Assessment of Tectonic Activities of Ghorveh- Dehgolan Basin by Using Geomorphic Indices

Dr. Mohamad Khalaj
Assistant Professor of Geology, University of Payame Noor, Tehran

Khalaj, M.(2021). [Assessment of Tectonic Activities of Ghorveh- Dehgolan Basin by Using Geomorphic Indices]. *Geography and Development,* 19 (62), 133-156, http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6015

doi: http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6015

Received:08/09/2019
Accepted :11/06/2020

Keywords:
Tectonic activity, Geomorphic index, Drainage basin, Geomorphology tectonics, Faulting.

ABSTRACT

Tectonic morphology studies the shapes created on the earth that are caused by tectonic mechanisms. The morpho-tectonic indices of the basin are used to investigate the active tectonics. The study area is part of the Sefidrud basin. Since the relationship between active tectonics and geomorphology has not been studied in the study area yet, therefore, morphometric study is necessary to identify the effect of active tectonics on the area. By find out the active processes in Ghorveh- Dehgolan basin, can be partially prevented damage from natural disasters such as floods and earthquakes. In this study, to assess tectonic activities in the Ghorveh-Dehgolan basin, five morphometric indices of the Relative relief (Bh), Drainage density (Dd), Form factor (Ff), Hypsometric integral and curve (Hi), and Stream gradient index (SL) have been assessed. First, sub basins and streams were extracted by using geographic information systems (GIS) and using hydrological functions of GIS (Arc Hydro). To calculate indices in each sub-basin, Topographic maps with scale 1:25000, geology maps 1: 100000 and digital elevation map (DEM) with a horizontal resolution of 30 m were used and for each index, the zoning map of the current tectonic activity level in the study area in five categories was plotted. Finally, according to the calculated values for each index, the relative active tectonic index (Iat) for each sub-basin was calculated. According to (Iat) index, the zoning map of total tectonic activity level was plotted and the study area was divided into four classes of tectonic activity. Class 1 (very high tectonic activity), class 2 (high tectonic activity), class 3 (intermediate), class 4 (low), class 5 (very low tectonic activity). The results of this study indicate high tectonic activity in the study area that is due to faults activity in the area. Bane abad, Sormeh ali, Parishan, Mahmud abad, Siah and Khalkhal faults are some of the most important faults in this area.

Copyright©2021, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

1- Introduction

Almost no area in the world can be found over the last few thousand years that has not been affected by tectonic processes. Usually deformations of the Earth's surface occur slowly over thousands of years. Morphometry can be defined as the quantitative measurement of the shape of the Earth's landscape .These quantitative measurements provide the conditions to identify areas with active tectonics by using them. Geomorphology tectonics is valuable knowledge in dynamic tectonic studies that can determine the impact of active tectonics on the river. Tectonic geomorphology is the knowledge of the study of shapes created on the ground by tectonic mechanisms. Geomorphic indices are useful in tectonic studies, because they can be used for rapid evaluation of large areas and And its essential data is often obtained from digital elevation maps and satellite imagery. Studies in different regions of the world on basins and waterways networks using morphometric indices

***Corresponding Author:**
Dr. Mohamad Khalaj
Address: Department of Geology, University of Payame Noor, Tehran
Tel: +98(2122442034)
E-mail: m_khalaj@pnu.ac.ir

indicate their effectiveness in identifying active areas. Active tectonic processes can affect the shape and function of rivers. Of the natural landscapes, rivers are the first environmental forms to respond relatively rapidly to changes in bedrock or to changes in bedrock margins. The Ghorveh-Dehgolan Basin is located in the Sanandaj- Sirjan zone, Bane abad, Sormeh ali, Parishan, Mahmud abad, Siah and Khalkhal faults are some of the most important faults in this area. The purpose of this study was to evaluate the neo-tectonic activities using quantitative geomorphic indices in Ghorveh-Dehgolan basin. The use of geomorphological indices in the study of neo- tectonic activity was initiated by Bull and McFadden and has been used by other researchers such as Rockwell and Wells. Ghorveh- Dehgolan basin is located in Kurdistan province and it is part of the Sefidrud catchment.

2-Methods and Material

Using digital elevation model, it is possible to accurately extract river indices and analyze drainage basins. At first, using the digital elevation map (DEM) with a horizontal resolution of 30 m in geographic information systems (GIS), sub-basins and waterways of the study area were extracted. Accordingly, the study area was divided into 34 sub-basins. In the next step, using the 1: 100,000 Geological Survey of the country Geological Survey, the geological units and major structures of the region, including faults of the region, were determined. Then we calculate the index for each sub-basin. For each index, the zoning map of the current tectonic activity in the study area was plotted. In the next step, five morphometric indices of the Relative relief (Bh), Drainage density (Dd), Form factor (Ff), Hypsometric integral and curve (Hi), and Stream gradient index (SL) were divided into five categories in terms of tectonic activity. Category 1 (very high tectonic activity), Category 2 (high tectonic activity), Category 3 (intermediate tectonic activity), Category 4 (low tectonic activity), Category 5 (very low tectonic activity). For each index, the zoning map in the study area was plotted .The results of the calculation of the indices were analyzed .Finally, by averaging the whole set of indices, a final index called relative active tectonics index (Iat) was calculated .Based on (Iat), the study area was divided into 4 classes. Class 1 (very high tectonic activity), Class 2 (high tectonic activity), Class 3 (intermediate) and Class 4 (low tectonic activity). For (Iat) index, the map of the current tectonic activity level was plotted.

3-Results and Discussion

In this study, five morphometric indices of the Relative relief (Bh), Drainage density (Dd), Form factor (Ff), Hypsometric integral and curve (Hi), and Stream gradient index (SL) were measured in the study area. Relative relief index of the basin is calculated from the difference between the highest and lowest points in the basin. This index plays an important role in erosion. The high value of this indicator, indicates a higher uplift rate. According to the form factor index, Drainage basins are more elongated in active tectonic zones .Therefore, the basins that have less form factor are more tectonically active. The Hypsometric integral describe the relative height distribution in a catchment. Stream gradient index reflects the topographic changes along a river.

4-Conclusion

The results of this study indicate that in the sub basins corresponding to Chang almas, Mahmudabad, Charmu, Pirunes, Zarinchub, Sharifabad, Siah fault, Khalkhal, Parishan, Banehabad, Surmehali and Yousefsiah fault, the measured indices have high values and exhibit high anomaly that is due to the impact of faults and structures in the area.

Keywords: Tectonic activity, Geomorphic index, Drainage basin, Geomorphology tectonics, Faulting.

5-Refrences

- Abdideh, Mohammad; Manouchehr Ghorashi; Kazem Rangzan; Mehran Arian (2011). Relative assessment of active tectonics using morphometric analysis, a case study of Dez river basin, southwestern Iran. Earth Sciences, Volume 20, Number 80, Pages 33-46. http://www.gsjournal.ir/article_55134.html
- Agard, P. Omrani, J. Jolivet, L. Mouthereau, F (2005). Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. International journal of earth sciences, 94, PP.401- 419. https://link.springer.com/article/10.1007/s00531-005-0481-4
- Berberian, M. King, G.C.P (1981). Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences, 18,PP.210- 265. https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/e81-019#.XmS9s6hKjIU

- Bayati Khatibi, Maryam (2009). Detection of neotectonic activities in Qarnaguchay catchment using geomorphic and morphotectonic indices, Journal of Geographical Space, Year 9. No. 25. Pages 23-50. https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=114591

- Bull,W.B. and Mcfadden, L.D (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California; In: Doehring, D.O. (Ed.), Geomorphology in arid regions. Proceedings of the 8th annual geomorphology symposium. State University of New York, Binghamton. PP.115-138. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Bull%2CW.B.+and+Mcfadden%2C+L.D+%281977%29.+Tectonic+geomorphology+north+and+south+of+the+Garlock+fault%2C+California%3B+In%3A+Doehring%2C+D.O.+%28Ed.%29%2C+Geomorphology+in+arid+regions.+Proceedings+of+the+8th+annual+geomorphology+symposium.+State+University+of+New+York%2C+Binghamton.+pp.+115-138.&btnG=

- El Hamdouni, R. Irigaray, C. Fernandez, T. Chacón, J. Keller, E.A (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain), Geomorphology. 96, PP.150-73.

- Font, M. Amorese, D. Lagarde, J.L (2010). DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: The Normandy intraplate area (NW France). Geomorphology, 119, PP.172-180. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=DEM+and+GIS+analysis+of+the+stream+gradient+index+to+evaluate+effects+of+tectonics&btnG=

- Jalali, Saeedeh; Meysam Samadi; Mahmoud Samadi winter tea; Aing Kernjehadi (2015). Investigation of morphometric indices in Chehelchay watershed of Golestan province using GIS, Journal of Spatial Engineering and Spatial Information Engineering, Volume 7. No. 4. Pages 67- 74. http://gej.issge.ir/browse.php?a_code=A-10-225-1&slc_lang=fa&sid=1

- García Delgado, H. Velandia, F (2020). Tectonic geomorphology of the Serranía de San Lucas (Central Cordillera): Regional implications for active tectonics and drainage rearrangement in the Northern Andes. Geomorphology, 349, PP.106914. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X19304052

- Geophysics Study Committee (1986). Studies in geophysics, active tectonics. National Academy Press. Washington, D.C. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Geophysics+Study+Committee+%281986%29.+Studies+in+geophysics%2C+active+tectonics.+National+Academy+Press.+Washington%2C+D.C.&btnG=

- Ghasemi, A. Talbot, C.J (2006). A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran). Journal of Asian Earth Sciences, 26, PP. 683-693. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367912005000325

- Giaconia, F. Booth-Rea, G. Martínez-Martínez, J.M. Azañón, J.M. PérezPeña, J.V. Pérez-Romero, J. Villegas, I (2012). Geomorphic evidence of active tectonics in the Serra Alhamila (eastern Betics, SE Spain). Geomorphology. 145-146, PP.90-106. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X11006581

- Horton, R.E (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, Geological Society of America Bulletin .56, PP. 275- 370. https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/56/3/275/4075

- Katz, R.W. Parlange, M.B. Naveau, P (2002). Statistics of extremes in hydrology. Advances in water resources, 25, PP. 1287-1304. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309170802000568

- Keller, E. A. (1986) .Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes, Active Tectonics, Studies in Geophysics. National Academy Press, Washington, DC. 136-147. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Keller%2C+E.A.+%281986%29.+Investigation+of+active+tectonics%3A+use+of+surficial+Earth+processes%2C+Active+Tectonics%2C+Studies+in+Geophysics.+National+Academy+Press%2C+Washington%2C+DC.+136-147.&btnG=

- Keller, E.A. Zepeda, R.L. Rockwell, T.K. Ku, T.L. Dinklage, W.S (1998) .Active tectonics at Wheeler Ridge, southern San Joaquin Valley, California, Geological Society of America Bulletin. 110, PP. 298–310. https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/110/3/298/183354

- Keller, E.A. and Pinter, N (2002). Earthquakes, Uplift, and Landscape. 362. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Keller+EA%2C+Pinter+N+%282002%29.+Active+Tectonics%3A+Earthquakes%2C+Uplift%2C+and+Landscape+%282ndEd.%29.+Prentice+Hall.+New+Jersey.&btnG=
- Mohammadi, Seyed Davood; Seyed Hossein Jalali; Bahman Saedi (2017). Assessment of Relatively Active Geostructure in Hamedan Abshineh Watershed Using Geomorphic and Seismicity Indicators, Quantitative Geomorphological Research, Fourth Year. No. 4. Pages 190-207. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78071.html
- Maghsoudi, Mehran; Hamid Kamrani Dalir; (2008). Assessing the Active Tectonic Role of River Canal Regulation, Case Study: Tajan River, Natural Geography Research, No. 66, PP.37- 55. https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=91041
- Mrinalinee Devi, R.K. Bhakuni, S.S. Bora, P.K (2011). Tectonic implication of drainage set-up in the Sub-Himalaya: a case study of Papumpare district, Arunachal Himalaya, India, Geomorphology. 127, PP. 14–31. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X10005210
- Ngapna, M.N. Owona, S. Owono, F.M. Ateba, C.B. Tsimi, V.M. Ondoa, J.M. Ekodeck, G.E (2020). Assessment of relative active tectonics in Edea–Eseka region (SW Cameroon, Central Africa). Journal of African Earth Sciences, 164, PP. 103798. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464343X20300492
- Perez Pena, J.V. (2009). GIS-Based tools and methods for landscape analysis and active tectonic evaluation. Doctoral thesis. University of Granada. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Perez+Pena%2C+J.V.+%282009%29.+GIS-Based+tools+and+methods+for+landscape+analysis+and+active+tectonic+evaluation.+Doctoral+thesis.+University+of+Granada.&btnG=
- Singh, O.M (2009). Hypsometry and erosion proneness: a case study in the lesser Himalayan Watersheds. Journal of Soil and Water conservation. 8, PP. 53- 59. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Singh%2C+O.M+%282009%29.+Hypsometry+and+erosion+proneness%3A+a+case+study+in+the+lesser+Himalayan+Watersheds.+Journal+of+Soil+and+Water+conservation.+8%2C+pp.+53-+59.&btnG=
- Stocklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 52, PP. 1229-1258. https://pubs.geoscienceworld.org/aapgbull/article-abstract/52/7/1229/35439/Structural-History-and-Tectonics-of-Iran1-A-Review?redirectedFrom=PDF
- Stoddart, D. (2013). Drainage density: problems of prediction and application. In Process and form in geomorphology, PP. 31-61. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Schumm%2C+S.A+%281997%29.+Drainage+density%3A+problems+of+prediction.+In%3A+Stoddart%2C+D.R.+%28Ed.%29%2C+Process+and+Form+in+Geomorphology%2C+Routledge%2C+London.+pp.+15-+45.&btnG=
- Strahler, A.N (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin. 63, PP.1117- 1142. https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/63/11/1117/4477
- Willemin, J.H. Knuepfer, L.K (1994). Kinematics of arc-continent collision in the Eastern Central Range of Taiwan inferred from geomorphic analysis. Journal of Geographical Research. PP.1-56.
- Yamani, Mojtaba; Hamid Kamrani Dalir; Sajjad Bagheri (2010). Morphometry and evaluation of geomorphic indices to determine the amount of new construction activity in Cheleh catchment (Northwest Zagros), Geographical Research Quarterly. No. 97. Pages 2-26. https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=238147

ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی حوضهٔ آبریز قروه– دهگلان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک

دکتر محمد خلج

جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۶۲، بهار ۱۴۰۰
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۷
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۲
صفحات: ۱۵۶-۱۳۳

واژه‌های کلیدی:
فعالیت‌زمین‌ساختی،شاخص‌ژئومورفیک، حوضهٔ زهکشی،تکتونیک‌ژئومورفولوژی، گسلش.

چکیده

ریخت‌زمین‌ساخت، اشکال ایجاد شده بر روی زمین که بر اثر مکانیسم‌های زمین‌ساختی ایجاد شده‌است را مورد مطالعه قرار می‌دهد. به‌منظور بررسی زمین‌ساخت فعال، از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی حوضهٔ آبریز استفاده می‌شود. منطقهٔ مورد مطالعه بخشی از حوضهٔ آبریز سفیدرود است. با توجه به این که تاکنون در گسترهٔ مورد بررسی ارتباط بین زمین‌ساخت فعال و ژئومورفولوژی مورد مطالعه قرار نگرفته‌است؛ بنابراین بررسی ریخت‌سنجی به‌منظور شناسایی تأثیر زمین‌ساخت فعال بر منطقه ضروری به‌نظر می‌رسد. با تعیین فرایندهای فعال در حوضهٔ قروه- دهگلان، می‌توان تا حدودی از خسارت‌های ناشی از بلایای طبیعی مانند سیل و زلزله جلوگیری کرد. در این تحقیق حوزهٔ آبریز قروه- دهگلان با استفاده از پنج شاخص ریخت‌سنجی برجستگی نسبی (Bh)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، شاخص ضریب شکل (Ff)، انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi) و شاخص گرادیان طولی رود (SL) مورد بررسی قرار گرفته‌است. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و افزونهٔ Archydro زیرحوضه‌ها و آبراهه‌های گسترهٔ مورد مطالعه استخراج شد. برای محاسبهٔ شاخص‌ها در هر زیرحوضه از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متر استفاده شد و برای هر شاخص نقشهٔ پهنه‌بندی در گسترهٔ مورد بررسی در پنج رده تهیه شد. درنهایت با توجه به مقادیر محاسبه‌شده برای هر شاخص، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) برای هر زیرحوضه محاسبه شد. با توجه به شاخص (Iat)، نقشهٔ پهنه‌بندی سطح فعالیت زمین‌ساختی کل رسم شد و گسترهٔ مورد بررسی به چهار رده فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، بالا، متوسط و کم تقسیم شد. نتایج حاصل از این پژوهش فعالیت زمین‌ساختی بالا را در منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد که به‌دلیل فعالیت گسل‌های موجود در منطقه است. از مهم‌ترین گسل‌های واقع در منطقه می‌توان گسل‌های بنه‌آباد، سورمه علی، پریشان، گسل محمودآباد، گسل سیاه و گسل خلخال را نام برد.

مقدمه

فلات ایران یک منطقهٔ چین‌خوردهٔ آلپی است. در حال حاضر نیز از هر طرف تحت فشار بوده و حرکات زمین‌ساختی هنوز در آن‌ادامه دارد. وقوع زمین‌لرزه‌های مکرر در ایران یکی از پیامدهای فعال بودن جنبش‌های زمین‌ساختی در حال حاضر است. واقع شدن کانون اکثر زمین‌لرزه‌های ثبت‌شده در امتداد دو کمربند چین‌خورده و جوان حاشیهٔ شمالی و جنوبی (البرز و زاگرس) ایران به‌خوبی این ارتباط را نشان می‌دهد *(Berberian & King, 1981: 210-265)*. تکتونیک ژئومورفولوژی مطالعهٔ لندفرم‌های ناشی از تکتونیسم و تعامل بین تکتونیک و فرایندهای‌ژئومورفیک است *(Geophysics study committee, 1986:25-76)*.

تکتونیک ژئومورفولوژی در مواجه با هر مسئله دارای دو حالت است: مسئلهٔ «مستقیم یا پیشرو»[1]، این حالت مطالعهٔ اثرات اختلالات زمین‌ساختی مشخص بر روی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
m_khalaj@pnu.ac.ir

1- Forward problem

چشم‌انداز است و مسئلهٔ «معکوس»[1] یا استنتاج ماهیت و فعالیت نسبی عناصر زمین‌ساختی از طریق تغییرات مشاهده شده در ویژگی‌های چشم‌انداز است. در مناطقی که سایر کنترل‌کننده‌های خصوصیات چشم‌انداز (ساختار زمین‌شناسی،لیتولوژی، آب و هوا، میکروکلیما، پوشش گیاهی و کاربری زمین) نسبتاً ثابت باشد، تغییرات در میزان (آهنگ) و حالت زمین‌ساخت مسئول اصلی تغییرات در ویژگی‌های چشم‌انداز به‌شمار می‌رود. در این مورد استفاده از مسئلهٔ معکوس مناسب است (*Willemin & Knuepfer, 1994: 1-56*). تقریباً هیچ ناحیه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت‌تأثیر تغییرات زمین‌ساختی قرار نگرفته باشد (*Keller & Pinter,2002:362*). شاخص‌های ژئومورفیک به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان ابزاری برای شناسایی و مشخص‌کردن بخش‌های تغییر شکل یافته به وسیلهٔ گسل‌های فعال مورد استفاده قرار گرفته‌اند (*Giaconia et al., 2012: 90-106*).

هدف ژئومورفومتری، استخراج ویژگی‌های شکلی سطح زمین و عوارض موجود در آن با استفاده از مدل‌های رقومی سطح‌زمین و نرم‌افزارهای پارامترسازی است (*جلالی و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۴-۶۷*)؛ به‌عبارتی‌دیگر می‌توان گفت،«ژئومورفومتری»علم کمّی‌سازی عوارض توپوگرافی، با تمرکز بر استخراج پارامترهای عوارض سطح زمین براساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) است. اندازه‌گیری‌های کمّی امکان مقایسهٔ عینی زمین‌ریخت‌های مختلف و محاسبهٔ متغیرهای کمتر قابل‌فهم را فراهم و شناسایی ویژگی‌های خاص شامل سطح فعالیت زمین‌ساختی یک منطقه را امکان‌پذیر می‌سازد (*Keller, 1986: 136-147*). شاخص‌های زمین‌ساخت فعال می‌تواند ناهنجاری‌های موجود در سیستم رودخانه‌ای یا در طول جبهه‌های کوهستان را آشکار سازند. این ناهنجاری‌ها ممکن است در نتیجهٔ تغییرات محلی به‌واسطهٔ فعالیت‌های زمین‌ساختی ناشی از بالاآمدگی یا فرونشست حاصل شود (*El Hamdouni et al, 2008: 150-173*).

تحلیل شبکه‌های زهکشی ابزار قدرتمندی برای شناسایی فعالیت‌های زمین‌ساختی جدید و بالاآمدگی‌ها است. کانال‌های رودخانه‌ای نسبت به تغییرات در عواملی که شکل و شیب آن‌ها را کنترل می‌کنند، بسیار حساس هستند. تغییرات اقلیم، زمین‌ساخت و لیتولوژی شرایط تعادل رودخانه و در نتیجه ژئومتری رودخانه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (*Perez_Pena, 2009: 29*).

پژوهش‌های زیادی درارتباط با بررسی‌های ژئومورفیک درمناطق‌مختلف‌بااستفاده‌ازشاخص‌های ژئومورفومتریک انجام شده که در منابع لاتین و منابع داخلی می‌توان به کارهای زیر اشاره کرد:

نگاپنا و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی در منطقهٔ ایدیا اسکا در جنوب‌غرب کامرون، آفریقای مرکزی پرداختند و به این نتیجه دست‌یافتند که فعالیت مجدد گسل‌هایی که در این منطقه واقع شده‌اند موجب زلزله می‌شوند و فعالیت آتش‌فشان‌های خطی کامرون موجب‌شده این‌منطقه ازنظر زمین‌ساختی فعال باشد (*Ngapna et al, 2020:31*).

گارسیا و والندیا[2] (۲۰۲۰)، تکتونیک ژئومورفولوژی را منطقه در سن‌لوکاس در کوردیرلای مرکزی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد بررسی قرار دادند و پیامدهای زمین‌ساخت فعال را به صورت ناحیه‌ای در کوه‌های آند شمالی مشخص کردند. با این پژوهش به این‌نتیجه دست‌یافتند که بیشترین فعالیت‌زمین‌ساختی و بالاآمدگی مربوط به دامنهٔ کوه سیمیتی، شمال گسل‌های سیمیتی- سان بلاس، در راستای گسل‌های با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق و در شمال حوضهٔ فلسطین است (*Garcia & Valendia, 2020:24-43*).

1-Inverse problem

2-Garcia and Valendia

محمدی و همکارن (۱۳۹۶)، به ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی در حوضهٔ آبخیز آبشینهٔ همدان با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی و لرزه‌خیزی منطقه پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که در اغلب شاخص‌ها نشانه‌های فعالیت حوضهٔ آبخیز آبشینه بارز است. بررسی پیشینهٔ لرزه‌خیزی منطقه نیز بر فعالیت زمین‌ساختی منطقهٔ مورد مطالعه تأکید دارد. *(محمدی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۰۷-۱۹۰)*

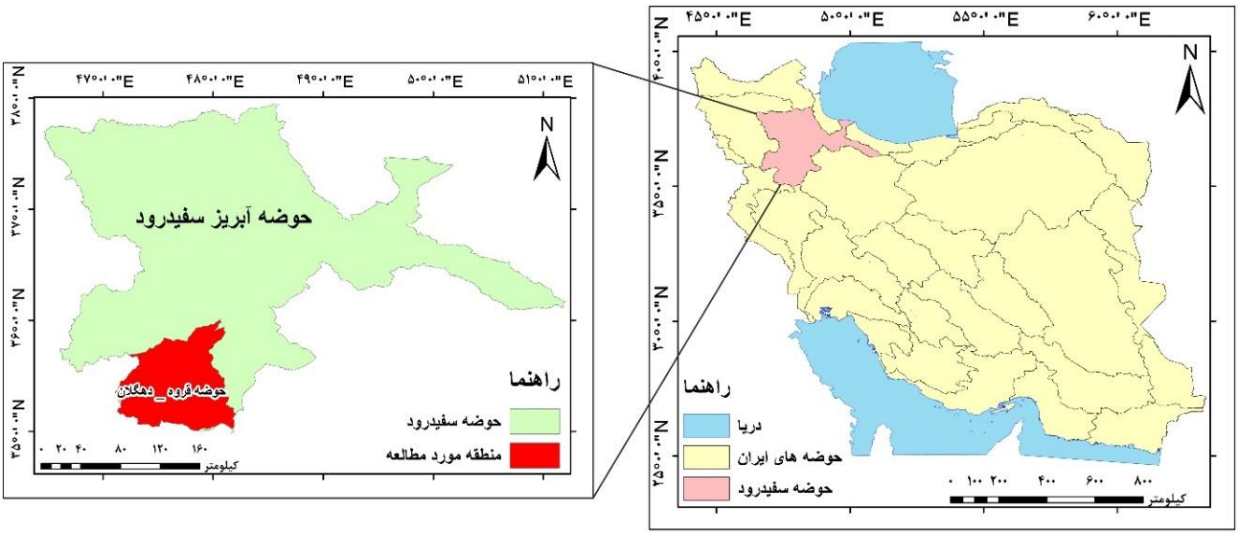
یمانی و همکاران (۱۳۹۸)، تأثیر زمین‌ساخت فعال بر مخروطه‌افکنه‌های شمال دامغان را با استفاده از شاخص‌های کمّی ریخت‌سنجی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که گسل‌های منطقه در دورهٔ کواترنر فعال بوده‌اند *(یمانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۶-۱)*.

آبدیده و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال با استفاده از تحلیل ریخت‌سنجی در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ دز پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که برخورد قاره‌ای بین صفحهٔ عربی و بلوک ایران علت گستردگی نرخ زمین‌ساخت در این منطقه است *(آبده و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۶-۳۳)*.

از سایر کارهای انجام‌شده در زمینهٔ ریخت‌زمین‌ساخت می‌توان به بیاتی خطیبی (۱۳۸۸) و مقصودی و کامرانی (۱۳۸۷) اشاره کرد. هدف از این پژوهش، نشان دادن فعالیت‌های نوزمین‌ساختی بااستفاده از شاخص‌های کمّی ژئومورفیک است *(بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸: ۵۰-۲۳؛ مقصودی و کامرانی، ۱۳۸۷: ۵۵-۳۷)*.

موقعیت جغرافیایی

منطقهٔ مورد مطالعه با مساحت ۶۷۹۲٫۹ کیلومتر مربع در استان کردستان و در طول جغرافیایی "۳۶ ′۶ °۴۷ تا "۲۳ ′۱۲ °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی "۲۲ ′ ۰۰ °۳۵ تا "۴۲ ′۰۰ °۳۶ شمالی قرارگرفته و شهرستان‌های قروه، دهگلان و همچنین بخش‌ها و روستاهای زیادی در این محدوده واقع شده‌اند. به گسترهٔ مورد مطالعهٔ حوضهٔ آبریز قروه- دهگلان گفته می‌شود. این محدوده از نظر تقسیمات درجه ۲ حوضه‌های آبریز در حوضهٔ آبریز سفیدرود قرار دارد (شکل ۱).



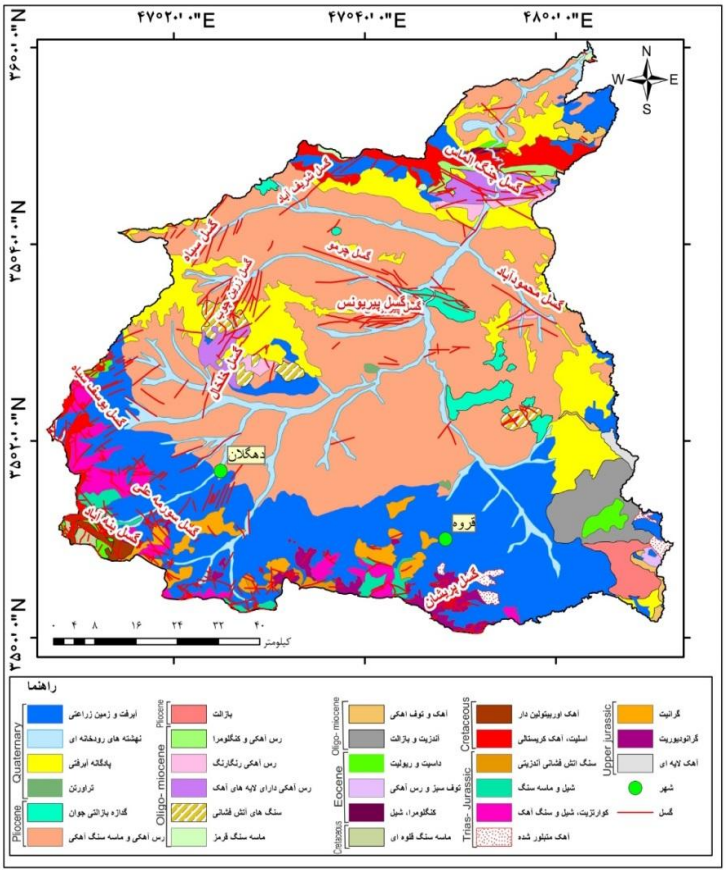
شکل ۱: موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۱

زمین‌شناسی منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبریز قروه- دهگلان در تقسیم‌بندی ساختاری- رسوبی ایران (Stocklin, 1968: 1229-1258)، در محدودهٔ زون سنندج- سیرجان و بخش کوچکی از شمال منطقه در زون ایران مرکزی واقع شده است. سنندج- سیرجان بر اثر برخورد دو صفحهٔ قاره‌ای ایران و عربستان به‌صورت یک منطقه به طور کامل تکتونیزه، پرتکاپو، چین‌خورده و گسلیده درآمده و از کمربند زاگرس تا پهنهٔ آتش‌فشانی ارومیه دختر ادامه دارد. این زون باریکه‌ای از جنوب باختری ایران مرکزی است که در بلافاصل شمال خاوری راندگی اصلی زاگرس قرار دارد (Ghasemi & Talbot, 2006:34-36). در این زون، پدیده‌های دگرگونی، ماگماتیسم و زمین‌ساخت در بیشترین مقدار است؛ به‌همین‌دلیل این زون را پویاترین زون زمین‌ساختی ایران می‌دانند و نوعی حاشیهٔ فعال قاره‌ای است (Agard et al, 2005: 401-419).

منطقهٔ مورد مطالعه در محدودهٔ نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سنندج و کبودرآهنگ واقع شده و رخنمون‌هایی از سنگ‌های کواترنر تا ژوراسیک در این محدوده گسترش دارند. گسل‌های مهم واقع در حوضهٔ آبریز قروه- دهگلان عبارت‌اند از: گسل چنگ الماس، گسل شریف‌آباد، سیاه، زرین چوب، خلخال، گسل محمودآباد، پریشان و... که در شکل زیر (شکل ۲) مشاهده می‌شود.

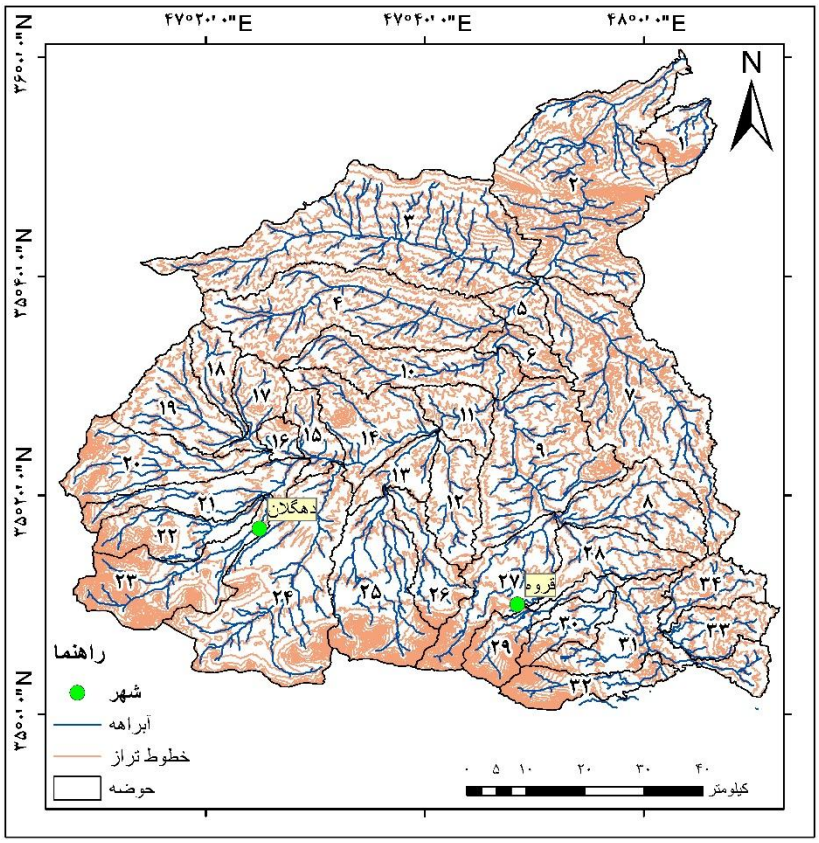


شکل ۲: نقشهٔ زمین‌شناسی گسترهٔ مورد بررسی

تهیه و ترسیم: (برگرفته از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سنندج و کبودرآهنگ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۱۳۹۱)

مواد و روش تحقیق

این پژوهش به‌منظور بررسی میزان نسبی فعالیت زمین‌ساختی در بخشی از حوضهٔ سفیدرود (حوضهٔ آبریز قروه- دهگلان) انجام شده‌است. در ابتدا برای انجام محاسبات مربوط به هر شاخص و امکان مقایسهٔ نتایج حاصل از محاسبهٔ شاخص‌ها، گسترهٔ مورد بررسی به زیرحوضه‌هایی تقسیم شد. با استفاده از افزونه Archydro در نرم‌افزار Arc GIS و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متر، زیرحوضه‌ها، شبکه‌های آبراهه‌ای و آبراهه‌های اصلی استخراج شد و منطقهٔ مورد مطالعه به ۳۴ زیرحوضه تقسیم شد (شکل ۳)؛ سپس به محاسبهٔ شاخص پرداختیم. در مرحلهٔ بعد، بااستفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در گسترهٔ مورد بررسی، ساختارهای اصلی منطقه مانند گسل‌ها تعیین شد. به‌منظور استخراج دقیق تمامی گسل‌های اصلی و گسل‌های فرعی واقع در منطقه از نقشه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شده است. در مرحلهٔ آخر، نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژی و ساختارهای اصلی منطقه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. شاخص‌های مورد بررسی در منطقه عبارت‌اند از: شاخص برجستگی نسبی (Bh)، تراکم زهکشی (Dd)، ضریب شکل (Ff)، انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi) و شاخص گرادیان طولی رود (SL).



شکل ۳: حوضه‌ها و آبراهه‌های استخراج‌شده در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

شاخص برجستگی نسبی[1]

شاخص برجستگی نسبی از اختلاف بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین ارتفاعات حوضه به‌دست می‌آید و از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود (Keller & Pinter, 2002: 362):

$$Bh = H_{max} _ H_{min}$$

در این رابطه H_{max} مقدار ارتفاع بیشینه و H_{min} مقدار ارتفاع کمینه حوضه است. مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقطه در هر حوضه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) به‌دست می‌آید. برجستگی نسبی نقش مهمی در توسعهٔ شبکه زهکشی، حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی، توسعهٔ اشکال سطحی زمین و ویژگی‌های فرسایشی عوارض زمینی دارد و مقدار بالای آن نشان‌دهندهٔ شدت جریان آب، نفوذ پایین و مقدار بالای رواناب است. این شاخص، نشان‌دهندهٔ ارتفاع نسبی یک حوضه است و مقدار بالای برجستگی نسبی، بیانگر نرخ بالاآمدگی بیشتر است که به‌دلیل فعالیت زمین‌ساختی بیشتر است (Keller & Pinter, 2002: 56-62).

شاخص تراکم زهکشی[2]

تراکم زهکشی یک شاخص ژئومورفولوژی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراهه‌های آن، بازتاب‌کنندهٔ فرایندهای حاکم بر حفر چشم‌اندازها است (Stoddart, 2013: 31-61). این شاخص ممکن است نشان‌دهندهٔ تأثیر زمین‌ساخت فعال در منطقه باشد (Devi et al., 2011: 14-31). تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه به مساحت آن محاسبه می‌شود (Horton, 1945: 275-370):

$$Dd = Lu / A$$

در رابطهٔ بالا Lu مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه و A مساحت حوضه است. میزان تراکم آبراهه در یک حوضه، می‌تواند نشان‌دهندهٔ وضعیت شدت و ضعف آبراهه‌ها و فرسایش در قسمت‌های مختلف آن باشد (Katz et al., 2002: 1287-1304). مقدار این شاخص به فرسایش و میزان برش چشم‌اندازها بستگی دارد. شبکهٔ زهکشی در چشم‌اندازهای قدیمی که در زمان طولانی در سطح زمین قرار دارند، گسترش بیشتری یافته و در نتیجه دارای مقدار تراکم زهکشی بیشتری است. مقدار تراکم زهکشی در حوضه‌هایی که دارای فعالیت زمین‌ساختی عهد حاضر هستند، کمتر است. مقادیر بالای این شاخص بیانگر این است که منطقه شامل مواد زیرسطحی ضعیف یا نفوذناپذیر، با پوشش گیاهی اندک و پستی و بلندی زیاد است (Keller et al., 1998: 298-310). برای محاسبهٔ این شاخص با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS، مساحت و مجموع طول آبراهه‌ها برای هر حوضه محاسبه شد و درنهایت نقشهٔ پهنه‌بندی برای شاخص تراکم زهکشی ترسیم شد.

شاخص ضریب شکل[3]

حوضه‌های آبریز از نظر ظاهری دارای شکل‌های گوناگون هستند؛ به‌طوری‌که با مساوی بودن سایر شرایط فیزیکی دبی اوج حوضه‌های گرد بیشتر از حوضه‌های کشیده خواهد بود. به‌دلیل این که شکل حوضه تابعی از پستی و بلندی و محیط آن است، گوناگونی زیادی در شکل حوضه‌ها دیده می‌شود و مقایسهٔ آن‌ها را با یکدیگر مشکل می‌سازد. برای حل این مشکل از روابطی که در آن‌ها فاکتورهای ثابتی از حوضه گنجانده شده‌است، استفاده می‌شود. شاخص ضریب شکل از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود: (Horton, 1945: 275-370):

$$Ff = A / L^2$$

در این رابطه، A مساحت حوضه و L^2 مجذور طول حوضه است. طول حوضه از محل خروج آبراهه اصلی

1-Relative Relief
2-Drainage density
3-Form factor

تا مرتفع‌ترین نقطه در حوضه محاسبه می‌شود. هرچه مقدار ضریب فرم به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، حوضهٔ مذکور به مربع نزدیک‌تر است و هرچه ضریب فرم کوچک‌تر از یک باشد، حوزه کشیده‌تر است. حوضه‌های زهکشی درمناطق فعال از نظر زمین‌ساختی، دارای شکل کشیده‌تری هستند (*Bull & Mcfadden, 1977: 115-138*). برای حوضه‌های واقع در منطقه، مقادیر شاخص مذکور محاسبه و نقشهٔ پهنه‌بندی رسم شد.

شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتری[1]

انتگرال هیپسومتری توصیف‌کننده توزیع نسبی ارتفاع در یک منطقه به‌ویژه حوضهٔ آبریز است (*Strahler, 1952: 1117-1142*). تشخیص وضعیت فرسایش برای تمام حوضه‌های زهکشی اصلی مهم و ضروری است. تحلیل فرازسنجی به‌عنوان یک شاخص برای مراحل فرسایش حوضه‌های زهکشی به‌کار برده می‌شود (*Singh, 2009: 53-59*). این شاخص به‌عنوان مساحت نسبی زیر منحنی فرازسنجی تعریف شده که بیانگر حجم فرسایش‌نیافتهٔ حوضه است (*Keller & Pinter, 2002: 362*). مقادیر بالای این شاخص مربوط به‌نواحی فعال و جوان زمین‌ساختی است، درصورتی‌که مقادیر پایین آن مربوط به نواحی قدیمی است که دچار فرسایش شده و کمتر تحت‌تأثیر زمین‌ساخت فعال قرار گرفته‌اند (*El Hamdouni et al, 2008: 150-173*). این شاخص از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

Hi = (average elevation - min elevation) / (max elevation - min elevation)

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متر؛ ارتفاع کمینه، بیشینه و میانگین برای هر زیرحوضه به‌دست آمد و با توجه به رابطهٔ بالا شاخص هیپسومتری برای ۳۴ زیرحوضه در گسترهٔ مورد بررسی محاسبه شد.

منحنی هیپسومتریک حوضه با ترسیم ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل مساحت کل (مساحت نسبی) حوضه ترسیم می‌شود. براساس ترسیم مساحت تجمعی در محور x و ارتفاع نسبی در محور Y، منحنی هیپسومتری حوضهٔ ترسیم و مساحت زیر منحنی به‌دست آمد (*Keller & Pinter, 2002: 362*).

شاخص گرادیان طولی رود[2]

شاخص گرادیان طولی رود از شاخص‌های مهم برای تفکیک مناطق فعال و غیرفعال زمین‌ساختی به‌شمار می‌رود. این شاخص ابزار مفیدی برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی است (*Keller & Pinter, 2002: 362*). هنگامی که رودخانه و آبراهه‌ها در نواحی با نرخ بالاآمدگی زیاد جریان دارند، مقدار SL افزایش می‌یابد. این شاخص از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$SL = (\Delta H/\Delta L)\, L$$

در رابطهٔ بالا SL گرادیان طولی رود، (ΔH) اختلاف ارتفاع در یک مقطع خاص از رودخانه، (ΔL) فاصلهٔ افقی همان محل، ($\Delta H/\Delta L$) گرادیان مسیر کانال رود و L طول رودخانه از نقطهٔ مرکزی همان محل تا سرچشمهٔ رودخانه است. شاخص گرادیان طولی رود نشان‌دهندهٔ تغییرات توپوگرافیکی در امتداد یک رود است. به‌طور معمول این تغییرات تحت‌تأثیر سه عامل که شامل: فعالیت زمین‌ساختی که می‌تواند باعث ایجاد بالاآمدگی شود، تفاوت سنگ‌شناسی و فراوانی زیاد تغییرات سطح اساس دریا طی دوره‌ی کواترنر هستند (*Font et al., 2010: 172-180*). در مناطقی که گسل آبراهه را قطع می‌کند، بیشترین مقدار شاخص گرادیان طولی مشاهده می‌شود و این مناطق فعال هستند. ال همدونی و همکاران (۲۰۰۸) برای شاخص گرادیان طولی رود رده‌بندی خاصی را

1-Hypsometric integral and curve

2-Longitudinal gradiant index

ارائه کرده‌اند که براساس این رده‌بندی و با توجه به میزان شاخص *(SL)*، به هر قطعه آبراهه که شامل فاصلهٔ بین نقطهٔ میانی دو خط تـراز مجاور با ارتفاع معیّن (جایی که شاخص شروع به ارزیابی‌شده) تا مرتفع‌ترین نقطهٔ کانال است، یک رنگ مشخص اختصاص یافته است. درنهایت، لایهٔ آبراهه‌ها با مقادیر معیّن شاخص (*SL*) بر روی مدل ارتفاع رقومی قرار داده شده و نقشهٔ شاخص (*SL*) در کل گستره به کمک نرم‌افزار Arc GIS تهیه شده‌است *(El Hamdouni et al., 2008: 150-173)*.

شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی[1]

در این تحقیق از شاخص‌های مورفومتری به‌منظور بررسی گسترهٔ مورد مطالعه از لحاظ فعالیت زمین‌ساختی استفاده شده است که شامل شاخص برجستگی نسبی (Bh)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، شاخص ضریب شکل (Ff)، انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi) و شاخص گرادیان طولی رود (SL) هستند. هر شاخص به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده تقسیم شد و در نهایت با میانگین‌گیری از ردهٔ کل شاخص‌ها (S/n)، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) برای ۳۴ حوضه در گسترهٔ مورد مطالعه محاسبه شد *(El Hamdouni et al, 2008: 150-173)*.

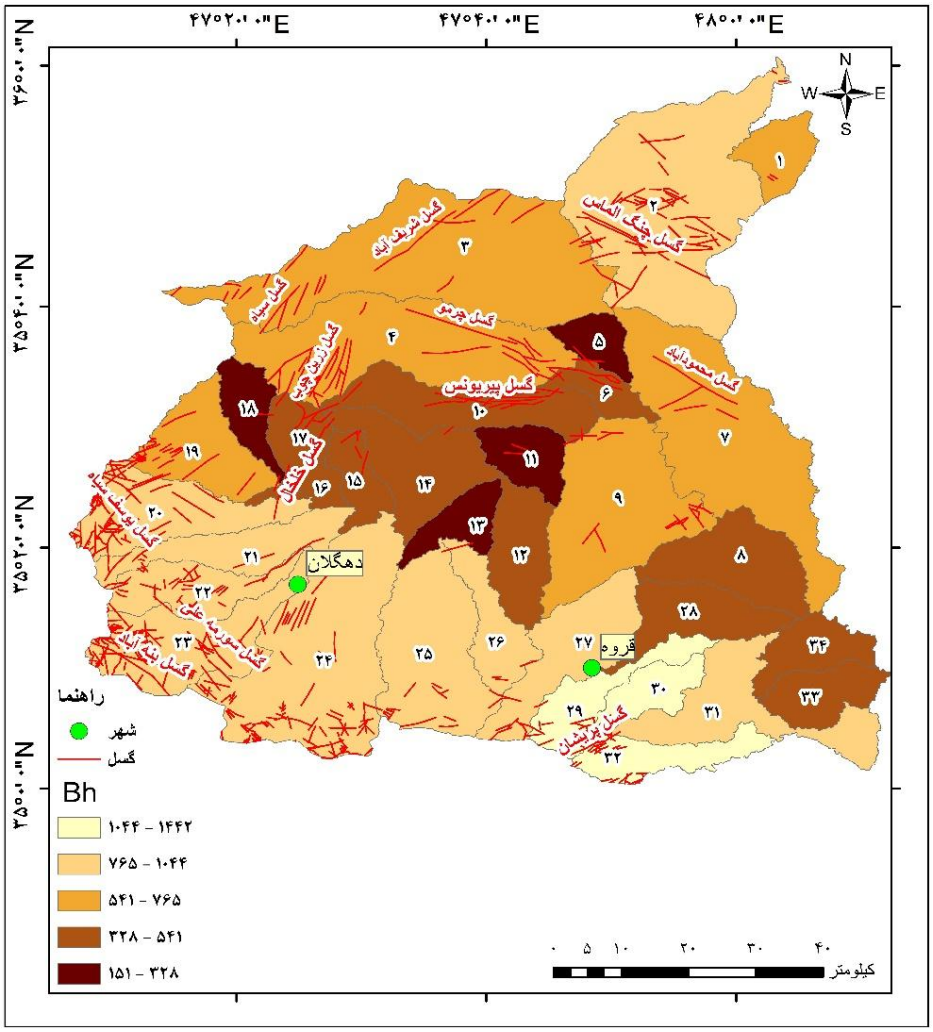
یافته‌های پژوهش

با توجه به شاخص‌هایی که در بخش روش تحقیق توضیح داده شد، در این بخش به بررسی یافته‌های حاصل از هر کدام از این شاخص‌ها می‌پردازیم.

تحلیل شاخص برجستگی نسبی

این شاخص به‌لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شد: ردهٔ ۱، فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا (۱۴۴۲ < Bh ≤ ۱۰۴۴)؛ ردهٔ ۲، فعالیت زمین‌ساختی بالا (۱۰۴۴ < Bh ≤ ۷۶۵)؛ ردهٔ ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط (۷۶۵ < Bh ≤ ۵۴۱)؛ ردهٔ ۴، فعالیت ت زمین‌ساختی کم (۵۴۱ < Bh ≤ ۳۲۸)؛ ردهٔ ۵، فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم (۳۲۸ < Bh ≤ ۱۵۱) و برای آن نقشهٔ پراکندگی مقدار شاخص در گسترهٔ مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۴). براساس شاخص برجستگی نسبی، هرچه ارتفاع بیشتر باشد، فرسایش کمتر خواهد بود و در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی بیشتر است. بیشترین مقدار این شاخص، ۱۴۴۲ متر در زیرحوضه ۳۲ است که بیشترین نرخ فعالیت زمین‌ساختی را دارد که به دلیل فعالیت گسل پریشان است و کمترین مقدار این شاخص مربوط به حوضهٔ ۱۳ با مقدار ۱۵۱ است. در زیرحوضهٔ ۱۳ هیچ گسلی قرار نگرفته‌است.

1-Relative tectonic activity index (Iat)

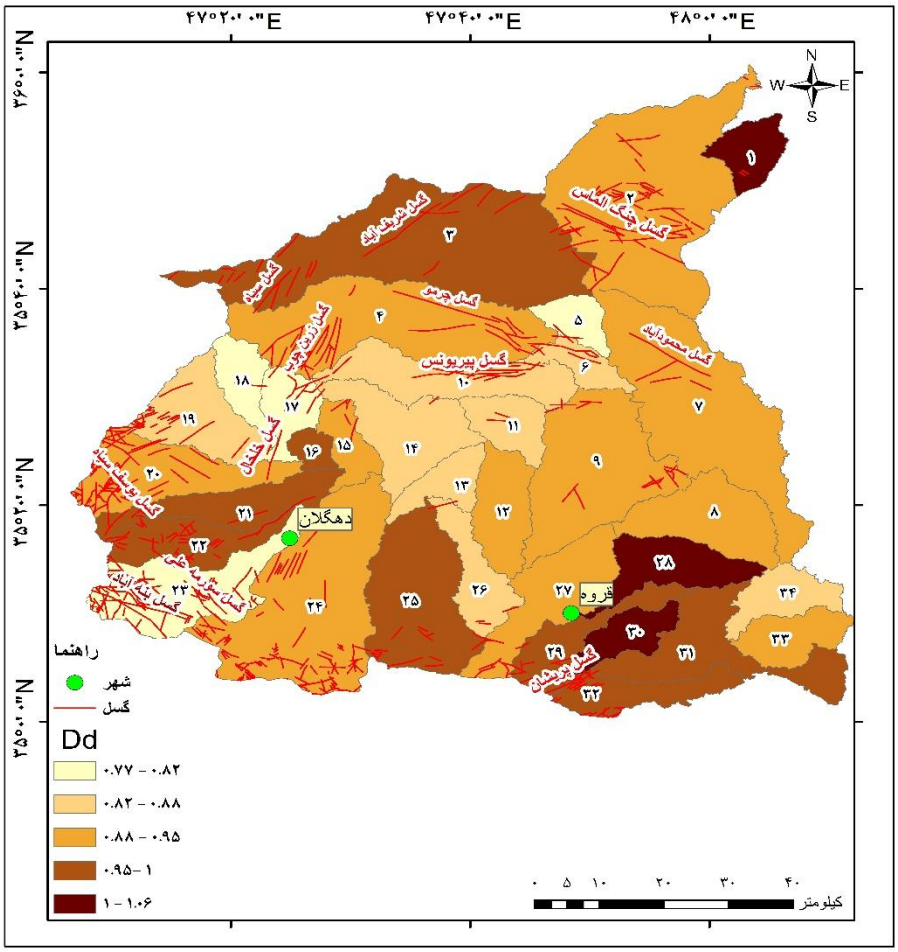


شکل ۴: نقشهٔ پراکندگی شاخص برجستگی نسبی در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

تحلیل شاخص تراکم زهکشی

با توجه به نقشهٔ پهنه‌بندی که برای این شاخص رسم شده (شکل ۵) می‌توان مشاهده کرد که این شاخص به پنج رده فعالیت زمین‌ساختی تقسیم شده‌است: ردهٔ ۱، فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا (۰,۷۷ ≤ Dd<۰,۸۲)؛ ردهٔ ۲، فعالیت زمین‌ساختی بالا (۰,۸۲ ≤ Dd < ۰,۸۸)؛ ردهٔ ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط (۰,۸۸ ≤ Dd < ۰,۹۵)؛ ردهٔ ۴، فعالیت زمین‌ساختی کم (۰,۹۵ ≤ Dd < ۱)؛ ردهٔ ۵، فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم (۱ ≤ Dd < ۱,۰۶). بیشترین فعالیت زمین‌ساختی مربوط به حوضه‌های ۵، ۱۷، ۱۸ و ۲۳ است که ناشی از فعالیت گسل‌های واقع در این حوضه‌ها می‌باشد که شامل گسل‌های بنه‌آباد، سورمه علی و گسل خلخال است. کمترین فعالیت زمین‌ساختی در حوضه‌های ۱، ۲۸ و ۳۰ است.

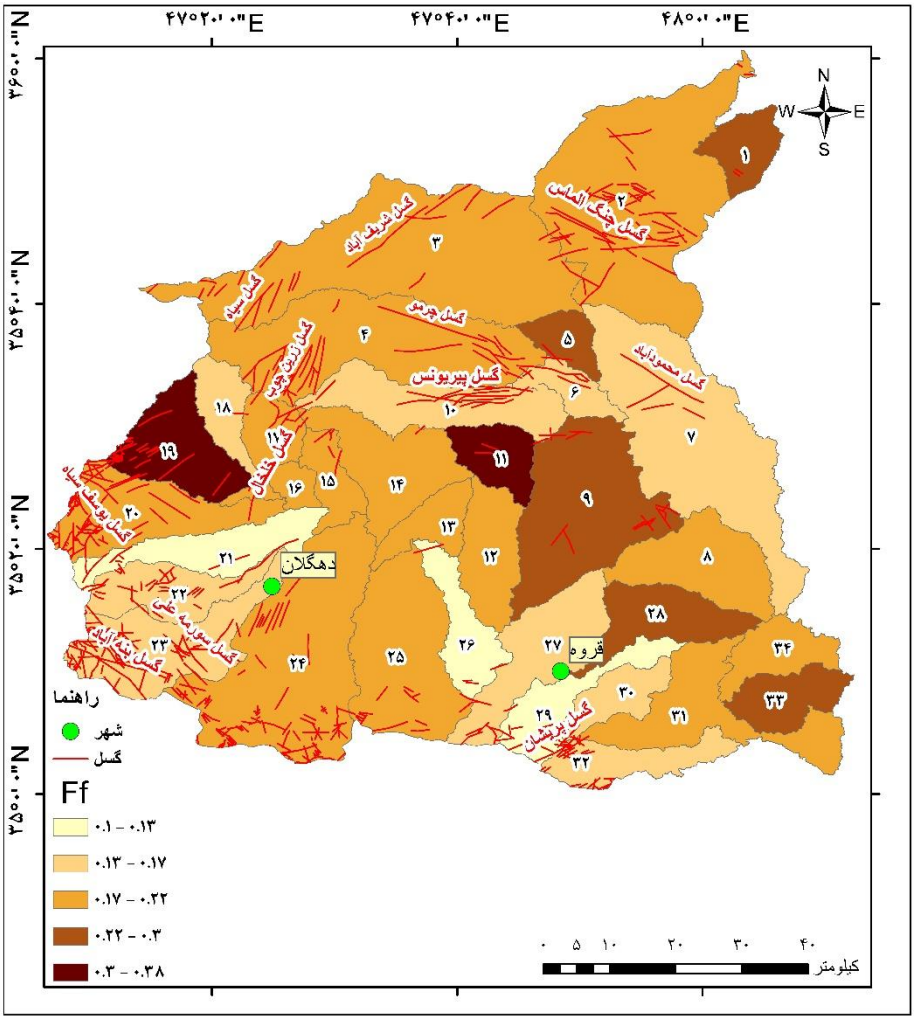


شکل ۵: نقشهٔ پراکندگی شاخص تراکم زهکشی در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

تحلیل شاخص ضریب شکل

برای این شاخص نیز نقشهٔ پهنه‌بندی فعالیت زمین‌ساختی تهیه شده‌است و به پنج ردهٔ فعالیت زمین‌ساختی تقسیم شد: ردهٔ ۱، فعالیت زمین‌ساختی بسیاربالا (۰,۱<Ff≤۰,۱۳)؛ردهٔ۲، فعالیت‌زمین‌ساختی بالا (۰,۱۳ <Ff≤ ۰,۱۷)؛ ردهٔ ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط (۰,۱۷ < Ff ≤ ۰,۲۲)؛ ردهٔ ۴، فعالیت زمین‌ساختی کم (۰,۲۲ < Ff ≤ ۰,۳)؛ ردهٔ ۵، فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم (۰,۳ < Ff ≤ ۰,۳۸). کمترین مقدار شاخص ضریب شکل مربوط به حوضهٔ ۲۱ با مقدار ۰,۱ است که دارای بیشترین کشیدگی و بیشترین فعالیت زمین‌ساختی است و بیشترین مقدار این شاخص نیز مربوط به حوضهٔ ۱۹ با مقدار ۰,۳۸ است که کمترین فعالیت زمین‌ساختی را دارد (شکل ۶). همچنین زیرحوضه‌های منطبق با گسل‌های محمودآباد، پیریونس، سورمه علی، پریشان و بنه‌آباد فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا و بالا دارند که ناشی از فعالیت گسل‌های واقع در این زیرحوضه‌ها است.

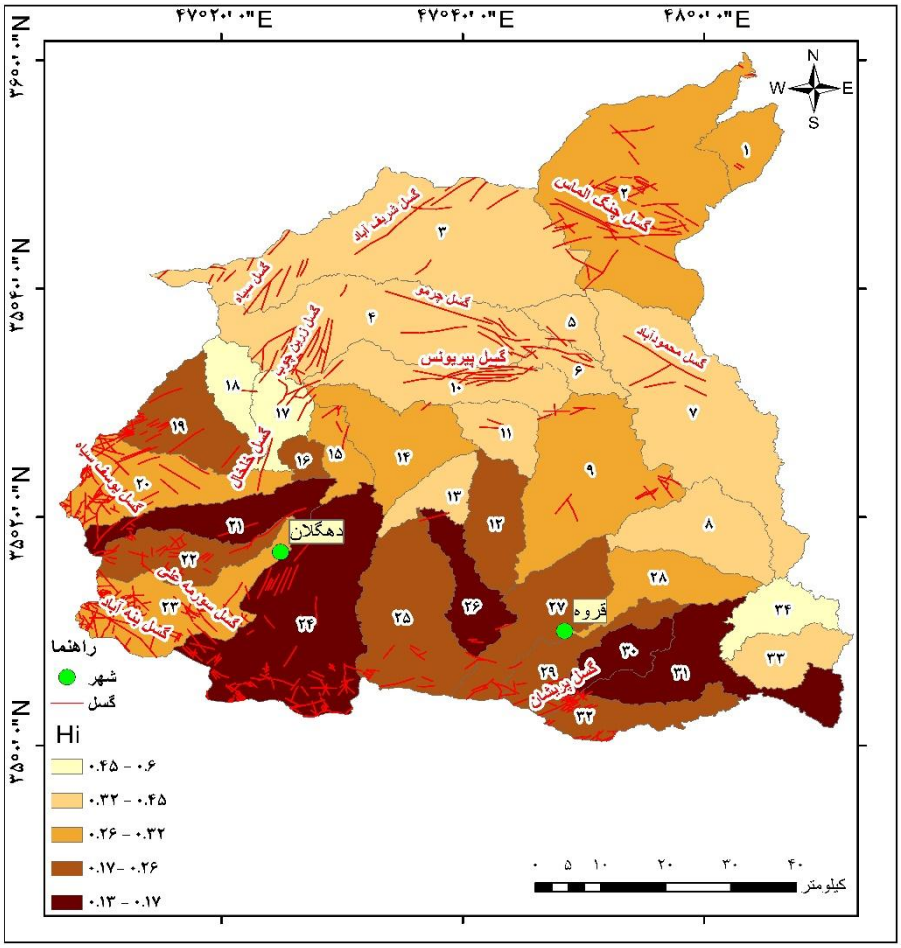


شکل ۶: نقشهٔ پراکندگی شاخص ضریب شکل در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

تحلیل شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتری

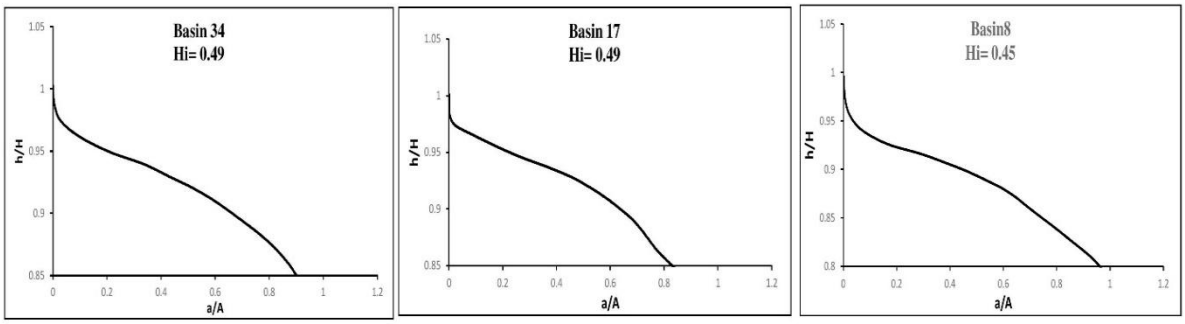
شاخص فرازسنجی در پنج رده به‌لحاظ فعالیت زمین‌ساختی طبقه‌بندی شد که شامل: ردهٔ ۱، فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا (۰,۶> Hi ≥ ۰,۴۵)؛ ردهٔ ۲، فعالیت زمین‌ساختی بالا (۰,۴۵> Hi ≥ ۰,۳۲)؛ ردهٔ ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط (۰,۳۲> Hi≥ ۰,۲۶)؛ ردهٔ ۴، فعالیت زمین‌ساختی کم (۰,۲۶> Hi≥ ۰,۱۷)؛ ردهٔ ۵، فعالیت زمین‌ساختی بسیارکم (۰,۱۷> Hi ≥ ۰,۱۳) است (شکل ۷). با توجه به این شاخص در زیرحوضه‌هایی که گسل‌هایمحمودآباد،چرمو،پیریونس، شریف‌آباد، گسل‌سیاه، زرین چوب و خلخال قرار دارند؛ فعالیت زمین‌ساختی بالا را مشاهده می‌کنیم که به‌دلیل فعالیت گسل‌های مذکور است. با توجه به مقادیر محاسبه برای این شاخص مشخص شد که بیشترین مقدار عددی این شاخص مربوط به حوضهٔ ۱۸ با مقدار ۰,۶ و حوضه‌های ۱۷ و ۳۴ هر دو با مقدار ۰,۴۹ و حوضهٔ ۸ با مقدار ۰,۴۵ است.



شکل۷: نقشهٔ پراکندگی شاخص انتگرال فرازسنجی در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

منحنی فرازسنجی حوضه‌های ۸، ۱۷ و ۳۴ که مقادیر بالایی از این شاخص را دارند، به‌صورت زیر است (شکل ۸):

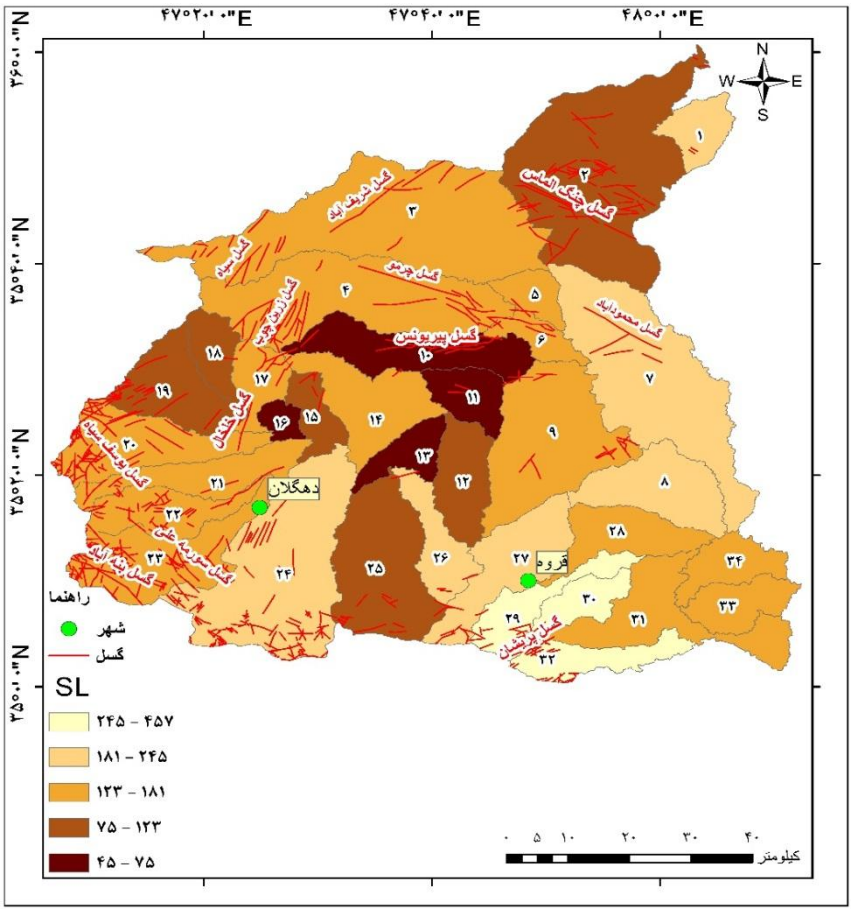


شکل ۸: منحنی بیشینهٔ فرازسنجی در حوضه‌های ۸، ۱۷ و ۳۴

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

تحلیل شاخص گرادیان طولی رود

این شاخص ازنظر فعالیت زمین‌ساختی به ۵ رده تقسیم شده‌است(شکل۹): ردهٔ ۱، فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا (۴۵۷ > SL ≥ ۲۴۵)؛ ردهٔ ۲، فعالیت زمین‌ساختی بالا (۲۴۵ > SL ≥ ۱۸۱)؛ ردهٔ ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط (۱۸۱ > SL ≥ ۱۲۳)؛ ردهٔ ۴، فعالیت زمین‌ساختی کم (۱۲۳ > SL ≥ ۷۵)؛ ردهٔ ۵، فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم (۷۵ > SL ≥ ۴۵). در گسترهٔ مورد مطالعه حوضهٔ ۲۹، ۳۰ و ۳۲ بیشترین مقدار شاخص و بیشترین فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهند که به‌دلیل فعالیت گسل پریشان است.

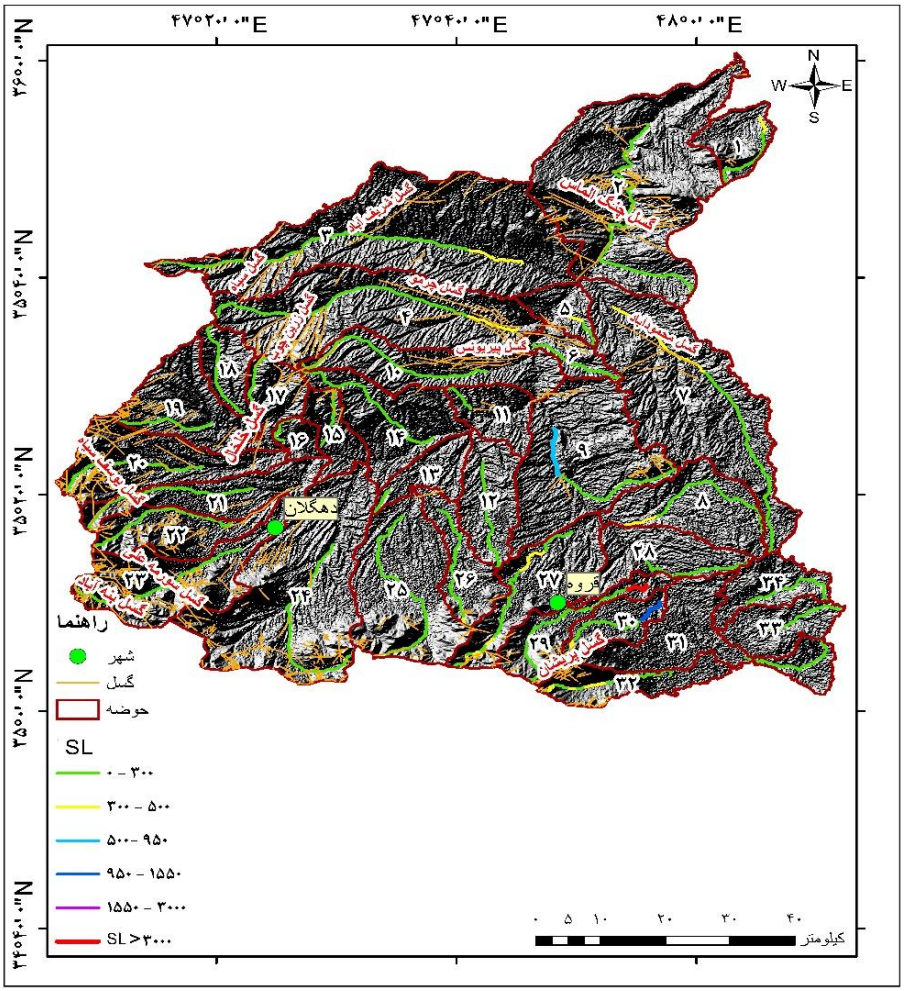


شکل ۹: نقشهٔ پراکندگی مقادیر شاخص گرادیان طولی رود در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

با توجه به رده‌بندی که همدونی و همکاران (۲۰۰۸) برای شاخص گرادیان طولی ارائه کرده‌اند، مقادیر کوچک‌تر از ۳۰۰ رنگ سبز (فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم)، ۳۰۰-۵۰۰ رنگ زرد (فعالیت زمین‌ساختی کم)، ۵۰۰-۹۵۰ رنگ آبی روشن (فعالیت زمین‌ساختی متوسط)، ۹۵۰-۱۵۵۰ رنگ آبی تیره و ۱۵۵۰-۳۰۰۰ رنگ بنفش (فعالیت زمین‌ساختی بالا)، مقادیر بزرگ‌تر از ۳۰۰۰ رنگ قرمز (فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا) را دارند (شکل ۱۰).

(*El Hamdouni et al., 2008: 150-173*)

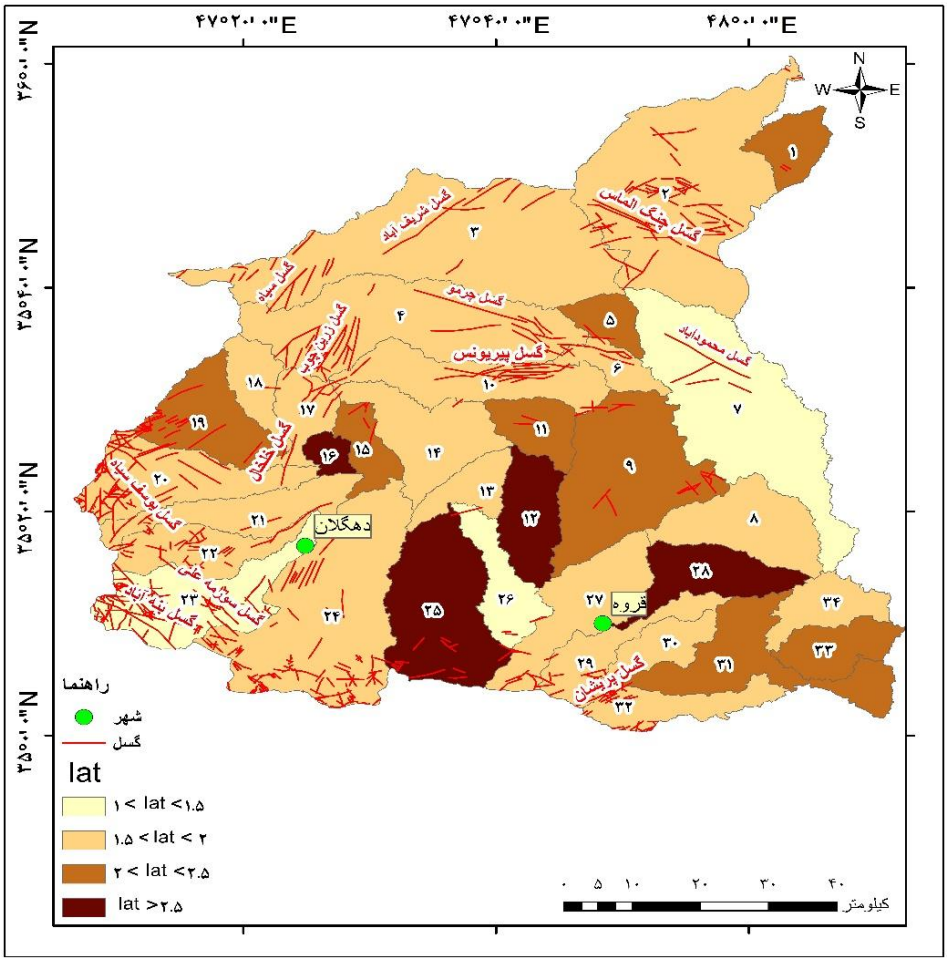


شکل۱۰: نقشهٔ طبقه‌بندی شاخص گرادیان طولی رود در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

تحلیل شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی

این شاخص با توجه به رده‌بندی همدونی و همکاران (۲۰۰۸) به چهار رده تقسیم شده‌است: ردهٔ ۱، فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا (۱,۵ > Iat ≥ ۱)؛ ردهٔ ۲، فعالیت زمین‌ساختی بالا (۲ > Iat ≥ ۱,۵)؛ ردهٔ ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط (۲,۵ > Iat ≥ ۲) و ردهٔ ۴، فعالیت زمین‌ساختی پایین (Iat ≥ ۲,۵). با توجه به این رده‌بندی نقشهٔ پهنه‌بندی سطح فعالیت زمین‌ساختی نیز برای شاخص (Iat) ترسیم شد (شکل ۱۱) (*El Hamdouni, 2008: 150-173*).



شکل ۱۱: نقشهٔ توزیع سطح فعالیت زمین‌ساخت نسبی در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

با توجه به نتایج حاصل از بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی در منطقهٔ مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر مساحت کل حوضه‌های آبریز در ردهٔ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا و بالا قرار گرفته‌است که به‌دلیل عملکرد گسل‌های واقع در منطقه به‌خصوص گسل‌های بنه‌آباد، سورمه علی، پریشان، گسل خلخال، یوسف سیاه، پیریونس،چرمو، گسل محمودآباد، گسل سیاه و گسل‌های واقع در منطقه است. اعداد مربوط به هر شاخص در جدول زیر (جدول ۱) آمده‌است.

جدول ۱: مقادیر پنج شاخص اندازه‌گیری‌شده و سطح فعالیت زمین‌ساختی در گسترهٔ مورد مطالعه

Basin no.	Bh	Dd	Ff	Hi	SL	Iat	Class Iat
۱	۶۸۳	۱/۰۶	۰/۲۴	۰/۲۹	۱۸۹	۲/۲	۳
۲	۱۰۳۸	۰/۹۵	۰/۱۹	۰/۲۸	۹۱	۲	۳
۳	۷۵۸	۰/۹۸	۰/۱۸	۰/۳۷	۱۶۲	۲	۳
۴	۶۰۶	۰/۹۱	۰/۱۹	۰/۴۳	۱۶۴	۱/۸	۲
۵	۳۱۰	۰/۸۲	۰/۲۵	۰/۳۲	۱۳۴	۲/۲	۳
۶	۳۹۲	۰/۸۴	۰/۱۶	۰/۴۵	۱۴۱	۱/۶	۲
۷	۷۱۹	۰/۸۹	۰/۱۶	۰/۴۳	۲۴۵	۱/۴	۱
۸	۵۱۸	۰/۹۴	۰/۲۰	۰/۴۵	۱۹۵	۱/۸	۲
۹	۶۲۷	۰/۹۴	۰/۳۰	۰/۲۶	۱۷۴	۲/۲	۳
۱۰	۵۴۱	۰/۸۷	۰/۱۵	۰/۳۸	۴۵	۱/۸	۲
۱۱	۱۹۹	۰/۸۵	۰/۳۸	۰/۴۳	۵۰	۲/۲	۳
۱۲	۴۵۰	۰/۹۱	۰/۲۰	۰/۲۵	۸۹	۲/۶	۴
۱۳	۱۵۱	۰/۸۵	۰/۱۶	۰/۴۱	۴۶	۲	۳
۱۴	۵۲۰	۰/۸۵	۰/۲۱	۰/۲۸	۱۶۲	۲	۳
۱۵	۴۶۰	۰/۹۴	۰/۲۰	۰/۳۰	۱۰۹	۲/۴	۳
۱۶	۴۴۵	۰/۹۷	۰/۱۸	۰/۲۱	۷۵	۲/۸	۴
۱۷	۴۲۵	۰/۷۹	۰/۲۰	۰/۴۹	۱۴۲	1.8	۲
۱۸	۳۲۸	۰/۷۷	۰/۱۶	۰/۶۰	۱۱۰	۱/۸	۲
۱۹	۶۰۷	۰/۸۵	۰/۳۸	۰/۲۵	۹۳	۲/۴	۳
۲۰	۷۶۵	۰/۸۸	۰/۲۰	۰/۲۹	۱۲۳	۱/۸	۲
۲۱	۹۱۷	۰/۹۷	۰/۱۰	۰/۱۵	۱۴۶	۲	۳
۲۲	۸۸۱	۰/۹۷	۰/۱۵	۰/۲۳	۱۷۴	۲	۳
۲۳	۹۲۶	۰/۸۲	۰/۱۶	۰/۲۹	۱۶۲	۱/۴	۱
۲۴	۹۹۸	۰/۹۰	۰/۲۱	۰/۱۷	۱۸۱	۱/۸	۲
۲۵	۱۰۴۴	۰/۹۷	۰/۲۲	۰/۲۰	۱۲۲	۲/۶	۴
۲۶	۹۵۱	۰/۸۷	۰/۱۳	۰/۱۶	۲۲۵	۱/۴	۱
۲۷	۱۰۴۳	۰/۹۴	۰/۱۵	۰/۲۲	۲۲۹	۱/۶	۲
۲۸	۴۷۶	۱/۰۲	۰/۲۶	۰/۲۸	۱۲۳	۲/۶	۴
۲۹	۱۳۳۳	۰/۹۷	۰/۱۳	۰/۲۵	۴۵۷	۱/۸	۲
۳۰	۱۲۶۶	۱/۰۵	۰/۱۶	۰/۱۳	۳۱۱	۱/۸	۲
۳۱	۹۸۱	۰/۹۷	۰/۲۱	۰/۱۳	۱۴۲	۲/۲	۳
۳۲	۱۴۴۲	۱	۰/۱۴	۰/۲۱	۳۲۱	۱/۸	۲
۳۳	۴۳۳	۰/۹۲	۰/۲۶	۰/۳۹	۱۵۳	۲/۲	۳
۳۴	۴۱۲	۰/۸۵	۰/۲۰	۰/۴۹	۱۵۶	۱/۸	۲

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

نتیجه

شاخص‌های ژئومورفیک معرف رابطه بین زمین‌ساخت و عوارض سطحی می‌باشد و دانستن ارتباط حوادث زمین‌ساختی از طریق بررسی اشکال و ناهمواری‌های سطح زمین تعبیر می‌شود. برخی از شاخص‌های ژئومورفیک ابزارهای مقدماتی و پایه برای تشخیص نواحی دچار دگرشکلی زمین‌ساختی می‌باشند. شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی‌های زمین‌ساختی مفید هستند، زیرا می‌توانند برای ارزیابی سریع مناطق وسیع به‌کار گرفته شوند و داده‌های ضروری آن اغلب به‌سرعت از نقشه‌های رقومی و تصاویر ماهواره‌ای به‌دست می‌آیند. ژئومورفیک با روابط موجود بین اشکال زمین‌ساختی یعنی جنبش‌های زمین‌شناختی کنونی و جاری یا جنبش‌های زمین‌شناختی نئوژن سروکار دارد. با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام شده، منطقه موردمطالعه تا به‌حال براساس شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد مطالعه قرار نگرفته است. برای پیش‌بینی شرایط و تغییرات در آینده این تحقیق الزامی است.

با توجه به تحقیق انجام‌شده در حوضهٔ آبریز قروه-دهگلان نتایج زیر حاصل شده‌است:

مقادیر بالای شاخص برجستگی نسبی در زیرحوضه‌های منطبق با گسل‌های پریشان، سورمه علی، بنه‌آباد و گسل یوسف سیاه، نشان‌دهندهٔ نرخ بالاآمدگی بیشتر به‌دلیل فعالیت زمین‌سختی بیشتر در این زیرحوضه‌ها است.مقادیر کم شاخص تراکم زهکشی در زیرحوضه‌های ۵، ۱۷، ۱۸ و ۲۳ به‌دلیل فعالیت زمین‌ساختی اخیر گسل‌های بنه‌آباد، سورمه علی و سایر گسل‌های منطبق بر زیرحوضه‌های ذکرشده است. مقادیر کم شاخص ضریب شکل که نشان‌دهندهٔ کشیدگی بیشترحوضه است، در زیرحوضه‌هایی که واقع در گسل‌های پریشان، بنه‌آباد، سورمه علی، پیریونس و گسل محمودآباد مشاهده می‌شود که تأییدی بر فعالیت زمین‌ساختی اخیر این حوضه‌ها است. انتگرال و منحنی فرازسنجی که توزیع‌ارتفاع در گسترهٔ مورد بررسی رابطهٔ مستقیمی دارد، در حوضه‌های ۱۷، ۱۸ و ۳۸ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا (رده ۱) و زیرحوضه‌هایی که گسل‌های محمودآباد، چرمو، پیریونس، زرین چوب، شریف‌آباد و گسل سیاه قرار گرفته‌اند، فعالیت زمین‌ساختی بالا (رده۲) را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار شاخص گرادیان طولی رود در زیرحوضه‌های ۲۹، ۳۰ و ۳۲ و در مجاورت گسل پریشان که در جنوب منطقهٔ مورد مطالعه قرار گرفته است، مشاهده می‌شود که به‌دلیل فعالیت زمین‌ساختی اخیر این گسل است. نتایج حاصل از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) نیز فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا و بالایی را در امتداد گسل‌های چنگ الماس، محمودآباد، چرمو، پیریونس، زرین چوب، شریف‌آباد، گسل سیاه، خلخال، گسل پریشان، بنه‌آباد، سورمه علی و گسل یوسف سیاه تأیید می‌کند.

با توجه به نتایج حاصل از بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی در منطقهٔ مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر مساحت کل حوضه‌های آبریز منطقه مورد مطالعه در ردهٔ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا و بالا قرار گرفته‌است که به‌دلیل عملکرد گسل‌های واقع در منطقه به‌خصوص گسل‌های بنه‌آباد، سورمه‌علی، پریشان، گسل خلخال، یوسف سیاه، پیریونس،چرمو، گسل محمودآباد، گسل‌سیاه و سایر گسل‌های واقع در منطقه است.

منابع

- آبدیده، محمد؛ منوچهر قرشی؛ کاظم رنگزن؛ مهران آرین (۱۳۹۰). ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال با استفاده از تحلیل ریخت‌سنجی، بررسی موردی حوضهٔ آبریز رودخانهٔ دز، جنوب باختری ایران. علوم زمین، سال ۲۰، شمارهٔ ۸۰، صفحات ۴۶-۳۳.
http://www.gsjournal.ir/article_55134.html

- بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۸). تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیکی در حوضهٔ آبریز قرنقوچای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک، مجلهٔ فضای جغرافیایی، سال نهم. شمارهٔ ۲۵. صفحات ۵۰-۲۳.
https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=114591

- جلالی، سعیده؛ میثم صمدی؛ محمود صمدی قشلاق چائی؛ آیدینگ کرنژادی (۱۳۹۵). بررسی شاخص‌های مورفومتری در حوضهٔ آبخیز چهل چای استان گلستان با استفاده از GIS، مجلهٔ علمی ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دورهٔ هفتم. شمارهٔ ۴. صفحات ۷۴-۶۷.
http://gej.issge.ir/browse.php?a_code=A-10-225-1&slc_lang=fa&sid=1

- محمدی، سید داود؛ سید حسین جلالی؛ بهمن ساعدی (۱۳۹۶). ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی در حوضهٔ آبخیز آبشینه همدان با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی و لرزه‌خیزی منطقه،پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال چهارم. شمارهٔ ۴. صفحات ۲۰۷-۱۹۰.
http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78071.html

- مقصودی، مهران؛ حمید کامرانی دلیر (۱۳۸۷). ارزیابی نقش تکتونیک فعال تنظیم کانال رودخانه‌ها، مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ تجن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شمارهٔ ۶۶، صفحات ۵۵-۳۷.
https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=91041

- یمانی، مجتبی؛ حمید کامرانی دلیر؛ سجاد باقری (۱۳۸۹). مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین‌ساخت در حوضهٔ آبریز چله (زاگرس شمال‌غربی)، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی. شمارهٔ ۹۷. صفحات ۲۶-۱.
https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=238147

- Agard, P. Omrani, J. Jolivet, L. Mouthereau, F (2005). Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. International journal of earth sciences, 94, PP.401- 419.
https://link.springer.com/article/10.1007/s00531-005-0481-4

- Berberian, M. King, G.C.P (1981). Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences, 18,PP.210- 265.
https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/e81-019#.XmS9s6hKjIU

- Bull,W.B. and Mcfadden, L.D (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California; In: Doehring, D.O. (Ed.), Geomorphology in arid regions. Proceedings of the 8th annual geomorphology symposium. State University of New York, Binghamton.PP.115-138.
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Bull%2CW.B.+and+Mcfadden%2C+L.D+%281977%29.+Tectonic+geomorphology+north+and+south+of+the+Garlock+fault%2C+California%3B+In%3A+Doehring%2C+D.O.+%28Ed.%29%2C+Geomorphology+in+arid+regions.+Proceedings+of+the+8th+annual+geomorphology+symposium.+State+University+of+New+York%2C+Binghamton.+pp.+115-138.&btnG=

- El Hamdouni, R. Irigaray, C. Fernandez, T. Chacón, J. Keller, E.A (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain), Geomorphology. 96, PP.150-73.

- Katz, R.W. Parlange, M.B. Naveau, P (2002). Statistics of extremes in hydrology. Advances in water resources, 25, PP. 1287-1304. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309170802000568

- Keller, E. A. (1986) .Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes, Active Tectonics, Studies in Geophysics. National Academy Press, Washington, DC. 136-147. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Keller%2C+E.A.+%281986%29.+Investigation+of+active+tectonics%3A+use+of+surficial+Earth+processes%2C+Active+Tectonics%2C+Studies+in+Geophysics.+National+Academy+Press%2C+Washington%2C+DC.+136-147.&btnG=

- Keller, E.A. Zepeda, R.L. Rockwell, T.K. Ku, T.L. Dinklage, W.S (1998) .Active tectonics at Wheeler Ridge, southern San Joaquin Valley, California, Geological Society of America Bulletin. 110, PP. 298–310. https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/110/3/298/183354

- Keller, E.A. and Pinter, N (2002). Earthquakes, Uplift, and Landscape. 362. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Keller+EA%2C+Pinter+N+%282002%29.+Active+Tectonics%3A+Earthquakes%2C+Uplift%2C+and+Landscape+%282ndEd.%29.+Prentice+Hall.+New+Jersey.&btnG=

- Mrinalinee Devi, R.K. Bhakuni, S.S. Bora, P.K (2011). Tectonic implication of drainage set-up in the Sub- Himalaya: a case study of Papumpare district,ArunachalHimalaya,India,Geomorphology . 127, PP. 14-31. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X10005210

- Ngapna, M.N. Owona, S. Owono, F.M. Ateba, C.B. Tsimi, V.M. Ondoa, J.M. Ekodeck, G.E (2020). Assessment of relative active tectonics in Edea–Eseka region (SW Cameroon, Central Africa). Journal of African Earth Sciences, 164, PP. 103798. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464343X20300492

- Font, M. Amorese, D. Lagarde, J.L (2010). DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: The Normandy intraplate area (NW France). Geomorphology, 119, PP.172-180. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=DEM+and+GIS+analysis+of+the+stream+gradient+index+to+evaluate+effects+of+tectonics&btnG=

- García Delgado, H. Velandia, F (2020). Tectonic geomorphology of the Serranía de San Lucas (Central Cordillera): Regional implications for active tectonics and drainage rearrangement in the NorthernAndes. Geomorphology, 349,PP.106914. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X19304052

- Geophysics Study Committee (1986). Studies in geophysics, active tectonics. National Academy Press. Washington, D.C. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Geophysics+Study+Committee+%281986%29.+Studies+in+geophysics%2C+active+tectonics.+National+Academy+Press.+Washington%2C+D.C.&btnG=

- Ghasemi, A. Talbot, C.J (2006). A new tectonic scenario fortheSanandaj–SirjanZone (Iran). Journal of Asian Earth Sciences, 26, PP. 683-693. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367912005000325

- Giaconia, F. Booth-Rea, G. Martínez-Martínez, J.M. Azañón, J.M. PérezPeña, J.V. Pérez-Romero, J. Villegas, I (2012). Geomorphic evidence of active tectonics in the Serra Alhamila (eastern Betics, SE Spain). Geomorphology. 145-146, PP.90-106. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X11006581

- Horton, R.E (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, Geological Society of America Bulletin .56, PP. 275- 370. https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/56/3/275/4075

- Stoddart, D. (2013). Drainage density: problems of prediction and application. In Process and form in geomorphology, PP.31-61. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Schumm%2C+S.A+%281997%29.+Drainage+density%3A+problems+of+prediction.+In%3A+Stoddart%2C+D.R.+%28Ed.%29%2C+Process+and+Form+in+Geomorphology%2C+Routledge%2C+London.+pp.+15-+45.&btnG=

- Strahler, A.N (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin. 63, PP.1117- 1142. https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/63/11/1117/4477

- Willemin, J.H. Knuepfer, L.K (1994). Kinematics of arc- continent collision in the Eastern Central Range of Taiwan inferred from geomorphic analysis. Journal of Geographical Research. PP.1-56.

- Perez Pena, J.V. (2009). GIS-Based tools and methods for landscape analysis and active tectonic evaluation.Doctoral thesis. University of Granada. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Perez+Pena%2C+J.V.+%282009%29.+GIS-Based+tools+and+methods+for+landscape+analysis+and+active+tectonic+evaluation.+Doctoral+thesis.+University+of+Granada.&btnG=

- Singh, O.M (2009). Hypsometry and erosion proneness: a case study in the lesser Himalayan Watersheds. Journal of Soil &Water conservation. 8, PP.53-59. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Singh%2C+O.M+%282009%29.+Hypsometry+and+erosion+proneness%3A+a+case+study+in+the+lesser+Himalayan+Watersheds.+Journal+of+Soil+and+Water+conservation.+8%2C+pp.+53-+59.&btnG=

- Stocklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 52, PP. 1229-1258. https://pubs.geoscienceworld.org/aapgbull/article-abstract/52/7/1229/35439/Structural-History-and-Tectonics-of-Iran1-A-Review?redirectedFrom=PDF