

Evaluation of Chahak fault activity (East Iran) by seismic analysis and tectonic morphology

Hasan Navaseri¹, Seyed Morteza Moussavi^{1*}, Mohammad Mahdi Khatib¹, Ebrahim Gholami¹

1-Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

Keywords: Seismicity, Morphotectonics, Chahak Fault, East Iran

1-Introduction

The study area in South Khorasan is 58° 46' to 58° 57' and 33° 10' to 33° 29' wide. In this study, the seismicity study of Chahak fault and investigation of tectonic and neutral morphological indices associated with Chahak fault thrust. Finally, by combining the results of these two methods, it is suggested to investigate the activity of the Chahak fault as well as identify the high-risk areas.

2-Methodology

In the first phase, to raise the level of self-knowledge, books, articles on related sites were studied. In the next step, field surveys and the use of a variety of related sites and various software were collected and analyzed. Finally, according to the goals set, the information was combined, and the results presented.

3- Results and discussion

In this study, two parameters of tectonic morphological analysis and seismic analysis were used to evaluate and evaluate the activity of Chahak Fault.

3-1- Morphometric indices

Morphotectonic indices and morphological evidence are useful tools in assessing neonatal activity in the regions, and their study will help us to better understand the action of forces affecting their formation. Accordingly, land forming is the construction of knowledge that encompasses all aspects of the relationship between geological structures and existing landforms (Adams et al., 1999). Twelve catchments were identified for the study area (Fig. 1) and each of the geomorphic indices topographic symmetry (T), drainage basin asymmetry (Af), basin shape (Bs), river channel sinusitis (S) and mountain frontal sinusitis. (SMF) have been measured (Table 1). Finally, by combining the above indices, the relative active landfill index (IAT) is presented in this area. The average values of the geomorphic index categories were measured separately and then classified into four categories, which are, in fact the same categories of Active Land Index (Iat) of the study area (Table 2), to calculate the Active Land Index in each basin. Tier 1 values are divided between 1 to 1.5, Tier 2 between 1.5 and Tier 2, Tier 3 between 2 and 2.5, and Tier 4 over 2.5 (El Hamdouni, 2008). According to the results, ten basins have high tectonic activity, and two basins have a moderate tectonic activity that shows that the study area has relatively high tectonic activity, due to movements and activity of Chahak Fault.

3-2- Seismic inspection

The earthquake catalog of the International Earthquake Research Institute and the USGS site was used in this study, and earthquakes of the twentieth century with a radius of 150 km to the center of Aryan city between 1900 and 2019 were prepared and analyzed (Fig. 2). Then the $bM - a = \log N$ relationship was used to obtain the seismic formula of the study area, where N is the number of earthquakes with magnitude M and a coefficient determining the earthquakes with magnitude greater than zero. The seismic context of the region and the coefficient b represent the region's tectonics (Akasheh, 1999). In this study, earthquakes of 4 Richter were

* Corresponding author: mmoussavi@birjand.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2020.32098.2070

Received 2019-09-14

Accepted 2020-03-17

considered, and finally, by drawing a semi-logarithmic curve, the seismic formula of the study area was discussed. Finds that the seismic equation of the region is as follows $\text{LOGN} = 2.16 - 0.61\text{MS}$. Using the obtained seismic equation, we can recover the period of earthquakes. RA study to estimate the values in (Table 3) is provided. The experimental conditions of Salmonz, Ambraseys, and Melville and Norouzi were used to investigate the seismic potential of the faults in the region. Estimation of the maximum probable magnitude for each fault and then calculating the maximum horizontal acceleration of the earth for that fault area were determined. A seismic acceleration map of eastern Iran is also were provided, which well represents the maximum horizontal acceleration around the major faults (Fig. 3).

4-Conclusions

The morphometric indices S, BS, AF, and T calculated the mean AF value in the main basin 59, indicating that the main basin tilted westward. The result can be attributed to the density of faults in the east and the persistent lithologies in the eastern part of the basin. The mean BS value in the main basin is 1.88, which indicates the closeness of the basin shape to the circle, indicating a low uplift rate and more time spent on erosion in the main basin. The mean S in the main basin is close to the numerical value of 1, indicating activity and uplift in some parts of the study area. The average Smf at the five mountain fronts is a numerical average of 1.02, indicating the activity of the Chahak Fault and its surrounding faults, preventing erosion and creating a winding mountain front. Also, the value of the relative active landfill index is 1.94, indicating high activity in the study area. The presence of alluvial cones indicates a high rate of frontal mountain elevation relative to the amount of downstream drilling that results in the formation of new alluvial cones at the apex that show tectonic activity in different parts of the range. Other evidence includes the existence of diverted waterways and fault segments in the gorge. The waterways diagonally enter the fault zone and flow parallel to the faults of the area before returning to their original course. By examining the fault fractions of the study area, the Chahak fault in the south of the region changes from a strike-slip to a reverse mechanism. By reviewing the twentieth-century earthquakes from 1900 to 2019, the $\text{LOGN} = 2.16 - 0.61\text{MS}$ seismic formula was obtained for the study area, where $a = 2.16$ and $b = 0.61$ are the seismic parameters. The return period values for earthquakes of 4, 5, 6, 6.5, 7, and 7.4 are estimated to be 1.92, 7.82, 32, 65, 130, and 228 years, respectively. According to the acceleration map (Fig. 10), the horizontal gravity acceleration value for the studied PGA ranges between 0.28g and 0.40g due to the Chahak fault performance with an average seismic power of approximately 7.1 Richter and a length of 50 km. It has a relatively high seismic hazard. In summary, the comparison between the use of statistical seismic analysis on the one hand and tectonic morphing on the other shows acceptable agreement in the study area.

References

- Adams, K.D., Wesnousky, S.G., Bills, B.G., 1999. Isostatic rebound, Active faulting, and Potential geomorphic effects in the Lake Lahontan basin, Nevada and California. Geological Society of America Bulletin 111, 1739-1756.
- Akashah, B., 1999. Fundamentals of Geophysics, Peak Culture Publishing, 257pp.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology 96, 150-173.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Navaseri, H., Moussavi, S.M., Khatib, M.M., Gholami, E., 2021. Evaluation of Chahak fault activity (East Iran) by seismic analysis and tectonic morphology. Adv. Appl. Geol. 10(4), 537-552.
DOI: 10.22055/AAG.2020.31040.2039
url: https://aag.scu.ac.ir/article_15491.html?lang=en

ارزیابی فعالیت گسل چاهک (خاور ایران) به روش تحلیل لرزه خیزی و ریخت زمین ساختی

حسن نواصری

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

سیدمرتضی موسوی*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

محمد مهدی خطیب

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

ابراهیم غلامی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۷

*mmoussavi@birjand.ac.ir

چکیده

وجود گسل‌های فعال و کواترنری (جوان) در خاور ایران باعث شده تا این گستره از دیدگاه لرزه خیزی یکی از مناطق فعال در نظر گرفته شود. روش‌های زیادی برای شناسایی و ارزیابی میزان خطر زمین لرزه برای یک گستره وجود دارد. در این پژوهش سعی شده به دو روش تحلیل لرزه خیزی به روش آماری و بررسی شاخص‌های ریخت زمین ساختی و شواهد نوزمین ساختی میزان فعالیت و لرزه خیزی گسل چاهک که در ۳۰ کیلومتری آراین شهر (خراسان جنوبی) واقع شده است پرداخته شود و نتایج حاصل از این دو روش را با هم مقایسه گردد. در انتها با بررسی و محاسبه شاخص‌های ریخت زمین ساختی S ، AF ، BS ، T و Smf که میانگین عددی آن‌ها به ترتیب ۱، ۱/۸۸، ۵۹، ۰/۴۰ و ۱ و تلفیق آن‌ها و بدست آوردن شاخص زمین ساخت فعال ($\bar{I}at$) که برابر با ۱/۹۴ و همچنین بررسی لرزه خیزی گسل چاهک مشخص شد که گسل چاهک دارای فعالیت نسبتاً بالایی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و می‌توان گفت که تحلیل لرزه خیزی به روش آماری و بررسی ریخت زمین ساختی ابزار مناسبی برای برآورد میزان تحرکات تکتونیکی و خطر زمین لرزه در یک گستره هستند تا به واسطه آن‌ها بتوان مناطق با خطر زمین لرزه و همچنین چشمه‌های لرزه‌زا را شناسایی و تحلیل نمود تا در هنگام وقوع زمین لرزه شاهد کاهش تلفات جانی و خسارات مالی باشیم و بتوانیم بیشتر از فواید وقوع زمین لرزه استفاده کنیم و دید خود را نسبت به وقوع زمین لرزه تغییر دهیم.

