



## مطالعه تنش و آهنگ کرنش در منطقه البرز با استفاده از سازوکار کانونی زمین لرزه ها شاهرخ پوربیرانوند<sup>۱\*</sup>، محمد طالبی<sup>۲</sup>، روح اله مداحی زاده<sup>۲</sup>

۱: استادیار پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

۲: دکترای زلزله شناسی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

### چکیده

نحوه اعمال نیروهای تکتونیکی به مناطق مختلف ایران و چگونگی توزیع تنش و کرنش بین ساختارهای زمین شناسی آن، موجب ایجاد حرکتهای مختلف راندگی و راستالغز شده است. در مطالعه حاضر راستهای اصلی تنش و آهنگ کرنش در محدوده البرز مرکزی با هدف مطالعه ژئودینامیک منطقه، مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام این مطالعه، از حدود ۲۰۰ ساز و کار کانونی حل شده برای زمین لرزه های رخ داده در منطقه، در قالب ۱۳ خوشه لرزه ای استفاده شده است. راستهای اصلی تانسور آهنگ کرنش در البرز تغییرات زیادی را نشان می دهند. این تغییرات به طور کلی و با چشم پوشی از چند استثنا با روند کلی ۷ شکل و متقاطع گسلها در منطقه مطابقت خوبی را نشان می دهد. این در حالیست که اگرچه راستهای تنش نیز در منطقه البرز تغییرات قابل توجهی را نشان می دهند، اما این تغییرات کمتر از تغییرات راستهای آهنگ کرنش بوده و ضمناً مشابهتی با روند ۷ شکل گسلهای منطقه نشان نمی دهد. در مورد تفسیر مشاهدات صورت گرفته باید به این نکته اشاره کرد که محورهای آهنگ کرنش به دست آمده از مطالعه سازوکارهای کانونی زمین لرزه ها بیانگر چگونگی تغییر شکل در گستره مورد مطالعه هستند. طبیعی است که این تغییر شکل در راستهای گسلهای از پیش موجود اتفاق می افتد. از سوی دیگر راستهای تنش پیشین افقی اعمال شده لزوماً ارتباطی به گسل های از پیش موجود در منطقه ندارد لذا از روند یاد شده تبعیت نمی نماید. از مقایسه این دو راستهای در منطقه می توان به مطالعه پدیده افزایش دگرشکلی پرداخت. به این معنی که در مناطقی که راستهای تنش و آهنگ کرنش مطابق بر هم باشند دگرشکلی به صورت هم محور اتفاق می افتد و در مناطقی که این هماهنگی وجود نداشته باشد پدیده افزایش دگر شکلی رخ می دهد.

