Archive of SID

انجمن زمین ساخت و زمین شناسی ساختاری ایـــران
TECTONIC & STRUCTURAL GEOLOGY ASSOCIATION OF IRAN

تاثیر پارامترهای مختلف بر محاسبه ی سازوکار کانونی زمین لرزه ها در نرم افزار ایزولا

◇◇◇◇◇◇◇

◇◇◇◇◇◇◇

چکیده :

انتخاب مناسب و بهینه سازی پارامترهای ورودی مورد استفاده در وارون سازی شکل موج، نقش مهم و اساسی در نتایج سازوکار کانونی زمین لرزه محاسبه شده دارد. در این پژوهش، چندین پارامترهای مختلف در محاسبات وارون سازی را برای تعداد سه زمین لرزه در نرم افزار ایزولا تغییر داده ایم تا تاثیر این متغیرها را در نتیجه ی محاسبات خروجی بررسی نمائیم. این پارامترها عبارتند از مدل سرعتی پوسته، تعداد ایستگاه ها، آرایش ایستگاه ها و محدوده ی فیلترهای فرکانسی در وارون سازی. همچنین سعی شده است تا نقش تصحیح سطحی و عمقی کانون زمین لرزه‌ها در بهبود نتایج سازوکار کانونی آنها مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا، از شاخص هایی چون دو زوج نیرو (DC) و تغییرپذیری سازوکار کانونی (FMVAR) جهت کنترل کیفیت نتایج بهره برده شده است. نتایج این تحقیق نشان دهنده آن است که در صورتیکه کیفیت شکل موج ها مناسب باشد، توزیع و تعداد ایستگاهها تاثیر چندانی بر کیفیت نتایج خروجی ندارد. ضمن آنکه انتخاب صحیح بازه فرکانسی برای فیلترهای وارون سازی و مشخصات چشمه موج، نقش کلیدی در بهبود کیفیت نتایج بازی می کنند.

کلید واژه ها: سازوکار کانونی زمین لرزه، وارون سازی شکل موج، مدل سرعتی پوسته، فیلترهای فرکانسی

Effect of variable parameters on focal mechanism solution calculation in ISOLA software

Mehrdad Shalou*, mehrdad.shalou@gmail.com
Mohamad Reza Sepahvand*, Iraj Abdolahi Fard**, Mehdi Tavakoli Yaraki**, Fatemeh Sadat Tayeb Hoseini*, Seyed Abolfazl Miri**
*Kerman Graduated University of Advanced Technology, **NIOC-Exploration Directorate

Abstract:

Suitable choice and optimization of parameters in waveform inversion method are important in focal mechanism solution results. In this study, we have changed several parameters for three different earthquake events to analyze their influence on final results. These parameters include crustal velocity model, number and pattern of stations, and frequency range. Furthermore, we have tried to show the role of epicenter and hypocenter correction in improvement of focal mechanism solution results. We have used DC and FMVAR indexes to measure quality of results. The study shows, while the quality of waveforms is good, number and pattern of stations have negligible effect on final results. In addition, accurate selections of the frequency range in inversion and also source position have a key role in improving of final results.

Keywords: Focal Mechanism Solution, waveform inversion, Crustal Velocity Model, Frequency Filters

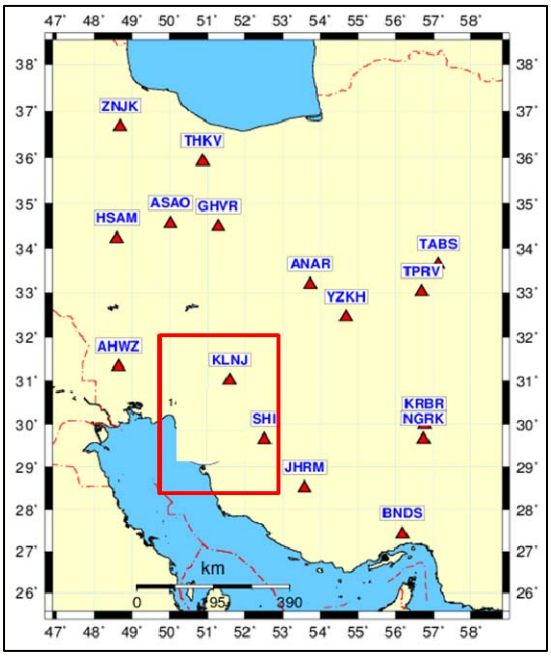
◇◇◇◇◇◇◇

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه :

در این پژوهش سعی شده است تا تاثیر چندین متغیر مورد استفاده در نرم افزار ایزولا، بر نتایج محاسبات سازوکار کانونی زمین لرزه ها، برای سه رویداد زمین لرزه ای انتخابی در بخشی از فروبار دزفول جنوبی مورد بررسی قرار گیرد (شکل 1). این زمین لرزه ها در سالهای 2014 و 2015 با بزرگای M_w>4.5 در محدوده مورد مطالعه روی داده اند. این زمین لرزه ها از لحاظ کیفیت شکل موج و پراکندگی ایستگاه ها مناسب بوده و شکل موج های آنها از اطلاعات ایستگاههای باند پهن موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین المللی زلزله گرفته شده است.



شکل 1: موقعیت محدوده مورد مطالعه و ایستگاههای لرزه نگاری اطراف آن

◇◇◇◇◇◇◇

بحث و روش تحقیق:

در این پژوهش، سه زمین لرزه در نرم افزار ایزولا (ISOLA) بصورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته اند. برای مقایسه کیفیت نتایج خروجی، از شاخص های کمی یکسانی استفاده شده است که در زیر به آنها اشاره می شود.

- شاخص تغییر پذیری سازوکار کانونی (FMVAR)

مقدار این شاخص برابر میانه کل K-angle های محاسبه شده می باشد و میزان بالای آن مبین افزایش در عدم قطعیت سازوکار کانونی محاسبه شده است.

- شاخص تغییر پذیری فضایی-زمانی (STVAR)

این شاخص، سطحی از ناحیه ی نقشه همبستگی می باشد که توسط آستانه ی همبستگی معینی اشغال شده است و مکمل شاخص FMVAR می باشد. مطلوب است که میزان این دو شاخص کوچک باشند تا نتایج به دست آمده قطعیت بیشتری یابند.

- کاهش واریانس (V.R)

www.SID.ir

Archive of SID

این شاخص، نسبت بین کل شکل موج های مشاهده شده به شکل موج های محاسبه شده تمام ایستگاه ها است که از رابطه ی $VR = 1 - \sum(O - S)^2 / \sum O^2$ محاسبه می شود که O شکل موج مشاهده ای و S شکل موج محاسبه شده می باشد.

- دو زوج نیرو (DC)

مولفه ی دو زوج نیرو، تانسورگشتاور لرزه ای است که مقدار پایین آن می تواند مبین خطا در محاسبه ی سازو کار کانونی زمین لرزه و یا به دلیل انحنای گسل، پیچیدگی چشمه و ... باشد.

الف- وارد کردن رویداد

در این مرحله، ابتدا مشخصات چشمه ی لرزه ای از سایت های سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) ، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IRSC)، پژوهشگاه بین المللی زلزله (IIEES) و مرکز لرزه نگاری اروپا - مدیترانه (EMSC) دریافت و مشخصات هر رویداد بطور مجزا وارد گردید. سپس با استفاده از مشخصات رویداد اخذ شده از موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، برای عمق های بین 5 الی 15 کیلومتر به فاصله هر یک کیلومتر، تصحیح سطحی انجام و بهترین نتیجه به عنوان عمق بهینه در نظر گرفته شد. در تصحیح سطحی فاصله ی بین نقاط محتمل در سطح، 2 کیلومتر بوده و بهترین محل به عنوان محل تصحیح شده برای محاسبات جدید به کار برده شد (Patra Adamova et. al., 2007). در جدول1 و شکل 2، مشخصات هر یک از سه رویداد زمین لرزه دریافت شده از منابع مختلف به همراه بهترین نتیجه حاصل از این تحقیق آورده شده است.

