

مناطق زلزله خیز معرفی شاخص شباهت زلزله خیزی برای تجزیه و تحلیل مقابله ای

زمانی، احمد: استاد بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز
خواجوی، نرگس: کارشناسی ارشد بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز
توحیدی، مینا: استادیار بخش آمار، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

چکیده:

نظر به اینکه زلزله پدیده ایست آشوبناک و حاصل فرایندهای ژئودینامیکی غیرخطی و پیچیده، پیش بینی دقیق زمان، مکان و اندازه آن با استفاده از روشهای معمول چندان محتمل بنظر نمی رسد. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های آماری پیشرفته، شاخص شباهت زلزله خیزی (SSI) Seismicity Similarity Index معرفی گردیده است. تعیین این معیار کمی برای مناطق مختلف زلزله خیز گامی موثر و مفید در شناخت و مقایسه رفتار لرزه خیزی هر منطقه می باشد. برای محاسبه و ارزیابی این معیار جدید بیش از ۸۰۰۰ زلزله که در کمربند فعال آلپ-همالیایا به وقوع پیوسته مورد بررسی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه به ۴۹۰ چهار گوش $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ تقسیم و شاخص شباهت زلزله خیزی (SSI) برای هر یک از چهار گوشها محاسبه شده است. سپس به عنوان مطالعه موردی منطقه زلزله خیز تبس (Tabas) واقع در شرق ایران انتخاب و شاخص شباهت زلزله خیزی (SSI) آن نسبت به سایر مناطق آلپ-همالیایا تعیین و نقشه مربوطه رسم گردیده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که منطقه طبس از نظر زلزله خیزی با منطقه جانگار (Junggar) در شمال شرق چین دارای حداکثر شباهت لرزه ای می باشد. مقایسه سابقه زلزله خیزی دو منطقه طی چهار دهه گذشته نیز این موضوع را تایید می نماید. این شباهت به احتمال زیاد دلالت بر یکسان بودن فرایندهای ژئودینامیکی و لرزه-زمین ساختی در این دو منطقه دارد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که شاخص رقومی (SSI) معرفی شده در این مقاله می تواند برای شناخت وضعیت ژئودینامیکی و پیش بینی زلزله در مناطق زلزله خیز مفید و موثر باشد.

The Introduction of Seismicity Similarity Index for Contrastive Analysis of Seismogenic Regions

Zamani, A., Professor, Department of Earth Sciences, Shiraz University; Khajavi, N., M.Sc. Student, Department of Earth Sciences, Shiraz University; Tohidi, M., Assistant Professor, Department of Statistics, Shiraz University

Abstract

Earthquakes are considered to be an example of chaotic phenomena occurred as a result of nonlinear and complex geodynamic processes. Therefore the precise evaluation of the time, place and size of the earthquakes seems to be impossible. Utilizing advanced statistical models a new measure called "seismicity similarity index" (SSI) has been defined and introduced in this paper. This numerical measure compares seismogenic regions by bringing them together, and seeks to define the similarities and differences between them. Using more than 8000 earthquakes with $m_b \geq 5.0$, occurred in the Alpine-Himalayan orogenic belt during 1960 to 2004, SSI map has been produced for this region. The SSI map reveals some remarkable similarities between Tabas seismogenic region in the eastern part of Iran and Junggar area in the northwest of China. This probably suggests that similar geodynamic forces are in action in both regions. The application of

this new measure offers a powerful tool for achieving correlation and interpretation of the trend in seismicity and earthquake prediction in seismogenic regions.

مقدمه:

مطالعه کمی مناطق زلزله خیزی از اهداف مهم محققین مختلف در راستای تحقق پیش بینی زلزله بوده است.

ریشترودوره بازگشت زلزله ها را برای بخشی از کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا محاسبه و در قالب نقشه های کانتوری ارائه نموده اند. Cao & Gao (2002) مقادیر b را از روش درستمایی پیشینه برای جزایر قوسی شمال شرق ژاپن محاسبه و تفسیر کرده اند.

