

گوه زمین‌ساختی شمال تهران، گوه دینامیکی یا زمین‌ریختی؟

ساره رجبی^۱، محسن الیاسی^۲، عبدالله سعیدی^۱ و علیرضا شهیدی^۳

^۱پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

^۲پردیس علوم، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

^۳سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۵/۲۶

چکیده

در این پژوهش، از داده‌های ناهمگن لغزش گسلی به عنوان داده‌های اصلی برای تحلیل تنش دیرینه در گوه زمین‌ساختی شمال تهران، بین دو گسل مشا و شمال تهران استفاده شده است. با استفاده از این داده‌ها و با کمک روش‌های تنش دیرینه، ابتدا به پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. بر این اساس، منطقه به ۱۵ پهنه پایدار تنشی تفکیک شده و میانگین تنش دیرینه در هر یک از این محدوده‌ها به دست آمد. سپس در هر پهنه با روش وارونه‌سازی چندمرحله‌ای، به تفکیک فازهای تنشی پرداخته شد. در گام بعد، بر اساس میدان تنش میانگین به دست آمده از هر پهنه و چرخش داده‌های گسلی بر اساس انگاره اندرسن برای رژیم تنشی فشاری، نقشه خط‌های گذر محورهای تنش برای میدان تنش میانگین حاکم بر منطقه در طول زمان زمین‌شناسی رسم شد. آرایش خط‌های گذر تنش بیشینه، نشانگر پیروی آنها از رژیم تنشی کلی حاکم بر پوسته ایران است و دینامیک گوه زمین‌ساختی شمال تهران را رد می‌کند.

کلیدواژه‌ها: تفکیک فازهای تنش، داده‌های ناهمگن لغزش گسلی، روش وارونه‌سازی چند مرحله‌ای، خط‌های گذر محورهای تنش، گوه زمین‌ساختی.

E-mail: s.rajab@sdrv@gmail.com

*نویسنده مسئول: ساره رجبی

۱- مقدمه

زمین‌ساخت گوه‌ای یکی از شاخه‌های زمین‌ساخت است که در ارتباط تنگاتنگ با بررسی‌های ساختاری مانند تحلیل تنش و کرنش، تحلیل ساختاری عناصری چون چین‌ها، گسل‌ها و درزه‌ها و دیگر بخش‌های زمین‌شناسی ساختاری است. این شاخه هنگامی مطرح می‌شود که در منطقه مورد مطالعه، گسل‌های فعال یکدیگر را بریده و مناطقی گوه‌شکل بین آنها جای می‌گیرد، این محدوده‌ها گوه زمین‌ساختی (tectonic wedge) نامیده می‌شوند. این چنین گوه‌های زمین‌ساختی در کمربند چین‌خورده و رانده البرز به‌ویژه در بخش مرکزی به فراوانی یافت می‌شود، اما ممکن است همه این گوه‌ها، ویژگی دینامیکی گوه که تمرکز تنش در نوک تیز آن است، نداشته باشند. در این پژوهش، چنین گوه‌هایی که تمرکز تنش در نوک آنها (محل همگرایی و برخورد گسل‌های مرزی) دیده نمی‌شود و تنها از نظر شکل ظاهری شکل گوه دارند، گوه زمین‌ریختی (geomorphic wedge) و گوه زمین‌ساختی که دارای تمرکز تنش در نوک تیز خود است گوه دینامیک (dynamic wedge) نامیده می‌شوند.

یکی از این گوه‌ها، گوه زمین‌ساختی بخش جنوبی البرز مرکزی است که بین دو گسل شمال تهران و گسل مشا محصور شده است. این منطقه از محل برخورد این دو گسل در محدوده شمال خاور تهران (در خاور)، تا باختری‌ترین رخنمون آشکار گسل شمال تهران در خاور کرج (در باختر) گسترش دارد. مرز شمالی آن، اثر سطحی گسل مشا و مرز جنوبی آن اثر سطحی گسل شمال تهران است.

در این پژوهش تلاش شده تا جایی که ممکن است با برداشت دقیق عناصر ساختاری و با استفاده از تفکیک فازهای تنش (stress phase or event) چرخش داده‌ها و رسم خط‌های گذر محورهای تنش (stress trajectories) به تحلیل عناصر ساختاری در این گوه زمین‌ساختی بزرگ پرداخته شود تا افزون بر شکل ظاهری، دینامیک بودن آن بررسی شود. پژوهش‌های بسیاری در قالب مقاله، گزارش، پایان‌نامه و مانند آنها در محدوده مورد مطالعه انجام شده است که از میان آنها می‌توان به بربریان و همکاران (۱۳۷۱)، Allen et al. (2003); Saidi et al. (1997); Alavi (1996); Tchalenko (1975); Assereto (1966); Shahidi (2008); Nazari (2006); Zanchi et al. (2006); Guest et al. (2006); Ritz et al. (2006); Ehteshami Moinabadi & Yassaghi (2006) و الیاسی و احمدیان (۱۳۸۵) اشاره کرد.