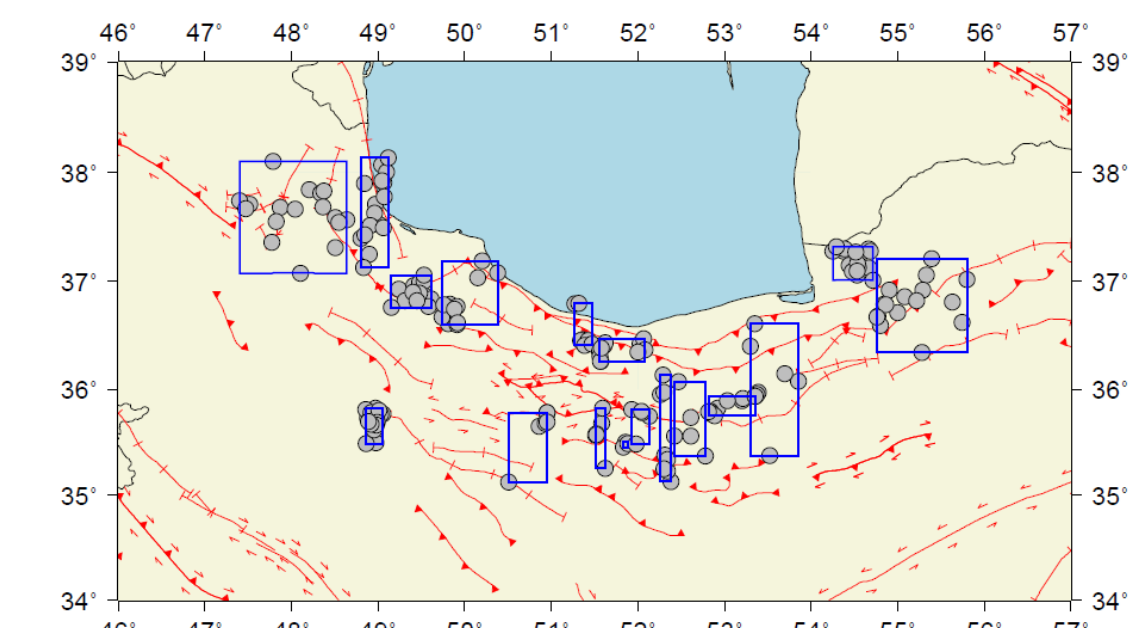
### مقدمه

تکتونیک ایالت لرزه زمین ساخت البرز یک تکتونیک نسبتاً جوان و پیوسته فعال بوده و اکنون نیز فعالیت آن ادامه دارد (ریزت و همکاران، ۲۰۰۶) و از نظر زمین شناسی، مرز جنوبی ندارد و برعکس شدت کوهزایی‌ها بسوی جنوب افزایش یافته است. پایه و اساس ریخت کتونی البرز در یک فاز بالا آمدگی پلیستوسن ریخته شده و این فاز است که شرایط را برای ایجاد رواندگی‌ها فراهم آورده است. همچنین، تفاوت های ساختاری در البرز به گونه ای است که برای البرز جنوبی، رواندگی‌ها عمدتاً بسوی شمال بوده و در البرز شمالی شیب گسلها غالباً بسوی جنوب است.

بر پایه نتایج مطالعه پیشین، می توان بیان داشت که تغییر شکل محدوده البرز مرکزی در حدود ۵ میلیمتر در سال است که بین بلوک ایران مرکزی و اوراسیا و نیز منطقه خزر جنوبی روی می دهد. تغییر شکل درونی البرز نیز همسو با فعالیت سازوکارهای راندگی و راستالغز چپگرد ظاهر می شود (مثلاً نظری و همکاران، ۲۰۰۷)

در هر حال، بطور کلی می توان بیان داشت که نیروهای تکتونیکی حاکم بر پهنه ایران حاصل از دو بردار اصلی تنش وارده از سوی صفحه عربی و صفحه هند است. نحوه اعمال نیروهای مذکور به پهنه های ساختاری ایران و چگونگی توزیع کرنش بین بلوکهای ساختاری موجب ایجاد حرکتهای راندگی و راستالغزی شده است. در مطالعه حاضر چگونگی اعمال بردارهای تنش و جهت های کوتاه شدگی در محدوده البرز مرکزی با هدف بررسی مطالعه ژئودینامیک منطقه، مورد بررسی قرار گرفته است.

برای انجام این مطالعه، از حدود ۲۰۰ ساز و کار کانونی حل شده برای زلزله های رخ داده در منطقه، در قالب ۱۳ خوشه لرزه ای استفاده شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت خوشه های لرزه ای در نظر گرفته شده در این مطالعه همراه با نمایش رومرکز زمین لرزه های درون آنها و گسلهای منطقه

### روش کار

۱-۲. اندازه گیری جهت های کوتاه شدگی  
کرنش آزاد شده در یک پهنه می تواند ناشی از پدیده های الاستیکی (مانند زمین لرزه ها) و پدیده های غیر الاستیکی (غیر لرزه ای) و یا هر دو باشد. در هر حال، رفتار مواد پیوسته را می توان با استفاده از تئوری کرنش های بی نهایت کوچک تفسیر نمود. روش های متعددی برای اندازه گیری کرنش پوسته وجود دارند که به دو گروه روش های مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می شوند. روش های مستقیم اندازه گیری کرنش می توان به کمک ابزارهایی نظیر سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) انجام داد.

اندازه گیری کرنش با استفاده از شواهد سطح زمین و تغییر شکل اجسام با هندسه معین از نوع روش های غیر مستقیم است. یکی از انواع این روش ها که در مطالعه مناطق میان صفحه ای از اهمیت بالایی برخوردار است، روش لرزه ای است. وجود چشمه های لرزه را در این مناطق، نقش عمده ای در انباشتگی و آزاد سازی کرنش الاستیک ایفا می کند. به این صورت که طی ده، صد ها و هزاران سال، کرنش در حجم معینی از سنگ های پیوسته تجمع یافته و در شرایطی که از تحمل این سنگ ها فراتر رود به یکباره و در طی یک زمان کوتاه این کرنش تجمع یافته آزاد می شود. کاسترو (۱۹۷۴) نشان داد که کرنش متقارن درون حجم لرزه زای ۷ ناشی از وقوع تعدادی زمین لرزه، با مجموع تانسور های گشتاور تمامی آن زمین لرزه ها که در مدت T در این حجم رخ داده اند متناسب است به طوری که:

$$(1) \quad \sigma_{ij} = \frac{1}{21\pi} \sum_k M_{ij}^k$$

که در آن  $M_{ij}$  تانسور گشتاور متقارن  $M_{ij} = M_{ij} \theta_j + \theta_i \eta_j$  زمین لرزه ها است.  $\theta_j$  بردار عمود بر صفحه گسل و  $d_j$  بردار لغزش روی صفحه گسل است.

در هر حال، هر یک از مولفه های تانسور کرنش آزاد شده، بیانگر جنبه ای از دگر شکلی لرزه ای است که بخشی از دگر شکلی پوسته را تشکیل می دهد. در شکل ۲ نتایج مربوط به تحلیل صورت گرفته شده، به صورت بردارهایی نمایش داده شده اند که جهت های کوتاه شدگی را در خوشه های مختلف لرزه ای بیان می نمایند.

### ادامه روش کار

۲-۲. اندازه گیری جهت تنش پیشینه افقی

اصول اولیه لغزش بر روی یک گسل یا جهت گیری دلخواه در یک میدان تنش توسط والاس (والاس، ۱۹۵۱) و بات (بات، ۱۹۵۹) فرمول نویسی شد. بات همچنین پیشنهاد داد که لغزش بر روی هر صفحه گسل در امتداد تنش برشی به دست آمده پیشینه اتفاق می افتد (معیار بات) و نشان داد که جهت تنش برشی به جهت صفحه گسل در میدان تنش و بزرگای نسی تنش متوسط R بستگی دارد ولی به بزرگای واقعی تنشهای اصلی وابسته نیست. بات پیشنهاد داد که معادلات او می تواند برای تعیین راستهای تنش و مورد استفاده قرار گیرد. کری و بروینر (کری و بروینر، ۱۹۷۴) این فرض را که حرکت نشان داده شده توسط تمام شیارها (striae) توسط یک تانسور مشترک منفرد ایجاد شده است اضافه کردند. تحلیل آنها توسط تعدادی از مولفین (آنجلیه، ۱۹۷۹) و (مایکل، ۱۹۸۴) توسعه داده شد و بسط یافت. وارون سازی اندازه گیری های صفحه گسل بدون محدودیت های دیگر غیر از همگن بودن تنش و معیار بات فرایندی به شدت غیر خطی است. مقالات مورد اشاره در بالا گستره متفاوتی از تکنیکهای عددی را برای وارون سازی تنش استفاده نمودند و برخی فرضیاتی را برای خطی کردن مساله در روش خود اضافه می کنند. خطی کردن مساله با این فرض که بزرگای تنش برشی بر روی تمام گسلهای ضعیف مشابه هستند انجام گردید (مایکل، ۱۹۸۴). تمام این رهیافتها مختلف می توانند نتایج مختلفی را خصوصاً با برآورد های خطای متفاوت به دست دهند. روش وارون سازی جستجوی شبکه ای (گفارت و فوریت، ۱۹۸۴) رویکرد نوینی را در انحراف زاویه ای با اندازه گیری های عدم انطباق (misfit) معرفی کرد. قبلاً زاویه عدم انطباق معمولاً به عنوان زاویه بین تنش برشی تخمین زده شده و جهت لغزش مشاهده شده در صفحه گسل تعریف می شد. گفارت و فوریت نشان دادند که این کار به طور ضمنی تنها خطاها را در جهت لغزش بررسی می کند نه در جهت گیری صفحه. آنها در عوض زاویه عدم انطباق را به عنوان زاویه چرخش کمینه بین جهت لغزش مشاهده شده و خانواده ای از هندسه های گسل قابل قبول تعریف کردند. لوند و اسلونگا بر مبنای روش گفارت و فوریت روشی را بنا نهادند که از روش های نو آورانه ای در تشخیص صفحه گسلی استفاده نمود (لوند و اسلونگا، ۱۹۹۹).

