

مدل گسیختگی زمین لرزه ۱۹ تیرماه ۱۳۸۲ زرين دشت با استفاده از داده‌های جنبش نیرومند زمین

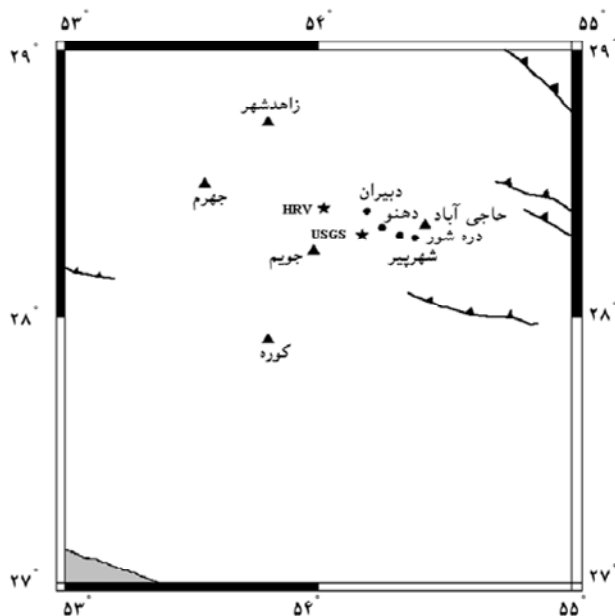
حسین حمزه لو، استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی پژوهشگاه

۱- چکیده

در تاریخ ۱۹ تیرماه ۱۳۸۲ ساعت ۱۷:۳۷:۳۷ به وقت جهانی (GMT) زمین لرزه ای با بزرگای $M_w=5.6$ شرق جهرم در استان فارس را به لرزه درآورد. بر اثر این زمین لرزه یک نفر کشته و ۲۵ نفر زخمی گردیدند. این زمین لرزه در پنج ایستگاه شتابنگاری توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ثبت گردید. بیشینه شتاب ۳۵۸ سانتیمتر بر مجذور ثانیه برای مؤلفه افقی در ایستگاه حاجی آباد به ثبت رسید. راستا، شیب و لغزش برای گسل مربوط به این زمین لرزه، با مطالعه داده‌های شتابنگاری و با استفاده از روش تحلیل غیرخطی حداقل مجموع مربعات به ترتیب ۳۰۰، ۴۲ و ۱۱۸ درجه برآورد گردیده است. سازوکار به دست آمده، معکوس با مؤلفه راستالغزی می باشد. علاوه بر آن، با در نظر گرفتن پارامترهای گسل، شتابنگاشتها در ایستگاههای حاجی آباد و جویم به روش ترکیبی شبیه سازی گردیدند. پدیده سوگرایی در شتابنگاشتها مشاهده شده و شبیه سازی شده به خوبی دیده می شود. گسیختگی از کانون شروع و به سمت حاجی آباد بوده است. بیشترین خسارات وارده به روستاهای دره شور، دهنو، دبیران و شهرپیر در جنوب و غرب حاجی آباد مؤید این موضوع می باشد.

۲- مقدمه

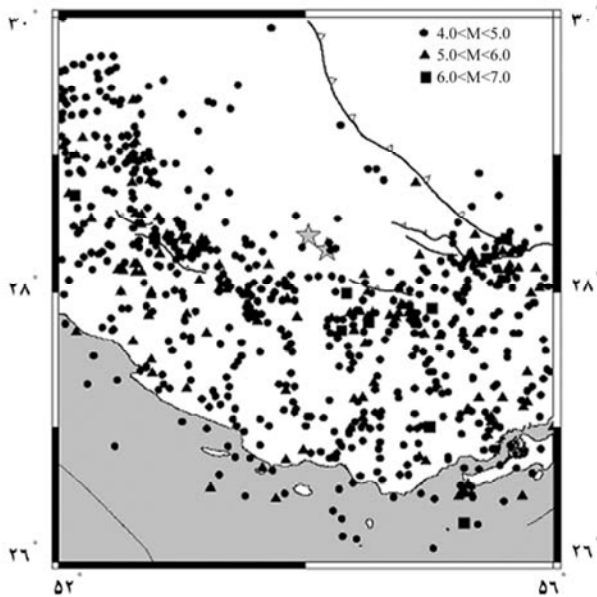
در تاریخ ۱۹ تیرماه ۱۳۸۲ ساعت ۱۷:۳۷:۳۷ به وقت جهانی زمین لرزه ای با بزرگای $M_w=5.6$ در شرق جهرم در استان فارس به وقوع پیوست. بر اثر این زمین لرزه یک نفر کشته و ۲۵ نفر زخمی گردیدند. این زمین لرزه به روستاهای دره شور، دهنو، دبیران و شهرپیر در جنوب و غرب حاجی آباد بیشترین خسارات را وارد آورد. بر اساس گزارش سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) و مرکز این زمین لرزه به مختصات $54/172$ درجه شرقی و $28/312$ درجه شمالی در ژرفای ۱۱ کیلومتری گزارش شده است (شکل ۱).



