

Research Paper

Evaluation of the tectonic activity of Golpayegan region using the drainage basin asymmetry index

Nafiseh Hajnorouzi¹, Mohsen Pourkermani^{*2}, Mehran Arian³, Zahra Maleki⁴, Ali Solgi⁵

1. PhD student in Tectonic Geology, Department of Earth Sciences, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Geology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Professor, Department of Earth Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. Associate Professor, Department of Earth Sciences, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
5. Associate Professor, Department of Earth Sciences, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

PP: 18-34

Use your device to scan and
read the article online



Keywords:

*Movement power ,
drainage basin asymmetry,
side faults.*

Abstract

It seems that the study and investigation of topographical landforms and the pattern of the drainage network system, based on geomorphic indicators, can evaluate the status of active tectonic performance. However, the basic structure of the earth, the type of rock and the local factors that determine the microclimate are not taken into consideration. Asymmetry factor (AF) is used to measure the asymmetry of the drainage basin. This research was conducted with the aim of evaluating the tectonic activity of Golpayegan area using the asymmetry index of the drainage basin. The scope of this research is located in the Golpayegan area and in the structural zone of Sanandaj-Sirjan. The results obtained from the research show that Gudjan, Shah Enayat, Hazar Jarib Gharbi, Chehlkhane, Vanshan Gharbi and Vanshan basins are classified in tectonic class 1 and the rest of the basin in class 2 (moderate) to class 3 (relative tectonic activity) below are shown. The calculated values of the transverse topographic symmetry index are in good agreement with the calculated values of the asymmetry index, and the values related to the asymmetry index confirm well the values of the transverse topographic symmetry.

Citation: Hajnorouzi, N., Pourkermani, M., Arian, H., Maleki, Z., & Solgi, A. (2024). **Evaluation of the tectonic activity of Golpayegan region using the drainage basin asymmetry index.** *Geography(Regional Planning)*, Summer. Vol 14, Issue 55, 18-34.

DOI: 10.22034/jgeoq.2024.286990.3091

* **Corresponding author:** Mohsen pourkermani, **Email:** m_pourkermani@iau-tnb.ac.ir

Copyright © 2024 The Authors. Published by Qeshm Institute. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Extended Abstract

Introduction

Considering the dynamics of the Iranian Plateau, in this research, an attempt is made to determine the areas with different tectonic activity by using the results of geomorphotectonic index surveys and field visits. In this research, attention has been paid to the fact that when more than one index is used for a region, meaningful results are obtained from the analysis. Therefore, the asymmetry of the drainage basin (AF) has been obtained for the studied area. Finally, the active faults of the research area have been drawn and the scatter map of the relative tectonic activity level has been evaluated with instrumental seismic data. According to the field observations of the scope of the research, the movement potential of the lateral faults of the area was determined at each point.

Methodology

In this research, in order to analyze the movement power of active faults in Golpaygan, shear surfaces with slip lines and their related fault planes were measured. In the following, the obtained results were controlled according to some geological phenomena such as injection planes, stylolites, and cumulative steps of minerals, and changes in the direction of stress in rock units were calculated. For this purpose, the inversion method was used to determine the direction of the main axes of stress and at all points, the main stresses of the region were calculated using Tectonics FP software. , will show the direction of the maximum shear stress. The angle between the plane's normal vector and the maximum principal stress was measured and entered into the equations, and finally, the value of the movement potential of the lateral faults of the area was obtained at each section.

Results and Discussion

If a watershed is in stable conditions with a low or no tilt value, then the AF index will be close to 50. This index is sensitive to changes in the slope in the direction perpendicular to the channel. Tilting may be active as a result of tectonics and as a result of structural control of erosion difference. The orientation of schistosity or layering plays an important role

in the development of basin asymmetry. The slope of schistosity or layering causes the preferential migration of the valley in the direction of the downstream of the river and creates an asymmetric valley. Colleagues (2008) were classified into three classes, the results of which are presented in Table No. 1-3. AF-50 value greater than 15 in class 1 (tectonically active), AF-50 value between 7-15 in class 2 (moderate tectonic activity) and AF-50 value less than 7 in class 3 (low tectonic activity) It is classified (Al-Hamadoni et al., 2008). Based on the results obtained from the basin asymmetry index, in total, Gudjan, Shah Enayat, Hazar Jarib Gharbi, Chehlkhane, Vanshan Gharbi and Vanshan basins are classified in tectonic class 1 and show relatively high tectonic activity. and the rest of the basin in categories 2 (medium) to category 3 (relatively low tectonic activity).

Conclusion

According to the studies of quantitative and qualitative morphometric indicators in the studied area and according to office work, field and software studies were done. Based on the results obtained from the basin asymmetry index, in total, Gudjan, Shah Enayat, Hajar Jarib Gharbi, Chehlkhane, Vanshan Gharbi and Vanshan basins are classified in the 1st tectonic category and the rest of the basin in the 2nd (medium) to They show category 3 (relatively low tectonic activity). The Khokheh Rood basin has the highest symmetry with a value of 51.13, and the West Vanshan and West Hajar Jarib basins have the highest tilting due to thrusting and folding, which can be related to the active tectonic structures of the area, such as the numerous Jenbay faults and The main trend is North-West-South-East of the region, after calculating the T index, it was found that in most parts, the drainage basin is skewed, and in terms of the T value, this value ranges from 0.22 for the Vanshan basin to 0.80 for Hila Ghora basin is changing. The calculated values of the transverse topographic symmetry index are in good agreement with the calculated values of the AF index. The values of the AF index confirm the values of the T index well.

References

1. Baharvand, S., Pardhan, B., & Soori, S. (2020). Evaluation of active tectonics using geomorphic indices in a mountainous basin of Iran. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 111(2), 109-117.
2. Berberian, M., & Walker, R. (2010). The Rudbār M w 7.3 earthquake of 1990 June 20; seismotectonics, coseismic and geomorphic displacements, and historic earthquakes of the western 'High-Alborz', Iran. *Geophysical Journal International*, 182(3), 1577-1602.
3. Dey, S., Kaushal, R. K., & Jain, V. (2019). Spatiotemporal variability of Neotectonic activity along the Southern Himalayan front: a geomorphic perspective. *Journal of Geodynamics*, 129, 237-246.
4. El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1-2), 150-173.
5. Gasimli, V. (2015). *Geo-economics*. Center for Strategic Studies under the President of the Republic of Azerbaijan.
6. Ghorbani, M. (2021). *The geology of Iran: tectonic, magmatism and metamorphism*. New York, NY, USA:: Springer International Publishing.
7. Keller E. A. and Pinter N (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift*, [Book]. - New Jersey : Prentice Hall.
8. Kokaly, R. F., Clark, R. N., Swayze, G. A., Livo, K. E., Hoefen, T. M., Pearson, N. C., ... & Klein, A. J. (2017). *Usgs spectral library version 7 data: Us geological survey data release*. United States Geological Survey (USGS): Reston, VA, USA, 61.
9. Koleini, M. (2012). Engineering geological assessment and rock mass characterization of the Asmari formation (Zagros range) as large dam foundation rocks in southwestern Iran (Doctoral dissertation, University of Pretoria).
10. Kuzucuoğlu, C., Celâl Şengör, A. M., & Çiner, A. (2019). The tectonic control on the geomorphological landscapes of Turkey. *Landscapes and landforms of Turkey*, 17-40.
11. Moore, J. C., & Byrne, T. (1987). Thickening of fault zones: A mechanism of melange formation in accreting sediments. *Geology*, 15(11), 1040-1043.
12. Morriss, M. C., & Wegmann, K. W. (2017). *Geomorphology of the Burnt River, eastern Oregon, USA: Topographic adjustments to tectonic and dynamic deformation*. *Geomorphology*, 278, 43-59.
13. Nabavi, M. H. (1976). *An introduction to the geology of Iran*, Tehran: Publications of the Geological Organization of the country, 109 pages. [In Persian].
14. Naeimi, A., Alavi, S. A., & Madanipour, S. (2022). Structural analysis and the late Cenozoic tectonic evolution of the SE Alborz Mountains in northern Iran: insights into the Arabia-Eurasia collision. *Geopersia*, 12(2), 241-264.
15. Niassarifard, M., Shabani, E., Azad, S. S., & Madanipour, S. (2021). New tectonic configuration in NW Iran: Intracontinental dextral shear between NW Iran and SE Anatolia. *Tectonophysics*, 811, 228886.
16. Pourkermani, M., Selgi, A. (2009). *Morphotectonics*. Publications of Islamic Azad University, Science and Research Unit, 187 pages. [In Persian].
17. Ramkumar, M., Santosh, M., Rahaman, S. M. A., Balasundareswaran, A., Balasubramani, K., Mathew, M. J., ... & Kumaraswamy, K. (2019). Tectono-morphological evolution of the Cauvery, Vaigai, and Thamirabarani River basins: Implications on timing, stratigraphic markers, relative roles of intrinsic and extrinsic factors, and transience of Southern Indian landscape.

- Geological Journal, 54(5), 2870-2911.
18. Rao, K. R., & Rao, K. R. (2019). Geopolitical Factors. In *Wind Energy for Power Generation: Meeting the Challenge of Practical Implementation* (pp. 829-1071). Springer International Publishing.
 19. Rashidnjad Imran, N. (2001). *Petrology and geochemistry of metavolcano-sedimentary and plutonic rocks of Mote region (south of Dilijan) with a special view on the origin of gold mineralization*, PhD thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, 404 pages. [In Persian].
 20. Rose, D., & Allen, R. (2018). *Ancient civilizations of the world*. Scientific e-Resources.
 21. Smith, H., & Oleynik, M. (2017). *Iran*. Bradt travel guides.
 22. Talbot, C. J., & Alavi, M. (1996). The past of a future syntaxis across the Zagros. Geological Society, London, Special Publications, 100(1), 89-109.
 23. Thiele, O., Alavi, M., Assefi, R., Hushmand-zadeh, A., Seyed Emami, K., Zahedi, M., 1968. Explanatory text of the Golpaygan quadrangle map scale 1: 250000. Geological Survey of Iran, Geological Quadrangle E7, 24p.
 24. Tillman, J.E., Poosti, A., Rossello, S., Eckert, A., (1981). Structural evolution of Sanandaj Sirjan Ranges near Esfahan, Iran. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 65, 674-687.



انجمن ژئوپلیتیک ایران

فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه‌ای)

دوره ۱۴، شماره ۵۵، تابستان ۱۴۰۳

شاپا چاپی: ۶۴۶۲-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۲۱۱۲-۲۷۸۳

Journal Homepage: <https://www.jgeoqeshm.ir/>



مقاله پژوهشی

ارزیابی فعالیت زمین ساختی ناحیه گلپایگان با استفاده از شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی

نفیسه حاج نوروزی: دانشجوی دکتری زمین شناسی تکتونیک، گروه علوم زمین، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

محسن پورکرمانی*: استاد، گروه زمین شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مهران آرین: استاد، گروه زمین شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

زهرا ملکی: دانشیار، گروه زمین شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

علی سلگی: دانشیار، گروه زمین شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>به نظر می‌رسد مطالعه و بررسی لندفرم های توپوگرافیکی و الگوی سیستم شبکه ی زهکشی، بر اساس شاخص های ژئومورفیک، می‌تواند وضعیت عملکرد تکتونیک فعال را ارزیابی کند. با این وجود، ساختار اولیه ی زمین، نوع سنگ و عوامل محلی تعیین کننده ی میکروکلیمای مورد توجه قرار نگیرند. ضریب عدم تقارن (AF) برای اندازه گیری عدم تقارن حوضه زهکشی استفاده می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی فعالیت زمین ساختی ناحیه گلپایگان با استفاده از شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی انجام شده است. گستره ی این پژوهش در ناحیه ی گلپایگان و در زون ساختاری سهند-سیرجان قرار دارد. نتایج به دست آمده از پژوهش نشان می‌دهد حوضه های قودجان، شاه عنایت، هزار جریب غربی، چهل خانه، وانشان غربی و وانشان در رده ۱ تکتونیک طبقه بندی شده و بقیه حوضه در رده های ۲ (متوسط) تا رده ۳ (فعالیت نسبی تکتونیک پائین) را نشان می‌دهند. مقادیر محاسبه شده شاخص تقارن توپوگرافی عرضی با مقادیر محاسبه شده شاخص عدم تقارن همخوانی خوبی دارد و مقادیر مربوط به شاخص عدم تقارن به خوبی مقادیر تقارن توپوگرافی عرضی را تأیید می‌کند.</p>	<p>شماره صفحات: ۱۸-۳۴</p> <p>از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید</p>  <p>واژه‌های کلیدی: توان حرکتی، عدم تقارن حوضه زهکشی، گسل‌های جنب.</p>

استناد: حاج نوروزی، نفیسه؛ پورکرمانی، محسن؛ آرین، مهران؛ ملکی، زهرا؛ سلگی، علی. (۱۴۰۲). ارزیابی فعالیت زمین ساختی ناحیه گلپایگان با استفاده از شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، دوره ۱۴، شماره ۵۵، صص ۱۸-۳۴.

DOI: 10.22034/jgeoq.2024.286990.3091

* **Corresponding author:** Mohsen pourkermani, **Email:** m_pourkermani@iau-tnb.ac.ir

Copyright © 2024 The Authors. Published by Qeshm Institute. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

* نویسنده مسئول: محسن پورکرمانی الکترونیکی: m_pourkermani@iau-tnb.ac.ir

مقدمه

ایران محل سکونت یکی از قدیمی‌ترین تمدن‌های جهان است که سکونتگاه‌های شهری آن به ۷۰۰۰ سال قبل از میلاد باز می‌گردد (رز و آلن^۱، ۲۰۱۸). در تشکیل این فرهنگ دیرپای، زمین‌شناسی ایران نقش بسیار مهمی داشت زیرا منطقه‌ای مساعد برای کشاورزی و تجارت ایجاد کرد که به راحتی مورد تهاجم مردم دیگر قرار نمی‌گرفت (اسمیت و اولی‌نیک^۲، ۲۰۱۷). ایران دارای مساحتی وسیع (حدود ۱۶۵ میلیون کیلومتر مربع) است که این میزان، بیش از ۴ برابر ژاپن، حدود ۲.۵ برابر فرانسه و بیش از دو برابر وسعت تگزاس می‌باشد (گاسیملی^۳، ۲۰۱۵). این سرزمین بین سه دریا واقع شده است که عبارتند از: خزر در شمال، خلیج فارس در جنوب و دریای عمان در جنوب شرقی (رائو و رائو^۴، ۲۰۱۹). این منطقه همچنین توسط دو رشته کوه بزرگ تشکیل شده است: رشته کوه‌های زاگرس، مجموعه‌ای از یال‌های موازی در امتداد حاشیه جنوب غربی آن، و کوه‌های ناهموار البرز در امتداد حاشیه شمالی آن (تالبوت و علوی^۵، ۱۹۹۶). کوه‌های البرز دارای مرتفع‌ترین قله‌های ایران از جمله کوه دماوند (۵.۶ کیلومتر از سطح دریا) است که بلندترین آتشفشان آسیا نیز می‌باشد. ارتفاع بسیاری از قله‌های زاگرس بیش از ۳ کیلومتر از سطح دریا و پنج قله‌ی آن بالاتر از ۴ کیلومتر است (نعیمی^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). شمال غربی ایران بخشی از ارتفاعات ارمنستان، ادامه جنوبی رشته کوه‌های قفقاز است. در پشت این دریاها و کوه‌ها، فضای داخلی ایران شامل چندین حوضه بسته در فلات مرکزی است که عمدتاً در ارتفاع ۱ کیلومتری از سطح دریا قرار دارد. فلات شرق ایران خشک است و شامل دو کویر نمک دشت کویر و دشت لوت است (کلینی^۷، ۲۰۱۲). کوه‌های ناهموار افغانستان، مرز طبیعی شرقی ایران را مشخص می‌کند (بربریان و والکر^۸، ۲۰۱۰).

پوسته ایران به بهترین وجه به عنوان کوهزایی طبقه‌بندی می‌شود که توسط سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) به‌عنوان «ناحیه‌ای خطی یا قوسی شکل که در طول یک چرخه کوهزایی در معرض چین‌خوردگی و تغییر شکل‌های دیگر قرار گرفته است» تعریف می‌شود (کوکالی^۹ و همکاران، ۲۰۱۷). ایران حاصل فرایند کوه‌زایی است و به عنوان منطقه‌ای پیچیده با مناطقی از تغییر شکل و برآمدگی پراکنده تعریف می‌شود (نیاساری فرد^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۱). اگرچه ایران، محصول کوهزایی است، اما این طبقه‌بندی به اندازه کافی ویژگی زمین‌شناسی منحصر به فرد ایران را توصیف نمی‌کند (قربانی^{۱۱}، ۲۰۲۱).

ژئومورفولوژی تکتونیکی میزان فرآیند دینامیکی مانند تغییر شکل، برآمدگی، فرسایش، و غیره را مورد بررسی قرار می‌دهد (دی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۹). ژئومورفولوژی تکتونیکی به تکتونیک و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی مربوط می‌شود که می‌تواند به عنوان ویژگی‌هایی طبقه‌بندی شود که نشان دهنده‌ی پاسخ‌های شکل زمین به تکتونیک فعال است. تکتونیک شامل تکتونیک فعال و نئو تکتونیک است (کوزوکاوغلو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۹).

تکتونیک فعال حرکت تکتونیکی می‌گویند که انتظار می‌رود در آینده رخ دهد در حالی که نئو تکتونیک مطالعه حرکت تکتونیکی در دوره‌های مختلف از نئوژن تا کنون است. استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک روشی مفید برای تجزیه و تحلیل موضوعات تکتونیکی فعال است (رامکومار^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۹). این شاخص‌ها نقشی ضروری در درک ماهیت حرکت‌ها و همچنین تفسیر وضعیت زمین‌ساختی مناطق دارند. از میان روش‌های کمی و کیفی که برای بررسی زمین‌ساختی فعال در نظر گرفته می‌شود، ارزیابی کمی برای تحقیقات علوم زمین برای ارزیابی شکل‌های زمین با استفاده از شاخص‌های قابل اندازه‌گیری

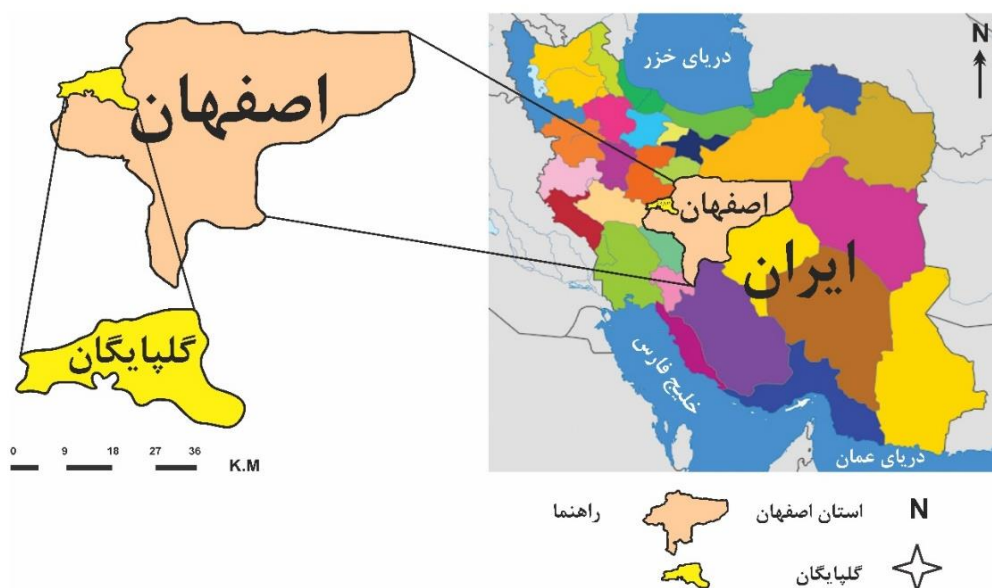
1. Rose and Allen
2. Smith and Oleynik
3. Gasimli
4. Rao and Rao
5. Talbot and Alavi
6. Naeimi
7. Koleini
8. Berberian and Walker
9. Kokaly
10. Niassarifard
11. Ghorbani
12. Dey
13. Kuzucuoğlu
14. Ramkumar

ضروری است (موریس و وگمن^۱، ۲۰۱۷). شاخص‌های ژئومورفولوژیک برای ارزیابی تکتونیک فعال در مناطق مختلف جهان، مانند کوه‌های جنوب شرقی اسپانیا، رشته کوه سیرا نوادا اسپانیا، کوه‌های هندوکش شمال پاکستان، سواحل جنوب غربی هند، آناتولی مرکزی، حوضه وان در شرق ترکیه، حوضه هیمالیا در هند، ساحل شمال غربی الجزایر، کوه‌های لنگشان در شمال چین، و کوه‌های زاگرس در شمال عراق به کار رفته است (بهاروند^۲ و همکاران، ۲۰۲۰).

با توجه به پویایی فلات ایران، در این پژوهش تلاش بر این است تا با به کارگیری نتایج حاصل از بررسی‌های شاخص‌های ژئومورفوتکتونیک و بازبازرسی صحرایی، مناطق دارای فعالیت تکتونیک متفاوت مشخص شود و میزان فعالیت آن‌ها تعیین گردد. در این پژوهش به این موضوع توجه شده است که باتوجه به این که وقتی بیش از یک شاخص برای یک ناحیه به کار رود، نتایج پر معنی از تحلیل‌ها حاصل می‌شود. از این رو برای منطقه مورد مطالعه عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) به دست آمده است. در نهایت گسل‌های فعال محدوده مورد پژوهش ترسیم شده است و نقشه پراکندگی سطح فعالیت نسبی زمین ساختی با داده‌های لرزه‌ای دستگامی مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به برداشت‌های صحرایی از گستره مورد پژوهش، پتانسیل حرکت گسل‌های جنبی ناحیه در هر مقطع مشخص گردید.

منطقه مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی: منطقه مورد مطالعه بر گره ۱:۱۰۰۰۰۰:۱۰۰۰۰۰ گلیپایگان و حومه آن را در بر می‌گیرد به عبارتی در طول‌های ۴۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول جغرافیایی شرقی و عرض‌های ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۴ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی قرار دارد، شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه بر اساس چارچوب حوضه‌های آبریز انتخابی و موقعیت گستره مورد بررسی بر روی نقشه ایران را نشان می‌دهد.

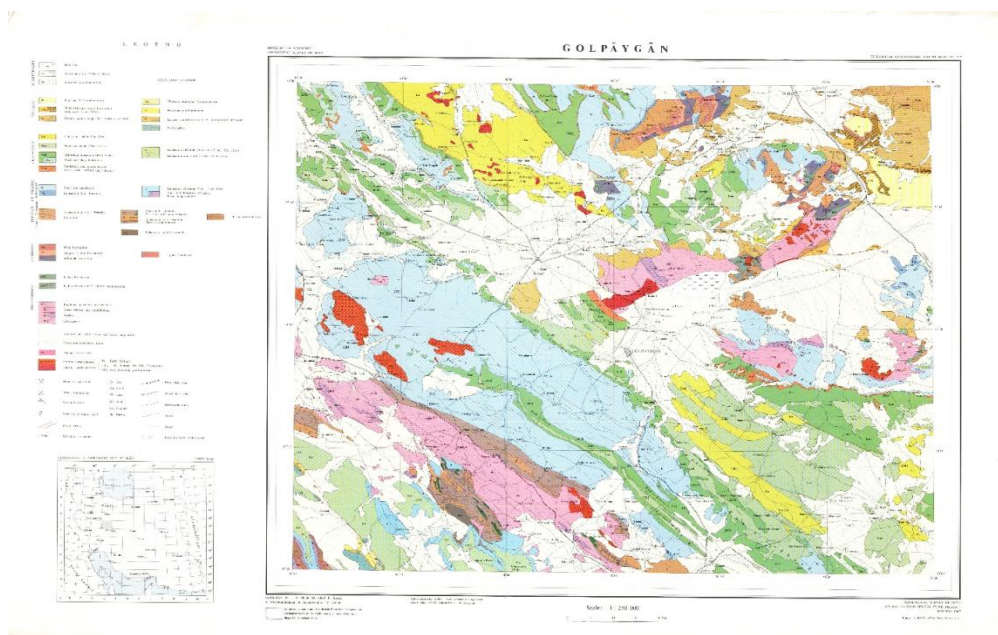


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه ایران (منبع: نفیسه حاج نوروزی)

در ادامه در مورد شرایط و ویژگی‌های شهر گلپایگان توضیح داده شده است. در شکل ۲ نیز نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهر گلپایگان دیده می‌شود.

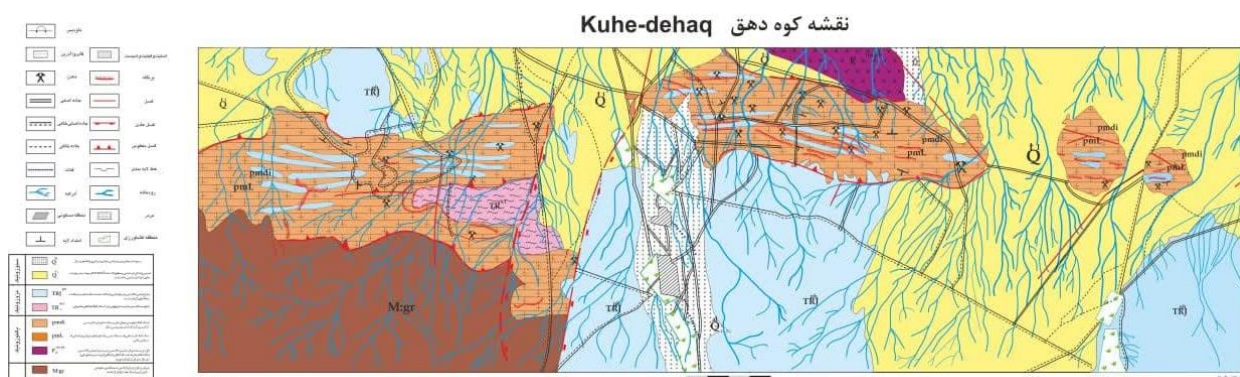
¹. Morriss and Wegmann

². Baharvand



شکل ۲. نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ گلپایگان (منبع: تهیه کنندگان: علوی، امامی، زاهدی، اصفی، هوشمندزاده، سیدامامی)

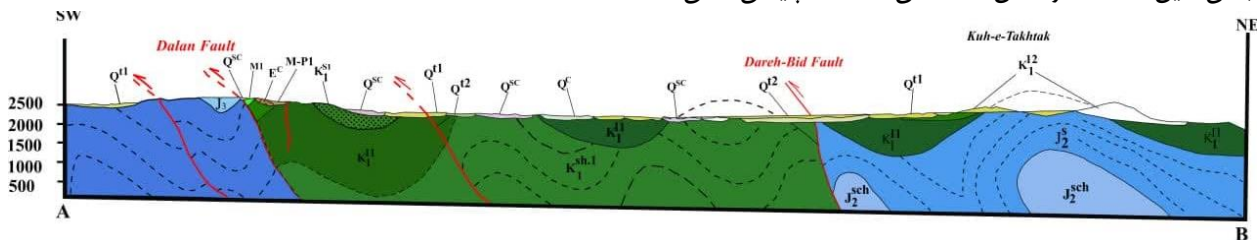
شرایط اقلیمی: محدوده گلپایگان در قلمرو سه فرمانداری از استان اصفهان، یعنی گلپایگان، خوانسار و داران قرار می گیرد، روند رشته کوه های آن تقریباً شمال باختر-جنوب خاوری می باشد. قله پنج پنجه واقع در جنوب خوانسار با بلندی ۳۷۱۰ متر، بلندترین نقطه از سطح دریا، و شهر گلپایگان با ارتفاع ۱۷۸۰ متر پائین ترین منطقه در محدوده می باشد. شهر گلپایگان در چهل کیلومتری جنوب خاوری خمین و ۳۰ کیلومتری شمال خوانسار واقع شده است. رودخانه عمدۀ منطقه، رودخانه دربند (قم رود) واقع در ضلع باختری منطقه است که به صورت مارپیچ از جنوب غرب گلپایگان به سمت شمال جاری است. آب همیشه جاری این رودخانه در پشت سد خاکی گلپایگان واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب غرب شهر گلپایگان جمع می گردد. نقش این سد در آبیاری و کشاورزی دشت گلپایگان که به صورت مخروط افکنه بزرگ و حاصلخیزی از دهانه ورودی جنوب غربی گلپایگان به سمت شمال شرقی کشیده شده است و تا کنجدجان و ورزنه ادامه می یابد، بسیار حائز اهمیت است از شهرهای محدوده مورد بررسی افزون بر گلپایگان و خوانسار می توان آبادی های گوگد، ویست، بوئین و میاندشت، افوس، خویگان، باديجان، گنجه و افشان را نام برد. در شکل ۳ نقشه کوه دهق نشان داده شده است.



شکل ۳. نقشه کوه دهق (منبع: نفیسه حاج نوروزی)

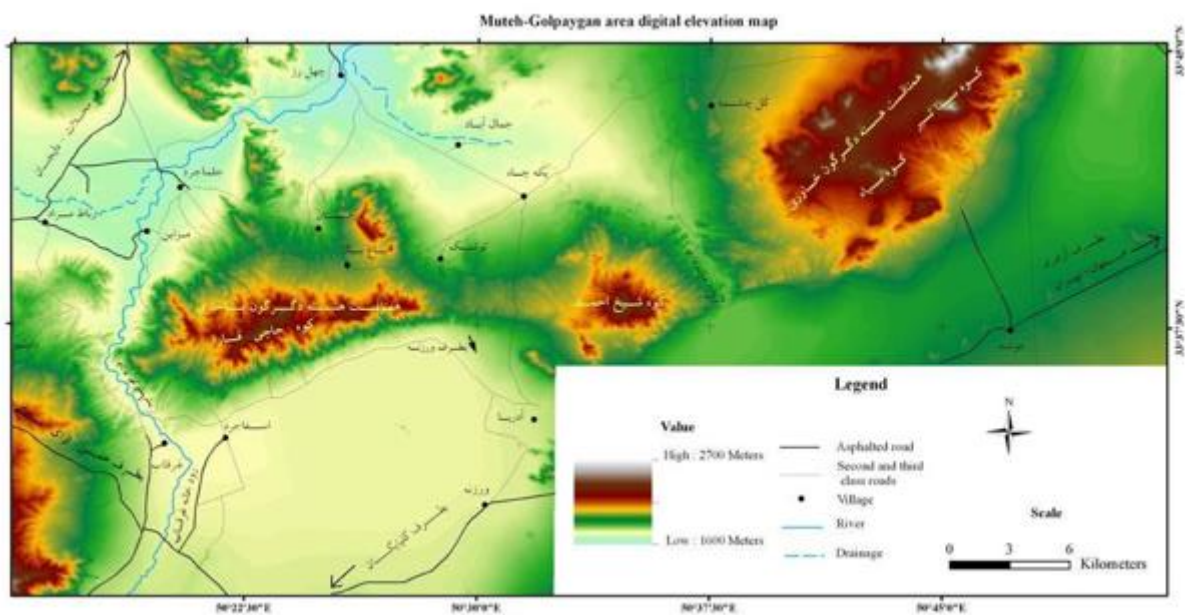
زمین ریخت شناسی: خمیدگی ساختاری موته - شمال گلپایگان مهم ترین عارضه زمین ریخت شناسی در گستره مورد بررسی است. به طوری که در نقشه ارتفاعی رقمی دیده می شود (شکل ۲)، شیب ناهمواری های سازنده این عارضه به تقریب از شمال خاور به جنوب باختر کاهش می یابد. قله تخته کوه با بلندی ۲۷۷۲ متر بلندترین نقطه در شمال موته است. چکاد کوه های سیاتیر و کوه سیاه در شمال موته از جمله دیگر نقاط بلند هستند. به سوی جنوب باختر، کوه های شیخ احمد و کوه حاجی قارا در فاصله بین دره چاه باغ و دره غرقاب بلندی کمتری دارند. سنگ های دگرگون شده به ویژه گرانیت های گنایسی، مرمرها و دولومیت

های کمی باز بلورین شده مهم ترین سازندگان بلندهای یادشده هستند. بخش های بلند و صخره ساز موجود در بلندهای شمال خمیدگی موته- گلپایگان (شمال روستاهای رباط مراد، جلماجرد و جمال آباد) بیشتر از جنس سنگ آهک و بخش های نامقاوم از جنس شیل هستند. در شکل ۴ سکشن منطقه گلپایگان نشان داده شده است.



شکل ۴. سکشن منطقه گلپایگان (منبع: نفیسه حاج نوروزی)

خمیدگی ساختاری یاد شده باعث جدا شدگی نسبی دو حوضه آبگیر در جنوب و شمال خود شده است. زهکشی سطحی، از حوضه آبگیر جنوبی در منطقه گلپایگان به حوضه شمالی در منطقه رباط مراد و چهل رز، تنها از طریق دره های تنگ و باریک عرضی از جمله دره چاه باغ و دره غرقاب انجام می شود. در مرز شمالی خمیدگی ساختاری موته- گلپایگان در مقایسه با مرز جنوبی، تغییرات شیب ها و رودخانه های مهم، روستاها و راه های دسترسی به گستره مورد بررسی روی آن نمایش داده شده است. در شکل ۵ نقشه ارتفاعی رقومی (DEM) گستره مورد بررسی و پیرامون آن که موقعیت جغرافیائی کوهها مشخص شده است.

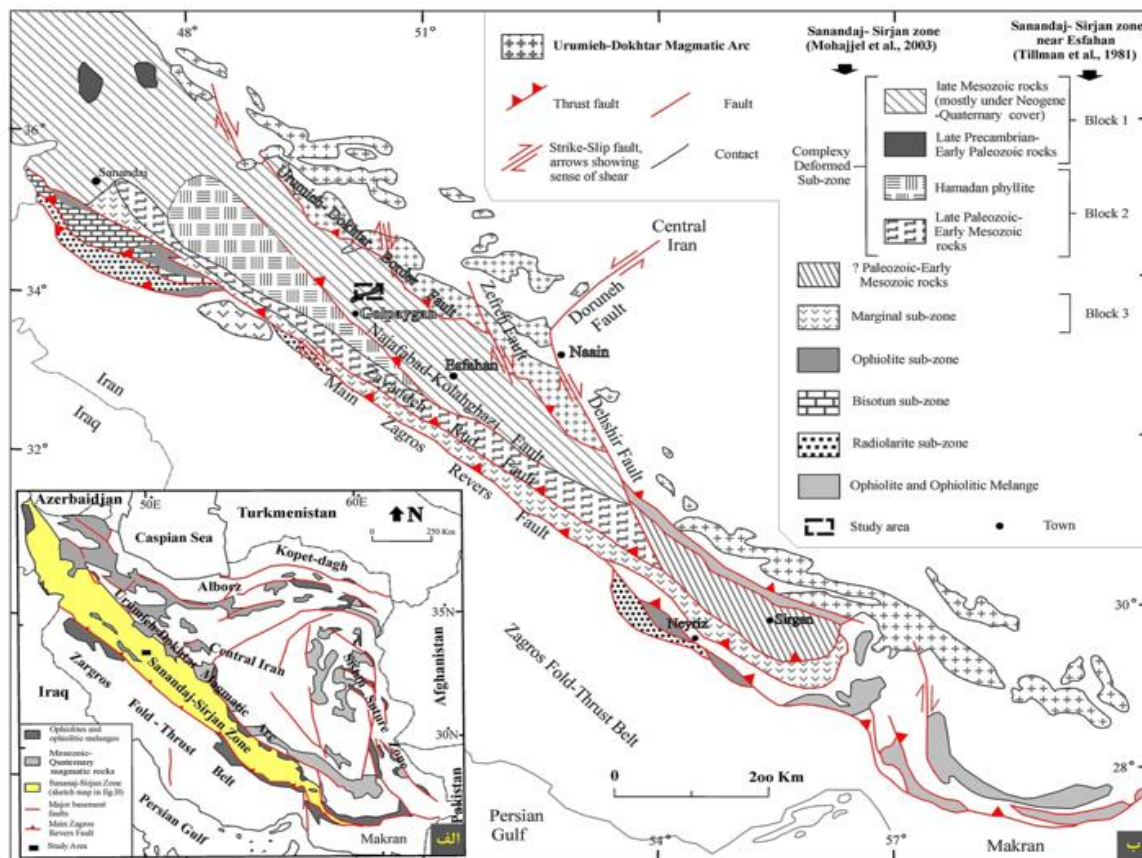


شکل ۵. نقشه ارتفاعی رقومی (DEM) گستره مورد بررسی و پیرامون آن که موقعیت جغرافیائی کوه (منبع نگارنده)

وجود کنگلومراهای ائوسن در کوهپایه های مرز شمالی را می توان به عنوان عامل مهمی در کاهش تغییرات شیب به شمار آورد. در خاور و جنوب خاور روستای اسفاجرد گستره های با بلندای کمی بیش از ۱۶۰۰ متر یک عارضه سطحی بیضی شکل را می سازد. به طوری که در بخش زمین شناسی منطقه شرح داده شده، این شکل ویژه متعلق به یک کفه گلی جوان در این منطقه است.

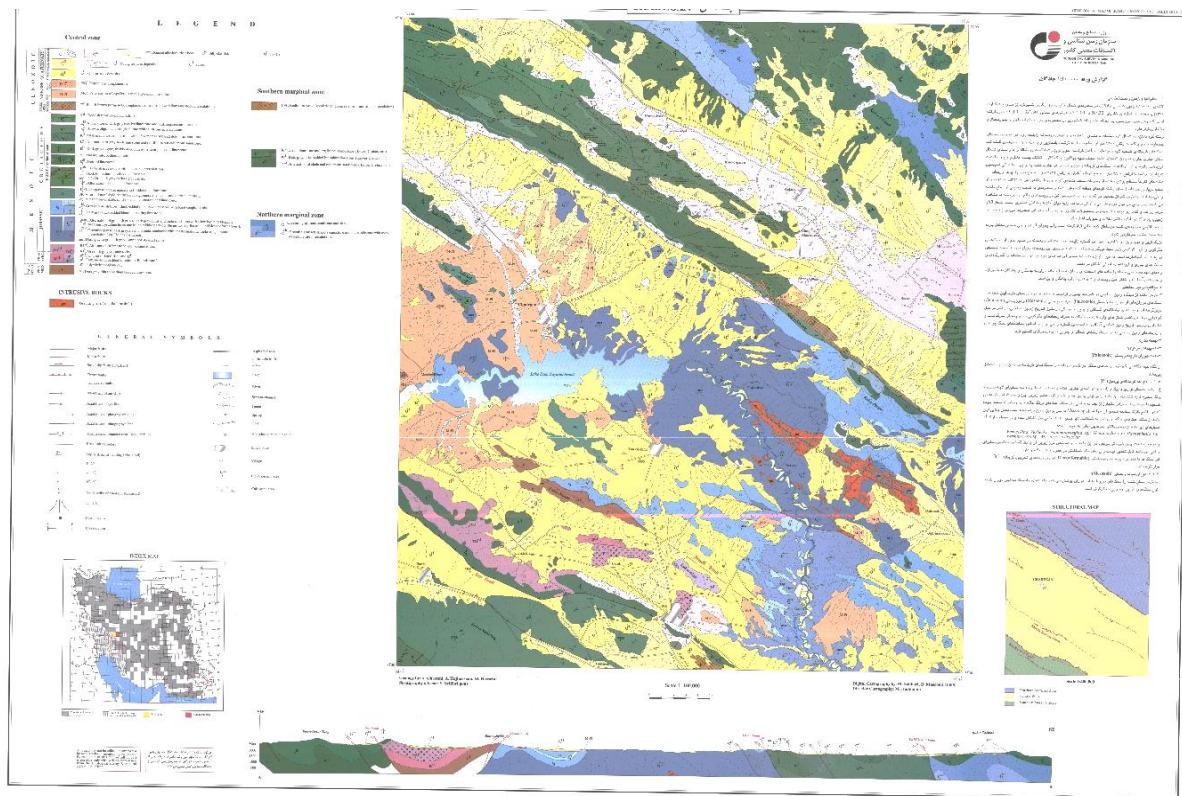
روند ساختاری عمومی پهنه سنندج - سیرجان شمال باختری - جنوب خاوری بوده و مشابه روند کمان ماگمایی ارومیه - دختر و کوهزاد زاگرس است. روند جالب توجه خمیدگی ساختاری موته - گلپایگان به تقریب روندی عمود بر کمان ماگمایی ارومیه - دختر و عمود بر روند پهنه ساختاری سنندج- سیرجان است. در منطقه مورچه خورت مشابه چنین تغییر روندهائی در سنگ نهشته های کرتاسه، به چرخش محلی محورهای اصلی تنش ناحیه ای در اثر گسلش راست بر در راستای شمال باختری- جنوب

خاوری نسبت داده شده است (تیلمن^۱ و همکاران، ۱۹۸۱). تیله^۲ و همکاران (۱۹۶۸) روندهای ساختاری عمود بر کمان را به فاز های کوهزائی هرسینین و روندهای موازی کمان را به کوهزائی های آلی نسبت داده اند. از سوی دیگر، نبوی (۱۳۵۵) روند شمال خاوری - جنوب باختری را در برجستگی های منطقه محلات به تکاپوهای کششی رخداد کالدونی نسبت داده است. به نظر نامبرده، این تکاپوها با پیدایش سنگ های آتشفشانی همراه بوده است (رشید نژاد عمران و همکاران، ۱۳۸۱). در شکل ۶ موقعیت پهنه سندانج و نقشه تقریبی زیرپهنه های سندانج نشان داده شده است.



شکل ۶. الف- موقعیت پهنه سندانج- سیرجان، و همچنین جایگاه زمین ساختی گستره مورد بررسی در پهنه بندی ساختاری - رسوبی ایران (استیکلین و ستوده‌نیا^۳، ۱۹۷۲) ب- نقشه تقریبی زیرپهنه های سندانج - سیرجان (مهجل^۴ و همکاران، ۲۰۰۳) و زیرپهنه های هم ارز آن در سندانج - سیرجان نزدیک اصفهان، بلوک های ۲ و ۳ (تیلمن و همکاران، ۱۹۸۱).

1. Tillman
2. Thielie
3. Sticklin and setudehnia
4. Mohajjel



شکل ۷. نقشه چادگان (منبع: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

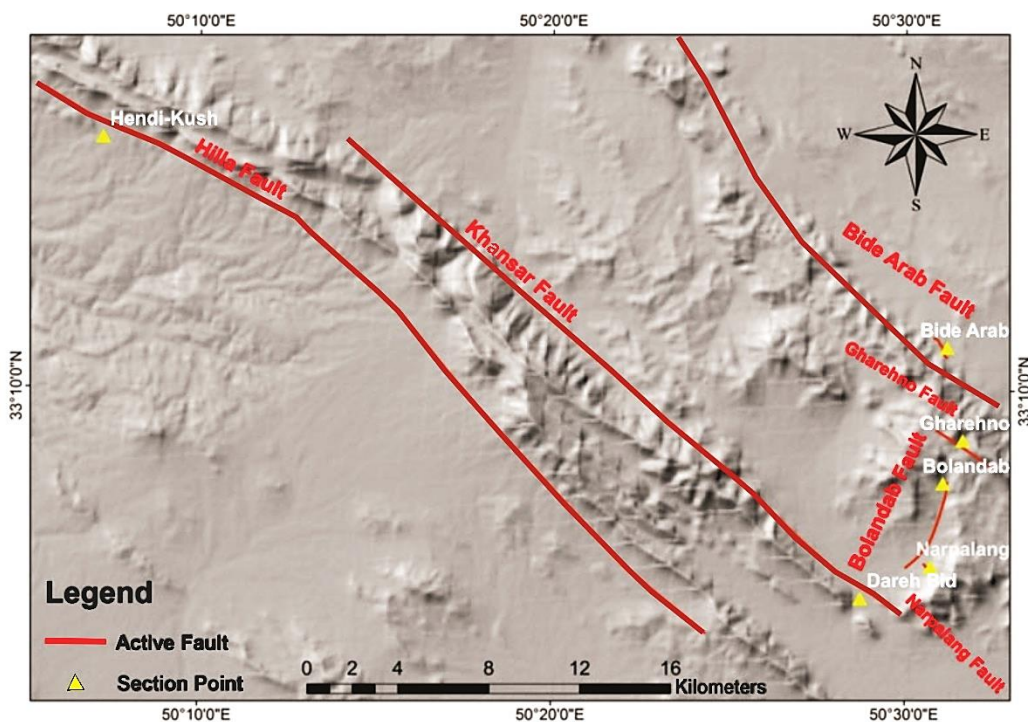
روش پژوهش

در این پژوهش به منظور تحلیل توان حرکتی گسل‌های فعال موجود در گلپایگان، سطوح برشی دارای خطواره‌های لغزشی و صفحات گسلی مربوط به آنها اندازه‌گیری شدند. در ادامه نتایج به دست آمده با توجه به برخی پدیده‌های زمین‌شناسی از قبیل صفحات تزریق، استیلولیت‌ها و پله‌های تجمعی کانی‌ها کنترل شده و تغییرات جهت تنش در واحدهای سنگی محاسبه شدند. برای این کار، از روش وارون سازی^۱ برای تعیین سوی محورهای اصلی تنش استفاده شد و در همه مقاطع، تنش‌های اصلی منطقه با استفاده از نرم افزار Tectonics FP محاسبه گردید، در این پژوهش، فرض بر این بود که خش لغزهای روی صفحه گسلی، جهت تنش برشی بیشینه را نشان خواهد داد. زاویه بین بردار عادی صفحه در مقابل تنش اصلی بیشینه، اندازه‌گیری و در معادلات قرار گرفت و در نهایت، مقدار پتانسیل حرکت گسل‌های جنبی ناحیه در هر مقطع به دست آمد.

پتانسیل حرکتی گسل‌های فعال ناحیه مورد مطالعه طبق روش لی^۲ و همکاران (۱۹۹۷) با تنش ناحیه‌ای در هر مقطع به طور جداگانه محاسبه شد. تمامی محاسبات تنش ناحیه‌ای با استفاده از معادله زیر حل گردید. پس از انجام محاسبات، نتایج حاصل از این روش، یعنی حل معادله بر پایه تنش ناحیه‌ای با نتایج حاصل از داده‌های لرزه‌ای با یکدیگر مقایسه شدند. در شکل ۸ نقشه گسل‌های فعال منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

¹. Inversion Method

². Lee



شکل ۸. نقشه گسل های فعال منطقه مورد مطالعه

محاسبات توان حرکتی گسل های جنبای ناحیه گلپایگان با استفاده از تنش ناحیه‌ای، جهت تنش بیشینه منطقه ای (σ_1) بر اساس تجزیه و تحلیل کینماتیکی شکستگی ها، گسل ها و خطوارگی های لغزشی در منطقه مورد مطالعه و با استفاده از روش معکوس سازی داده های صحرائی با نرم افزار Tectonics FP تعیین شده و نتایج آن به نحوه زیر است.

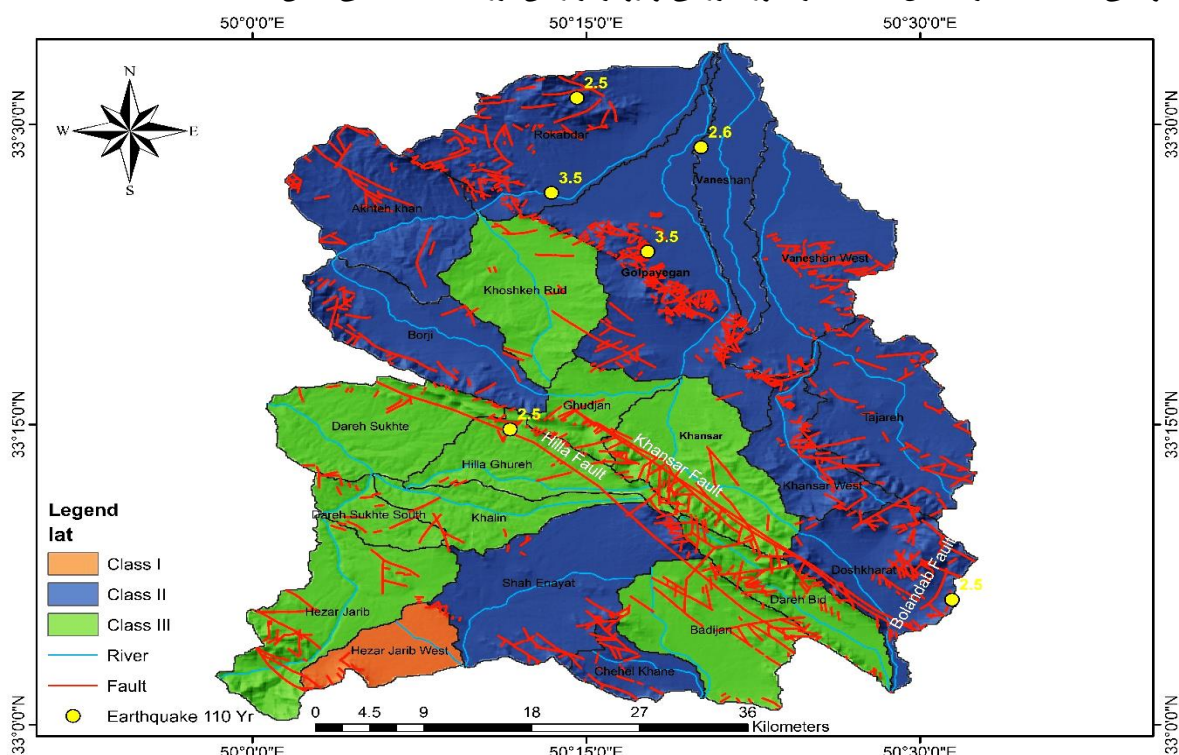
نتایج محاسبات توان حرکتی گسل های فعال ناحیه گلپایگان با استفاده از تنش ناحیه‌ای نشان داده شده است. در این منطقه برای هر مقطع، نام گسل، صفحه گسل و مقدار پارامتر FMP (که نشان دهنده توان حرکتی گسل است) ارائه شده است. به عنوان مثال، برای مقطع نرپلنگ، گسل نرپلنگ با صفحه گسل $312/71$ و σ_1 برابر $270/50$ و زاویه θ برابر 46 و مقدار FMP برابر با $0/5$ شناسایی شده است. به طور مشابه، برای مقطع بلنداب، گسل بلنداب با صفحه گسل $243/62$ و σ_1 برابر با $270/50$ و زاویه θ برابر 80 و مقدار FMP برابر $0/3$ شناسایی شده است. برای مقطع قره نو، گسل قره نو با صفحه گسل $325/64$ و σ_1 برابر $270/50$ و زاویه θ برابر 35 و مقدار FMP برابر با $0/1$ شناسایی شده است. برای مقطع بیدعرب، گسل بیدعرب با صفحه گسل $110/60$ و مقدار FMP برابر با $0/8$ و σ_1 برابر $270/50$ و زاویه θ برابر 55 شناسایی شده است. برای مقطع دره بید، گسل دره بید با صفحه گسل $319/73$ و مقدار FMP برابر با $0/5$ و σ_1 برابر $270/50$ و زاویه θ برابر 45 شناسایی شده است. برای مقطع هندی کُش، گسل هندی کُش با صفحه گسل $321/69$ و مقدار FMP برابر با $0/4$ و σ_1 برابر $270/50$ و زاویه θ برابر 42 شناسایی شده است. بنابراین نشانگر پتانسیل بالای گسل های منطقه‌ای برای فعالیت دوباره و ایجاد زمین لرزه های بزرگ و مخرب است.

یافته های تحقیق

داده های لرزه ای دستگاهی

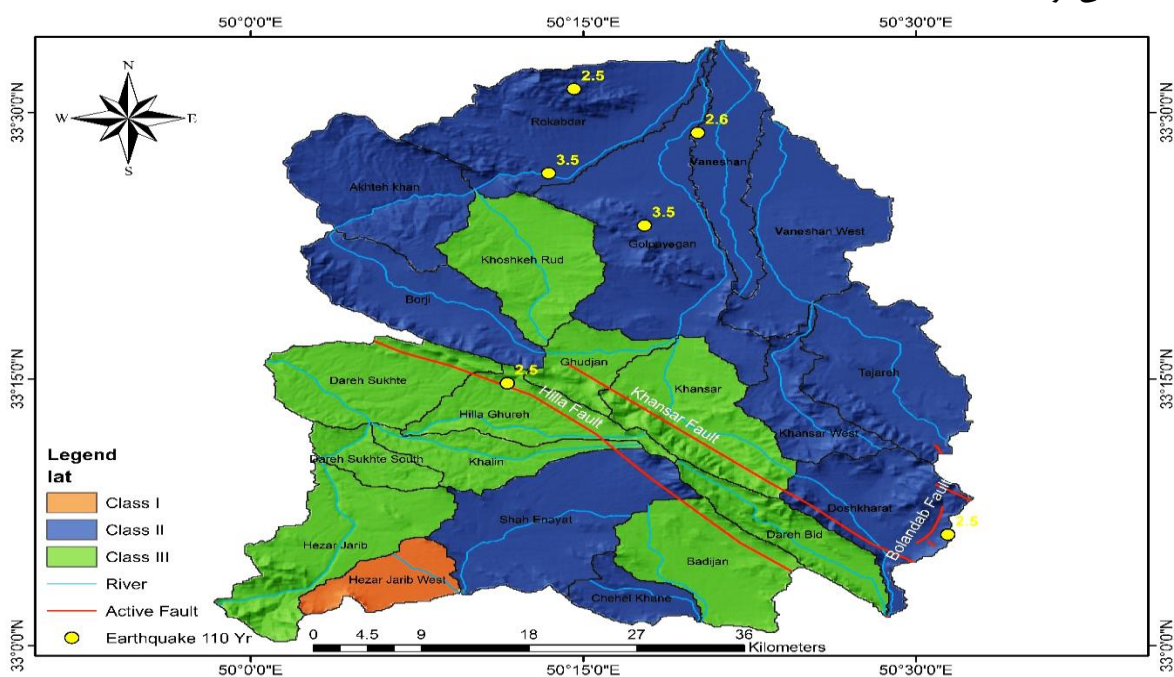
با توجه به پیشینه لرزه ای و بالابودن فعالیت لرزه ای در منطقه مورد مطالعه و داده های برداشت شده از ایستگاه های لرزه نگاری نشان از الگوی نامنظم و متداوم لرزه خیزی در منطقه است و عمده زمین لرزه ها نیز کم عمق می باشند، داده های لرزه ای از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۲ میلادی نشان می دهد که شش زمین لرزه روی داده در نزدیکی گسل های اصلی و جنبای ناحیه رخ داده است و

با پهنه های نسبی زمین ساختی همخوانی آشکاری را نشان می دهد (شکل ۸). در شکل ۹ نیز نقشه پهنه بندی فعالیت نسبی تکتونیکی ناحیه به همراه گسل های گستره مورد بررسی و رومرکز زمین لرزه های دستگاهی نشان داده شده است.



شکل ۹. نقشه پهنه بندی فعالیت نسبی تکتونیکی ناحیه به همراه گسل های گستره مورد بررسی و رومرکز زمین لرزه های دستگاهی (منبع: داده های لرزه ای برگرفته از مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران)

در شکل ۱۰ نقشه پهنه بندی فعالیت نسبی تکتونیکی ناحیه به همراه گسل های جنبی و رومرکز زمین لرزه های دستگاهی مشاهده می شود.



شکل ۱۰. نقشه پهنه بندی فعالیت نسبی تکتونیکی ناحیه به همراه گسل های جنبی و رومرکز زمین لرزه های دستگاهی (منبع: داده های لرزه ای برگرفته از مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران)

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)

هندسه شبکه رود می تواند به چند صورت توصیف گردد، هم به صورت کمی و هم به صورت کیفی، جایی که زهکشی در حضور تکتونیک فعال توسعه یابد، شبکه غالباً دارای الگو و هندسه واضحی است. شاخص عدم تقارن روشی برای ارزیابی وجود کج شدگی تکتونیکی در مقیاس یک حوضه زهکشی است و می تواند در مناطق تقریباً بزرگی کاربرد داشته باشد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲) AF به صورت زیر تعریف می شود:

$$AF=100 (Ar / At)$$

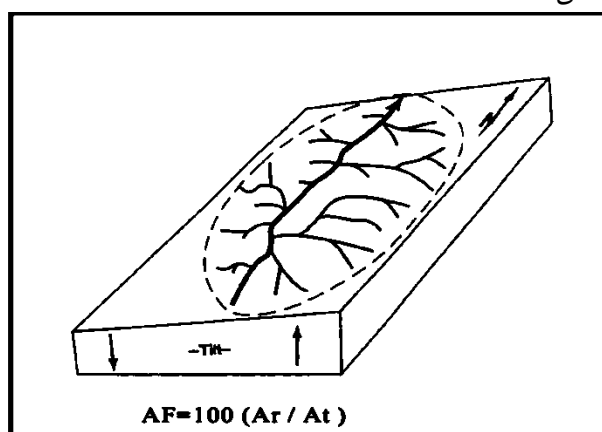
Ar مساحت حوضه سمت راست رود (دید به سمت پائین)

At مساحت کل حوضه زهکشی

AF عدم تقارن حوضه

برای یک شبکه رودی که تشکیل شده و جریان آن در یک پایدار است، AF باید حدود ۵۰ درصد باشد. مقادیر کمتر، یا بیشتر از ۵۰ درصد این شاخص ممکن است نشانگر کج شدگی باشند. AF نظیر بیشتر شاخص های ژئومورفیک در مناطقی بهترین کاربرد را دارد که نوع سنگ ها یکسان باشد، در تشریح نتایج، اگر AF بزرگ تر از ۵۰ درصد باشد، نشانگر آن است که حوضه مذکور به سمت چپ کج شدگی دارند (کلر و پینتر، ۲۰۰۲).

اگر یک حوضه ای در شرایط پایدار با مقدار کج شدگی پائین و یا بدون کج شدگی باشد در این صورت شاخص AF نزدیک ۵۰ خواهد بود. این شاخص نسبت به تغییرات شیب در جهت عمود بر مسیر کانال حساس می باشد. کج شدگی ممکن است هم در اثر تکتونیک فعال باشد و هم در اثر کنترل ساختاری اختلاف فرسایش باشد. جهت گیری شیستوزیته یا لایه بندی نقش مهمی را در توسعه عدم تقارن حوضه ایفا می کند. شیب شیستوزیته یا لایه بندی باعث مهاجرت ترجیحی دره در جهت پائین دست رودخانه می شود و باعث ایجاد دره نامتقارن می شود، در منطقه مورد مطالعه شاخص AF برای ۲۲ حوضه تعیین شده به کار گرفته شد و آستانه های آن همانند الحمدونی^۲ و همکاران (۲۰۰۸) در سه کلاس طبقه بندی شد نتایج آن در جدول شماره ۳-۱ ارائه شده است. مقدار AF-۵۰ بیشتر از ۱۵، در کلاس ۱ (فعال از نظر تکتونیکی)، مقدار AF-۵۰ بین ۷-۱۵ در کلاس ۲ (فعالیت تکتونیکی متوسط) و مقدار AF-۵۰ کمتر از ۷ در کلاس ۳ (فعالیت تکتونیکی پائین) طبقه بندی می شود (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸). بر اساس نتایج به دست آمده از شاخص عدم تقارن حوضه، در مجموع حوضه های قودجان، شاه عنایت، هزار جریب غربی، چهل خانه، وانشان غربی و وانشان در رده ۱ تکتونیکی طبقه بندی شده و فعالیت نسبی تکتونیکی بالایی را نشان می دهند و بقیه حوضه در رده های ۲ (متوسط) تا رده ۳ (فعالیت نسبی تکتونیکی پائین) را نشان می دهند (جدول ۲). در شکل ۱۱. بلوک دیاگرام نشانگر نحوه محاسبه فاکتور عدم تقارن نشان داده شده است.



شکل ۱۱. بلوک دیاگرام نشانگر نحوه محاسبه فاکتور عدم تقارن (منبع: پور کرمانی و سلگی، ۱۳۸۸)

در ادامه در جدول ۲ مقدار شاخص AF برای حوضه های مشخص شده در منطقه نشان داده شده است.

^۱. Keller & Pinter
^۲. El Hamdouni

جدول ۲. مقدار شاخص AF برای حوضه های مشخص شده در منطقه مورد پژوهش

NAME	At (sq km)	Ar (sq km)	AF	Tilting Part	Flow Direction	Assessment	Assessment	Tectonic class
Rokabdar	۷۶.۱۷۴	۲۴.۸۰	.۴۵ ۹۱	east	S-N	۰.۹.۴	۳	(Low ۳ Activity)
Golpaigan	۲۶.۲۱۰	۷۱.۷۳	.۳۵ ۰.۶	east	S-N	۹۴.۱۴	۲	(Moderate ۲ Activity)
Khoshkeh Rud	۳۷.۱۱۲	۴۶.۵۷	.۵۱ ۱۳	west	S-N	۱۳.۱	۳	(Low ۳ Activity)
Borji	۳۸.۱۱۱	۲۲.۴۶	.۴۱ ۵۰	east	S-N	۵۰.۸	۲	(Moderate ۲ Activity)
Khunsar West	۴۹.۶۴	۳۳.۳۷	.۵۷ ۸۸	west	S-N	۸۸.۷	۲	(Moderate ۲ Activity)
Tajareh	۳۸.۱۳۷	۱۲.۵۵	.۴۰ ۱۲	east	S-N	۸۸.۹	۲	(Moderate ۲ Activity)
Ghudjan	۲۳.۴۷	۰۰.۳۱	.۶۵ ۶۳	east	N-S	۶۳.۱۵	۱	(High ۱ Activity)
Khansar	۰۹.۱۲۰	۹۷.۴۴	.۳۷ ۴۵	east	S-N	۵۵.۱۲	۲	(Moderate ۲ Activity)
Dareh Sukhte	۵۲.۱۰۶	۱۳.۶۵	.۶۱ ۱۴	west	S-N	۱۴.۱۱	۲	(Moderate ۲ Activity)
Hilla Ghureh	۲۲.۷۴	۷۷.۳۴	.۴۶ ۸۵	west	N-S	۱۵.۳	۳	(Low ۳ Activity)
Dareh Sukhte South	۲۵.۳۵	۱۰.۲۱	.۵۹ ۸۷	west	S-N	۸۷.۹	۲	(Moderate ۲ Activity)
Hezar Jarib	۷۰.۱۲۶	۲۱.۷۸	.۶۱ ۷۳	west	S-N	۷۳.۱۱	۲	(Moderate ۲ Activity)
Shah Enayat	۴۹.۱۶۴	۱۵.۱۱۰	.۶۶ ۹۶	east	N-S	۹۶.۱۶	۱	(High ۱ Activity)
Dareh Bid	۵۹.۶۵	۱۹.۲۹	.۴۴ ۵۰	west	N-S	۵۰.۵	۳	(Low ۳ Activity)
Hezar Jarib West	۰۸.۵۰	۳۴.۱۶	.۳۲ ۶۳	east	S-N	۳۷.۱۷	۱	(High ۱ Activity)
Badijan	۳۸.۱۰۹	۰۰.۴۵	.۴۱ ۱۴	west	N-S	۸۶.۸	۲	(Moderate ۲ Activity)

Doshkharat	۴۴.۱۰۸	۹۲.۳۹	.۳۶ ۸۱	west	N-S	۱۹.۱۳	۳	(Moderate ۲ Activity)
Chehel Khane	۵۵.۳۷	۳۵.۲۷	.۷۲ ۸۳	east	N-S	۸۳.۲۲	۱	(High ۱ Activity)
Khalin	۷۶.۵۷	۵۷.۲۳	.۴۰ ۸۱	east	S-N	۱۹.۹	۲	(Moderate ۲ Activity)
Akhteh khan	۲۳.۱۳۰	۶۰.۴۵	.۳۵ ۰۱	east	S-N	۹۹.۱۴	۲	(Moderate ۲ Activity)
Vaneshan West	۱۱.۱۴۵	۲۳.۱۰۹	.۷۵ ۲۷	west	S-N	۲۷.۲۵	۱	(High ۱ Activity)
Vaneshan	۴۴.۸۴	۹۲.۵۶	.۶۷ ۴۱	west	S-N	۴۱.۱۷	۱	(High ۱ Activity)
AF classification: AF-۵+>۱۵ ,,,, ۱(High Activity) ,, AF-۵+۷-۱۵ ,,,, ۲(Moderate Activity) ,, AF-۵+<۷ ,,,, ۳(Low Activity)								

نتیجه گیری

با توجه به بررسی‌های شاخص‌های کمی و کیفی مورفومتری در گستره مورد بررسی و با توجه به کارهای دفتری، مطالعات صحرایی و نرم افزاری صورت گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده از شاخص عدم تقارن حوضه، در مجموع حوضه‌های قودجان، شاه عنایت، هزار جریب غربی، چهل خانه، وانشان غربی و وانشان در رده ۱ تکتونیک طبقه بندی شده و بقیه حوضه در رده‌های ۲ (متوسط) تا رده ۳ (فعالیت نسبی تکتونیک پائین) را نشان می‌دهند. حوضه خشکه رود با مقدار ۵۱.۱۳ دارای بیشترین تقارن می‌باشد و حوضه‌های وانشان غربی و هزار جریب غربی به علت راندگی و چین خوردگی دارای بیشترین کج شدگی می‌باشند که می‌تواند مربوط به ساختارهای تکتونیک فعال ناحیه مانند گسل‌های جنبای فراوان و اصلی با روند شمال باختر- جنوب خاور منطقه می‌باشد، پس از محاسبه شاخص T مشخص گردید که در اکثر قطعات، حوضه زهکشی دچار کج شدگی می‌باشد و از نظر مقدار T این مقدار از ۲۲.۰ برای حوضه وانشان تا ۰.۸۰ برای حوضه هیلا قوره در تغییر است. مقادیر محاسبه شده شاخص تقارن توپوگرافی عرضی با مقادیر محاسبه شده شاخص AF همخوانی خوبی دارد، مقادیر مربوط به شاخص AF به خوبی مقادیر شاخص T را تأیید می‌کند.

منابع

۱. پور کرمانی، م.، سلگی، ع. (۱۳۸۸). مورفوتکتونیک. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ۱۸۷ صفحه.
۲. رشیدنژاد عمران، ن. (۱۳۸۱). پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های متاولکانو سدیمنتاری و پلوتونیک منطقه موه (جنوب دلیجان) با نگرشی ویژه به خاستگاه کانی سازی طلا، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۴۰۴ صفحه.
۳. نبوی، م. ح. (۱۳۵۵). دیباچه ای بر زمین شناسی ایران، تهران: انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.
4. Baharvand, S., Pardhan, B., & Soori, S. (2020). Evaluation of active tectonics using geomorphic indices in a mountainous basin of Iran. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 111(2), 109-117.
5. Berberian, M., & Walker, R. (2010). The Rudbār M w 7.3 earthquake of 1990 June 20; seismotectonics, coseismic and geomorphic displacements, and historic earthquakes of the western 'High-Alborz', Iran. *Geophysical Journal International*, 182(3), 1577-1602.

6. Dey, S., Kaushal, R. K., & Jain, V. (2019). Spatiotemporal variability of Neotectonic activity along the Southern Himalayan front: a geomorphic perspective. *Journal of Geodynamics*, 129, 237-246.
7. El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1-2), 150-173.
8. Gasimli, V. (2015). *Geo-economics*. Center for Strategic Studies under the President of the Republic of Azerbaijan.
9. Ghorbani, M. (2021). *The geology of Iran: tectonic, magmatism and metamorphism*. New York, NY, USA:: Springer International Publishing.
10. Keller E. A. and Pinter N (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, [Book]*. - New Jersey : Prentice Hall.
11. Kokaly, R. F., Clark, R. N., Swayze, G. A., Livo, K. E., Hoefen, T. M., Pearson, N. C., ... & Klein, A. J. (2017). *Usgs spectral library version 7 data: Us geological survey data release*. United States Geological Survey (USGS): Reston, VA, USA, 61.
12. Koleini, M. (2012). *Engineering geological assessment and rock mass characterization of the Asmari formation (Zagros range) as large dam foundation rocks in southwestern Iran* (Doctoral dissertation, University of Pretoria).
13. Kuzucuoğlu, C., Celâl Şengör, A. M., & Çiner, A. (2019). The tectonic control on the geomorphological landscapes of Turkey. *Landscapes and landforms of Turkey*, 17-40.
14. Moore, J. C., & Byrne, T. (1987). Thickening of fault zones: A mechanism of melange formation in accreting sediments. *Geology*, 15(11), 1040-1043.
15. Morriss, M. C., & Wegmann, K. W. (2017). *Geomorphology of the Burnt River, eastern Oregon, USA: Topographic adjustments to tectonic and dynamic deformation*. *Geomorphology*, 278, 43-59.
16. Naeimi, A., Alavi, S. A., & Madanipour, S. (2022). Structural analysis and the late Cenozoic tectonic evolution of the SE Alborz Mountains in northern Iran: insights into the Arabia-Eurasia collision. *Geopersia*, 12(2), 241-264.
17. Niassarifard, M., Shabanian, E., Azad, S. S., & Madanipour, S. (2021). New tectonic configuration in NW Iran: Intracontinental dextral shear between NW Iran and SE Anatolia. *Tectonophysics*, 811, 228886.
18. Ramkumar, M., Santosh, M., Rahaman, S. M. A., Balasundareswaran, A., Balasubramani, K., Mathew, M. J., ... & Kumaraswamy, K. (2019). Tectono-morphological evolution of the Cauvery, Vaigai, and Thamirabarani River basins: Implications on timing, stratigraphic markers, relative roles of intrinsic and extrinsic factors, and transience of Southern Indian landscape. *Geological Journal*, 54(5), 2870-2911.
19. Rao, K. R., & Rao, K. R. (2019). *Geo-political Factors*. In *Wind Energy for Power Generation: Meeting the Challenge of Practical Implementation* (pp. 829-1071). Springer International Publishing.
20. Rose, D., & Allen, R. (2018). *Ancient civilizations of the world*. Scientific e-Resources.
21. Smith, H., & Oleynik, M. (2017). *Iran*. Bradt travel guides.
22. Talbot, C. J., & Alavi, M. (1996). The past of a future syntaxis across the Zagros. *Geological Society, London, Special Publications*, 100(1), 89-109.
23. Thiele, O., Alavi, M., Assefi, R., Hushmand-zadeh, A., Seyed Emami, K., Zahedi, M., 1968. Explanatory text of the Golpaygan quadrangle map scale 1: 250000. *Geological Survey of Iran, Geological Quadrangle E7*, 24p.
24. Tillman, J.E., Poosti, A., Rossello, S., Eckert, A., (1981). Structural evolution of Sanandaj Sirjan Ranges near Esfahan, Iran. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 65, 674-687.