

## بررسی مهاجرت انرژی فعالیت های لرزه ای در محدوده استان اصفهان

علیرضا اباذری<sup>۱</sup>، رامین نیکروز<sup>۲</sup>، و علی اصغر متقی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد ژئوفیزیک-زلزله،

<sup>۲</sup> مدیر گروه ژئوفیزیک و دانشیار دانشگاه ارومیه

<sup>۳</sup> استادیار گروه ژئوفیزیک دانشگاه ارومیه

### چکیده

در این مطالعه، کاتالوگ زمین لرزه های اطراف استان اصفهان و بخصوص زاگرس، از ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ در محدوده ۴۵ تا ۵۷ درجه طول شرقی و ۲۸ تا ۳۶ درجه عرض شمالی تهیه گردیده و انرژی آزاد شده توسط این رویدادها با توجه به روابط تجربی محاسبه شده است. توزیع انرژی به صورت مکانی و زمانی مهاجرت فعالیت های لرزه ای را محتمل می نماید. از آنجا که بزرگی Mw برای زمینلرزه هایی با بزرگی کوچکتر از ۵ به دلیل عدم ایجاد گسیختگی سطحی، بسیار سخت می باشد، از بزرگی Ms برای تخمین انرژی استفاده شد. روش کار به این صورت است که ابتدا همه زمینلرزه هایی که دو نوع بزرگی Ms و Mn برای آنها موجود است، از داده ها استخراج گردیده و رابطه ای خطی بین آنها برقرار شد. از این رابطه برای تبدیل بزرگی Mn تمامی رویدادها (۴۹۸۵ رویداد) به بزرگی Ms استفاده گردید و در مرحله بعد با استفاده از روابط تجربی انرژی رویدادها محاسبه گردید.

برای محاسبه انرژی کل آزاد شده، کل منطقه به پنجره هایی که هر کدام ۰/۵ درجه از عرض و طول جغرافیایی را دربرمی گیرد، تقسیم شده است. انرژی لرزه ای و استرس آزاد شده مربوط به زلزله هایی که در هر پنجره در طول بازه های زمانی ۳ ساله از ابتدای سال ۲۰۰۶ تا آخر آگوست ۲۰۱۷ روی داده اند، محاسبه شده است. شایان ذکر است که به دلیل فعالیت قابل توجه پهنه زاگرس و عدم وجود رویدادهای متراکم در اطراف استان اصفهان، انرژی لرزه ای در پهنه زاگرس (قسمت غربی استان اصفهان) محاسبه شده و مورد بحث قرار گرفت.

**کلید واژه:** کاتالوگ زمین لرزه، انرژی لرزه ای، بزرگی زمین لرزه، مهاجرت فعالیت های لرزه ای، گاف های لرزه ای

### Abstract

In this study, we collected a catalog of earthquakes around the Isfahan province, Iran, especially the Zagros region, from 2006 to 2017 in the range of 45 to 57 degrees longitude and 28 to 36 degrees latitude to estimate energy distribution providing an insight into probable seismic activity migration as well as seismic gaps. Spatial and temporal distribution of energy was considered as a proxy for migration of seismic activities.

For earthquakes with magnitude  $M_w < 5$  due to lack of surface rupture, it is hard to estimate energy release. For this reason, we established a linear relationship between magnitude scales of Mn and Ms for calculating an empirical equation to estimate energy in a straightforward way.

To calculate the total energy, the entire region divided into  $0.5 \times 0.5$  degrees windows, and stress-related seismic energy was estimated over time spanning of 3 years from the beginning of January 2006 to the end of May 2017. It is worth noting that because of the significant activity of Zagros zone and the absence of dense events around Isfahan province, seismic energy in the western part of the Zagros zone was calculated and discussed.

