پارامترهای لرزه‌خیزی و احتمال رخداد زمین‌لرزه‌ها در شرق ایران (بلوک لوت)

سید حسن موسوی بفروئی[۱]، سید هادی دهقان منشادی[۲]

[۱] استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران mousavi@ardakan.ac.ir

[۲] استادیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران h.dehghan@kgut.ac.ir

چکیده

بیشتر مناطق ایران لرزه‌خیزی بالایی دارد و تفاوت‌های لرزه‌زمین‌ساختی بین آن‌ها نیز فراوان است. تفاوت‌های لرزه‌زمین‌ساختی شرق ایران شامل بلوک لوت نسبت به نواحی اطراف آن در حدی است که بتوان آن را بصورت مستقل بررسی کرد. در این تحقیق به برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی پهنه شرق ایران شامل بلوک لوت پرداخته شده است. از به‌روزترین کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها استفاده شده و داده‌ها به یک دسته تاریخی و ۴ دسته دستگاهی تقسیم شده است و برای هر یک از ۴ دسته داده‌های دستگاهی، آستانه کامل بودن داده‌ها تعیین شده و با درنظر گرفتن عدم قطعیت بزرگی‌ها، پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه برآورد شده است که بر این اساس مقدار **b** برابر ۱.۰۶ و نرخ رویداد سالیانه زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر یا مساوی ۳.۱ تقریباً برابر ۵۸ به‌دست آمده است که نشان دهنده لرزه‌خیزی بالای منطقه است. در نهایت احتمال فزونی رویداد سالیانه بر حسب بزرگی برای دوره‌های بازگشت ۵۰، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی: لرزه‌خیزی، بلوک لوت، پارامترهای لرزه‌خیزی، نرخ رویداد سالانه، مقدار b، لرزه‌زمین‌ساخت

Seismicity parameters and probability of earthquakes in the east of Iran (Lut bock)

Seyed Hasan Mousavi-Bafrouei [1], Seyed Hadi Dehghan-Manshadi [2]

[1] *Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ardakan University, Ardakan, Iran*

[2] *Assistant Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences and Modern Technologies, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran*

Abstract

Most of the areas of the Iranian plateau are high seismicity regions and there is a considerable difference between them. These differences in the eastern Iranian plateau including the Lut block concerning the surrounding areas are so substantial, that can be studied independently. In this research, the seismic parameters of the eastern part of Iran, including the Lut block, have been estimated. The most up-to-date catalog of earthquakes has been used and the data has been divided into a historical part and 4 instrumental parts. For each instrumental part, the threshold of data completeness has been determined. The seismic parameters of the region have been estimated taking into account the uncertainty of the magnitudes. Substantially, the estimated b-value is equal to 1.06 and the mean annual occurrence rate for magnitude > 3.1 is 58, which indicates the high seismicity of the region. Finally, the probability of annual exceedance for different magnitudes is estimated for the return periods of 50, 475, and 2475 years.

Keywords: Seismicity, Lut block, Seismicity parameters, b-value, annual occurrence rate, Seismotectonics

۱ مقدمه

کشور ایران از نظر لرزه‌خیزی یکی از مناطق فعال جهان است و توزیع کانون سطحی زمین‌لرزه‌ها حاکی از وجود گسل‌ها و پهنه‌های تکتونیکی فعال و پیچیده در این منطقه می‌باشد. افزایش و تجمع نیروها در فلات ایران، در اثر حرکت شبه جزیره عربستان به سمت شمال شرق و حرکت شبه قاره هند به سمت شمال دلیل اصلی لرزه‌خیزی این منطقه شده است. لرزه‌خیزی فلات ایران و مناطق مرزی، طی سالهای گذشته با تجزیه و تحلیل زمین‌لرزه‌های موجود ناحیه، مورد بررسی قرار گرفته است. این قسمت از کمربند آلپ- هیمالیا که از نظر تکتونیکی فعال است، بصورت یک باند پهن از لرزه‌خیزی پراکنده تعریف شده و شامل کمربندهای فعال متعددی است که بلوکهای نسبتاً ثابت کوچکی را ایجاد کرده اند. بلوک لوت در شرق ایران یکی از این بلوک‌های نسبتاً ثابت است که تنش‌های وارد بر آن در طی فعالیت گسلهای لرزه‌زا در اطراف آن تخلیه می‌شود.

