

بررسی مقدماتی پارامترهای جنبش نیرومند زمین لرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ داهوئیه - زرنند

حسین حمزه لو، استادیار گروه زلزله شناسی مهندسی پژوهشگاه

۱- چکیده

در تاریخ ۴ اسفند ۱۳۸۳ زمین لرزه نیرومندی با بزرگای $M_w=6.5$ شهرستان زرنند و روستاهای اطراف آن را بشدت لرزاند. این زمین لرزه دومین زمین لرزه مخرب به فاصله ۱۵ ماه در استان کرمان می باشد. زمین لرزه مذکور با گسلش سطحی همراه بود. با استفاده از روش تحلیل غیرخطی حداقل مجذور مربعات راستا، شیب و لغزش به ترتیب ۲۲۶، ۵۵ و ۱۰۰ درجه تخمین زده شده است. روند شرقی - غربی با شیب به سمت شمال برای گسل زمین لرزه از روی تجزیه و تحلیل شتابنگاشتها به دست آمده است. سازوکار به دست آمده از روی این داده ها معکوس می باشد.

در تاریخ ۴ اسفند ۱۳۸۳ زمین لرزه نیرومندی با بزرگای $M_w=6.5$ شهرستان زرنند و روستاهای اطراف آن را بشدت لرزاند. این زمین لرزه دومین زمین لرزه مخرب به فاصله ۱۵ ماه در استان کرمان می باشد. زمین لرزه مذکور با گسلش سطحی همراه بود. با استفاده از روش تحلیل غیرخطی حداقل مجذور مربعات راستا، شیب و لغزش به ترتیب ۲۲۶، ۵۵ و ۱۰۰ درجه تخمین زده شده است. روند شرقی - غربی با شیب به سمت شمال برای گسل زمین لرزه از روی تجزیه و تحلیل شتابنگاشتها به دست آمده است. سازوکار به دست آمده از روی این داده ها معکوس می باشد.

کلیدواژه ها: پارامترهای گسل، جنبش نیرومند زمین، تحلیل غیرخطی

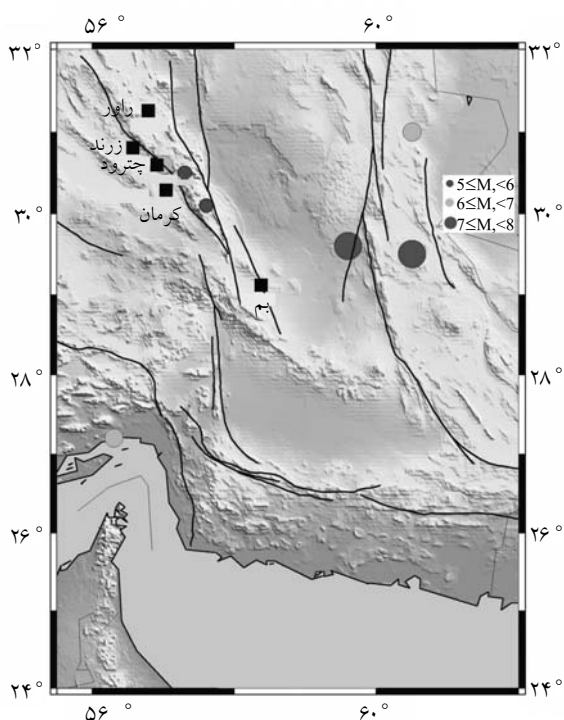
۲- مقدمه

شرق ایران (محل وقوع زمین لرزه داهوئیه) ناحیه ای با فعالیت های سریع زمین ساختی و گسل های متعدد امتداد لغز می باشد. این گسلها و گسل های رانده شده موجود در این ناحیه، خطر لرزه ای زیادی دارند. این گسل های برشی و امتداد لغز که امتداد شمالی - جنوبی دارند، بخشی از تنش های حاصل را جذب می کنند و عمدتاً عملکرد راستگردی را از خود نشان می دهند. گسل های راستگرد برشی دو سوی دشت لوت (از مناطق غیر لرزه ای و مقاوم ایران) را محصور می کنند و در شرق، مرز جداکننده لوت و سیستان و در غرب، جداکننده بخش ایران مرکزی از بلوک لوت می باشند (شکل ۱). عملکرد راستگرد گسل های این منطقه بر روی عکسهای هوایی و سطح