**Key Words:** catalog of earthquake, seismic energy, magnitude earthquake, seismic activity migration, seismic gap

## ۱-۱) مقدمه:

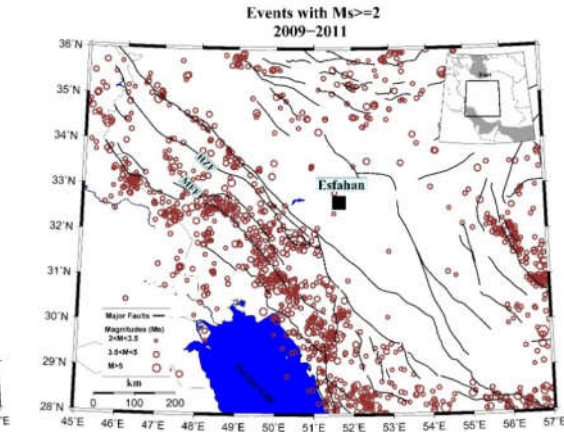
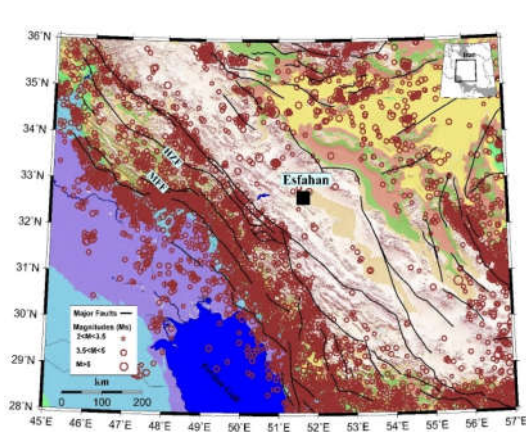
پیش بینی زمین لرزه عبارت است از تعیین محدوده بزرگی، ناحیه جغرافیایی و محدوده زمانی که در آن زمین لرزه ای درآینده رخ خواهد داد. یکی از راه کارهای تجربی پیش بینی زمین لرزه، روش بررسی پیش نشانگرهای لرزه ای (Precursory seismic) است. در روش بررسی پیش نشانگرهای لرزه ای بی هنجاریهای لرزه ای، توزیع مکان، زمان، داده های لرزه زمینساختی، زمین شناسی، زمین شیمیایی و ژئودتیک (Geodetic) مورد بررسی قرار گرفته، براساس آنها امکان فعالیت لرزه ای و یا زمین لرزه های بزرگ آینده، پیش بینی می شود. بررسی الگوهای لرزه خیزی در اکثر نقاط دنیا، امکان پیش بینی زمین لرزه را در آن نقاط نشان داده است. این الگوها شامل: گاف لرزه ای (Seismic gap) کمربند لرزه ای، بی هنجاری لرزه ای (افزایش لرزه خیزی یا آرامش لرزه ای) و بی هنجاری مقدار  $b$  (b-value) است (جو ۲۰۰۰).

## ۲- ۲) گاف لرزه ای

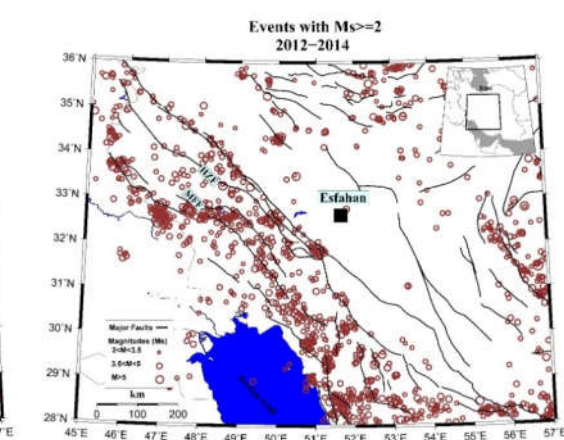
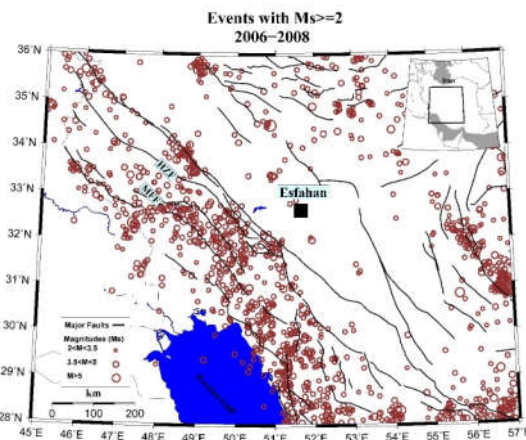
گاف های لرزه ای قطعاتی از عناصر زمین ساختی هستند که در حال حاضر آرام اند ولی ممکن است درآینده موجب زمین لرزه های بزرگ شوند (آمبرسیز، ۱۹۸۸). بر اساس نظریه ی گاف های لرزه ای، مناطق فعالی که مدتی آرامش لرزه ای دارند، احتمالاً در مرحله تجمع کرنش لرزه ای (میان لرزه ای) (Interseismic) از چرخه زمین لرزه قرار دارند. به عبارتی این مناطق دارای پتانسیل برای زمین لرزه های آینده هستند. تلاش ابتدایی استفاده از مفهوم گاف لرزه ای، برای برآورد زمین لرزه های بزرگ آینده از سوی ایماورا قبل از زمینلرزه مخرب ۱۹۲۳ توکیو صورت گرفت (لو، ۱۹۸۸).