در این تحقیق روش جدیدی برای تجزیه و تحلیل مقابله ای مناطق زلزله خیز ابداع و معرفی گردیده که با استفاده از آن می توان شباهت زلزله خیزی مناطق فعال را در قالب معیاری رقومی به نام "شاخص شباهت زلزله خیزی" (Seismicity Similarity Index- SSI) تعیین و تفسیر کرد. برای ارزیابی این معیار بیش از ۸۰۰۰ زلزله که بزرگی ($m_b \geq 5.0$) در کمربند فعال آلپ-همیالیا رخ داده انتخاب و با استفاده از روش جدید مورد تجزیه و تحلیل مقابله ای قرار گرفته و شاخص شباهت زلزله خیزی (SSI) مناطق مختلف ایران نسبت به سایر مناطق آلپ-همیالیامحاسبه و تعیین شده است. سپس به عنوان مطالعه موردی سابقه زلزله خیزی منطقه طبرستان واقع در شرق ایران مورد بررسی و تفسیر قرار گرفته است. باتوجه به اینکه زلزله به عنوان پدیده ای آشوبناک، در اثر فرایندهای ژئودینامیکی غیرخطی و پیچیده (nonlinear and complex) به وقوع می پیوندد، پیش بینی نسبتاً دقیق زمان، مکان و اندازه آن بسیار مشکل و حتی غیرممکن بنظر می رسد. بنابراین استفاده از معیار علمی معرفی شده در این تحقیق علاوه بر آگاهی بیشتر از وضعیت ژئودینامیکی مناطق زلزله خیز در تعیین روند زلزله خیزی و پیش بینی زلزله در هر منطقه مفید خواهد بود.

بحث:

به طور کلی پنج سیستم کوهزایی (ایران- آلپ، همیالیا- تبت، آپالاشین- کالدونید، کوردیلراوآند) در جهان تشخیص داده شده که سیستم های ایران- آلپ و تبت-همیالیا متعلق به فاز کوهزایی آلپی می باشند. فعالیت این فاز کوهزایی از دوران مزوزوئیک شروع و تا کنون ادامه دارد (Moore & Twiss, 1995). کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا که حاصل برخورد صفحات اوراسیا، آفریقا، اروپا، عربستان و هند بوده، به عنوان یک زون فعال تکتونیک، از جبل الطارق در غرب تا هندوستان در شرق گسترش یافته است. زلزله های بزرگ و ویرانگر متعدد در این کمربند بیش از ۱۵ درصد از کل انرژی لرزه ای آزاد شده در دنیا را به خود اختصاص می دهند.

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق با مختصات طول جغرافیایی ($2^{\circ}W$ تا $110^{\circ}E$) و مختصات عرض جغرافیایی ($20^{\circ}N$ تا $56^{\circ}N$) در نظر گرفته شده که تقریباً تمام کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا را در بر می گیرد (شکل ۱). در کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا، کشور ایران که حاصل همگرایی چندگانه بین صفحات عربستان، اوراسیا و هند می باشد، با ارتفاع متوسط ۱۵۰۰ متر در بخش غربی پلتفرم ایران قرار گرفته است. در این مقاله بیش از ۸۰۰۰ زلزله که طی سالهای ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۴ (۴۴ سال) بزرگی ($m_b \geq 5.0$) در کمربند فعال آلپ-همیالیا به وقوع پیوسته انتخاب و با استفاده از روشهای پیشرفته آماری مورد تجزیه و تحلیل مقابله ای قرار گرفته اند. جهت استفاده بهینه از داده ها، منطقه مورد مطالعه به پنجره هایی با مساحت ($2^{\circ} \times 2^{\circ}$) تقسیم و سپس معیار رقومی شاخص شباهت زلزله خیزی (SSI) مناطق مختلف ایران نسبت به سایر مناطق این کمربند محاسبه و تعیین گردیده است. شاخص رقومی معرفی شده در این مقاله تلفیقی از ثابتهای رابطه گوتنبرگ-

ریشر (Gutenberg & Richter, 1954)، فاصله زمانی (interval time)، بزرگی (m_b) و عمق (depth) زلزله ها می باشد.

