزه‌ها و سامانه‌های تنش عامل ایجاد این زمین‌لرزه‌ها پژوهش نشده است. در این پژوهش با بررسی و تحلیل سازوکارهای کانونی زمین‌لرزه‌ها و داده‌های لغزش گسل‌های این محدوده، تنش‌های زمین‌ساختی مسبب این رویدادها مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- موقعیت جغرافیایی و ژئودینامیکی

منطقه برخورد قاره‌ای صفحات اوراسیا - عربی، مناطق اطراف خاور ترکیه، قفقاز و فلات ایران را در بر می‌گیرد که از سرزمین‌های بسیار فعال لرزه‌ای و از مناطق به شدت تغییر شکل یافته قاره‌ای به شمار می‌رود.

دامنه گسترده فرایندهای دگرریختی رخ داده در این منطقه به نسبت محدود، از آن یک جایگاه ویژه می‌سازد که یافته‌های ما را نسبت به کمپلکس‌های برخورد قاره‌ای، به همراه گسلش امتداد لغز و کشش پوسته‌ای، به همراه فعالیت لرزه‌ای و آتشفشانی بهینه می‌سازد.

در این منطقه، مرحله اولیه کوتاه‌شدگی در ائوسن پسین تحت تأثیر رژیم تنش فشارشی NE-SW رخ داده است. دومین رویداد کوتاه‌شدگی که به برخورد نهایی صفحات عربی - اوراسیا نسبت داده می‌شود در میوسن میانی (سارماسین) آغاز و با کمربندهای چین‌خورده مهم همراه شده است.

بررسی‌های پژوهشگران مختلف در ارتباط با اندازه‌گیری‌های ژئودیتیک با GPS در این بخش از شمال‌باختر ایران (Nilforoushan et al., 2003; Vernant & Chery, 2006; Vernant et al., 2004; McClusky et al., 2003; Masson et al., 2005 & 2007) جای‌جایی پوسته را در سوی شمال تا شمال باختر نشان داده است که تحلیل کینماتیکی حرکت پوسته است و سوی حرکت پوسته را در عهد حاضر در این منطقه به نمایش می‌گذارد.

همچنین در این تحلیل به دلیل کم بودن داده‌های لرزه‌ای حل سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها با انجام بررسی‌های صحرایی ۴۵ داده لغزش گسلی (هفت ایستگاه) برای افزایش دقت تحلیل از یک سو و کنترل تحلیل‌ها از سوی دیگر در محدوده مورد مطالعه در راستای برآورد رژیم تنش زمین‌ساختی گردآوری شده است که در ادامه با جزئیات بیشتری بحث خواهند شد.

۵- روش تحلیل

در این مطالعه روش تحلیل برگشتی (2002) Angelier استفاده شده است. این روش با استفاده از داده‌های حل کانونی زمین‌لرزه‌ها تحلیل برگشتی را انجام می‌دهد. این شیوه تنسور تنش را به چهار مجهول کاهش و با حل چهار معادله چهار مجهولی به روش تحلیلی پاسخ را به دست می‌آورد.

روش یاد شده بر پایه تعریف معیار SSSC (Slip Shear Stress Component) یا مؤلفه تنش برشی لغزشی استوار است. این مؤلفه در برای لغزش گسل کار می‌کند و دو ویژگی مهم دارد، نخست این که انتخاب میان صفحات گره‌ای نیاز نیست و دوم، محاسبات عددی را به کمترین میزان ممکن می‌رساند و سبب می‌شود که زمان لازم برای حل ناچیز شود. همچنین این شیوه، روش مناسبی برای پالایش داده‌ها (با تکرار محاسبه و کنار گذاشتن داده‌های ناجور) به شمار می‌آید.

اما در برخی تحلیل‌ها به دلایل مختلف از جمله عملکرد بیش از یک رژیم تنش همه داده‌ها در تحلیل متوسط تنش شرکت ندارند و بنابراین در این موارد تحلیل دیگری برای جدایش رژیم‌های تنش چندگانه به کار گرفته می‌شود.

در این پژوهش جدایش تنش‌های چندگانه (Stress Separation) بر پایه روش (1984 & 2004) Angelier روی داده‌ها به کار گرفته شده است. در این روش جدایش تنش‌ها بر پایه روند دسته‌بندی دینامیک تعمیم داده‌شده (generalized dynamic clustering approach) صورت می‌گیرد. در روش تحلیل وارون، به دلیل به کمترین میزان رسیدن روش‌های عددی و نیاز نداشتن به انتخاب صفحات گره‌ای حل سازوکارهای کانونی، نه تنها امکان فرآوری دسته داده‌های بزرگ به وجود می‌آید بلکه پالایش و جدایش داده‌ها و حالت‌های چندگانه تنش‌های ناحیه‌ای نیز ممکن می‌شود. بنابراین امکان بررسی گسترده غیر همگنی تنش به وجود می‌آید. همچنین در این شیوه از تحلیل، با انتخاب مقادیر متناسب و واقع بینانه در تحلیل، تعداد زیر دسته‌ها معمولاً کم و سطوح سازگاری آنها نیز با توجه به پراکندگی داده‌ها بالاست (2004) Angelier. به این ترتیب فرایند تغییر در متغیرهای اصلی و تکرار تجزیه وارون تنش آن قدر ادامه پیدا می‌کند تا در پایان حدود ۹۰ درصد مجموع داده‌ها در تجزیه تنش حضور داشته باشند. در این مطالعه تحلیل متوسط تنش‌ها با نرم افزار Invgli و تحلیل جدایش تنش‌ها با نرم افزار Dyngli (که توسط (2006) Angelier نوشته شده است) انجام شده است.

۶- نتایج بررسی داده‌های لرزه‌ای

۶-۱. تعیین سوی متوسط رژیم تنش زمین‌ساختی منطقه بر پایه داده‌های لرزه‌ای
با استفاده از داده‌های لرزه‌ای گردآوری‌شده، تحلیل وارون داده‌های حل کانونی زمین‌لرزه‌های ناحیه خوی انجام شد. متوسط رژیم تنش به دست آمده در این منطقه در شکل ۲ به صورت گرافیکی نمایش داده شده است. در این شکل دو جفت پیکان نشانگر روند تنش‌های اصلی بیشینه (σ_1 ، فشاری) و کمینه (σ_3 ، کششی) هستند. متوسط رژیم تنش محاسبه‌شده در این ناحیه دلالت بر چیره بودن رژیم تنش زمین‌ساختی امتدادلغز دارد. مؤلفه فشارشی (تنش بیشینه σ_1) این رژیم با روند $N-S (N181^\circ)$ و مؤلفه کششی (تنش کمینه σ_3) آن با روند $W-E (N089^\circ)$ به دست آمده است. میل تنش متوسط (σ_2) در این ناحیه نزدیک به قائم است که با چیره بودن گسل‌های امتدادلغز در این ناحیه همخوانی دارد.

افیولیت خوی که یکی از بزرگ‌ترین کمپلکس‌های افیولیتی ایران است، در شمال شهر خوی و در محدوده مورد مطالعه قرار دارد. این مجموعه در باختر و شمال به وسیله مرز ایران- ترکیه و در خاور به وسیله گسل سیاه چشمه-خوی با روند شمال باختر- جنوب خاور محدود شده است و مرز جنوبی آن نیز با بخش شمالی خردقاره سندیج- سیرجان محدود می‌شود.

۳- لرزه‌زمین‌ساخت

بر خلاف دگرشکلی بالا و فعالیت لرزه‌ای زیاد در رشته کوه زاگرس در بخش جنوب باختری ناحیه مورد مطالعه، رشته کوه البرز و کپه‌داغ در شمال ایران (Zamani et al., 2008; Zamani, 2011) و خردقاره آذربایجان به طور معمول لرزه‌خیزی به نسبت آرامی دارند (Jackson & McKenzie., 1984; Zamani & Masson, 2014). هر چند شمال باختر ایران زمین‌لرزه‌های تاریخی بزرگ و متوسطی در دهه‌های اخیر دارد. از مهم‌ترین زمین‌لرزه‌ها در آذربایجان می‌توان به چهار زمین‌لرزه مخرب تبریز در سال‌های ۱۴۴۱، ۱۵۲۲ و ۱۷۸۰ پس از میلاد (Berberian & Arshadi., 1976)، زمین‌لرزه‌های $M=5.4$ و $M=5.4$ (۱۹۰۰/۰۲/۲۴)، $M=5.4$ (۱۸۴۳/۰۴/۱۸)، زمین‌لرزه $M=7.2$ سلماس ۱۹۳۰/۰۵/۳۰، زمین‌لرزه $M=5.4$ چالدران ۱۹۷۶/۱۱/۲۴، زمین‌لرزه $M=5.5$ تسوج ۱۸۰۷/۰۷/۱۱ و زمین‌لرزه $M=6.3$ مرند ۱۷۸۶/۱۰/۰۱ اشاره کرد. (Berberian., 1997)

در بخش شمال باختری ایران و ترکیه، گسل گایلاتو- سیاه چشمه- خوی GSCK یکی از گسل‌های اصلی است که در طی فازهای مختلف فشارشی فعالیت امتدادلغز راست گرد داشته است (Berberian, 1997). این گسل، با طولی در حدود ۱۶۵ کیلومتر، یک گسل چند پاره است که هفت جزء منحنی شکل با گسترش در سوی NW-SE دارد. قطعات گسل GSCK همراه با نبوده‌هایی در سطح زمین، از چندین گسل امتداد لغز راست گرد موازی تشکیل شده است. برخی از راندگی‌ها و گسل‌های مایل در افیولیت‌های شمال خوی این گسل را قطع می‌کنند.

فعالیت لرزه‌ای منطقه خوی در طول چند گسل کواترنری جوان مانند گسل GSCK و چالدران- خوی با بزرگای متوسط و زیاد و دوره بازگشت بلندمدت به همراه وقفه‌های لرزه‌ای، پراکنده شده است.

۴- داده‌ها

ابتدا در ارتباط با داده‌هایی که در این پژوهش گردآوری، تصحیح و استفاده شده‌اند، در این بخش سخن گفته می‌شود. با توجه به اینکه داده‌های لرزه‌ای و به‌ویژه حل کانونی زمین‌لرزه‌ها در ایران بسیار کم و پراکنده است، برای کافی بودن داده‌ها در انجام تحلیل تنش، در این پژوهش از همه داده‌هایی که از منابع مختلف امکان گردآوری آنها وجود داشت بهره گرفته شد.

در این ارتباط برخی از داده‌ها از کاتالوگ‌های بر خط (Online) همچون CMT, MOS و SED (که نشانی کامل آنها در بخش کتابنگاری آورده شده است) گردآوری شده است. برخی دیگر از داده‌ها نیز از مقالات منتشر شده توسط پژوهشگران مختلف (جدول ۱ پیوست) همچون، (1972) McKenzie; (1984) Jackson & McKenzie; (1997) Berberian; (1999) Berberian & Yeats گردآوری شده است.

در پایان با گردآوری داده‌ها از همه منابع ممکن، قالب آنها یکسان‌سازی و پس از کنترل و اصلاح خطاهای ممکن، در جدول ۱ پیوست ارائه شده‌اند. در برخی موارد برای یک زمین‌لرزه بیش از یک سازوکار کانونی که توسط پژوهشگران مختلف حل و در منابع مختلف ارائه شده بود که در این صورت با توجه به روش حل، اعتبار منبع و شناختی که از زمین‌ساخت ناحیه وجود داشته معتبرترین حل کانونی انتخاب شده است.

مقایسه نتایج داده‌های لرزه‌ای که بیشتر مربوط به ژرفای پوسته هستند با داده‌های صحرایی به بررسی صحرایی گسل‌ها پرداخته شده است. پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده‌های صحرایی لغزش گسل‌ها، تحلیل تنش روی داده‌ها صورت گرفته است.