در این روش به دلیل ناشناخته بودن بزرگای تنشها تمام بردارها با طول واحد نگاه داشته شدند. محاسبه جهت تنش برشی بر روی صفحه، به همراه زاویه بین جهت تنش برشی و جهت لغزش مشاهده شده، در سیستم اصلی انجام می گیرد. تنش برشی روی یک صفحه با مشخصه نرمال به صورت زیر نوشته می شود:

$$(2) \quad \tau = (\sigma_1 - \sigma_2) K n_1 \cdot (K - R) n_2 \cdot (K - 1) n_1$$

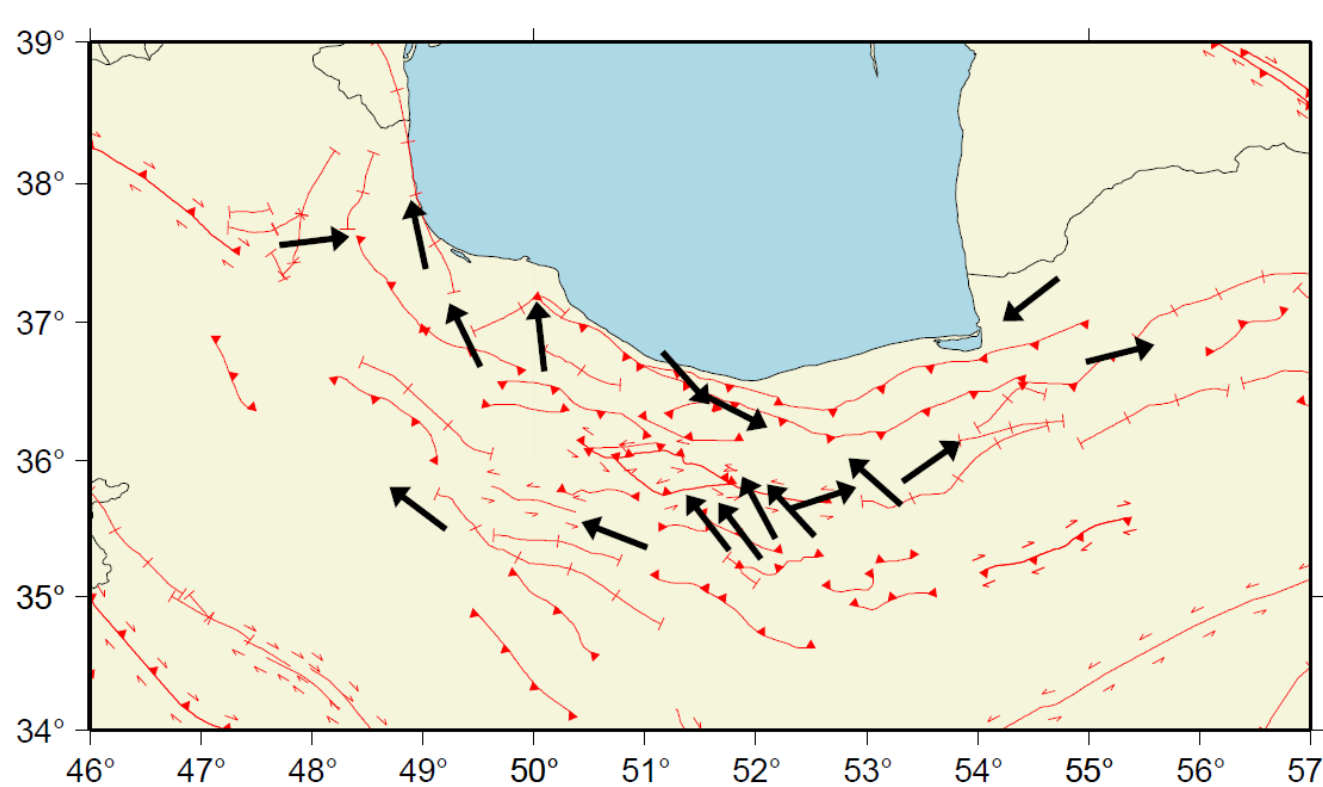
در اینجا و بزرگای تنشهای اصلی پیشینه و کمینه هستند، R اندازه، نسی تنش اصلی میانه به صورت و است. ملاحظه می شود که اگر چه بزرگای تنشهای اصلی معلوم نیستند جهت تنش برشی پیشینه بر صفحه قابل محاسبه است. زاویه بین جهت تنش برشی و جهت لغزش مشاهده شده در داخل صفحه گسل به عنوان زاویه عدم تطابق به شکل زیر قابل محاسبه می باشد:

$$(3) \quad \alpha = \arccos(\alpha_s)$$

با کمینه کردن این زاویه در خلال فرایند وارون سازی نتایج محاسبه و راستهای تنش اصلی محاسبه می شوند (لوند و اسلونگا، ۱۹۹۹).