برای انجام تجزیه و تحلیل مقابله ای مناطق زلزله خیز با استفاده از روش نسبت اختلاف بین مجموع مربعات (ESS)، آماره جدیدی (F_{NEW}) برای توضیح مقادیر a و b رابطه گوتنبرگ-ریشر ارائه گردیده است (فرمول ۱).

$$F_{NEW} = \frac{\frac{RSS_0 - RSS_1}{2}}{\frac{RSS_1}{n_1 + n_2 - 4}} \quad (1)$$

در این فرمول RSS_0 و RSS_1 جمع مربع خطاها n_1 و n_2 تعداد داده های موجود در دو چهارگوش مورد مقایسه می باشند. سپس با استفاده از نتایج بدست آمده از فرمول ۱، مقدار احتمال توضیح مربوطه محاسبه شده است (فرمول ۲).

$$p - value = P(F_{(2, n_1 + n_2 - 4)} > F_{obs}) \quad (2)$$

مقایسه سایر پارامترهای لرزه خیزی شامل فاصله زمانی، بزرگی و عمق زلزله ها با استفاده از روش آنالیز واریانس یکطرفه (one way ANOVA) انجام گرفته است (Wackery et al., 2002). نهایتاً با بکارگیری نتایج حاصله، پذیرش فرض صفر (null hypothesis) در این روش به معنی تشابه دو منطقه زلزله خیزی می باشد. بمنظور مطالعه موردی جهت ارزیابی شاخص شباهت زلزله خیزی (SSI)، منطقه زلزله خیز طبرستان و سایر مناطق کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا مقابله گردیده و نقشه شباهت زلزله خیزی این منطقه با سایر قسمت های آلپ- هیمالیا ارائه شده است (شکل ۲). شاخص شباهت زلزله خیزی طبرستان نشان می دهد که این منطقه از نظر رفتار زلزله خیزی با چهارگوش منطقه جانگار (Junggar) واقع در شمال غرب چین دارای حداکثر شباهت (۹۱ درصد) می باشد. سابقه زلزله خیزی این دو منطقه طی چهار دهه گذشته نیز عملاً وجود این شباهت را تایید می کند (جدول ۱).

مقایسه وضعیت تکتونیکی منطقه طبرستان به همراه حل صفحه گسلی سه زلزله بزرگ با ساز و کار گسلسازی تراستی (شکل ۳) با موقعیت تکتونیکی منطقه جانگار (شکل ۴)، دلالت بر یکسان بودن فرایندهای مشابه ژئودینامیکی و عملکرد رژیم فشارشی در این دو منطقه دارد. این رژیم فشارشی در منطقه طبرستان ناشی از حرکت صفحه تکتونیکی ایران مرکزی نسبت به بلوک افغانستان و در منطقه جانگار حاصل حرکت صفحه تکتونیکی هند نسبت به اوراسیا می باشد (Walker et al., 2002; Wang et al., 2004). شاخص شباهت زلزله خیزی (SSI) مناطق زلزله خیزه تنها در شناخت بیشتر وضعیت ژئودینامیکی هر منطقه نقش مهم ایفا می کند، بلکه در پیش بینی زلزله نیز بسیار مفید و موثر می باشد.

نتیجه گیری:

از آنجاکه زلزله پدیده ایست آشنویناک و در نتیجه فرایندهای زمین شناسی و ژئودینامیکی پیچیده رخ می دهد، پیش بینی دقیق زمان، مکان و اندازه آن با استفاده از روش های معمول چندان محتمل بنظر نمی رسد (Huang & Turcotte, 1990). با توجه به این موضوع، تجزیه و تحلیل مقابله ای مناطق زلزله خیز یکی از روش های موثر و مفید در راستای ارزیابی الگوی زلزله خیزی و پیش بینی وقوع زلزله در هر منطقه می باشد. در این مقاله با استفاده از مدل های آماری پیشرفته (one way ANOVA و