در این مطالعه سعی بر این بوده است که انتخاب ایستگاه‌ها به گونه‌ای باشد تا یک سری ایستگاه به صورت مورب با سامانه گسلی یادشده در اندازه‌گیری‌ها مد نظر باشد و به این ترتیب در صورتی که تفاوت در وضعیت تنش با فاصله گرفتن از پهنه گسل وجود داشته باشد مشخص شود. اگرچه محدودیت‌های صحرایی همچون توپوگرافی خشن، محدودیت حمل و نقل و دیگر عوامل، مانع از اندازه‌گیری‌های بیشتر در منطقه شده است. از سوی دیگر، به علت وجود گستردگی بالای آبرفت‌ها و مخروط‌افکنه‌ها در مسیر یادشده و فرسایش‌پذیری زیاد سنگ‌ها، بروز سنگ‌هایی که آثار خش‌لغز را نشان می‌دهند بسیار محدود بوده است. همچنین در این منطقه سنگ‌های رسوبی رخنمون زیادی نداشته‌اند و در بخش باختری مسیر یادشده بیشتر سنگ‌ها از نوع سنگ‌های دگرگونی هستند که برخی داده‌های اندازه‌گیری‌شده مربوط به سطوح گسلی دارای خش‌خط موجود در این سنگ‌هاست. به این ترتیب در مطالعات صحرایی صورت گرفته در این پژوهش، سطوح مختلف برشی و سطوح گسلی دارای خش‌خط، با الگوی شیب و سمت شیب اندازه‌گیری شده‌اند. همچنین سوی لغزش و ریک لغزش نیز روی این سطوح تشخیص داده و اندازه‌گیری شده‌اند. روی هم‌رفته داده‌های صحرایی اندازه‌گیری‌شده شامل ۷ ایستگاه و ۴۵ سطح برشی دارای خش‌خط بوده است (شکل ۶) که بر طبق تحلیل‌های انجام شده روی داده‌های یادشده، متوسط رژیم تنش زمین‌ساختی در ایستگاه‌های A (کنار روستای دیزج) و B (کنار روستای قریس) از نوع امتدادلغز، در ایستگاه‌های C (کنار روستای ممیش خان)، D (نزدیکی روستای قینر بالا)، E (روستای قارنجه) و F (روستای آق‌بلاق) از نوع کششی محض و در ایستگاه G (کنار روستای قره‌چه‌بلاغی) فشارشی محض بوده‌اند (شکل ۵). موقعیت ایستگاه‌های یادشده و نتایج تحلیل متوسط تنش در هر ایستگاه در شکل ۶ نمایش داده شده است. اندازه‌گیری‌ها در ایستگاه A روی سنگ‌های سربانتینی مربوط به افیولیت‌ها، در ایستگاه B روی سنگ‌های آهک پلاژیک به سن کرتاسه، در ایستگاه C روی سنگ‌های آهکی نومولیت‌دار پالئوسن، در ایستگاه D روی سنگ‌های آمفیبولیت افیولیت‌ها، در ایستگاه E روی آهک‌های پالئوسن، در ایستگاه F روی سنگ‌های آهک انوسن و در ایستگاه G نیز روی سنگ‌های اولترابازیک (افیولیت‌ها) بوده است. هدف این پژوهش برآورد تنش‌های نوزمین‌ساختی بوده و از این رو در انتخاب گسل‌های دارای خش‌خط، اندازه‌گیری فعالیت جوان گسل‌ها مد نظر بوده است؛ همه گسل‌های اندازه‌گیری شده جزو گسل‌های جوان هستند و آبرفت‌ها و یا مخروط‌افکنه‌های عهد حاضر را قطع کرده‌اند. اگرچه سن سنگ‌هایی که گسل روی آنها اندازه‌گیری شده است بیشتر است ولی گسل یادشده در ادامه، آبرفت‌های عهد حاضر را نیز قطع کرده است و گسل فعال به شمار می‌آید. افزون بر موارد یادشده که به دقت در اندازه‌گیری صحرایی مد نظر بوده، تقاطع گسل‌های یادشده با آبرفت در کنار هر ایستگاه و نزدیکی آن با روستای مربوطه در نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور نیز مشخص شده است (شکل ۳-۱۱ پیوست ۳). بنابراین سن گسل‌های اندازه‌گیری شده عهد حاضر و بنابراین تنش‌های تحلیل‌شده نیز تنش‌های نوزمین‌ساختی است و از این رو تلفیق آنها با داده‌های لرزه‌اشکالی به‌وجود نمی‌آورد.

۷-۲. تعیین سوی متوسط رژیم تنش زمین‌ساختی منطقه، بر پایه کل داده‌های لغزش گسل‌ها

برای به دست آوردن سوی متوسط رژیم تنش بر پایه کل داده‌های لغزش گسلی، تحلیل وارون روی داده‌های همه ایستگاه‌ها انجام شده است. برپایه این تحلیل،

جدول ۱ مهم‌ترین متغیرهای به‌دست آمده از تحلیل را نمایش می‌دهد. در این جدول مقدار متغیر ω_{acc} (مقدار آستانه پذیرفتنی برای ω) ۲۵ درصد به‌دست آورده است. نتیجه تحلیل تنش در این پژوهش مقدار نسبت شکلی تنش Φ را برابر ۰/۴۱ برای تنسور تنش متوسط ناحیه‌ای به دست آورده است. متوسط آستانه پذیرفتنی برای مؤلفه لغزش تنش برشی (ω_m) که بر حسب درصد بیان می‌شود ۷۰ درصد، مقدار τ_m^* (متوسط نسبت تنش تنش برشی به تنش برشی بیشینه) برابر ۷۸ درصد و مقدار α_m (متوسط زاویه میان بردار تنش تنش برشی و مؤلفه لغزش تنش برشی بر حسب درجه) کم است که بر پایدار بودن تحلیل تنش انجام شده دلالت دارند.

نتایج به دست آمده با نظر (McKenzie 1972) که به وجود دو سری گسل‌های راندگی و امتدادلغز مزدوج در خاور ترکیه و قفقاز باور دارد همخوان است. Jackson (1992) نیز با بررسی حل کانونی زمین‌لرزه‌ها در ناحیه شمال باختر ایران و قفقاز کوچک نشان داده است که همگرایی صفحات عربی- اوراسیا در این محدوده‌ها روند چیره NE در امتداد گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد دارد که این نتیجه‌گیری به طور کامل با نتیجه تحلیل انجام‌شده در این پژوهش همخوان است.

۶-۲. جداسازی و بازسازی رژیم‌های تنش زمین‌ساختی در منطقه بر پایه داده‌های لرزه‌ای

در این پژوهش جدایش تنش‌های چندگانه بر اساس روش Angelier (1984 & 2004) روی داده‌ها به کار گرفته شده است. سه رژیم تنش در منطقه قابل جداسازی بوده‌اند که همگی از نوع امتدادلغز هستند (جدول ۲ و شکل ۳). برتری تحلیل جدایش رژیم‌های تنش این است که در این روش در یک منطقه همه و یا تا حد امکان بیشترین درصد داده‌های گردآوری‌شده در این تحلیل شرکت می‌کنند و بنابراین رژیم‌های به‌دست آمده تنش‌هایی هستند که می‌توانستند مؤثر بر همه گسل‌های یک منطقه باشند و با کینماتیک همه آنها تا حد ممکن تطبیق داده شده باشند. در نتایج حاصل از این تحلیل (جدول ۲) مؤلفه فشارشی (تنش بیشینه σ_1) در رژیم اول روند N-S ($N180^\circ$) و میل برابر با 3° درجه دارد. مؤلفه کششی (تنش کمینه σ_3) آن روند E-W ($N271^\circ$) و میل ۱۲ درجه دارد. تنش متوسط (σ_2) نیز دارای روند ($N075^\circ$) و میلی برابر ۷۸ درجه است و این مسئله دلالت بر نزدیک به قائم بودن این تنش و وجود رژیم تنش امتدادلغز دارد. همچنین نتیجه این تحلیل نشان می‌دهد که رژیم تنش دوم نیز به صورت امتدادلغز، بیشینه تنش زمین‌ساختی با روند ($N219^\circ$) و کمینه تنش زمین‌ساختی تنش دوم نیز به صورت امتدادلغز و بیشینه تنش زمین‌ساختی با روند ($N219^\circ$) و کمینه تنش زمین‌ساختی با روند ($N124^\circ$) درجه بوده است. تنش متوسط نیز با روند ($N027^\circ$) و میلی برابر ۵۱ درجه نمایان شده است. تنش بیشینه در رژیم سوم روندی برابر با ($N163^\circ$) و میل ۲۵ درجه دارد. کمینه تنش زمین‌ساختی در رژیم سوم دارای روند ($N062^\circ$) و میل ۲۲ درجه است. میل تنش متوسط 56° درجه است و از نزدیک به قائم بودن این تنش حکایت دارد. شکل ۳ نتیجه جدایش این تنش‌ها را به صورت ترسیمی به نمایش گذاشته است. جدول ۲ نیز مهم‌ترین متغیرهای این تحلیل را نشان می‌دهد. به نظر (Rebai et al. 1993) این ناحیه مؤلفه فشارشی شمالی- جنوبی و مؤلفه کششی خاوری- باختری دارد که این موضوع به طور کامل با تنسور تنش تحلیل‌شده برای ناحیه مورد مطالعه در این پژوهش همخوانی دارد و به نظر می‌رسد عامل گسترش گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد با روند NW-SE و گسل‌های امتدادلغز چپ‌گرد با روند NE-SW باشد.

۷-۲-۱. تعیین سوی متوسط رژیم تنش زمین‌ساختی در ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده، بر پایه داده‌های صحرایی لغزش گسل‌ها

داده‌های لرزه‌ای گردآوری‌شده برای تحلیل رژیم لرزه‌زمین‌ساختی گسل خوی - سیاه‌چشمه شمار کمی بودند و از این رو برای افزایش دقت بررسی‌ها و نیز

مقایسه نتایج تحلیل اخیر با نتایج جداسازی تنش‌ها برای داده‌های صحرایی و لرزه‌ای به ترتیب نتایج زیر را به دست داده است:

۱- رژیم تنش اول با رژیم تنش سوم به دست آمده برای تحلیل جداسازی تنش‌ها برای داده‌های لرزه‌ای (جدول ۶) همخوان است.

۲- رژیم تنش دوم به دست آمده از همه تحلیل‌های جداسازی تنش‌ها با همدیگر همخوان هستند.

۳- رژیم تنش سوم به دست آمده با رژیم اول نتایج تحلیل جداسازی تنش‌ها برای داده‌های صحرایی و نیز رژیم اول به دست آمده برای تحلیل جداسازی تنش‌ها برای داده‌های لرزه‌ای همخوان است.

۴- رژیم تنش چهارم با رژیم تنش سوم به دست آمده برای تحلیل جداسازی تنش‌ها برای داده‌های صحرایی همخوان است.

با مقایسه نتایج یادشده در ارتباط با رژیم‌های تنش تحلیل‌شده از داده‌های لرزه‌ای همزمان با داده‌های صحرایی (جدول ۶) می‌توان گفت رژیم تنش دوم و سوم با توجه به این که در تحلیل داده‌های لرزه‌ای و صحرایی نیز به طور مستقل به دست آمده‌اند، تنش‌های نوزمین ساختی حاکم بر این گسل هستند. تنش چهارم نیز با توجه به اینکه در تحلیل داده‌های لرزه‌ای ظاهر شده است یک تنش نوزمین ساختی است ولی احتمالاً تنها در گسل‌های پی‌سنگی عمل می‌کند که آثار آن در گسل‌های اندازه‌گیری شده در سطح زمین دیده نشده است (و یا در این پژوهش در بررسی‌های صحرایی با آن برخورد نشده است (Ramsay, 1986)). اما رژیم تنش اول احتمالاً رژیم تنش کهنی است (Paleostress) که در تحلیل داده‌های لرزه‌ای دیده نشده است.