شکل (۱): رومرکز زمین لرزه ۱۹ تیرماه ۱۳۸۲ گزارش شده توسط HRV و USGS و موقعیت ایستگاههای شتابنگاری و روستاهای آسیب دیده

واژه‌های کلیدی: مدل گسیختگی، جنبش نیرومند زمین

در جنوب رومرکز زمین لرزه ۱۹ تیرماه (علامت ستاره) بیشتر از شمال آن می باشد. ناحیه شمال رومرکز زمین لرزه ۱۹ تیرماه لرزه خیزی بسیار کمتری را نسبت به جنوب آن از خود نشان می دهد.



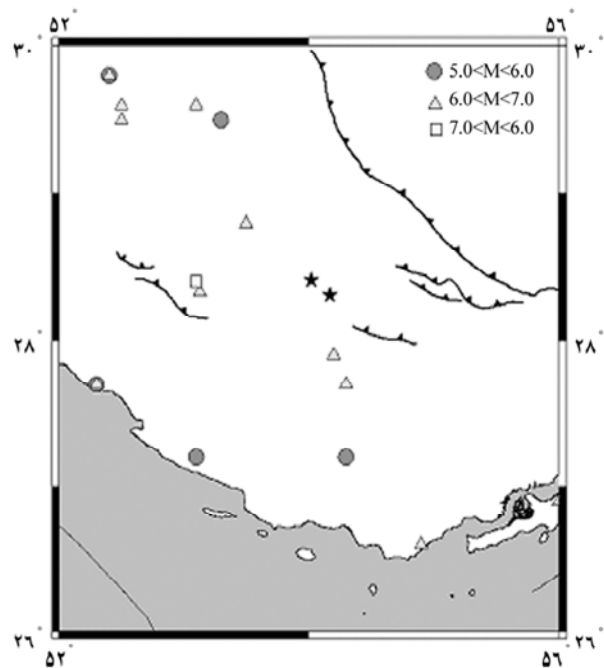
شکل (۳): لرزه خیزی از تاریخ ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۳. رومرکز زمین لرزه ۱۹ تیرماه با ستاره نشان داده شده است.

به منظور تعیین سازوکار زمین لرزه و گسل مربوط به آن، داده های شتابنگاری ثبت شده در این زمین لرزه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. علاوه بر آن، با شبیه سازی جنبش نیرومند زمین و مقایسه با شتابنگاشت‌های مشاهده شده مدل گسیختگی برای این زمین لرزه ارائه شده است.