براساس نظریه تکتونیک صفحه‌ای، الگوهای متعدد تکتونیکی جوان ناحیه‌ای برای مطالعه رفتار پیچیده پوسته فلات ایران ارائه شده است (مانند نوروزی ۱۹۷۶، بربریان، ۱۹۷۶ و میرزائی و همکاران ۱۹۹۸). نوروزی ۱۹۷۶ با توجه به توزیع کانون سطحی زمین‌لرزه‌ها، تغییرات زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی منطقه، توزیع گنبدهای نمکی، مسیر ساختارهای زمین‌شناسی و گسلهای فعال، ایران را به ۲۳ ایالت لرزه‌زمین‌ساختی تقسیم کرده است. بلوک لوت از جمله ایالت‌های تکتونیکی واقع در شرق ایران می‌باشد. از ویژگی‌های بارز بلوک لوت ایجاد گسلش سطحی توسط اغلب زمین‌لرزه‌ها می‌باشد، این امر ما را در مقایسه نتایج مطالعات زمین‌لرزه‌ها و پسلرزه‌ها با مشاهدات زمین‌شناسی، جهت تعیین مرزهای صفحه لوت یاری می‌دهد. مرز غربی بلوک لوت را گسل نایبند، مرز شمالی را گسل درونه و مرز شرقی را یکسری گسل فشاری مرکب مانند گسل نهبندان تعیین کرده است. نوروزی ۱۹۷۲ با استفاده از نظریه تکتونیک صفحه‌ای، گسل فردوس را به علت جابجایی وسیع ایجاد شده در اثر زمین‌لرزه ۱۹۶۸ دشت بیاض، به عنوان مرز شمالی صفحه لوت درنظر گرفته است. جابجایی زمین‌شناسی بر روی سیستم گسل نهبندان در شرق لوت حدود ۷۰ کیلومتر و در غرب لوت بر روی سیستم گسل نایبند حدود ۱۵ کیلومتر اندازه‌گیری شده است. همچنین نرخ لغزش کواترنر بر روی سیستم گسل نهبندان حدود ۲.۶ میلیمتر در سال و بر روی گسل نایبند حدود ۱.۳ میلیمتر در سال اندازه گیری شده است (واکر و همکاران، ۲۰۱۳). سامانه‌های گسلی راستالغز راست‌گرد در پهنه ساختاری لوت از اصلی‌ترین شاخصه‌های زمین‌ساختی این منطقه می‌باشد (بربریان و ییتس، ۲۰۰۱).

وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد و مخرب در این منطقه نمایانگر فعالیت لرزه‌خیزی حاشیه بلوک لوت است. مطابق جدول ۱ ثبت زمین‌لرزه بزرگ دستگاهی در شرق ایران با وقوع زمین‌لرزه جنوب فردوس در سال ۱۳۲۶ شروع شده، پس از آن زمین‌لرزه سال ۱۳۴۷ دشت بیاض و ادامه فعالیت شدید لرزه‌ای در این منطقه به ایجاد دو زمین‌لرزه عمده یکی زمین‌لرزه طبس در سال ۱۳۵۷ و دیگری زمین‌لرزه قائنات در آبان و آذر ۱۳۵۸ گردیده است. آخرین زمین‌لرزه مخرب این منطقه که جان ده‌ها هزار نفر را گرفت زمین‌لرزه پنجم دیماه ۱۳۸۲ بم است.

در این مقاله با تفکیک داده‌های زمین‌لرزه‌ای این منطقه، از داده‌های کل ایران پارامترهای لرزه‌خیزی و نرخ رویداد زمین‌لرزه‌ها برآورد شده است.