(ESS) ، معیاررقومی جدیدی به نام "شاخص شباهت زلزله خیزی (SSI)" معرفی شده است. این معیاررقومی حاصل ارزیابی و تجزیه و تحلیل مقابله ای زلزله خیزی مناطق مختلف می باشد. بدیهی است بالا بودن مقدار این معیار رقومی دلالت بر شباهت رژیم ژئودینامیکی و زلزله خیزی مناطق مربوطه دارد. بنابراین در صورت استفاده از داده های متعدد و معتبر می توان با استناد به الگوی زلزله خیزی هر یک از مناطق مشابه، روند زلزله خیزی سایر مناطق را استنباط نمود. به عنوان مطالعه موردی جهت ارزیابی شاخص شباهت زلزله خیزی، منطقه زلزله خیز طبرس در شرق ایران انتخاب و شباهت زلزله خیزی آن با سایر مناطق آلپ-همپالیا محاسبه و تعیین گردیده است. نتایج حاصله حاکی از شباهت نسبتاً زیاد (۹۱ درصد) بین طبرس و منطقه جانگارد در شمال غرب چین است. وجود گسل های متعدد با سازوکار نسبتاً مشابه در این دو منطقه نیز موید نتایج حاصل در این تحقیق و دلالت بر عملکرد رژیم ژئودینامیکی یکسان در این مناطق می باشد. شاخص شباهت زلزله خیزی (SSI) معرفی شده علاوه بر کمک به شناخت بیشتر وضعیت ژئودینامیکی و لرزه زمین ساختی مناطق زلزله خیز برای پیش بینی زلزله در این مناطق بسیار مفید و موثر می باشد.

قدر دانی:

از همکاری آقایان مهدی سلمانپور (بخش آمار) و محسن صلاح (بخش ریاضی) دانشگاه شیراز سپاسگزاری می شود. بخشی از امکانات مورد استفاده در این تحقیق توسط معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز فراهم گردید که بدین وسیله قدردانی می شود.

References

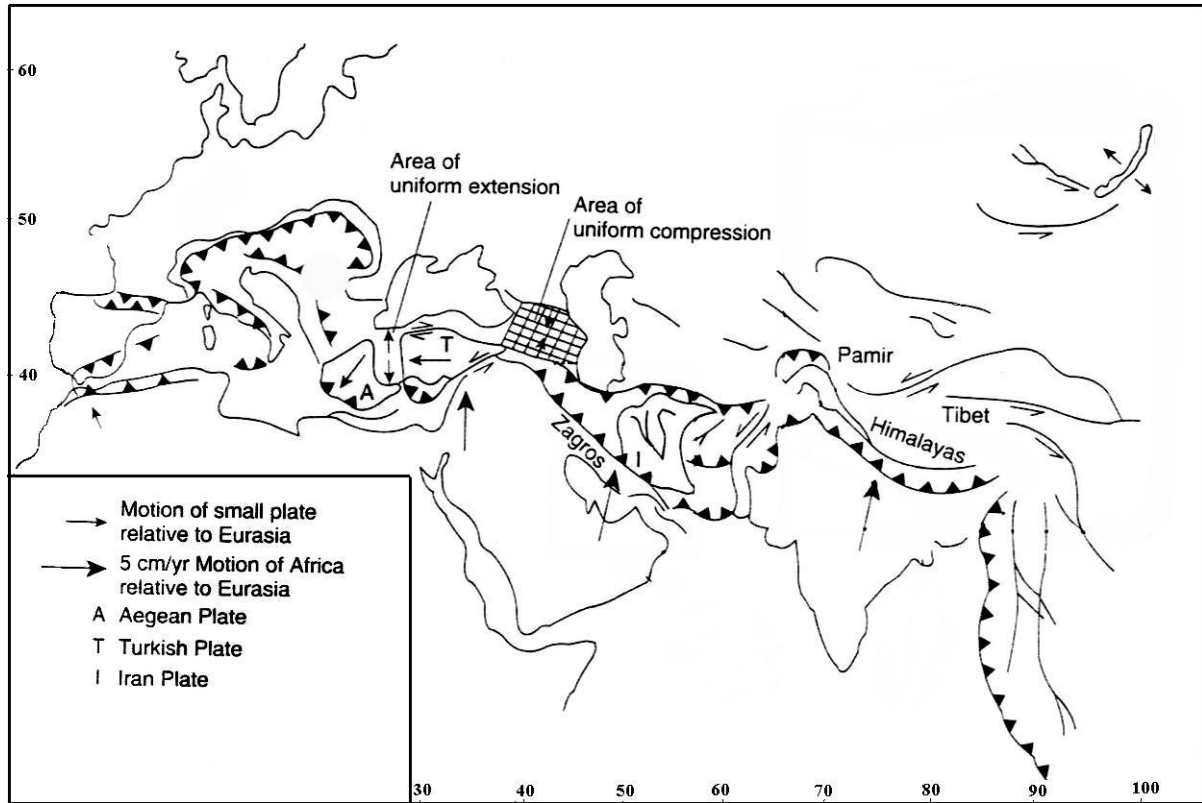
- Cao, A. and Gao, S., 2002, Temporal variation of seismic b-value beneath northeastern Japan island arc, *Geophysical Research Letters*, 29,9, 48-1-48-3.
- Deng, Q.D., Feng, X.Y., Zhang, P.Z., Xu, X.W., Yang, X.P., Peng, S.Z., 1996, Paleoseismology in the northern piedmont of the Tien-shan Mountains, northwestern China, *J. Geophys. Res.*, 110, 5895-5920.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1954, *Seismicity of the Earth and its associate phenomena*, Princeton University Press, Princeton, 310.
- Huang, I. and Turcotte, D.L., 1990, Are earthquakes an example of deterministic chaos?, *Geophysical Research Letters*, 17, 3, 223-226.
- Kalila, K.L., Madhava Rao, N., Narin, H., 1974, Seismotectonic maps of southeast Asia region comprising eastern Turkey, Caucasus, Persian plateau, Afghanistan and Hindukush, *Bulletin of the seismological society of America*, 64:3, 657-669.
- Moores, E. M, Twiss, R.J, 1995, *Tectonics*, Freeman and company, New York, 415.
- Wackery, D.D., Mendenhall, W., Scheaffer, R.L., 2002, *Mathematical Statistics with applications*, USA, Duxbury.
- Walker, R., Jackson, J., Baker, C., 2003, Surface expression of thrust faulting in eastern Iran: source parameters and surface deformation of the 1978 Tabas and 1968 Ferdows earthquake sequences, *Geophys. J. Int.*, 152, 749-765.
- Wang, C.Y., Yang, Z.E., Luo, H., Mooney, W.D., 2004, Crustal structure of the northern margin of the eastern Tien Shan, China, and its tectonic implication for the 1906 M=7.7 Manas earthquake, *Earth and Planetary Science Letters*, 223, 187-202.
- Zamani, A. and Asadi, A., 1995, Distribution of a and b values and quantitative seismicity of Iran, *Second International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, 187-195.

