



## Research Article

### Evaluating the effects of neotectonic activities on basin shape Indices (Case study: Zanjanrud sub-basins)

Mojtaba Yamani<sup>\*1</sup> , Abolghasem Gourabi<sup>1</sup>, Shirin Mohammad khan<sup>1</sup>, Seyed Javad Hoseini<sup>1</sup>  
1-Department of Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 14 Aug 2023 Accepted: 25 Nov 2023

## Extended Abstract

### Introduction

Rivers are very sensitive to changes in discharge and sediment load as well as tectonic forces. Many of the changes that occur over time in the morphology of the channel can be related to the mentioned changes. Morphometric analysis is the first step understanding the basin dynamic activity. Combined variables and indicators can be effective in identifying the complications and surface landform of river channels and show their temporal and spatial changes. In addition, in addition, geomorphological indices (Morphotectonic indices) are considered to be very useful methods in evaluating and recognizing tectonic activities and can provide quantitative results and quantitative description of morphometric features in The basin scale can be used to explain the structural controls, geological history and geomorphology and processes of its drainage network. In addition, the morphometric parameters of the basin play an important role in the hydrological processes governing the basin because it largely determines their hydrological response.

### Materials and Methods

Zanjanrud is the main river basin completely limited to the area of Zanjan province. The river originates from the heights of Soltanieh in the east and flows to the northwest and finally in the west of Rajein village it joins Qizil-Uzen. Regard to the objectives of the research, first, using the DEM of the basin (ASTER-DEM: 30m), the extractable sub-basins was identified in the WMS software environment. In this step the number of 107 sub-basins could be separated, of which 52 sub-basins were selected based on the minimum area of approx. 20 Km<sup>2</sup> for the evaluation and analysis of shape indices and tectonic. These sub-basins were named according to the outstanding settlement inside them. After determining the shape indices and estimating and comparing the state of neotectonic of the sub-basins, a field survey was conducted to closely examine and validate the findings.

### Results and Discussion

At the first, the shape of the studied sub-basins was quantified using different indices. Then, the morphology of the sub-basins was evaluated using different shape indices and then the

**Citation:** Yamani, M. et al, 2024. Evaluating the effects of neotectonic activities on basin shape Indices, *Res. Earth. Sci.*: 15(2), (25-42) DOI: 10.48308/esrj.2023.104054

\* Corresponding author E-mail address: myamani@ut.ac.ir





different indices were checked in terms of correlation in terms of the results related to tectonic activity. Finally, the neotectonic of the sub-basins has been estimated using the results of the shape indices and the data related to the faults. The results show that the Kazbar sub-basin is most elongated sub-basin, which together with 7 sub-basins with very high elongation rate are located in the western half of the Zanzanrud basin.

The frequency of sub-basins with the shape index 2 to 3 is in the SE half of the basin. Out of the 8 sub-basins with shape index less than 2 in the eastern half of Zanzanrud basin, 1 sub-basin is located in the northern part and 7 sub-basins are located in the southern part of the basin, which can be seen in the SE half. The upstream sub-basin is not included in the classification due to the unusual shape that cannot be compared with other sub-basins.

### Conclusion

The results of classification of the indices shows that the accumulation of sub-basins with high rate of elongation and as a result with high neotectonic activity is in the NW part of Zanzanrud basin and especially in the northern side of this part.


Out of the 51 sub-basins, the concentration of 8 sub-basins with mean index of higher than 5 and a total of 16 sub-basins with an average shape index higher than 3.5, indicates the highest level of neotectonic mobility in this part of the basin. This finding is consistent with the region's latest map of active faults, in which the frequency of faults (including the Sohrein fault, the Qaracherian fault and the Kenavand fault) is in the NW part of the basin.

According to the study results of the shape of the sub-basins, the SW side of the Zanzanrud basin has an average level of neotectonic activity. This finding, along with the results related to the NW part, can strengthen the hypothesis that the western half of the basin is more active than its eastern half. The neotectonic mobility in SE side of the basin is moderate and is higher than NE part of the basin. As previous studies have shown, many faults are involved in the morphology of the region.

**Keywords:** Zanzanrud, Sub-basin, Shape Index, Neotectonic.



## ارزیابی اثرات فعالیت‌های نو زمین ساخت بر نمایه‌های شکل حوضه (مطالعه موردی: زیر حوضه‌های زنجان رود)

مجتبی یمانی\*<sup>۱</sup> , ابوالقاسم گورابی<sup>۱</sup>، شیرین محمدخان<sup>۱</sup>، سیدجواد حسینی<sup>۱</sup>

۱- گروه جغرافیایی طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۲۳ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۰۴

### چکیده گسترده

#### مقدمه

رودخانه‌ها نسبت به تغییرات دبی و بار رسوب و همچنین نیروهای زمین‌ساختی بسیار حساس هستند. بسیاری از تغییراتی که در طول زمان در مورفولوژی کانال رخ می‌دهد، می‌تواند به تغییرات مذکور مرتبط باشد. تجزیه و تحلیل مورفومتری اولین گام در جهت درک پویایی حوضه است. متغیرهای ترکیبی و شاخص‌ها می‌توانند در شناسایی عوارض و لندفرم سطحی مؤثر باشند. شاخص‌های ژئومورفولوژیکی از روش‌های بسیار مفید در ارزیابی و شناخت فعالیت‌های زمین‌ساختی به شمار می‌آیند و توصیف کمی ویژگی‌های مورفومتریک در مقیاس حوضه می‌تواند برای تبیین کنترل‌های ساختاری، تاریخچه زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی و فرایندهای شبکه زهکشی آن استفاده شود. علاوه بر این، پارامترهای مورفومتریک حوضه نقش مهمی در فرایندهای هیدرولوژیکی حاکم بر حوضه ایفا می‌کنند زیرا تا حد زیادی پاسخ هیدرولوژیکی آن‌ها را معین می‌کند.

#### مواد و روش‌ها

حوضه زنجان رود با شیب متوسط حدود ۰/۵ درصد از شرق به حوضه ابهر رود، از شمال و غرب به حوضه رود قزل‌اوزن و از جنوب نیز به حوضه سجاس رود منتهی می‌شود و حدود آن در شمال و جنوب به ترتیب کوه‌های طارم و سلطانیه می‌باشند. این رودخانه دائمی بوده و از ارتفاعات سلطانیه در شرق سرچشمه گرفته و به سوی شمال غرب از جنوب شهر زنجان عبور می‌کند و در نهایت در ۳ کیلومتری غرب روستای رجعین به قزل‌اوزن می‌ریزد. در راستای اهداف پژوهش، ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری حوضه (ASTER-DEM: 30m) لایه زیرحوضه‌های قابل استخراج در محیط نرم‌افزار WMS تهیه گردید که تعداد ۱۰۷ زیر حوضه قابل تفکیک بود که ۵۲ زیر حوضه بر مبنای حداقل مساحت حدود ۲۰ کیلومتر مربع برای استخراج و تحلیل نمایه‌های شکل و زمین‌ساخت جدا و بر مبنای آبادی شاخص داخل زیر حوضه با عنوان همان آبادی نام‌گذاری شد. پس از استخراج نمایه‌های شکل حوضه و برآورد و مقایسه وضعیت نو زمین‌ساخت حوضه‌ها، جهت بررسی از نزدیک و صحت‌سنجی یافته‌ها، بررسی میدانی صورت پذیرفت.

استناد: یمانی، م. و همکاران، ۱۴۰۳. ارزیابی اثرات فعالیت‌های نو زمین‌ساخت بر نمایه‌های شکل حوضه، پژوهش‌های دانش زمین: ۱۵(۲)،

DOI: 10.48308/esrj.2023.104054 (۲۵-۴۲)

E-mail: myamani@ut.ac.ir

\* نویسنده مسئول:



## نتایج و بحث

در راستای اهداف تعیین شده برای مطالعه حاضر، ابتدا شکل زیرحوضه‌های مورد مطالعه با استفاده از نمایه‌های مختلف کمی سازی شد. سپس وضعیت ظاهری زیرحوضه‌ها با استفاده از نمایه‌های مختلف شکل حوضه ارزیابی و در ادامه نمایه‌های مختلف شکل حوضه از نظر همخوانی در نتایج مربوط به زمین ساخت بررسی شدند. در نهایت نیز نو زمین ساخت زیرحوضه‌ها با بهره‌گیری از نتایج نمایه‌های شکل حوضه و اطلاعات مربوط به گسل‌های منطقه برآورد شده است. طبق ارقام به دست آمده نمایه‌ها، زیر حوضه کزبر دارای بیشترین حد کشیدگی است که به همراه ۷ زیر حوضه با کشیدگی بسیار بالا در نیمه غربی حوضه زنگان رود تجمع یافته‌اند. از میان ۱۸ زیر حوضه با نمایه شکل ۲ تا ۳، فراوانی زیرحوضه‌های این رده از نمایه شکل در نیمه جنوب شرقی حوضه بیشتر است. از تعداد ۸ زیر حوضه با نمایه شکل کمتر از ۲ در نیمه شرقی حوضه زنگان رود ۱ زیر حوضه در پهنه شمالی و ۷ زیر حوضه در پهنه جنوبی حوضه قرار دارند که در نیمه جنوب شرقی متمرکز شده‌اند. زیر حوضه موسوم به بالادست به دلیل پوشش سرشاخه‌های حوضه در مقیاس وسیع و نامتداول بودن شکل و در نتیجه قابل قیاس نبودن آن با سایر زیرحوضه‌ها، در طبقه‌بندی لحاظ نشده است.