۳- داده های شتابنگاری

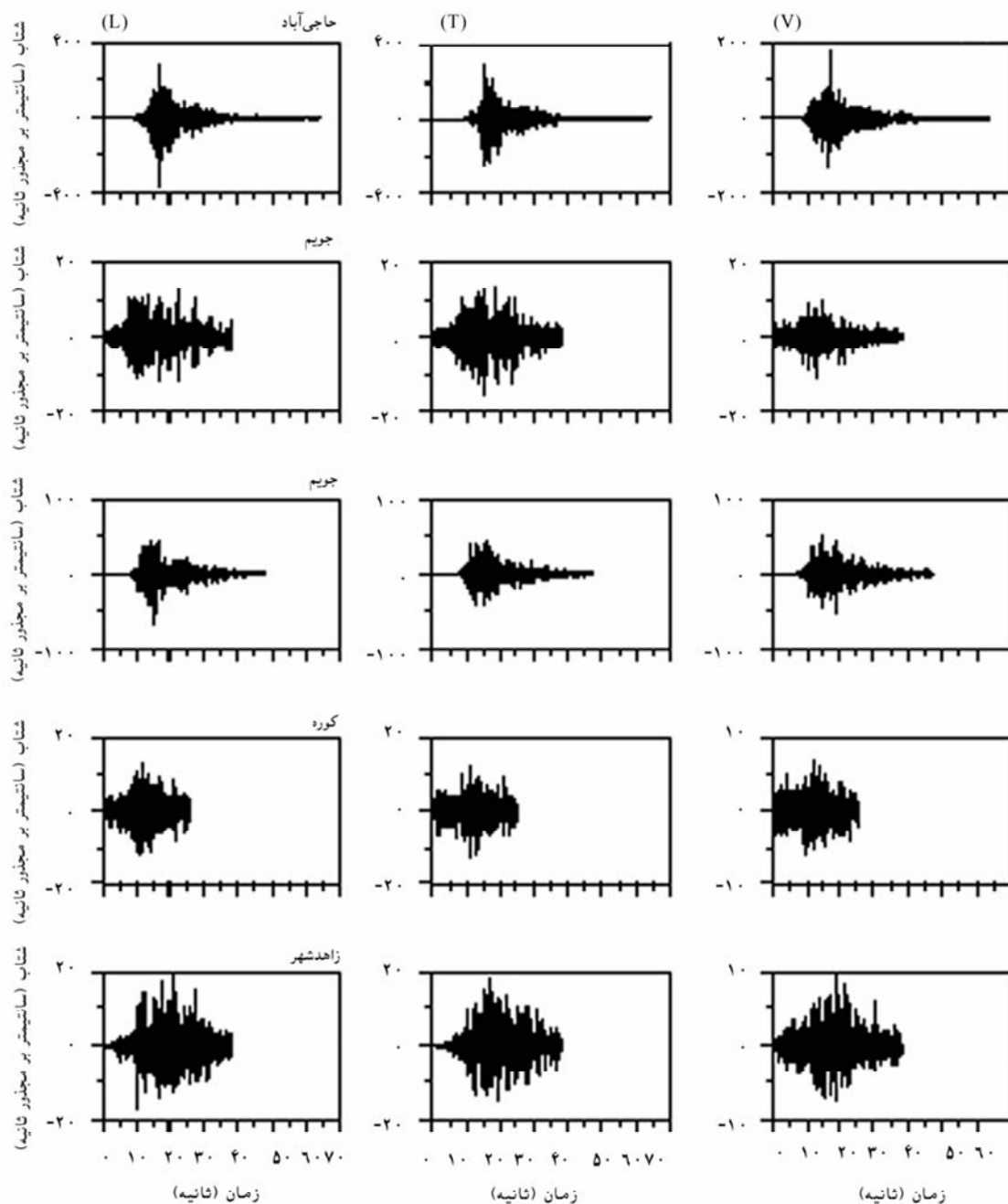
مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن با نصب پنج ایستگاه شتابنگاری از نوع SSA-2 در حاجی آباد، جهرم، جویم، زاهدشهر و کوره، زمین لرزه ۱۹ تیرماه ۱۳۸۲ زرین دشت را ثبت نمودند (شکل ۱). بیشینه شتاب جنبش شتاب زمین برای دو مؤلفه افقی شمالی-جنوبی و شرقی-غربی به ترتیب ۳۵۸،

نوار چین خورده زاگرس از جنوب شرقی ترکیه تا دهانه تنگه هرمز نتیجه برخورد صفحه عربستان با ایران مرکزی است. ناحیه زاگرس توان لرزه خیزی بالایی دارد. زمین لرزه ها در این ناحیه در پهنای ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر می باشند. بیشتر زمین لرزه ها با بزرگای بیش از $m_b \geq 5/0$ در امتداد جنوب غربی زاگرس روی داده اند. اکثر زمین لرزه ها سازوکار معکوس با شیب ۳۰ تا ۶۰ درجه بر روی صفحه ای به موازات راستای نوار چین خورده نشان می دهند [۱ تا ۴]. زمین لرزه های تاریخی در ناحیه زمین لرزه ۱۹ تیرماه در شکل (۲) نشان داده شده است. زمین لرزه ۱۴۴۰ قیر- کارزین، زمین لرزه های سپتامبر ۱۵۹۳ و ۱۶۷۷ لار زمین لرزه های تاریخی در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از زمین لرزه ۱۹ تیرماه ۱۳۸۲ جهرم می باشند [۵].