کلمات کلیدی: لرزه خیزی، ریخت زمین ساخت، تکتونیک فعال، گسل چاهک، خاور ایران

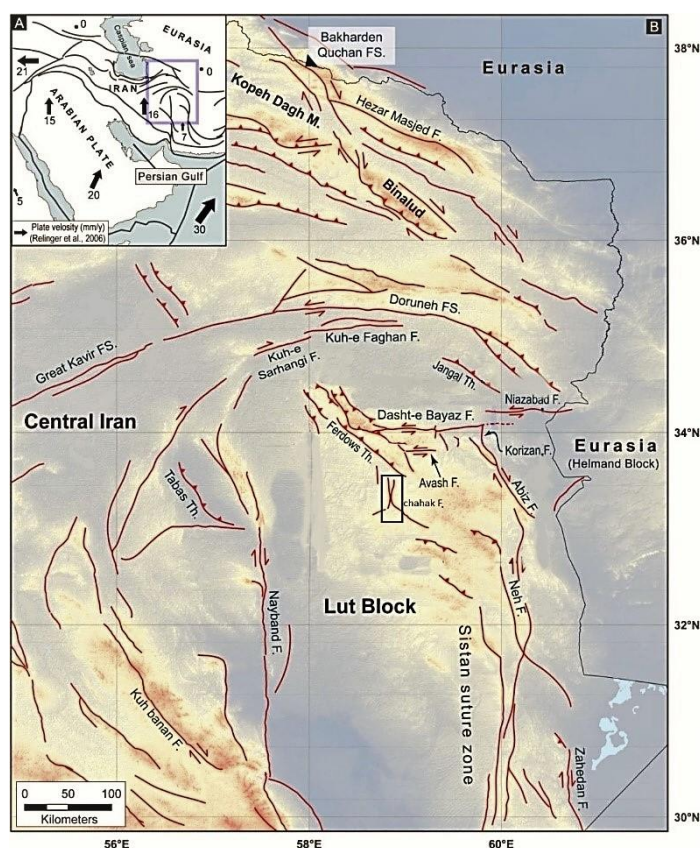
مقدمه

در برابر زمین لرزه‌های نه چندان بزرگ وقوع زمین لرزه خسارت‌های جانی و مالی فراوانی برای مردم این مناطق خواهد داشت. در این پژوهش به مطالعه لرزه خیزی گسل چاهک و بررسی شاخص‌های ریخت زمین ساختی و نوزمین ساختی مرتبط با راندگی گسل چاهک پرداخته شده است که در نهایت با تلفیق نتایج این دو روش به بررسی میزان فعالیت گسل چاهک و همچنین شناسایی مناطق پرخطر اشاره می‌گردد، که در امور توسعه شهری و روستایی و فعالیت‌های عمرانی در این گستره می‌توان مورد استفاده قرار گیرد.

روش کار

در مرحله نخست برای بالا بردن سطح آگاهی و علمی خود به مطالعه کتب، مقالات و سایت‌های مرتبط پرداخته شد. در مرحله بعد با انجام بازدیدهای صحرائی و استفاده از انواع سایت‌های مرتبط مثل سایت پژوهشگاه بین المللی زلزله و $USGS$ و استفاده از نرم افزارهای مختلف مثل $ArcGIS10.3$ ، $GlobalMapper18$ و همچنین استفاده از $Google Earth$ و بررسی تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های مورد نظر جمع‌آوری و تحلیل گردید و در مرحله نهایی با توجه به اهداف تعیین شده، اطلاعات بدست آمده با هم ترکیب و نتایج ارائه شد.

موقعیت خاص ایران در نوار کوهزایی آلپ - هیمالیا و نیروهایی که از جهات مختلف بر کشور ایران وارد می‌آید، موجب شده است که از دیرباز کشور ایران یکی از مناطق پرتحرک و پر زلزله جهان محسوب گردد که یکی از عوامل اصلی این زمین لرزه‌ها نتیجه حرکات گسل‌ها و حتی بخش‌هایی از یک گسل می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در خاور ایران (خراسان جنوبی) و بین 46° تا 58° و 57° تا 58° و عرض‌های $10'$ تا 33° قرار دارد (شکل ۱). با توجه به موقعیت تکتونیکی منطقه مورد مطالعه، وقوع زمین لرزه در این منطقه امری محتمل و با توجه به تاریخچه لرزه خیزی در این بخش از فلات ایران، شاید بتوان آن را امری قطعی دانست. همان طور که اشاره شد گسل‌ها یکی از عوامل اصلی مصوب زمین لرزه‌ها می‌باشند. گستره مطالعاتی دارای گسل‌های مهمی می‌باشد که گسل چاهک اصلی‌ترین گسل این گستره است. این گسل دارای امتداد شمالی - جنوبی به طول حدوداً ۵۰ کیلومتر می‌باشد، که زمین لرزه ۱۹۴۱/۶/۲ چاهک با بزرگی ۶٫۴ ریشتر و زمین لرزه ۱۹۶۲/۴/۱ موسویه با بزرگی ۵٫۸ تا ۶ ریشتر به این گسل نسبت داده شده است (Ambraseys and Melville, 1982). با توجه به وجود تعداد زیادی از مراکز جمعیتی روستایی در این بخش و مقاوم نبودن سازه‌ها



شکل ۱- نقشه گسل‌های خاور ایران (برگرفته شده از Baniadam, 2019); کادر مشکی منطقه مورد مطالعه.
 Fig 1. Faults map of east Iran from Baniadam (2019); black rectangular is the study area.

داده‌های مورفوتکتونیک

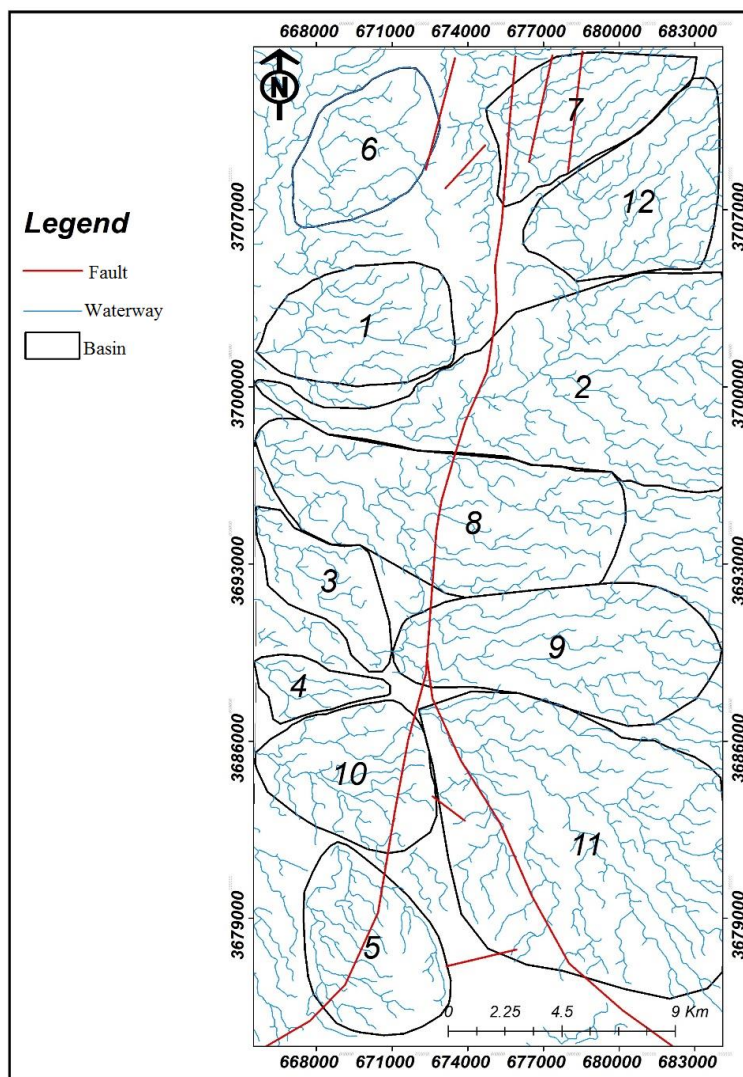
شاخص‌های مورفومتری

شاخص‌های مورفوتکتونیک و شواهد مورفولوژیکی ابزار مفیدی در ارزیابی فعالیت نوزمین ساختی مناطق به شمار می‌رود و مطالعه آن‌ها باعث شناخت بهتر ما از فعالیت نیروهای موثر بر شکل‌گیری آن‌ها خواهد شد. بر این اساس ریخت زمین‌ساخت دانشی است که تمام جنبه‌های ارتباطی بین ساختارهای زمین‌شناسی و اشکال موجود زمین را در بر می‌گیرد (Adams et al., 1999). در این بخش برای بررسی و تحلیل فعالیت نوزمین ساختی گسل چاهک در منطقه مورد مطالعاتی از شاخص‌های مورفوتکتونیک و شواهد ژئومورفولوژیکی استفاده گردید. برای بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیک تعداد ۱۲ حوضه آبریز به همراه طولانی‌ترین مسیر احتمالی عبور رودخانه آن‌ها در محیط ArcGIS 10.3 و Global Mapper 18 استخراج گردید (شکل ۲). سپس شاخص‌های ژئومورفیک تقارن توپوگرافی (T)، عدم تقارن حوضه زهکش (Af)، شکل حوضه (Bs)، سینوسیته کانال رودخانه (S) و سینوسیته پیشانی کوهستان (Smf) مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند (جدول ۱). در نهایت با

تلفیق شاخص‌های فوق، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) در این منطقه ارائه گردید.