باید افزود چون همواره امکان سن‌سنجی دقیق گسل‌ها در ایستگاه‌های مختلف و با روش‌های آزمایشگاهی و به تعداد زیاد وجود ندارد و تنها با تکیه بر شواهد صحرایی (بریده‌شدن آبرفت‌ها و مخروط‌افکنه‌ها با گسل‌ها و ...) جوان و فعال بودن گسل‌ها ارزیابی می‌شود، اندازه‌گیری صحرایی خش‌خط‌ها روی سنگ‌های کهن و چه بسا سنگ‌های آذرین که گسل‌های جوان و فعال آنها را همراه با سازندهای عهد حاضر قطع کرده‌اند می‌تواند همزمان با اندازه‌گیری برخی خش‌خط‌های کهن نیز باشد و بنابراین جدایش یک رژیم تنش (در این پژوهش) که با تنش‌های نوزمین ساخت حاصل از تحلیل داده‌های لرزه‌ای همخوانی ندارد چنان که گفته شد می‌تواند نشان‌دهنده یک رژیم تنش دیرین باشد که از سنگ‌های کهن اندازه‌گیری شده است. همخوان بودن تنش‌های مرتبه ۳ (نتایج به دست آمده در بخش‌های ۲-۶ و ۳-۷) با تنش‌های جداسازی شده برای تنش‌های مرتبه ۲ (که با شرکت داده‌های کل ناحیه به دست آمده‌اند) می‌تواند به‌عنوان الگوی مقایسه‌ای تحلیل سری اول تحلیل تنش‌های مرتبه ۳ در نظر گرفته شود و نیز انطباق و همخوانی نتایج آنها با نتایج تحلیل‌های لرزه‌ای گواهی بر نوزمین ساخت بودن داده‌های صحرایی است. در این ارتباط به باور Carver & McCalpin (1996) در بررسی‌های دیرین‌لرزه‌شناسی مناطقی که زمین‌ساخت فعالی دارند، همخوانی گروهی از خش‌لغزهای گسلی (حاصل از بررسی صحرایی گسل‌ها) با داده‌های لرزه‌ای گسل‌های مورد مطالعه می‌تواند دلالت بر هم سن یا نزدیک بودن رویدادهای یادشده از دید سنی باشد.

۹- نتیجه‌گیری

تحلیل وارون تنش این امکان را به وجود آورده است تا وضعیت تنش زمین‌ساخت متوسط در محدوده پهنه گسل سیاه چشمه-خوی مشخص شود. تنسور تنش به دست آمده برای محدوده گسل سیاه چشمه-خوی متوسط تنش بیشینه را با روند NNW-SSE نشان می‌دهد. میل متوسط تنش (σ_2) در این ناحیه نزدیک به قائم است که با چیره بودن گسل‌های امتدادلغز در این ناحیه همخوانی دارد. بنابراین رژیم تنش برآورد شده در این ناحیه دلالت بر چیره بودن رژیم امتدادلغزی دارد. Jackson (1992) با بررسی حل کانونی زمین‌لرزه‌ها در ناحیه شمال باختر ایران

متوسط تنش زمین‌ساختی ناحیه از نوع کششی بوده است و روند N-S (359°) را نشان می‌دهد. شکل ۵ نتیجه تحلیل تنش متوسط و جدول ۳ نیز مهم‌ترین متغیرهای حاصل از این تحلیل را نشان می‌دهند. مقدار نسبت شکلی تنش (D) برابر با 0.34 برای تنسور تنش به دست آمده است. در تحلیل انجام‌شده، مقدار ω_{acc} برابر ۶۵ درصد به دست آمده که نشان می‌دهد ۳۵ درصد از داده‌ها در تحلیل شرکت نداشته‌اند و سبب شده‌اند که رژیم تنش متوسط به دست آمده از تحلیل داده‌های صحرایی با نتایج تحلیل لرزه‌ای متفاوت باشند که برای بررسی این موضوع در ادامه جداسازی و بازسازی رژیم تنش برای داده‌های صحرایی لغزش گسل‌ها انجام شده است.

۷-۳. جداسازی و بازسازی رژیم تنش در منطقه برپایه داده‌های صحرایی لغزش گسل‌ها

چنانکه بیان شد برای بررسی تفاوت رژیم تنش متوسط به دست آمده از تحلیل داده‌های صحرایی با نتایج تحلیل لرزه‌ای، جداسازی و بازسازی رژیم تنش برای داده‌های صحرایی لغزش گسل‌ها انجام گرفته است تا با نتایج جداسازی و بازسازی رژیم تنش برای داده‌های لرزه‌ای مقایسه شود.

شکل ۷ و جدول ۴ نمایشگر نتایج تحلیل وارون جدایش تنش‌ها، روی ۴۵ سطح گسلی اندازه‌گیری شده است. بر پایه تحلیل انجام‌شده روی داده‌های گردآوری‌شده، سه سامانه تنش برای این پهنه گسلی جداسازی شده است که شامل یک سامانه تنش کششی با روند E-W (260°) و دو سامانه تنش امتدادلغزی است. این دو رژیم، با زاویه‌ای تقریباً 45° درجه نسبت به هم قرار گرفته‌اند. بیشینه و کمینه تنش زمین‌ساختی در رژیم دوم به ترتیب دارای روند (046°) و (140°) هستند، میل تنش بیشینه 13° درجه و میل تنش کمینه 14° درجه است و این مسئله دلالت بر نزدیک به قائم بودن تنش متوسط و وجود رژیم تنش امتدادلغزی دارد که با سازوکارهای امتدادلغز به دست آمده در اندازه‌گیری‌های صحرایی در این محدوده همخوان است. میل تنش بیشینه و کمینه در رژیم سوم نیز به ترتیب 42° و 14° درجه است. تنش متوسط در این رژیم با روند (256°) و میل 45° درجه نمایان شده است.

با مقایسه نتایج به دست آمده از فرایند جدایش تنش‌ها برای هر دو سری داده (صحرایی و لرزه‌ای)، می‌توان به این نتیجه رسید که سوی تنش‌ها در رژیم اول و دوم (حاصل از جدایش تنش‌ها بر پایه داده‌های صحرایی لغزش گسل‌ها) با سوی کشش به دست آمده در رژیم اول (از جدایش تنش‌ها بر پایه داده‌های سازوکار کانونی زلزله‌ها) مطابقت می‌کند. با این حال رژیم تنش سوم برای هر دو تحلیل با هم متفاوت است و به نظر می‌رسد تنش‌هایی مستقل هستند. برای بررسی بیشتر و اطمینان از امروزی بودن این تنش‌ها جداسازی و بازسازی رژیم‌های تنش با مجموع داده‌های لرزه‌ای و داده‌های صحرایی لغزش گسل‌ها به صورت همزمان صورت گرفته است.

۸- جداسازی و بازسازی رژیم‌های تنش با مجموع داده‌های لرزه‌ای و داده‌های صحرایی لغزش گسل‌ها به صورت همزمان

فرایند جداسازی و بازسازی تنش‌های یک منطقه این امکان را به وجود می‌آورد که همه رژیم‌های زمین‌ساختی حاکم در آن منطقه شناسایی و تفسیر شود. برای رسیدن به این هدف با استفاده از همه داده‌های موجود (همچون داده‌های سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها و داده‌های صحرایی لغزش گسلی) این فرایند صورت گرفته که در پایان چهار رژیم تنش از این تحلیل حاصل شده است. شکل ۸ نمودار مربوط به جدایش این تنش‌ها و شکل ۹ وضعیت آنها را در ارتباط با بخش‌های مختلف گسل سیاه چشمه-خوی نمایش می‌دهد. مهم‌ترین متغیرهای این تحلیل نیز در جدول ۵ آورده شده است. نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که سه رژیم اول امتدادلغز و دارای میل تنش متوسط با مقادیر 47° ، 79° و 60° درجه هستند که از نزدیک به قائم بودن این تنش‌ها حکایت دارد و تأییدی بر امتدادلغز بودن این رژیم‌هاست. اما رژیم چهارم تحلیل شده یک تنش زمین‌ساختی فشارشی است.

و کششی خاوری- باختری است که این موضوع با تنسور تنش تحلیل شده برای ناحیه مورد مطالعه در این پژوهش انطباق دارد و عامل گسترش گسل های راستالغز راست گرد با روند NW-SE و گسل های راستالغز چپ گرد با امتداد NE-SW از یک سو و تکامل گسل های رانده انحنادار عمود بر روند فشارشی و با روند تقریباً خاوری- باختری در آذربایجان و قفقاز است.

از مقایسه نتایج حاصل در این پژوهش در ارتباط با رژیم های تنش تحلیل شده از داده های لرزه ای همزمان با داده های صحرایی می توان چنین نتیجه گیری کرد که رژیم تنش دوم و سوم به دست آمده، تنش های نوزمین ساختی حاکم بر این گسل هستند. تنش چهارم نیز با توجه به این که در تحلیل داده های لرزه ای ظاهر شده است یک تنش نوزمین ساختی است ولی احتمالاً تنها در بخش های ژرفایی و گسل های پی سنگی عمل می کند که آثار آن در گسل های اندازه گیری شده در سطح زمین دیده نشده است. اما رژیم تنش اول احتمالاً رژیم تنش کهنی است که در تحلیل داده های لرزه ای دیده نشده است.

سیاسگراری

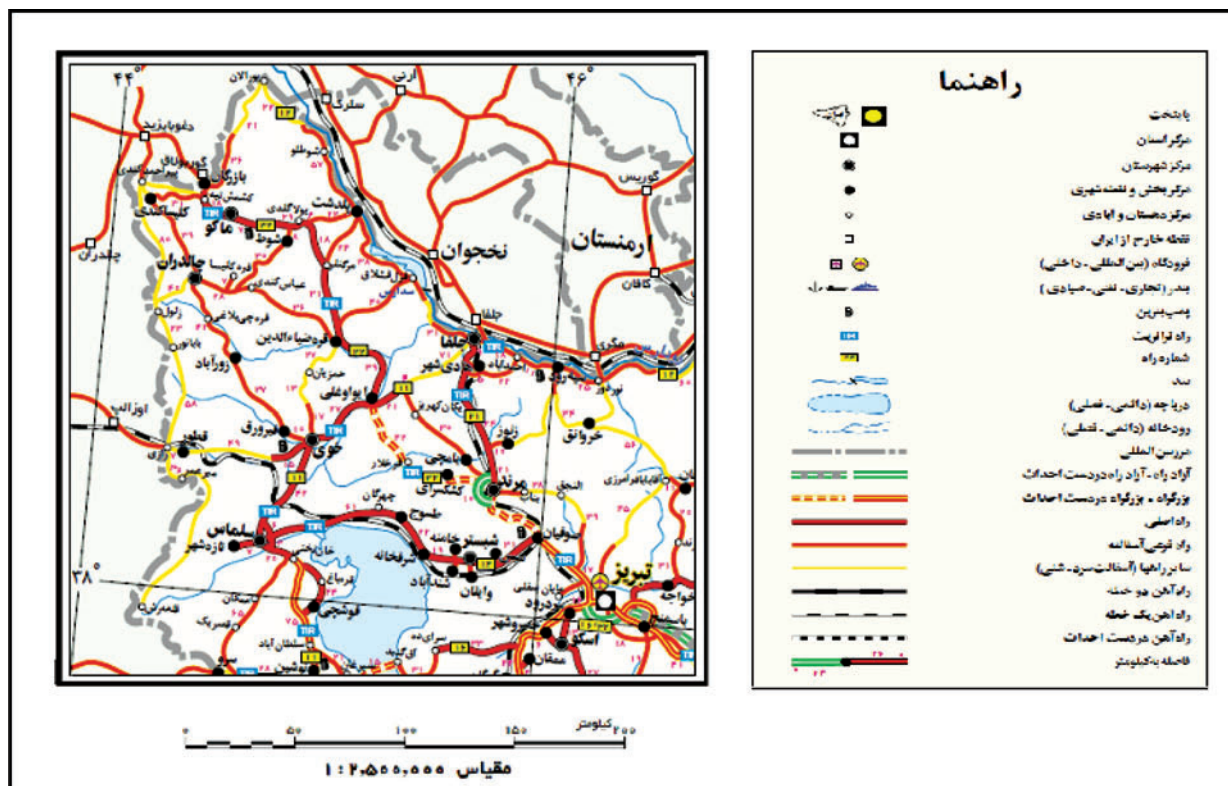
این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تبریز انجام شده است که بدین وسیله از مسئولان این دانشگاه سپاسگراری می شود. همچنین از خانم مریم روستایی که در تهیه بخشی از تصاویر و کارهای صحرایی این پژوهش همکاری کرده اند سپاسگراری می شود. این مقاله به زنده یاد پروفیسور آژلیه (Jacque Angelier) تقدیم شود.