شکل (۲): رومرکز زمین لرزه های تاریخی در ناحیه جنوب شرق زاگرس، رومرکز زمین لرزه ۱۹ تیرماه با ستاره نشان داده شده است.

زمین لرزه های دستگاهی در ناحیه زمین لرزه ۱۹ تیرماه جهرم در شکل (۳) نشان داده شده است. تمرکز زمین لرزه ها



شکل (۴): شتابنگاشت‌های ثبت شده در زمین لرزه ۱۹ تیرماه ۱۳۸۲ زین دشت

ترتیب ۳۵۸ و ۶۹/۶ سانتیمتر بر مجذور ثانیه می باشد. بیشترین خسارات نیز به روستاهای دره شور، دهنو، دیران و شهرپیر در جنوب و غرب حاجی آباد وارد شده است.

۴- برآورد سازوکار

برای تخمین پارامترهای گسل زمین لرزه با استفاده از

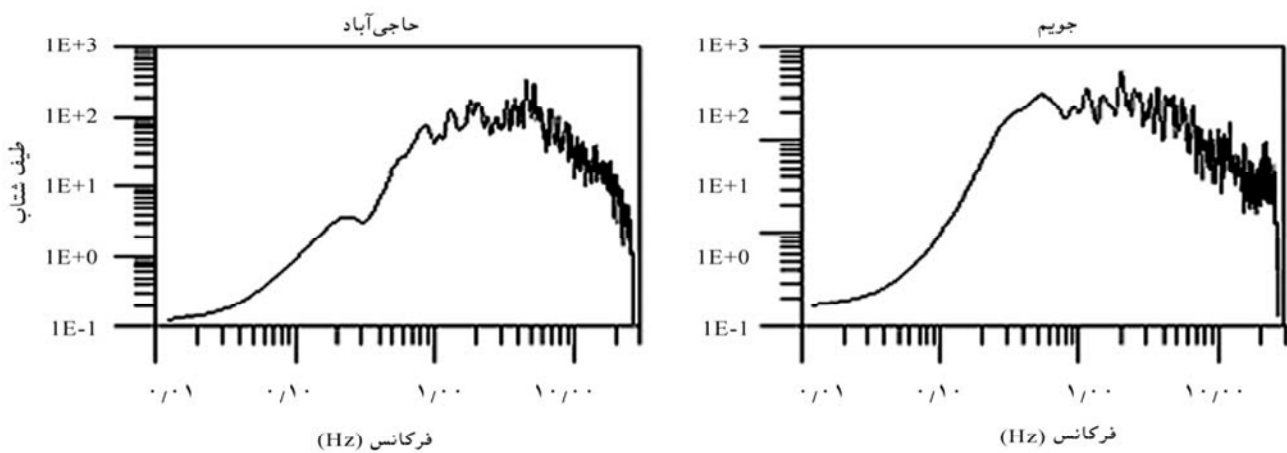
۲۹۱ و ۱۸۳ سانتیمتر بر مجذور ثانیه برای مؤلفه قائم در ایستگاه حاجی آباد ثبت شده است. تاریخچه زمانی شتاب، بعد از تصحیحات لازم بر روی شتابنگاشت‌ها در ایستگاه‌های مذکور در شکل (۴) نشان داده شده است. بیشینه شتابنگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه‌های حاجی آباد و جویم که در فواصل کانونی ۲۶ و ۲۲ کیلومتری قرار دارند به

شتابنگاشتها از دوروش ارائه شده توسط حمزه لو و همکاران [۷] استفاده شده است. در روش اول با فرض نقطه ای بودن چشمه، طیف دامنه مشاهده و محاسبه شده SH و حداقل مجذور مربعات راستا، شیب و زاویه لغزش تخمین زده می شود. در روش دوم تخمین مجزا برای هر ایستگاه از مقایسه طیف دامنه مشاهده و محاسبه شده SH با برنامه جستجو برای حالت های مختلف راستا، شیب، زاویه لغزش و پارامترهای گسل لرزه تخمین زده می شود. مؤلفه SH با دوران مؤلفه های افقی شتابنگاشتها به دست می آید. سپس طیف فوریه مؤلفه SH محاسبه و فرکانس گوشه مشخص می گردد. طیف های دامنه در ایستگاه های مختلف در بلندترین طول موج (کمترین فرکانس) سنجیده می شوند، تا فرض نقطه ای بودن چشمه در نظر گرفته شود [۶ و ۷].

