

لرزه‌خیزی کمان لرستان در کمربند ساده چین‌خورده زاگرس

محمد رضا جمال ریحانی^۱، عبدالرضا قدس^۲، سید خلیل متقی^۳، اسماعیل شهابیان^۴، مرتضی طالبیان^۵، لینگ چن^۶

^۱ فارغ التحصیل ژئوفیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان و دانشجوی دکتری زلزله شناسی، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

m.jamalreyhani@ut.ac.ir

^۲ دانشیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، ایران *aghods@iasbs.ac.ir*

^۳ استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، ایران *kmotaghi@iasbs.ac.ir*

^۴ استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، ایران *shabnian@iasbs.ac.ir*

^۵ استادیار پژوهشگر، مرکز زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران *talebian@gsi.ir*

^۶ پروفیسور، مرکز زمین‌شناسی و ژئوفیزیک، آکادمی علوم چین *cl7111@gmail.com*

چکیده

در نوامبر سال ۲۰۱۳، پنج زمین‌لرزه با بزرگی متوسط در منطقه کمان لرستان رخ دادند. پیشانی دگرشکلی زاگرس در کمان لرستان از جمله مناطقی است که رابطه میان لرزه‌خیزی و ساختارهای فعالش ناشناخته است. در این مطالعه ما با استفاده از شبکه ایران-چین و شبکه لرزه‌نگاری عراق، زمین‌لرزه اصلی و پس‌لرزه‌های آن را به روش تک‌رویدادی و چندرویدادی مکان-یابی کردیم، با روش معکوس‌سازی تانسور ممان و روش اولین رسید موج طولی، سازوکار کانونی پنج زمین‌لرزه بزرگتر از ۴/۵ را بدست آوردیم و ساختار سرعتی در منطقه مورد مطالعه را با استفاده از برگردان همزمان توابع گیرنده و منحنی پاشش به مدل‌های سرعتی، در زیر دو ایستگاه زلزله‌نگاری نزدیک خوشه محاسبه کردیم. مکانیسم‌های بدست آمده از وارون‌سازی گسله-های معکوس با شیب ۲۳ تا ۳۹ درجه به سمت شمال‌خاور و خاور هستند. عمق سنتروئید و عمق کانونی برای هر پنج رخداد برابر ۱۴ کیلومتر بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که در جبهه‌ی دگرشکلی کمان لرستان ضخامت سنگ‌های رسوبی کمتر از ۸ کیلومتر است و زمین‌لرزه‌های رخ داده در جبهه‌ی دگرشکلی کمان لرستان همگی در پی‌سنگ کریستالی روی می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: کمان لرستان، لرزه‌خیزی، پی‌سنگ، مدل‌سازی سرعتی، تابع گیرنده، قصرشیرین

Seismicity in the Lurestan Arc of Zagros Simply Folded Belt

Jamalreyhani, M.¹ Ghods, A.² Motaghi, K.³, Shabnian, E.⁴ Talebian, M.⁵, Chen, L.⁶

¹ MSc. Graduate Student of Geophysics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran and currently Ph.D. Student of Seismology, Department of Earth Science, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran.

m.jamalreyhani@ut.ac.ir

² Associate Professor, Department of Earth Science, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran
E-mail address: *aghods@iasbs.ac.ir*

³ Assistant Professor, Department of Earth Science, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran
E-mail address: *kmotaghi@iasbs.ac.ir*

⁴ Assistant Professor, Department of Earth Science, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran
E-mail address: *shabnian@iasbs.ac.ir*

⁵ Institute of Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran
E-mail address: *talebian@gsi.ir*

⁶ Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China
E-mail address: *cl7111@gmail.com*

Abstract

One of the main issues in Zagros is the extent that basement and the thick sedimentary layer participate in the observed seismicity. During Nov. 2013, five magnitude ~5 Mw events hit a region in the western end of Lurestan arc of Simply Folded Belt (SFB) of Zagros. We used the Iran-China temporary network to relocate the events using a multiple event relocation method, calculate regional moment tensor and center of depths for the five moderate events and estimate a velocity model for the two nearby seismic stations using joint inversion of the receiver functions and dispersion curves. Our results show a seismic cluster of about 30 km long and 15 km width. The moment tensor solutions of the five moderate events indicate an almost pure thrust mechanism. The aftershock cloud indicate a low angle east dipping fault plane (i.e., dip in the range of 23° - 39°) as the

causative fault plane. The calculated centeroid of all the five moderate events are about 14 km and the focal depth of all events calculated by multiple event relocation are about 10-16 km. The results indicate that the thickness of sedimentary column is less than 8 km and thus showing the whole seismic cluster happened within the basement. This observation proves wrong the hypothesis of vertical separation of mainshock and aftershocks in SFB of Zagros (Nissen et al. 2011) and implies that in the Lurestan arc the sedimentary layers are deformed aseismically.