## نتیجه‌گیری

نتیجه حاصل از طبقه‌بندی نمایه‌ها نشان داد که تمرکز زیرحوضه‌های با کشیدگی و در نتیجه با تحرک نوزمین ساختی بالا در محدوده شمال غربی حوضه زنگان رود و به ویژه در پهنه شمالی این قسمت از حوضه است. این یافته تحقیق با آخرین نقشه تهیه شده از گسل‌های فعال منطقه همخوانی دارد که در آن تمرکز گسل‌های فرعی (از جمله گسل سهرین، گسل قره‌چریان و گسل کنوند) در قسمت شمال غربی حوضه می‌باشد. طبق نتایج به دست آمده از بررسی شکل حوضه‌ها، ضلع جنوب غربی حوضه زنگان رود دارای سطح متوسط فعالیت نو زمین ساخت است که این یافته در کنار نتایج مربوط به قسمت شمال غربی می‌تواند تقویت کننده فرضیه فعال تر بودن نیمه غربی حوضه زنگان رود نسبت به نیمه شرقی آن باشد. ضلع جنوب شرقی حوضه نیز دارای سطح تحرک زمین ساختی متوسط بوده و نسبت به پهنه شمال شرقی حوضه تحرک نوزمین ساختی بالاتری دارد. همان طور که پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده‌اند گسل‌های متعددی در مورفولوژی منطقه دخیل هستند.

**واژگان کلیدی:** زنگان رود، زیر حوضه، نمایه شکل، نو زمین ساخت.

## مقدمه

تحول ژئومورفولوژیکی چشم‌اندازها است (Valkanou et al, 2021). رودخانه‌ها نسبت به تغییرات دبی و ویژگی‌های بار رسوب و همچنین نیروهای زمین ساختی بسیار حساس هستند. بسیاری از تغییراتی که در طول زمان در مورفولوژی کانال رخ می‌دهد، ممکن است به تغییرات مذکور مرتبط باشد. برای نمونه گسترش محلی مئاندر، شکل شاخه‌شاخه مجرای رود، پهن و باریک شدن بستر و غیره از جمله تغییراتی هستند که در اثر تغییرات دبی و بار رسوب رخ می‌دهد. اغلب تفکیک اثرات ناشی از زمین ساخت پویا از تغییرات دبی رود و ویژگی‌های بار رسوب آن روی

نوزمین ساخت ۱ عبارت است از مطالعه رویدادهای زمین ساختی جوان (تغییر شکل پوسته فوقانی) که طی کوهزایی نهایی (حداقل در مورد کوهزایی‌های اخیر) یا به عبارت دقیق تر طی آخرین سازمان دهی مجدد مهم آن در منطقه- ای رخ داده یا هنوز در حال وقوع است (Pavlidis, 1989). نوزمین ساخت تکاپوی ساختارهای فعال فعلی و همچنین برخی از ساختارهای نئوژن را که ممکن است دیگر فعال نباشند، شامل می‌شود. تغییر شکل نوزمین ساختی همراه با آب‌وهوا و جنس سنگ بستر عوامل کنترل کننده تکوین و

طیف‌سنج پیشرفته فضا برد بازتابی و گسیل گرمایی (ASTER) و مدل رقومی ارتفاعی جهانی (GDEM) به ارزیابی زمین‌ساخت فعال ۲۷ زیر حوضه گنگا (حوضه گنگ- براهماپوترا) براساس شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. هاریانتو و همکاران (Haryanto et al, 2018) وضعیت زمین‌ساخت فعال حوضه میان قوسی لس- گاروت ۳ در غرب جاوا را با استفاده از دو شاخص مورفولوژیکی سینوزیته جبهه کوهستان و عدم تقارن ۴ ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های سینوزیته پیشانی کوهستان از ۱/۱ تا ۳/۹ متغیر بوده و شاخص عدم تقارن حوضه طیف وسیعی از اثرات زمین‌ساختی فعال را حتی با کمی کج‌شدگی نشان می‌دهد. هرلکار (Herlekar, 2018) کنترل‌های نوزمین‌ساختی حوضه زهکشی واقع در گات‌های ۵ غربی هند را با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک ارزیابی و به این نتیجه رسید که بسط روش فوق می‌تواند شرح مفصلی از تکامل مورفوتکتونیک ساحل غربی هند را امکان‌پذیر سازد. ولسویویچ (Wołosiewicz, 2018) وضعیت مورفوتکتونیک حوضه آبریز بیالکا در کارپات مرکزی را با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و تجزیه و تحلیل مورفومتری بررسی کرد و به این نتیجه رسید که بین ویژگی اصلی زمین‌ساختی و لندفرم‌ها در منطقه مورد مطالعه رابطه وجود دارد. شریفی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از ۷ شاخص ژئومورفیک به بررسی مورفومتری و ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساخت حوضه آبریز صدرآباد تفت پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در پلیو-کواترنر گسل‌ها فعالیت داشته و تغییرات زیادی را در نیمرخ طولی رودخانه، بالآمدگی کوه‌ها، شکل حوضه و تغییرات در سطح رسوبات به وجود آورده‌اند. بابایی و همکاران (Babaei et al, 2019) فعالیت زمین‌ساختی حوضه‌های ناحیه مراغه را با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک و GIS ارزیابی کردند. در این تحقیق منطقه مورد مطالعه به لحاظ سطح فعالیت زمین‌ساختی پهنه‌بندی شده است. مقصودی و همکاران (Maghsoudi et al, 2020) با مقایسه وضعیت زمین‌ساخت فعال دو حوضه حبله‌رود و کردان به نتیجه رسیدند که هر دو حوضه مذکور فعال هستند ولی حوضه کردان در مقایسه با حوضه حبله‌رود فعال‌تر است. رضائی مقدم و همکاران (Rezaei Moghaddam et al, 2020) با استفاده از مدل تحلیل خوشه‌ای و شاخص‌های مورفومتری

مورفولوژی رودخانه در روی زمین کار بسیار دشواری است (Momipour, 2015). تجزیه و تحلیل مورفومتری ۲ اولین گام در جهت درک پویایی حوضه است و توصیفی کمی از سیستم زهکشی آن، عوارض توپوگرافی و سایر ویژگی‌های ذاتی مانند شکل، ابعاد و غیره ارائه می‌دهد. توسعه شبکه زهکشی و تکامل ویژگی‌های مورفولوژیکی آن عمدتاً توسط لیتولوژی و ساختمان زمین کنترل می‌شود. متغیرهای ترکیبی و شاخص‌ها در شناسایی عوارض و لندفرم سطحی می‌توانند مؤثر باشند (Goorabi, 2023). شاخص‌های ژئومورفولوژیکی از روش‌های بسیار مفید در ارزیابی و شناخت فعالیت‌های زمین‌ساختی کند و سریع به شما می‌آیند (Yamani et al, 2018) و توصیف کمی ویژگی‌های مورفومتریک در مقیاس حوضه می‌تواند برای تبیین کنترل‌های ساختاری، تاریخچه زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی و فرایندهای شبکه زهکشی آن استفاده شود. علاوه بر این، پارامترهای مورفومتریک حوضه نقش مهمی در فرایندهای هیدرولوژیکی حاکم بر حوضه ایفا می‌کنند زیرا تا حد زیادی تعیین کننده پاسخ هیدرولوژیکی آن‌ها هستند. ماهیت پویای رواناب با ساختار ژئومورفولوژیکی حوضه (شکل، شیب‌های تند و غیره) کنترل می‌شود و به ویژگی‌های مورفومتریک آن واکنش نشان می‌دهد (Psomiadis et al, 2020). تاکنون پژوهش‌های بسیاری درباره وضعیت نوزمین‌ساخت حوضه‌ها با استفاده از شاخص‌های هندسی و مورفومتریک صورت گرفته است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به بوچک و گورنیک (Buczek and Górnik, 2020) اشاره کرد که با استفاده از ۶ شاخص ژئومورفیک شاخص‌های گرادیان طولی رودخانه (SL)، شاخص عدم تقارن (Af)، نسبت شکل حوضه (Bs)، انتگرال هیپسومتری (Hi)، نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf) و همچنین سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)، وضعیت فعالیت زمین‌ساختی ۷۸ حوضه زهکشی واقع در رشته‌کوه‌های کارپات غربی در کشور لهستان را بررسی کردند. سینگ و همکاران (Singh et al, 2021) با استفاده از شاخص‌های مذکور نشانه‌های نوزمین‌ساختی و توالی رویدادهای مورفوتکتونیک را در بدلندهای حوضه مانداکینی واقع در هندوستان بررسی کردند. از مهم‌ترین خروجی‌های این پژوهش طبقه‌بندی رویدادهای زمین‌ساختی در محدوده مورد مطالعه بوده است. آناند و پرادان (Anand and Pradhan, 2019) با استفاده از