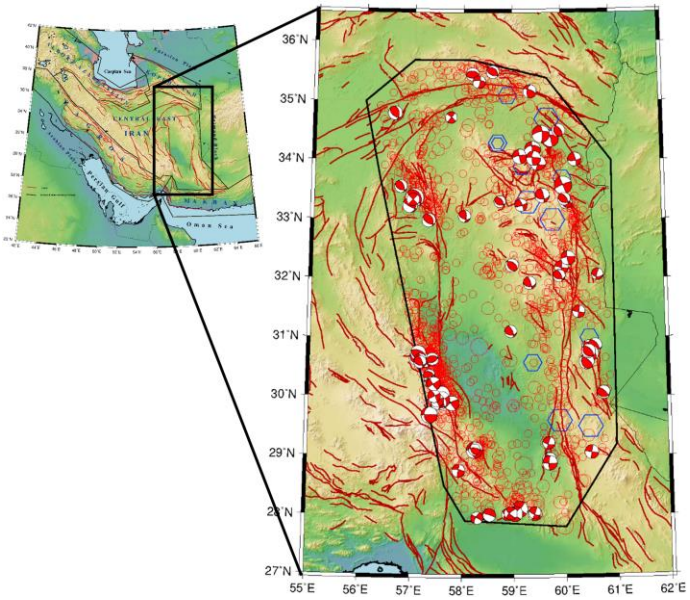
جدول ۱. مشخصات تعدادی از زمین‌لرزه‌های نسبتاً بزرگ اطراف دشت لوت.

شماره	تاریخ وقوع (شمسی)	محل وقوع	بزرگای گشتاوری	طول تقریبی گسیختگی (km)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۱۳۲۶/۷/۱	جنوب فردوس	۶.۹	۳۰	۵۸.۶۴	۳۳.۶۰
۲	۱۳۴۷/۶/۹	دشت بیاض	۷.۱	۸۰	۵۸.۹۵	۳۴.۰۴
۳	۱۳۵۷/۶/۲۵	طبس	۷.۳	۸۰	۵۷.۳۸	۳۳.۲۴
۴	۱۳۵۷/۱۰/۲۶	قائن	۶.۵		۵۹.۴۷	۳۳.۹۱

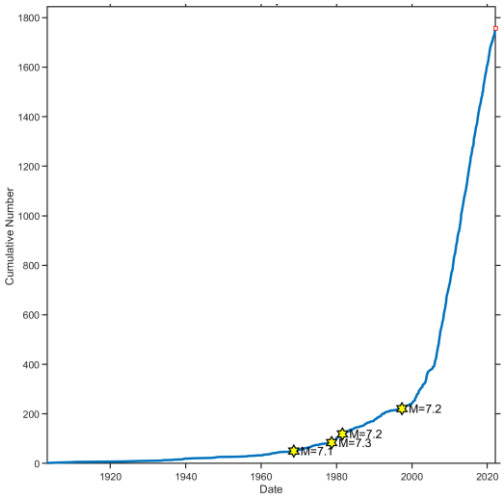
۵	۱۳۵۸/۸/۲۳	کوریزان-خواف (قائنات)	۶.۵	۲۰	۵۹.۷۳	۳۳.۹۵
۶	۱۳۵۸/۹/۶	کولی-بنیاباد (قائنات)	۷	۶۰	۵۹.۷۶	۳۴.۰۵
۷	۱۳۶۰/۳/۲۱	گلباف	۶.۶	۱۶	۵۷.۶۹	۲۹.۸۶
۸	۱۳۶۰/۵/۶	سیرچ	۷.۲	۶۵	۵۷.۷۷	۲۹.۹۷
۹	۱۳۷۶/۲/۲۰	قائن	۷.۲	۱۲۵	۵۹.۸۱	۳۳.۸۴
۱۰	۱۳۷۶/۱۲/۲۳	گلباف-فندقا	۶.۶	۲۰	۵۷.۵۹	۳۰.۱۴
۱۱	۱۳۸۲/۱۰/۵	بم	۶.۶	۶۵	۵۸.۲۸	۲۸.۹۰