۲- محدوده جغرافیایی و زمین‌ساختی

منطقه مورد بررسی در این پژوهش، محدوده گوه‌ای شکل بین گسل شمال تهران و گسل مشا در شمال تهران را دربر می‌گیرد. این منطقه از خاور به محل پیوند این دو گسل (در خاور لوسان) و از باختر به دره کرج محدود می‌شود. کلان شهرهای تهران و کرج به ترتیب در جنوب و باختر این ناحیه جای دارند. منطقه مورد بررسی را می‌توان سه گوشه ماندی، حاصل از برخورد گسل مشا، گسل شمال تهران و دره کرج در چارگوش‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران و خاور تهران در نظر گرفت (شکل ۱).

پهنای کل منطقه نزدیک به ۱۰۰۰ کیلومتر مربع است. مهم‌ترین راه‌های دسترسی منطقه، جاده کرج-چالوس در باختر، آزادراه تهران-کرج در جنوب و جاده تهران-فشم در خاور است و دیگر راه‌های فرعی از این راه‌ها جدا می‌شوند. این منطقه شامل برونزد سطحی سنگ‌های سنوزویک و کوآترنری است. بیشترین رخنمون را سنگ‌های سازند کرج دارند. سازندهای فجن، نهشته‌های میوسن منسوب به سازند سرخ و رسوب‌های کوآترنری به شکل پراکنده در منطقه دیده می‌شود. در برخی مناطق، توده‌های نفوذی سنوزویک مانند دایک، سیل و باتولیت، این توالی رسوبی را بریده و بر روی زمین رخنمون یافته‌اند.

۳- روش مطالعه

از آنجا که گسل‌های خش‌دار، تمامی مراحل دگرشکلی را در طی دگرشکلی پیشرونده ثبت می‌کنند، بهترین عوارض برای برداشت و تحلیل هستند، به همین دلیل، در این پژوهش، توجه ویژه‌ای به آنها شده و پایه کار بر برداشت گسل‌های خش‌دار بنا نهاده شده است.

پس از برداشت داده‌های گسلی و پایدار کردن آنها با استفاده از روش وارونگی چند گانه (Multiple Inverse Method) MIM (Yamaji, 2003)، فازهای تنشی که در زمان پس از اتوسن بر منطقه عمل کرده است، تفکیک و معرفی می‌شود. سپس برای برگرداندن ساختارها به شرایط زمان تشکیل، داده‌های گسلی چرخانده شده و نقشه خط‌های گذر محورهای تنش اصلی افقی (trajectory map) رسم می‌شود. این نقشه، دینامیکی بودن این منطقه گوه شکل را می‌آزماید.

چنین تاریخ دگرشکلی هستند، با موقعیت زمان تشکیل، بسیار متفاوت است. با توجه به این که همه برداشت‌ها از سطح زمین انجام شده و دگرشکلی چیره سنگ‌های منطقه از نوع شکننده بوده و در شرایط دما و فشار کم در نزدیکی سطح زمین اعمال شده است، می‌توان نظریه اندرسن را برای این بخش از پوسته بالایی معتبر دانست.

بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که ساختارهای زمین‌ساختی کششی (تشکیل‌شده در زمان رسوب‌گذاری سازند کرج)، ساختارهای چیره منطقه نیستند. بنابراین بر اساس نظریه اندرسن، تنش بیشینه اصلی پس از زمان انوسن (رسوب‌گذاری سازند کرج) باید افقی باشد. با فرض همزمان بودن تشکیل همگی گسل‌ها و بر اساس نظریه (Anderson 1951) که تنش اصلی کمینه را در رژیم تنش فشاری در نزدیکی سطح زمین قائم می‌داند، موقعیت محورهای تنش اصلی هر محدوده به شرایط زمان تشکیل گسل‌ها (تنش کمینه قائم) برگردانده شد. برای این منظور، تک تک داده‌های گسلی موجود در هر محدوده با توجه به میانگین میدان تنش به دست آمده در همان محدوده، به اندازه‌ای چرخانده شده که میدان تنش میانگین جدید به دست آمده از موقعیت جدید گسل‌ها، دارای تنش اصلی کمینه قائم باشد. این عملیات برای همه پهنه‌ها به تفکیک انجام شد. موقعیت محورهای تنش پیش و پس از چرخش محورها با دقت ۱ درجه در جدول ۳ آمده است. شکل ۴ موقعیت تنش‌های اصلی بیشینه و میانه میانگین را در کل منطقه مورد مطالعه و به تفکیک محدوده‌ها نشان می‌دهد. در همه محدوده‌ها، تنش اصلی کمینه نزدیک به قائم است. شکل ۵ موقعیت تنش‌های اصلی میانگین بیشینه (02 / 014) و میانه (00 / 104) به دست آمده از کل داده‌های گسلی در منطقه مورد مطالعه پس از چرخش داده‌ها را نمایش می‌دهد. بر این اساس میانگین زاویه چرخش برای ساختارهای گسلی کل منطقه مورد مطالعه نزدیک به ۶۰ درجه به دست آمد.

۶- خط‌های گذر تنش

پس از چرخش داده‌ها، و قائم شدن محور تنش اصلی کمینه، می‌توان نقشه خط‌های گذر تنش را برای تنش‌های افقی (تنش‌های اصلی بیشینه و میانه) میانگین رسم کرد. از آنجا که محورهای تنش اصلی به دست آمده در هر محدوده، میانگین میدان‌های تنش کوچک و محلی در آن محدوده است و موقعیت آن در سراسر محدوده صادق نیست، این نقشه در نهایت با ساختارهای تشکیل شده در منطقه مطابقت داده شد و برای همخوانی بیشتر با میدان تنش سازنده ساختارها، اصلاحاتی بر روی آن انجام گرفت (شکل ۶).

