



# بررسی سازوکار کانونی برخی پسلرزههای زمینلرزهی از گله با بزرگای ۷.۳

زهرا نظرینژاد'، محمدرضا سپهوند'، و افسانه نصرآبادی ۳

nazariz.nezhad1993@gmail.com <sup>۱</sup>کارشناسی ارشد زلزلهشناسی، تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، mrsepahvand@yahoo.com ۲استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، A.nasrabadi@kgut.ac.ir ۳استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، A.nasrabadi

#### چکیدہ

زاگرس به دلیل موقعیت زمینساختی سطح بالایی از فعالیت لرزهای را به خود اختصاص داده است. زمین لرزه ی با بزرگای ۷.۳ که در آبان ۱۳۹۶ در ازگله از توابع استان کرمانشاه به وقوع پیوست، یکی از بزرگترین زمین لرزه ای اخیر زاگرس بود که خسارات فراوانی را در پی داشت. در این پژوهش سازوکار کانونی تعدادی از رخدادهای لرزهای که تا یک سال پس از این رخداد مهیب به وقوع پیوستند با کمک نرمافزار ایزولا محاسبه گردید. اکثر سازوکارهای بدست آمده در مطابقت با گسل های فعال منطقه، دارای سازوکار معکوس هستند. با بررسی عمقی توزیع لرزه خیزی و سازوکارهای کانونی، محدوده ای که احتمال وجود گسل پنهان برای آن مطرح هست، معرفی گردید. همچنین شیب یکی از قطعات گسل پیشانی کوهستان حدوداً ۵۵۵ – ۵۵۵ به دست آمد. نتایج ما نشان می دهد که احتمالاً امتداد قطعات گسل پیشانی لرزه خیزی منطقه باشد.

**واژههای کلیدی**: لرزهزمینساخت، زاگرس، ازگله، کرمانشاه، ایزولا، سازوکار کانونی، پسلرزه

# Focal mechanism calculation for some aftershocks of the Ezgeleh earthquake, Mw 7.3

#### Zahra Nazari Nezhad<sup>1</sup>, Mohammad Reza Sepahvand<sup>1</sup>, Afsaneh Nasrabadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kerman Graduate University of Technology

#### Abstract

The Zagros, due to its tectonic has a high level of seismicity. Ezgeleh earthquake, Mw 7.3 occurred in November 2017 in Ezgeleh, Kermanshah province, was one of the largest recent earthquakes in the Zagros, which resulted in many losses. In this study, some seismic events which occurred up to one year after this large-scale earthquake was calculated by ISOLA.

Most of the calculated focal mechanisms have a reverse mechanism in accordance with the active faults in the region. By studying the seismicity distribution and focal mechanisms in-depth, an area in which there is a possibility of hidden fault was introduced. The slope of one of the MFF segments was calculated (about  $35^\circ - 55^\circ$ ) by considering the calculated focal mechanisms and investigating seismic distribution in depth. Our results suggest that the extension of Mountain Frontal Fault segments, which is not previously mentioned in geological maps, could possibly cause a significant percentage of seismicity in this area.

Keywords: Seismo-Tectonic, Zagros, Ezgeleh, Kermanshah, Isola, Focal mechanism, Aftershock

۱ مقدمه





زمینلرزههای زاگرس دارای سازوکار معکوس هستند. بهطور کلی اکثر زمینلرزههای رخداده در زاگرس، با بزرگای کمتر از ۷ به ثبت رسیدهاند و زاگرس بهندرت زمینلرزههای بزرگ را تجربه میکند، همچنین در بخش شمال غربی زاگرس غالب زمینلرزههای بزرگ مقیاس در امتداد گسل اصلی عهد حاضر به وقوع پیوسته است (علیپور و همکاران، ۲۰۱۲؛ طالبیان و جکسون، ۲۰۰۴).