و قفقاز کوچک نشان داده است که همگرایی صفحات عربی و اوراسیا در این محدوده ها به طور چپه دارای روند W-NW در امتداد گسل های راستالغز راست گرد است که این نتیجه گیری با توجه به به دست آمدن نتیجه رژیم تنش امتداد لغزی برای این گسل در این پژوهش، به طور کامل همخوانی دارد.

مدل بازنگری شده NUVEL-1 توسط (DeMets et al., 1990) ارائه شده است، یک مؤلفه جابه جایی حدود ۱۵۸ درجه میان صفحات عربی- اوراسیا در طول های جغرافیایی محدوده قفقاز نشان می دهد که با نتایج رژیم تنش چهارم به دست آمده در جداسازی تنش برای مجموعه داده های لرزه ای و صحرایی گسل ها در این پژوهش همخوان است.

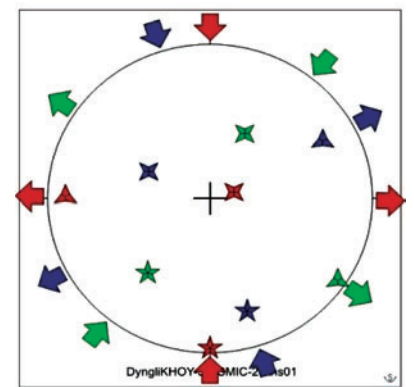
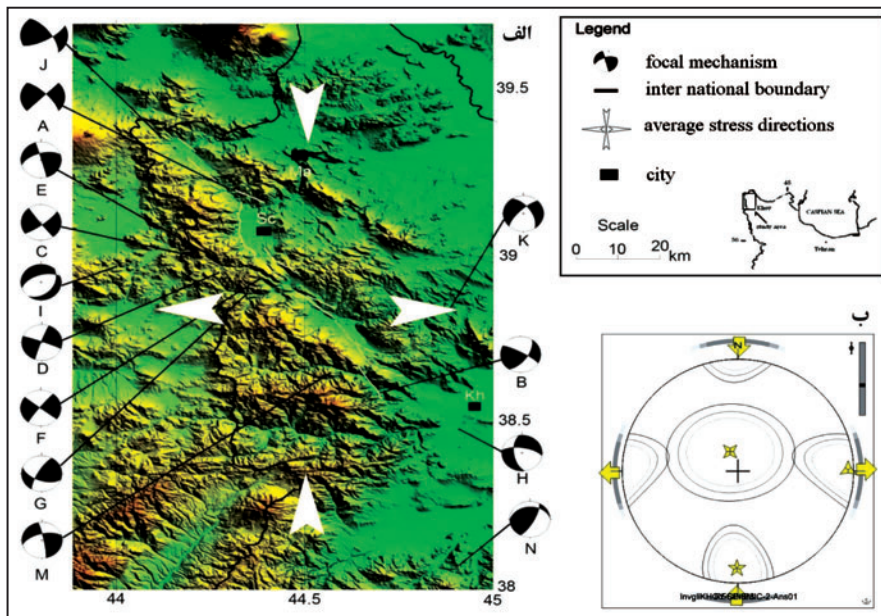
همچنین نتایج به دست آمده در بازسازی تنش با نتایج مطالعاتی پژوهشگران مختلف در ارتباط با اندازه گیری های ژئودتیک با GPS در ناحیه شمال باختر ایران که همه آنها (Nilforoushan et al., 2003; Vernant et al., 2004; Vernant & Chery, 2006; McClusky et al., 2003; Masson et al., 2005 & 2007) جابه جایی پوسته را در این ناحیه در سوی شمال تا شمال باختر به دست آورده اند، انطباق قابل ملاحظه ای دارد. البته باید توجه داشت که نتایجی که با مطالعات ژئودزی به دست می آید تحلیل کینماتیکی حرکت پوسته است و این در حالی است که در این مطالعه وضعیت تنش در پوسته بررسی شده است و این دو کاملاً متفاوت و مستقل هستند.

به باور (Rebai et al., 1993) این ناحیه دارای مؤلفه فشارشی شمالی- جنوبی

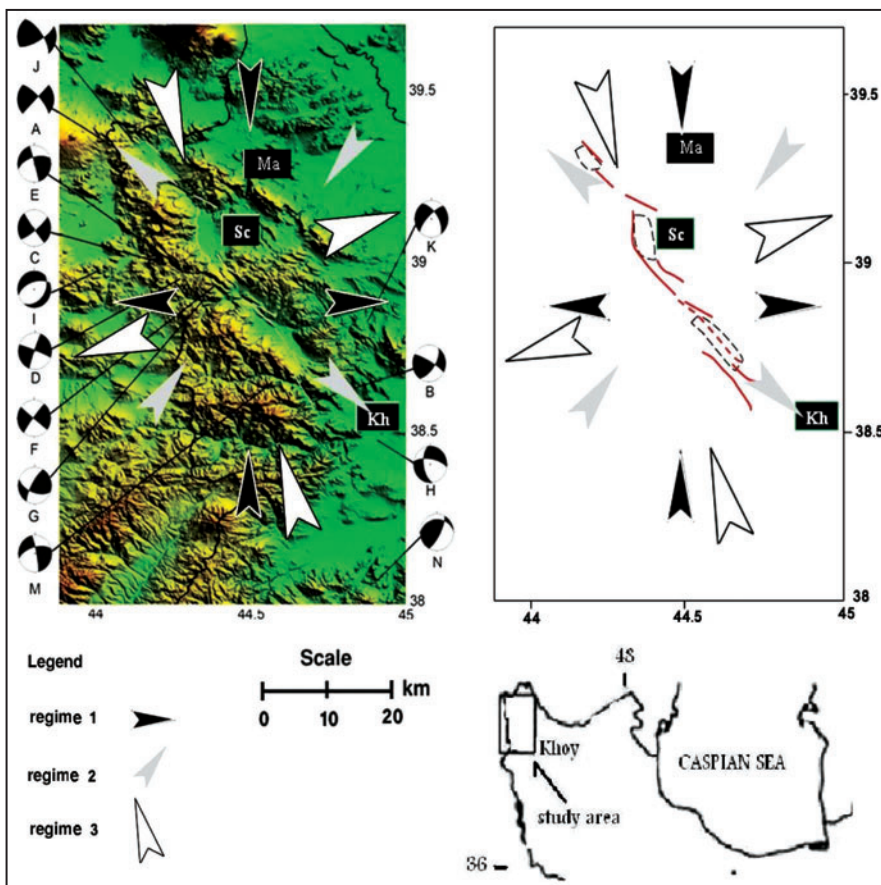


شکل ۱ - موقعیت محدوده مورد مطالعه و راه های دسترسی

شکل ۲- الف) نمایش سازوکار کانونی زلزله‌ها و متوسط تنش تحلیل شده در منطقه مورد مطالعه در شمال خوی. سازوکار کانونی زلزله‌های روی داده (beach ball) تصویر زوج صفحات گرهی سازوکار کانونی زلزله‌هاست که در آنها مناطق کشش و فشارش با رنگ‌های سیاه و سفید نشان داده شده است. حروف لاتین شماره‌های سازوکارها را نشان می‌دهد که در پیوست ۱ مشخصات آنها ذکر شده است. سوی متوسط رژیم تنش زمین‌ساختی با پیکان‌های سفیدرنگ به نمایش درآمده است. شهرها با حروف اختصاری Kh: خوی، نتایج Sc: سیاهچشمه و Ma: ماکو نشان داده شده‌اند. ب) نتایج تحلیل انجام‌شده برای به دست آوردن متوسط رژیم تنش در شمال خوی با داده‌های لرزه‌ای. در این نمودار تنش فشارشی و کششی با پیکان‌های توپر خاکستری رنگ نشان داده شده‌اند. (محدوده فشارش و کشش نیز با کنتورهایی از بیضی‌های انطباق Confidence-Ellipse) با مقادیر افزایشی به سمت محورهای تنش به ترتیب با ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درصد مشخص شده است. همچنین مقدار Φ برای هر مورد به صورت مقیاس خاکستری رنگ (میان ۰ و ۱) نشان داده شده است. موقعیت‌های σ_1 ، σ_2 و σ_3 به ترتیب با ستاره‌های ۵پر، ۴پر و ۳پر مشخص شده است.