در نقشه نهایی که در شکل ۶ آمده است، خط‌های گذر، تطابق خوبی با میانگین شرایط تنش و ساختارهای بزرگ زمین‌ساختی دارند. در بیشتر نقاط، خط‌های گذر محور تنش بیشینه، عمود بر اثر سطح محوری چین‌ها و مطابق با راستای حرکت شیب‌لغز و راستالغز گسل‌های مشاء، شمال تهران و دیگر گسل‌هاست. به نظر می‌رسد برخی ناهم‌انگهی‌ها در این روند، به سبب دگرشکلی‌های محلی و فرانهاده (superimposing) رخ داده باشد.

همان‌گونه که گفته شد، با چرخش داده‌ها و قائم کردن محور تنش کمینه، موقعیت داده‌های گسلی و محورهای تنش به موقعیت زمان تشکیل گسل‌ها برگردانده شده است (برای ساده‌سازی، همه گسل‌ها متعلق به یک دوره زمانی محدود در نظر گرفته شده و سن این دوره قابل اندازه‌گیری عددی نیست). بنابراین، خط‌های گذر محورهای اصلی تنش نیز برای زمان تشکیل گسل‌ها رسم شده است. بدیهی است که هرگونه ناهم‌انگهی خط‌های گذر و ساختارهای شکل گرفته در منطقه، به سبب دگرشکلی‌های ناشی از چرخش ساختارها در طول تاریخ دگرشکلی و ناهم‌سن بودن این ساختارها با گسل‌هاست. است. از سوی دیگر، برخی تنش‌های محلی و وابسته به

برای انجام بررسی‌های تنش دیرینه، پیش‌فرض‌های پایه‌ای تنش دیرینه برای تفکیک فازهای تنش به کار رفت که عبارتند از: ۱) لغزش گسل‌ها بر روی هم تأثیری ندارد، ۲) بردار لغزش با تنش برشی بیشینه منطبق است، ۳) میدان تنشی که سبب پویایی گسل‌ها می‌شود، مستقل از زمان (در طول زمان ثابت) و همگن است، ۴) قطعات گسلی، دچار چرخش نشده‌اند (Zalohar and Vrabec, 2007; Nemcok and Lisle, 1995). فرض‌های دیگری نیز برای برداشت داده‌ها و رسم خط‌های گذر محورهای تنش در نظر گرفته شده است که عبارتند از: ۱) لغزش بر روی گسل‌ها از قانون کولمب پیروی می‌کند، ۲) یکی از تنش‌های اصلی قائم است، ۳) سطوح گسلی، صفحه‌ای مستوی در نظر گرفته می‌شود، ۴) گسل‌های تشکیل شده در منطقه هم‌سن هستند و دیگر ساختارهای منطقه نیز تفاوت سنی آشکاری با آنها ندارند، ۵) ساختارها به‌ویژه ساختارهای شکننده مانند گسل‌ها، در نزدیکی سطح زمین تشکیل شده و دینامیک آنها از نظریه اندرسن پیروی می‌کند.

۴- تحلیل داده‌ها

برای انجام مطالعات دقیق‌تر مانند تفکیک فازهای تنش، به دست آوردن تنسور تنش کاهش‌یافته (reduced stress tensor)، به دست آوردن پارامترهای گوناگون تنش و کرنش و در پایان، رسم خط‌های گذر محورهای اصلی تنش، منطقه مورد مطالعه باید به پهنه‌های کوچک‌تری بخش شود.

۴-۱. پایدار کردن داده‌ها

هرگاه با افزایش یا کاهش تعدادی گسل به مجموعه‌ای از گسل‌ها، تنسور تنش کاهش‌یافته و در نتیجه زاویه عدم انطباق این مجموعه تغییر آشکاری نشان دهد، این مجموعه گسلی ناپایدار خوانده می‌شود (Yamaji, 2003). پیش از انجام تفکیک فازهای تنش دیرینه، داده‌ها با روش آزمون و خطا، پایدار و دسته‌بندی و در نهایت، منطقه مورد مطالعه به پهنه‌های کوچک‌تر تقسیم شد (شکل ۲). بر اساس عملیات انجام‌شده بر روی داده‌ها در نرم افزار MIM، پانزده پهنه مختلف که دارای دسته گسل‌های پایدار شده هستند، تفکیک شد. شرایط تنش میانگین در هر محدوده در جدول ۱ آمده است.

۴-۲. تفکیک فازهای تنش

پس از پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه، در هر محدوده با روش MIM به تفکیک فازهای تنش پرداخته شد. در هر محدوده ۳ تا ۴ فاز تنش بر اساس خوشه‌های شکل گرفته در استریوگرام‌های نرم‌افزار شناسایی شد که مشخصات مربوط به هر فاز در جدول ۲ آمده است.