طیف فوریه مؤلفه SH برای زمین لرزه جهرم در ایستگاه های حاجی آباد و جویم در شکل (۵) نشان داده شده است. با برنامه جستجو [۶] برای مقادیر مختلف راستا، شیب و زاویه لغزش، اختلاف بین دامنه مشاهده و محاسبه شده در این ایستگاهها بر آورد گردیده است. پارامترهایی که حداقل

اختلاف را نشان می دهند به عنوان پارامترهای گسل انتخاب می گردند. این روش برای هر ایستگاه تخمین جداگانه ای از پارامترهای راستا، شیب و زاویه لغزش را ارائه می دهد. اختلاف بین دامنه مشاهده شده و محاسبه شده مؤلفه SH برای مقادیر مختلف شیب، لغزش و راستای ۳۰۰ درجه در ایستگاه های حاجی آباد و جویم در شکل (۶) نشان داده شده است. مقادیر تخمین زده شده برای این دو ایستگاه که نگاشت ثبت شده در این دو از کیفیت خوبی برخوردار بوده در جدول (۱) آورده شده است. مقادیر تخمین زده شده راستا و شیب در دو ایستگاه حاجی آباد و جویم نزدیک به هم می باشد.

با استفاده از روش حداقل مجذور مربعات پارامترهای راستا، شیب و زاویه لغزش برای زمین لرزه زرین دشت به ترتیب ۳۰۰، ۴۲ و ۱۱۸ درجه تخمین زده شده است. سازوکار زمین لرزه زرین دشت با استفاده از روش مذکور در شکل (۷) نشان داده شده است. سازوکار به دست آمده از این روش با سازوکارهای ارائه شده توسط هاروارد و سازمان زمین شناسی آمریکا همخوانی دارد (جدول ۲). سازوکار زمین لرزه، معکوس با مؤلفه راستا لغز است که صفحه گسل با شیب به سمت شمال می باشد.



شکل (۵): طیف فوریه مؤلفه SH در ایستگاه های حاجی آباد و جویم

جدول (۱): مقادیر تخمین زده شده برای ایستگاههای مختلف برای زمین لرزه زرين دشت به روش جستجو

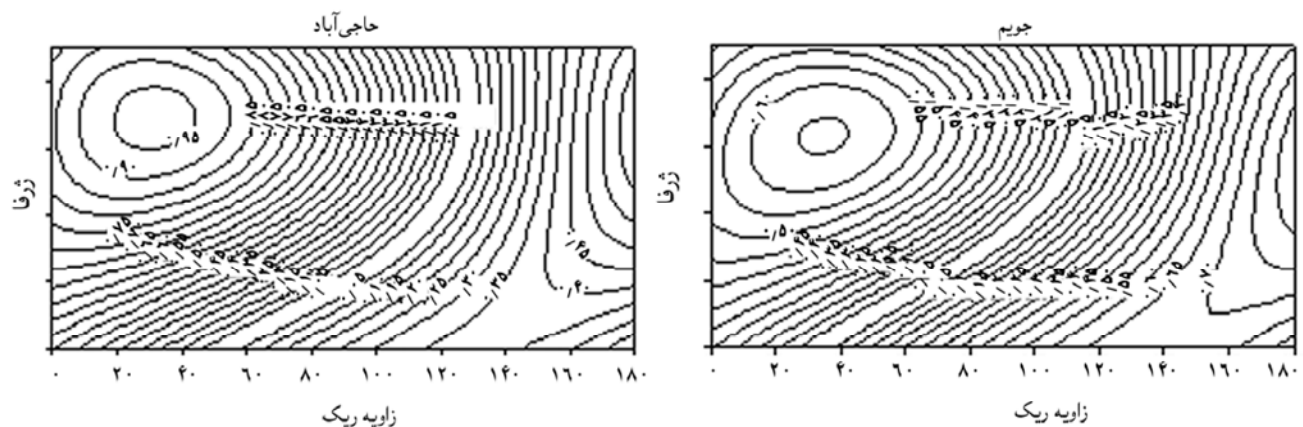
ایستگاه	راستا	شیب	زاویه لغزش (Rake)
حاجی آباد	۳۰۰	۴۲	۱۱۸
جویم	۳۰۰	۴۸	۱۰۶