در تاریخ ۴ اسفند ۱۳۸۳ زمین لرزه ای با بزرگای $M_w=6.5$ در ساعت ۵ و ۵۵ دقیقه و ۲۱ ثانیه به وقت محلی (۲: ۲۱: ۲۵ به وقت GMT) در شرق شهر زرنند واقع در استان کرمان به وقوع پیوست. مختصات رومرکز این زمین لرزه توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

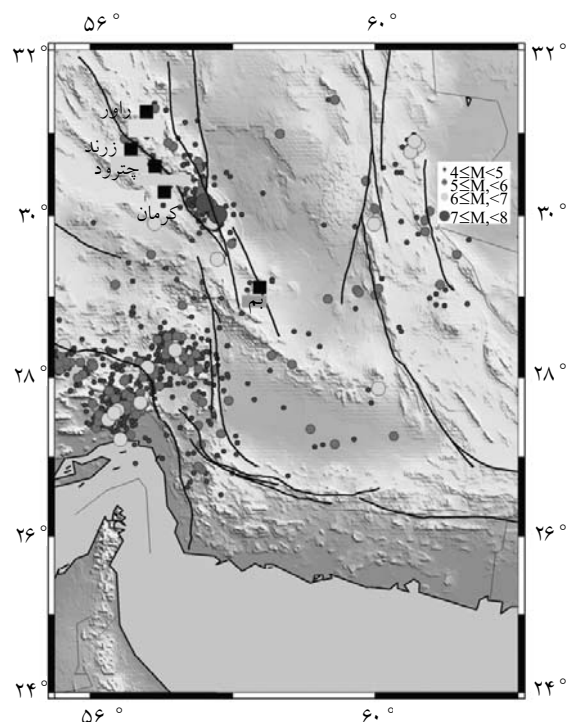
است. این گسل همراه با گسل‌های کوهبنان، شهداد، نایبند و...، یک سامانه گسلی را در جنوب خاوری ایران تشکیل می‌دهند. این مجموعه گسلی و گسل گوک مسبب رویداد زمین لرزه‌ای در فاصله سالهای ۱۸۷۷-۱۹۹۸ میلادی با بزرگسای مختلف ($M_s=5.2-7.2$) بوده‌اند. علاوه بر آن، زمین لرزه ۱۹۸۱/۶/۱۱ گلباف با بزرگسای $M_s=6.8$ در ارتباط با عملکرد این گسل می‌باشد [۳]. زمین لرزه ۱۴ مارس ۱۹۹۸ فندوقا با بزرگسای $M_w=6.5$ به عملکرد گسل گوک نسبت داده شده است. این گسل شواهدی بر روی سطح زمین دارد که بر سازوکار امتداد لغز راستگرد آن دلالت می‌کند [۲].

منطقه زمین لرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ داهوئیه-زرنند، در جنوب شرقی ایران در یک پهنه فعال لرزه خیز واقع است. رویداد زمین لرزه‌های نیرومند و مخرب طی سالهای ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۲ مانند زمین لرزه‌های گلباف، سیرچ و بم موجب لطمات جانی و مالی فراوانی در این پهنه شده است.