۲ روش تحقیق

بر اساس داده‌های کاتالوگ ارائه شده توسط موسوی بفروئی و بابائی ماهانی (۲۰۲۰) تمام زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی تا سال ۲۰۱۸ مربوط به منطقه مورد مطالعه که تقریباً بین طول جغرافیایی ۵۶.۵ تا ۶۱ درجه شرقی و بین عرض جغرافیایی ۲۸ تا ۳۵.۵ درجه عرض شمالی در شرق ایران واقع است، جدا شده است. زمین‌لرزه‌های مربوط به سالهای ۲۰۱۹ تا پایان ۲۰۲۱ بر همان اساس جمع‌آوری و بزرگی‌ها یکدست شده و رویدادهای وابسته حذف شده است. برای منطقه مورد مطالعه کاتالوگی شامل ۱۷۶۰ زمین‌لرزه مستقل تاریخی و دستگاهی فراهم شده است (شکل ۱). برای تعیین آستانه کامل بودن داده‌ها نمودار فراوانی تجمعی زمین‌لرزه‌های دستگاهی بر حسب سال رسم شده است (شکل ۲). بر اساس تغییرات شیب نمودار می‌توان داده‌های دستگاهی را به ۴ بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۳، ۱۹۶۴ تا ۱۹۹۹، ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۱ تقسیم‌بندی کرد. این تقسیم‌بندی با روند توسعه شبکه لرزه‌نگاری جهانی و کشور مطابقت دارد. با استفاده از نرم‌افزار Zmap برای هر یک از ۴ بازه زمانی، آستانه کامل بودن داده‌ها تعیین شد. برای نمونه برای بازه زمانی بین ۲۰۰۶ و ۲۰۲۱ آستانه کامل بودن داده‌ها ۳.۱ تعیین شد.

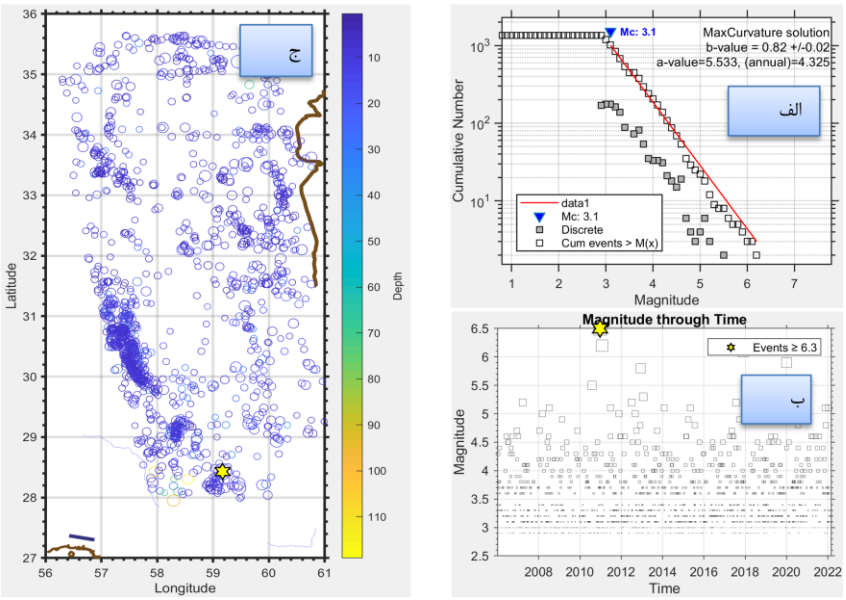


شکل ۱. نقشه لرزه‌زمینساخت منطقه اطراف دشت لوت در شرق ایران



شکل ۲. نمودار فراوانی تجمعی زمین‌لرزه‌های دستگاهی بر حسب سال برای منطقه اطراف دشت لوت در شرق ایران

در شکل ۳، نمودار فراوانی تجمعی بر حسب بزرگی، نمودار بزرگی-زمان و پراکندگی مکانی رویدادها با درنظر گرفتن عمق رویداد مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۱ نشان داده شده است.