شکل۱. (۵) موقعیت منطقه مورد مطالعه واقع در بخش غربی فلات ایران. (۵) لرزهخیزی منطقه مورد مطالعه پیش از وقوع رخداد ازگله. دایرههای خاکستری رخدادهای دستگاهی با بزرگای بین ۲.۵ تا ۴.۵، دایرههای نارنجی بزرگای بین ۴.۵ تا ۵ و دایرههای قرمز رخدادهای بزرگتر از ۵ که توسط IRSC تا پیش از زمان وقوع زمین لرزه ازگله ثبت شده است، را نشان میدهد. زمین لرزههای تاریخی منطقه با دایره سفید (آمبرسیز، ۲۰۰۵) و زمین لرزهی ازگله با ستاره قرمز مشخص شده است. چنانچه از نقشه لرزه خیزی منطقه (۵) مشخص است، تا پیش از وقوع زمین لرزه ای ۲۰۰۵ و زمین لرزه ازگله با ستاره قرمز مشخص شده است. چنانچه از نقشه لرزه خیزی منطقه (۵) مشخص است، تا پیش از

در ساعت ۲۱:۴۸ (به وقت محلی) روز ۲۱ آبان ۱۳۹۶ زمینلرزهای با بزرگای گشتاوری ۷.۳، در پی سه پیشلرزه که بزرگترین آنها دارای بزرگای ۴.۵ بود، ازگله در نزدیکی سرپلذهاب از توابع استان کرمانشاه را لرزاند. مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران مختصات رومرکز این رخداد لرزهای را ۳۴.۷۷ درجه شرقی و ۴۵.۷۶ درجهی شمالی با عمق کانونی حدود ۸۸ کیلومتر گزارش نمود. سازمان پزشکی قانونی کشور، آمار تلفات جانی این زمینلرزه را بهطور کلی بیش از ۶۰۰ تن کشته اعلام کرد. وقوع زمینلرزهای با بزرگای ۷.۳ در این بخش از زاگرس، نشان از پتانسیل لرزه خیزی بالای این بخش از زاگرس است که پیشتر گمان بر این بود که احتمال وقوع چنین رخدادهای بزرگی در آن نیست. سکونت جمعیت زیادی از مردم در این بخش از زاگرس و داشتن مرز مشترک با کشور عراق بر اهمیت مطالعات لرزه خیزی در منطقه میافزاید. این پژوهش بهمنظور بررسی لرزهزمینساخت منطقه و شناخت بیشتر سازوکار گسلهای آن صورت پذیرفته است. منطقه مورد مطالعه بر روی گسل پیشانی کوهستان واقع شده که یک گسل اصلی رانده قطعهبندی شده است.

## ۲ روش تحقیق

در این مطالعه برخی رخدادهای لرزهای با بزرگای بیش از ۴ که تا یک سال پس از وقوع زمین لرزهی از گله به وقوع پیوستند، مورد بررسی قرار گرفته شد. این دادهها متعلق به کاتالوگ منطقهای وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران است که از سایت http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php قابل دسترسی می باشد. سازوکار کانونی این رخدادها با روش مدل سازی تانسور ممان (ایزولا) (زاهاردنیک، ۲۰۰۵) محاسبه گردید. الگوریتم به کار رفته در نرمافزار ایزولا برای بر گردان



بیستمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران

تانسور گشتاور، الگوریتم کیکوچی و کاناموری (۱۹۹۱) است که در آن چشمه مجموعهای از چشمههای نقطهای در نظر گرفته میشود. تانسور گشتاور زیر رویدادها با روش واهمامیخت تکراری (Iterative Disconsolation) به طور متوالی با کمینه سازی اختلاف بین شکل موجهای مشاهده شده و ساختگی با روش جستجو در مش برای مقادیر مختلف پارامترهای چشمه تعیین میشوند(سوکوس و زاهاردنیک، ۲۰۰۶).