شکل (۲) زمین لرزه‌های تاریخی در گستره کرمان

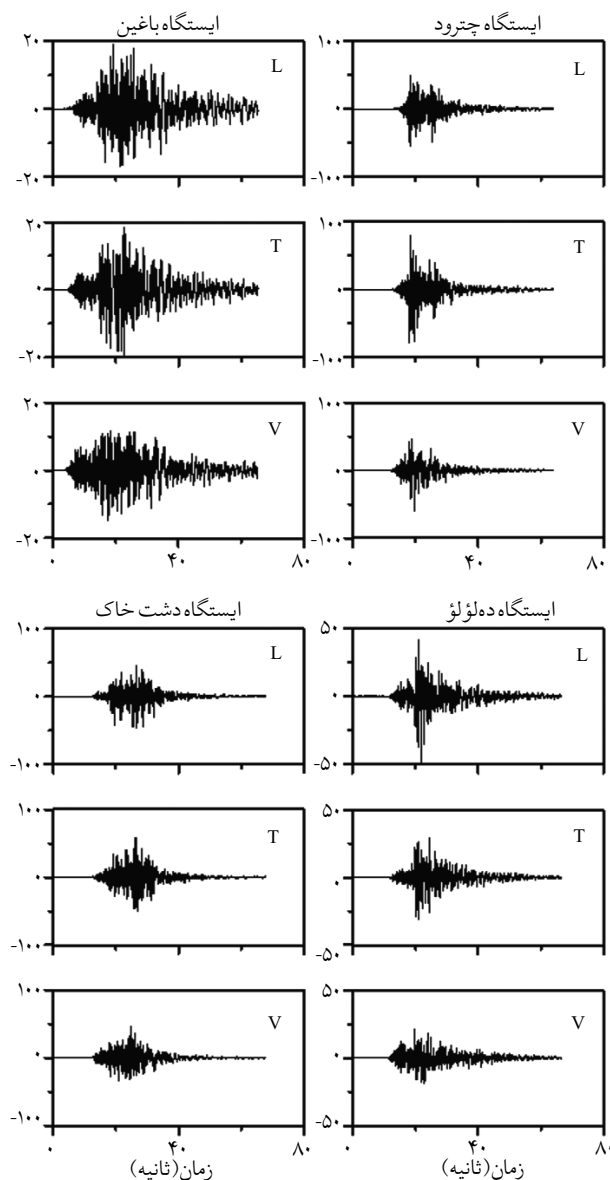
زمین با جابه‌جا کردن آبراهه‌ها و مخروطه افکنه‌ها به خوبی نمایان است. این شواهد در گسل‌های گوک (گلباف - سیرچ)، شرق و غرب نه، زاهدان و کهورک قابل رویت می‌باشند [۲]. روند عمومی گسل‌های اصلی شمالی - جنوبی با کمی تمایل به سوی غرب و شمال - غربی - جنوب شرقی است. گسل‌های با روند شمال غربی - جنوب شرقی (گسل‌های کوهبنان و راور) با گسل‌های با راستای شمالی - جنوبی (گسل‌های گلباف، نایبند، چهار فرسخ، گوک، سروستان و بم) مرز غربی ناحیه لوت را مشخص می‌نمایند.



شکل (۱): لرزه خیزی و گسل‌های فعال در شرق ایران مرکزی

گسل گوک در همین ناحیه در رخدادهای زمین لرزه‌های ۱۳۶۰ گلباف و سیرچ فعال گردید. این گسل زلزله‌های دیگری را در سالهای ۱۳۶۸ و ۱۳۷۷ موجب شد. اکثر زمین لرزه‌های یاد شده با گسیختگی سطحی نیز همراه بوده است. سازوکار ژرفی این زلزله‌ها به صورت راستالغز و فشاری گزارش شده است. گسل گوک از گسل‌های کوتاه‌تر و لرزه‌زای نیمه شرقی ایران

شدت آریاس و مدت زمان براساس تعریف تریفوناک و بریدی [۴] پس از تصحیح و پردازش شتابنگاشت‌های ثبت شده در ایستگاههای زرنده، راور، چترود، دشت خاک، ده لؤلؤ، تریز، کرمان، باغین، هورچند، سد قادرونی و سد شیرین رود به دست آمده‌اند (جدول ۱). تاریخچه زمانی شتاب پس از تصحیحات لازم بر روی شتابنگاشت تصحیح نشده در این ایستگاهها در شکل‌های (۴)، (۵)، (۶) و (۷) نشان داده شده است.