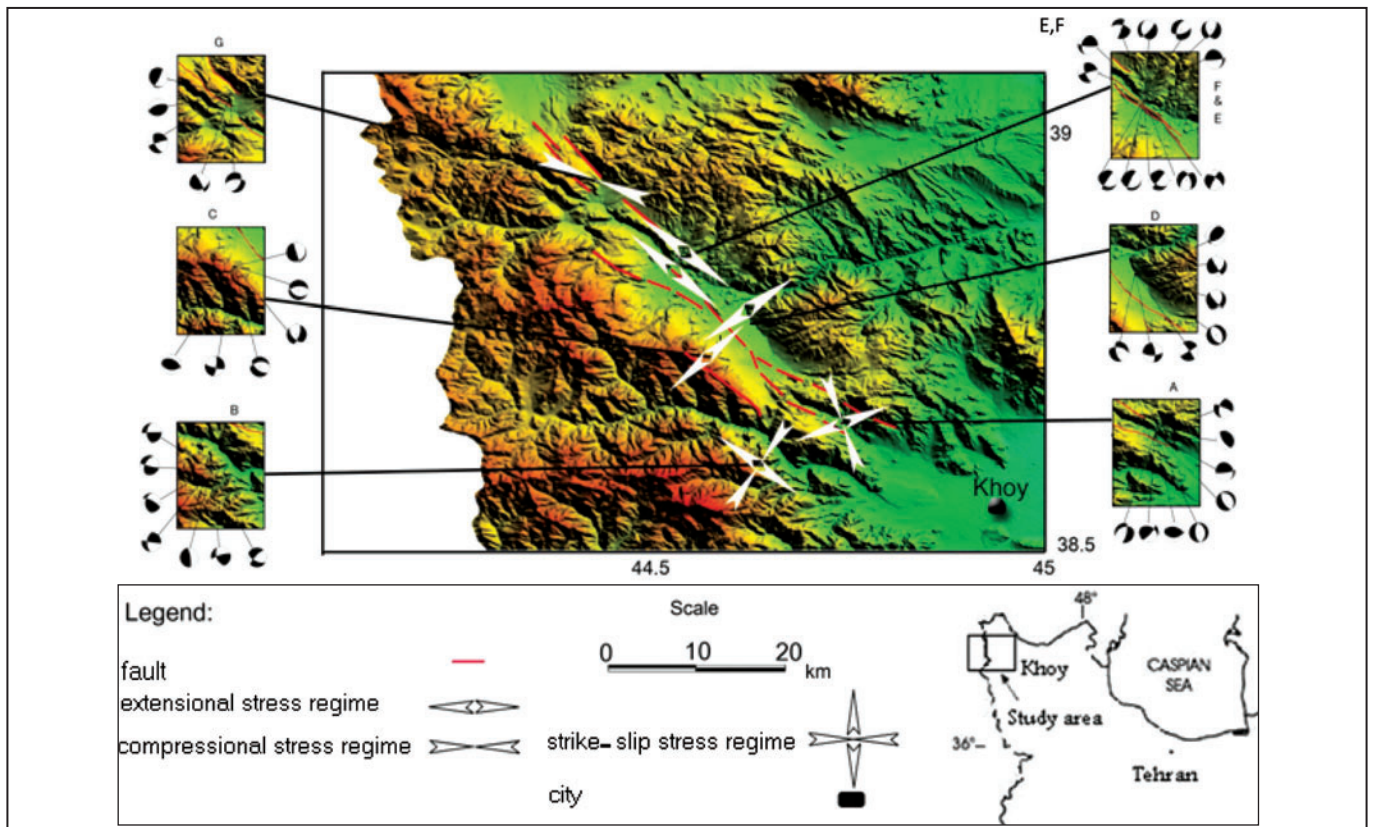
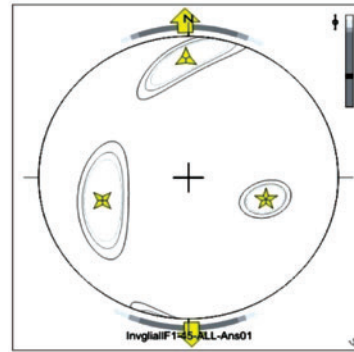


شکل ۳- نتایج تحلیل انجام‌شده برای جدایش و بازسازی رژیم‌های تنش لرزه زمین‌ساختی چندگانه (multiple) در شمال خوی (شمال باختر ایران). در این تصویر تنش‌های فشارشی و کششی با پیکان‌هایی برای هر تنسور تنش با رنگ‌های متفاوت نمایش داده شده‌اند. موقعیت‌های σ_1 ، σ_2 و σ_3 در هر رژیم به ترتیب با ستاره‌های ۵پر، ۴پر و ۳پر و سرانجام جهت‌نهایی کشش یا فشارش با پیکان‌های توپر رنگی نشان داده شده‌اند.

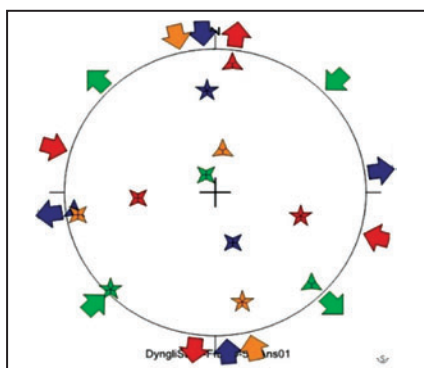


شکل ۴- تصویر نمادین از منطقه مورد مطالعه و جدایش تنش‌های زمین‌ساختی بر پایه داده‌های لرزه‌ای. سوی رژیم‌های تنش زمین‌ساختی با پیکان‌هایی سفیدرنگ به نمایش درآمده است. شهرها با حروف اختصاری Kh: خوی، سیاهچشمه و Ma: ماکو نشان داده شده‌اند. دایره‌ها همراه با حروف لاتین نمایندگان سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های روی داده هستند.

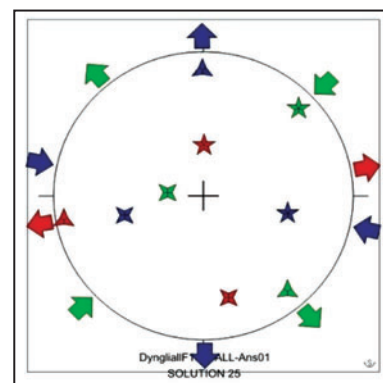
شکل ۵- نتایج تحلیل انجام شده برای به دست آوردن متوسط رژیم تنش ناحیه‌ای بر پایه داده‌های صحرایی لغزش گسل‌ها. توضیح جزئیات این شکل با شکل ۲ یکسان است.



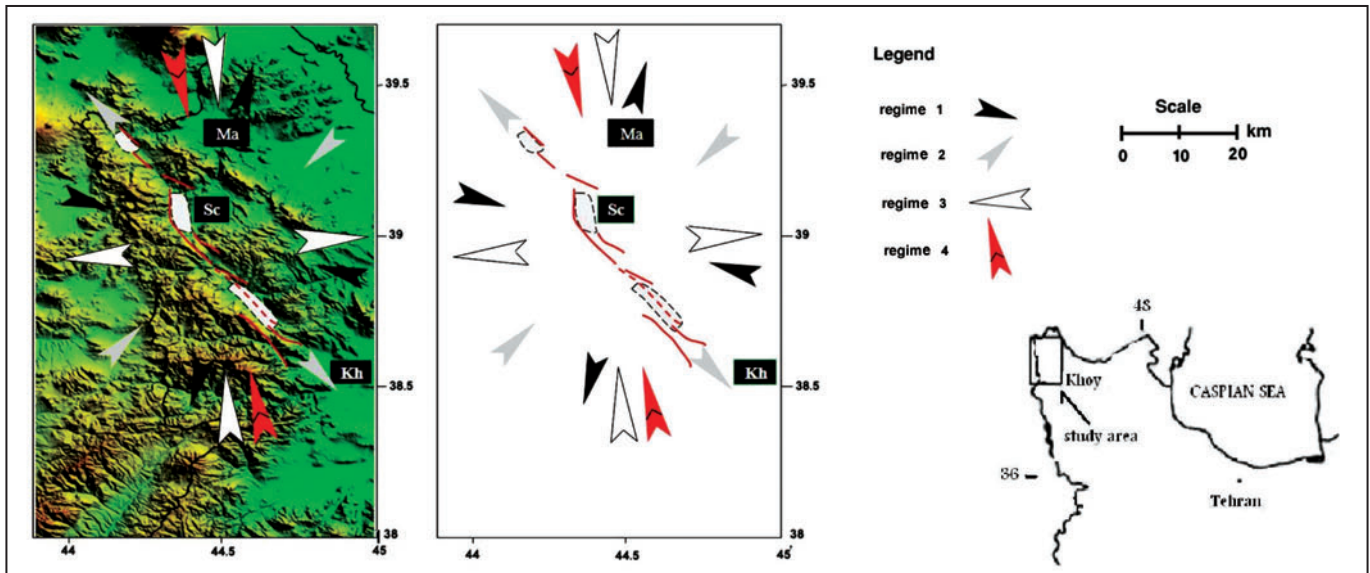
شکل ۶- موقعیت منطقه مورد مطالعه، ایستگاه‌ها و رژیم‌های تنش به دست آمده در هر ایستگاه. دایره‌های نمایشگر ساز و کار گسلی، از داده‌های صحرایی اندازه‌گیری شده برای گسل‌های منطقه بازسازی شده است.



شکل ۸- نتایج تحلیل انجام شده برای جدایش و بازسازی رژیم‌های تنش چندگانه در پهنه گسلی سیاه‌چشمه-خوی بر پایه داده‌های لرزه‌ای و داده‌های لغزش گسلی به صورت همزمان. دیگر توضیحات این شکل مشابه شکل ۳ یکسان است.



شکل ۷- نتایج تحلیل انجام شده برای جدایش و بازسازی رژیم‌های تنش چندگانه در پهنه گسلی سیاه‌چشمه-خوی بر پایه داده‌های لغزش گسلی. دیگر جزئیات این شکل مشابه شکل ۳ است.



شکل ۹- تصویر نمادین از منطقه مورد مطالعه و نمایش رژیم‌های بازسازی شده بر پایه تلفیق داده‌ها (داده‌های صحرایی لغزش گسلی و داده‌های سازوکار کانونی زمین لرزه‌ها) و ساختارهای موجود در منطقه. شهرها با حروف اختصاری Kh: خوی، Sc: سیاه چشمه و Ma: ماکو نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- نتایج تحلیل انجام شده برای به دست آوردن متوسط رژیم تنش بر پایه داده‌های لرزه‌ای در منطقه مورد مطالعه. ω_{acc} % آستانه پذیرفتنی برای مؤلفه لغزش تنش برشی بر حسب درصد و N_{acc} % درصد داده‌های شرکت کننده در تنسور تنش به دست آمده است. ویژگی‌های محورهای اصلی تنش σ_1 ، σ_2 و σ_3 روند (Trend) و میل (Plunge) بر حسب درجه آورده شده است، نسبت شکلی تنش $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ ، ω_m % متوسط آستانه پذیرفتنی برای مؤلفه لغزش تنش برشی بر حسب درصد، τ_m^* متوسط نسبت تنش برشی به تنش برشی بیشینه، α_m متوسط زاویه میان بردار تنش برشی و مؤلفه لغزش تنش برشی بر حسب درجه هستند. متغیرهای ω_{sd} و τ_{sd} و α_{sd} میزان انحراف معیار پارامترهای ω و τ هستند (Angelier, 2002).

ω_{acc} %	N_{acc} %	σ_1	σ_2	σ_3	Φ	ω_m %	ω_{sd}	τ_m^*	τ_{sd}	α_m	α_{sd}
۲۵	۶۹	۱۸۱	۱۴	۳۳۹	۷۵	۰.۸۹	۰.۵	۰.۴۱	۷۰	۱۸	۱۶

جدول ۲- نتایج تحلیل انجام شده برای جدایش و بازسازی رژیم‌های تنش لرزه زمین ساختی چندگانه (multiple) در شمال خوی (شمال باختر ایران) بر پایه داده‌های لرزه‌ای. ستون اول (Regime) شماره رژیم تحلیل انجام شده بوده و دیگر متغیرهای به کار رفته در این جدول با توضیحات جدول ۱ یکسان است.

Regime	ω_{acc} %	N_{acc} %	σ_1	σ_2	σ_3	Φ	ω_m %	ω_{sd}	τ_m^*	τ_{sd}	α_m	α_{sd}			
۱	۴۰	۳۱	۱۸۰	۰.۳	۰.۷۵	۷۸	۲۷۱	۱۲	۰.۵۷	۹۰	۸	۹۲	۶	۱۲	۷
۲	۴۰	۲۳	۲۱۹	۳۸	۰.۲۷	۵۱	۱۲۴	۰.۶	۰.۵۳	۸۶	۱۰	۹۳	۱۰	۱۵	۱۶
۳	۴۰	۳۱	۱۶۳	۲۵	۲۹۲	۵۶	۰.۶۲	۲۲	۰.۶۱	۷۷	۱۰	۸۲	۱۲	۱۶	۱۱

جدول ۳- مهم ترین متغیرهای نتایج تحلیل وارون روی همه داده‌های صحرایی لغزش گسلی در پهنه گسلی سیاه چشمه-خوی. توضیحات متغیرهای به کار رفته در این جدول همانند توضیحات جدول ۱ است.

