

عوامل موثر در تعیین سازوکار کانونی زمینلرزه با روش پلاریته موج P

فاطمه حاجی میرزا علیان^۱، محمدرضا حاتمی^۲، وحید ملکی^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران. (Fateme.alian7@ut.ac.ir)

^۲ استادیار، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران. (Mrhatami@ut.ac.ir)

^۳ دانشجوی دکتری، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران. (Vahid.maleki388@gmail.com)

چکیده

سازوکار کانونی زمینلرزه‌ها به بهبود درک ما از ساختار گسل (شیرر، ۱۹۹۸)، تعیین میدان تنش و پتانسیل لرزه‌خیزی منطقه کمک می‌کند. سازوکارها اغلب با استفاده از قطبش اولین رسید موج P تعیین می‌گردند (ریزنبرگ و اوپن‌هایم، ۱۹۸۵؛ هاردبک و شیرر ۲۰۰۲). این مطالعه با هدف بررسی عوامل موثر بر تعیین سازوکار کانونی زمینلرزه با استفاده از قطبش اولین رسید موج P به وسیله نرم‌افزار Hash انجام شده است. به این منظور ۱۲ رویداد مصنوعی با استفاده از روش شبیه‌سازی پلاریته و زمان رسید در بخش مرکزی ایالت اصلی لرزه‌زمینساختی البرز - آذربایجان (زیر ایالت البرز مرکزی) تولید گردید و سازوکار کانونی آنها مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت نتایج بررسی انجام شده بر داده‌های مصنوعی با نتایج حاصل از مطالعه بر داده‌های واقعی مقایسه گردید. در این مقایسه مطابقت قابل توجهی بین نتایج حاصل از داده‌های مصنوعی و نتایج حاصل از داده‌های واقعی مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: عوامل موثر بر سازوکار کانونی، قطبش اولین رسید موج P، ایالت لرزه‌زمینساختی البرز - آذربایجان.

Effective factors on determining focal mechanism of earthquakes by P wave polarity

Fatemeh HajimirzaAlian¹, Mohammad Reza Hatami², Vahid Maleki³

¹Msc Student Institute of Geophysics, University of Tehran (fateme.alian7@ut.ac.ir)

²Assistant Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran (mrhatami@ut.ac.ir)

³Doctoral student, Institute of Geophysics, University of Tehran (vahid.maleki388@gmail.com)

Abstract

Calculating the focal mechanism of earthquakes helps to investigate the style of faulting (shearer, 1998), stress field (Hardebeck and Hauksson, 2001) and the seismicity potential of the zone. Focal mechanisms are most often found by using P-wave first-motion polarities recorded at local seismic stations. This study investigated the effects of some factors on determining focal mechanisms by using P-wave first-motion polarities in Hash software. To do so, 12 synthetic events created by simulation of P wave polarity and arrival time in the central part of Alborz - Azarbayejan seismotectonic zone. Finally the results of synthetic events and real events in this region, compared and there was a great conformity between them.

Keywords: Effective factors on focal mechanism, P-wave first-motion polarities, Alborz - Azarbayejan seismotectonic zone.

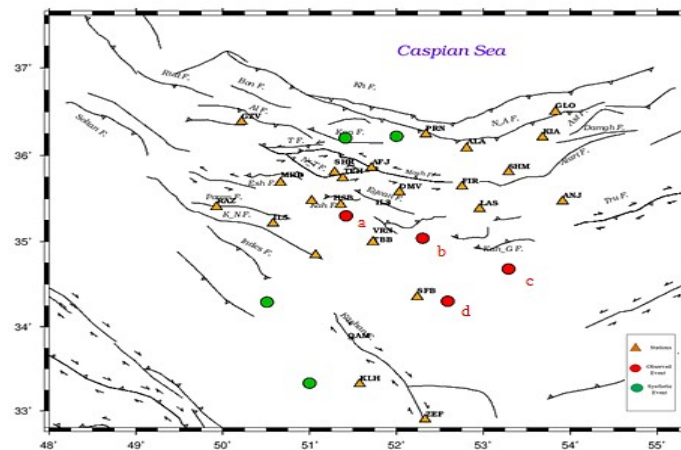
مقدمه:

سازوکار زمینلرزه، نمایش هندسی لغزش گسل در طی یک رویداد زمینلرزه است. سازوکارها اغلب با استفاده از قطبش اولین رسید موج P تعیین می‌گردند (ریزنبرگ و اوپن‌هایم، ۱۹۸۵؛ هاردبک و شیرر ۲۰۰۲) و عوامل متعددی بر قطعیت نتایج بدست‌آمده تاثیر دارند. ورودی این روش قطبش اولین رسید موج P است که جهت خروج پرتو از ناحیه کانونی را نشان می‌دهد (ریزنبرگ و اوپن‌هایم، ۱۹۸۵). ناحیه مورد مطالعه در محدوده ۳۳-۳۷ درجه عرض شمالی و ۴۸-۵۴ درجه طول شرقی

قرار دارد. طبق تقسیم بندی ایران زمین به ایالت های اصلی لرزه زمینساختی توسط میرزائی و همکاران (۱۹۹۸)، این ناحیه شامل بخش مرکزی ایالت اصلی لرزه زمینساختی البرز - آذربایجان (زیر ایالت البرز مرکزی) است. به طور کلی از اواخر میوسن تا کنون گسل شغالب در منطقه به صورت امتداد لغز-راندگی همراه با چین خوردگی می باشد. مطالعات فراوانی برای تعیین سازوکار کانونی گسل ها در این منطقه انجام شده از جمله مطالعات مک کنزی، ۱۹۷۲ با استفاده از قطبش اولین رسید موج P تا تار و همکاران، ۲۰۰۷ با استفاده از وارون سازی امواج پیکری و حل تانسور ممان زمین لرزه ها.

۲ روش تحقیق:

در این مطالعه سازوکار کانونی ۱۲ رویداد مصنوعی (جدول ۱) و ۴ رویداد واقعی (جدول ۲) از روش قطبش اولین رسید موج P با استفاده از نرم افزار Hash (هاردبک و شیرر، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳) تعیین گردید. شکل ۱ موقعیت رویدادها و ایستگاهها در منطقه را نشان می دهد. سپس تاثیر پراکندگی ایستگاهها، خطا در مشاهدات جنبش اولین رسید موج P، خطای مکان چشمه و خطای مدل سرعتی مورد استفاده بر سازوکارهای بدست آمده مورد بررسی قرار گرفت. رویدادهای مصنوعی با استفاده از روش شبیه سازی پلاریته و زمان رسید با استفاده از برنامه ی Time2EQ که یکی از قسمت های برنامه ی رایانه ای NonLinLoc می باشد تولید گردید.



شکل ۱: پراکندگی ایستگاهها و رویدادهای مورد استفاده.

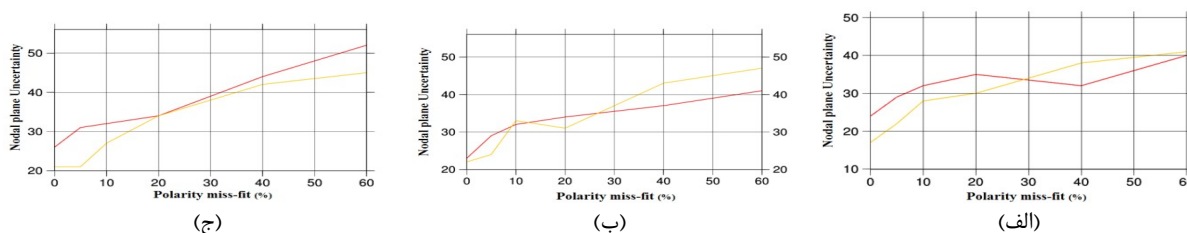
در برنامه ی Hash برای هر رویداد با توجه به مکان کانون، مدل سرعتی و مکان ایستگاهها، زوایای برخاست محاسبه می شوند، سپس با در نظر گرفتن کره کانونی به صورتی که شبکه ی زاویه ای با فواصل معین، جستجوی شبکه ای برای یافتن زوایا یا امتداد، شیب و لغزش انجام می شود و مجموعه ای از سازوکارهای کانونی قابل قبول براساس کمینه شد، عدم تطابق داده های مشاهده ای و محاسبه ای تعیین می گردد. برای هر سازوکار مفروض براساس خطای پلاریته و خطای مکان کانونی، چندین حالت مختلف خواهیم داشت که از بین آنها حالتی که از کمینه عدم تطابق داده های مشاهده ای و محاسبه ای برخوردار باشد انتخاب می گردد. با توجه به اهمیت پراکندگی ایستگاهها، قطبش اولین رسید موج P، مکان کانون زمین لرزه و مدل سرعتی در تعیین سازوکار کانونی در این مطالعه تاثیر این موارد در نتایج حاصل شده مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی داده های مصنوعی، برای رویدادهای یک رومرکز آنها در نقاط و قرار دارند (شکل ۱)، سازوکار کانونی با کیفیت های برتر و درصد عدم قطعیت پایین بدست می آیند و برای رویدادهای یک رومرکز آنها در نقاط و قرار دارند و قرار دارند سازوکارها با کیفیت پایین حاصل شدند. برای بررسی تاثیر خطای پلاریته موج P در تعیین سازوکار کانونی می توان پلاریته ی داده ها را تغییر داد و تاثیر آنها را بر روی بهترین سازوکارهای بدست آمده مشاهده کرد. به این منظور با تغییر ۰٪ تا ۶۰٪ مشاهدات جنبش اولین رسید موج P تغییرات عدم قطعیت سازوکار کانونی بدست آمده برای رویدادهای یک رومرکز آنها در نقاط و قرار دارند، مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). یکی از عواملی که باعث تغییرات در زاویه ی برخاست می شود خطای مکان چشمه است. با تغییر عمق کانون رویدادهای یک رومرکز آنها در نقاط و قرار دارد تاثیر خطای مکان کانون زمین لرزه بر عدم قطعیت سازوکار کانونی تعیین شده بررسی شد (شکل ۳).