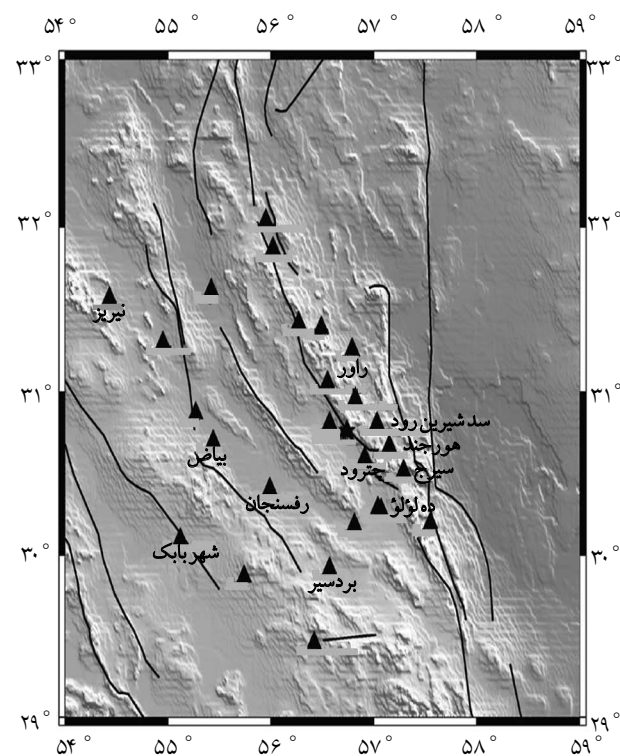


شکل (۴): شتابنگاشت‌های تصحیح شده در ایستگاههای باغین، چترود، دشت خاک و ده لؤلؤ

زمین لرزه‌های تاریخی و سده بیستم در این منطقه بیشتر در بخش‌های شمال باختری و باختر منطقه و بر اثر عملکرد پهنه‌های گسلی نایبند، گوک و شهداد به وقوع پیوسته‌اند (شکل‌های ۱ و ۲).