به منظور حل تانسور گشتاور انحرافی، فیلترهای با پهنای باند متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. درنهایت باتوجه به اینکه در این مطالعه ساختار سرعتی تخت ساده (بر گرفته از موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران) مورد استفاده قرار گرفته است، عملیات وارون سازی با انتخاب فیلتر میان گذر مناسب (۲۰۰۲-۲۰۰ هرتز) انجام پذیرفت. سپس نقطه با بیشترین همبستگی میان لرزه نگاشتهای مصنوعی و واقعی، به عنوان مکان و زمان بهینه در نقشه همبستگی مکانی-زمانی معرفی شد. سپس سازوکارهای کانونی محاسبه شده در سه دسته با کیفیتهای A، B و C تقسیم بندی شدند. پارامترهای کیفی مدنظر در این تقسیم بندی شامل کاهش واریانس، همبستگی، دو زوج نیرو، شاخص تغییر پذیری سازوکار کانونی و تغییر پذیری فضا-زمان هستند. مطابقت بین شکل موج مشاهده شده و مصنوعی با بیشترین همبستگی سازوکار کانونی و کاهش واریانس مشخص میشود. لذا برای داده های با مطابقت کامل، مقدار کاهش واریانس ۱ خواهد بود (سوکوس و زاهاردنیک، میگردند. این مقادیر برای دسته B و C (به ترتیب سازوکارهای با کیفیت خوب و قابل قبول) مقادیر بین ۲۰۰۴ و کم میگردند. این مقادیر برای دسته B و C (به ترتیب سازوکارهای با کیفیت خوب و قابل قبول) مقادیر بین ۲۰۰۴ و کمتر کمتر از ۲۰۰۴ را داراست. شاخص تغییر پذیری سازوکار کانونی، میانگین زاویه ی کاکان (۱۹۹۱ یا ۵۰۰ و را شامل کمتر از ۲۰۰۴ را داراست. شاخص تغییر پذیری سازوکار مانوی، میانگین زاویه ی کاکان (۱۹۹۱ یا مقادیر بین ۲۰۱۴ و ۱۹۰۱ یم گردند. این مقادیر برای دسته علو C (به ترتیب سازوکارهای با کیفیت خوب و قابل قبول) مقادیر بین ۲۰۰۴ و ۱۹۰۰ و کاهن می گردند. این مقادیر برای دسته علو C (به ترتیب سازوکارهای با کیفیت خوب و قابل قبول) مقادیر بین ۲۰۰۴ و ۱۹۰۱ و کام می گردند. این مقادیر برای دسته علو C (به ترتیب سازوکارهای با کیفیت خوب و قابل قبول) مقادیر بین ۲۰۰۴ و را وارهای کاری کانوزی و کاهن و در این مطالعه همگی دارای

پس از محاسبه سازوکارهای زمینلرزه با روش مدلسازی تانسور ممان و مطابقت دادن این سازوکارها با گسلهای شناخته شده و موجود، عدم تطبیق این سازوکارها با نقشه گسلهای فعال منطقه قابل توجه بود.



شکل۲. نقشهی لرزه خیزی رخدادهای ثبت شده توسط IRSC تا آبان ۱۴۰۰(با 0.3 ≥ RMS و 270 ≥ AZI و Azimuthal GAP). رخدادهای با بزرگای بین ۲.۵ تا ۲.۵ با دایرههای خاکستری، با بزرگای بین ۴.۵ تا ۵ با دایرههای نارنجی و با بزرگای بین ۵ تا ۶.۵ با دایرههای قرمز نشان داده شده است. مقاطع عمقی رسم شده با 'AA، 'BB و 'CC نامگذاری شدهاند. قطعات مختلف گسل پیشانی کوهستان از ۱ تا ۴ شماره گذاری شده است. سازوکارهای کانونی محاسبه شده با کیفیت A به رنگ سیاه، با کیفیت B به رنگ آبی پررنگ و با کیفیت C به رنگ آبی کمرنگ در نقشه مشخص شده است. محدوده S که با خطچین قرمز و هاشور سفید مشخص شده است، محدوده پیشنهادی برای گسل پنهان است. گسل ها مطابق با نقشه گسل های فعال ایران (حسامی، ۲۰۰۳) ترسیم شدهاند.