Keywords: (Lurestan arc, Seismicity, Basement, Receiver function, Qasre-Shirin)

۱ مقدمه

یکی از سوال‌های مهم در زاگرس ارتباط زمین‌لرزه‌های اصلی و پس‌لرزه‌های آنها با شکستگی‌های پوشش رسوبی و گسله‌های پی‌سنگی است (مک‌کواری و همکاران، ۲۰۰۳). نیسن و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه قشم و با استفاده از سه مجموعه داده (پس‌لرزه‌ها، داده‌های دورلرز و داده‌های اینسار) نشان دادند که زمین‌لرزه‌های اصلی در عمق ۵ تا ۱۰ کیلومتری در پوشش رسوبی و پس‌لرزه‌ها در نتیجه استرس ناشی از زمین‌لرزه‌ی اصلی با عمق بیشتر از ۱۲ کیلومتر در پی‌سنگ رخ داده‌اند. با تکیه بر این مشاهده، نیسن و همکاران (۲۰۱۰) جدایی عمقی بین زمین‌لرزه‌های اصلی و پس‌لرزه‌ها در منطقه قشم را مطرح کردند. در مطالعه نیسن و همکاران (۲۰۱۰)، عمق سنترئوئید برای ۱۱ زمین‌لرزه اصلی با بزرگی گشتاوری ۵-۶ با استفاده از داده‌های دورلرز محاسبه شده و عمق کانونی برای پس‌لرزه‌ها با استفاده از داده‌های محلی تعیین شده است. نیسن و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های شبکه‌های محلی نشان دادند که توزیع عمقی میکرولرزه‌خیزی در هشت منطقه در زاگرس در اعماق بیش از ۱۰ و تا عمق ۲۰ کیلومتر است و حتی در بعضی مناطق به ۳۰ کیلومتر هم می‌رسد. آنها با استفاده از داده‌های دورلرز به این نتیجه رسیدند که عمق سنترئوئید برای زمین‌لرزه‌های با بزرگی بیشتر از پنج در زاگرس چین‌خورده ساده، بین ۱۴-۴ کیلومتر است و به ندرت به ۲۰ کیلومتر می‌رسد. بنابراین به اعتقاد نیسن و همکاران (۲۰۱۱) ایده جدایش عمقی زمین‌لرزه‌های اصلی از پس‌لرزه‌ها را می‌توان برای تمام زون چین‌خورده ساده تعمیم داد.

برای تفسیر درست نتایج نیاز به دانستن ضخامت دقیق رسوبات داریم که متأسفانه این کار انجام نشده و تنها به ضخامت ستون چینه‌شناسی گزارش شده از کارهای زمین‌شناسی قبلی که دقیق نیستند استناد شده است. همچنین دلیل فیزیکی قانع‌کننده‌ای از طرف نیسن و همکارانشان بر اینکه پی‌سنگ زاگرس در وقوع زمین‌لرزه‌های با بزرگی متوسط شرکت نمی‌کند، ذکر نشده است. برای مثال نیسن و همکاران (۲۰۱۱) بر این اعتقادند که پی‌سنگ در وقوع زمین‌لرزه‌های با بزرگی متوسط (۵-۶) نقشی ندارد. با توجه به اینکه اکثر زمین‌لرزه‌های زاگرس بزرگی کمتر از ۶ دارند، و پس‌لرزه‌ها باعث آزاد شدن انرژی زیادی نمی‌شوند، معلوم نیست کوتاه‌شدگی در پی‌سنگ چگونه جبران می‌شود.