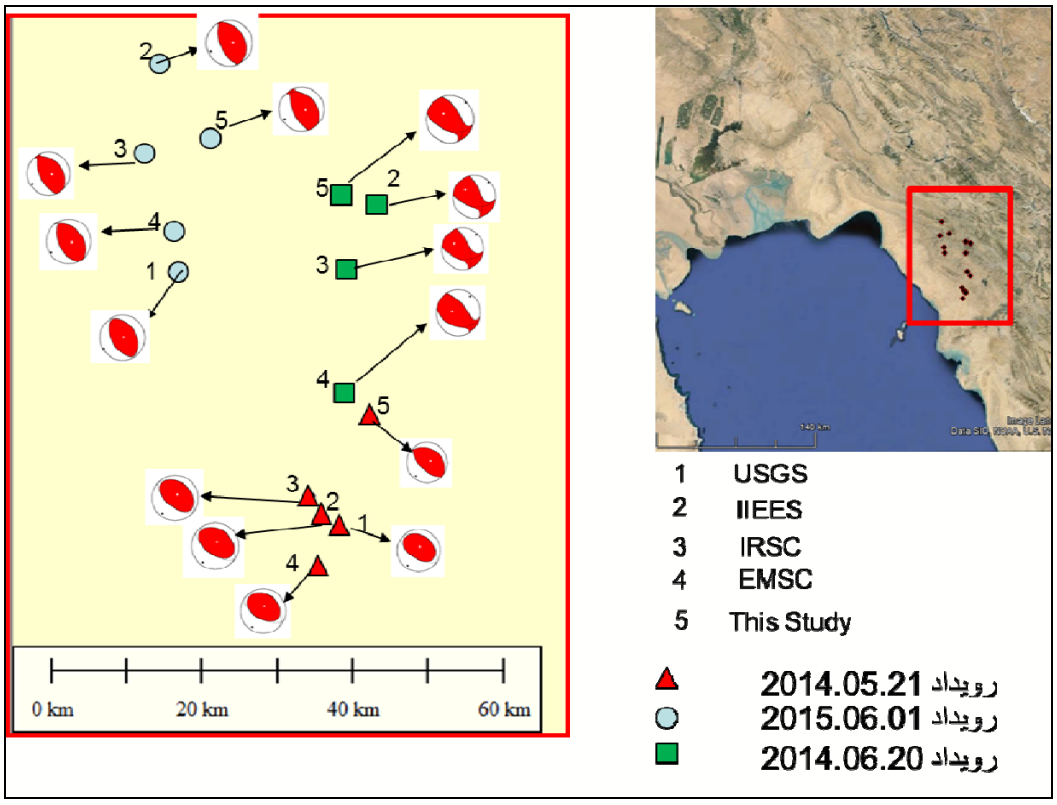
جدول1: مشخصات هر یک از سه رویداد زمین لرزه دریافت شده از منابع مختلف به همراه بهترین نتیجه حاصل از این پژوهش

Ref.	Strike, dip, rake	Depth	STVAR	FMVAR	DC%	correlation	V.R	Focal mechanism
زمین لرزه 2014.05.21								
USGS	312 , 30 , 99 122 , 60 , 85	6	0.21	5	78.3	0.7984	0.6	
IIEES	312 , 30 , 96 125 , 60 , 87	6	0.21	4	81.7	0.8197	0.64	
IRSC	310 , 31 , 91 129 , 59 , 89	6	0.21	4	86.3	0.8416	0.67	
EMCS	314 , 30 , 103 119 , 61 , 83	6	0.23	5	71.8	0.7601	0.54	
This study	302 , 32 , 81 133 , 58 , 96	5.5	0.27	3	99	0.8685	0.73	
زمین لرزه 2015.06.01								
USGS	329 , 40 , 89 150 , 50 , 91	8	0.3	14	97.4	0.615	0.22	

www.SID.ir

Archive of SID

IIEES	331 , 32 , 84 158 , 58 , 94	9	0.37	8	98.2	0.66	0.28	
IRSC	317 , 36 , 74 157 , 56 , 101	9	0.32	7	96.9	0.8328	0.42	
EMCS	320 , 38 , 78 155 , 53 , 99	8	0.31	11	99.4	0.7267	0.3	
This study	315 , 34 , 71 158 , 58 , 102	8	0.23	3	92.9	0.8428	0.44	
زمین لرزه 2014.06.20								
IIEES	346 , 64 , 140 96 , 55 , 32	14	0.23	8	74.9	0.8207	0.38	
IRSC	342 , 63 , 134 97 , 50 , 36	14	0.26	10	60.5	0.7631	0.34	
EMCS	324 , 58 , 114 104 , 39 , 57	11	0.29	11	80.2	0.5237	0.18	
This study	338 , 53 , 127 107 , 50 , 51	12	0.16	10	74.7	0.8553	0.43	