بيستمين كنفرانس ژئوفيزيک ايران

شکل ۲ نقشه لرزهخیزی محدوده، از تاریخ وقوع زمینلرزه ازگله تا ۴ سال پس از وقوع آن را نشان میدهد. نوع سازوکارهای محاسبه شده که غالباً معکوس و یا مؤلفه غالب آنها معکوس است با سازوکار کانونی گسل پیشانی کوهستان مطابقت دارد. ولى عدم تطبيق آنها بر نقشه گسلهاى فعال مىتواند بهعنوان فعاليت گسلهاى پنهان يا بخش پنهان گسلهای موجود تفسیر شود. علاوه بر سازوکارهای معکوس که گویای همگرایی و کوتاهشدگی پوسته در این منطقه می باشد، تعدادی سازوکار امتدادلغزی در محدوده مطالعه توزیع یافته که بر پیچیدگی تفسیر لرزهزمینساختی منطقه می افزاید. عمق کانونی بهدست آمده برای اکثر سازوکارهای کمتر از ۱۵ کیلومتر و با شیب نسبتاً زیاد محاسبه گشت که با سازوکار گسل پیشانی کوهستان همخوانی دارد. با این حال سازوکارهای کانونی با عمق بیش از ۱۵ کیلومتر هم در بین نتایج بود، بهطوری که در حوالی شهر از گله سازوکارهایی با عمق بیش از ۲۰ کیلومتر هم مشاهده گردید. توزیع رومرکزی این رخدادها به گونهای است که مقدار قابل توجهی از لرزهخیزی در بخش انتهایی قطعات گسلی MFF و گاهاً خارج از محدوده تعريف شده اين قطعات (حسامي، ٢٠٠٣) مكانيابي شده است. پيشتر نيسن (نيسن، ٢٠١٩) با مطالعه برخی پسلرزههای زمینلرزه از گله با بزرگای ۷.۳، گسل مسبب این زمینلرزه را گسل ناشناختهای (مجزا از MFF) در عمق بیشتر معرفی کرده بود. بنابراین با توجه به یافتن شواهدی بحثبرانگیز در منطقه و به منظور بررسی دقیقتر، سه مقطع عمقی 'AA، 'BB و 'CC به صورت عمود بر اغلب سازوکارهای کانونی و با پهنای ۸ کیلومتر ترسیم گردید. شکل ۲ موقعیت این مقاطع عمقی را نشان میدهد.



شكل ٣. توزيع عمقى رخدادها در سه مقطع عمقى 'AA، 'BB و 'CC را نشان مىدهد. محل تلاقى اين مقاطع با قطعات ناپيوسته گسل پیشانی کوهستان (MFF) در بالای هر بخش مشخص شده است. (a) مقطع عمقی 'AA. با وجود آنکه این مقطع با هیچ کدام از گسل های منطقه تلاقي ندارد، روند واضحي از توزيع عمقي رخدادهاي لرزهاي و سازوكارها ديده ميشود. اين روندها اكثرا در عمق كمتر و در مطابقت با سازوکار گسل پیشانی کوهستان هستند. با این حال سازوکارهایی با عمق بیش از ۲۵ کیلومتر که از روند مشخصی تبعیت میکنند هم قابل

مشاهده است. (b) مقطع عمقي 'BB' توزيع عمقي رخدادهاي لرزهاي و سازوكارهاي كانوني به گونهاي ست كه امتداد أن به MFF-1 میرسد. روند مشخصی از توزیع لرزهخیزی در عمق.های بیش از ۱۵ کیلومتر قابل مشاهده است که همچنان از روند مشخصی پیروی میکنند. (c) مقطع عمقی 'CC. در این نمودار هم میتوان روندی از توزیع لرزهخیزی و سازوکارها مشاهده نمود که امتداد آن به MFF-1 میرسد. در هر سه شکل a، d و c، نمودار اول(a) توپوگرافی سطح و نمودار پایینی (b) مقطع عمقی را با پهنای ۸ کیلومتر تا عمق ۳۵ کیلومتر نشان داده است. رخدادهای لرزهای در همه مقاطع سطحی شامل تمامی زمینلرزههای دستگاهی گزارش شده توسط IRSC تا آبان ۱۴۰۰ (≥ RMS 0.3 و  $Azimuthal \; Gap \leq 270$  میباشد. خطچین قرمز روند شیب گسل فعال را بر اساس توزیع عمقی لرزهخیزی نشان میدهد. این (Azimuthal  $Gap \leq 270$ شیب بر اساس توزیع عمقی رخدادهای لرزهای و سازوکارهای کانونی رسم شده است. سازوکارهای کانونی به صورت عمقی و با سه رنگ مشخص شده است. رنگ سیاه نشاندهندهی سازوکارهای با کیفیت A، رنگ آبی پررنگ سازوکارهای با کیفیت B و آبی کمرنگ سازوکارهای با کیفیت C را نشان میدهد.

بررسی مقاطع عمقی روندهای مشخصی از توزیع عمقی رخدادهایلرزهای را نشان میدهد که میتواند نشاندهنده گسل فعال این رخدادها باشد. با درنظر گرفتن مطابقت سازوکارهای کانونی بهدست آمده با برخی از این روندها، شیب تقریبی برای هر خط روند (گسل فعال) محاسبه گردید. مقطع عمقی 'AA هیچگونه تلاقی با گسلها ندارد و تقریباً خارج از محدوده گسلهای فعال منطقه رسم شده است (شکل a-3). با این حال روندهای واضحی از توزیع عمقی رخدادهای لرزهای را همچنان می توان مشاهده نمود. با درنظر گرفتن مقدار تقریبی شیب محاسبه شده در مقاطع مختلف و عمق رخدادهای لرزهای منطبق با آنها، موقعیت تقریبی گسل مسبب سازوکارها برآورد گردید. در پژوهش پیشرو، محدوده



rot- interventional Geophysical Booley 1815

بیستمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران

S در شکل ۲، پس از محاسبه موقعیت تقریبی گسل فعال برخی رخدادهای لرزهای که منطبق بر گسلهای فعال منطقه نبودند، ترسیم شده است. این محدوده با مطالعات InSAR انجام شده در منطقه (نیسِن، ۲۰۱۹) که صفحه مدل شده گسل مسبب زمین لرزه از گله را در راستای شمالی-جنوبی میداند، همخوانی دارد. همچنین نتایج ما نشان می دهد که درصد قابل توجهی از لرزه خیزی به امتداد قطعات مختلف گسل پیشانی کوهستان مرتبط است که پیشتر در نقشههای زمین شناسی و مطالعات گذشته (بهعنوان مثال حسامی، ۲۰۰۳؛ بکمنوف ۲۰۰۴) برای آنها امتدادی رسم نشده است. عدم نمایش امتداد گسلها در نقشه گسلهای فعال میتواند به دلیل عدم وجود عوارض سطحی و زمین شناسی این بخشها در زمان ترسیم نقشه باشد. ولی با توجه به بزرگی بالای زمین لرزه ۲۰۹۶ و مشارکت طول بیشتری از گسلها در این زمین لرزه، شواهد لرزهای بر فعالیت امتداد پنهان این گسلها حکایت دارد. بنابراین این قطعات، طولی بیش از آنچه پیشتر در مطالعات گذشته و یا در نقشه گسلهای فعال ایران (حسامی، ۲۰۰۳) برایشان رسم شده است. پیش تر در مطالعات گذشته و یا در نقشه گسلهای فعال ایران (حسامی، ۲۰۰۳) برایشان رسم شده است. از این رو به طور کلی با توجه به افزایش طول موثر گسلها حکایت دارد. بنابراین این قطعات، طولی بیش از آنچه افزایش خواهد یافت. با بررسی مقاطع عمقی 'BB و 'CC (شکل ط-3 و عد)) برایشان رسم شده است، دارند. افزایش خواهد یافت. با بررسی مقاطع عمقی 'BB و 'CC (شکل ط-3 و ع-3) شیب تقریبی قطعه گسلی I-FF با مقدار کوهستان در مطالعه نیسِن (نیسِن، ۲۰۱۹) همخوانی دارد.

## ۳ نتیجهگیری

سازوکار کانونی برخی پسلرزههای زمینلرزه ازگله با استفاده از ایزولا محاسبه گردید. اغلب سازوکارهای بهدست آمده معکوس است که با سازوکار گسل پیشانی کوهستان مطابقت دارد. رسم نقشه لرزهخیزی منطقه پس از وقوع رخداد ازگله با بزرگای ۲۰۳، نشان میدهد که تعداد قابل توجهی از رخدادهای لرزهای در خارج از محدوده گسلهای فعال منطقه مکانیابی شدهاند. برای بررسی دقیقتر، با ترسیم تعدادی مقطع عمقی، توزیع لرزهخیزی تا عمق ۳۵ کیلومتری مورد مطالعه قرار گرفت. با برآورد موقعیت تقریبی گسل مسبب سازوکارهای کانونی، محدوده ای ارستای تقریباً شمالی محاله عمقی، توزیع لرزهخیزی تا عمق ۳۵ کیلومتری مورد مطالعه قرار گرفت. با برآورد موقعیت تقریبی گسل مسبب سازوکارهای کانونی، محدودهای با راستای تقریباً شمالی جنوبی که فرضیه وجود گسل پنهان برایش مطرح است، مشخص گردید که این محدوده با مطالعات پیشین همخوانی دارد. همچنین نتایج نشان میدهد که احتمالاً قطعات گسل پیشانی کوهستان طولی بیش از آنچه در نقشه گسلهای فعال ایران برایش ترسیم شده است، دارند. در این مطالعه با بررسی توزیع عمقی لرزهخیزی و سازوکارهای کانونی به محدوده با مطالعات پیشین همخوانی معال دارد. همچنین نتایج نشان میدهد که احتمالاً قطعات گسل پیشانی کوهستان طولی بیش از آنچه در نقشه گسلهای فعال ایران برایش ترسیم شده است، دارند. در این مطالعه با بررسی توزیع عمقی لرزه خیزی و سازوکارهای کانونی به ماد مانه، شده است، دارند. در این مطالعه با بررسی توزیع عمقی لرزه خیزی و سازوکارهای کانونی به دست آمده، شیب یکی از قطعات گسل پیشانی کوهستان طولی به مدار تقریبی °55 – °50 دست آمده، شیب یکی از قطعات گسل پیشانی کوهستان به سمت جنوبغرب و با مقدار تقریبی °55 – %50 در مارورد گردید.

## منابع

- Alipoor, R., Zaré, M., and Ghassemi, M. R., 2012, Inception of activity and slip rate on the Main Recent Fault of Zagros Mountains, Iran: Geomorphology, 175, 86-97.
- Ambraseys, N. N., and Melville, C. P., 2005, A history of Persian earthquakes: Cambridge university press.
- Amini, S., Shomali, Z. H., Koyi, H., and Roberts, R. G., 2012, Tomographic upper-mantle velocity structure beneath the Iranian Plateau: Tectonophysics, 554, 42-49.
- Bachmanov, D. M., Trifonov, V. G., Hessami, K. T., Kozhurin, A. I., Ivanova, T. P., Rogozhin, E. A., ... and Jamali, F. H., 2004, Active faults in the Zagros and central Iran: Tectonophysics, 380(3-4), 221-241.
- Hessami, K., Jamali, F., and Tabassi, H., 2003, Major active faults of Iran: IIEES, Tehran.
- Kagan, Y. Y., 1991, 3-D rotation of double-couple earthquake sources: Geophysical Journal International, 106(3), 709-716.
- Kikuchi, M., and Kanamori, H., 1991, Inversion of complex body waves—III: Bulletin of the Seismological Society of America, 81(6), 2335-2350.
- McQuarrie, N., 2004, Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran: Journal of structural Geology, 26(3), 519-535.
- Nissen, E., Ghods, A., Karasözen, E., Elliott, J. R., Barnhart, W. D., Bergman, E. A., ... and Chen, L., 2019, The 12 November 2017 M w 7.3 Ezgeleh-Sarpolzahab (Iran) earthquake and active tectonics of the Lurestan Arc: Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 124(2), 2124-2152.
- Obaid, A. K., and Allen, M. B., 2019, Landscape expressions of tectonics in the Zagros fold-and-thrust







belt: Tectonophysics, 766, 20-30.

- Sokos, E., and Zahradnik, J., 2006, A MATLAB GUI for Use with ISOLA fortran codes user's guide, Ver 2, 34.
- Sokos, E., and Zahradník, J., 2013, Evaluating centroid-moment-tensor uncertainty in the new version of ISOLA software: Seismological Research Letters, 84(4), 656-665.
- Talebian, M., and Jackson, J., 2004, A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran: Geophysical Journal International, 156(3), 506-526.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., ... and Chéry, 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(1), 381-398.
- Zahradník, J., Serpetsidaki, A., Sokos, E., and Tselentis, G. A., 2005, Iterative deconvolution of regional waveforms and a double-event interpretation of the 2003 Lefkada earthquake, Greece: Bulletin of the Seismological Society of America, 95(1), 159-172.