جدول ۱: مشخصات داده‌های مصنوعی مورد استفاده در این مطالعه. Az. Gap. شکاف سمتی و RMS میزان زمان باقی‌مانده محاسبه شده را نشان می‌دهند. ERH خطای رومرکزی و ERZ خطای عمق زمین‌لرزه است.

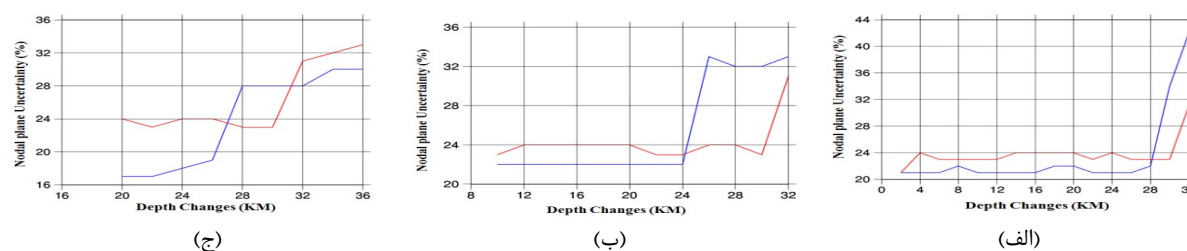
| Event | Origin Time | Latitude (°) | Longitude (°) | Depth (Km) | Epicenter | Az. Gap (°) | RMS (Sec) | ERZ (Km) | ERH (Km) |
|-------|-------------------|--------------|---------------|------------|-----------|-------------|-----------|----------|----------|
| 1 | 000101 0000 -0.02 | 35.3016 | 51.42 | 2 | A | 62 | 0.11 | 0.9 | 0.5 |
| 2 | 000101 0000 -0.03 | 35.004 | 52.30 | 2 | B | 131 | 0.11 | 1.4 | 0.8 |
| 3 | 000101 0000 0.09 | 34.3030 | 52.59 | 2 | C | 219 | 0.12 | 3.1 | 2.2 |
| 4 | 000101 0000 0.26 | 34.014 | 53.30 | 2 | D | 276 | 0.12 | 3.3 | 3.3 |
| 5 | 000101 0000 -0.02 | 35.3016 | 51.42 | 10 | A | 62 | 0.11 | 1.1 | 0.5 |
| 6 | 000101 0000 0.06 | 34.5999 | 52.30 | 10 | B | 131 | 0.12 | 2.1 | 0.9 |
| 7 | 000101 0000 0.12 | 34.3025 | 52.59 | 10 | C | 219 | 0.12 | 3.6 | 2.1 |
| 8 | 000101 0000 0.25 | 34.0030 | 53.30 | 10 | D | 276 | 0.12 | 3.8 | 3.2 |
| 9 | 000101 0000 -0.01 | 35.3015 | 51.42 | 20 | A | 62 | 0.11 | 1.1 | 0.6 |
| 10 | 000101 0000 -0.03 | 35.004 | 52.30 | 20 | B | 131 | 0.11 | 2.4 | 0.9 |
| 11 | 000101 0000 0.08 | 34.3030 | 52.59 | 20 | C | 219 | 0.12 | 3.4 | 1.9 |
| 12 | 000101 0000 0.21 | 34.0068 | 53.30 | 20 | D | 275 | 0.11 | 2.8 | 2.9 |