شاخص سینوسی یا پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf = Lmf / Ls)

مقدار شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان در گستره مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره ای شامل تصویر Google Earth و SRTM در ۵ جبهه در محل اتصال گسل‌های فعال منطقه با آبرفت محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). اگر در اثر کاهش فعالیت‌های تکتونیک منطقه، فرآیندهای فرسایشی تاثیر بیشتری روی جبهه‌ی کوهستان بگذارند، مقدار سینوسیته افزایش می‌یابد. هرگاه مقدار این شاخص با عدد برابر باشد، بیانگر زون فعال از نظر تکتونیک است. افزایش مقدار آن بیانگر کاهش در فعالیت تکتونیک منطقه می‌باشد (Keller and Pinter 2002). طبق نتایج بدست آمده ۵ جبهه گستره مورد مطالعه بدلیل نزدیک بودن به مقدار عددی ۱ پیشانی کوهستان دارای فعالیت تکتونیک بالا می‌باشد (جدول ۲ و شکل ۳).



شکل ۲- موقعیت حوضه‌های منطقه مورد مطالعه.

Fig. 2. Basin location of the study area.

جدول ۱ - میانگین محاسبه شده شاخص‌های مورفومتری برای منطقه مورد مطالعه.

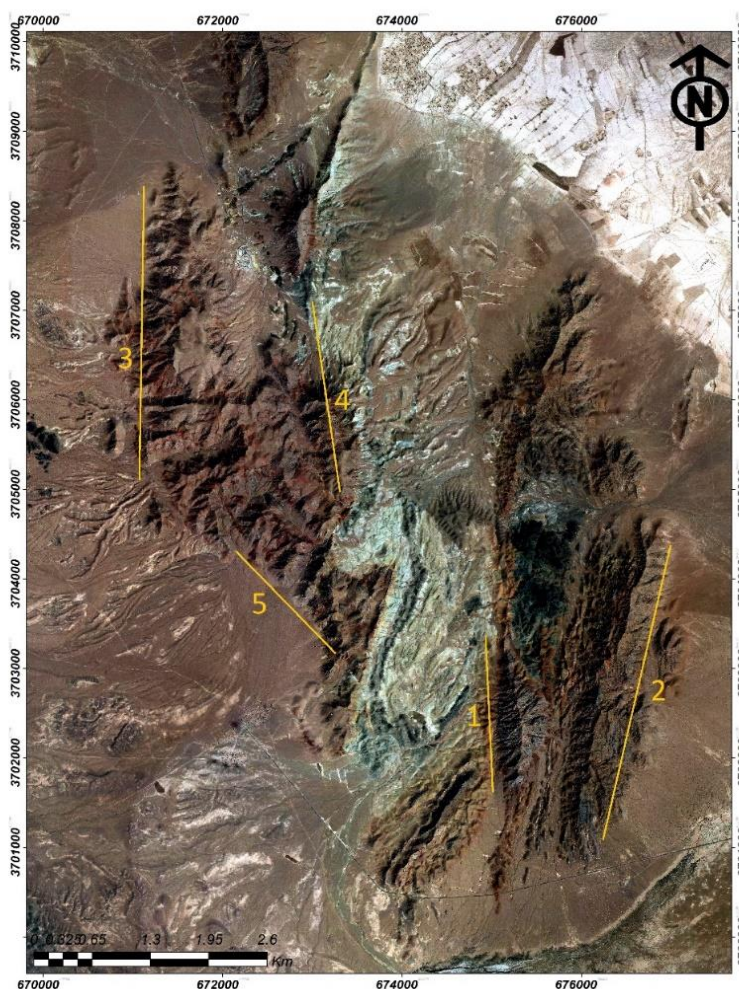
Table 1. Calculated mean of morphometric indices for the study area.

Basin Name	BS	AF	T	S
1	1.66	87	0.6	1.13
2	2.35	58	0.27	1.11
3	1.98	35	0.1	1.35
4	1.94	65	0.34	1.12
5	1.59	39	0.25	1.22
6	1.62	89	0.9	1.34
7	1.88	50	0.17	1.21
8	2.72	59	0.79	1.36
9	2.28	41	0.78	1.42
10	1.17	71	0.35	1.31
11	1.53	54	0.18	1.21
12	1.72	45	0.16	1.14

جدول ۲ - مقادیر Smf محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه.

Table 2. Calculated Smf values for the study area.

Mountain Front Name	Lmf	Ls	Smf
1	3	2.91	1.03
2	7.53	7	1.07
3	3.49	3.34	1.04
4	2.49	2.49	1
5	2.92	2.88	1



شکل ۳- خطوط مستقیم (LS) به همراه محل‌های محاسبه شاخص سینوسیته کوهستان.

Fig 3. Direct Lines (LS) with locations of mountain sinuities index calculation.

شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat)

در این مطالعه ۵ شاخص مورفوتکتونیک در هر کدام از ۱۲ حوضه محاسبه شده و به ۳ رده زمین ساختی تقسیم گردیده‌اند. آنگاه در هر حوضه بطور مجزا میانگین مقادیر رده شاخص‌های ژئومورفیکی اندازه-گیری شده و سپس به ۴ رده که درحقیقت همان رده‌های شاخص

زمین ساخت فعال (Iat) گستره مورد مطالعه می‌باشند، طبقه‌بندی شده است (جدول ۳). رده ۱ مقدار بین ۱ تا ۱,۵، رده ۲ بین ۱,۵ تا ۲، رده ۳ بین ۲ تا ۲,۵ و رده ۴ بیشتر از ۲,۵ تقسیم‌بندی می‌شود (El Hamdouni, 2008). با توجه به نتایج بدست آمده از شاخص (Iat) از ۱۲ حوضه، ۱۰ حوضه دارای فعالیت تکتونیکی بالا و ۲ حوضه دارای فعالیت تکتونیکی متوسط می‌باشند که می‌توان گفت منطقه مورد

جدیدتر در قسمت راس ۲- مخروط افکنه جابه جا شده و سربریده ۳- بریده شدن مخروط افکنه ۴- تغییر در شکل مخروط افکنه و کج شدگی آن (شکل ۵)، نمونه از مخروط افکنه در شمال گستره مورد مطالعه که نشان دهنده افزایش حرکات تکتونیکی ناشی از فعالیت گسل چاهک و گسل- های همروند آن در این گستره می باشد و با توجه به این شکل نشان می دهند گسل مذکور به دلیل حرکت راستگرد باعث خم شدگی مخروط افکنه به سمت جنوب شده است و همچنین باعث شده که مخروط افکنه جدیدتر بر روی مخروط افکنه قدیمی و در قسمت راس تشکیل شود.

آبراهه (Stream)

یکی از مهم ترین فاکتورهای بررسی میزان فعالیت تکتونیکی در یک گستره بررسی آبراهه ها می باشد. معمولا اولین اثرات جنبش های زمین- ساختی بصورت محلی در کاهش و یا افزایش شیب بستر کانال و یا بریدگی کانال رودخانه نمایان می گردد. انحراف ناگهانی در مسیر آبراهه- های یک گستره می تواند دلیلی بر وجود و فعالیت گسل راستالغز باشد. منظور از آبراهه های منحرف شده، آبراهه هایی می باشند که بصورت مورب وارد زون گسلی شده و قبل از اینکه به مسیر اصلی خود برگردند در مسافتی به موازات گسل جریان پیدا کرده اند. لذا از روی آبراهه های منحرف و جابه جا شده می توان به جهت جابه جایی نسبی حرکت در گسل راستالغز پی برد. در منطقه مورد مطالعه حرکت آبراهه ها به صورت راستگرد می باشد که تحت تاثیر فعالیت گسل چاهک و گسل های هم روند با گسل چاهک قرار گرفته اند (شکل ۶).

مطالعه بدلیل حرکات و فعالیت گسل چاهک دارای فعالیت تکتونیکی نسبتا بالایی می باشد (شکل ۴).

شواهد ریخت زمین ساختی گستره مورد مطالعه

با پیمایش صحرایی و بررسی گسل چاهک و گسل های هم روند آن می توان نتیجه گرفت که گسل های منطقه از دیدگاه سازوکار دارای شیب زیاد (۶۰ تا ۷۵) و زاویه افتادگی (Rake) خشلغز پایین (کمتر از ۳۲ درجه) هستند و می توان گفت گسل های منطقه دارای مولفه غالب حرکتی امتداد لغز می باشند. لذا در این منطقه عوارض مورفوتکتونیکی مرتبط با گسل های امتداد لغز از جمله پرتگاه گسلی، جابجایی آبراهه ها، حوضه های فرونشستی، رودهای بریده شده، دره های خطی به وفور یافت می شود. بر اساس بازدیدهای میدانی که از منطقه مورد مطالعه صورت گرفته شواهد ذیل مشاهده و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته اند.