ω_{acc} %	N_{acc}	σ_1	σ_2	σ_3	Φ	ω_m %	ω_{sd}	τ_m^*	τ_{sd}	α_m	α_{sd}			
۶۵	۲۲	۱۰۷	۴۵	۲۵۴	۴۰	۳۵۹	۱۷	۰.۳۴	۸۱	۶	۸۶	۷	۱۹	۸

جدول ۴- نتایج تحلیل جدایش تنش‌ها برای داده‌های لغزش گسلی در پهنه گسلی سیاه چشمه-خوی. جزئیات و متغیرهای به کار رفته در این جدول با توضیحات جدول ۳ یکسان است.

Regime	ω_{acc} %	N_{acc} %	σ_1	σ_2	σ_3	Φ	ω_m %	ω_{sd}	τ_m^*	τ_{sd}	α_m	α_{sd}			
۱	۴۰	۲۴	۰.۰۱	۶۱	۱۶۷	۲۸	۲۶۰	۰.۶	۰.۶۸	۷۶	۱۲	۸۲	۱۲	۱۸	۱۱
۲	۴۰	۲۰	۰.۴۶	۱۳	۲۷۵	۷۰	۱۴۰	۱۴	۰.۷	۷۲	۱۱	۸۱	۹	۲۴	۱۳
۳	۴۰	۲۹	۱.۰۲	۴۲	۲۵۶	۴۵	۳۶۰	۱۴	۰.۲۴	۷۶	۱۴	۸۴	۲۹	۲۳	۱۴

جدول ۵- نتایج تحلیل داده‌های لرزه‌ای و داده‌های لغزش گسلی در پهنه گسلی سیاه چشمه - خوی و جدایش تنش‌ها. متغیرهای به کار رفته در این جدول با توضیحات جدول ۱ یکسان است.

Regime	$\omega_{acc\%}$	$N_{acc\%}$	σ_1	σ_2	σ_3	Φ	$\omega_{m\%}$	ω_{sd}	τ_m^*	τ_{sd}	α_m	α_{sd}			
۱	۴۰	۲۴	۱۰۶	۴۱	۲۶۶	۴۷	۰۰۷	۱۰	۰/۳۸	۷۲	۱۴	۷۸	۱۲	۲۲	۱۲
۲	۴۰	۲۱	۲۲۶	۰۳	۳۳۴	۷۹	۱۳۵	۱۱	۰/۷۵	۷۲	۱۱	۸۲	۹	۲۴	۱۴
۳	۴۰	۲۹	۳۵۶	۲۹	۱۶۲	۶۰	۲۶۲	۰۶	۰/۸۲	۷۷	۱۱	۸۴	۱۰	۲۰	۱۳
۴	۴۰	۲۱	۱۶۷	۲۳	۲۶۰	۰۸	۰۱۰	۶۶	۰/۴۱	۶۷	۱۱	۷۷	۱۲	۲۵	۱۴

جدول ۶ - نمایش انطباق نتایج رژیم‌های تنش جداسازی شده برای داده‌های لرزه‌ای و داده‌های صحرایی برای جدایش آنها

نتایج تحلیل انجام شده برای جدایش و بازسازی رژیم‌های تنش لرزه زمین‌ساختی چندگانه.

Regime	$\omega_{acc\%}$	$N_{acc\%}$	σ_1	σ_2	σ_3	Φ	$\omega_{m\%}$	ω_{sd}	τ_m^*	τ_{sd}	α_m	α_{sd}			
۱	۴۰	۳۱	۱۸۰	۰۳	۰۷۵	۷۸	۲۷۱	۱۲	۰/۵۷	۹۰	۸	۹۲	۶	۱۲	۷
۲	۴۰	۲۳	۲۱۹	۳۸	۰۲۷	۵۱	۱۲۴	۰۶	۰/۵۳	۸۶	۱۰	۹۳	۱۰	۱۵	۱۶
۳	۴۰	۳۱	۱۶۳	۲۵	۲۹۲	۵۶	۰۶۲	۲۲	۰/۶۱	۷۷	۱۰	۸۲	۱۲	۱۶	۱۱

نتایج تحلیل داده‌های پهنه گسلی سیاه چشمه - خوی بر پایه داده‌های لغزش گسلی.

Regime	$\omega_{acc\%}$	$N_{acc\%}$	σ_1	σ_2	σ_3	Φ	$\omega_{m\%}$	ω_{sd}	τ_m^*	τ_{sd}	α_m	α_{sd}			
۱	۴۰	۲۴	۰۰۱	۶۱	۱۶۷	۳۸	۳۶۰	۰۶	۰/۶۸	۷۶	۱۲	۸۲	۱۲	۱۸	۱۱
۲	۴۰	۲۰	۰۴۶	۱۳	۳۷۵	۷۰	۱۴۰	۱۴	۰/۷	۷۲	۱۱	۸۱	۹	۲۴	۱۳
۳	۴۰	۲۹	۱۰۲	۴۲	۲۵۶	۴۵	۳۶۰	۱۴	۰/۲۴	۷۶	۱۴	۸۴	۲۹	۲۳	۱۴

نتایج تحلیل داده‌های لرزه‌ای و داده‌های لغزش گسلی در پهنه گسلی سیاه چشمه - خوی

Regime	$\omega_{acc\%}$	$N_{acc\%}$	σ_1	σ_2	σ_3	Φ	$\omega_{m\%}$	ω_{sd}	τ_m^*	τ_{sd}	α_m	α_{sd}			
۱	۴۰	۲۴	۱۰۶	۴۱	۲۶۶	۴۷	۰۰۷	۱۰	۰/۳۸	۷۲	۱۴	۷۸	۱۲	۲۲	۱۲
۲	۴۰	۲۱	۲۲۶	۰۳	۳۳۴	۷۹	۱۳۵	۱۱	۰/۷۵	۷۲	۱۱	۸۲	۹	۲۴	۱۴
۳	۴۰	۲۹	۳۵۶	۲۹	۱۶۲	۶۰	۲۶۲	۰۶	۰/۸۲	۷۷	۱۱	۸۴	۱۰	۲۰	۱۳
۴	۴۰	۲۱	۱۶۷	۲۳	۲۶۰	۰۸	۰۱۰	۶۶	۰/۴۱	۶۷	۱۱	۷۷	۱۲	۲۵	۱۴

پیوست ۱- داده‌های لرزه‌ای

جدول ۱- داده‌های لرزه‌ای مربوط به منطقه مورد مطالعه. Date: تاریخ رخداد زمین‌لرزه (روز/ماه/سال)، Time: زمان رخداد زمین‌لرزه (ثانیه/دقیقه/ساعت)، Lat: عرض جغرافیایی، Lon: طول جغرافیایی، D (km): ژرفای زمین‌لرزه بر حسب کیلومتر؛ M: بزرگای زمین‌لرزه، Wave type: نوع موج رسیده به دستگاه لرزه‌نگار، S: نوع لغزش گسل در هنگام زمین‌لرزه (N سازوکار عادی، S سازوکار امتدادلغز چپ‌گرد، D سازوکار امتدادلغز راست‌گرد، I سازوکار وارون)، Str: امتداد صفحه گسلی، Dip: شیب صفحه گسلی، rake: زاویه ریک لغزش و Source: منابع داده‌های برگرفته شده که شامل (M: McKenzie, 1972; J. M: Jackson & McKenzie, 1984; J. J: Jackson, 1992; B: Berberian, 1997) هستند. ویژگی‌های کامل دیگر منابع در متن آورده شده است.

Ref no.	Date	Time	Lat	Lon	D(km)	M	Wave type	Nodal plane 1				Nodal plane 2				Source
								S	Str	Dip	rake	S	Str	Dip	rake	
A	۱۹۶۸/۰۴/۲۹	۱۷:۰۱:۵۸	۳۹/۲	۴۴/۳۰	۳۴	۵/۲	b	S	۰۶۱	۷۳S	۳۲W	D	۳۳۳	۶۷E	۲۰N	J.M, B&Y, NEIC
B	۱۹۷۰/۰۳/۱۴	۱۵:۱۱:۴۴	۳۸/۵۹	۴۴/۷	۲۳	۵/۴	b	S	۰۷۳	۶۰N	۲W	D	۱۶۴	۸۸E	۳۰S	M, J.M
C	۱۹۷۶/۱۱/۲۴	۱۵:۱۱:۰۶	۳۹	۴۴/۱۸	۶۲	۵	b	S	۱۷۲	۵۷W	۲۹S	D	۰۹۹	۶۶N	۳۷E	MOS
D	۱۹۷۶/۱۱/۲۵	۹:۴۹:۰۶	۳۸/۹۵	۴۴/۲۷	۳۸	۵	b	N	۰۷۱	۵۷N	۷۱W	N	۰۳۹	۳۸E	۶۳S	MOS
E	۱۹۷۶/۱۲/۱۲	۷:۵۴:۰۶	۳۹	۴۴/۲۵	۴۱	۴/۸	b	S	۰۴۵	۷۳N	۳۳W	D	۱۴۶	۵۹E	۲۰S	MOS
F	۱۹۷۷/۰۵/۲۶a	۱۳:۵۰:۱۳	۳۸/۹۳	۴۴/۳۸	۳۷	۵/۲	b	S	۲۱۹	۸۶	۱N	D	۱۲۸	۸۹	۵E	ISC, USGS, CMT
G	۱۹۷۷/۰۵/۲۶b	۹:۵۰:۰۶	۳۸/۸۹	۴۴/۳۵	۴۱	۴/۹	b	S	۰۷۵	۶۱N	۸W	D	۱۶۹	۸۳E	۲۹S	MOS
H	۱۹۸۱/۰۱/۰۴	۷:۱۹:۰۶	۳۸/۴۸	۴۴/۹۱	۳۸	۴/۶	b	I	۰۲۸	۷۳E	۶۴S	D	۰۸۷	۳۱N	۳۵W	MOS
I	۱۹۸۸/۰۴/۲۰	۳:۵۰:۵۸	۳۸/۹۷	۴۴	۱۵	۵	b	D	۱۱۰	۵۸S	۱۸E	S	۰۳۰	۷۵W	۳۳N	CMT
J	۲۰۰۲/۰۳/۱۴	۱۲:۵۶:۵۶	۳۸/۳۵	۴۴/۱۲	۲۱	۴/۵	b	S	۰۴۶	۸۹	۱۷E	D	۳۱۵	۷۳	۱W	ISC
K	۲۰۰۳/۰۸/۱۱	۲۰:۱۲:۰۰	۳۸/۸۳	۴۴/۸۸	۲۴	۴/۷	b	D	۱۱۹	۸۰N	۲۹W	S	۰۳۴	۶۱E	۱۱S	SED
M	۲۰۰۳/۱۰/۲۰	۶:۲۶:۰۰	۳۸/۶۵	۴۴/۵۷	۲۱	۴/۸	b	D	۱۴۳	۸۷W	۱۱N	S	۰۵۲	۷۹S	۳E	SED
N	۲۰۰۴/۰۱/۲۴	۴:۴۰:۰۰	۳۸/۰۷	۴۴/۹۱	۱۲	۴/۵	b	S	۰۲۰	۸۶W	۴S	D	۱۱۰	۸۶N	۴E	SED

پیوست ۲- داده‌های گسل‌ها

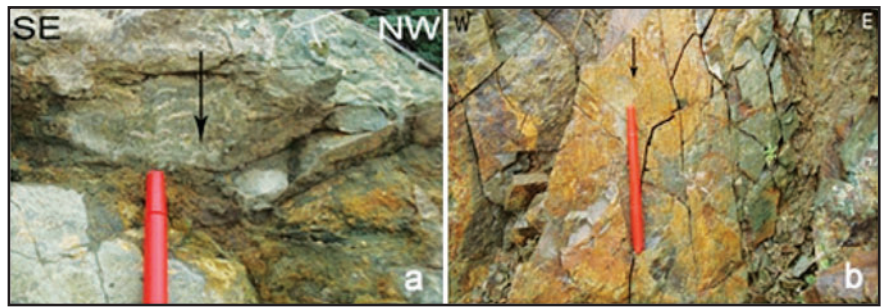
ویژگی‌های سطوح گسلی برداشت شده در ایستگاه‌های A تا G. ستون اول از سمت راست ایستگاه اندازه‌گیری و ستون دوم شماره گسل‌های اندازه‌گیری شده هستند. D: شیب، DD: سوی شیب و R: زاویه ریک لغزش، برای هر گسل است. ویژگی‌های صفحه کمکی در سطرهای خاکستری رنگ بیان شده است.

R	Nodal plane		fault no	Station
	DD	D		
S12	284	52	F ₁	A
E40	21	81		
S88	236	65	F ₂	
S86	49	25		
N23	62	24	F ₃	
W69	173	81		
S86	241	63	F ₄	
S82	50	27		
S86	261	58	F ₅	
S84	77	32		
W79	12	49	F ₆	
W78	174	42		
W24	25	42	F ₇	
S52	132	75		
S60	100	70	F ₈	
W38	339	35		
E44	177	89	F ₉	B
S01	268	46		
E41	196	81	F ₁₀	
N13	293	50		
S31	273	37	F ₁₁	
E57	28	72		
E39	8	88	F ₁₂	
S01	276	51		
S89	84	78	F ₁₃	
S85	264	12		
E39	345	79	F ₁₄	
S14	246	51		
E21	211	60	F ₁₅	
N34	311	73		
E14	147	13	F ₁₆	C
N77	251	86		
E64	205	86	F ₁₇	
E72	354	58		
N47	110	65	F ₁₈	
W34	224	49		
E58	217	56	F ₁₉	
E51	349	45		
W13	193	76	F ₂₀	
N14	99	76		
W76	189	44	F ₂₁	
W76	23	47		
65E	146	50	F ₂₂	D
N62	292	45		
E10	140	42	F ₂₃	

R	Nodal plane		fault no	Station
	DD	D		
N45	237	83		
N25	117	38	F ₂₄	
N52	228	74		
N89	240	50	F ₂₅	
N89	60	40		
W07	147	86	F ₂₆	
N04	56	83		
N22	88	71	F ₂₇	
W21	180	69		
S44	256	61	F ₂₈	
E36	11	52		
N56	303	84	F ₂₉	E
E11	204	33		
N69	297	80	F ₃₀	
E65	181	22		
N43	307	86	F ₃₁	
E05	213	47		
S42	310	55	F ₃₂	
S41	69	55		
S26	299	82	F ₃₃	
E10	33	65		
E06	251	69	F ₃₄	F
E22	342	86		
E52	184	78	F ₃₅	
N18	288	40		
S36	108	42	F ₃₆	
W10	12	54		
E59	134	72	F ₃₇	
N31	251	35		
N44	288	52	F ₃₈	
E47	167	57		
N49	124	63	F ₃₉	
N37	241	48		
W69	175	84	F ₄₀	
N16	69	21		
N33	238	16	F ₄₁	G
N76	117	81		
E79	142	28	F ₄₂	
E84	340	62		
S11	245	58	F ₄₃	
E31	340	81		
W16	165	31	F ₄₄	
N58	81	81		
S40	115	47	F ₄₅	
W50	355	62		

پیوست ۳ - تصاویر گسل‌های اندازه‌گیری شده

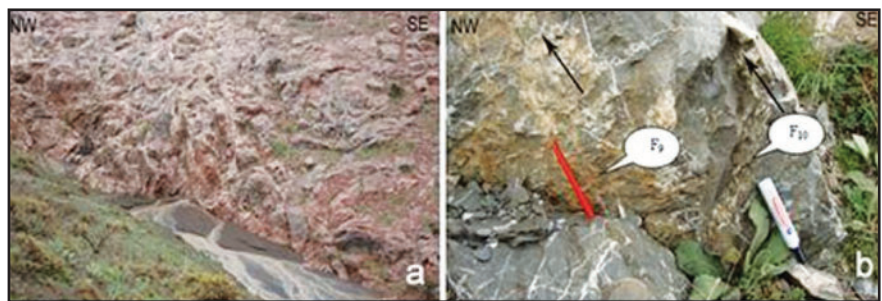
شکل ۱-۳. دو نمونه از سطوح گسلی مشاهده شده در ایستگاه A (نزدیکی روستای دیزج، ۲۰ کیلومتری شمال باختری خوی). (a) پله‌های بلوری بر هم افزوده (accretionary mineral steps) روی سطح برشی (F_3) (فرا دیواره) و (b) سطح صیقلی و دارای خش خط (lineations) صفحه گسلی (F_9) (فرو دیواره)، سوی پیکان سمت لغزش را در بلوک برجا نشان می‌دهد. ویژگی‌های این سطوح گسلی به همراه صفحه کمکی مربوط به آنها در بخش پیوست ۲ آورده شده است.



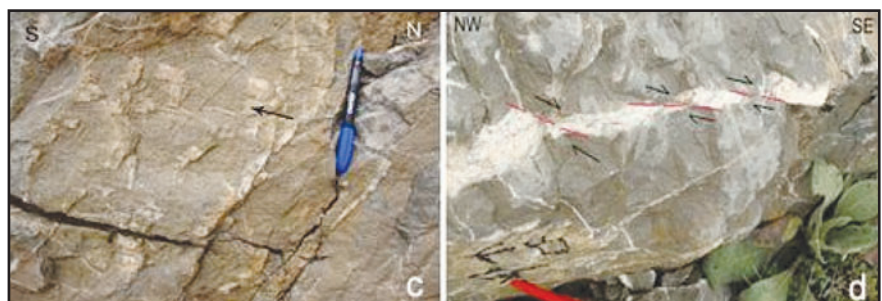
شکل ۲-۳. برخی از ساختارهای مشاهده شده در ایستگاه A (نزدیکی روستای دیزج، ۲۰ کیلومتری شمال باختری خوی). (c) شکل‌های ناودان مانند نامتقارن (groove and relief marks) روی سطح لغزش F_6 و ویژگی‌های این سطح گسلی به همراه صفحه کمکی مربوط به آن در جدول پیوست ۲ آورده شده است و (d) شکستگی‌های پر مانند جهت پیکان سفید رنگ نشان‌دهنده سوی تنش بیشینه است.



شکل ۳-۳. ساختارهای مشاهده شده در ایستگاه B، نزدیکی روستای قریس (۳۴ کیلومتری شمال باختری خوی). (a) نمایی از آهک‌های پلاژیک صورتی رنگ (K^{bp}) و (b) تصویری از دو سطح گسلی مجاور (F_{10} و F_9). سوی پیکان سوی لغزش بلوک بر جای گسلی را نشان می‌دهد. ویژگی‌های این سطوح گسلی به همراه صفحه کمکی مربوط به آنها در جدول پیوست ۲ آورده شده است.



شکل ۳-۴. ساختارهای مشاهده شده در ایستگاه B، نزدیکی روستای قریس (۳۴ کیلومتری شمال باختری خوی). (c) پله‌های بلوری بر هم افزوده روی سطح برشی دارای خش خط (F_{14}). سوی پیکان سوی لغزش بلوک بر جای گسلی را نشان می‌دهد. (d) رگه کلسیتی که به دلیل تنش کششی دارای ساخت دومینو شده است. ویژگی‌های این سطوح گسلی در جدول پیوست ۲ آورده شده است.

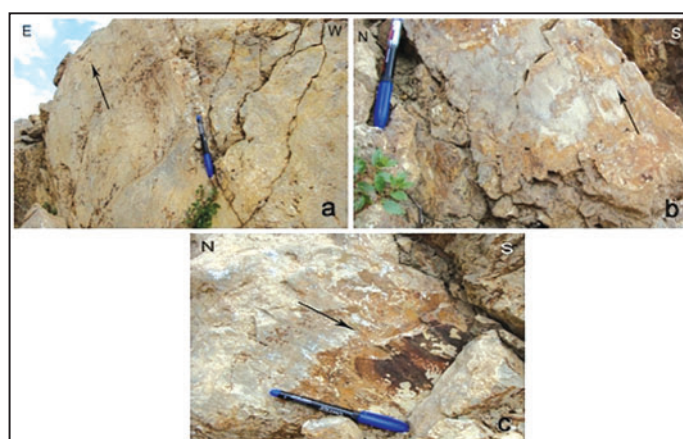
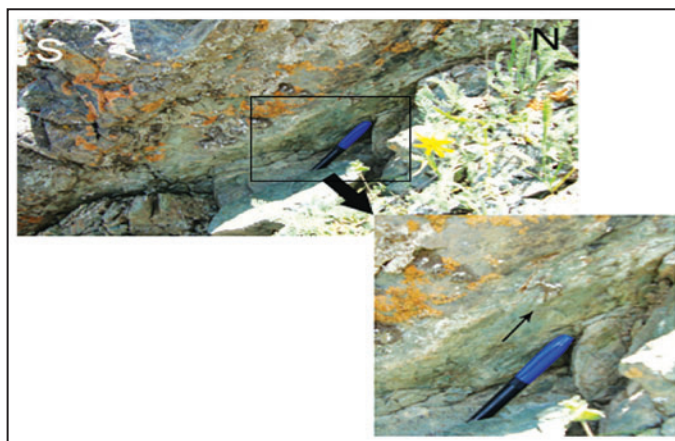


شکل ۳-۶. نمونه‌ای از سطوح گسلی مشاهده شده در ایستگاه C جنوب خاوری روستای ممیش خان، (F_{20}), پیکان سوی لغزش در بلوک بر جای گسلی را نشان می‌دهد. ویژگی‌های این سطح گسلی در جدول پیوست ۲ آورده شده است.



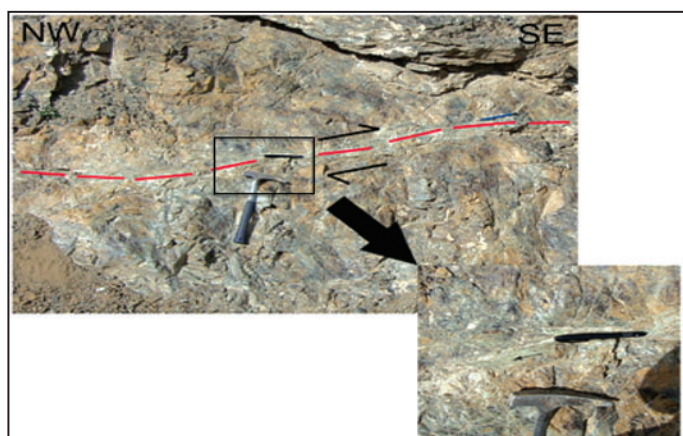
شکل ۳-۵. موقعیت آهک‌های نومولیت دار پالئوسن. ایستگاه C جنوب خاوری روستای ممیش خان.

شکل ۳-۷. نمای سطح گسلی (F₂₈). ایستگاه D، نزدیکی روستای قینار بالا، پیکان سوی لغزش را در بلوک برجای گسلی نشان می‌دهد. ویژگی‌های این سطح گسلی در جدول پیوست ۲ آورده شده است.



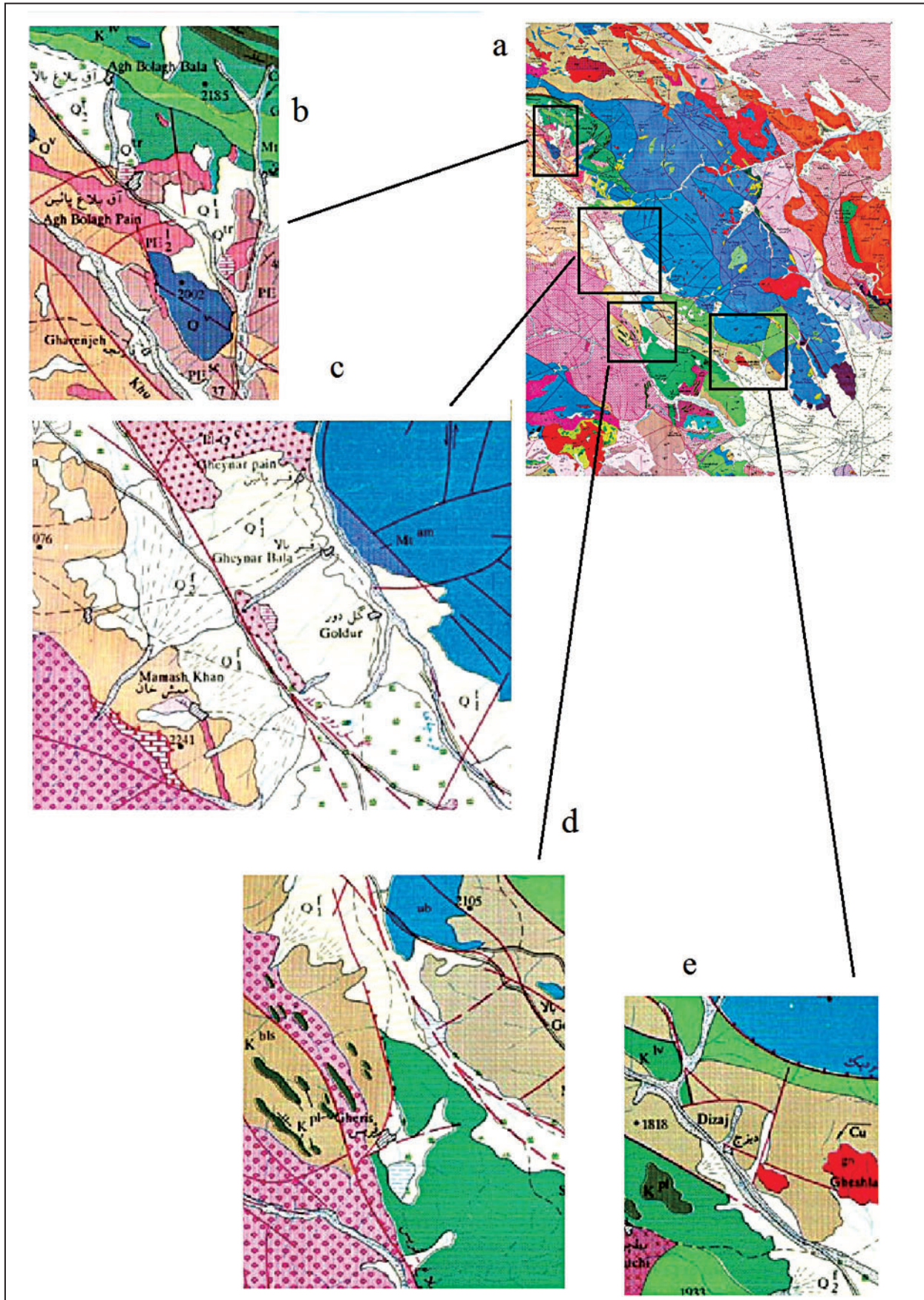
شکل ۳-۸. نمایی از سه سطح گسلی (a) F₂₉، (b) F₃₀ و (c) F₃₁. ایستگاه E، در مسیر راه ارتباطی روستای قارنجه و آغ‌بلاق. پیکان در شکل‌ها سوی لغزش را در بلوک برجای گسلی نشان می‌دهد. ویژگی‌های این سطوح گسلی به همراه صفحه کمکی مربوط در جدول پیوست ۲ آورده شده است.

شکل ۳-۹. سطح گسلی F₃₄ روی آهک‌های انوسن پیشین، در ۱ کیلومتری روستای آق‌بلاق (ایستگاه F). پیکان سوی لغزش را در بلوک برجای گسلی نشان می‌دهد. ویژگی‌های این سطح گسلی به همراه صفحه کمکی در جدول پیوست ۲ آورده شده است.



شکل ۳-۱۰. سطح گسلی راندگی با شیب کم F₄₂ ایستگاه G، ۳ کیلومتری پایگاه هلال احمر قره‌چی بلاغی. در شکل سمت راست (نمای نزدیک) سوی لغزش در بلوک فرودپواره به وسیله پیکان سیاه رنگ نشان داده شده است.

شکل ۳-۱۱. نقشه زمین‌شناسی ورقه خوی و محدوده ایستگاه‌های اندازه‌گیری گسل‌ها. بریدگی آب‌رفت‌های عهد حاضر توسط گسل‌های جوان در هر محدوده قابل تشخیص است.



References

- Angelier, J., 1984 - Tectonic analyses of fault slip data sets. *Journal of Geoph. Res.*, Vol. 89, No. B7, pp. 5835-5848.
- Angelier, J., 2002- Inversion of earthquake focal mechanisms to obtain the seismotectonic stress (a new method free of choice among nodal planes) IV. *Geophys. J. Int.*, 150: 588-609.
- Angelier, J., 2004- Inversion of earthquake focal mechanisms to reconstruct multiple seismotectonic stress regimes: Refining and separation processes. *Geophy. Research Abst.*, Vol. 6,03901.
- Angelier, J., 2006- Dyngli and Invigli software. Pierr and Mari Curri University Paris VI.
- Berberian, M. & Arshadi, M., 1976- On the evidence of the youngest activity of the North Tabriz city. In *Geological Survey of Iran, Report No. 39*, pp.397-418.
- Berberian, M. & Hamdi, B., 1977- First discovery of the Ordovician beds and conodonts in the slightly metamorphosed rocks of the Kun-e-Agh Baba, Maku quadrangle, Azarbaijan. *Geol. Surv. Iran, Internal Report*. 7p.
- Berberian, M. & Yeats, R., 1999- Patterns of Historical Earthquake Rupture in the Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological society of America*, 89: 120-139.
- Berberian, M., 1997- Seismic sources of the Transcaucasian historical earthquakes. In: *Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus* (D. Giardini and S. Balassanian, eds.), NATO ASI Series, 2. Environment- Vol. 28, 233-311, Kluwer Academic Press, the Netherlands.
- Carver, G. & McCalpin, J., 1996- *Paleoseismology*, 1996, Chapter 5, 587p. Academic press, New York.
- CMT, Centroid Moment Tensor Catalogue, Harvard University, 2006- Department of geological Sciences, available online at: <http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F. & Stein, S., 1990- Current plate motions. *Geophys. J. Int.*, 101, 425-478.
- ISC (International Seismological Centre): available online at: <http://www.isc.ac.uk/>.
- Jackson, J. A. & McKenzie, D., 1984- Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 77, 185-264.
- Jackson, J., 1992- Partitioning of strike-slip and convergent Motion Between Eurasia and Arabia in Eastern Turkey. *Journal of Geophysical Research*, 97: 12,471-12,479.
- Masson, F., Anvari, M., Djamour, Y., Walpersdorf, A., Tavakoli, F., Daignières, M., Nankali, H. & Van Gorp, S., 2007- Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: new insight for the present-day deformation pattern within NE Iran. *Geophys. J. Int.* 170: 436-440.
- Masson, F., Chery, J., Martinod, J., Hatzfeld, D., Vernant, P., Tavakoli, F. & Ghafari-Ashtiani, M., 2005- Seismic versus aseismic deformation in Iran inferred from earthquake and geodetic data, *Geophys. J. Int.*, 160, 217-226.
- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D. & Tealeb, A., 2003- GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions, *Geophys. J. Int.*, 155, 126-138.
- McKenzie, D., 1972- Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 30., 109-165.
- Mostriouk, A. O. & Petrov, V. A., 1994- Catalogue of focal mechanisms of Earthquakes 1964-1990, *Materials of World Data Center B.*, Moscow, pp. 87, available online at <http://www.brk.adm.yar.ru/russian/1-512/1-512-3e.htm>.
- Nilforoushan, F., Masson, F., Vernant, P., Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., Nankali, H., Hatzfeld, D., Bayer, R., Tavakoli, F., Ashtiani, A., Doerflinger, E., Daignières, M., Collard, P. & Chéry, J., 2003- GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran. *Journal of Geodesy*, 77: 411-422.
- Ramsay, J., 1986- *Modern structural geology*, Vol. 2, Press, London.
- Rebai, S., Philip, H., Dorbath, L., Borissoff, B., Haessler, H. & Cisternas, A., 1993- Active tectonics in the Lesser Caucasus: coexistence of compressive and extensional structures, *Tectonics* 12: 1089-1114.
- SED, Schweizerischer Erdbebendienst, Swiss Seismological Service, 2006- available online at, <http://siesmo.ethz.ch/info/mt.html>.
- Vernant, P. & Chery, J., 2006- Low fault friction in Iran implies localized deformation for the Arabia-Eurasia collision zone, *EPSL*, 246, 197-206.
- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. & Chery, J., 2004- Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS Measurements in Iran and northern Oman. *Geophys. J. Int.*, 157: 381-398.
- Zamani Gharechamani, B., Angelier, J. & Zamani, A., 2008- State of stress induced by plate convergence and stress partitioning in northeastern Iran, as indicated by focal mechanisms of earthquakes. *Journal of Geodynamics*, 45, 120-132.
- Zamani Gharechamani, B., 2011- State of stress in the northern Tabas block, east-central Iran, as inferred from focal mechanisms of the 1978 Tabas earthquake sequence, *Central European Journal of Geosciences*, 3(1), 77-89.
- Zamani Gharechamani, B. & Masson, F., 2014- Recent tectonic of East (Iranian) Azarbaijan from stress state reconstruction. *Tectonophysics*, 611, 61-82.

Stress State Study of Siah Cheshmeh-Khoy Fault Zone (NW-Iran) and Using Stress Separation Method in Separation of Neotectonic Stresses from Paleostresses

B. Zamani Gharechamani ^{1*}

¹ Assistant Professor, Department of Geology, Natural Science Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran

Received: 2011 February 26

Accepted: 2012 January 08

Abstract

In the present study, the state of stress in SiahCheshme-Khoy fault zone area in the North-West of Iran has been analyzed based on the systematic inversion of focal mechanisms of earthquakes, and fault slip data, to characterise the stress regime controlling of most faults and earthquakes in this area. The calculated average stress regime in this area indicates major NW-SE trending compression which dominates stress regime in strike slip mode with an intermediate stress axis, σ_2 , close to vertical. Reconstructed stress has shown that average seismotectonic stress and average stress obtained from fault slip data do not have consistency due to of the multi stress regimes in this fault zone. Nonetheless stress separation analysis results for fault slip data and earthquake data have good consistency and their first and second analyzed stress regimes have the same trend. Also comparison between the results of the stress separation analysis between fault slip data and earthquake data, has shown that the second and third stress regime of this analysis are neotectonic stresses that controlling this fault zone movements. The forth stress regime also is a neostress regime that has been shown in seismotectonic stress separation analysis also, but it seems related to the deep faults. The first stress regime that have resulted from stress separation analysis of both field and earthquake data, it seems a paleostress regime which is not shown in seismic data analysis. Also reconstructed stresses in this study, have good consistency with the latest studies in this area especially with geodetic studies.

Keywords: Siah Cheshmeh- Khoy, Fault, Neotectonic stress, Paleostress.

For Persian Version see pages 75 to 88

*Corresponding author: B. Zamani Gharechamani; E-mail:b.zamani@tabrizu.ac.ir