شکل ۳ موقعیت تنش‌های اصلی بیشینه (σ_1) و کمینه (σ_3) هر فاز تنش را در محدوده‌های تفکیک‌شده نمایش می‌دهد. هر جفت پیکان عمود بر هم، تنش‌های اصلی کوچک و بزرگ هر فاز را نشان می‌دهد. رنگ آنها با توجه به رنگ‌های استاندارد نرم‌افزار MIM انتخاب شده و اندازه عامل شکل میدان از صفر تا یک را نمایش می‌دهند. روند هر جفت پیکان، تصویر افقی روند تنش‌ها در فضای سه‌بعدی است.

۵- چرخش داده‌ها

با توجه به این که همه داده‌های گسلی استفاده شده، از سازند کرج به سن انوسن برداشت شده است، می‌توان نتیجه گرفت که سن دگرشکلی‌های برداشت‌شده پس از انوسن (post Eocene) است که بازه‌ای نزدیک به ۳۴ میلیون سال را شامل می‌شود. آشکار است که در این بازه نه چندان کوتاه زمین‌شناسی و در کمربند پویایی مانند البرز، دگرشکلی شدیدی بر منطقه وارد می‌شود. نتیجه این تاریخ دگرشکلی، پدیده‌هایی مانند چین‌خوردگی، گسلش و چرخش لایه‌ها و ساختارهای تشکیل شده است. بنابراین موقعیت امروزی ساختارهای قابل مشاهده در سطح زمین که نتیجه

روندها به ویژه در بخش مرکزی و باختری با روند تنش کلی حاکم بر پوسته ایران در البرز مرکزی هماهنگی دارد.

- به نظر می‌رسد، ساختارهایی که هماهنگی خوبی با روند خط‌های گذر محورهای تنش نشان می‌دهند، دارای تاریخچه دگرشکلی کوتاه‌تر و هم‌زمان با تشکیل گسل‌ها بوده‌اند، چرا که پس از چرخش محورهای تنش همچنان هماهنگی خود را با خط‌های گذر حفظ کرده‌اند. از سوی دیگر، همان گونه که گفته شد، ساختارهایی که با خط‌های گذر، هماهنگ نیستند، احتمالاً "پیش و یا پس از زمان تشکیل گسل‌ها نیز دچار دگرشکلی شده‌اند.

- از سوی دیگر، به نظر می‌رسد پهنه‌هایی که روند میانگین تنش بیشینه آنها با تنش عهد حاضر (NNE-SSW) که از GPS به دست آمده، هماهنگی زیاد دارند، از نظر آماری دارای گسل‌های جوان بیشتری هستند که سبب شده نتیجه میانگین برداری همه تنسورهای تنش وابسته به گسل‌های محدوده به تنسور تنش عهد حاضر نزدیک‌تر شود.

- با فرض دینامیکی بودن گوه ساختاری بین دو گسل مشا و شمال تهران، انتظار می‌رود با نزدیک شدن به محل برخورد دو گسل در خاور منطقه و افزایش احتمالی اندازه تنش‌ها، خط‌های گذر محورهای تنش بیشینه اصلی، روندی نزدیک به خاوری- باختری پیدا کرده و افزون بر آن، همگرا شوند. زیرا با توجه به جهت‌گیری گوه زمین‌ساختی شمال تهران انتظار می‌رود راستای تنش بیشینه در نوک تیز گوه، خاوری- باختری باشد. اما این پدیده در نقشه خط‌های گذر رسم شده (شکل ۶) دیده نمی‌شود؛ بنابراین به نظر می‌رسد گوه یادشده تنها یک گوه زمین‌ریختی بوده و تأثیر قابل توجهی در آرایش خط‌های گذر نداشته است.

سپاسگزاری

برداشت‌های صحرایی پژوهش حاضر با همکاری نقلیه پژوهشکده علوم زمین سازمان زمین‌شناسی کشور و بخشی از محاسبات روی داده‌ها با همکاری آقای دکتر عبدالحسین امینی برای در اختیار گذاشتن سیستم کامپیوتر Mac ممکن شد.

ساختارها یا عوامل خاص نیز سبب ایجاد ناهماهنگی بین خط‌های گذر و ساختارهای به نقشه درآمده می‌شوند.

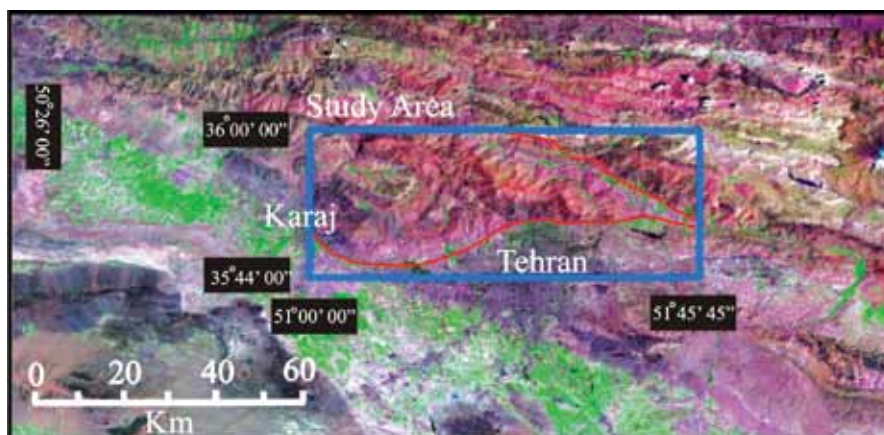
شکل ۶ نقطه‌ای را مشخص می‌کند که دریافت‌هایی را از خط‌های گذر محورهای تنش به دست می‌دهد. با نگاه به این شکل، یک نقطه خنثی (Neutral Point) (ستاره زرد رنگ) در محدوده ۱۵ دیده می‌شود. با توجه به اینکه نقطه خنثی در نزدیکی مرز این محدوده و گسل بزرگ پورکان- وردیج جای گرفته است، و اطلاعات به دست آمده در این محدوده تنها میانگین شرایط تنش در کل محدوده شماره ۱۵ است، آرایش خط‌های گذر و نقطه خنثی، به دریافت شرایط تنش در این محل خاص کمک می‌کند.