-Zamani, A. and Hashemi, N., 2000, A comparison between seismicity, topographic relief, and gravity anomalies of the Iranian Plateau, Tectonophysics, 327, 25-36.

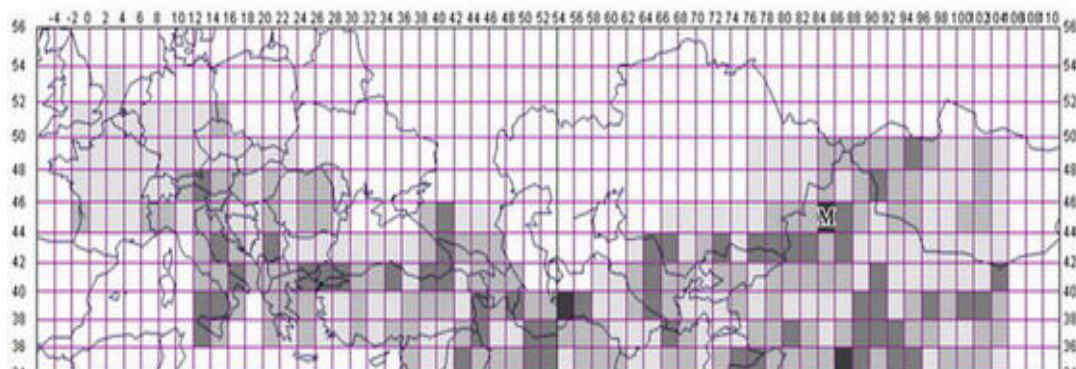
-Zamani, A. and Hashemi N, 2004, Computer-based self-organized tectonic zoning: A tentative pattern recognition for Iran, computers and Geosciences, 30,705-718.

جدول ۱: سابقه زلزله خیزی منطقه طبس در شرق ایران و منطقه جانگار در شمالغرب چین.