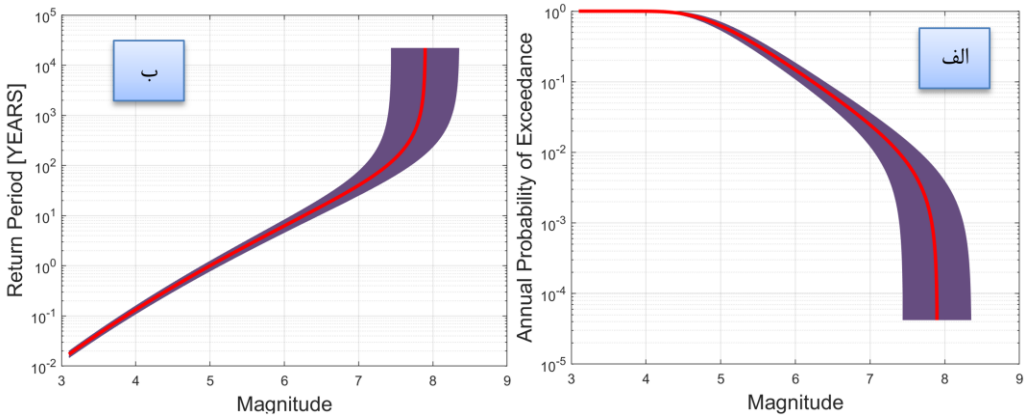


شکل ۳. الف) نمودار فراوانی تجمعی بر حسب بزرگی ب) نمودار بزرگی بر حسب زمان ج) محل رویداد زمین‌لرزه‌ها با نمایش عمق رویداد بر اساس رنگ‌بندی. همگی بر اساس زمین‌لرزه‌های سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۱ برای منطقه اطراف دشت لوت در شرق ایران

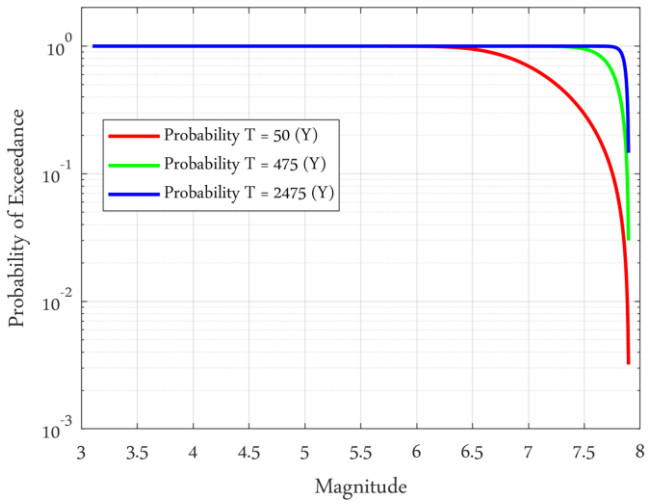
تعیین آستانه کامل بودن داده‌ها با روش بیشترین انحنا با نرم افزار Zmap برای هر چهار بازه زمانی دستگاهی انجام شده است و برای تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی از راهکار کیجکو و سلفول (۱۹۹۲) استفاده شده است. در این راهکار علاوه بر استفاده از داده‌های ناکامل تاریخی از چند دسته داده دستگاهی با آستانه کامل بودن متفاوت استفاده می‌شود و به این ترتیب تمام اطلاعات موجود از زمین‌لرزه‌ها در برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی استفاده می‌شود. تعداد ۱۶ زمین‌لرزه تاریخی از سال ۷۳۴ تا ۱۸۷۷ میلادی با بزرگی‌های بین ۵.۶ و ۷.۶ با عدم قطعیت ۰.۷ استفاده شده است. اولین دسته داده دستگاهی برای سالهای ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۳ شامل ۲۳ زمین‌لرزه با بزرگی‌های بین آستانه کامل بودن داده‌ها یعنی ۵.۷ و ۶.۹ بوده است و به همین ترتیب برای دسته دوم مربوط به سالهای ۱۹۶۴ تا ۱۹۹۹ تعداد ۱۰۷ زمین‌لرزه بین بزرگی‌های ۴.۷ و ۷.۳ و دسته سوم مربوط به سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ تعداد ۱۴۰ زمین‌لرزه با بزرگی‌های بین ۴ و ۶.۶ و دسته چهارم مربوط به سالهای ۲۰۰۶ تا پایان ۲۰۲۱ تعداد ۱۰۰۱ زمین‌لرزه با بزرگی‌های بین ۳.۱ و ۶.۵ در محاسبات برآورد

پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه استفاده شده است.