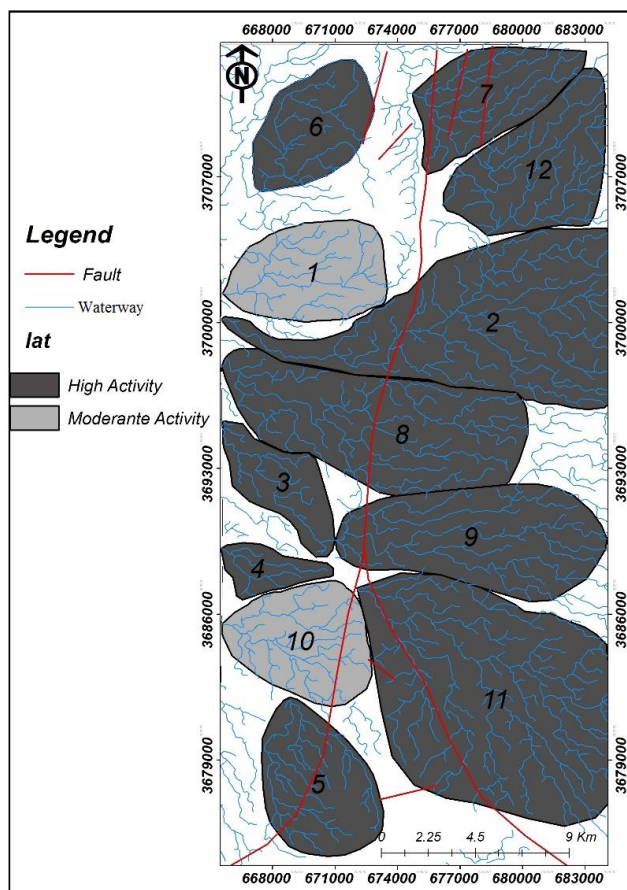
مخروط افکنه (Alluvial fans)

مخروط افکنه ها از جمله اشکال ژئومورفولوژیکی می باشند که در اثر عوامل گوناگونی در ارتفاعات منطقه مورد مطالعه شکل گرفته اند. در شکل گیری و گسترش این مخروط افکنه ها عواملی دخالت دارند که در گذشته سبب شکل گیری و در شرایط کنونی سبب گسترش آن ها شده- اند. یکی از عوامل مهمی که نقش تعیین کننده ای در شکل گیری و گسترش مخروط افکنه های یک منطقه می تواند داشته باشد فعالیت تکتونیکی آن منطقه می باشد. با استفاده از تصاویر ماهواره ای و تصاویر Google Earth و همچنین مشاهدات صحرایی تاثیرات گسل چاهک بر روی مخروط افکنه های منطقه مورد مطالعه مشاهده و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته اند که این تاثیرات عبارت انداز: ۱- رشد مخروط افکنه

جدول ۳- مقادیر محاسبه شده کلاس های تکتونیکی هر شاخص برای بدست آوردن شاخص (Iat).

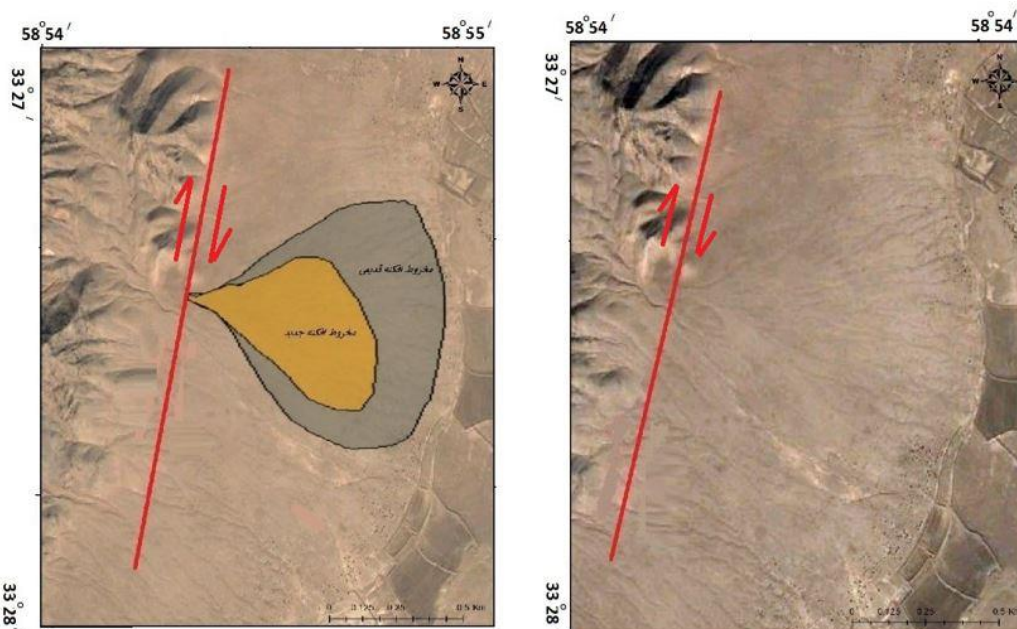
Table 3. Calculated values of tectonic classes per individual to obtain index (Iat).

Basin Name	Bs	AF	T	S	S _{mf}	Iat	Iat Status
1	3	1	2	1	1	1.6	High activity
2	3	3	2	1	1	2	High activity
3	3	2	2	2	1	2	High activity
4	3	1	2	1	1	1.6	High activity
5	3	2	2	2	1	2	High activity
6	3	1	2	3	1	2	High activity
7	3	3	2	2	1	2.2	Moderate activity
8	3	3	1	2	1	2	High activity
9	3	2	1	3	1	2	High activity
10	3	1	2	2	1	1.8	High activity
11	3	3	2	2	1	2.2	Moderate activity
12	3	3	2	1	1	2	High activity



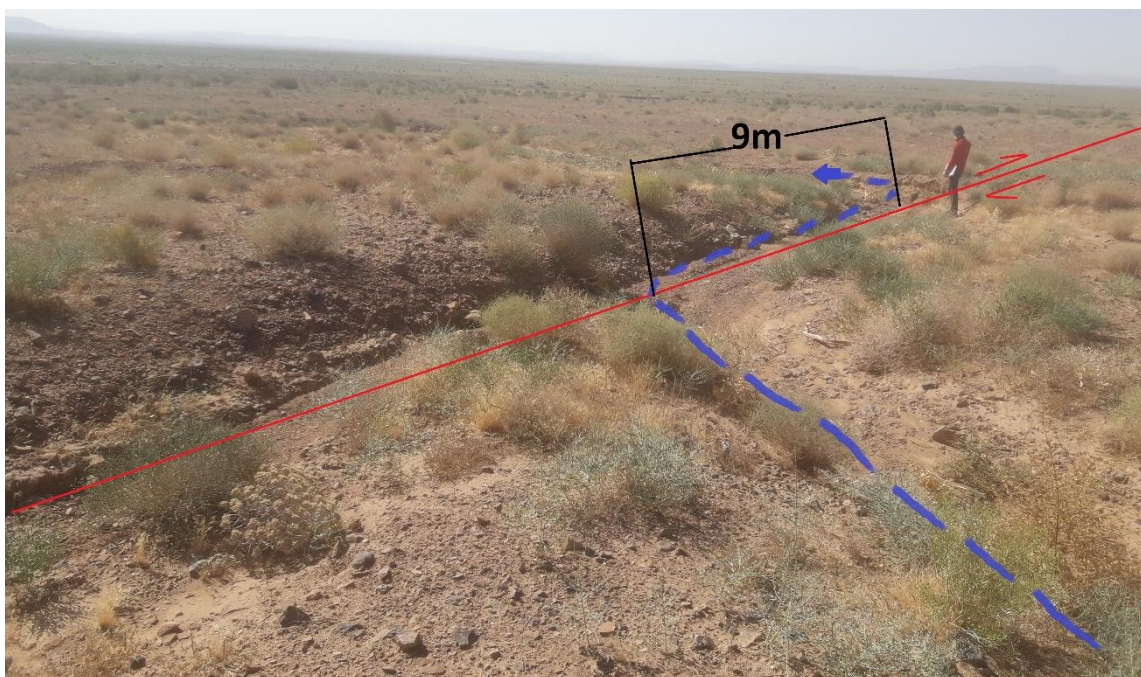
شکل ۴- پراکندگی شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) در منطقه مورد مطالعه.

Fig 4. Dispersion of relative active construction land (Iat) index in the study area.