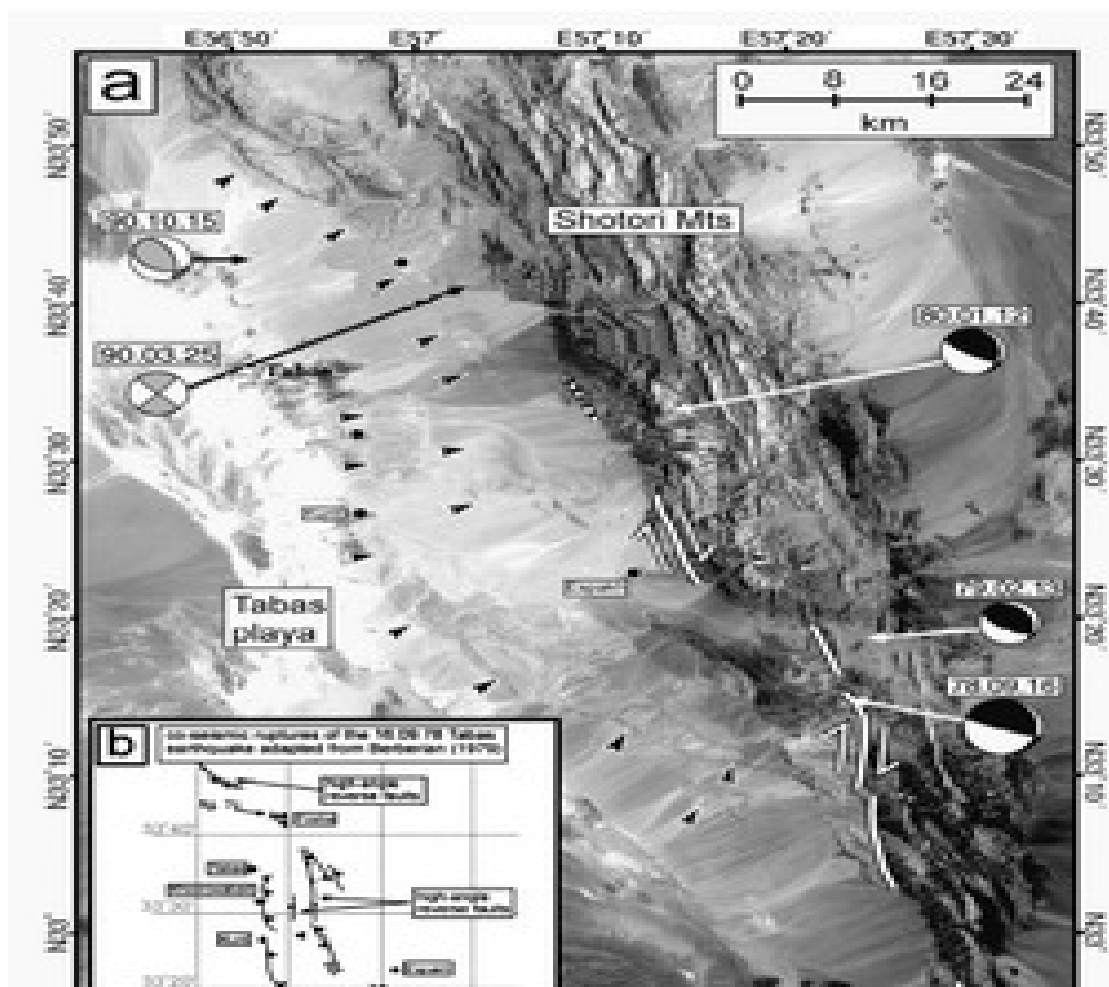
شماره	زلزله خیزی منطقه طبس (Tabas)				زلزله خیزی منطقه جانگار (Junggar)			
	تاریخ	زمان	بزرگی	عمق	تاریخ	زمان	بزرگی	عمق
۱	1968/09/01	07:27:30.60	5.9	14.0	1960/01/03	11:24:02	6.7	5.0
۲	1968/09/01	08:23:18.00	5.2	51.0	1971/07/31	19:01:48.41	5.0	4.4
۳	1968/09/04	23:24:45.00	5.4	5.0	1971/11/01	05:29:57.07	5.0	29.7
۴	1973/05/11	13:52:28.43	5.1	21.8	1973/06/02	23:57:02.38	5.7	11.9
۵	1978/05/22	06:18:15.07	5.0	33.1	1977/11/22	11:34:11.49	5.0	52.1
۶	1978/09/16	15:35:56.74	6.4	34.1	1980/08/22	06:51:38.08	5.0	27.1
۷	1978/12/06	17:18:12.86	5.3	18.6	1980/11/06	01:34:24.09	5.5	7.4
۸	1979/01/17	03:29:45.55	5.1	50	1981/07/06	20:03:51.05	5.0	34.9
۹	1979/02/13	10:36:15.36	5.4	22.9	1983/02/17	00:15:59.45	5.1	32.6
۱۰	1980/01/12	15:31:39.65	5.3	13.6	1983/06/28	23:59:33.26	5.1	32.6
۱۱	1987/04/11	23:50:26.17	5.0	5.0	1990/10/24	23:38:15.22	5.2	19.5
۱۲	1987/07/20	16:47:46.02	5.0	15.5	1990/10/24	23:46:58.02	5.2	24.0
۱۳	2002/04/05	18:40:17.58	5.0	19.9	1995/05/02	11:48:11.69	5.4	33.0
۱۴	2004/10/14	02:28:47.90	5.0	75.0	1996/01/09	06:27:52.08	5.2	14.5
۱۵					2003/02/13	17:34:20.90	5.2	23.9