۵- شبیه سازی جنبش نیرومند زمین

با در نظر گرفتن برآورد پارامترهای گسل در این مطالعه، شتابنگاشت در دو ایستگاه حاجی آباد و جویم با استفاده از روش پیوندی موجک، موج پوش نقشها و نوفه سفید فیلتر شده که توسط حمزه لو [۸] و حمزه لو و همکاران [۹] ارائه شده، شبیه سازی شده است. بدین منظور پارامترهای لازم برای شبیه سازی شامل راستا، شیب، سرعت امواج عرضی، سرعت گسیختگی، طول و عرض گسیختگی، تعداد اجزاء در صفحه گسل و نقطه شروع گسیختگی در نظر گرفته شده-

است [۸، ۹ و ۱۰]. راستا و شیب گسل به ترتیب ۳۰۰ و ۴۲ درجه بر اساس تحلیل شتابنگاشتها در نظر گرفته شده است. طول و عرض گسیختگی به ترتیب برابر هفت و پنج کیلومتر بر اساس رابطه ولز و کوپراسمیت [۱۱] در نظر گرفته شده است. پارامترهای لازم برای شبیه سازی شتابنگاشتها در جدول (۳) ارائه شده است.

مدل صفحه گسل، نقطه شروع گسیختگی و نگاشتهای شبیه سازی شده در دو ایستگاه حاجی آباد و جویم در شکل (۸) نشان داده شده است. بر اساس مطالعات موریس [۱۲] که عمق پی سنگ را در این ناحیه بین ۸-۱۰ کیلومتر در نظر گرفته است برای صفحه گسل (در شکل ۸) ژرفای هشت کیلومتر در نظر گرفته شد [۱۲]. بیشینه شتاب افقی و مدت زمان مؤثر لرزههای توانمند زمین برای ایستگاه حاجی آباد در فاصله کانونی ۲۶ کیلومتر به ترتیب ۳۵۸ و ۱۳/۸ ثانیه می باشد.



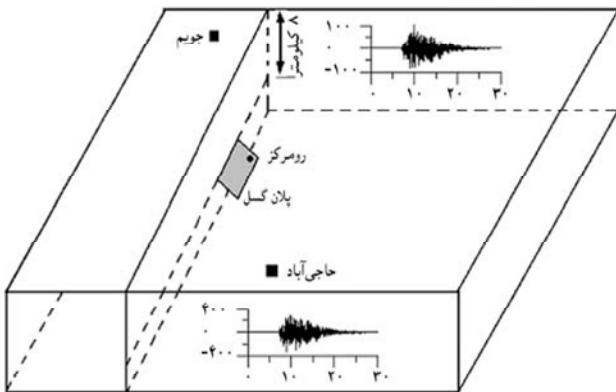
شکل (۶): اختلاف بین دامنه مشاهده شده و محاسبه شده مؤلفه SH برای مقادیر مختلف شیب و لغزش و راستای ۳۰۰ درجه در ایستگاههای حاجی آباد و جویم

جدول (۲): حل صفحه گسل برای زمین لرزه ۱۹ تیرماه زرين دشت توسط HRV و USGS

NP2			NP1			
لغزش (درجه)	شیب (درجه)	راستا (درجه)	لغزش (درجه)	شیب (درجه)	راستا (درجه)	
۶۶	۴۹	۸۳	۱۱۵	۴۷	۲۹۸	مؤسسه زمین شناسی آمریکا (USGS)
۶۶	۴۹	۹۱	۱۱۸	۴۲	۳۰۵	دانشگاه هاروارد
۶۷	۵۴	۸۴	۱۱۸	۴۲	۳۰۰	مطالعه حاضر