از مهرماه سال ۱۳۹۲ الی آبان‌ماه سال ۱۳۹۳، شبکه لرزه‌نگاری ایران-چین به منظور مطالعه‌ی ساختار پوسته در راستای عمود بر کمربند البرز و زاگرس با همکاری دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، سازمان زمین‌شناسی ایران و آکادمی علوم چین نصب شد. این شبکه متشکل از ۶۳ ایستگاه باند پهن بود که در سه خط با روند جنوب‌غربی شمال‌شرقی نصب شده بود. در آذرماه سال ۱۳۹۲، زمانی که شبکه موقت ایران-چین در حال داده‌برداری بود، پنج زمین‌لرزه با بزرگی متوسط در منطقه جبهه دگرشکلی کمان لرستان (زمین‌لرزه‌های قصرشیرین) رخ دادند. وجود شبکه موقت باند پهن ایران-چین که ایستگاه‌های بسیار نزدیک به زمین‌لرزه داشت، فرصتی استثنایی فراهم آورد تا برای اولین بار با یک شبکه متراکم زمین‌لرزه‌های اصلی و پس‌لرزه‌ها آن را با مکان‌یابی و تعیین عمق کنیم، ضخامت رسوبات را با استفاده از روش توابع گیرنده تعیین کنیم و ارتباط زمین‌لرزه‌ها را با پوشش رسوبی و پی‌سنگ را پیدا کرده و صحت ایده‌ای که نیسن و همکاران (۲۰۱۱) به تمام زون ساده رانده چین‌خورده تعمیم داده‌اند را در این منطقه بررسی کنیم.

۲ روش تحقیق

ابتدا زمین‌لرزه‌های رخ داده به همراه ۲۸۹ پس‌لرزه توسط شبکه‌ی ایران-چین و شبکه لرزه‌نگاری عراق با ماکزیمم گاف آزیموتی ۱۰۰ درجه ثبت شدند. با استفاده از برداشت زمان‌رسید فازهای مستقیم Pg و Sg شکل موج‌های ثبت شده در شبکه‌ها، در نرم افزار ساین (هاوسکوف و اتمولر، ۱۹۹۹) و به روش تک‌رویدادی مکان‌یابی شدند. در مکان‌یابی تک‌رویدادی امکان محاسبه و حذف خطای سیستماتیک ناشی از مدل سرعتی وجود ندارد. مکان‌یابی چندرویدادی به ما این امکان را می‌دهد که نوفه‌های همبسته با مسیر و همچنین داده‌های پرت را از بین ببریم. اساس مکان‌یابی چندرویدادی تعریف خوشه‌های

لرزه‌ای است. در این مطالعه برای بالا بردن دقت مکانی رخدادها، مکان‌یابی خوشه‌ای به روش تجزیه هاپوسنتروئید (HDC) (جوردن و سوردرب، ۱۹۸۱) انجام شده است. عمق کانونی هر پنج رخداد اصلی خوشه قصرشیرین و پس‌لرزه‌های آنها و زمین‌لرزه‌های بزرگ قبلی رخ داده در منطقه را محاسبه کردیم. همچنین برای این پنج رخداد سازوکار کانونی و عمق مرکزوار را از روش مدل‌سازی شکل موج برای محاسبه تانسور ممان محاسبه کردیم. نصب بودن تقریباً یک ساله‌ی شبکه‌ی ایران-چین در منطقه و ثبت داده‌های دورلرز توسط این شبکه به ما این امکان را داد تا با استفاده از برگردان همزمان توابع گیرنده و منحنی پاشش زیر دو ایستگاه نزدیک خوشه‌ی قصرشیرین ضخامت رسوبات را بدست آوریم. برای آوردن سازوکار کانونی پنج زمین‌لرزه و عمق مرکزوار، از روش مدل‌سازی شکل موج برای محاسبه تانسور ممان استفاده کرده‌ایم. در این مطالعه از برنامه‌ی امتی‌اینورس (mtinverse) (داهم و کروگر، ۱۹۹۹) برای وارون‌سازی در حوزه زمان استفاده شده است. یکی از مزایای مهم این برنامه این است که وارون‌سازی می‌تواند برای کل شکل موج یا طیف دامنه‌ی یک چشمه‌ی نقطه‌ای انجام شود. افزون بر این، وارون‌سازی می‌تواند برای امواج حجمی، امواج سطحی و یا کل شکل موج انجام شود.