### بحث

در شکل ۲ نتایج مطالعه آهنگ کرنش بر اساس سازوکار کانونی زمین لرزه ها قابل مشاهده است. به طوری که در شکل ملاحظه می شود در مرکز وزنی خوشه های مشخص شده در شکل ۱ بردارهایی که نشان دهنده جهت محور فشارشی تانسور آهنگ کرنش می باشد نمایش داده شده است. محاسبات انجام شده برای کلیه زمین لرزه ها انجام شده و از نتایج نوعی میانگین گیری صورت گرفته است. با توجه به رابطه بزرگای زمین لرزه ها با انرژی آزاد شده و در نتیجه تغییر شکل حاصله، جهت بردار آهنگ کرنش مشاهده شده بیشتر به بزرگترین رخدادهای لرزه ای در هر خوشه وابسته است.

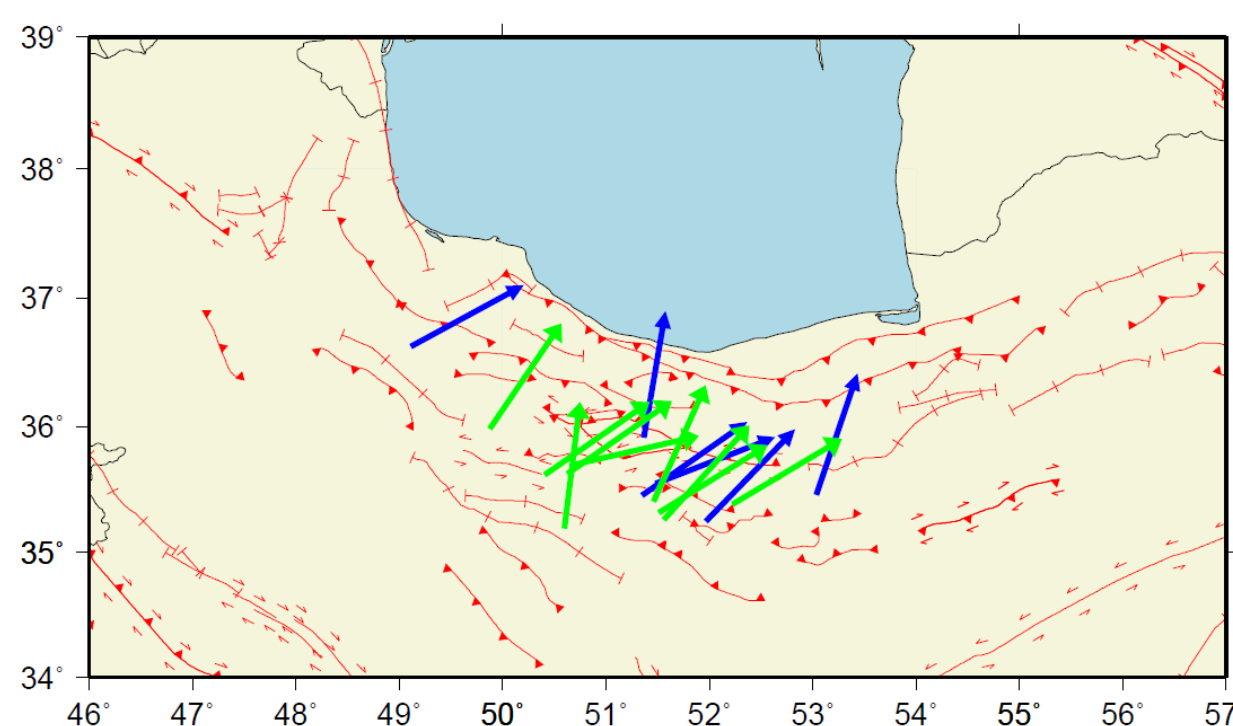


شکل ۲- جهت های کوتاه شدگی در خوشه های مختلف لرزه ای

در شکل ۳ راستهای تنش به دست آمده از وارون سازی سازوکارهای کانونی زمین لرزه ها و همینطور راستهای به دست آمده از محور سریع جدایش امواج برشی نمایش داده شده است (پوربیرانوند، ۲۰۱۸). با توجه به انتظار می رود اینکه راستهای محور سریع جدایش امواج برشی در پوسته با راستهای جهت تنش پیشینه افقی همسو باشد، این شکل می تواند وضعیت توزیع تنش در منطقه مورد مطالعه را نشان دهد.