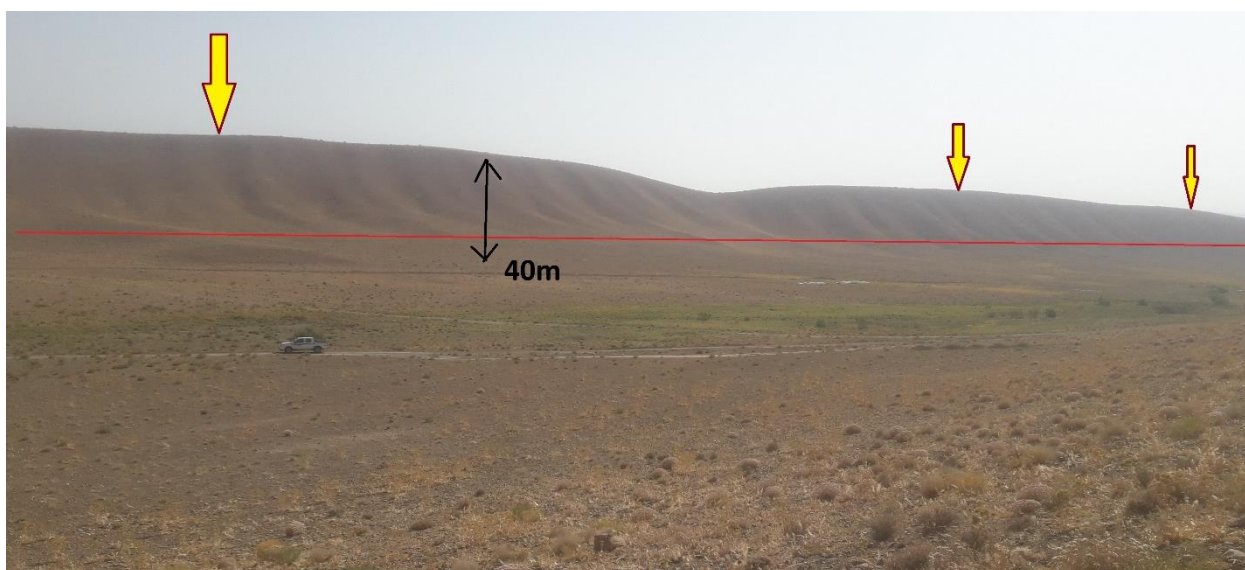
شکل ۵- نمونه‌ای از مخروط افکنه‌های تشکیل شده در راستای یکی از شاخه‌های گسل چاهک می‌باشد که مخروط افکنه‌های جوان در راس مخروط افکنه‌های قدیمی تشکیل شده‌اند.

Fig. 5. An example of alluvial fan cone which is located in one of the branches of the Chahak Fault. Young fan cones are formed over old fan cones.



شکل ۶- جابجایی راستگرد آبراهه به طول ۹ متر بر اثر عملکرد گسل چاهک در شمال منطقه، دید عکس جنوب شرق.

Fig. 6. Straight displacement of 9m long waterway affecting the operation of the Chahak Fault in the North- SE.



شکل ۷- افراز گسلی در راستای گسل چاهک در جنوب منطقه مورد مطالعه، دید عکس شمال.

Fig.7. Fault scarps in the south of Chahak Fault in study area.

تحت تاثیر حرکات گسل چاهک ایجاد شده‌اند که نشان دهنده فعال بودن این گسل می‌باشد.

داده‌های زمین لرزه‌ها

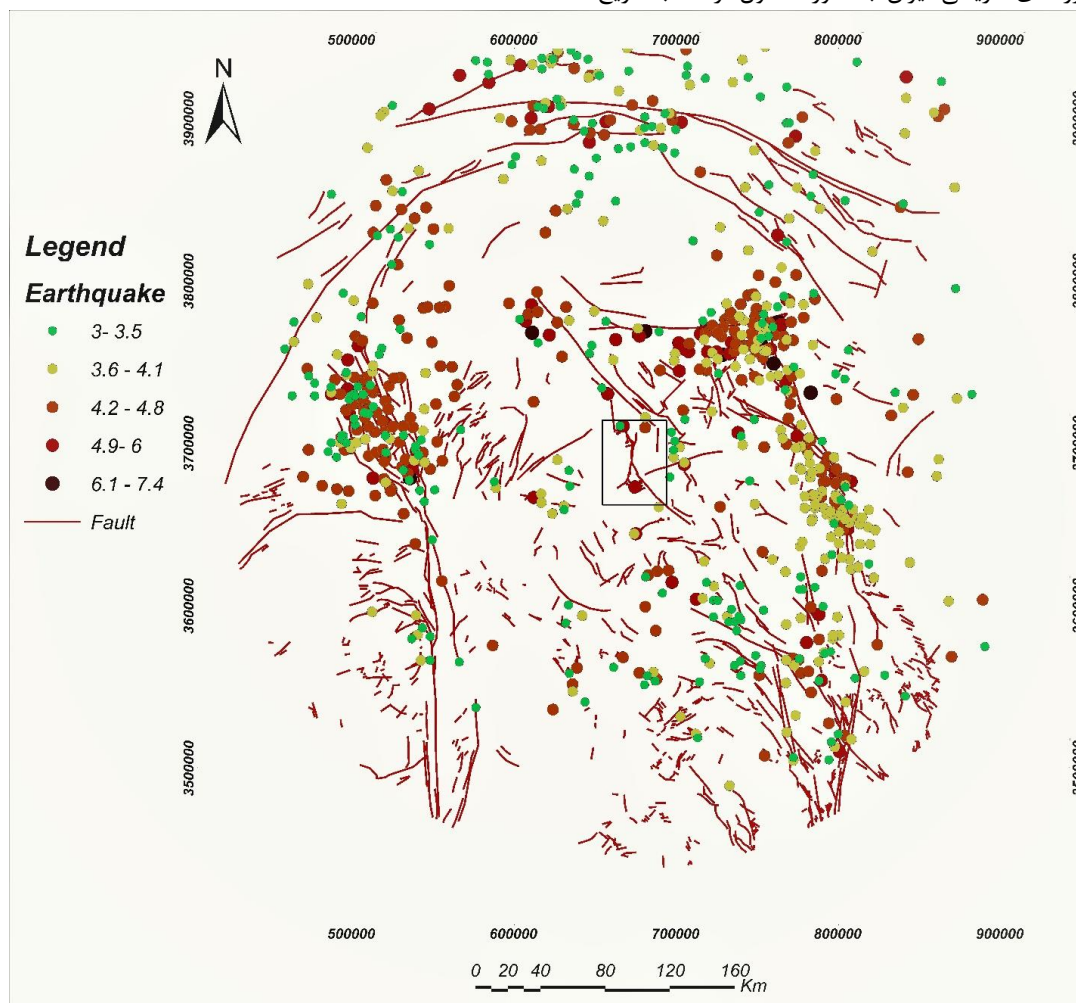
در این پژوهش از کاتالوگ زمین لرزه‌های پژوهشگاه بین المللی زلزله و سایت USGS استفاده شده است و زمین لرزه‌های سده بیستم به شعاع ۱۵۰ کیلومتر به مرکزیت آریین شهر و در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۹ تهیه

افرازهای گسلی (Fault scarps)

گسل‌هایی که سطح زمین را قطع می‌کند به عنوان گسل‌های نمایان شناخته می‌شوند. این گسل‌ها پله‌های توپوگرافی را ایجاد می‌کنند که افراز گسله نامیده می‌شود (Qasemi, 2004). افرازهای حاصل از گسل می‌تواند در تعیین فعالیت نسبی زمین‌ساختی در یک منطقه بسیار مفید باشد (شکل ۷). افرازهای گسلی موجود در جنوب منطقه مورد مطالعه

زمین‌لرزه‌های ایران (Ambraseys and Melville, 1982) و نخستین کاتالوگ زلزله و پدیده‌های طبیعی ایران زمین (Berberian, 1995) استفاده شده است. در این مرجع اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های مبتنی بر بررسی منتقدانه مدارک تاریخی و همچنین مشاهدات صحرایی است. بزرگی امواج سطحی M_s ، براساس اطلاعات مه‌لرزه‌ای، یعنی بیشینه شدت (I_0) و شعاع قابلیت ادراک (R^1) و با استفاده از رابطه Ambraseys and Melville (۱۹۸۲) برآورد شده است. اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های بیش از تاریخ نیز بیشتر از کاوش‌های باستان شناسی به دست آمده است.

و مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. در شکل ۸ نقشه زمین‌لرزه‌های گستره به شعاع ۲۵۰ کیلومتر به مرکزیت آربین شهر در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۹ آورده شده است (Navasari et al., 2018). از زمین‌لرزه‌های تاریخی ناحیه اطلاعات اندکی در دست می‌باشد. آنچه که امروز درباره لرزه‌خیزی تاریخی می‌دانیم، تنها از منابع باستان‌شناسی و کتب تاریخی و قدیمی به دست آمده است. بدین ترتیب این داده‌ها از نظر محل رویداد، شدت، بزرگا و در نهایت گسل مسبب زمین‌لرزه قابل اعتماد نمی‌باشند و تنها دید کلی از ویژگی‌های لرزه‌خیزی و پیامدهای آن در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌سازند. برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران به طور معمول از کتاب تاریخ



شکل ۸- زمین‌لرزه‌های گستره در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۹ به شعاع ۲۵۰ کیلومتر - کادرمشکی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

Fig.8. Earthquakes in the period between 1900 and 2019 with a radius of 250 km; black rectangular is the study area.