اگرچه وجود ضخامت بیشینه ۶ (پالیزوان ۱۳۹۵) یا ۸ کیلومتری رسوبات (ورگس و همکاران، ۲۰۱۱) در نزدیکی منطقه مورد مطالعه توسط مطالعات زمین‌شناسی تخمین زده شده است، ولی تاکنون مطالعه‌ای براساس مشاهدات لرزه‌شناسی یا زلزله‌شناسی برای بدست آوردن هندسه یا ضخامت رسوبات در این منطقه انجام نشده است. در این مطالعه با استفاده از برگردان همزمان توابع گیرنده و منحنی‌های پاشش (جولیا و همکاران، ۲۰۰۰) مدل‌های سرعتی برای نواحی اطراف ایستگاه‌های نزدیک منطقه مورد مطالعه محاسبه شد.

۳ نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج، عمق کانونی حدوداً ۱۶-۸ کیلومتر و عمق مرکزوار رویدادهای اصلی ۱۴ کیلومتر بدست آمده است و ضخامت رسوبات کمتر از ۸ کیلومتر است. زمین‌لرزه‌های اصلی و پس‌لرزه‌ها هر دو در ارتباط با گسیختگی پی‌سنگ کریستالی هستند. با توجه به نتایج سازوکارهای بدست آمده از وارون‌سازی تانسور ممان، گسله‌های مسبب زمین‌لرزه‌ی خوشه‌ی قصرشیرین گسله‌های معکوس با شیب ۲۳ تا ۳۹ درجه به سمت شمال‌خاور و خاور در لایه پی‌سنگی هستند. بنابراین لرزه‌خیزی کمان لرستان در ارتباط با گسله‌های تراستی تقریباً با شیب کم و در پی‌سنگ است. نبود رخداد با عمق کانونی کمتر از ۸ کیلومتر و بیشتر از ۱۶ کیلومتر وجود یک ناحیه‌ی لرزه‌زا را در لایه فوقانی پی‌سنگ کریستالی پیشنهاد می‌کند. همچنین هیچ جدایش عمقی بین زمین‌لرزه‌های اصلی و پس‌لرزه‌ها مشاهده نمی‌شود و زمین‌لرزه‌های اصلی و پس‌لرزه‌ها هر دو در پی‌سنگ اتفاق افتاده‌اند. می‌توان نتیجه گرفت که ایده نیسن و همکاران (۲۰۱۱) حداقل در شمال‌باختر ناحیه ساده رانده چین خورده زاگرس معتبر نیست و رسوبات به صورت بی‌لرزه تغییر شکل می‌یابند.

منابع

پالیزوان، ا.، ۱۳۹۵، سازوکار گسلش کواترنری در باختر کرمانشاه و پیوند آن با لرزه‌خیزی گسترده، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان.

- Dahm, T. and Kruger, F., 1999, Higher degree moment tensor inversion using far-field broadband readings: Theory and evaluation of the method with application to the 1994 bolivia deep earthquake. *Geophysical Journal.*, 137, 35 – 50.
- Havskov, J. and Otemoller, L., 1999, SEISAN: The Earthquake Analysis Software, version 8.0, Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Norway.
- Jordan, T. H. and Sverdrup, K. A., 1981, Teleseismic location techniques and their application to earthquake clusters in the south-central Pacific, *Bull. Seism. Soc. Am.* 71, 1105–1130.
- Julia, J., Ammon, C.J., Herrmann, R.B. & Correig, A.M., 2000, Joint inversion of receiver function and surface wave dispersion observations, *Geophys. J. Int.*, 143, 1–19.
- McQuarrie, N., Stock, J.M., Verdel, C., Wernicke, B.P., 2003, Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophysical Research Letters* 30, 20. doi:10.1029/2003GL017992.
- Nissen E., Tatar M., Jackson J. and Allen M., 2011, New views on earthquake faulting in the Zagros fold-and-thrust belt of Iran, *Geophys. J. Int.*, 186, 928-944.
- Nissen, E., Yamini-Fard, F., Tatar, M., Gholamzadeh, A., Bergman, E., Elliott, J.R., Jackson, J.A. & Parsons, B., 2010, The vertical separation of mainshock rupture and microseismicity at Qeshm Island in the Zagros Simply Folded Belt, Iran, *Earth planet. Sci. Lett.*, 296, 181–194.
- Verges, J., Saura, E., Casciello, E., Fernandez, M., Villasenor, A., Jimenez-Munt, I. & Garcia-Castellanos, D., 2011, Crustal-scale cross-sections across the NW Zagros belt: implications for the Arabian margin reconstruction, *Geol. Mag.*, 148(5–6), 739–761.