در بررسی میزان فعالیت تکتونیکی حوضه‌های آبریز مورد استفاده قرار نگرفته ولی می‌توانند در زمینه شناسایی تأثیر نو زمین‌ساخت بر شکل حوضه‌ها بر مبنای نظریه تکتونیک فعال حوضه‌های کشیده در کنار سایر شاخص‌های نئوتکتونیکی مورد بررسی قرار گیرند. طی دو دهه گذشته یا بیشتر، شاهد گرایش روزافزون به مورفومتری حوضه‌های رودخانه‌ای در ژئومورفولوژی زمین‌ساختی هستیم که این امر حداقل به دو شیوه قابل توجیه است. نخست، حوضه‌های رودخانه‌ای نمایانگر واحدهای مرجع با مرزهای مشخص هستند که شاخص‌های مورفومتری مربوط به نمای پلان مانند گردی یا کشیدگی حوضه و تغییرات ارتفاعی (به عنوان مثال انتگرال هیپسومتری، ناهمواری نسبی، میانگین شیب) را می‌توان به روشنی نسبت داد. دوم، توسعه توپوگرافی رقومی و پیشرفت سریع نرم‌افزارهای تخصصی که به استخراج آسان، سریع و عینی این حوضه‌ها کمک می‌کند، دلیل دیگر این موضوع است (Różycka and Migoń, 2018). نمایه شکل حوضه اغلب یکی از شاخص‌های رایج برای برآورد وضعیت زمین‌ساخت و نوزمین‌ساخت حوضه‌ها است. زنجان‌رود به عنوان حوضه اصلی منحصر به پهنه استان زنجان از اهمیت به‌سزایی در منطقه برخوردار است و بستر سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌ها و فعالیت‌های بسیاری است. به این سبب برآورد وضعیت زمین‌ساخت قسمت‌های مختلف این منطقه در قالب زیرحوضه‌ها امکان مقایسه و پهنه‌بندی آن از نظر سطح پویایی زمین‌ساخت را فراهم می‌سازد. در پژوهش حاضر از نمایه‌های مختلف شکل حوضه در مورد زیرحوضه‌های زنجان‌رود استفاده شده و بنابراین اهداف پژوهش حاضر عبارتند از: الف) کمی‌سازی شکل زیرحوضه‌های مورد مطالعه، ب) ارزیابی وضعیت ظاهری زیرحوضه‌ها با استفاده از نمایه‌های مختلف شاخص شکل حوضه، پ) بررسی کارایی و همخوانی نمایه‌های شکل حوضه در ارزیابی وضعیت نو زمین‌ساخت و درنهایت، ت) برآورد وضعیت نو زمین‌ساخت زیرحوضه‌ها با بهره‌گیری از نتایج ارزیابی نمایه‌های شکل حوضه و اطلاعات مربوط به گسل‌های منطقه.

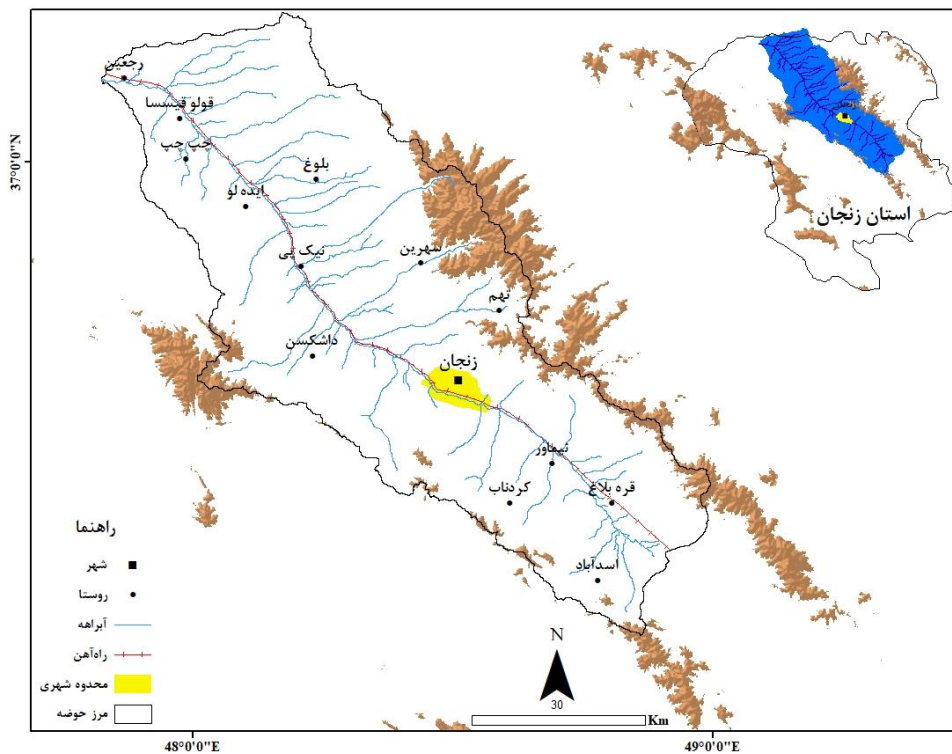
#### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز زنجان‌رود با شیب متوسط حدود ۰/۵ درصد از شرق به حوضه ابهر رود، از شمال و غرب به حوضه رود

به بررسی زمین‌ساخت فعال حوضه آبریز تلوار پرداختند. براساس شاخص‌های به کار رفته در این پژوهش، در اکثر زیرحوضه‌های حوضه تلوار زمین‌ساخت فعال و نسبتاً فعال حاکم است. یآوری‌فرد و همکاران (Yavarifard et al, 2021) فعالیت زمین‌ساختی اخیر حوضه‌های آبریز طالقان-الموت و بخشی از حوضه‌های آستانه و منجیل را با استفاده از ۷ شاخص ژئومورفولوژی بررسی و پهنه‌بندی کردند و به این نتیجه رسیدند که به‌طور کلی فعالیت زمین‌ساختی نسبی اخیر منطقه بالا و بسیار بالا است که به دلیل فعالیت گسل‌های موجود بوده است. همان‌طور که نمونه پژوهش‌های ذکر شده نشان می‌دهد، اغلب بررسی‌ها از چند شاخص مورفومتریک و ژئومورفیک برای بررسی وضعیت زمین‌ساختی و به‌ویژه نوزمین‌ساختی حوضه‌ها و مناطق استفاده کرده‌اند و شکل حوضه به عنوان یکی از این شاخص‌ها مورد استفاده بوده است. ازجمله پژوهش‌هایی که بر شکل حوضه در ارزیابی زمین‌ساخت تمرکز داشته می‌توان به آبدیده و همکاران (Abdideh et al, 2011) اشاره کرد. در پژوهش مذکور زمین‌ساخت فعال حوضه رودخانه دز با استفاده از تحلیل مورفومتری بررسی شده و این نتیجه حاصل شده که گستره مورد مطالعه دارای نرخ‌های متفاوتی از فعالیت زمین‌ساخت است. پژوهش دیگری که بر شکل حوضه به عنوان شاخص مستقل تمرکز داشته، بررسی صورت گرفته توسط گورابی و کیارستمی (Goorabi and Kiarostami, 2020) بوده است. در رابطه با حوضه زنجان‌رود، جعفری (Jafari, 2017) با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی و طبقه‌بندی ارقام برآورد شده از این شاخص‌ها در سه کلاس ۱ تا ۳ (فعال تا غیرفعال) به این نتیجه رسیده که حوضه زنجان‌رود از نظر زمین‌ساختی در گروه فعال قرار می‌گیرد. زالی (Zali, 2015) با به کارگیری روش ژئوفیزیکی و نوزمین‌ساختی سازوکار سامانه گسلی شمال‌غرب زنجان را بررسی کرده است. بدوزاده (Badoozadeh, 2018) وضعیت جنبش گسل شمال زنجان و شواهد آن را به روش کتابخانه‌ای و میدانی بررسی کرده و نقش مؤثر آن را در چهره کلی منطقه تأیید کرده است. در پژوهش مذکور، با استفاده از نمایه‌های مختلف شکل حوضه، تأثیر حرکات نو زمین‌ساخت روی شکل حوضه بررسی شده است. پژوهشگران مذکور در پایان خاطر نشان کرده‌اند که با وجود اینکه این نمایه‌ها به‌جز نمایه نسبت شکل حوضه تاکنون

گسل سلطانیه و گسل‌های فرعی دیگر وجود دارد که حوضه زنجان‌رود و زیرحوضه‌های آن متأثر از آن‌ها هستند (شکل ۲). عرصه پژوهش شامل بخش‌های عمده حوضه در قالب زیرحوضه‌های اصلی زنجان‌رود است. برای بررسی ارتباط شکل حوضه‌ها و زمین‌ساخت شاخص‌های ژئومورفیک استفاده شده که شاخص شکل یکی از آن‌ها است. پژوهش حاضر برای نخستین بار کل زیرحوضه‌های زنجان‌رود را از منظر زمین‌ساخت و نمایه‌های شکل حوضه‌ها مورد بررسی قرار داده است تا همبستگی نمایه‌های مختلف شکل حوضه و کارایی آن‌ها و سپس وضعیت زمین‌ساخت حوضه را در قسمت‌های مختلف آن مشخص نماید.