شکل2: مشخصات هر یک از سه رویداد زمین لرزه بر اساس منابع مختلف به همراه بهترین نتیجه حاصل از این پژوهش

www.SID.ir

Archive of SID

ب- تاثیر فاصله و توزیع نامناسب ایستگاه ها بر سازوکار کانونی

در این مرحله، دو حالت در نظر گرفته شده است. در حالت اول، ایستگاهها بگونه ای انتخاب شده اند که دارای گپ آزیموتی 270 درجه باشند. به عبارت دیگر، توزیع ایستگاههای گیرنده بطور نامناسب و همگی در بازه 90 درجه ای نسبت به محل رویداد انتخاب شده اند. در حالت دوم، تنها ایستگاه هایی انتخاب شده اند که از مرکز سطحی زمین لرزه فاصله ای بیشتر از 500 کیلومتر داشته اند. به این ترتیب، در حالت اول اثر توزیع نامناسب ایستگاههای گیرنده زمین لرزه و در حالت دوم اثر فاصله ایستگاهها بر نتایج خروجی حل کانونی هر زمین لرزه واحد بررسی شده است. در هر مورد، بهترین نتیجه حاصل از تحقیق که پیشتر در جدول 1 آورده شده بود، جهت مقایسه ذکر شده است.

جدول2: حالت 1 و2 به ترتیب مبین تاثیر توزیع نامناسب ایستگاه های گیرنده و فاصله آنها بر نتایج سازوکار کانونی هر زمین لرزه می باشد.

Ref.	Strike, dip, rake	Depth	STVAR	FMVAR	DC%	correlation	V.R	Focal mechanism
زمین لرزه 2014.05.21								
Case 1	299 , 33 , 74 138 , 58 , 100	6	0.28	4	99.2	0.9424	0.88	
Case 2	278 , 41 , 38 157 , 66 , 124	2.5	0.22	18	99.5	0.9117	0.81	
Best Result	302 , 32 , 81 133 , 58 , 96	5.5	0.27	3	99	0.8685	0.73	
زمین لرزه 2015.06.01								
Case 1	327 , 37 , 87 151 , 53 , 92	9	0.39	19	88.4	0.9040	0.7	
Case 2	331 , 35 , 95 145 , 55 , 87	6	0.36	34	49.8	0.8725	0.3	
Best Result	315 , 34 , 71 158 , 58 , 102	8	0.23	3	92.9	0.8428	0.44	
زمین لرزه 2014.06.20								
Case 1	338 , 60 , 123 106 , 43 , 47	6	0.17	8	80.2	0.8973	0.79	
Case 2	349 , 58 , -166 251 , 78 , -33	3	0.30	35	65.2	0.8833	0.77	
Best Result	338 , 53 , 127 107 , 50 , 51	12	0.16	10	74.7	0.8553	0.43	

www.SID.ir

Archive of SID

ج- متغیر ورودی مدل سرعتی پوسته

در این تحقیق به دلیل اینکه ایستگاه ها به صورت منطقه ای و در فاصله ی دور می باشند، از مدل سرعت پوسته محلی استفاده نشده و تنها از دو مدل سرعت پوسته موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین المللی زلزله جهت تاثیر مدل سرعتی پوسته بر پارامتر های کیفی بهره برده ایم.

جدول 3 : محاسبه سازوکار کانونی بر اساس دو مدل سرعت پوسته تهیه شده در موسسه ژئوفیزیک و پژوهشگاه بین المللی زلزله

Ref.	Strike, dip, rake	Depth	STVAR	FMVAR	DC %	correlation	V.R	Focal mechanism
زمین لرزه 2014.05.21								
IIEES	303 , 34 , 82 133 , 56 , 95	5.5	0.26	3	96.2	0.8597	0.71	
IRSC	302 , 32 , 81 133 , 58 , 96	5.5	0.27	3	99	0.8685	0.73	
زمین لرزه 2015.06.01								
IIEES	316 , 35 , 71 159 , 57 , 103	8	0.33	6	92.7	0.8494	0.44	
IRSC	311 , 37 , 67 159 , 56 , 106	9	0.31	6	91.4	0.8554	0.44	
زمین لرزه 2014.06.20								
IIEES	338 , 53 ,128 106 , 51 , 51	12	0.17	10	71.6	0.8484	0.42	
IRSC	338 , 53 , 127 107 , 50 , 51	12	0.16	10	74.7	0.8553	0.43	