جدول (۳): پارامترهای مدل برای شبیه‌سازی شتابنگاشتها

راستا (درجه)	شیب (درجه)	سرعت امواج عرضی (کیلومتر بر ثانیه)	سرعت گسیختگی (کیلومتر بر ثانیه)	طول گسیختگی (کیلومتر)	عرض گسیختگی (کیلومتر)	تعداد المان‌ها	ابعاد المان‌ها (کیلومتر)	ژرفا (کیلومتر)
۳۰۰	۴۲	۳/۲۲	۲/۶	۷	۵	۳۵	۱×۱	۱۱

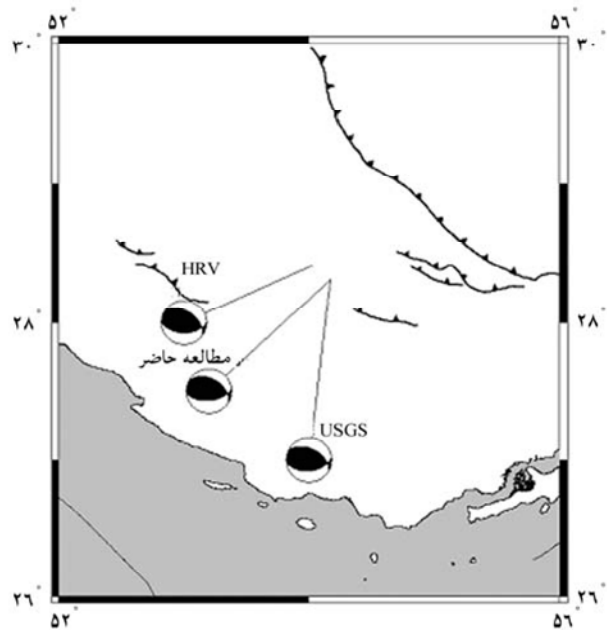


شکل (۸): مدل گسل و نگاهشهای شبیه‌سازی شده در دو ایستگاه حاجی‌آباد و جویم. گسیختگی از کانون به سمت ایستگاه حاجی‌آباد می‌باشد.

غرب حاجی‌آباد تأیید کننده این موضوع می‌باشد (شکل ۱). روند مشاهده شده در نگاهشهای شبیه‌سازی شده و مشاهده شده سازوکار به دست آمده با استفاده از شتابنگاشتها و شیب گسل به سمت شمال را تأیید می‌نماید. علاوه بر آن، نشان می‌دهد که گسیختگی به سمت حاجی‌آباد بوده است.

۶- نتیجه‌گیری

زمین لرزه ۱۹ تیرماه زرين دشت با بزرگای $M_w=5.6$ توسط پنج ایستگاه شتابنگاری به ثبت رسید. سازوکار این زمین لرزه، راستا، شیب، زاویه لغزش و مدل گسیختگی با شتابنگاشتها به دست آمده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور از دو روش جستجو و حداقل مجذور مربعات برای تخمین راستا، شیب و زاویه لغزش صفحه گسل استفاده شده است. سپس با در نظر گرفتن پارامترهای به دست آمده از گسل جنبش نیرومند زمین در دو ایستگاه حاجی‌آباد و جویم شبیه‌سازی شده است.



شکل (۷): سازوکار زمین لرزه ۱۹ تیرماه ۱۳۸۲ جهرم توسط HRV، USGS و مطالعه حاضر

این مقادیر برای ایستگاه جویم با فاصله کانونی ۲۲ کیلومتر به ترتیب $۶۹/۶$ و $۱۷/۴$ ثانیه می‌باشد. با مقایسه این دو نگاهش شبیه‌سازی شده و مشاهده شده، فاصله کانونی مربوط به این دو ایستگاه، بیشینه شتاب ثبت شده و مدت زمان موثر لرزشهای توانمند زمین مشخص می‌گردد که ایستگاه حاجی‌آباد تحت تأثیر پدیده سوگرایی قرار گرفته است. پدیده سوگرایی در نگاهشهای شبیه‌سازی شده نیز به خوبی ایجاد شده است. بیشینه شتاب شبیه‌سازی شده در دو ایستگاه حاجی‌آباد و جویم به ترتیب برابر با ۳۳۲ و ۱۰۰ سانتیمتر بر مجذور ثانیه می‌باشد. علاوه بر آن، بیشترین خسارات وارده به روستاهای دره شور، دهنو، دبیران و شهر پیر در جنوب و

3. Jackson, J. and T. Fitch (1981). "Basement Faulting and the Focal Depth of the Large Earthquakes in the Zagros Mountains (Iran)", *Geophys. J. Res. Astr. Soc.*, Vol. 77, pp. 185-264.