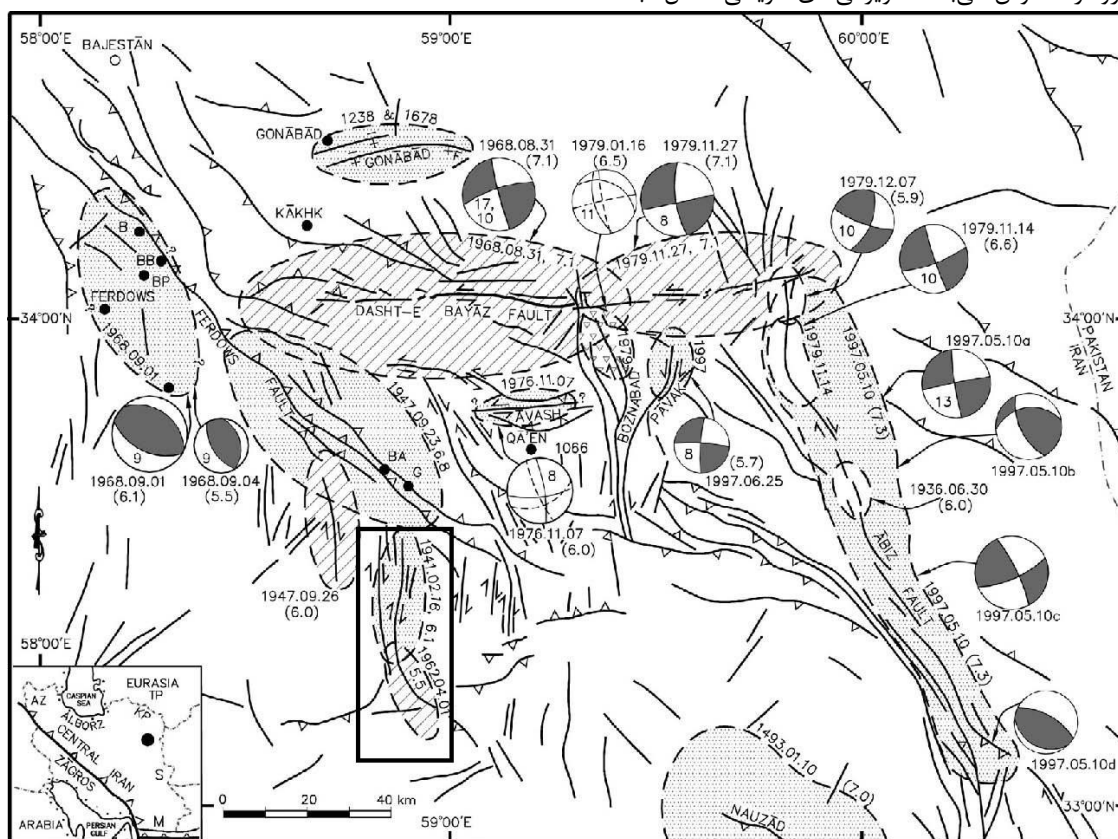
این بازه زمانی جنبش نداشته‌اند گسل غیرجنبنا معرفی می‌شوند، و احتمال جابه‌جایی و جنبایی آن‌ها در آینده بسیار ضعیف می‌باشد. به باور Allen (1975)، گسله‌ای با نشان جنبایی در هولوسن (ده هزارسال گذشته)، باید جنبنا منظور شود. این درحالی است که Nikonov (1995)، گسترش این بازه را تا چهار صد هزار سال (تمام پلیستوسن پسین و بخش‌هایی از پلیستوسن میانی)، ضروری می‌داند. گسل‌های

شناسایی گسل‌های جنبنا

در تعریف گسلش جنبنا تعاریف گوناگونی ارائه شده است ولی به طور کلی و ساده شده می‌توان گفت، اگر گسلی در طول عمر رژیم زمین ساختی معاصر و حاکم بر منطقه (در طی کواترنری پسین و به ویژه عهد حاضر) فعالیت کرده باشد، آن را گسل جنبنا می‌نامند. گسل‌هایی که در

زمین لرزه‌های کهن، مشاهدات گسیختگی‌های سطحی کهن، روانگرایی-های قدیمی و غیره، بر روی قطعه‌های گسلی است که نشان دهنده جنب بودن آن می‌باشد. ثبت هرگونه جنبش لرزه‌ای (جنبش‌های خرد لرزه‌ای، زمین لرزه‌های با بزرگای کم و یا زمین لرزه‌های بزرگ) بر روی گسل‌ها، گویای جنب بودن آن قطعه‌های گسلی می‌باشد.

جنابایی منطقه براساس ویژگی‌های تاریخی، لرزه‌شناسی و زمین‌ریخت-شناسی شناسایی شده و بصورت یک نقشه درآورده شده‌اند (Berberian, 2014) (شکل ۹)، طبق این شکل سازوکار گسل‌های این منطقه عبارتند از: گسل دشت بیاض با سازوکار غالب راستالغز چپگرد، گسل اردکول با سازوکار غالب راستالغز راستگرد و گسل فردوس با سازوکار معکوس می‌باشند. ویژگی‌های تاریخی شامل ثبت



شکل ۹- گسل‌های اصلی منطقه - کادر مشکی منطقه مورد مطالعه می‌باشد (Berberian, 2014).
Fig 9. Main faults of the area. Black rectangular is the study area (Berberian, 2014).

۴ ریشتر به بالا مدنظر گرفته شده است و در نهایت با رسم منحنی نیمه لگاریتمی، فرمول لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه بدست می‌آید که فرمول لرزه‌خیزی منطقه به شرح ذیل می‌باشد.

$$\text{LOGN} = 2.16 - 0.61M_S \quad (\text{رابطه } ۲)$$

تعیین دوره بازگشت زمین لرزه‌ها

با مطالعه گسل‌های فعال توسط محققین زلزله‌شناسی مشخص شده که یک گسل فعال که در گذشته فعالیت داشته است، این امکان و پتانسیل را دارد که در آینده مجدداً فعالیت لرزه‌ای داشته باشد. لذا با بررسی زمین لرزه‌های رخ داده در یک منطقه، می‌توان برای هر منطقه دوره بازگشت زمین لرزه‌های آن را تعیین نمود که در حقیقت یک نوع پیش‌بینی زلزله (در دوره چندین ساله) می‌باشد. از آنجایی که فراوانی وقوع زمین لرزه‌ها با تغییر یک درجه بزرگی، هشت تا ده برابر تغییر می‌نماید (Gutenberg and Richter, 1954). لذا میانگین دوره

ارزیابی خطر زمین لرزه به روش تجربی - آماری

بدست آوردن فرمول لرزه‌خیزی

برای بدست آوردن فرمول لرزه‌خیزی برای یک گستره از رابطه ذیل استفاده می‌شود.

$$\text{LogN} = a + bM \quad (\text{رابطه } ۱)$$

که طبق رابطه فوق N تعداد زمین لرزه‌ها با بزرگی M و a ضریب تعیین کننده زمین لرزه‌ها با بزرگی بیش از صفر است، به عبارت دیگر، a زمینه لرزه‌خیزی منطقه و b ضریب بیانگر تکتونیک منطقه می‌باشد (Akasheh, 1999). مقدار a و b برای مناطق مختلف متفاوت می‌باشد. در تقسیمات تکتونیک، افراد مختلف روابط متعددی را معرفی کرده‌اند. برای گستره مورد مطالعه در این تحقیق، مقادیر a و b با در نظر گرفتن زمین لرزه‌های با بزرگی (M_S)، که در این تحقیق زمین لرزه‌های

با توجه به اینکه $\text{Log}N=a-b M_s$ ، لذا میانگین دور بازگشت زمین‌لرزه‌ها به صورت زیر خواهد بود:

$$T=10^{-a+bM} \quad (\text{رابطه ۴})$$

با استفاده از فرمول لرزه‌خیزی بدست آمده می‌توان دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های گسترده مورد مطالعه را برآورد نمود که مقادیر آن در (جدول ۴) ارائه شده است.

جدول ۴- برآورد دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های با بزرگی مختلف برای منطقه مطالعاتی.

Table 4. Estimation of earthquake return period of different magnitude for the study area.

MS	N	T	MS	N	T	MS	N	T
4	0.52	1.92	5.4	0.07	13.72	6.8	0.01	98.19
4.1	0.45	2.21	5.5	0.06	15.79	6.9	0.01	113.02
4.2	0.39	2.54	5.6	0.06	18.17	7	0.01	130.08
4.3	0.34	2.92	5.7	0.05	20.91	7.1	0.01	149.71
4.4	0.30	3.36	5.8	0.04	24.07	7.2	0.01	172.31
4.5	0.26	3.87	5.9	0.04	27.70	7.3	0.01	198.33
4.6	0.22	4.45	6	0.03	31.89	7.4	0.00	228.27
4.7	0.20	5.13	6.1	0.03	36.70			
4.8	0.17	5.90	6.2	0.02	42.24			
4.9	0.15	6.79	6.3	0.02	48.62			
5	0.13	7.82	6.4	0.02	55.96			
5.1	0.11	9.00	6.5	0.02	64.40			
5.2	0.10	10.35	6.6	0.01	74.12			
5.3	0.08	11.92	6.7	0.01	85.31			

از این زمین‌لرزه‌ها را تحمل کند و به آن آسیبی وارد نشود. در واقع نشان دهنده این است که سازه در برابر ماکزیمم زمین‌لرزه رخ داده، ۶۴٪ احتمال ویرانی دارد. برای منطقه مورد مطالعه برآورد DBE و MCE برای عمر مفید ۱۰ تا ۱۰۰ ساله محاسبه گردید که در (جدول ۵) آورده شده است.