بر اساس Ramsay & Lisle (2000) در این نقطه اختلاف تنش صفر بوده و تنش اصلی بیشینه و میانه، اندازه یکسانی به خود می‌گیرند. بنابراین، شکل میدان در این نقطه کلوچه‌ای (Oblate) بوده و بیضوی تنش دارای تنها یک مقطع دایره‌ای است. دایره مور (Mohr circle) در این نقطه، به شکل دو بعدی تبدیل می‌شود زیرا σ_1 و σ_2 اندازه مساوی داشته و در محور تنش نرمال بر روی هم قرار می‌گیرند.

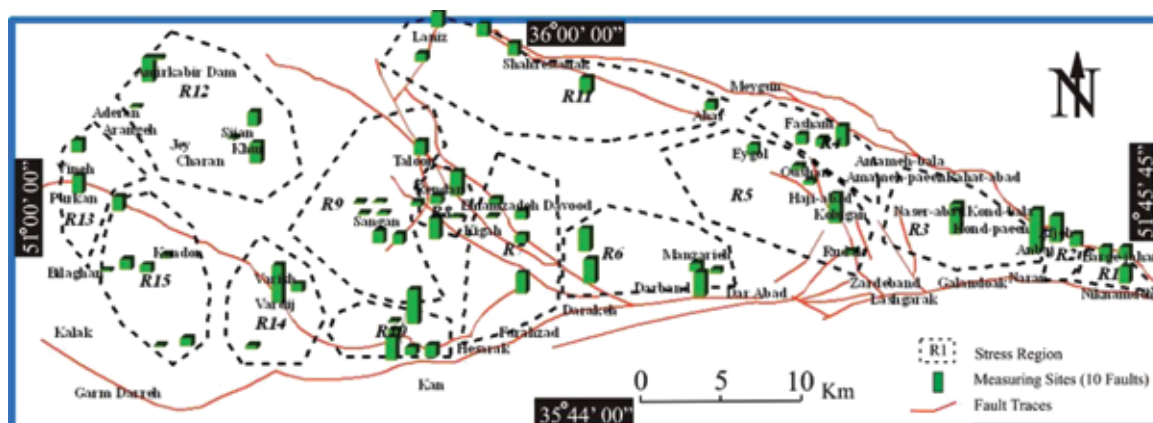
۷- بحث و نتیجه‌گیری

- میانگین تنسور تنش کاهش یافته در کل منطقه (شکل ۵)، بر اساس بررسی‌های تنش دیرینه و نظریه اندرسن، روند تنش اصلی بیشینه را N14E معرفی می‌کند که با روند کوتاه‌شدگی کلی پوسته ایران در البرز مرکزی (Vernant et al., 2004) تقریباً موازی است و هماهنگی قابل قبولی دارد. این مسئله نشان می‌دهد که دو گسل بزرگ مرزی منطقه و گوه تشکیل شده بین آنها، تأثیر چشمگیری در برهم زدن موقعیت میدان تنش درون منطقه نداشته و در حقیقت، گوه نامبرده یک گوه دینامیک نیست.

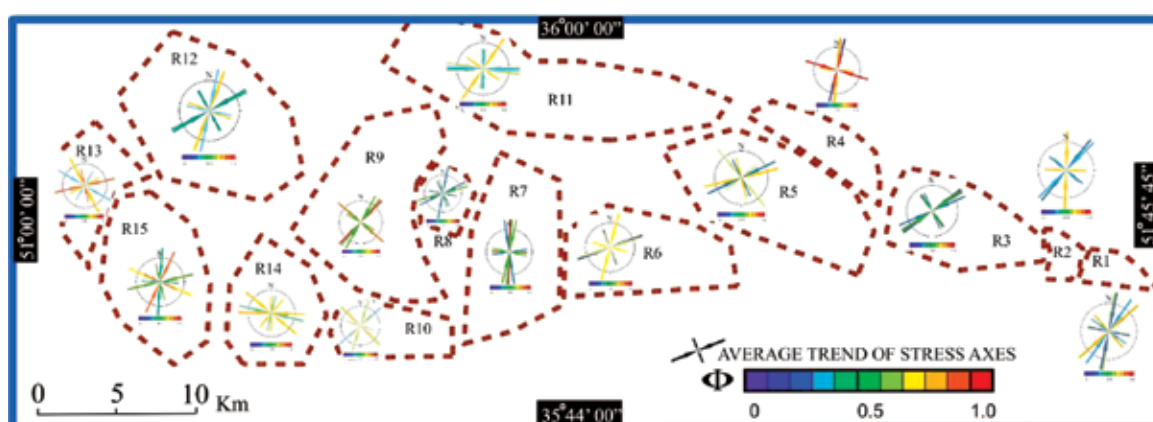
- روند محور تنش اصلی بیشینه در خاور و مرکز منطقه شمال خاور- جنوب باختری و در باختر، شمالی- جنوبی است. روند محور تنش اصلی میانه نیز در بخش‌های میانه و خاوری، شمال باختر- جنوب خاوری و در باختر، خاوری باختری است. این