قزل‌اوزن و از جنوب نیز به حوضه سجاس‌رود منتهی می‌شود و حدود آن در شمال و جنوب به ترتیب کوه‌های طارم و سلطانیه می‌باشند (شکل ۱). این رودخانه دائمی بوده و با طول ۱۴۲ کیلومتر از ارتفاع ۱۷۸۰ متری ارتفاعات شهرستان سلطانیه در ۳۸ کیلومتری شرق زنجان سرچشمه گرفته و دره پهناور زنجان‌رود را به سوی شمال‌غرب طی می‌کند. زنجان‌رود از جنوب شهر زنجان عبور می‌کند و به موازات جاده زنجان- تبریز و راه‌آهن ایران- ترکیه به سوی شمال‌غرب به جریان خود ادامه می‌دهد و در نهایت در ۳ کیلومتری غرب روستای رجعین به قزل‌اوزن می‌ریزد. در پهنه استان زنجان دو خط گسلی اصلی شمال زنجان و



شکل ۱: حوضه زنجان‌رود

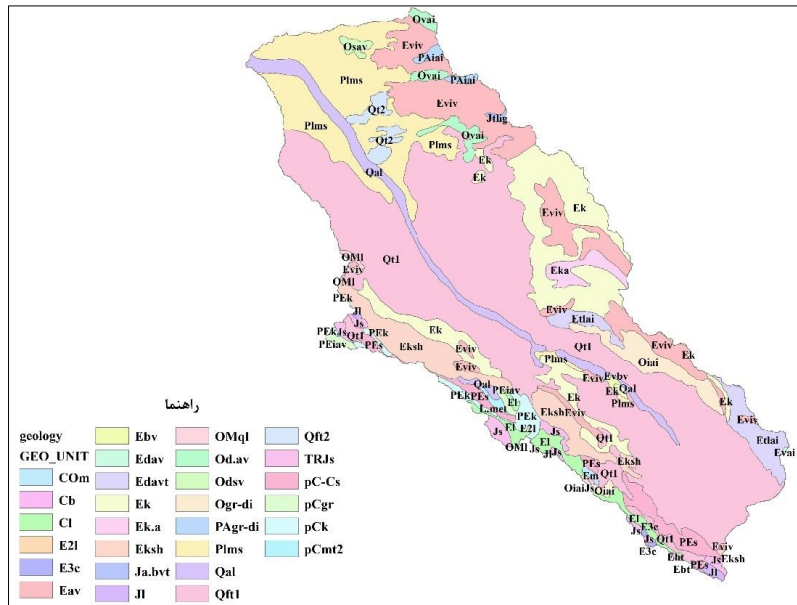
رخمون‌هایی از سنگ‌های اولیگومیوسن منطقه میانه و ردیف‌های چین نخورده پلیو- پلستوسن را نیز دید. ناحیه به شدت تغییر شکل یافته زنجان بین دو کمربند چین-خورده- رانده البرز در شمال و زاگرس در جنوب واقع است. جابجایی عوارض ژئومورفولوژیک در طول گسل‌های اصلی این ناحیه بیانگر آن است که همگرایی ورقه‌های عربستان و اوراسیا عمدتاً توسط گسل‌های امتداد لغز راست‌گرد با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق مستهلک گردیده است. همچنین به نظر می‌رسد این گسل‌ها ادامه جنوب‌شرقی گسل شمال

#### وضعیت زمین‌ساخت منطقه

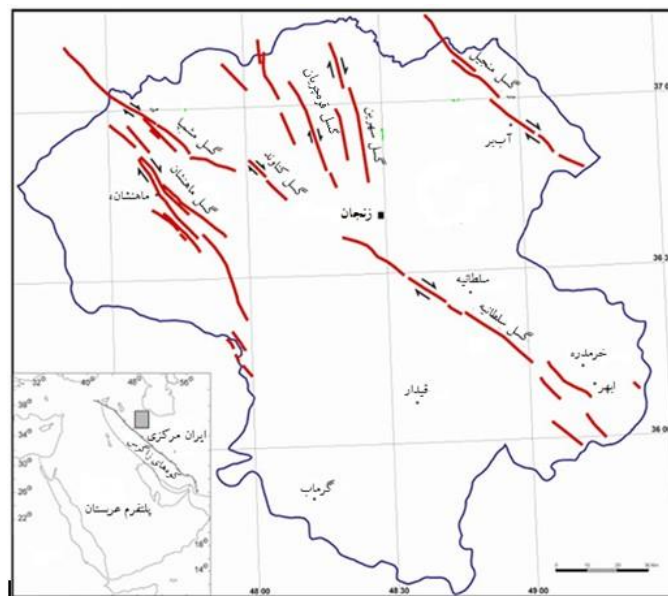
منطقه مورد مطالعه از لحاظ تقسیم‌بندی واحدهای زمین-شناسی و ساختمانی ایران زیرمجموعه واحد ساختمانی البرز- آذربایجان غربی در نظر گرفته شده است. حوضه زنجان‌رود در دشت کم‌عرض زنجان- ابهر واقع شده که با آبرفت‌های کواترنری پوشیده شده است. این حوضه نوعی فرونشست زمین‌ساختی است که با توجه به شواهد موجود، در حاشیه با توالی ضخیم توف‌های سازند کرج به سن ائوسن پوشیده شده است ولی در شمال‌غرب زنجان می‌توان

های فعال استان راستای شمال‌غرب- جنوب‌شرق دارند و شواهد ژئومورفولوژیکی دلالت بر وجود یک سیستم امتدادلغز راست‌گرد در منطقه دارد (Sobooti et al, 2017). نقشه لیتولوژی و گسل‌های فعال منطقه در شکل ۲ و شکل ۳ نشان داده شده است.

تبریز و دیگر گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد شمال‌غرب ایران و جنوب‌شرق ترکیه باشند. بخش‌هایی از پهنه ایران مرکزی نیز در محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود. به‌طور کلی این منطقه یک ناحیه با تغییر شکل شدید قرار گرفته بین دو کمربند کوهزایی البرز و زاگرس است. بیشتر گسل



شکل ۲: سازندهای زمین‌شناسی زنگان رود



شکل ۳: گسل‌های فعال استان زنگان. برگرفته از ثبوتی و همکاران (Sobooti et al, 2017)

می‌باشد. همچنین با بهره‌گیری از داده‌های میدانی یافته‌ها اعتبارسنجی و تکمیل شده است. در همین راستا برای بررسی و مقایسه کمی زیرحوضه‌ها از نظر شکل و ارزیابی وضعیت نوزمین‌ساخت، ابتدا اقدام به بررسی اسناد و

## مواد و روش‌ها

روش پژوهش تحلیلی و مستند به داده‌های اسنادی و مؤلفه‌های کمی برای تفکیک زیرحوضه‌ها و سپس بررسی شکل آن‌ها جهت تحلیل ارتباط شکل با زمین‌ساخت



متفاوت به لحاظ شکل و نو زمین‌ساخت، بررسی میدانی انجام شد. در راستای اهداف پژوهش، ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری حوضه (ASTER-DEM: 30m) لایه زیرحوضه‌های قابل استخراج در محیط نرم‌افزار WMS تهیه گردید و بر این اساس تعداد ۱۰۷ زیر حوضه قابل تفکیک بود که ۵۲ زیر حوضه بر مبنای حداقل مساحت حدود ۲۰ کیلومترمربع برای استخراج و تحلیل نمایه‌های شکل و زمین‌ساخت جدا و بر مبنای آبدی شاخص داخل زیر حوضه با عنوان همان آبدی نام‌گذاری شد. این زیرحوضه‌ها در شکل ۴ و ویژگی‌های هندسی آن‌ها در جدول ۳ به ترتیب از بیشترین به کمترین مساحت نشان داده شده است. برآورد کمی شکل زیرحوضه‌ها با نمایه‌های شکل حوضه با استفاده از معادلات ارائه شده در جدول ۱ انجام گرفته است.

پژوهش‌های صورت گرفته درباره موضوع مورد مطالعه شد. برای این منظور از منابع موجود از جمله مقالات، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه‌ها و لایه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth بهره گرفته شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار WMS و مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۳۰ متری حوضه، زیرحوضه‌های حوضه آبریز زنگان‌رود به همراه شبکه زهکشی و برخی پارامترهای موردنیاز استخراج شد. لایه‌های خروجی از WMS برای ادامه بررسی و استخراج نمایه‌های دیگر وارد محیط ArcGIS گردید و با بهره‌گیری از سایر ابزارهای کمکی از جمله Microsoft Excel، محاسبات و برآوردهای تکمیلی و نهایی صورت گرفت. پس از استخراج نمایه‌های شکل حوضه و برآورد و مقایسه وضعیت نو زمین‌ساخت حوضه‌ها، جهت بررسی از نزدیک و صحت‌سنجی یافته‌ها، در مورد زیرحوضه‌های شاخص و بسیار

جدول ۱: نمایه‌های شکل مورد بررسی (برگرفته از اسلام و سرکار (Islam and Sarkar, 2022))

توضیحات	معادله نمایه	علامت نمایه	نام نمایه
BL: طول حوضه از بالاترین خط تقسیم آب تا خروجی	BL/BW	Bs*	شکل حوضه (Basin Shape)
BW: عرض حوضه در عریض‌ترین قسمت			
L: طول حوضه به کیلومتر	L2/A	Sf	ضریب شکل (Shape Factor)
A: مساحت حوضه به کیلومترمربع			
L: طول حوضه به کیلومتر	A/L2	Rf	ضریب فرم (Form Factor)
A: مساحت حوضه به کیلومترمربع			
P: محیط حوضه به کیلومتر	$0.28P/\sqrt{A}$	BC	ضریب فشردگی (Compactness Constant)
A: مساحت حوضه			
L: طول حوضه به کیلومتر	L/C2	Rc	نسبت دایره‌ای (Circulatory Ratio)
C2: مجذور ضریب فشردگی حوضه			
A: مساحت حوضه	$(A/0.786)0.5 \times l/Im$	Re	نسبت کشیدگی (Elongation Ratio)
Im: طول حوضه در جهت موازی طولانی‌ترین آبراهه			

\* علامت نمایه‌ها در منابع مختلف متغیر است.

(2017). به این ترتیب، با بررسی ارقام به دست آمده برای نمایه‌های مختلف در مورد حوضه‌های مختلف می‌توان به وضعیت کلی نو زمین‌ساخت در گستره حوضه‌ها پی برد و از این رو تحلیل و مقایسه عددی انجام داد.