موضوع گاف لرزه ای بعنوان یک پیش نشانگر مهم برای وقوع زمین لرزه های بزرگ آینده مورد توجه ژئوفیزیسین های زلزله شناس می باشد؛ بطوریکه برای بسیاری از زمین لرزه های شمال شرق ژاپن (زلزله های سالهای ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۱) گاف لرزه ای گزارش شده است؛ که این گزارشات بر تغییرات لرزه ای نامنظم قبل از وقوع زلزله ی اصلی دلالت دارد (نیشی مورا و همکاران ۲۰۰۴)، همچنین زمین لرزه هایی که طی دوره های کمتر از ده سال در رومرکز و نواحی اطراف آنها رخ داده با زمین لرزه های قبلی منطقه مرتبط می باشد. از جمله زمین لرزه های دارای پیش نشانگر گاف لرزه ای؛ زمین لرزه ۲۰۱۱ توهوکو می باشد که بررسی گاف لرزه ای آن بینش مهمی از فرآیندهای اولیه و فعالیت های لرزه ای نامنظم قبل از زلزله ی اصلی ارائه میدهد؛ بهمین خاطر است که برای تعیین پیش نشانگر تغییرات انرژی لرزه ای مرتبط با زمین لرزه توهوکو از روش تصحیح PI (Pattern Informatics) استفاده شده (وو و همکاران ۲۰۱۱) بطوریکه در این روش از فعالیت های لرزه ای نامنظم زمین لرزه های بزرگ قبلی نیز استفاده شده (چن و همکاران ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ و وو و همکاران ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱)، همچنین در این روش دانشمندان مذکور بر الگوی مهاجرت تغییرات انرژی لرزه ای نامنظم (نقاط داغ (PI Hotspots)) در نواحی فوق متمرکز شده اند. آنها از تصحیح خطای فاصله در روش PI، برای تجزیه و تحلیل نزدیکترین نقطه داغ PI استفاده کرده اند. لازم بذکر است کاربرد راهکار خطای فاصله این مزیت را دارد که با نقطه داغ PI می توان رو مرکز زلزله های بزرگ آینده را نشان داد؛ بعبارت دیگر کاهش خطای فاصله نسبت به زمان بستگی به میزان تنش انباشته شده در اطراف رو مرکز زلزله بزرگ آینده دارد. بهمین خاطر است که مطالعه خطای فاصله می تواند پدیده های اولیه یک زمین لرزه بزرگ را آشکار سازد.