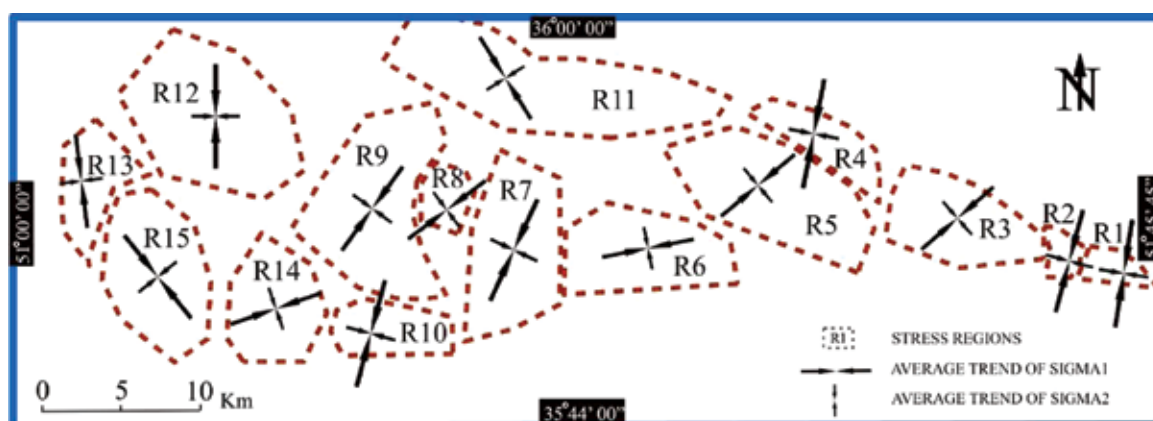
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه، چهار گوش آبی رنگ منطقه مورد مطالعه را در البرز جنوبی- مرکزی نشان می‌دهد.



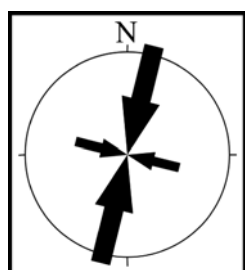
شکل ۲- موقعیت پهنه‌های تفکیک شده در منطقه مورد مطالعه. ستون‌های سبزرنگ، اندازه نسبی و محل برداشت داده‌ها را نشان می‌دهد.



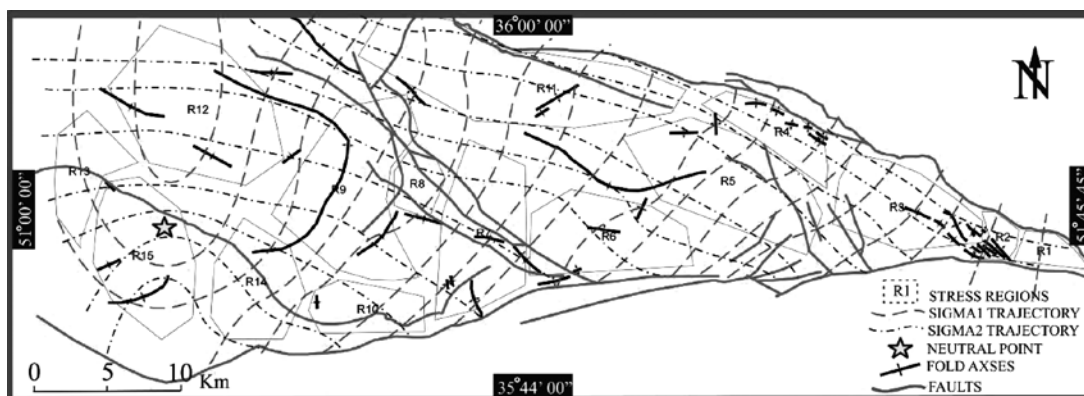
شکل ۳- تصویر افقی روند تنش‌های اصلی بیشینه و کمینه فازهای تنش در محدوده‌های تفکیک شده.



شکل ۴- موقعیت تنش‌های اصلی میانگین بیشینه و میانه در پهنه‌های تفکیک شده، پس از چرخش داده‌ها بر اساس نظریه اندرسن. تنش اصلی کمینه میانگین در همه پهنه‌ها قائم است.



شکل ۵- موقعیت تنش‌های اصلی میانگین بیشینه (02 / 014) و میانه (00 / 104) به‌دست آمده از کل داده‌های گسلی در منطقه مورد مطالعه پس از چرخش داده‌ها. محور تنش اصلی کمینه قائم است.



شکل ۶- نقشه ساختارها و خط‌های گذر تنش‌های اصلی افقی، خط‌های سیاه‌رنگ، محور چین‌ها را نمایش می‌دهند.