ارتباط شکل حوضه و زمین‌ساخت در جدول ۲ خلاصه شده است. همان‌طور که در این جدول نیز قابل مشاهده است، به‌طور کلی کنترل زمین‌ساختی حوضه زهکشی در شکل کشیده حوضه منعکس می‌شود (Sharma and Sarma, )

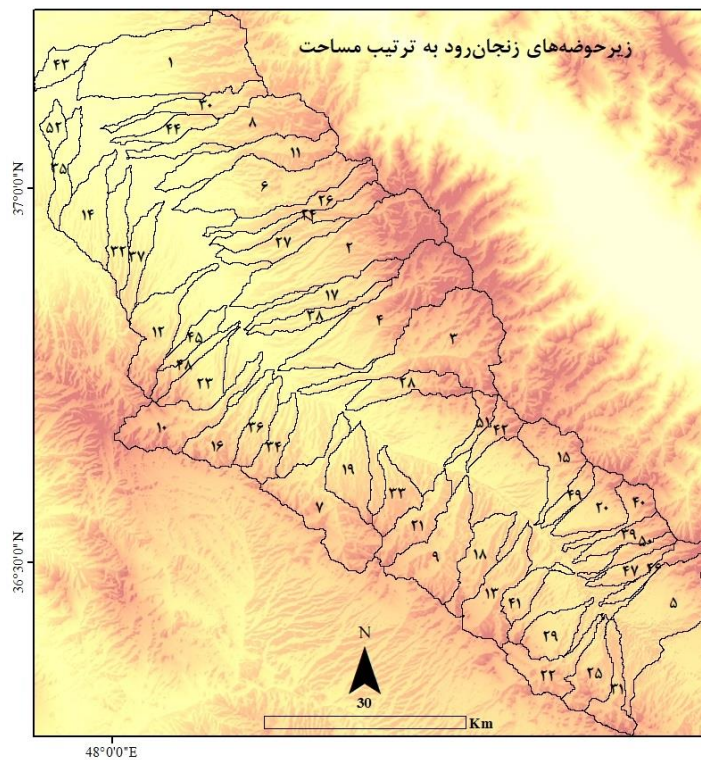
جدول ۲: ارتباط نمایه‌های شکل حوضه با زمین‌ساخت فعال. برگرفته از روزبکا و میگون (Różycka and Migoń, 2018)

توضیحات	نام نمایه
مقدار بالای این نمایه مشخصه حوضه‌های آبریز با شکل کشیده متأثر از فعالیت‌های نوزمین‌ساختی است.	شکل حوضه (Basin Shape)
مقادیر بالای این نمایه نشانگر کشیدگی و مقادیر پایین آن حاکی از گردش‌دهی حوضه است.	ضریب شکل (Shape Factor)
مقادیر پایین نشان‌دهنده حوضه‌های کشیده‌تر است که ادعا می‌شود در مناطق فعال تر زمین‌ساختی شکل می‌گیرد.	ضریب فرم (Form Factor)

ضریب فشردگی (گراویلیوس) (Compactness Constant)	ادعا شده که مقادیر پایین این نمایه بالاآمدگی مداوم (جاری) را نشان می‌دهد در حالی که مقادیر بالا برای حوضه‌های شکل گرفته در مناطق کمتر فعال در نظر گرفته می‌شود.
نسبت دایره‌ای (Circulatory Ratio)	مقادیر پایین‌تر متداول برای حوضه‌های کشیده که انتظار می‌رود در بلوک‌های با بالاآمدگی سریع شکل بگیرند.
نسبت کشیدگی (Elongation Ratio)	مقادیر پایین مربوط به حوضه‌های کشیده‌تر بوده، نشان‌دهنده سطح بالای فعالیت زمین‌ساختی است.

حوضه بوده و ارقام پایین آن نشان‌دهنده وجود فعالیت زمین‌ساختی مداوم حوضه است و ارقام بالای این نمایه ثبات و عدم جنبش نسبی زمین‌ساخت حوضه را نشان می‌دهد. استنتاج مربوط به دو نمایه نسبت گردی (Rc) و نسبت کشیدگی (Re) نیز همانند دو نمایه قبل است. به این معنا که ارقام پایین این نمایه‌ها نشان از پویایی زمین‌ساختی منطقه دارد که در الگوی کشیده حوضه بازتاب می‌یابد و برعکس، ارقام بالای این نمایه‌ها سطح پایین تحرک زمین‌ساختی منطقه را نشان می‌دهد که در الگوی پهن حوضه‌ها بازتاب یافته است. بر این اساس، جدول نتایج محاسبه نمایه‌ها (جدول ۴) برحسب بیشترین تا کمترین ارقام نمایه شکل حوضه مرتب شده تا امکان بررسی و مقایسه چگونگی همخوانی و همبستگی نمایه‌ها با یکدیگر فراهم باشد.

در راستای اهداف تعیین شده برای مطالعه حاضر، ابتدا شکل زیرحوضه‌های مورد مطالعه با استفاده از نمایه‌های مختلف کمی‌سازی شد. سپس وضعیت ظاهری زیرحوضه‌ها با استفاده از نمایه‌های مختلف شکل حوضه ارزیابی و در ادامه نمایه‌های مختلف شکل حوضه از نظر همخوانی در خروجی‌ها بررسی شدند. در نهایت نیز وضعیت نوزمین‌ساخت زیرحوضه‌ها با بهره‌گیری از نتایج ارزیابی نمایه‌های شکل حوضه و اطلاعات مربوط به گسل‌های منطقه برآورد شده است. در رابطه با دو نمایه شکل حوضه (Bs) و ضریب شکل (Sf)، هر چه ارقام به دست آمده بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده کشیده‌تر بودن حوضه خواهد بود درحالی‌که در مورد نمایه ضریب شکل یا فرم (Rf) عکس این رابطه صدق می‌کند و ارقام بالای این نمایه بیانگر حالت پهن‌شدگی حوضه است. رابطه ضریب کشیدگی یا گراویلیوس (Bc) نیز همانند نمایه ضریب مورفولوژی (فرم)



شکل ۴: زیرحوضه‌های حوضه زنجان رود (اسامی زیرحوضه‌ها طبق ردیف جدول ۳ و ۴ است).