برآورد بزرگای حداکثر (M_{max})

توان لرزه‌زایی یک گسل با طول بخش‌های گسلیده و شکسته شده آن در ارتباط می‌باشد، رابطه مستقیمی بین توان لرزه‌زایی و طول بخش‌های مستقیم گسل‌های کوتاه‌تر وجود دارد. در این پیوند داده‌هایی مثل انواع سازوکار گسلش، شکل هندسی گسل، شاخه‌دار بودن گسله و همچنین ویژگی لرزه‌زمین‌ساختی را در هر محدوده می‌بایست مد نظر گرفت (Barbarian et al., 1992). قسمت مهم برآورد خطر زمین‌لرزه به روش قطعی، ارزیابی بیشینه زمین‌لرزه‌ها می‌باشد که در بخش تحلیل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از بررسی دقیق لرزه‌زمین‌ساختی هر گسل (گسل‌های فعال و دارای پتانسیل فعالیت)، باید حداکثر توان لرزه‌زایی گسل‌ها شناسایی و محاسبه گردد، تا بتوان با توجه به فاصله‌ی میان ساختگاه و گسل‌های فعال موجود، میزان شتاب افقی زمین به وجود آمده حاصل جنبش این گسل‌ها به ساختگاه، پیش‌بینی گردد. بررسی و تخمین میزان درازای گسلش در زمین‌لرزه‌های احتمالی آینده، باید براساس ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی و ریخت‌زمین‌ساختی هر گسل انجام پذیرد و همچنین می‌توان درصدی از بخش مستقیم

بازگشت زلزله‌های کوچک‌تر نسبت به زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر، کمتر است و تخمین آن برای زمین‌لرزه‌های کوچک و متوسط با داشتن فهرستی نه چندان طولانی از زمین‌لرزه‌ها به خوبی میسر می‌گردد. دوره بازگشت (T)، یعنی زمان مورد انتظار برای وقوع یک زمین‌لرزه با بزرگی بزرگ‌تر یا مساوی با M که از رابطه ذیل قابل محاسبه می‌باشد.

$$T=1/N \quad (\text{رابطه ۳})$$

برآورد DBE و MCE

برای محاسبه پارامترهای MCE و DBE از فرمول ریسک خطر پذیری استفاده می‌کنیم، نسبت به این که کدامیک از پارامترها را بخواهیم محاسبه کنیم تغییر پیدا می‌کند.

$$RP=1-\exp(-T \times 10^{a-bM_s}) \quad (\text{رابطه ۵})$$

معمولاً میزان شتاب حرکت افقی زمین در دو مرز با احتمال خطر ۱۰٪ و ۶۴٪ انتخاب می‌شود. که مرز ۱۰ درصد، احتمال رویداد در ۵۰ سال آینده با فرض دوره بازگشت ۵۰ ساله را بیشینه زمین‌لرزه احتمالی یا پذیرفتنی (MCE) و مرز ۶۴ درصد، احتمال رویداد در ۵۰ سال آینده، برابر با فرض دوره بازگشت ۵۰ ساله که معمولاً به منظور طراحی عمومی توصیه می‌شود، را زمین لرزه پایه طرح (DBE) می‌گویند. مفهوم بیشینه زمین لرزه پذیرفتنی (MCE)، یعنی زمین لرزه‌ای است که باعث ایجاد شدیدترین جنبش زمین در ساختگاه می‌شود. در اثر رخداد این زمین‌لرزه ممکن است، سازه به طور جدی آسیب ببیند. ولی سازه نباید ویران شده و جان انسان‌ها را به خطر اندازد. در واقع نشان دهنده این است که سازه، در برابر ماکزیمم زمین‌لرزه که رخ می‌دهد، ۱۰٪ احتمال ویران شدن دارد. مفهوم زمین‌لرزه پایه طرح (DBE)، زمین‌لرزه‌ای است که در زمان عمر مفید سازه، احتمال رویداد آن قابل انتظار است. این زمین‌لرزه‌ها می‌توانند نیروهای زیادی به سازه وارد کنند و سازه باید طوری طراحی و ساخته شود که بتواند نیروهای ناشی

در پوسته‌ای به ضخامت ۱۲ کیلومتر و M_s بزرگی موج سطحی برای زمین‌لرزه‌های با بزرگی، برابر یا بزرگتر از ۶ ریشتر می‌باشد.

$$M_s = 1.429 \log L + 4.629 \quad (\text{رابطه ۷})$$

نوروزی (۱۹۸۵)، براساس ۱۰ زمین‌لرزه بزرگ ایران و بیشینه طول گسل زمین‌لرزه‌ای ۸۵ کیلومتر و بزرگی $M_s \geq 6$ پایه‌گذاری شده، رابطه ذیل را ارائه نمود. که در آن L_R طول گسل فعال به متر است.

$$M_s = 1.244 \log L_R + 1.259 \quad (\text{رابطه ۸})$$

گسل را انتخاب کرد. دستورات تجربی مختلفی درمورد پیوند میان گسلس زمین‌لرزه‌ای و طول گسله وجود دارد که برای منطقه مورد مطالعه از فرمول‌های ذیل استفاده شده است و نتایج آن در (جدول ۶) ارائه گردید. سلمونز (۱۹۷۸)، جهت محاسبه توان لرزه‌زایی گسل‌ها فرمول تجربی ذیل را ارائه نموده (Pourkermani and Arian., 1997).

$$M = 1.11 \log L_R + 5.15 \quad (\text{رابطه ۶})$$

آمبرسیزوملویل (۱۹۸۲)، براساس زمین‌لرزه‌های خاورمیانه فرمول ذیل را معرفی کردند. که در آن L_R طول گسل فعال برحسب کیلومتر

جدول ۵- برآورد DBE و MCE برای عمر مفید ۱۰ تا ۱۰۰ ساله.

Table 5. Estimates of DBE and MCE for shelf life of 10 to 100 years.

Shelf life of the structure (year)	DBE	MCE
10	3.5	5.3
20	4.0	5.8
30	4.3	6.1
40	4.6	6.3
50	4.9	6.4
60	5.0	6.6
70	5.1	6.7
80	5.3	6.8
90	5.4	6.9
100	5.5	7.1

میانگین S درحوزه اصلی نزدیک به مقدار عددی ۱ می‌باشد که نشان دهنده فعالیت و بالآمدگی در بعضی از نقاط منطقه مورد مطالعه می‌باشد. میانگین S_{mf} در ۵ جبهه کوهستان میانگین مقدار عددی ۱،۰۲ می‌باشد که نشان دهنده فعالیت گسل چاهک و گسل‌های اطراف آن و مانع فرسایش و ایجاد پیشانی کوهستان پرپیچ و خم شده‌اند. همچنین مقدار شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (I_{at}) ۱/۹۴ می‌باشد که نشان دهنده فعالیت بالای گستره مورد مطالعه می‌باشد. وجود مخروط‌افکنه‌ها که نشان دهنده میزان بالآمدگی پیشانی کوهستان نسبت به میزان حفرشدگی به سمت پایین رود زیاد می‌باشد که باعث تشکیل مخروط‌افکنه‌های جدید در راس می‌باشد که حاکی از فعالیت تکتونیکی در قسمت‌های مختلف گستره می‌باشد. از شواهد دیگر می‌توان به وجود آبراهه‌های منحرف شده و افزای‌های گسلی در گستره اشاره کرد. که آبراهه‌ها بصورت مورب وارد زون گسلی شده و قبل از اینکه به مسیر اصلی خود برگردند مسافتی به موازات گسل‌های منطقه جریان پیدا می‌کند. با بررسی افزای‌های گسلی منطقه مورد مطالعه می‌توان گفت که گسل چاهک در جنوب منطقه از حالت راست‌الغز به معکوس تغییر سازوکار می‌دهد. با بررسی زمین‌لرزه‌های دستگاهی سده بیستم از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۹ برای گستره مورد مطالعه فرمول لرزه‌خیزی $LOGN = 2.16 - 0.61MS$ بدست آمد که $a=2.16$ و $b=0.61$ پارامترهای لرزه‌خیزی هستند.

تهیه نقشه هم‌شتاب لرزه‌ای

آنچه در ارزیابی خطر زمین لرزه به روش قطعی حائز اهمیت است، برآورد بیشینه بزرگی محتمل برای هرگسل و سپس محاسبه بیشینه شتاب افقی زمین برای محدوده آن گسل است، بنابراین مهمترین کاربرد این روش تحلیلی، ارزیابی میزان حداکثر شتاب زلزله در جهت تخمین و تعیین طول عمر سازه در هنگام طراحی سازه در مقابل زلزله می‌باشد، در همین راستا نقشه هم‌شتاب لرزه‌ای مربوط به گستره خاور ایران تهیه شده است که به خوبی نمایشگر شتاب افقی حداکثر در اطراف گسل‌های اصلی می‌باشد. همانطور که در (شکل ۱۰) مشخص است، گستره مورد مطالعه که با کادر مشکی نمایش داده شده، با مقدار شتاب ثقل افقی $PGA = 0.40 - 0/28$ جزء مناطق دارای خطر لرزه‌ای نسبتاً بالا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

محاسبه شاخص‌های مورفومتری S ، AF ، BS و T ، میانگین مقدار AF درحوزه اصلی ۵۹ است، که نشان دهنده کج‌شدگی حوضه اصلی به سمت غرب می‌باشد. که دلیل آن را می‌توان تراکم گسل‌ها در شرق و همچنین وجود لیتولوژی‌های مقاوم در قسمت شرقی حوضه دانست. میانگین مقدار BS در حوضه اصلی ۱،۸۸ است که نشان دهنده نزدیک بودن شکل حوضه اصلی به دایره است، که نشان دهنده نرخ بالا آمدگی کم و صرف زمان بیشتری برای فرسایش در حوضه اصلی می‌باشد.