جدول ۲: مشخصات ۴ رویداد واقعی رخ داده در منطقه‌ی مورد مطالعه

| Event | Longitude | Latitude | Depth | Magnitude | |
|-------|-----------|----------|----------|-----------|-------|
| 1 | 2007 6 19 | 50.86417 | 34.49283 | 19.100 | 4.400 |
| 2 | 2009 8 15 | 52.06533 | 36.36917 | 19.970 | 3.800 |
| 3 | 2001 5 23 | 51.12717 | 33.55583 | 8.100 | 3.700 |
| 4 | 2002 5 21 | 51.68517 | 36.34233 | 12.030 | 4.100 |



شکل ۲: بررسی تاثیر تغییرات مشاهدات جنبش اولین رسید موج P (درصد) بر عدم قطعیت سازوکار کانونی تعیین شده (درصد). شکل (الف) مربوط به دو رویداد با عمق کانونی ۲ کیلومتر، شکل (ب) مربوط به دو رویداد با عمق کانونی ۱۰ کیلومتر و شکل (ج) مربوط به دو رویداد با عمق کانونی ۲۰ کیلومتر هستند. خطوط زرد رنگ مربوط به رویدادهایی که رومرکز آنها، در نقطه‌ی a قرار دارد و خطوط قرمز رنگ مربوط به رویدادهایی که رومرکز آنها در نقطه‌ی b قرار دارد.



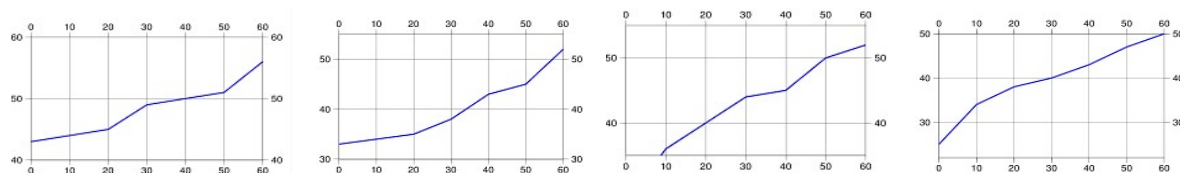
شکل ۳: بررسی تاثیر تغییرات عمق کانون زمین‌لرزه (کیلومتر) بر عدم قطعیت سازوکار کانونی تعیین شده (درصد). شکل (الف) مربوط به دو رویداد با عمق کانونی ۲ کیلومتر، شکل (ب) مربوط به دو رویداد با عمق کانونی ۱۰ کیلومتر و شکل (ج) مربوط به دو رویداد با عمق کانونی ۲۰ کیلومتر. خطوط آبی رنگ مربوط به رویدادهایی که رومرکز آنها در نقطه‌ی a قرار دارد و خطوط قرمز رنگ مربوط به رویدادهایی که رومرکز آنها در نقطه‌ی b قرار دارد.

در این روش مدل سرعتی مورد استفاده در محاسبات زاویه‌ی برخاست برای تعیین موقعیت مشاهدات روی کره‌ی کانونی و در نتیجه تعیین سازوکار کانونی، حائز اهمیت است. تاثیر این عامل بر عدم قطعیت سازوکار تعیین شده در پنج مرحله با ۰.۱، ۰.۵، ۱.۰، ۲.۰، ۴.۰ و ۸.۰٪ افزایش خطای مدل سرعتی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳)

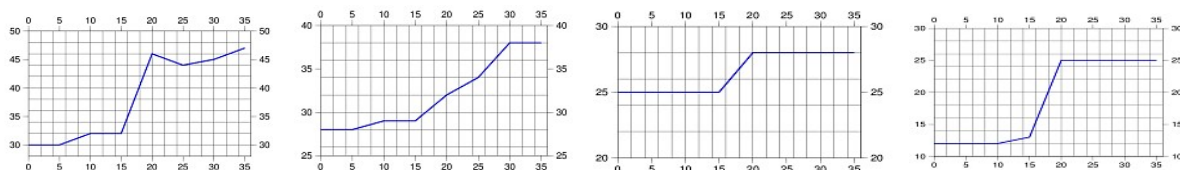
جدول ۳: تاثیر خطای مدل سرعتی بر درصد عدم قطعیت سازوکار کانونی تعیین شده. ستون‌های ۶ تا ۱۱ درصد عدم قطعیت سازوکار کانونی تعیین شده به ترتیب با افزایش 0.5% ، 1.0% ، 2.0% ، 4.0% و 8.0% خطای مدل سرعتی را نشان می‌دهد.