جدول ۳: ویژگی‌های هندسی زیرحوضه‌های زنجان رود

ردیف	زیر حوضه	مساحت (Km <sup>2</sup> )	عرض (Km)	طول (Km)	محیط (Km)	ردیف	زیر حوضه	مساحت (Km <sup>2</sup> )	عرض (Km)	طول (Km)	محیط (Km)
۱	سرچم	۲۳۲/۹۴	۱۲/۵۶	۲۷/۸۲	۹۴/۲۳	۲۷	آمالو	۵۲/۹۶	۴/۹۵	۲۱/۶۴	۶۱/۹۱
۲	نیک‌پی	۲۱۲/۶۸	۹/۷۳	۳۴/۲۵	۱۰۸/۶۱	۲۸	همایون	۵۱/۷۱	۵/۰۲	۱۹/۱۵	۵۹/۶۰
۳	تهم	۱۹۸/۹۰	۱۶/۲۴	۳۲/۱۷	۱۱۶/۰۴	۲۹	ارجین	۵۰/۰۲	۶/۹۴	۱۲/۸۶	۴۳/۸۲
۴	سهرین	۱۹۸/۱۷	۱۰/۰۹	۳۲/۵۱	۱۰۶/۸۴	۳۰	چومالو	۴۷/۷۳	۴/۵۵	۲۵/۴۵	۷۳/۹۸
۵	بالادست	۱۵۲/۸۷	۱۱/۰۸	۱۷/۶۸	۹۱/۳۲	۳۱	ویر	۴۶/۲۱	۷/۳۸	۱۷/۶۴	۶۰/۶۰
۶	کهاب	۱۴۱/۵۴	۹/۳۶	۳۰/۴۷	۹۰/۸۹	۳۲	گمش‌آباد	۴۶/۱۸	۳/۶۵	۱۹/۷۹	۵۳/۰۵
۷	والارود	۱۳۷/۸۶	۱۵/۵۴	۲۴/۱۰	۱۰۰/۲۸	۳۳	سلمانلو	۴۴/۷۶	۷/۳۷	۱۳/۴۳	۴۸/۱۵
۸	قیطور	۱۱۴/۵۳	۷/۷۸	۳۰/۸۳	۹۵/۰۰	۳۴	امین‌آباد	۴۲/۹۱	۵/۶۱	۱۴/۴۴	۴۶/۶۳
۹	رامین	۱۰۶/۳۷	۱۰/۷۳	۱۹/۵۱	۷۵/۷۵	۳۵	چوروک علیا	۴۰/۶۱	۳/۷۳	۱۸/۶۹	۵۳/۴۰
۱۰	یامچی	۹۳/۹۸	۸/۷۸	۲۵/۵۰	۸۷/۴۱	۳۶	اسفجین	۴۰/۱۸	۴/۰۶	۱۴/۹۴	۴۳/۱۰
۱۱	اکبرآباد	۹۱/۹۰	۶/۰۵	۲۸/۲۴	۸۷/۴۵	۳۷	سردهات	۳۹/۹۶	۳/۶۴	۱۹/۰۴	۵۱/۷۷
۱۲	بیزوشا	۸۳/۱۶	۸/۴۱	۲۲/۴۶	۷۶/۵۰	۳۸	کزبر	۳۵/۶۰	۳/۱۰	۲۲/۹۸	۶۳/۵۷
۱۳	نیماور	۷۸/۴۰	۸/۳۱	۱۹/۳۵	۶۸/۳۷	۳۹	کاکا آباد	۳۴/۶۲	۳/۹۱	۱۵/۳۵	۴۶/۱۶
۱۴	چپ چپ	۷۴/۵۴	۷/۷۴	۱۷/۹۶	۵۷/۶۷	۴۰	یوسف آباد	۳۴/۴۳	۶/۸۱	۱۶/۲۲	۵۵/۸۸
۱۵	ذاکر	۷۰/۰۰	۹/۵۴	۱۵/۸۲	۶۲/۰۵	۴۱	مشک آباد	۳۲/۱۳	۴/۸۰	۱۲/۲۴	۴۵/۲۸
۱۶	دانش‌کسن	۶۴/۹۴	۷/۳۴	۱۸/۲۳	۶۰/۰۸	۴۲	زرنان	۳۰/۸۲	۵/۶۸	۱۲/۵۲	۴۴/۹۹
۱۷	لگاهی	۶۳/۶۳	۴/۳۹	۲۵/۷۵	۷۲/۸۶	۴۳	رجعین	۳۰/۷۸	۵/۰۶	۱۱/۱۶	۳۴/۱۰
۱۸	بولاماجی	۶۳/۵۸	۵/۸۰	۱۸/۴۳	۶۱/۳۳	۴۴	فیله خاصه	۲۹/۵۶	۳/۸۲	۱۶/۵۸	۴۵/۶۵
۱۹	کوشکن	۶۲/۵۵	۷/۰۵	۱۵/۳۴	۴۸/۷۰	۴۵	دره‌لیک	۲۸/۱۵	۳/۴۱	۱۴/۱۴	۴۱/۸۵
۲۰	مروارید	۶۰/۵۷	۸/۷۰	۱۴/۰۳	۴۹/۱۱	۴۶	بویین	۲۷/۹۰	۳/۷۳	۱۸/۵۳	۵۶/۳۹
۲۱	حسن‌ابدال	۵۸/۷۰	۵/۸۶	۱۷/۳۰	۵۹/۴۷	۴۷	قره‌بلاغ	۲۷/۵۱	۳/۲۸	۱۴/۶۱	۴۱/۱۰
۲۲	کیود گنبد	۵۸/۳۴	۱۰/۵۳	۱۵/۹۷	۷۰/۷۹	۴۸	قره‌آغاج	۲۶/۷۲	۳/۵۳	۱۷/۴۸	۵۳/۳۲
۲۳	تلخاب	۵۷/۰۲	۶/۸۸	۱۶/۸۳	۵۳/۷۶	۴۹	اسکند	۲۵/۷۳	۳/۳۳	۱۲/۱۵	۳۷/۳۰
۲۴	جوره‌کندی	۵۶/۰۷	۴/۴۸	۲۸/۳۴	۸۳/۵۱	۵۰	خیر آباد	۲۱/۵۱	۲/۹۱	۱۵/۶۰	۴۶/۰۴
۲۵	سلطانیه	۵۵/۴۹	۷/۲۱	۱۴/۹۳	۵۲/۲۹	۵۱	جوره‌ناب	۲۱/۴۴	۴/۵۸	۱۳/۳۰	۴۳/۹۹
۲۶	سیف‌آباد	۵۴/۱۰	۴/۵۴	۲۷/۶۸	۸۰/۷۱	۵۲	چوروک سفلی	۱۸/۱۸	۴/۰۰	۸/۸۴	۲۶/۶۰

### بحث و نتایج

#### نمایه‌های شکل مرتبط با زیرحوضه‌های مورد مطالعه

طبق ارقام به دست آمده نمایه‌ها برای زیرحوضه‌ها، زیرحوضه کزبر (شماره ۳۸) دارای بیشترین حد کشیدگی است که این امر می‌تواند حاکی از بیشترین دخالت زمین ساخت فعال در این ناحیه باشد که به همراه ۷ زیر حوضه با کشیدگی بسیار بالا (زیرحوضه‌های چومالو (شماره ۳۰)، سیف‌آباد (شماره ۲۶)، جوره‌کندی (شماره ۲۴)، لگاهی (شماره ۱۷)، چوروک‌علیا (شماره ۳۵)، گمش‌آباد (شماره

۳۲) و سردهات (شماره ۳۷)) در نیمه غربی حوضه زنجان رود تجمع یافته‌اند. این وضعیت را می‌توان با تمرکز گسل‌های فرعی منطقه مطابقت داد (شکل ۳: گسل‌های فرعی سهرین، قره‌چریان، کنانود). قرار گرفتن ۵ زیر حوضه با نمایه شکل حوضه بالاتر از ۴ در پهنه شمال غرب حوضه زنجان‌رود (زیرحوضه‌های آمالو (شماره ۲۷)، اکبرآباد (شماره ۱۱)، فیله‌خاصه (شماره ۴۴)، قره‌آغاج (شماره ۴۸) و دره‌لیک (شماره ۴۵) نیز می‌تواند تقویت‌کننده این فرضیه باشد.

جدول ۴: نمایه‌های شکل زیرحوضه‌های زنجان‌رود

ردیف	زیرحوضه	Bs	Re	Rc	Bc	Ff	Sf	ردیف	زیرحوضه	Bs	Re	Rc	Bc	Ff	Sf
۱	سرچم	۲/۲۱	۰/۶۲	۷۸/۶۲	۰/۱۱	۰/۳۰	۳/۳۱	۲۷	آمالو	۲/۲۱	۰/۶۲	۷۸/۶۲	۰/۱۱	۰/۳۰	۳/۳۱
۲	نیک‌پی	۳/۵۲	۰/۴۸	۴۸/۹۱	۰/۱۴	۰/۱۸	۵/۵۱	۲۸	همایون	۳/۵۲	۰/۴۸	۴۸/۹۱	۰/۱۴	۰/۱۸	۵/۵۱
۳	تهم	۱۱/۹۸	۰/۴۹	۳۷/۴۸	۰/۱۶	۰/۱۹	۵/۲۰	۲۹	ارجین	۱۱/۹۸	۰/۴۹	۳۷/۴۸	۰/۱۶	۰/۱۹	۵/۲۰
۴	سهرین	۳/۲۲	۰/۴۹	۴۳/۸۸	۰/۱۵	۰/۱۹	۵/۳۳	۳۰	چومالو	۳/۲۲	۰/۴۹	۴۳/۸۸	۰/۱۵	۰/۱۹	۵/۳۳
۵	بالادست	۱/۶۰	۰/۷۹	۲۵/۷۴	۰/۱۷	۰/۴۹	۲/۰۵	۳۱	ویر	۱/۶۰	۰/۷۹	۲۵/۷۴	۰/۱۷	۰/۴۹	۲/۰۵
۶	کهاب	۳/۲۶	۰/۴۴	۳۰/۹۳	۰/۱۸	۰/۱۵	۶/۵۶	۳۲	گمش‌آباد	۳/۲۶	۰/۴۴	۳۰/۹۳	۰/۱۸	۰/۱۵	۶/۵۶
۷	والارود	۱/۵۵	۰/۵۵	۲۴/۱۱	۰/۲۰	۰/۲۴	۴/۲۱	۳۳	سلمانلو	۱/۵۵	۰/۵۵	۲۴/۱۱	۰/۲۰	۰/۲۴	۴/۲۱
۸	قبطور	۳/۹۶	۰/۳۹	۱۸/۵۴	۰/۲۳	۰/۲۳	۸/۲۰	۳۴	امین‌آباد	۳/۹۶	۰/۳۹	۱۸/۵۴	۰/۲۳	۰/۲۳	۸/۲۰
۹	رامین	۱/۸۲	۰/۶۰	۲۵/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۸	۳/۵۸	۳۵	چوروک علیا	۱/۸۲	۰/۶۰	۲۵/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۸	۳/۵۸
۱۰	یامچی	۲/۹۰	۰/۴۳	۱۴/۷۴	۰/۲۶	۰/۱۴	۶/۹۲	۳۶	اسفنجین	۲/۹۰	۰/۴۳	۱۴/۷۴	۰/۲۶	۰/۱۴	۶/۹۲
۱۱	اکبر‌آباد	۴/۶۷	۰/۳۸	۱۴/۰۹	۰/۲۷	۰/۱۲	۸/۶۸	۳۷	سردهات	۴/۶۷	۰/۳۸	۱۴/۰۹	۰/۲۷	۰/۱۲	۸/۶۸
۱۲	بیزوشا	۲/۶۷	۰/۴۶	۱۵/۰۷	۰/۲۶	۰/۱۶	۶/۰۷	۳۸	کزبر	۲/۶۷	۰/۴۶	۱۵/۰۷	۰/۲۶	۰/۱۶	۶/۰۷
۱۳	نیماور	۲/۳۳	۰/۵۲	۱۶/۷۷	۰/۲۴	۰/۲۱	۴/۷۷	۳۹	کاکا‌آباد	۲/۳۳	۰/۵۲	۱۶/۷۷	۰/۲۴	۰/۲۱	۴/۷۷
۱۴	چپ‌چپ	۲/۳۲	۰/۵۴	۲۱/۳۱	۰/۲۲	۰/۲۳	۴/۳۳	۴۰	یوسف‌آباد	۲/۳۲	۰/۵۴	۲۱/۳۱	۰/۲۲	۰/۲۳	۴/۳۳
۱۵	ذاکر	۱/۶۶	۰/۶۰	۱۶/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۸	۳/۵۷	۴۱	مشک‌آباد	۱/۶۶	۰/۶۰	۱۶/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۸	۳/۵۷
۱۶	دانش‌کسن	۲/۴۸	۰/۵۰	۱۴/۹۰	۰/۲۶	۰/۲۰	۵/۱۲	۴۲	زرنان	۲/۴۸	۰/۵۰	۱۴/۹۰	۰/۲۶	۰/۲۰	۵/۱۲
۱۷	لگاهی	۵/۸۶	۰/۳۵	۹/۷۳	۰/۳۲	۰/۱۰	۱۰/۴۲	۴۳	رجعین	۵/۸۶	۰/۳۵	۹/۷۳	۰/۳۲	۰/۱۰	۱۰/۴۲
۱۸	بولماچی	۳/۱۸	۰/۴۹	۱۳/۷۱	۰/۲۷	۰/۱۹	۵/۳۴	۴۴	فیله‌خاصه	۳/۱۸	۰/۴۹	۱۳/۷۱	۰/۲۷	۰/۱۹	۵/۳۴
۱۹	کوشکن	۲/۱۸	۰/۵۸	۲۱/۰۴	۰/۲۲	۰/۲۷	۳/۷۶	۴۵	دره‌لیک	۲/۱۸	۰/۵۸	۲۱/۰۴	۰/۲۲	۰/۲۷	۳/۷۶
۲۰	مروارید	۱/۶۱	۰/۶۳	۱۹/۴۰	۰/۲۳	۰/۳۱	۳/۲۵	۴۶	بویین	۱/۶۱	۰/۶۳	۱۹/۴۰	۰/۲۳	۰/۳۱	۳/۲۵
۲۱	حسن‌ابدال	۲/۹۵	۰/۵۰	۱۲/۴۳	۰/۲۸	۰/۲۰	۵/۱۰	۴۷	قره‌بلاغ	۲/۹۵	۰/۵۰	۱۲/۴۳	۰/۲۸	۰/۲۰	۵/۱۰
۲۲	کیودگنبد	۱/۵۲	۰/۵۴	۸/۶۶	۰/۳۴	۰/۲۳	۴/۳۷	۴۸	قره‌آغاج	۱/۵۲	۰/۵۴	۸/۶۶	۰/۳۴	۰/۲۳	۴/۳۷
۲۳	تلخاب	۲/۴۵	۰/۵۱	۱۴/۳۵	۰/۲۶	۰/۲۰	۴/۹۷	۴۹	اسکند	۲/۴۵	۰/۵۱	۱۴/۳۵	۰/۲۶	۰/۲۰	۴/۹۷
۲۴	جوره‌کندی	۶/۳۳	۰/۳۰	۵/۷۵	۰/۴۲	۰/۰۷	۱۴/۳۲	۵۰	خیر‌آباد	۶/۳۳	۰/۳۰	۵/۷۵	۰/۴۲	۰/۰۷	۱۴/۳۲
۲۵	سلطانیه	۲/۰۷	۰/۵۶	۱۴/۳۷	۰/۲۶	۰/۲۵	۴/۰۱	۵۱	جوره‌ناب	۲/۰۷	۰/۵۶	۱۴/۳۷	۰/۲۶	۰/۲۵	۴/۰۱
۲۶	سیف‌آباد	۶/۱۰	۰/۳۰	۵/۷۳	۰/۴۲	۰/۰۷	۱۴/۱۶	۵۲	چوروک سفلی	۶/۱۰	۰/۳۰	۵/۷۳	۰/۴۲	۰/۰۷	۱۴/۱۶