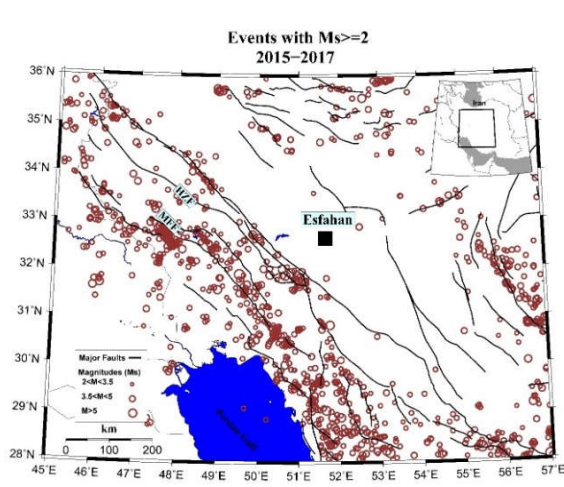
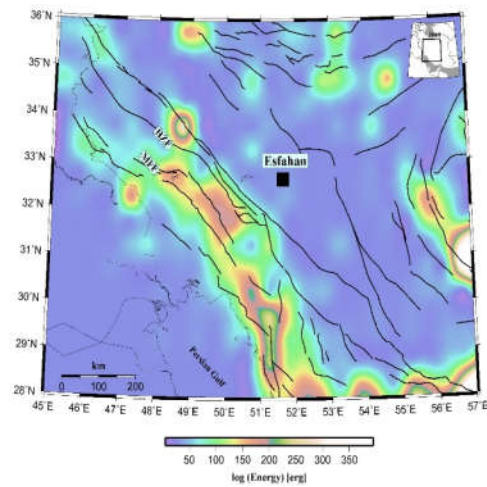
حال با توجه به مطالعات و فعالیت های صورت گرفته بر روی زمینلرزه ۲۰۱۱ توهوکو توسط دانشمندان نامبرده در این تحقیق از این متد (مهاجرت PI) استفاده شده و بر روی منطقه ای به شعاع بیش از ۲۰۰ کیلومتر با مرکزیت شهر اصفهان مطالعه صورت گرفته، هدف از انتخاب این بخش از کشور نیز، دلایل خاص از قبیل جمعیت بالا، صنعتی بودن و استقرار صنایع بزرگ مادر در این استان وجدای از تمام این دلایل گاف لرزه ای که در منطقه فوق بخصوص در بخش خاوری حاکم است، می باشد. آنچه قابل ذکر است این که در این تحقیق بر روی مهاجرت انرژی لرزه ای در این منطقه کار شده و مهاجرت تغییرات انرژی از باختر به خاور و از جنوب به شمال این استان مورد بررسی قرار گرفته تا بتوان با بررسی و تفسیر گاف لرزه ای، پیش بینی نمود که زمین لرزه های آینده ی این منطقه از نظر محدوده جغرافیایی، بزرگا و راستای مهاجرت چگونه اند.



شکل ۱- نقشه توپوگرافی و رومرکز زمین لرزه های رویداده در اطراف استان اصفهان (از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱).  
شکل ۲- نقشه رومرکز زمین لرزه های رویداده در اطراف استان اصفهان (از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸).

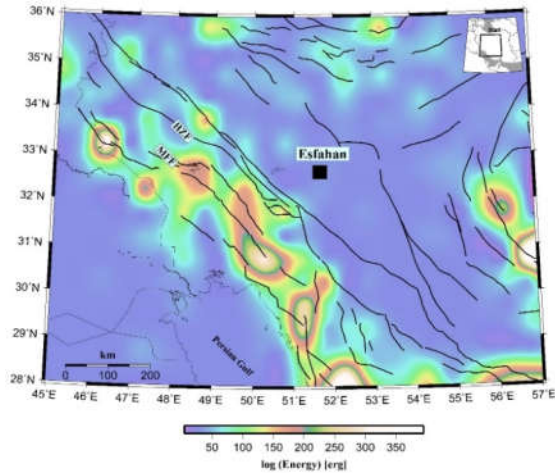


شکل ۳- نقشه رومرکز زمین لرزه های رویداده در اطراف استان اصفهان (از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴).  
شکل ۴- نقشه رومرکز زمین لرزه های رویداده در اطراف استان اصفهان (از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸).

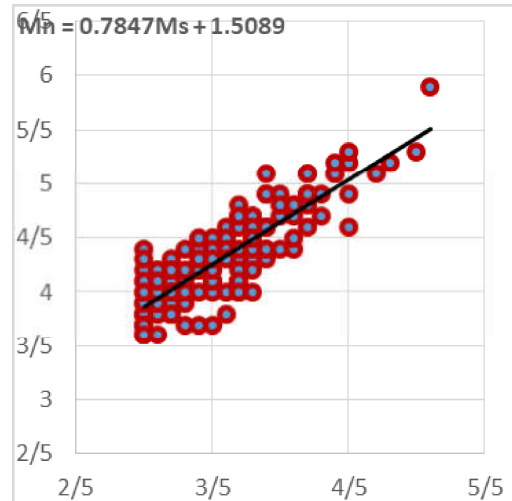


شکل ۵- نقشه رومرکز زمین لرزه های رویداده در اطراف استان اصفهان (از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷).  
شکل ۷- مقدار انرژی آزاد شده در زاگرس در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸.