جدول ۱- پهنه‌های تفکیک شده با نرم افزار MIM و میانگین موقعیت تنش‌های اصلی

و اندازه عامل شکل میدان

محدوده	موقعیت جغرافیایی	تعداد داده	σ_1	σ_3	Φ
1	برگ جهان	25	203.2 / 14.7	102.7 / 34.8	0.44
2	افجه	21	029.2 / 17.9	121.2 / 06.0	0.33
3	کند	31	059.4 / 09.3	190.9 / 76.2	0.11
4	فشم	20	189.8 / 03.5	288.7 / 68.7	0.74
5	اوشان	27	95.1 / 53.6	344.4 / 14.6	0.64
6	شمال تهران	40	069.8 / 02.7	307.7 / 85.0	0.71
7	فرحزاد	22	181.5 / 67.6	298.5 / 10.6	0.45
8	رندان	30	244.7 / 54.5	034.8 / 31.8	0.53
9	سنگان	21	215.7 / 45.3	113.7 / 11.6	0.99
10	کن	42	194.2 / 63.3	036.9 / 24.9	0.47
11	شهرستانک	36	101.0 / 48.1	009.3 / 01.4	0.38
12	سد امیرکبیر	32	047.2 / 10.8	317.2 / 0.10	0.25
13	پورکان	15	115.4 / 11.3	004.2 / 61.1	0.76
14	وردیچ	26	120.4 / 24.9	219.4 / 18.6	0.58
15	کندر	25	185.3 / 68.4	57.1 / 13.8	0.12

جدول ۳- موقعیت محورهای تنش اصلی پیش و پس از چرخش داده‌ها بر اساس نظریه اندرسن

محدوده	پیش از چرخش		پس از چرخش		میزان چرخش (درجه)
	σ_3	σ_1	σ_3	σ_1	
1	102.7 / 34.8	203.2 / 14.7	009/01	247/89	55.2
2	121.2 / 06.0	029.2 / 17.9	015/04	198/86	84
3	190.9 / 76.2	059.4 / 09.3	049/00	164/89	13.8
4	288.7 / 68.7	189.8 / 03.5	191/01	322/89	21.3
5	344.4 / 14.6	95.1 / 53.6	230/01	108/87	75.4
6	307.7 / 85.0	069.8 / 02.7	259/01	108/89	5
7	298.5 / 10.6	181.5 / 67.6	025/01	222/89	79.4
8	034.8 / 31.8	244.7 / 54.5	233/00	128/89	58.2
9	113.7 / 11.6	215.7 / 45.3	036/02	235/88	78.4
10	036.9 / 24.9	194.2 / 63.3	016/01	196/89	65.1
11	101.0 / 48.1	009.3 / 01.4	328/01	106/89	88.6
12	047.2 / 10.8	317.2 / 0.10	180/01	334/88	89.9
13	115.4 / 11.3	004.2 / 61.1	173/01	289/89	28.9
14	120.4 / 24.9	219.4 / 18.6	251/03	111/86	71.4
15	185.3 / 68.4	57.1 / 13.8	312/02	157/88	76.2
All	344.1 / 34.5	209.6 / 45.6	014 / 02	000 / 90	56.5

جدول ۲- شرایط تنش فازه‌ای شناسایی شده در هر محدوده

پهنه‌ها	فازهای تنش	تنش بیشینه		تنش کمینه		فاکتور شکل میدان	تعداد گسلها
		میل	روند	میل	روند		
1	1	35.3	13.7	136.5	38.6	0.3	11
	2	189.9	32	291.9	18.5	0.4	10
	3	192.2	40.6	41.3	45.5	0.1	10
	4	228.3	37.3	79	48.4	0.8	11
2	1	45	12.7	303.7	41.1	0.3	12
	2	38.8	18.8	131.8	8.8	0.2	13
	3	1.9	26.2	98.4	13	0.7	13
	4	57.6	11.8	176.5	66.6	0.1	16
3	1	66.3	3.6	326.9	69.5	0.2	13
	2	237.3	9.2	76	80.3	0.5	13
	3	52.8	15.5	147.2	15.7	0.1	14
	4	5.8	1.9	271.3	65.9	0.9	13
4	1	193.9	5.6	96.9	51.6	0	10
	2	185.1	6.3	283.7	53.6	0.7	13
	3	106.7	19.7	260	68.1	1	13
	4	140.5	62	353.7	24.1	0.6	12
5	1	64.5	18.9	156.2	4.8	0.2	9
	2	76.1	3.3	168.3	32.7	0.8	10
	3	249.2	18.6	123.6	60	0.22	14
	4	250.4	21.6	16.2	55.9	0	13
6	1	252.2	10.9	88.2	78.8	0.6	11
	2	14.7	35.3	246.5	41	0.7	12
	3	1.4	75.2	155.6	13.4	1	7
	4	184.2	67.7	326.1	17.9	0.5	11
7	1	171.4	73	296.3	10	0.2	9
	2	192.5	6.9	102.2	2.5	0.5	9
	3	253.9	52.4	42.2	33.3	0.5	15
	4	243.4	56.5	4.6	18.9	0.2	13
8	1	190.9	74.7	33.6	14	0.2	14
	2	29.6	27	126.6	13.4	0.5	9
	3	310.9	68.7	114.8	20.6	0.9	8
	4	219.9	79.9	76.4	8.2	0.5	7
9	1	224.4	53.1	113.2	15.3	1	9
	2	134.8	21	39.3	14.1	0.8	14
	3	198	55	291.3	2.3	0.6	14
	4	228.7	72.2	55.4	17.7	0.3	16
10	1	133.8	32.2	15	37.5	0.6	15
	2	98.8	50.6	207.8	14.9	0.6	12
	3	214.7	46.2	50.7	42.6	0.8	11
	4	93.3	28.5	202.6	31.3	0.3	11
11	1	89.4	33.9	338.8	27.7	0.4	14
	2	20.7	31.5	284.9	9.3	0.8	10
	3	12.2	80.6	132.8	4.8	0.3	10
	4	59.6	7.7	197.2	79.6	0.25	11
12	1	243.4	27.5	143.4	18.4	0.4	11
	2	76.9	17.8	326.3	47.5	0.9	8
	3	300.2	8	87.8	80.6	0.3	7
	4	152	35.1	325.8	54.8	0.8	8
13	1	130	21	39.4	1.9	0.8	12
	2	103.5	28.4	222.2	41.7	0.35	10
	3	91.8	66.8	227.2	17	0.8	10
	4	293.3	48.1	41.6	15.8	0.7	9
14	1	77	80.4	180.8	2.3	0.5	8
	2	205.2	44.4	313.3	17.5	0.2	8
	3	183.8	45.6	289.2	14.5	0.4	10
	4	183.8	45.6	289.2	14.5	0.4	10