د- تغییر فرکانس فیلترها در مرحله وارون سازی

در قسمت وارون سازی از فیلتر میان گذر (Band Pass) برای فیلتر کردن شکل موج های مشاهده ای و محاسبه شده استفاده می شود که تغییر مقادیر این فیلترها، تاثیر قابل ملاحظه ای بر پارامتر های کمی و سازوکار کانونی در نرم افزار ایزولا می گذارد. در جدول 4، در حالت اول مقادیر فرکانسی فیلترهای f1 تا f4 را به ترتیب 0.025، 0.03، 0.06 و 0.065 برای همه ایستگاهها بطور یکسان در نظر گرفته ایم.

در حالت دوم، مقادیر f1 تا f4 به ترتیب 0.05، 0.06، 0.08 و 0.09 برای تمام ایستگاهها بر اساس Sokos and Zahradník, 2013 در نظر گرفته شده است. حد f1 برای ایستگاه های دورتر و منطقه ای، فرکانس 0.05 می تواند باشد. ضمن آنکه، در ایستگاههای با فواصل 1 ، 100 و 1000 کیلومتر به ترتیب فرکانس 1، 0.1 و 0.01 هرتز به عنوان حد f4 تعیین شده است.

در حالت سوم، فرکانسهای f1 تا f4 برای هر ایستگاه، بطور مجزا بر اساس جدایش منحنیهای سیگنال از نوفه انتخاب و محاسبات انجام شده است. (شکل 3)

www.SID.ir

Archive of SID

	station	Frequency band	Strike, dip, rake	Depth	STVAR	FMVAR	DC%	correlation	V.R	Focal mechanism
زمین لرزه 2014.05.21										
1	All station	0.025-0.03-0.06-0.065	302 , 32 , 81 133 , 58 , 96	5.5	0.27	3	99	0.8685	0.73	
2	All station	0.05-0.06-0.08-0.09	304 , 22 , 82 133 , 68 , 93	4	0.25	14	84.4	0.8406	0.61	
3	SHI,JHRM, NGRK KLNJ,YZKH, KRBR AHWZ,ANAR, GHVR,ASAO, HSAM,TPRV, THKV TABS,ZNJK	0.03-0.035-0.065-0.07 0.025-0.03-0.06-0.065 0.02-0.025-0.055-0.06 0.015-0.02-0.05-0.055	300 , 33 , 81 131 , 57 , 96	6	0.18	2	96.3	0.8809	0.75	
زمین لرزه 2015.06.01										
1	All station	0.025-0.03-0.06-0.065	315 , 34 , 71 158 , 58 , 102	8	0.21	3	93.1	0.8508	0.21	
2	All station	0.05-0.06-0.08-0.09	301 , 37 , 55 162 , 60 , 113	11	0.29	18	45.6	0.7532	0.41	
3	KLNJ,JHRM AHRM SHI,SHK1, BMDN,KRBR YZKH,GHVR ASAO,DAMV, THKV,ZNJK	0.03-0.035-0.065-0.07 0.04-0.045-0.075-0.08 0.02-0.025-0.055-0.06 0.025-0.03-0.06-0.065 0.015-0.02-0.05-0.055	311 , 37 , 67 159 , 56 , 106	9	0.31	6	91.4	0.8554	0.44	
زمین لرزه2014.06.20										
1	All station	0.025-0.03-0.06-0.065	338 , 53 , 127 107 , 50 , 51	12	0.16	10	74.7	0.8553	0.43	
2	All station	0.05-0.06-0.08-0.09	354 , 61 , 150 100 , 64 , 33	14	0.09	12	41.3	0.7151	0.3	
3	KLNJ SHI,ROKH, JHRM AHWZ,LMD1, LAR1,ANAR,	0.04-0.045-0.075-0.08 0.03-0.035-0.065-0.07 0.02-0.025-0.055-0.06	342 , 52 , 133 105 , 55 , 49	10	0.15	7	64.2	0.8595	0.45	