4. Ni, J. and M. Barazagni (1986). "Seismotectonics of the Zagros Continental Collision Zone and Comparison with the Himalayas", *J. Geophys. Res.*, Vol. 91, No. B8, pp. 8205-8218.

5. Ambraseys, N.N. and C.P. Melville (1982). "A History of Persian Earthquakes", Cambridge University Press, London, 219 p.

6. Sarkar, I., Hamzehloo, H. and, Khattri, K.N. (2003). "Estimation of Causative Fault Parameters of the Rudbar Earthquake of June 20, 1990. From Near Field data", *Tectonophysics*, 364, pp. 55-70.

7. Hamzehloo, H., Sarkar, I., and K.N. Khattri (2003). "Causative Fault Parameters Estimates of Some Recent Iranian Earthquakes from Near Field Data (Accepted for Publication in 4th International Conference of Earthquake Engineering and Seismology, 12-14 May, 2003, Tehran, Iran).

8. Hamzehloo, H. (2000). "Seismic Modeling of Fault Rupture for Four Iranian Earthquakes", Ph.D. Theses, Indian Institute of Technology, Roorkee, India.

9. Hamzehloo, H., A. Sinval and H. Sinval (2002). "Simulation of Strong Ground Motion for the 1999 Karez Bas (M_w 6.3), Iran, Earthquake, 12 Symposium on Earthquake Engg., December 16-18, 2002, Roorkee, India.

۱۰- حمزه لو، حسین و کمالیان، نصرالله، "تخمین بیشینه شتاب با استفاده از شبیه سازی جنبش نیرومند زمین"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال چهارم، شماره اول، صفحه ۳۴-۳۹، ۱۳۸۰.

11. Wells, D.L. and K.J. Coppersmith (1994). "New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Area, and Surface Siplacement", *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 84, No. 4, pp. 974-1002.

12. Morris, P. (1977). "Basement Structures as Suggested by Aeromagnetic Survey in S.W. Iran, Oil Service Company of Iran, Internal Report. ◀

تاریخ دریافت مقاله: ۸/۲۷/۸۲

اهم نتایجی که از تجزیه و تحلیل این شتابنگاشت‌ها به دست آمده عبارتند از:

- سازوکار زمین لرزه، معکوس با مؤلفه راستالغز می باشد. راستا، شیب و زاویه لغزش برای گسل مربوط به زمین لرزه به ترتیب برابر با ۳۰، ۴۲ و ۱۱۸ درجه می باشد. این مقادیر با مقادیر ارائه شده توسط HRV و USGS همخوانی دارد.

- نگاشت‌های شبیه سازی شده جنبش نیرومند زمین در دو ایستگاه حاجی آباد و جویم از نظر بیشینه شتاب و مدت زمان مؤثر لرزش‌های توانمند زمین بانگاشت‌های مشاهده شده همخوانی دارد.

- پدیده سوگرایی در نگاشت‌های مشاهده شده و شبیه سازی شده به خوبی دیده می شود که نشان دهنده این واقعیت است که گسیختگی از کانون در ژرفای ۱۱ کیلومتری شروع و به سمت ایستگاه حاجی آباد بوده است. بیشترین خسارات وارده به روستاهای دره شور، دهنو، دبیران و شهر پیر در جنوب و غرب حاجی آباد مؤید این مطلب می باشد.

۷- سپاسگزاری

از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و شبکه شتابنگاری کشور برای ارائه داده های شتابنگاری استفاده شده در این پژوهش به پژوهشگاه تشکر و قدردانی می گردد.

۸- مراجع

1. Baker, C., J. Jackson and K. Priestley (1993). "Earthquakes on Kazerun Line in the Zagros Mountains of Iran: Strike - Slip Faulting Within a Folded - and - Thrust Belt", *Geophys. J. Int.*, Vol. 115, pp. 41-61.

2. Berberian, M. (1976). "Contribution to the Seismotectonics of Iran (Part II)", Geological Survey of Iran, Report No. 39, 141 p.