نتایج این برآورد به این ترتیب است که پارامتر b یا همان شیب خط گوتنبرگ-ریشتر که بیانگر نسبت فراوانی رویدادهای کوچک‌تر به بزرگ‌تر است بصورت $(b = 1.06 \pm 0.03)$ $\beta = 2.43 \pm 0.06$، پارامتر نرخ رویداد سالیانه (λ) برای زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ۳.۱ بصورت $\lambda = 58.200 \pm 7.567$ (for $M_{min} = 3.10$) و بیشینه بزرگی زمین‌لرزه منطقه $M_{max} = 7.90 \pm 0.45$ برآورد شده است. نمودارهای احتمال فزونی رویداد سالیانه زمین‌لرزه‌ها بر حسب بزرگی، دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها بر حسب بزرگی و احتمال فزونی رویداد سالیانه بر حسب بزرگی برای دوره‌های بازگشت ۵۰، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال برای منطقه مورد مطالعه به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ رسم شده است.



شکل ۴. الف) نمودار احتمال فزونی رویداد سالیانه زمین‌لرزه‌ها بر حسب بزرگی ب) نمودار دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها بر حسب بزرگی برای منطقه اطراف دشت لوت در شرق ایران.



شکل ۵. نمودار احتمال فزونی رویداد سالیانه بر حسب بزرگی برای دوره‌های بازگشت ۵۰، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال برای منطقه اطراف دشت لوت در شرق ایران.

۳ نتیجه‌گیری

شرق ایران که در برگیرنده دشت لوت و نواحی اطراف آن است یکی از مناطق فعال لرزه‌خیز ایران است که در قرن گذشته متحمل وقوع بیش از ۱۰ زمین‌لرزه ویرانگر شده است. وضعیت لرزه‌زمین‌ساختی خاص و متفاوت این پهنه از ایران این اجازه را به ما می‌دهد که لرزه‌خیزی آن را بطور مستقل از مناطق همجوار بررسی کنیم. در این تحقیق بر اساس به‌روزترین اطلاعات زمین‌لرزه‌های منطقه، پارامترهای لرزه‌خیزی آن برآورد شده است که بر این اساس مقدار b برابر ۱.۰۶ و نرخ رویداد سالیانه زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر یا مساوی ۳.۱ تقریباً برابر ۵۸ به‌دست آمده است و نشان دهنده

لرزه‌خیزی بالای منطقه است و در نقاطی از حاشیه دشت لوت که شهرهای پرجمعیت قرار گرفته است، همچون گذشته پتانسیل ایجاد خسارت و تلفات فراوان دراثر وقوع زمین‌لرزه‌های متوسط و بزرگ وجود دارد.

منابع

Berberian, M., 1976, Contribution to the seismotectonics of Iran, part II. Geological Survey of Iran, Report **39**, 516pp.

Berberian, M. and Yeats, R.S., 2001, Contribution of archaeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau. J. Str. Geo., **23**, 563-584.

Kijko, A. and Sellevoll, M. A., 1992, Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files, Part II: Incorporation of magnitude heterogeneity, Bull. Seism. Soc. Am., **82**, 120-134.

Mirzaei, N., Gao, M. and Chen, Y. T., 1998, Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: Major seismotectonic provinces, Journal of Earthquake Prediction Research, **7**, 465-495.

Mousavi-Bafrouei, S.H., Babaie Mahani, A., 2020. A comprehensive earthquake catalogue for the Iranian Plateau (400 B.C. to December 31, 2018). Journal Seismology https://doi.org/10.1007/s10950-020-09923-6

Nowroozi, A. A., 1972, Focal Mechanism of Earthquakes in Persia, Turkey, West Pakistan and Afghanistan and Plate Tectonics of the Middle East, Bull. Seismol. Soc. Am., **62**, 832-850.

Nowroozi, A., 1976, Seismotectonic provinces of Iran, Bull. Seism. Soc. Am., **66**, 1249-1276.

Walker, R.T., Khatib, M.M., Bahroudi, A., Rodés, A., Schnabel, C., Fattahi, M., Talebian, M., and Bergman, E. 2013, Co-seismic, geomorphic, and geologic fold growth associated with the 1978 Tabas-e-Golshan earthquake fault in eastern Iran, Geomorphology, http://dx.doi.org/ 10.1016/j.geomorph.2013.02.016.