نمایه شکل بیشتر از ۵) و در نتیجه سطح پویایی نوزمین ساختی بسیار بالا، حوضه‌های کشیده (نمایه شکل ۵-۴) و سطح فعالیت زمین‌ساختی بالا، حوضه‌های نسبتاً کشیده (با نمایه شکل ۴-۳) و سطح تحرک زمین‌ساختی متوسط، حوضه‌های کمتر کشیده (با نمایه شکل ۳-۲) و سطح تحرک زمین‌ساختی پایین و در نهایت حوضه‌های کمترین کشیدگی نسبت به سایر زیرحوضه‌های منطقه (با نمایه شکل حداکثر ۲) و میزان پویایی زمین‌ساختی بسیار پایین. زیرحوضه موسوم به بالا دست (شماره ۵) به دلیل پوشش سرشاخه‌های حوضه در مقیاس وسیع و نامتداول بودن شکل و در نتیجه قابل قیاس نبودن آن با سایر زیرحوضه‌ها، در طبقه‌بندی لحاظ نشده است (شکل ۷).

از میان ۱۸ زیر حوضه با نمایه شکل ۲ تا ۳، تعداد ۱۲ زیرحوضه در پهنه جنوبی حوضه و ۶ زیر حوضه در پهنه شمالی آن واقع شده‌اند که فراوانی زیرحوضه‌های این رده از نمایه شکل در نیمه جنوب‌شرقی حوضه بیشتر است. از تعداد ۸ زیرحوضه با نمایه شکل کمتر از ۲ در نیمه شرقی حوضه زنجان‌رود (به استثنای زیرحوضه نام‌گذاری شده با عنوان بالادست (شمار ۵)) ۱ زیرحوضه در پهنه شمالی و ۷ زیرحوضه در پهنه جنوبی حوضه قرار دارند که در نیمه جنوب‌شرقی متمرکز شده‌اند. پراکنش زیرحوضه‌ها در چهار ضلع شمال‌غربی، جنوب‌غربی، شمال‌شرقی و جنوب‌شرقی حوضه در جدول ۵ و نمودار شکل ۶ نشان داده شده است. کشیدگی و سطح پویایی نوزمین‌ساخت زیرحوضه‌ها نیز در چهار طبقه به شرح زیر است: حوضه‌های بسیار کشیده

جدول ۵: پراکنش زیرحوضه‌های مورد مطالعه برحسب نمایه شکل در چهار ضلع اصلی حوضه زنجان رود

مقادیر نمایه شکل حوضه	NW	SW	NE	SE
>5	۸ زیرحوضه	۰	۰	۱ زیرحوضه
۴-۵	۵ زیرحوضه	۰	۰	۲ زیرحوضه
۳-۴	۳ زیرحوضه	۱ زیرحوضه	۱ زیرحوضه	۴ زیرحوضه
۲-۳	۵ زیرحوضه	۴ زیرحوضه	۱ زیرحوضه	۸ زیرحوضه
۱-۲	۰	۱ زیرحوضه	۱ زیرحوضه	۷ زیرحوضه

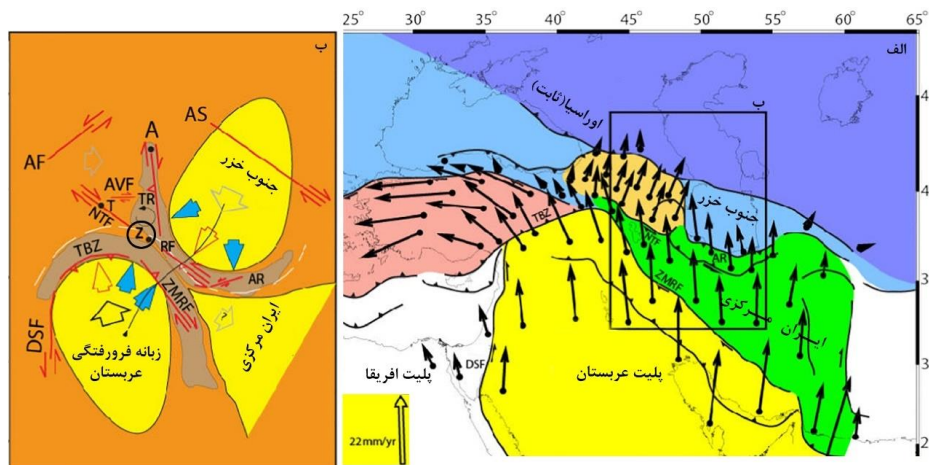
بیشترین قسمت آن) و در نمایه ضریب شکل مساحت حوضه دخالت داده شده است. در نمایه ضریب فرم و ضریب فشردگی عامل مساحت ثابت بوده ولی در نمایه فرم حوضه طول آن و در نمایه فشردگی محیط آن مطرح می‌باشد. نمایه‌های نسبت دایره‌ای و نسبت کشیدگی نیز نمایه‌هایی ترکیبی بوده و ساختار متفاوتی دارند.

#### شواهد فعالیت نوزمین‌ساختی منطقه

پهنه زنجان رود در شمال غرب ایران متأثر از نیروهای زمین-ساختی سه جانبه است (شکل ۵). راندگی صفحه عربستان به سمت ایران و مقاومت پهنه ایران مرکزی و ایستادگی بلوک اوراسیا در مجموع شرایط زمین‌ساختی خاصی را در پی دارد.