| Event | Longitude (°) | Latitude (°) | Depth (Km) | Epicenter | Nodal Plane Uncertainty (%) | | | | | |
|-------|---------------|--------------|------------|-----------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | | | | Velocity Model Miss-fit 0% | Velocity Model Miss-fit 5% | Velocity Model Miss-fit 10% | Velocity Model Miss-fit 20% | Velocity Model Miss-fit 40% | Velocity Model Miss-fit 80% |
| 1 | 51.4206 | 35.301 | 2 | A | 30 | 38 | 38 | 38 | 49 | 52 |
| 2 | 52.3003 | 35.004 | 2 | b | 41 | 41 | 41 | 45 | 45 | 51 |
| 3 | 51.4206 | 35.301 | 10 | A | 41 | 42 | 43 | 42 | 49 | 51 |
| 4 | 52.3010 | 34.599 | 10 | b | 13 | 13 | 14 | 14 | 13 | 16 |
| 5 | 51.4208 | 35.3015 | 20 | A | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 6 | 52.3003 | 35.004 | 20 | b | 22 | 22 | 22 | 21 | 21 | 22 |

پس از تعیین سازوکار کانونی ۴ رویداده رخ داده در منطقه‌ی مورد مطالعه از طریق قطبش اولین رسید موج P با استفاده از نرم‌افزار Hash، تاثیر خطای تعیین قطبش اولین رسید موج P (شکل ۴) و خطای مکان کانون زمینلرزه (شکل ۵) بر عدم قطعیت سازوکارها مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۴: تاثیر تغییرات خطای قطبش اولین رسید موج P (نمودار افقی) بر درصد عدم قطعیت سازوکارها (نمودار قائم) برای رویدادهای ۱، ۲، ۳ و ۴ در جدول ۲.



شکل ۵: تاثیر تغییرات خطای مکان کانون زمینلرزه (نمودار افقی) بر درصد عدم قطعیت سازوکارها (نمودار قائم) برای رویدادهای ۱، ۲، ۳ و ۴ در جدول ۲.

۳ نتیجه‌گیری:

در تعیین سازوکار کانونی زمینلرزه‌ها با استفاده از قطبش اولین رسید موج P پراکندگی ایستگاه‌ها بسیار حائز اهمیت است. با توجه به تغییرات نمودارها در شکل‌های ۲ و ۴ خطا در مشاهدات جنبش اولین رسید موج P با افزایش عدم قطعیت سازوکار کانونی رابطه مستقیم دارد. همچنین با توجه به نمودارهای شکل‌های ۳ و ۵ افزایش خطا در تعیین محل کانون زمینلرزه باعث افزایش عدم قطعیت در تعیین سازوکار کانونی رویداد می‌شود. با توجه به جدول ۳، افزایش خطای مدل سرعتی به ویژه در اعماق کم باعث افزایش عدم قطعیت سازوکارهای بدست آمده می‌شود.

منابع:

- Hardebeck, J. L., and Shearer, P. M., 2002, A new method for determining first-motion focal mechanisms: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**, 2264–2276.
- Hardebeck, J. L., and Shearer, P. M., 2003, Using S/P amplitude ratios to constrain the focal mechanisms of small earthquakes: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **93**, 2434–2444
- Mckenzie, D. P., 1972, Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophysical Journal International*, **30**, (2), 109-185.
- Mirzaei, N., Gao, M., Chen, Y. T., 1998, Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces. *Journal of Earthquake prediction Research*, **7**, 465-495.
- Reasenber, P., Oppenheimer, D., 1985, FPFIT, FPLOT and FPPAGE: FORTRAN computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions: U.S. Geological Survey Open-File Rept, 109, 85-730.
- Shearer, P. M., 1998, Evidence from a cluster of small earthquakes for a fault at 18 km depth beneath Oak Ridge, southern California: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **88**, 1327–1336.
- Tatar, M., Jackson, J., Hatzfeld, D. and Bergman, E., 2007, The 28 May 2004 Baladeh earthquake (M_w 6.2) in the Alborz, Iran: implications for the geology of the South Caspian and for the seismic hazard of Tehran: *Geophysical Journal International*, **170**, (1), 249–261.