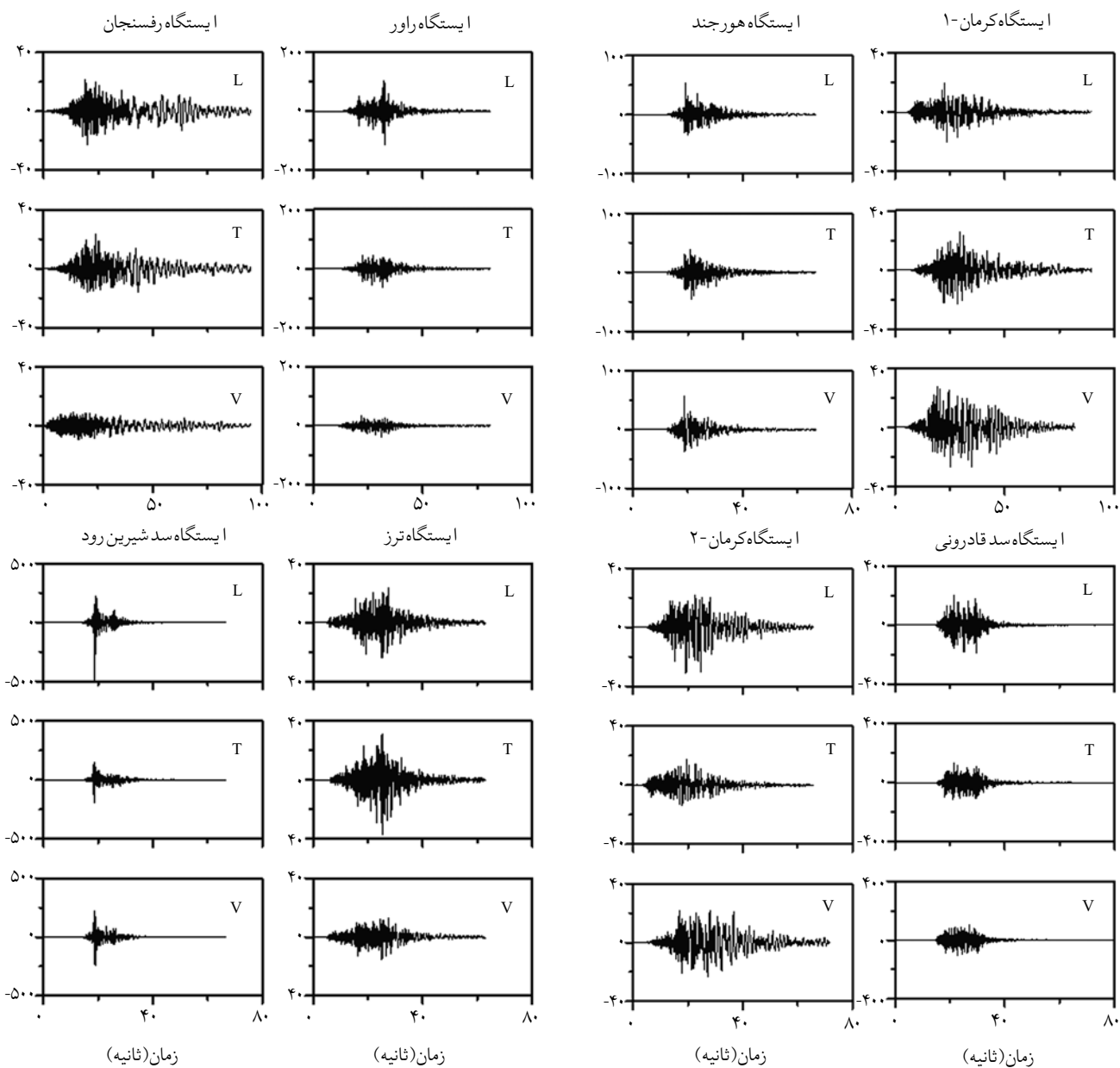
۳- داده‌های شتابنگاری

زمین لرزه داهوئیه- زرنده توسط ۲۷ دستگاه شتابنگار SSA-2 شبکه شتابنگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن به ثبت رسید. موقعیت این ایستگاهها و رومرکز زمین لرزه گزارش شده توسط شبکه لرزه‌نگاری باند پهن پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در شکل (۳) نشان داده شده است.



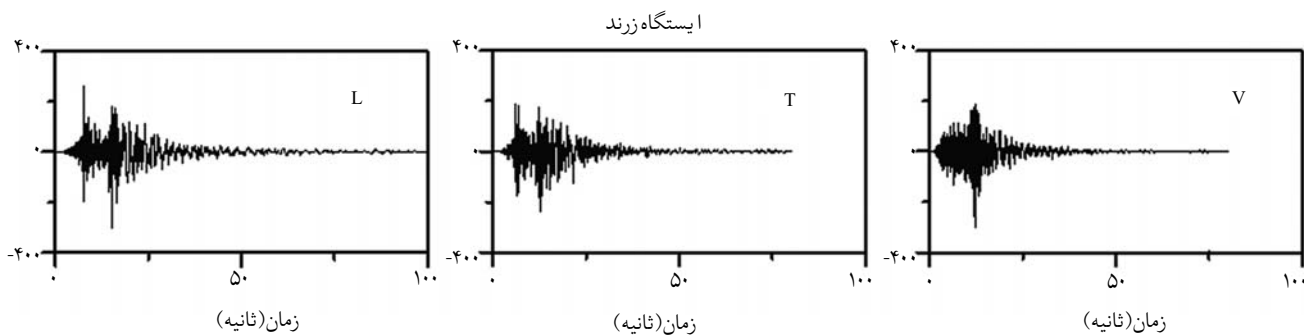
شکل (۳): موقعیت ایستگاههای شبکه شتابنگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و رومرکز گزارش شده توسط HEES

پارامترهای جنبش نیرومند زمین شامل بیشینه شتاب، سرعت و تغییر مکان، ریشه میانگین مجذور شتاب، a_{rms}



شکل (۵): شتابنگاشتهای تصحیح شده در ایستگاههای هورجند، کرمان-۱، کرمان-۲، سد قادرونی

شکل (۶): شتابنگاشتهای تصحیح شده در ایستگاههای رفسنجان، راور، سد شیرین رود و ترز



شکل (۷): شتابنگاشت تصحیح شده در ایستگاه زرناد

مجذور ثانیه برای مؤلفه افقی و ۲۹۹ سانتیمتر بر مجذور ثانیه برای مؤلفه قائم به ثبت رسانده است. بیشینه سرعت و تغییر مکان نیز در ایستگاه زرنده به ثبت رسیده است (جدول ۱).