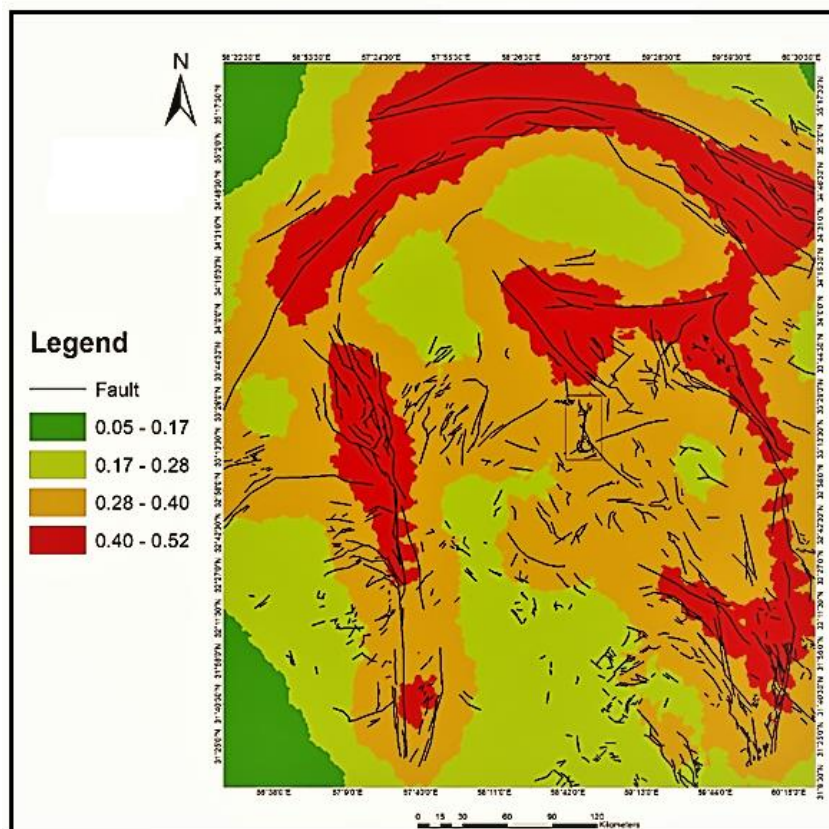
جدول ۶- برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌های با طول بیش از ۱۰ کیلومتر به شعاع ۱۵۰ کیلومتر از منطقه مورد مطالعه با استفاده از فرمول‌های تجربی. در این جدول S؛ سلمونز (۱۹۷۸)، A&M؛ آمبرسز و ملویل (۱۹۸۲)، N؛ نوروزی (۱۹۸۵).

Table 6. Estimation of seismic potential of faults over 10 km in radius of 150 km from the study area using empirical formulas. In this table; S = Salmons (1978), M&A= Ambraseys and Melville (1982), N = Norouzi (1985).

Fault name	Fault length (km)	Seismic Potential Fault (Ms)			
		S	AM&M	N	Ms
Ardecol	138	8.40	7.69	7.24	7.7
Dashte Bayaz	120	8.34	7.60	7.18	7.7
Gio	107	8.29	7.53	7.13	7.6
South Birjand	80.2	8.16	7.35	7.00	7.5
Chahak	50	7.84	6.89	6.68	7.1
Chahpanjsar	71	8.11	7.27	6.95	7.4
Abgarm	70	8.11	7.27	6.94	7.4
Pereng	60	8.04	7.17	6.88	7.3
Ferdows	80	8.16	7.35	7.00	7.5
Sadeh	58	8.02	7.15	6.86	7.3
North Birjand	47.4	7.94	7.02	6.77	7.2
Dastgerd	47	7.93	7.02	6.77	7.2
Shekrab	45.3	7.92	7.00	6.76	7.2
Nozad	37.5	7.83	6.88	6.67	7.1
Koli	32.4	7.77	6.79	6.61	7
Shah Abad	30.5	7.74	6.75	6.58	7
Dost Abad	14	7.41	6.27	6.25	6.6
Asfzar	42.2	7.89	6.95	6.72	7.1
Farrokhi	29.2	7.73	6.72	6.56	7
Gol	47	7.93	7.02	6.77	7.2
Kalate Solomon	14.5	7.42	6.29	6.26	6.6
Shorestan	30.1	7.74	6.74	6.58	7
Sidan	23.8	7.64	6.60	6.48	6.9
Faizabad	51.8	7.97	7.08	6.81	7.2
Tabas Masina	42.5	7.89	6.96	6.73	7.1
Ahangaran	33.2	7.78	6.80	6.62	7
Asadabad	40.6	7.87	6.93	6.71	7.1
Chah Khu	46.6	7.93	7.01	6.77	7.2
Chah khosh	40.2	7.86	6.92	6.70	7.1
South Boshruyeh	50.2	7.96	7.06	6.80	7.2
East Boshruyeh	18.2	7.52	6.43	6.36	6.7
Afriz	13	7.37	6.22	6.21	6.6

تحلیل لرزه‌خیزی آماری از یک سو و روش ریخت زمین‌ساختی از سوی دیگر تطابق قابل قبولی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. بنابراین استفاده از این دو روش می‌تواند ابزار مفیدی برای محاسبه خطر زمین-لرزه و شناسایی مناطق با خطر بالا در یک گستره باشد تا به واسطه آن تدابیر مناسب برای ساخت و سازهای استاندارد اتخاذ گردد تا در هنگام وقوع زمین‌لرزه شاهد کاهش تلفات جانی و خسارات مالی باشیم.

مقدار دوره بازگشت برای زمین‌لرزه‌های ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۳۰ سال برآورد شده است. با توجه به نقشه هم‌شتاب (شکل ۱۰)، مقدار شتاب ثقل افقی برای گستره مورد مطالعه PGA بین ۰.۲۸g تا ۰.۴۰g که ناشی از عملکرد گسل چاهک با میانگین توان لرزه‌زایی حدوداً ۷/۱ ریشتر و طول ۵۰ کیلومتری می‌باشد که نشان دهنده منطقه دارای خطر لرزه‌ای نسبتاً بالایی باشد. به طور خلاصه مقایسه استفاده از روش



شکل ۱۰- نقشه هم‌شتاب - کادرمشکی منطقه مورد مطالعه.

Fig.8. Acceleration map. Rectangular shows the study area.

منابع

- Adams, K.D., Wesnousky, S.G., Bills, B.G., 1999. Isostatic rebound, Active faulting, and Potential geomorphic effects in the Lake Lahontan basin, Nevada and California. *Geological Society of America Bulletin* 111, 1739-1756.
- Akasheh, B., 1999. *Fundamentals of Geophysics*, Peak Culture Publishing, 257pp.
- Allen, C.R., 1975. Geological criteria for evaluating seismicity, *Geological Society of America Bulletin* 86, 1041-1057.
- Ambraseys, N.N., Melville, C.P., 1982. *A History of Persian earthquakes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Baniadam, F., Shabaniyan, E., Bellier, O., 2019. The Kinematics of the Dasht-e Bayaze earthquake fault during Pliocene – Quaternary: implications for the geodynamics of eastern central Iran. *Tectonophysics* 1-79.
- Berberian, M., 1995. *Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran, Vol.1, Historical Hazards in Iran Prior to 1900*, AUNESCO/IIIES Publication during UN/IDND International Institute of Earthquake Engineering and Seismology Tehran, 60p.
- Berberian, M., Qarashi, M., Arjangravesh, B., Mahajerashjai, E., 1992. Investigating Neo-tectonic, Seismotectonic and Seismic Hazard- Fault in Greater Qazvin and Around. *Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, Report* 61.
- Berberian, M., 2014. *Earthquakes and Coseismic Surface Faulting on the Iranian Plateau*. Elsevier.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology* 96, 150-173.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., 1954. *Seismicity of the Earth, 2nded.*, Princeton University Press, Princeton, New York.
- Navaseri, H., Moussavi, M., Khatib, M.M., Gholami, E., 2018. Seismic Hazard Analysis in the Chahak – Mousavieh Range. *38th National Geosciences Congress*.

- Nikonov, A.A., 1995. Active faults: Definition and identification Problems, Research on Active Faults, Beijing Seismal Press, 140-152.
- Pourkermani, M., Arian, M., 1997. Seismotectonic, Dezab Consulting Engineering Company, 284pp.
- Qasemi, M.R., 2004. Seismogenic Springs of Faults and their types, Seismotectonic and Seismic Hazard Analysis Seminar, Institute of Geophysics University of Tehran.