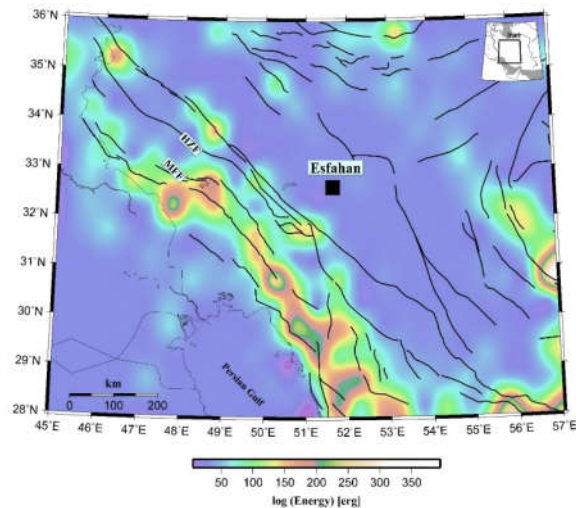




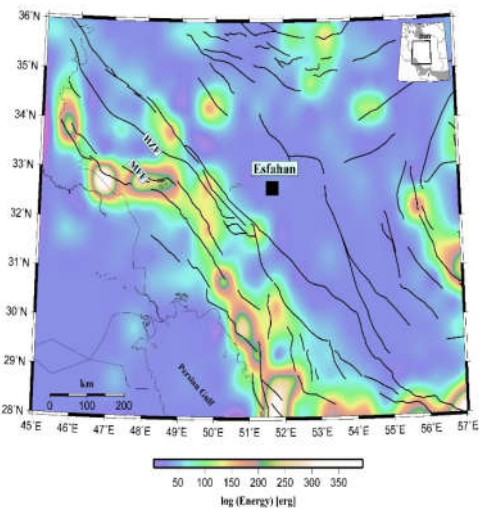
شکل ۸- مقدار انرژی آزاد شده در زاگرس در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱



شکل ۶- رابطه بزرگی Mn و Ms با استفاده از ۱۵۳ رویداد موجود در داده‌ها که هر دو نوع بزرگی برای رویدادها موجود بودند.



شکل ۱۰- مقدار انرژی آزاد شده در زاگرس در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷



شکل ۹- مقدار انرژی آزاد شده در زاگرس در بازه زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴.

### ۳-۱) نتیجه گیری

همانگونه که در شکل‌های ۷ تا ۱۰ مشاهده می‌شود ناحیه زاگرس در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹ در بخش شمال غرب و مرکز فعالیت چشمگیری نداشته است و بخش جنوب شرقی نسبتاً فعال بوده است. با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ بخش شمال غرب همچنان در سکون لرزه ای نسبی باقی مانده است ولی فعالیت بخش مرکزی بطور چشمگیری افزایش یافته است. در بخش جنوب شرقی نیز مخصوصاً بخش انتهایی آن در شمال تنگه هرمز فعالیت لرزه ای افزایش یافته است. با توجه به روند مهاجرت لرزه ای مشاهده شده و اینکه پس از این تاریخ در این منطقه زمین لرزه قابل توجهی روی نداده است؛ و نیز با توجه به فعال بودن منطقه، می‌توان در امتداد این گسل و به سمت شمال منطقه مستعد رویداد زمین لرزه های آتی دانست. با بررسی زمین شناسی و لرزه خیزی منطقه زاگرس و اطلاعات به دست آمده از زمین لرزه های منطقه و توزیع زمانی و مکانی آنها و نیز انرژی آزاد شده توسط آنها بر اساس بزرگی امواج سطحی نتایج زیر حاصل شده است:

- اکثر زمین لرزه های منطقه شمال غرب و نواحی مرکزی زاگرس بر اثر جنبش گسل اصلی عهد حاضر روی داده است. - بر روی گسل اصلی عهد حاضر از ۴۲ تا ۴۶ درجه طول شرقی یک کاف لرزه ای مشاهده می شود. کافهای لرزه ای محل های مستعد رویداد زمین لرزه های بزرگ آینده هستند.