کتابنگاری

الیاسی، م. و احمدیان، س.، ۱۳۸۵- آرایش هندسی مسیرهای σ_1 در گستره کن-کرج (بخش جنوبی البرز مرکزی) بر پایه وارون‌سازی چند مرحله‌ای، فصلنامه علوم زمین ۶۷، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۴۰-۱۴۹.

بربریان، م.، قریشی، م.، ارژنگ‌رو، ب. و مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳۷۱- پژوهش و بررسی ژرف نوزمین‌ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه-گسلش در گستره تهران و پیرامون (پژوهش و بررسی لرزه زمین‌ساخت ایران زمین: بخش پنجم) گزارش شماره ۵۶، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۱۵ص.

References

- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic Synthesis and Structural Style of The Alborz Mountain System in Northern Iran, *J. Geodynamics* 21, N1:1-33.
- Allen, M. B., Gassemi, M. R., Shahrabi, M. & Qorashi, M., 2003- Accommodation of Late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, Northern Iran, *Journal of Structural Geology* 25:659-672.
- Anderson, E. M., 1951- The dynamic of faulting and dyke formation with application to Britain, Oliver and Boyd, Edinburgh, 206 p.
- Assereto, R., 1966- Explanatory Notes on the Geological Map of Upper Djadgerud and Lar Valleys (Central Elburz, Iran)(Scale 1:50000), Institute of Geology, University of Milan, Milan, pp86.
- Ehteshami moinebadi, M. & Yassaghi, A., 2006- Geometry and kinematics of the Mosha fault, south central Alborz range, Iran: An example of basement involved thrusting, *Journal of Asian Earth Sciences*, in press version.
- Guest, B., Axen, G. J., Lam, P. S. & Hassanzadeh, J., 2006- Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation, *Geosphere*, 2 (1): 35-52.
- Nazari, H., 2006 -Analyse de la tectonique recente et active dans l'Alborz Central et la region de Teheran: Approche morphotectonique et paleoseismologique. *Science de la terre et de l'eau*. Montpellier, Montpellier II: 247.
- Nemcock, M., Lisle, R. J., 1995- A Stress Inversion Procedure for Polyphase Fault Slip Data Sets, *Journal of Structural Geology*, Vol.17, Issue10, P.1445-1453
- Ramsay, J. G. & Lisle, R., 2000- The techniques of modern structural geology, V.3, Academic Press, London, 1057p.
- Ritz, J. F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Soleymani, S. & Vernant, P., 2006- Active transtension inside central Alborz: A new insight into northern Iran-southern Caspian geodynamics, *Geology* 34: No. 6: 477-480.
- Saidi, A., Brunet, M. F. & Ricou, L. E., 1997- Continental accretion of the Iran Block to Eurasia as seen from Late Paleozoic to Early Cretaceous subsidence curves. *Geodin. Acta*, 10: 189-208.
- Shahidi, A., 2008- Evolution tectonique du Nord de L'Iran (Alborz et Kopet-Dagh) depuis le Mésozoïque. Thèse, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), 500 p.
- Tchalenko, J. S., 1975- Seismotectonic framework of the North Tehran Fault, *Tectonophysics* 29:411-420.
- Vernant, P. H., Nilforoushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J. F., Sedighi, M., Tavakoli, F., 2004- Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data, *Earth and planetary science letters* 223: 177-185.
- Yamaji, A., 2003- Are the solution of stress inversion correct? Visualization of their reliability and the separation of stress from heterogeneous fault-slip data, *Journal of Structural Geology* 25: 241-252.
- Zalohar, J. & Vrabec, M., 2007-Paleostress analysis of heterogeneous fault-slip data: The Gauss method, *Journal of Structural Geology* 29:1798-1810.
- Zanchi, A., Berra, F., Mattei, M., Ghassemi, M. R. & Sabouri, J., 2006- Inversion Tectonics in Central Alborz, Iran, *Journal of Structural Geology* 28: 2023-2037.