۴- سازوکار زمین لرزه

تعیین سازوکار زمین لرزه و تشخیص صفحه گسل مربوط به زمین لرزه به عنوان نقش مهم زلزله‌شناسی در مطالعات زمین ساخت در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شود. بسیاری از مناطق لرزه‌خیز دنیا از جمله ایران با دستگاه‌های شتابنگاری پوشش داده شده‌اند. در این مناطق، ثبت زمین لرزه‌ها با یک یا چند ایستگاه حوزه نزدیک بسیار محتمل می‌باشد. گاهی اوقات نگاشتهای حوزه نزدیک تنها داده‌های موجود برای مطالعه زمین لرزه‌ها می‌باشند. برای زمین لرزه‌های با بزرگای بیش از ۵/۵ با عمل برگردان شکل موج نگاشتهای دور لرزه‌ای سازوکار زمین لرزه مشخص می‌گردد. یکی از محدودیتهای روشهای متداول برای تعیین سازوکار زمین لرزه عدم تشخیص صفحه گسل از صفحه کمکی برای زمین لرزه‌های با بزرگای متوسط و کمتر می‌باشد؛ لذا برای تشخیص صفحه گسل مطالعات تکمیلی مانند مشاهده گسیختگی سطحی، مطالعه پس لرزه‌ها، تهیه منحنی‌های هم شدت و هم شتاب ضروری می‌باشد که برای همه زمین لرزه‌ها امکانپذیر نمی‌باشد.

با گسترش شبکه‌های شتابنگاری که عمدتاً در حوزه نزدیک می‌باشند مشخص شدن سازوکار زمین لرزه‌ها با این داده‌ها امکانپذیر شده است. برای به دست آوردن پارامترهای گسل با استفاده از داده‌های حوزه نزدیک مدل نیم فضا که برای بسته انرژی بالا در فواصل نزدیک مناسب می‌باشد فرض شده است. تحلیل داده‌ها مربوط به امواج SH می‌باشد؛ زیرا این

بیشینه شتاب معرف اندازه قدرت مؤلفه فرکانس بالا (۱) تا ۱۰ هرتز) جنبش زمین می‌باشد. بیشینه سرعت معرف اندازه قدرت فرکانس میانه مؤلفه جنبش زمین (در محدوده فرکانس ۰/۵ تا ۵ هرتز) و بیشینه تغییر مکان معرف میزان قدرت مؤلفه‌های جنبش زمین در فرکانس ۰/۱ تا ۱ هرتز می‌باشد. ریشه میانگین مربع شتاب که شامل آثار دامنه‌های نگاشت جنبش زمین می‌باشد از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

$$a_{rms} = \frac{1}{td} \int_0^{td} [a(t)^2 dt] \quad (1)$$

در رابطه (۱)، td مدت جنبش می‌باشد. برای محاسبه a_{rms} از تعریف تریفوناک استفاده شده است. مقادیر محاسبه شده در جدول (۱) آورده شده است.

شدت آریاس (I_a) تحت تأثیر دامنه، محتوای فرکانسی و مدت جنبش زمین می‌باشد. این پارامتر با رابطه (۲) توصیف می‌گردد:

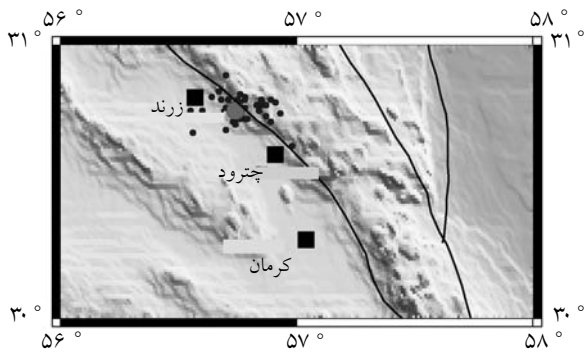
$$I_a = \frac{0}{2g} \int_0^{\infty} [a(t)]^2 dt \quad (2)$$

در رابطه (۲)، $a(t)$ تاریخچه زمانی شتاب می‌باشد. واحد پارامتر، I_a سرعت می‌باشد. این پارامتر بر اساس کل جنبش زمین به دست می‌آید؛ بنابراین به تعریف مدت به کار برده شده بستگی ندارد. مقادیر تخمین زده شده برای I_a در جدول (۱) ارائه شده است.

مدت زمان بر اساس تعریف تریفوناک و بریدی عبارت است از فاصله زمانی بین نقاطی که ۰/۵٪ و ۹۵٪ انرژی جنبش نیرومند زمین آزاد شده است. مقادیر مدت برای این ۱۲ ایستگاه در جدول (۱) ارائه شده است.

مؤلفه L سد شیرین رود بیشترین شتاب افقی ۴۹۱ سانتیمتر بر مجذور ثانیه را ثبت نموده است که به نظر می‌رسد نوفه الکترونیکی دستگاه باشد. پس از این ایستگاه، ایستگاه زرنده بیشترین شتاب افقی و قائم را به ترتیب ۳۰۳ و ۲۴۰ سانتیمتر بر

مشاهده شده کاملاً مطابقت دارد (شکل ۹ و تصویرهای ۱ و ۲).



شکل (۹): رومرکز زمین لرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ داهوئیه-زرنند و پس لرزه های آن



تصویر (۱): جابه جایی قائم در مسیر جاده اسلام آباد- حتکن



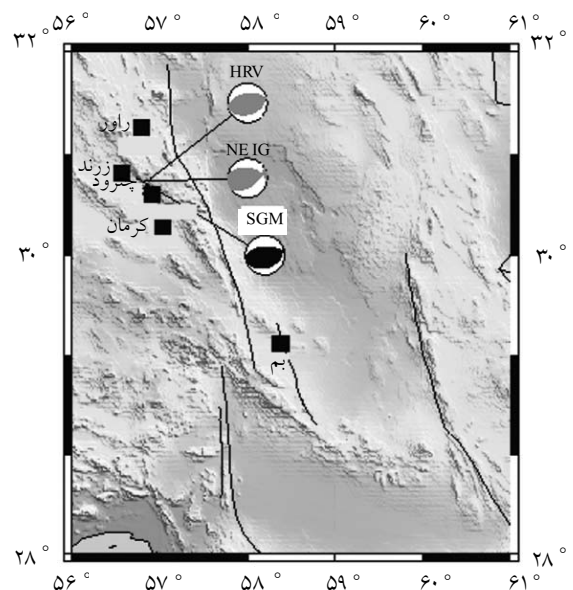
تصویر (۲): بریدگی در نهشته های جوان در مسیر جاده اسلام آباد- حتکن

۵- نتیجه گیری

روند گسلی به دست آمده از حل سازوکار کانونی با استفاده از تحلیل غیر خطی امواج SH شتابنگاشتها بیانگر گسله واژگون با مؤلفه کوچک امتداد لغز و شیب به سمت شمال است. سازوکار کانونی حل شده توسط HRV و CMT نیز بیانگر گسله معکوس با روند نزدیک به شرقی - غربی با

امواج کمتر تحت تأثیر ناهمگنی پوسته قرار می گیرند [۵]. علاوه بر آن، استفاده از این امواج تصحیحات لازم برای تبدیل مد و دیگر ناهمگنی های نادیده گرفته شده در مدل در نظر گرفته شده را به حداقل می رساند. مؤلفه SH با دوران مؤلفه های افقی به دست آمده است. طیف فوریه مؤلفه SH محاسبه و فرکانس گوشه مشخص می گردد. طیفهای دامنه در ایستگاههای مختلف در کمترین فرکانس سنجیده می شوند، تا فرض نقطه ای بودن چشمه در نظر گرفته شود.

با استفاده از روش تحلیل غیر خطی حداقل مجذور مربعات [۶، ۷ و ۸]، راستا، شیب و لغزش به ترتیب ۲۶۶، ۵۵ و ۱۰۰ درجه و خطای استاندارد ۰/۲ تخمین زده شده است. سازوکار زمین لرزه که توسط داده های شتابنگاری به دست آمده و سازوکار گزارش شده توسط HRV و NEIC، در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل (۸): سازوکار زمین لرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ داهوئیه-زرنند [NEIC, HRV]

روند شرقی - غربی، شیب به سمت شمال برای گسل زمین لرزه از روی تجزیه و تحلیل مؤلفه SH شتابنگاشتها به دست آمده است که با روند پس لرزه ها و گسیختگی

قرار دادن این اطلاعات و همچنین راهنماییهای آقای دکتر عباسی سپاسگزاری می‌گردد.

۷- مراجع

۱- حسینی هاشمی، بهرخ؛ حمزه لو، حسین؛ داوودی، محمد. (۱۳۸۳). گزارش مقدماتی گروه شناسایی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ۴ اسفند ۱۳۸۳ داهوئیه - زرنند. تهران: پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

2. Berberian, M., Jakson, J.A., Fielding, E., Parsons, B. E., Priestly, K., Qorashi, M., Talebian, M., Walker, R., Wright, T. J., Baker, C. (2001). The 1998 March 14 Fandoqa earthquake ($M_w = 6.6$) in Kermān Province Southeast Iran: re-rupture of the 1981 Sirch earthquake fault triggering of slip on adjacent thrusts and the active tectonics of the Gowk fault zone. *Geophys. J. Int.*, 146, 371–398.

3. Ambraseys, N.N., Melville, C. P. (1980). *History of Persian earthquakes*. Cambridge university press, London.

4. Trifunac., M. D, Brady, A.G. (1972). A study on the duration of strong earthquake ground motion. *B. S. S. A*, 62, No. 63, 581–626.

5. Haskell, N. A. (1966). Crustal reflection of plane SH waves. *Journal of Geophysical Research*, 65, 4147–4150.

6. Aki, K, Richard, P. G. (1980). *Quantitative seismology, theory and methods (vol.1)*. W. H. Freeman and Co., San Francisco.

7. Hamzehloo, H. (In press). Determination of causative fault parameters for some recent Iranian earthquake using near field SH – wave data. *Asian J. of Earth Science*.

8. Sarkar, I, Hamzehloo, H., Khattri, K. N. (2003). Estimation of causative fault parameters of the Rudbar earthquake of June 1990 from near field – SH – wave data. *Tectonophysics*, 364, 55–70. ◀

جابه‌جایی شاقولی حدود ۵۰ سانتیمتر است (تصویر ۱). در پیگیری این گسیختگی به سوی باختر می‌توان آن را در نهشته‌های جوان به صورت درزه مشاهده کرد (تصویر ۲). در راستای این گسیختگی، ریخت‌شناسی (Morphology) کوهستان بیانگر یک روند قدیمی گسلی است. در این صورت به نظر می‌رسد که گسیختگی زمین‌لرزه از یک روند قدیمی گسلی پیروی کرده باشد و باعث فعالیت دوباره این روند قدیمی شده باشد. منطقه‌ای که در آن زمین‌لرزه متأثر شد، از دیدگاه زمین‌ساختی و ایالت لرزه‌ساختی در محدوده ایران مرکزی قرار می‌گیرد. در این ایالت ساختارهای گسل‌های شمالی - جنوبی با سازوکار امتداد لغز راستگرد کارسازی می‌کنند. نزدیکترین گسله فعال به این منطقه گسله کوهبنان است. از ویژگیهای گسله‌های امتداد لغز مانند گسل کوهبنان آرایش پله‌ای آنهاست که با فاصله نزدیک به هم قرار می‌گیرند. در این سامانه‌های گسلی سازوکارهای گوناگون با روندهای متفاوت وجود دارند. از جمله می‌توان به روندهای واژگون اشاره کرد که با گسله اصلی امتداد لغز زاویه تقریباً عمودی می‌سازد.

زمین‌لرزه‌های اخیر روی داده در استان کرمان عمده‌تاً زمین‌لرزه‌های نیرومند با پنج بزرگای ۶ تا ۶/۹ می‌باشند و باعث تلفات جانی و خسارات مالی فراوانی در این ناحیه شده است. تجربه این زمین‌لرزه‌ها نشان می‌دهد که مناطق شهری و روستایی استان کرمان در برابر زمین‌لرزه‌های با این محدوده بزرگ بسیار آسیب‌پذیر می‌باشد.

۶- سپاسگزاری

شتابنگاشتهای مورد استفاده، از پایگاه اینترنتی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تهیه شده است که از در اختیار