- در ناحیه ۴۴ تا ۴۶ درجه طول شرقی و ۳۳ تا ۳۵ درجه عرض شمالی طی دوره مورد بررسی فعالیت های لرزه ای خاصی مشاهده نشده است. این ناحیه مرز جنوبی زاگراس و صفحه عربستان است و می توان فعال نبودن منطقه را دلیل گسترش سکوی بی لرزه عربستان در این محدوده دانست.

- در جنوب غرب گسل اصلی عهد حاضر در ناحیه ۴۷-۴۸ درجه طول شرقی (کرمانشاه) سکون لرزه ای مشاهده می شود که با توجه به فعال بودن منطقه و زمین لرزه های روی داده در اطراف آن می تواند کاندیدای رخداد زمین لرزه های بزرگ در آینده باشد.

- در ناحیه ۵۰ تا ۵۱ درجه طول شرقی و ۳۱ تا ۳۲ درجه عرض شمالی، ما بین HFZ و MFF فعالیت لرزه ای خاصی مشاهده نمی شود. و چون اطراف این منطقه از فعالیت لرزه ای بالایی برخوردار است، می توان این منطقه را بعنوان یک کاف لرزه ای معرفی نمود.

### منابع

- ۱- دهقان، س. ه. منشادی، و میرزایی، ن. ۱۳۸۹ بررسی لرزه زمین ساخت و لرزه خیزی منطقه اصفهان مجله فیزیک زمین و فضا (۸۹) ش ۴، ۱-۲۲
- ۲- ریاضی راد، ز. س و دکتر غلام جوان دولویی، بررسی لرزه خیزی و ساختار سرعتی ناحیه اصفهان بر اساس امواج پیکری - SID-۱۳۸۹.
- 3- Ambraseys, N. N., (1974). Historical seismicity of North-Central Iran. In: Materials for the study of seismotectonics of Iran; North Central Iran. Geol. Surv. Iran, Rep. 29, pp. 47-95.
- 4-Chen, C. C. and Y. X. Wu(2006). An improved region –time-length algorithm applied to the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake , *Geophys. Res.Lett.* 32, L22315, 4 pp.,doi: 10.1029/2005GL023991
- 5- Gutenberg, B. and Richter, C.F., (1955). Magnitude and energy of earthquakes. *Nature*,. 176: 795-796.
- 6-Hirose ,F., Miyaoka, K ., Hayashimoto , N ., Yamazaki , T ., and Nakamura , M.(2011) Outline pf the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake ( $M_w=9.0$ ) Seismicity: foreshock, mainshock, aftershocks, and induced activity.,*Seismology and Volcanology Research Department , Meteorological research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki305-0052, Japan*  
*Earth Planets Space*, **63**,513-518,2011
- 7-Nishimura, T., T. Hirasawa, S. Miyazaki, T.Sagiya, T. Tada, S.Miura, and K. Tanaka (2004). Temporal change of interpolate coupling in north-eastern japan during 1995-2002 estimated from continuous GPS observations, *Geophys. J. Int.***157**, 901-916.
- 8- Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes. *J. Geophys. Res.* 82, 2981-2987.
- 9-Kawamura, M . Wu, Yi., Kudo , T., and Chen, Ch.,:Precursory Migration of Anomalous Seismic Activity Revealed by the Pattern Informatics Method :A Case Study of the 2011 Tohoku Earthquake, Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America Vol.103, No,2B, pp.1171-1180, May 2013, doi:10.1785/0120120094.*
- 10-Lu, Y . and Juango, S., 1989 , Practical application of preparation gaps for intermediate-term earthquake prediction. *Tectonophysics* **167**:319-328
- 11- Yamada ,T .Yukutake ,Y. and Arai, R.(2015) .Migration of earthquakes with a small stress drop in the Tanzawa Mountains , Japan. *Earth , Planets and Space a Springer Open Journal.*
- 12-Wu, Y. H., C. C. Chen, and J. B. Rundle (2011). Precursory small earthquake migration pattern, *Terra Nova* **23**, 369-374.
- 13-Zhu , C., 2000 , Empirical approaches to earthquake prediction. Lecture Note Institute of Geophysics , Beijing China.