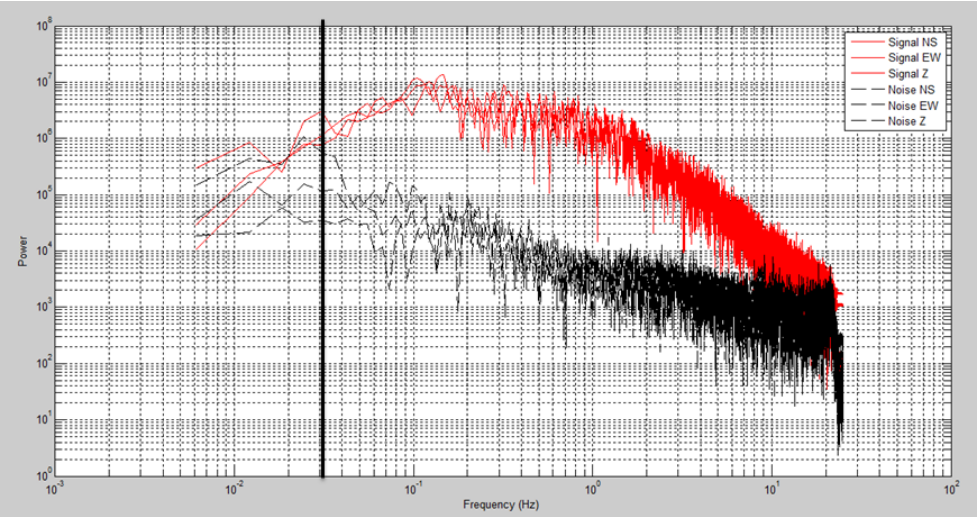
آدرس: میدان آزادی، بلوار معراج، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
www.gsi.ir
تلفن: ۶۶۰۷۰۵۰۹-۰۲۱

www.SID.ir

Archive of SID

	BMDN.ASAO, NGRK GHVR, KRBR	0.015-0.02-0.05-0.055								

جدول4- تاثیر تغییر فرکانس فیلترها بر نتایج تحلیل حل کانونی سه زمین لرزه



شکل3: انتخاب فرکانس فیلتر f1 بر اساس جدایش منحنی های سیگنال از نوفه برای ایستگاه ROKH

◇◇◇◇◇◇◇

نتیجه گیری :

نتایج این پژوهش نشان می دهد که با تغییر پارامتر های وارون سازی شکل موج زمین لرزه ها در نرم افزار ایزولا، نتایج خروجی به شدت دستخوش تغییر قرار می گیرد که در زیر به برخی از آنها اشاره می شود:

1- پس از انجام تصحیح سطحی در عمق های مختلف و رسیدن به عمق بهینه، شاخصهای کمی حل کانونی زمین لرزه ها بهبود شایانی می یابند.

2- با انتخاب صرفاً ایستگاه های با فاصله بیشتر از 500 کیلومتر از مرکز سطحی زمین لرزه ، افت شدیدی در شاخص های کمی رخ می دهد. ضمن آنکه در ایستگاه های با توزیع مکانی نا مناسب و نزدیک تر به مرکز سطحی، سازو کار کانونی تغییر چندانی نمیکند.

3- با وارد کردن دو مدل سرعتی پوسته متفاوت، تغییرات کمی در پارامتر های کیفی و سازو کار کانونی مشاهده می شود که میتواند به دلیل تفاوت کم در سرعت این دو مدل باشد.

4- به دلیل فاصله ی زیاد ایستگاه ها از چشمه زمین لرزه، بازه فرکانسی فیلتر های وارون سازی در فرکانس های بالا باعث کاهش کیفیت شاخص های کمی می شود و همچنین با انتخاب فیلتر بر اساس جدایش منحنی سیگنال از نوفه نشان می دهد که شاخص بیشترین همبستگی و V.R در این فیلتر افزایش می یابد.

◇◇◇◇◇◇◇

www.SID.ir

Archive of SID

References:

Sokos, E. N., and J. Zahradník ., 2008. *"ISOLA a FORTRAN code and a MATLAB GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data"*, Comput. Geosci. 34, 967–977.

Zahradnic, J., Sokos, E., Tselentis G.-A., and Martakis, N., 2008. *" Non-double-couple mechanism of moderate earthquakes near Zakynthos, Greece, April 2006: Explanation interms of complexity". Geophysical Prospecting* 56, 341-356.

Sokos, E., Zahradnic, J., 2013. *"Evaluating Centroid-Moment-Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software".* Seismological Research Letters Volume 84, Number 4

Adamova, P., Sokos, E., Zahradnik, J.,2008. *"Problematic non-double-couple mechanism of the 2002 Amfilochia Mw5 earthquake, Western Greece".* Springer Science

www.SID.ir