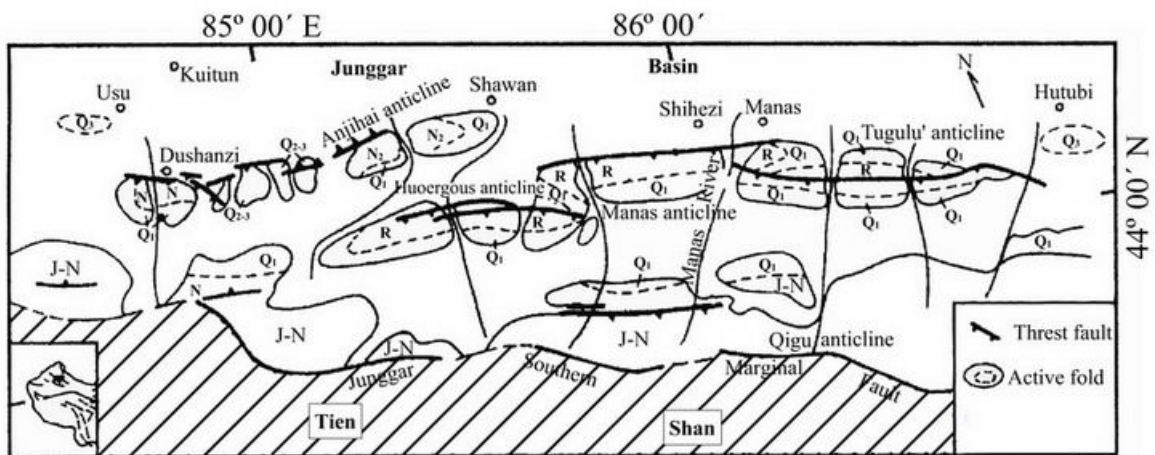
شکل ۱: منطقه مورد مطالعه (Moore & Twiss, 1995).



شکل ۲: مقایسه شاخص شباهت زلزله خیزی (SSI) منطقه طبس (Tabas) در شرق ایران با منطقه جانگار (Junggar) در شمال غرب چین.



شکل ۳: وضعیت تکتونیکی منطقه طبس (Tabas) در شرق ایران (Walker et al., 2003).



شکل ۴: وضعیت تکتونیکی منطقه جانگار (Junggar) در شمالغرب چین (Deng et al., 1996).

مشخصات:

احمد زمانی: دکتری ژئوفیزیک از انگلستان (۱۳۵۶)، دیپلم عالی زلزله شناسی از ژاپن (۱۳۶۱)، استاد بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز
نرگس خواجوی: کارشناس ارشد زمین شناسی از دانشگاه شیراز (۱۳۸۴)، بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز
مینا توحیدی: دکتری آمار از دانشگاه شیراز (۱۳۷۹)، بخش آمار، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز