

Research Article

Relative evaluation of active tectonics using quantitative morphometric and qualitative components of structural geology in the south Qom basin

Rouhollah Nadri*, Hadi Yeganehfar

Department of Geology, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran.

Keywords: *Active tectonic, Morphometric, Bihdand fault, Urmiah-Dokhtar, Central Iran, Qom.*

1-Introduction

Geomorphological concepts are used to express landscapes and interpret landscapes for the tectonic model. In other words, geological studies can be used as a model to identify active areas in terms of tectonics and regions that have had more activity in the past (Keller and Pinter, 2002). For this purpose, the detection of quantitative components and their measurement are used to calculate and interpret the rate of active tectonic based on that. These components can be used for relative and quick evaluation of areas, and the required data is obtained from digital maps and satellite images. In this research, the variables introduced as quantitative components and their integration with geometrical studies of tectonic structures as qualitative components have been used for the relative evaluation of dynamic tectonics (Iat) in the southern Qom basin. In this study, the quantitative method (El Hamdouni et al., 2008) is presented and used, which is introduced by combining the results of three categories of tectonic components with high, medium, and low tectonic activities. The studied area is located 135 km from Tehran, south of Qom province, and Kahak city. According to the division of sedimentary-structural zones of Iran, the northern parts of the region are located in the central Iran zone, and the southern parts are located in the Urmiah-Dokhtar volcanic complex zone (Alavi, 1994, Berberian and King, 1981). This area has been cut and displaced by faults with the trends of North, Northwest-South, and South-East (NNW-SSE) such as the Dehshir, Qom-Zafrah, Bidhand, and South Saveh fault systems (Nadri et al., 2006). The existence of these two structural zones with different structural patterns has caused the geomorphology of the region to be affected.

2- Material and methods

Active tectonics' Geomorphological components help investigate tectonic activity's impact in an area. Calculating these indices by Arc GIS, Global Mapper, and remote sensing software in a large area helps detect possible anomalies related to dynamic tectonics. In morphological studies, the shapes and forms of a region reflect the rate of tectonic activities in the region. The information required to measure quantitative geological indicators is using topographic maps on a scale of 1:50:000 of the catchment area, a geological map on a scale of 1:100:000 of the site, and Landsat satellite images and images taken from Google Earth. Therefore, after knowing the catchment area of the region, sub-basins were identified and introduced for it. In the following, we examined the active tectonic indicators in each sub-basin separately. We combined their results to finally present the active tectonic status of the region based on the obtained data and other tectonic elements of the studied area.

The identified sub-basins in the studied area are named as follows:

- Keremejegan sub-basin
- Fordo sub-basin
- Kahak Sub-basin
- Sarm Sub-basin

* Corresponding author: Nadri@pnu.ac.ir

DOI : 10.22055/AAG.2023.42651.2338

Received: 2023-01-02

Accepted: 2023-04-27

It is possible to measure the values of the zoning indicators in each range to understand the status of the zoning activity rate of the area in question, knowing the location of the sub-basins and their general characteristics.

3-Results and discussion

Each of the discussed components provides a relative classification of tectonic activities, and the region can be divided into very active and active areas. The simultaneous use of several quantitative indicators, as well as the use of qualitative indicators, provides more reliable results than the use of each of these indicators separately.

According to the studies of the quantitative and qualitative components of the morphometric and the analysis of other parameters of the active tectonic in the target area, the following results have been obtained: the rate of land construction activities in the south of the Qom basin is not the same. Based on this, the indicators' quantitative and qualitative values differ in the four defined sub-basins. This difference is also related to the location of the sub-basins in the geological zones of the region. Sarm sub-basin is located in the tectonic zone of Central Iran, which covers 1/3 of the total area of the south Qom basin, and the other 2/3 of the total area of the south Qom basin includes Keremejegan, Fordo, and Kahak sub-basins, which are located in the Urmiah-Dokhtar sub-zone.

4- Conclusion

In this research, according to tectonic investigations, tectonics, and changes in tectonic indices, a particular classification was presented to obtain the uplift rate and active tectonics in the studied area. Based on this, the Keremejegan, Fordo, and Kahak sub-basins are very active basins in relative tectonic activities, and the Sarm sub-basin is an active area.

Reference

- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211-238. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2)
- 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, 150–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Keller, E. Pinter, N., 2002. Active tectonics, Earth quakes, uplift and landscape, Earth sciences series, prentice-Hall, Newjersey. P. 384.
- Nadri, R., 2007, Geometry and Kinematic Analysis of Bidhand Fault System (South of Qom), MSc. thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (in Persian).

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Nadri, R., Yeganehfar, H., 2023. Relative evaluation of active tectonics using quantitative morphometric and qualitative components of structural geology in the south Qom basin. *Adv. Appl. Geol.* 13(3), 877-891.

DOI: 10.22055/AAG.2023.42651.2338

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_18572.htm

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ارزیابی نسبی زمین ساخت پویا با استفاده از مولفه‌های کمی ریخت‌سنجی و زمین شناسی ساختاری در حوضه جنوب قم

روح اله ندری*

گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

هادی یگانه فر

گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

Nadri@pnu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲

چکیده

منطقه مورد بررسی در جنوب شهر قم و در پهنه‌های ساختاری ایران مرکزی و ارومیه - دختر واقع شده است. در این مطالعه بررسی‌های کمی ریخت‌سنجی و مولفه‌های زمین شناسی ساختاری در ارزیابی زمین ساخت پویای منطقه، مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله شاخص‌های کمی مورد استفاده در این پژوهش می‌توان به انتگرال فراز سنجی، عدم تقارن حوضه، تقارن توپوگرافی معکوس، شیب-طول رود، پیچ و خم پیشانی-کوهستان، نیمرخ طولی رود، شیب حوضه و شکل حوضه اشاره کرد. برای ارزیابی مولفه‌های کیفی نیز به تحلیل هندسی سامانه گسل بیدهند به عنوان گسل اصلی منطقه استناد شده است. در این تحقیق حوضه آبریز منطقه به ۴ زیرحوضه تقسیم شدند که اساس تفکیک زیرحوضه‌ها بر مبنای نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰,۰۰۰ تصاویر ماهواره‌ای لندست ۳۰ و ۱۵ متر، (IRS(5.5m), SRTM(90m) و نقشه‌های زمین شناسی قم و کهک در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ می‌باشد. موقعیت زیرحوضه‌ها نسبت به رود اصلی تعیین و عواملی چون شیب و توپوگرافی در آنها ترسیم گردید و بر اساس محاسبه شاخص‌ها و نتیجه‌گیری بدست آمده از آن‌ها سطح فعالیت نسبی زمین ساخت (Iat) منطقه مورد مطالعه به سه رده فعالیت نسبی زمین ساختی بالا، متوسط و پایین تقسیم‌بندی گردید. با ارزیابی لیتولوژی و ساختارهای زمین شناسی متاثر از عملکرد گسل امتدادلغز بیدهند در هر حوضه مشخص گردید، میان نتایج حاصل از بررسی‌های هندسی عناصر ساختاری به عنوان مولفه‌های کیفی و اندازه‌گیری‌های ریخت‌سنجی به عنوان مولفه‌های کمی، ارتباط معناداری وجود دارد که به واسطه این همسویی سطح فعالیت نسبی زمین ساختی منطقه در زیرحوضه‌های کرمجگان، فردو و کهک بصورت خیلی پویا و در زیرحوضه صرم نیز بصورت پویا ارزیابی گردید.

واژه‌های کلیدی: زمین ساخت پویا، ریخت سنجی، گسل بیدهند، ارومیه - دختر، ایران مرکزی. قم

۱- مقدمه

مفاهیم زمین‌ریخت‌شناسی برای بیان چشم‌اندازها و همچنین تفسیر چشم‌اندازها برای الگوی زمین‌ساختی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر بررسی‌های زمین‌ریخت‌شناسی می‌تواند الگویی برای شناسایی مناطق پویا از نظر زمین‌ساختی و مناطقی که در گذشته دارای فعالیت بیشتری بوده‌اند به کار رود (Keller and Pinter, 2002). بدین منظور تشخیص مولفه‌های کمی و اندازه‌گیری آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد تا بر اساس آن میزان نرخ پویایی زمین‌ساختی محاسبه و تفسیر گردد. رایج‌ترین متغیرهای مورد استفاده در این زمینه شامل انتگرال فراز سنجی (Hi)، عدم تقارن حوضه (AF)، تقارن توپوگرافی معکوس حوضه (T)، شیب- طول جریان رود (SL)،

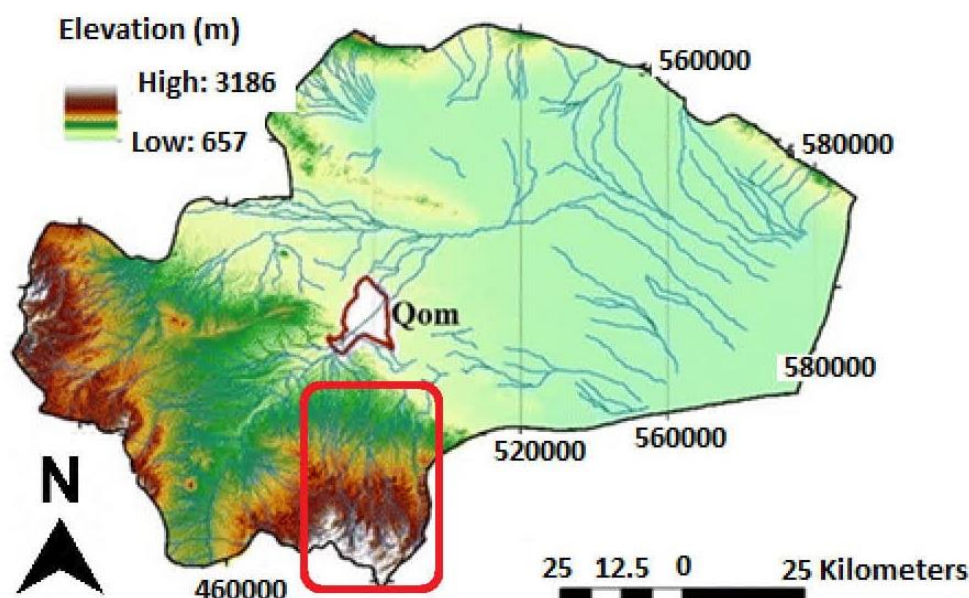
پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)، نیمرخ طولی رود (Lp)، شیب حوضه (BD) و شکل حوضه آبریز (BS) می‌باشند که به عنوان یک ابزار مفید در بررسی و ارزیابی تفاوت‌های زمین‌ساخت پویا در مناطق مختلف آزموده شده‌اند (Hack, 1973; Schumm, 1977; Bull, 1978). این مولفه‌ها می‌توانند برای ارزیابی نسبی و سریع مناطق به کار گرفته شوند و داده‌های مورد نیاز آن از نقشه‌های رقومی و تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آیند. در این پژوهش از متغیرهای معرفی شده به عنوان مولفه‌های کمی و تلفیق آنها با مطالعات هندسی ساختارهای زمین‌ساختی به عنوان مولفه‌های کیفی، برای ارزیابی نسبی زمین‌ساخت پویا (Iat) در حوضه جنوب قم استفاده شده است. در این مطالعه از روشی کمی که توسط (El

ساختاری ایران (Aghanabati, 2004) بخش‌های شمالی منطقه در پهنه ایران مرکزی و بخش‌های جنوبی در پهنه مجموعه آتشفشانی ارومیه - دختر قرار دارد. واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه شامل ردیفی از سنگهای رسوبی، آذرین و آذرآواری سنوزوئیک می باشد. قدیمی‌ترین سنگ‌های این محدوده مربوط به فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن است که حجم قابل توجهی از سنگهای آذرین بیرونی (گدازه و آذرآواری) و درونی را شامل می شود. سازندهای شاخص در منطقه نیز شامل سازند قرمز زیرین (LRF)، سازند قم (Qom F) و سازند قرمز فوقانی (URF) است (Emami, 1991).

(Hamdouni et al., 2008) ارائه شده استفاده شده که با استفاده از تلفیق نتایج حاصل از مولفه‌های زمین‌ریختی سه رده با فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا، متوسط و پایین معرفی شده است.

۲- وضعیت زمین‌شناختی منطقه:

منطقه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی $34^{\circ} 23' 38''$ شمالی و $50^{\circ} 51' 52''$ شرقی به فاصله ۱۳۵ کیلومتری از تهران و در جنوب استان قم و در شهرستان کهک واقع شده- است (شکل ۱) بر اساس تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی -



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه تقسیمات شهری استان قم که درون کادر مشخص شده است.

Fig. 1. The location of the studied area on the map of urban divisions of Qom province, which is indicated in the box.

مسیر گسل‌ها را محل خروج سنگهای آذرین می‌داند. همچنین Mohajjel (۲۰۰۰) معتقد است زمین‌ساخت برشی که با فرورانش پوسته اقیانوسی تئیس جوان به زیر ایران مرکزی در مزوزوئیک پایانی در پهنه ارومیه- دختر حاکم شده، فضاهای کششی را فراهم ساخته و مواد مذاب از آن خارج گردیده است. این پهنه توسط گسل‌هایی با روندهای شمال-شمال باختر- جنوب جنوب خاور (NNW-SSE) مانند سامانه‌های گسلی دهشیر، قم- زفره، بیدهند و جنوب ساوه بریده و جابجا شده است (Nadri, 2007). وجود این دو پهنه ساختاری با الگوهای ساختاری متفاوت باعث شده است تا زمین ریخت‌شناسی منطقه نیز تحت تاثیر قرار گیرد.

ایران مرکزی سرزمینی یکپارچه و همگن نیست، بلکه در نتیجه عملکرد گسل‌های متعدد به صورت قطعاتی جدا با ویژگی‌های زمین‌شناختی متفاوت می‌باشد. دو ویژگی عمده در این پهنه حاکم است؛ یکی چین خوردگی، دگرگونی و پلوتونیسیم شدید مزوزوئیک، و دوم، تکاپوی شدید آتشفشانی مربوط به دوران سنوزوئیک. همین دو ویژگی است که پهنه ایران مرکزی را از دیگر پهنه‌های ساختاری - رسوبی ایران متمایز می‌سازد. مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر یک پهنه مشخص با روند شمال باختر- جنوب خاور می باشد که حاوی مجموعه‌ای از توده‌های نفوذی و خروجی است (Berberian and King, 1981; Alavi, 1994). (Nogol-e Sadat (۱۹۸۷) مناطق خمشی

۳- مبانی نظری پژوهش

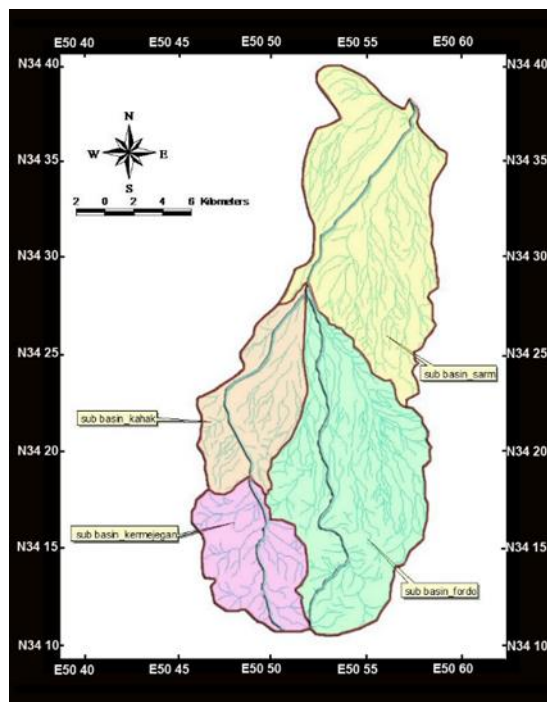
۳-۱- روش تحقیق حوضه مورد مطالعه

مولفه‌های زمین ریخت‌شناسی زمین‌ساخت پویا ابزار مفیدی برای بررسی تاثیر فعالیت زمین‌ساخت در یک ناحیه است. محاسبه این شاخص‌ها بوسیله نرم افزارهای Arc GIS، Global Mapper و سنجش از دور در یک منطقه بزرگ برای تشخیص ناهنجاری‌های احتمالی مرتبط با زمین‌ساخت پویا سودمند است. در بررسی‌های ریخت‌شناسی اشکال و ریخت‌های یک منطقه منعکس کننده نرخ فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه می‌باشند. اطلاعات مورد نیاز برای اندازه‌گیری شاخص‌های کمی زمین‌ریخت‌شناسی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱: ۵۰/۰۰۰ حوضه آبریز، نقشه زمین شناسی در مقیاس ۱: ۱۰۰/۰۰۰ منطقه و تصاویر ماهواره‌ای لندست و تصاویر برگرفته از Google Earth می‌باشد. از این رو پس از شناخت دقیق حوضه آبریز منطقه، زیرحوضه‌هایی برای آن شناسایی و

معرفی گردید. در ادامه شاخص‌های زمین‌ساخت پویا را در هر زیرحوضه بطور جداگانه بررسی و نتایج آنها را با یکدیگر تلفیق نموده تا در نهایت بر اساس داده‌های بدست آمده و سایر عناصر زمین‌ساختی محدوده مورد مطالعه، وضعیت زمین‌ساخت پویا منطقه ارائه گردد. زیرحوضه‌های شناسایی شده در پهنه مورد بررسی در شکل (۲) نشان داده شده‌اند و به شرح ذیل نام گذاری گردیده‌اند:

- زیر حوضه کرمجگان
- زیر حوضه فردو
- زیر حوضه کهک
- زیر حوضه صرم

پس از تعیین مرز حوضه، از طریق خط الرأس‌های موجود در محدوده حوضه مورد مطالعه، اندازه‌گیری محیط و مساحت زیرحوضه‌های مورد نظر در سیستم GIS طبق جدول (۱) محاسبه گردید.



شکل ۲- حوضه آبریز منطقه مورد بررسی و تفکیک چهار زیر حوضه آن

Fig. 2. The drainage basin area of the investigated area and the division of its four sub-basins

جدول ۱- مقادیر مساحت و محیط تفکیک شده از زیرحوضه‌ها و تمام حوضه مورد مطالعه

Table 1. The values of area and environment separated from the sub-basins and the whole study basin

Total Basin	Sarm	Fordo	Kahak	Kermejejan	
432.78	154.09	158.3	63.80	56.53	Area (Km ²)
107.2	66.67	62.10	39.42	33.71	Perimeter (Km)

منحنی فرضی ارتفاع سنجی را برای یک حوضه زهکشی واقع بر روی یک شیب یکنواخت نشان می‌دهد. روش محاسبه آن به صورت ذیل است (Keller and Pinter, 2002):
(رابطه ۱)

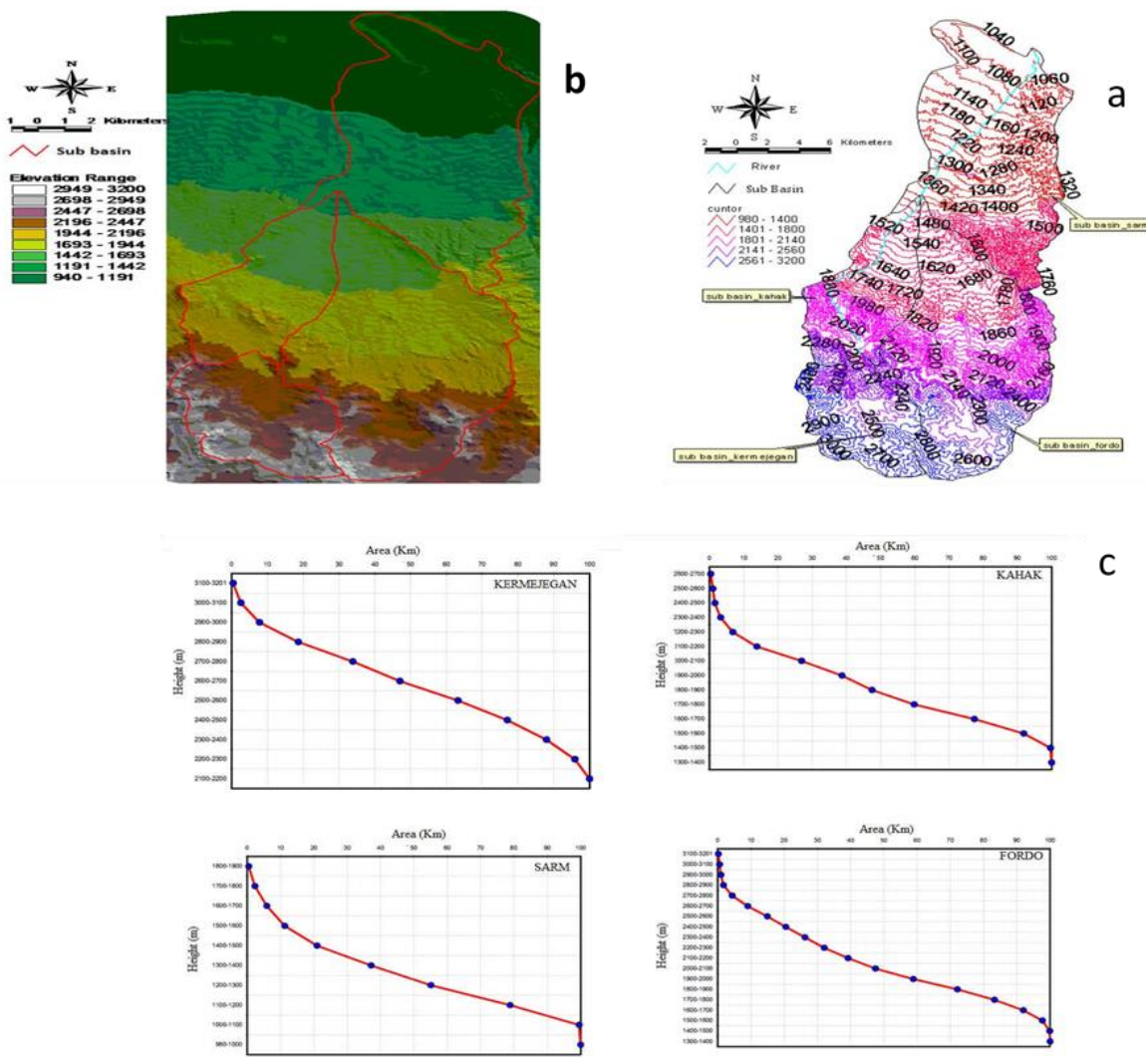
$$Hi = \frac{\text{ارتفاع حداقل} - \text{ارتفاع میانگین}}{\text{ارتفاع حداقل} - \text{ارتفاع حداکثر}}$$

بر اساس رابطه فوق تنها سه پارامتر که به آسانی از روی نقشه‌های توپوگرافی قابل دستیابی می‌باشند برای محاسبه انتگرال فراسنجی لازم است (شکل ۳).

با داشتن آگاهی از موقعیت زیرحوضه‌ها و مشخصات کلی آنها می‌توان مقادیر شاخص‌های زمین‌ساخت جنبا را در هر محدوده اندازه‌گیری نمود تا به وضعیت نرخ فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه مورد نظر پی برد.

۳-۲- انتگرال فراسنجی (Hi)

انتگرال فراسنجی (Hypsometric Integral) توزیع سطوح ارتفاعی در یک ناحیه از یک حوضه زهکشی به کل وسعت حوضه را تشریح می‌کند (Strahler, 1952). این منحنی از پیاده کردن نسبت ارتفاع کل حوضه (ارتفاع نسبی) در مقابل نسبت مساحت کل حوضه (مساحت نسبی) به وجود می‌آید که یک



شکل ۳- (a) الگوی تغییرات خطوط تراز توپوگرافی محدوده مورد مطالعه، (b) مدل ارتفاعی محدوده مورد مطالعه و (c) منحنی‌های ارتفاع سنجی زیرحوضه‌های محدوده بر اساس داده‌های ارتفاعی

Fig. 3. (a) Pattern of changes in the topographic level lines of the studied area (b), Elevation model of the studied area and (c) Altimeter curves of the sub-basins of the area based on elevation data

پایین آن با نواحی قدیمی که دچار فرسایش زیاد شده و کمتر تحت تاثیر زمین ساخت پویا قرار گرفته‌اند، مرتبط می باشد (El Hamdouni et al., 2008).

مقادیر ارتفاعی برای منطقه مورد مطالعه طبق جدول شماره (۲) اندازه گیری گردید. مقادیر بالای این شاخص مربوط به نواحی پویا و جوان زمین ساختی است، در حالی که مقادیر

جدول ۲- مقادیر مربوط به وضعیت ارتفاعی منطقه و تعیین مولفه فراز سنجی برای زیر حوضه‌ها

Table 2. Values related to the altitude situation of the region and determining the hydrometric component for the sub-basins

Sarm	Fordo	Kahak	Kermejegan	
1900	3201	2700	3201	Maximum elevation(M)
1261	2050	1818	2583	Mean elevation(M)
980	1300	1300	2080	Minimum elevation
0.243	0.341	0.335	0.526	Hi

۳-۴- تقارن توپوگرافی عرضی حوضه زهکشی (T):

تقارن توپوگرافی عرضی حوضه (Transverse Topographic Symmetric Factor) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد که در آن Da فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا خط میانی کمربند پویا مئاندری حوضه (مسیر اصلی رود) است و Dd فاصله خط میانی حوضه تا خط تقسیم حوضه بر حسب متر می باشد. (رابطه ۳)

$$T=Da/Dd$$

در منطقه مورد بررسی نقاطی از محل سرچشمه رودخانه تا خروجی آن انتخاب گردید و از مجموع اندازه گیری آنها میانگین گرفته شد تا عدد بدست آمده بیانگر مقدار این شاخص برای کل مسیر در هر زیر حوضه باشد. در منطقه مورد مطالعه شاخص (T) یا عدم تقارن توپوگرافی عرضی برای زیر حوضه‌های محدوده با توجه به موقعیت‌های تعیین شده به کار گرفته شد و نتایج آن در جدول شماره (۴) گردید.

۳-۳- عدم تقارن حوضه زهکشی (AF):

عامل عدم تقارن حوضه زهکشی (Drainage Basin Asymmetry Factor) می تواند میزان کج شدگی زمین ساختی حوضه زهکشی را در مقیاس‌های بزرگ نشان دهد. این مولفه بهتر است در منطقه‌ای محاسبه گردد که جنس سنگ‌ها در زیر حوضه زهکشی از یک نوع باشد. این شاخص روشی برای تشخیص وجود کج شدگی ناشی از فعالیت‌های زمین ساختی در حوضه زهکشی می باشد و توسط رابطه زیر محاسبه و بیان می گردد:

(رابطه ۲)

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

AF = شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی

Ar = مساحت سمت راست حوضه (دید در سمت جهت

جریان رود باشد)

At = مساحت کل حوضه زهکشی

در منطقه مورد مطالعه شاخص AF برای چهار زیر حوضه

تعیین شده بکار گرفته شد که نتایج آن در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- محاسبه مقادیر عدم تقارن (AF) برای زیر حوضه‌های منطقه

Table 3. Calculation of asymmetry values (AF) for the sub-basins of the region

	Sarm	Fordo	Kahak	Kermejegan
Ar (km ²)	79.10	63.19	28.90	23.06
At (km ²)	154.09	158.30	63.87	53.56
AF	51.33	39.91	45.24	43.05

جدول ۴- مقادیر اندازه گیری شده برای تعیین تقارن توپوگرافی معکوس (T) حوضه زهکشی

Table 4. Measured values to determine the reverse topography symmetry (T) of the drainage basin

Sub-basin	Da (m)	Dd (m)	T (m)	Tave (m)
Kermejegan 1	70	311	T1=0.22	
Kermejegan 2	171	281	T2=0.60	T1,2,3=0.45
Kermejegan 3	160	295	T3=0.54	
Kahak 1	195	270	T1=0.72	
Kahak 2	135	200	T2=0.67	T1,2,3=0.73
Kahak 3	180	220	T3=0.81	
Fordo 1	195	385	T1=0.50	
Fordo 2	402	512	T2=0.78	T1,2,3=0.64
Fordo 3	295	460	T3=0.64	
Sarm 1	262	370	T1=0.70	
Sarm 2	191	385	T2=0.49	T1,2,3=0.47
Sarm 3	89	380	T3=0.23	

جریان رود برای یک محدوده مشخص به صورت ذیل تعریف

می شود:

$$SL = (\Delta H / \Delta L) \cdot L \quad (\text{رابطه ۴})$$

$SL =$ شاخص شیب - طول جریان رود

$\Delta H / \Delta L =$ شیب محدود مورد نظر از رودخانه ($\Delta H =$ تغییرات

ارتفاعی و $L =$ تغییرات طول محدوده مورد مطالعه)

$L =$ طول کل رودخانه از محل تقسیم حوضه تا مرکز محدوده مورد

مطالعه که در آن شاخص محاسبه می گردد.

مقادیر این مولفه نیز با استفاده از رابطه فوق برای زیر حوضه ها اندازه

گیری و مقادیر عددی آن در جدول شماره (۵) ارائه گردیده است.

۳-۵- شیب - طول جریان رود (SL):

شاخص شیب - طول جریان رود (Stream Length Gradient Index)

به تغییرات قدرت جریان و شیب رودخانه

بستگی دارد و از آن برای ارزیابی روابط بین جنبش و فعالیت

زمین ساختی با مقاومت سنگ و توپوگرافی استفاده می شود.

سنگ های مقاوم و نامقاوم می توانند در میزان شاخص SL

تاثیرگذار باشند به عبارت دیگر در حوضه هایی که جنس

سنگ ها مقاوم می باشد شاخص SL افزایش می یابد و در

مناطق که سنگ ها نامقاوم و سست باشند مقدار SL نیز کاهش

می یابد. (Keller and Pinter, 2002). شاخص شیب - طول

جدول ۵- مقادیر اندازه گیری شده برای تعیین مولفه شیب - طول جریان رود (SL)

Table 5. Measured values to determine the dip - river length (SL) component

Kermejegan	ΔH (m)	ΔL (m)	L (m)	SL (m)	Kaha	ΔH (m)	ΔL (m)	L (m)	SL (m)
1,2	20	402	10746	534.62	1,2	20	359	13530	753.76
2,3	20	512	10105	394.72	2,3	20	286	11660	815.38
3,4	20	299	8800	588.62	3,4	20	257	9874	768.40
4,5	20	171	7972	932.39	4,5	20	210	7347	699.71
5,6	20	169	4520	534.91	5,6	20	153	5258	687.31
Fordo	ΔH (m)	ΔL (m)	L (m)	SL (m)	6,7	20	220	3528	320.72
1,2	20	497	25863	1040.737	7,8	20	188	2099	223.29
2,3	20	525	24567	935.88	8,9	20	148	1905	257.43
3,4	20	425	23446	1103.34	9,10	20	190	1800	189.47
4,5	20	501	21212	846.78	Sarm	ΔH (m)	ΔL (m)	L (m)	SL (m)
5,6	20	492	19574	795.69	1,2	20	842	14905	354.03
6,7	20	397	16904	851.58	2,3	20	971	12870	265.08
7,8	20	420	13750	654.76	3,4	20	1006	11621	231.03
8,9	20	611	9991	327.03	4,5	20	1101	9489	172.37
9,10	20	461	7834	339.86	5,6	20	1250	6740	107.84
10,11	20	401	6042	301.34	6,7	20	1306	4321	66.17
11,12	20	518	4292	165.71	7,8	20	1360	3091	45.45
12,13	20	392	1859	94.84	8,9	20	1278	1728	27.04

همانطور که ملاحظه می‌شود کمترین شاخص‌ها مربوط به

$$Smf = Lmf / Ls$$

(رابطه ۵)

زیر حوضه صرم می‌باشد که ناشی از لیتولوژی موجود در منطقه (رس و سیلت) است. کم بودن مقاومت این سنگ‌ها می‌تواند دلیلی بر پایین بودن شاخص SL باشد. بالا بودن شاخص SL در زیرحوضه‌های کرمجگان، فردو و کهک نشان‌دهنده پویا بودن آن نواحی می‌باشد بیشترین مقادیر SL مربوط به زیرحوضه فردو می‌باشد و این در حالی است که بخش وسیعی از این حوضه بر روی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن (توف و ماسه سنگ توفی) قرار دارد که نشان دهنده افزایش فعالیت زمین‌ساختی می‌باشد.

۳-۶- خمیدگی پیشانی کوهستان (Smf):
شاخص خمیدگی پیشانی کوهستان (Mountain Front Sinuosity) به صورت زیر تعریف شده است:

Smf خمیدگی پیشانی کوهستان، Lmf طول پیشانی کوهستان و Ls طول خط مستقیم پیشانی کوهستانی است. خمیدگی پیشانی کوهستان شاخصی است برای انعکاس توازن بین نیروهای فرسایشی که تمایل به ایجاد ساختمان سینوسیتهی دارند و زمین ساخت که تمایل به ایجاد خط مستقیم در پیشانی کوهستانی را دارند، می‌باشد. پیشانی‌های کوهستانی مرتبط با زمین ساخت پویا و بالاآمدگی نسبتاً مستقیم بوده و دارای مقادیر پایین Smf هستند. این مولفه نیز در منطقه برای زیر حوضه‌ها محاسبه گردید که مقادیر آن در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول ۶- مقادیر اندازه‌گیری شده برای محاسبه مولفه خمیدگی پیشانی کوهستان (Smf) در منطقه مورد مطالعه

Table 6. Measured values to calculate the sinuosity component of the mountain forehead (Smf) in the study area

	Sarm	Fordo	Kahak	Kermejejan
Lmf (km)	17.02	24.33	13.92	10.87
Ls(km)	10.04	22.33	12.55	10.01
Smf	1.63	1.08	1.10	1.08

۳-۷- نیمرخ طولی رودخانه (LP):
آبراهه اصلی به رودخانه‌ای گفته می‌شود که در خط القعر جریان داشته و رواناب زیرحوضه‌های مختلف (آبراهه‌های فرعی) به آن می‌ریزد. طول رودخانه اصلی در محدوده کل حوضه مورد مطالعه ۴۵/۸۹ کیلومتر بدست آمده است. نیمرخ طولی رودخانه (Longitudinal Profile) در واقع نموداری است که در آن ارتفاع کف رودخانه بر حسب مسافت طی شده از ابتدای هر آبراهه نمایش داده می‌شود و به عبارت دیگر ترسیم منحنی تغییرات طول مسیر رودخانه نسبت به ارتفاع از یک مبنا در افق می‌باشد که از روی آن شیب رودخانه را نیز می‌توان بدست آورد. هرچه مقدار طول رود بیشتر باشد رودخانه مورد نظر کمتر تحت تاثیر لیتولوژی بستر خود می‌باشد و بالعکس (Chen et al., 2003).

۳-۸- شیب حوضه آبریز (BD):

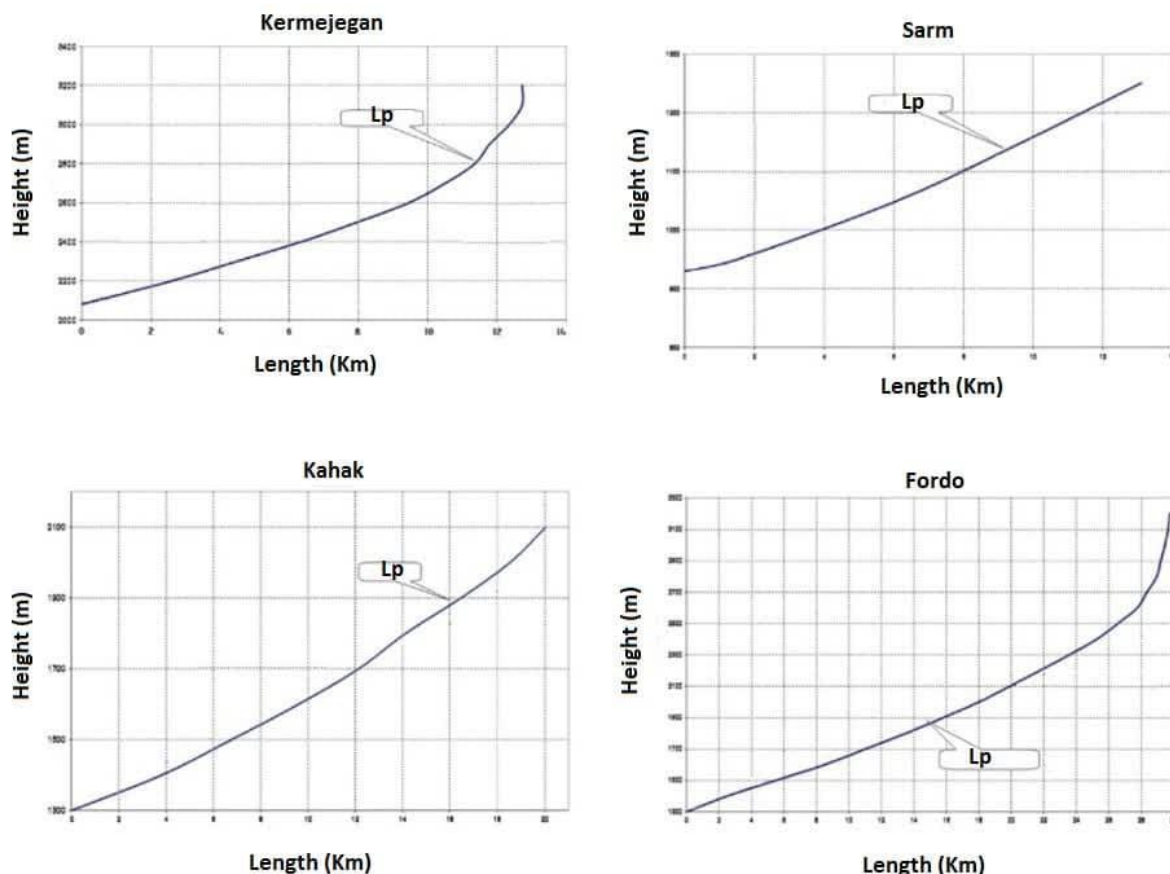
در این مطالعات جهت محاسبه مشخصات آبراهه اصلی و پروفیل جریان ابتدا فایل‌های رقومی به محیط Arcview منتقل گردید. با داشتن کنتورهای حوضه و تقاطع آن با مسیر رودخانه، به کمک Extension خاصی به نام Profile Generator، پروفیل‌های طولی برای هر یک از زیر حوضه‌ها و

حوضه اصلی ترسیم گردید (شکل ۴). نقاط مورد استفاده برای پروفیل محل تقاطع آبراهه‌ها با خطوط تراز می‌باشد.

$$s_i = \left(\frac{\Delta h_i}{w_i} \right) * 100$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i \cdot a_i)}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

(رابطه ۶)



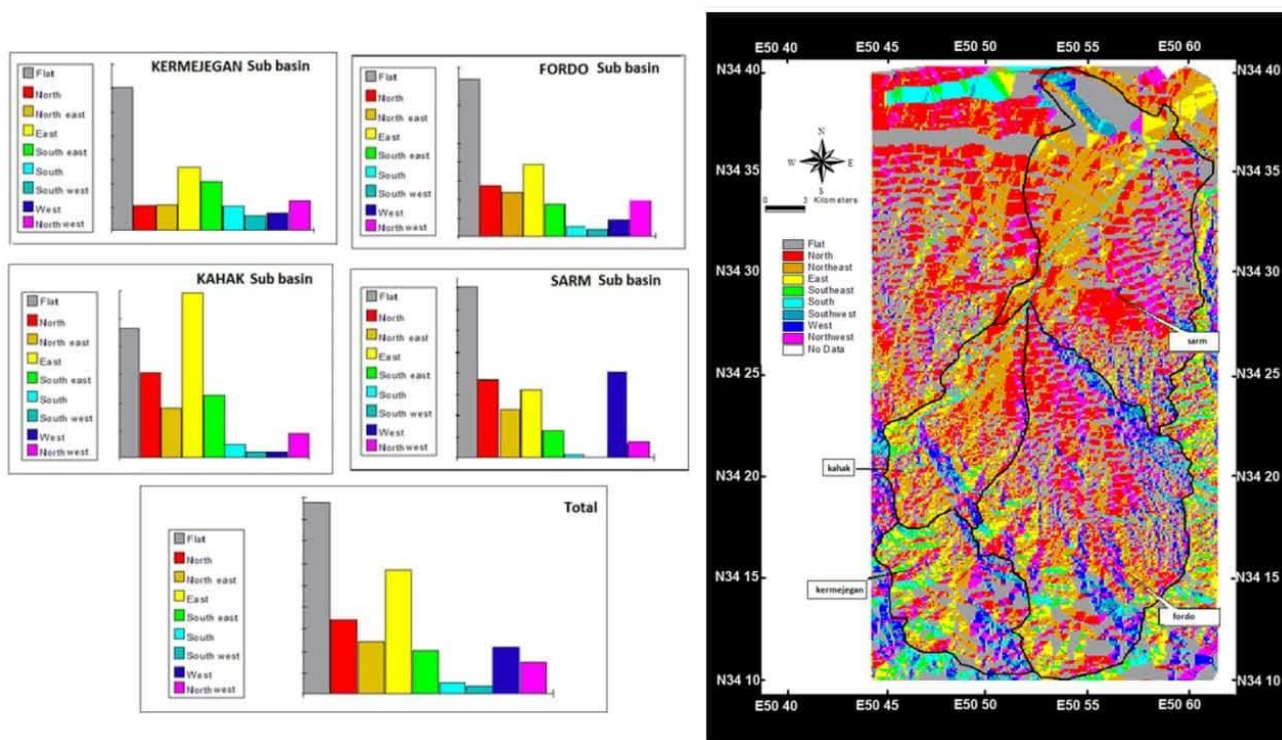
شکل ۴- وضعیت نیمرخ طولی رودخانه در زیر حوضه‌ها
Fig. 4. The longitudinal profile of the river in the sub-basins

داده‌های زیرحوضه‌های مورد بررسی جهت تعیین مقدار شیب متوسط در جدول شماره (۷) ذکر شده‌اند. بر اساس محاسبات بیشترین میزان شیب حوضه در زیر حوضه کرمجگان و کمترین شیب حوضه در زیر حوضه صرم به دست آمده است. همچنین با توجه به اینکه در نقشه رقومی (DEM) حوضه، تمام نقاط تعریف شده دارای ارتفاع می‌باشند، لذا می‌توان بر حسب اختلاف ارتفاع و یا شیب حداکثر از یک نقطه به نقطه دیگر جهت جریان آب را تعیین و نقشه مورد نظر را با استفاده از Arc view ترسیم نمود (شکل ۵).

که در آن:
S: شیب متوسط کل حوضه
Si: شیب جزئی هر نوار واقع بین دو خط ترازمتوالی به درصد
 Δh_i : اختلاف ارتفاع بین دو خط تراز متوالی به کیلومتر
Wi: عرض متوسط (فاصله افقی) میان دو خط تراز متوالی با یکدیگر به کیلومتر
ai: مساحت جزئی هر نوار به کیلومترمربع

جدول ۷- مقادیر شیب در زیرحوضه‌های محدوده مورد مطالعه
Table 7. Dip values in the sub-basins of the studied area

Total basin	Sarm	Fordo	Kahak	Kermejegan	Sub-basin
18.85	9.57	23.27	13.16	37.12	Mean Slop(Horton)



شکل ۵- نقشه جهت بندی شیب محدوده مورد بررسی و نمودار ستونی از نسبت مساحت حوضه اصلی و زیرحوضه‌ها به تفکیک جهت‌های ۸ گانه شیب

Fig. 5. Dip orientation map of the investigated area and a column chart of the area ratio of the main basin and sub-basins according to the 8 directions of the dip

در این رابطه BI طول حوضه و BW عرض حوضه، است. مقادیر بزرگ این شاخص (بزرگتر از ۴) مربوط به حوضه‌های کشیده در نواحی پویا زمین‌ساختی است و مقادیر کوچک آن (کمتر از ۳) حوضه‌های دایره‌ای شکل نواحی غیر پویا را نشان می‌دهند (Keller and Pinter, 2002). مقدار شاخص شکل حوضه منطقه مورد مطالعه در جدول شماره (۸) نشان داده شده است.

جدول ۸- مقادیر شاخص شکل حوضه برای زیرحوضه‌های منطقه مورد بررسی

Table 8. Basin shape index values for the sub-basins of the studied area

	Sarm	Fordo	Kahak	Kermejegan
BI (km)	23.11	24.62	15.61	12.27
BW(km)	7.89	5.43	4.09	3.02
BS	2.92	4.53	3.81	4.04

ژئومورفولوژیکی ساختارهای کواترنر محدوده نیز نشان‌دهنده فعال بودن آنها می‌باشد. (Babaahmadi et al., 2010). این ساختارها در قالب ساختارهای شکننده نظیر گسل‌ها و ساختارهای شکل پذیر نظیر چین خوردگی‌ها شناسایی،

۹-۳- شکل حوضه آبریز (BS)

برای تعیین شاخص شکل حوضه (Drainage Basin Shape Index) تصویر افقی شکل حوضه به وسیله نسبت کشیدگی آن بنا بر رابطه زیر توصیف می‌شود (El Hamdouni et al., 2008):

$$BS = BI / BW \quad (\text{رابطه ۷})$$

۴- بررسی‌های ساختاری منطقه:

در محدوده مورد مطالعه، سامانه‌های پیچیده‌ای از گسل‌های معکوس و امتدادلغز که، نقش عمده‌ای در دگرشکلی پوسته قاره‌ای ایفا می‌کنند، وجود دارد. شواهد ساختاری و

پایانه جنوبی این سیستم گسلی، تناوب توده‌های نیمه نفوذی گابرویدوریتی و توف‌های ماسه‌ای می باشد که در جنوب شهر نراق و باختر گسل بیدهند رخمون دارد. برای پی بردن به وضعیت دگرریختی در این منطقه آگاهی داشتن از پتروگرافی سنگ‌های آذرین منطقه را ایجاب می کند.

۵- تحلیل ساختاری

مطالعات صورت گرفته این پژوهش در منطقه مورد مطالعه و در راستای تحلیل هندسی و جنبشی سامانه گسل بیدهند بیانگر این است که ساختارهای اصلی منطقه (چین خوردگی ها و گسل ها) تقریباً منطبق با روند اصلی پهنه ارومیه - دختر در مقیاس ناحیه ای است. این روند در توده های نفوذی که با آرایش خطی در اطراف گسل بیدهند رخمون دارند دیده می شود. ساختارهای موجود در منطقه مورد مطالعه نمی توانند بر اثر یک رژیم دگرشکلی برشی محض ایجاد شده باشند، بلکه در رژیم دگرشکلی برشی ساده بویژه در دگرشکلی برشی ساده همراه با فشارش، ایجاد شده اند. در دگرشکلی برشی ساده محور چین خوردگی ها از ابتدا تا انتهای دگرشکلی روند ثابتی نداشته و تابع راستگرد و یا چپگرد بودن مولفه برشی دگرشکلی، به ترتیب چرخش راستگرد و یا چپگرد در آنها صورت می گیرد. در منطقه مورد مطالعه نیز محور چین ها یک امتداد ثابت نداشته و بسته به موقعیت آنها در منطقه و نزدیکی با گسل متفاوت بوده و در برخی از آنها خمیدگی و چرخش مشهود است که ناشی از حرکت برشی توام با فشارش در منطقه می باشد. همچنین ساختار کلی ریخت شناسی گسل با پایانه های فشاری (Z) شکل است که با زمین ساخت ترافشارش راستگرد پهنه ارومیه- دختر سازگار است.

۶- رده بندی فعالیت زمین ساخت نسبی (Iat)

هر یک از مولفه‌های مورد بحث یک رده بندی نسبی از فعالیت‌های زمین ساختی فراهم می‌آورد و می‌توان منطقه را به نواحی خیلی پویا و پویا تقسیم بندی کرد. بکارگیری همزمان چند شاخص کمی و همچنین استفاده شاخص‌های کیفی نتایج معتبرتری را نسبت به استفاده از هر یک از این شاخص‌ها به طور جداگانه ارائه می‌دهد.

در این تحقیق با توجه به بررسی‌های مولفه‌های زمین ریخت شناسی و تغییرات شاخص‌های زمین ریختی رده بندی ویژه ای جهت بدست آوردن نرخ فرازش و زمین ساخت

بررسی و اندازه گیری شده‌اند. گسل‌های موجود در منطقه باعث ایجاد تغییرات ناگهانی در روند لایه بندی ها و چین خوردگی ها شده‌اند. ساختارهای ایجاد شده در منطقه به واسطه عملکرد جنبش‌های فشاری - برشی فاز آلفین پایانی، شامل ساختارهایی باروند تقریبی شمال باختری- جنوب خاوری (نظیر: گسل قیز قلعه، سامانه گسلی بیدهند، گسل و تاقدیس خضر و تاقدیس قلعه چم) و ساختارهایی با روند خاوری - باختری (مانند ناودیس قیز قلعه و تاقدیس کهک) می‌باشند (Nadri, 2007).

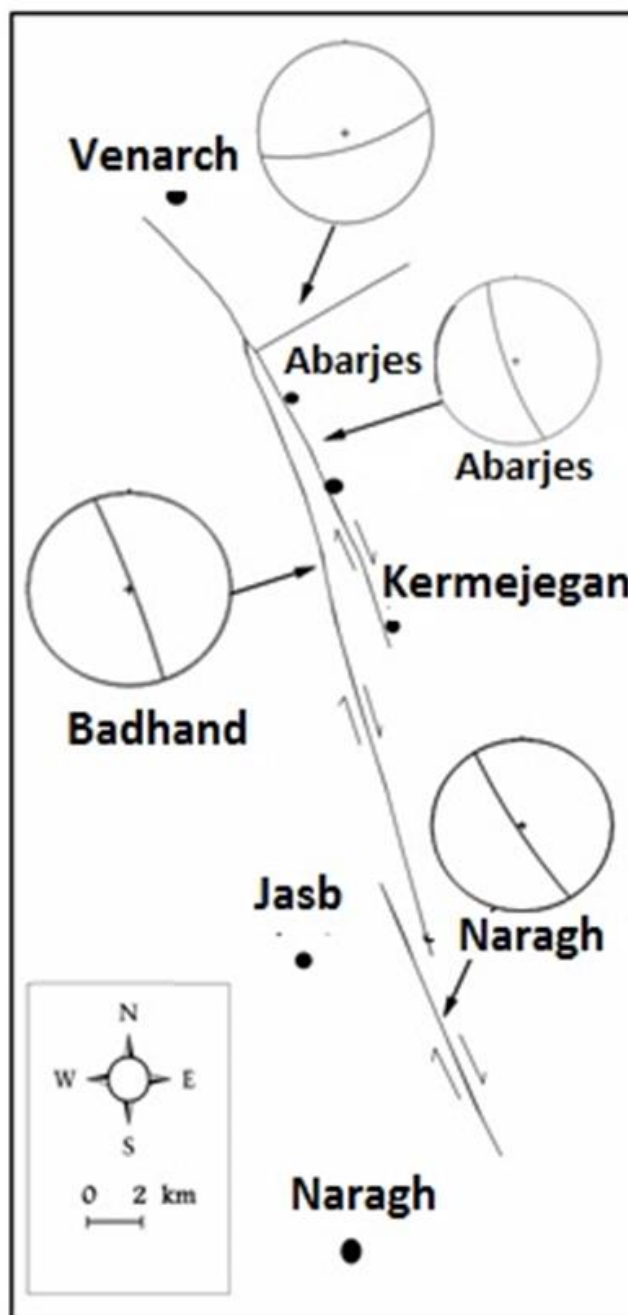
۴-۱- سامانه گسل بیدهند

این گسل در منطقه مورد مطالعه به طول ۳۸ کیلومتر طول دارد. روند گسل شمال باختری - جنوب خاوری است. گسل دارای ظاهری پیوسته است ولی با بررسی‌های صورت گرفته مشخص گردید که از سه قطعه گسلی با روند و طول‌های متفاوتی که نسبت به هم دارای آرایش راست پله ای هستند، تشکیل شده است که با اسامی قطعه ابرجس (پایانه شمالی گسل)، قطعه بیدهند (بخش میانی گسل) و قطعه نراق (پایانه جنوبی گسل) معرفی شده‌اند (شکل ۶). انحراف و چرخش قطعه گسلی ابرجس باعث پیدایش فضاهای کششی در محل خمیدگی گشته که منجر به تزریق توده سینیتی لوکوکرات در میان لایه‌های توفی ائوسن شده است. در طول پایانه شمالی عملکرد گسل منجر گردیده تا رودخانه‌ها سنگ بستر خود را بصورت عمیق حفر کرده و حجم زیادی از رسوبات کواترنر را بصورت بادبزن‌های آبرفتی بوجود آورده که بر اثر فعالیت سامانه گسلی دچار بالآمدگی شده‌اند (Nadri, 2007).

قطعه گسلی ابرجس واحدهای ولکانیکی آندزیتی - بازالتی مربوط به ائوسن را قطع کرده است و قطعه گسلی بیدهند در ادامه واحدهای توف سبز رنگ همراه با میان لایه- های ماسه سنگی را قطع می کند و تا حوالی جاسب در حدود ۳۰ کیلومتر این گسل امتداد دارد و قطعه بیدهند را تشکیل می دهد. میزان جابجایی واحدهای سنگی در اثر حرکت این قطعه گسلی با آزمون N165 از طریق دنبال کردن واحد سنگ آهک ماسه‌ای، به عنوان لایه کلیدی در طی عملیات- های صحرائی و همچنین با کمک نقشه و عکس‌های هوایی منطقه، در حدود ۱۶ کیلومتر تخمین زده شد (Nadri, 2007). مهمترین پدیده مورد بررسی در قطعه نراق به عنوان

خیلی پویا از نظر فعالیت‌های نسبی زمین‌ساختی می‌باشند و زیرحوضه صرم جزء نواحی پویا می‌باشند.

پویا در گستره مورد مطالعه ارائه گردید که در جدول شماره (۹) بصورت خلاصه نشان داده شده است. بر این اساس زیرحوضه‌های کرمجگان، فردو و کهک جزء حوضه‌های



شکل ۶- نقشه ساختاری ساده شده از قطعه میانی گسل بیدهند و قطعات آن که دارای وضعیت راست پله هستند تصاویر استریونت نیز روند قطعات گسلی را نشان می‌دهد (Nadri, 2007).

Fig. 6. Simplified Structural map of the middle part of the Bidhand fault and its parts that have the right step position Stereonet images also show the trend of faulted parts (Nadri, 2007).

جدول ۹- رده بندی زمین ساخت پویا نسبی در منطقه

Table 9. Relatively active tectonic classification in the region

Sub- basin	Quantitive Component							Qualitative Component		
	Hi	AF	T	SL	Smf	BD	BS	Structural Element	lithology	Iat
Kermejegan	0.526	43.05	0.45	High	1.08	37/12	4.04	Folding and bedhand Fault	Andesite, basalt, tuff and sandstone	Very active
Kahak	0.335	45.24	0.73	High	1.10	13/16	3.81	Folding and bedhand Fault	Marl and interbedded limestone layers	Very active
Fordo	0.341	39.91	0.64	High	1.08	23/27	4.53	Folding and bedhand Fault	tuff and andesitic lavas	Very active
Sarm	0.243	51.33	0.47	Low	1.63	9/57	2.92	Folding	Conglomerate, clay, gypsum-bearing marls, interbedded sandstone layers.	Active

۷- نتیجه گیری

با توجه به بررسی های مولفه های کمی و ساختاری و همچنین بررسی سایر پارامترهای زمین ساخت جنبا در ناحیه مورد نظر نتایج زیر بدست آمده است:

نرخ فعالیت های زمین ساخت جنبا در حوضه جنوب قم یکسان نیست. بر این اساس در چهار زیر حوضه تعریف شده مقادیر کمی و کیفی شاخص ها متفاوت می باشد. این تفاوت به موقعیت زیرحوضه ها در پهنه های زمین ساختی منطقه نیز در ارتباط است. زیر حوضه صرم در پهنه زمین ساختی ایران مرکزی واقع شده است که ۱/۳ مساحت کل حوضه جنوب قم را در برمی گیرد و ۲/۳ دیگر از مساحت کل حوضه جنوب قم شامل زیرحوضه های کرمجگان، فردو و کهک می باشد که در زیرپهنه ارومیه - دختر واقع شده اند. نتایج بررسی های صورت گرفته با استفاده از فاکتور تقارن توپوگرافی عرضی بیانگر کج شدگی تمامی زیرحوضه ها می باشد. زیرحوضه فردو دارای بیشترین میزان کج شدگی به سمت خاور و زیرحوضه صرم کمترین میزان

کج شدگی به سمت باختر می باشند. مقادیر بالای شاخص انتگرال فراسنجی در زیرحوضه کرمجگان را می توان به دلیل به وجود سامانه گسلی امتدادلغز بیدهند دانست. این گسل با روند شمال باختر جنوب خاور منجر به قطع شدگی پهنه ماگمایی ارومیه - دختر به سن ائوسن و واحدهای سازند قرمز فوقانی به سن میوسن شده است. نتایج بررسی های صورت گرفته بر مبنای شاخص شکل حوضه آبریز بیانگر این است که زیر حوضه های کرمجگان و فردو از نظر شکل ظاهری دارای کشیدگی بیشتری بوده و بنابراین فعالیت زمین ساخت نسبی بالاتری را نسبت به زیر حوضه کهک دارند و همچنین زیر حوضه صرم نیز دچار عریض شدگی شده و از شکل کشیدگی خارج شده است. بنابراین دارای کمترین مقدار فعالیت زمین ساخت نسبی می باشد.

بنابراین زیرحوضه های کرمجگان، فردو و کهک جزء حوضه های خیلی پویا از نظر فعالیت های نسبی زمین ساختی می باشند و زیرحوضه صرم جزء نواحی پویا به حساب می آید.

مراجع

- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological survey of Iran, P. 586 (in Persian).
 Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. Tectonophysics 229, 211-238. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2)

- Babaahmadi, A., Safaei, H., Yassaghi, A., Vafa, H., Naeimi, A., Madanipour, S., 2010. A study of Quaternary structures in the Qom region, West Central Iran. *Journal of Geodynamics* 50, 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.04.006>
- Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, 210-265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>
- Bull, W.B., 1978. Geomorphic tectonic activity classes of the south front of the San Gabriel Mountains, California. U.S. Geological Survey Contract Report 14-08- 001-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes, and Engineering, Menlo Park, Calif., P. 59.
- Chen, Y.H., J.R. Miller, J.A. Francis, G.L. Russell, Aires, F., 2003. Observed and modeled relationships among Arctic climate variables. *Journal of Geophysical Research* 108, 1-13, <https://doi.org/10.1029/2003JD003824>.
- 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, 150–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Emami, M.H., 1991. Description of the geological map of Qom Quadrangle, Scale: 1: 250,000. Geological Survey of Iran. p. 179
- Hack, J.T., 1973. Stream Profiles analysis and stream gradient index. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey* 1(4), 421-429.
- Keller, E., Pinter, N., 2002. Active tectonics, Earth quakes, uplift and landscape, Earth sciences series, prentice-Hall, Newjersey. P. 384.
- Mohajjel, M. 2000 Role of the en-echelon extensional spaces in intrusive of igneous rocks in Kashan-Ardestan area, a pattern for formation of the Urmia-Dokhtar magmatic arc. 19th Geosciences Congress, Geological Society of Iran, Tehran (in Persian).
- Nadri, R., 2007. Geometry and Kinematic Analysis of Bidhand Fault System (South of Qom), MSc. thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (in Persian).
- Nogol-e Sadat, M.A.A. 1978 Shear zones and structural bending in Iran, Achievements of structural analysis of Qom area. Report no.55. Geological Society of Iran, Tehran (in Persian).
- Schumm, S.A., 1977. *The Fluvial System*. Wiley, New York. P. 338.
- Seno, T., Stein, S., Gripp, A.E., 1993. A model for the motion of the Philippine Sea plate consistent with NUVEL-1 and geological data. *Journal of Geophysical Research* 98, 17941–17948. <https://doi.org/10.1029/93JB00782>
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63(11), 1117-1142. <https://doi.org/10.1130/0016-7606>.
- Yamani, M., Bagheri, S., Jafari Aghdam, M., 2010, The effect of Neotectonic on the waterway morphology of Cheleh drainage basin (Western Zagros), *Geographical Environment* 1, 23-39 (in Persian with English abstract).