تغییرات قابل توجهی در راستهای اصلی تنش در منطقه دیده می شود. اما این تغییرات به شدت تغییرات قابل مشاهده در راستهای محورهای اصلی آهنگ کرنش نیست. از آن گذشته از الگوی ۷ شکل مشاهده شده در شکل ۲ نیز در شکل ۳ اثری به چشم نمی خورد. دلیل این تفاوت را باید در ماهیت کمیت های تنش و کرنش جستجو کرد. تنش های تکتونیکی تابع شکستگی ها و گسلهای از پیش موجود نیستند بلکه از حرکت صفحات تکتونیکی نشأت می گیرند که این حرکات به نوبه خود از نیروهای تکتونیکی عظیم بین صفحات اصلی و در نهایت از حرکات همرفتی در گوشته بالایی متأثر می باشند. در حالی که کرنش بیانگر چگونگی دگرشکلی ناشی از اعمال این تنشهاست. طبیعی است که در صورت وجود شکستگی ها و صفحات ضعیف از پیش موجود، دگرشکلی در راستهای این شکستگی ها رخ می دهد.

### ادامه بحث



شکل ۳- جهت های کوتاه شدگی در خوشه های مختلف لرزه ای

### نتیجه گیری

راستهای اصلی آهنگ کرنش و تنش تکتونیکی با استفاده از مطالعه سازوکارهای کانونی زمین لرزه ها در البرز به دست آمدند. این راستهای تغییرات قابل توجهی در سراسر منطقه مورد مطالعه نشان می دهند که نشان از پیچیدگی تکتونیکی منطقه دارد. راستهای اصلی آهنگ کرنش مطابقت خوبی با الگوی ۷ شکل گسلها در البرز نشان می دهد در حالی که راستهای اصلی تنش تغییرات کمتری را نشان داده و از الگوی ۷ شکل مذکور تبعیت نمی کند. مقایسه راستهای تنش و آهنگ کرنش، منجر به گسترش درک پدیده افزایش دگرشکلی در البرز از طریق مشاهده همسویی با اختلاف زاویه راستهای اصلی تنش و آهنگ کرنش می گردد.

### منابع

- Angelier, J., 1979. Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population, *Tectonophysics*, 56, T17-T26.
- Bott, M. H. P., 1959. The mechanics of oblique slip faulting, *Geol. Mag.*, 96, 109-117.
- Carey, E. and Brunier, B., 1974. Analyse théorique et numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles, *C.R. Acad. Sci. Paris.*, 279, 891-894.
- Gephart, J. W. and Forsyth, D. W., 1984. An Improved Method for Determining the Regional Stress Tensor Using Earthquake Focal Mechanism Data: Application to the San Fernando Earthquake Sequence, *J. Geophys. Res.*, 89, 9305-9320.
- Kostrov, B. V., Seismic moment and energy of earthquakes, and seismic flow of rock, *Izv. Acad. Sci. USSR Phys. Solid Earth*, 1, 23-44, 1974.
- Lund, B. and Slunga, R., 1999. Stress tensor inversion using detailed microearthquake information and stability constraints: Application to Olfus in southwest Iceland, *Journal of Geophysical Research*, 104(B7), 14947-14964.
- Michael, A., J., 1984. Determination of Stress from Slip Data: Faults and Folds, *Journal of Geophysical Research*, 89(B13), 11517 – 11526.
- Nazari, H, Ritz, J.F., Salamati, R., Solaymani, S., Balescu, S., Michelot, J.L., Ghassemi, A., Talebian, M., Lamothe, M. and Massault, M., 2007. Paleoseismological analysis in Central Alborz, Iran. the Anniversary earthquake conference commemorating the 1957 Gobi-Altay earthquake (July - August 2007- Ulaanbaatar-Mongolia). 1-6.
- Ritz, J.F., Nazari, H., Salamati, R., Shafeii, A., Solaymani, S., Vernant, P., 2006. Active transtension inside Central Alborz: a new insight into the Northern Iran–Southern Caspian geodynamics. *Geology* 34, 477–480.
- Wallace, R. E., 1951. Geometry of shearing stress and relation to faulting, *J. Geol.*, 59, 118-130.