#### ارزیابی همخوانی نتایج نمایه‌ها

طبق معادله‌های مربوط به نمایه‌ها انتظار می‌رود دو نمایه اول (Bs و Sf) با چهار نمایه بعدی (Re, Bc, Ff, Rc و Re) دارای همبستگی معنادار باشند که به این منظور برای نمونه بین نمایه شکل حوضه (Bs) و نسبت کشیدگی (Re) ضریب همبستگی ۰/۸۶- به دست آمد. این سطح از همبستگی معنادار و مطلوب بوده و در عین حال اشاره بر مغایرت‌های جزئی نیز دارد که تأمل‌برانگیز خواهد بود زیرا بین دو نمایه اول و چهار نمایه دوم که درباره شکل حوضه به لحاظ کشیده یا پهن بودن دلالت مشابه دارند نیز همبستگی کامل وجود ندارد. این مورد می‌تواند ناشی از تفاوت‌های ماهیتی نمایه‌ها باشد زیرا در دو نمایه اول عامل طول حوضه ثابت بوده ولی در نمایه شکل حوضه عامل عرض حوضه (در



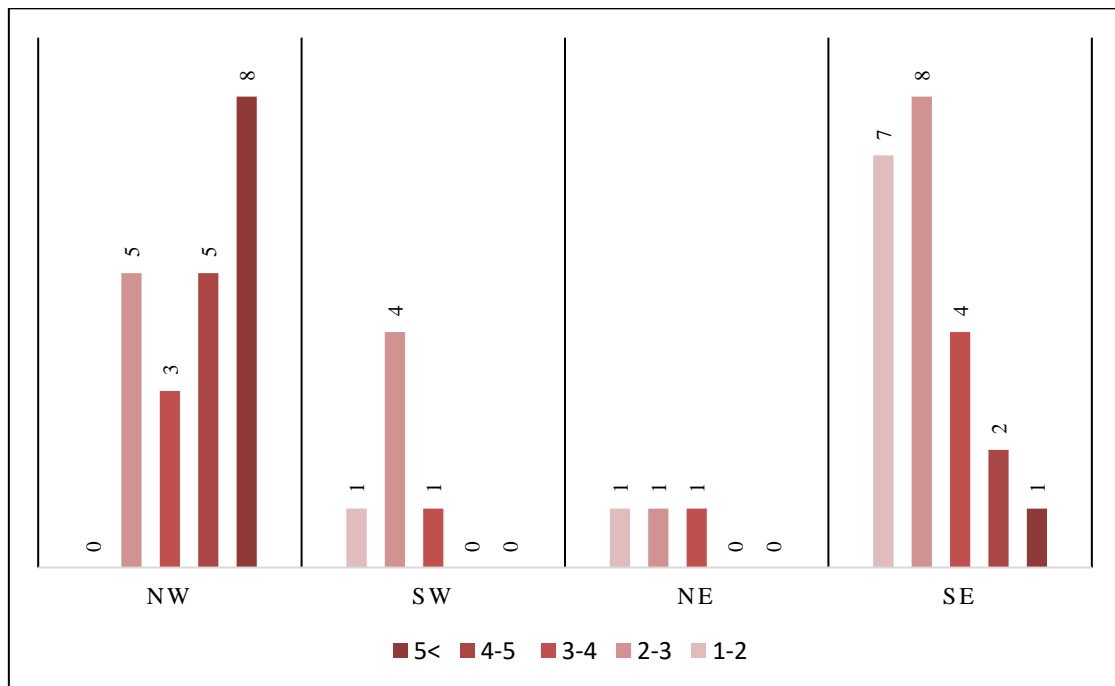
شکل ۵: الف: تغییر شکل فعال شمال غرب ایران. ب: مدل ژئودینامیک پیشنهادی ساختارهای فعال در شمال غرب ایران (موقعیت شهر زنجان با ستاره و دایره مشخص شده است). NTF: گسل شمال تبریز؛ AR: رشته‌کوه البرز؛ AF: گسل آرس؛ AS: ناحیه فرورانش آپشرون سیل؛ NTF: گسل شمال تبریز؛ AVF: گسل اهر-ورزقان؛ RF: گسل رودبار؛ DSF: گسل بحرالمت؛ ZMRF: گسل اخیر اصلی زاگرس؛ TR: رشته‌کوه‌های تالش؛ AR: رشته‌کوه البرز؛ TBZ: توروز-بیتلیس-زاگرس (ترکیه-ایران)؛ T و Z به ترتیب گسل‌های تبریز و زنجان را نشان می‌دهند (برگرفته از سلیمانی و همکاران (Soleymani et al, 2019)).

گسل‌های فرعی مهمی همچون گسل سهرین، قره‌چریان، کنوند و غیره می‌باشد (Badoozadeh, 2018; Zali, 2015; Soleymani et al, 2019; Nabavi et al, 2020). در برخی

همان‌طور که اشاره شد، خطوط گسلی اصلی محدوده استان زنجان در پی روند کلی شکستگی‌های نیمه غربی کشور (شکل ۵) شامل گسل امتداد لغز سلطانیه و شمال زنجان و

قسمت نشان داده و انحراف تعداد ۲۰ آبراهه را در پهنه شمالی حوضه زنجان‌رود بررسی کرده است. طبق نظر جعفری (2017, Jafari) از شواهد فعالیت سیستم گسلی این منطقه می‌توان به اختلاف ارتفاع حدود ۳۰ متری دشت‌های پهنه شمالی زنجان‌رود، تغییر جهت کوهستان از محل محور زیرحوضه تهم و تخریب (بازشدگی) بیشتر این زیرحوضه نسبت به زیرحوضه‌های مجاور آن، دره‌های عمیق رودخانه‌هایی از قبیل تهم، سارمساقلو، سهرین و قره‌چریان اشاره کرد که ناشی از فرسایش قهقرایی نبوده و در نهایت انحراف آبراهه‌ها است. محدوده شمال غرب حوضه زنجان‌رود تحت عنوان دشت‌های شمالی زنجان شناخته می‌شود که به شکل مثلث بین دو خط گسلی اصلی شمال زنجان و زنجان‌رود واقع شده است که رأس آن جنوب غرب شهر زنجان و قاعده آن در سمت انتهایی حوضه قرار دارد. در بررسی‌های زمین‌ساختی بین این دو خط گسلی اصلی، از گسل‌ها و سامانه‌های گسلی فرعی همچون سهرین، کناوند (شکل ۷) و ینگجه نیز نام برده شده است.

منابع از گسل زنجان‌رود نیز نام برده شده که اساساً امتداد غربی گسل سلطانیه است و در مجموع دنباله جنوب شرقی گسل تبریز محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر، به دلیل بالاتر بودن سطح دخالت زمین‌ساخت در پهنه شمال غربی حوضه، شواهد مربوط به این قسمت مورد تأکید است که اساساً وابسته به خطوط گسلی شمال زنجان و زنجان‌رود و گسل‌های فرعی منطقه است. طبق بررسی‌های مورفوتکتونکی و ژئوفیزیکی صورت گرفته توسط زالی (2015, Zali)، در محدوده پیوستن زیرحوضه سهرین اثر فروکنش فعال بستر زنجان‌رود موجب پایین افتادن سطح اساس در این قسمت از حوضه زنجان‌رود شده که در فرسایش پادگانه‌های آبرفتی و مقادیر بالای گرادیان طولی رودخانه (SL) انعکاس یافته است. در همین پژوهش، شواهد میدانی فعالیت و اثر گسل کناوند بررسی و تأیید شده و گسل جدیدی تحت عنوان گسل ینگجه در کنار گسل کناوند معرفی شده است. بدوزاده (Badoozadeh, 2018) فعالیت گسل شمال زنجان را در پای ارتفاعات این



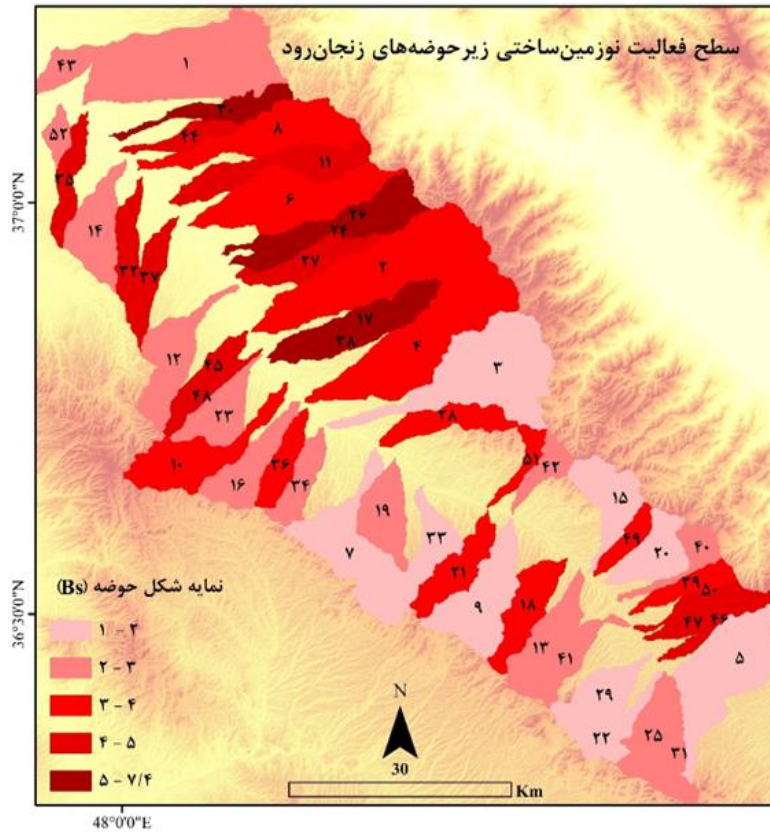
شکل ۶: پراکنش زیرحوضه‌های زنجان‌رود براساس نمایه شکل

شکل ۸ کشیده‌ترین زیرحوضه (زیرحوضه کزبر در پهنه شمال غرب حوضه زنجان‌رود) نشان داده شده که گسل کناوند در مورفولوژی آن دخالت داشته و آثار آن به صورت بریدگی‌های ناگهانی در قسمت میانی این زیرحوضه دیده

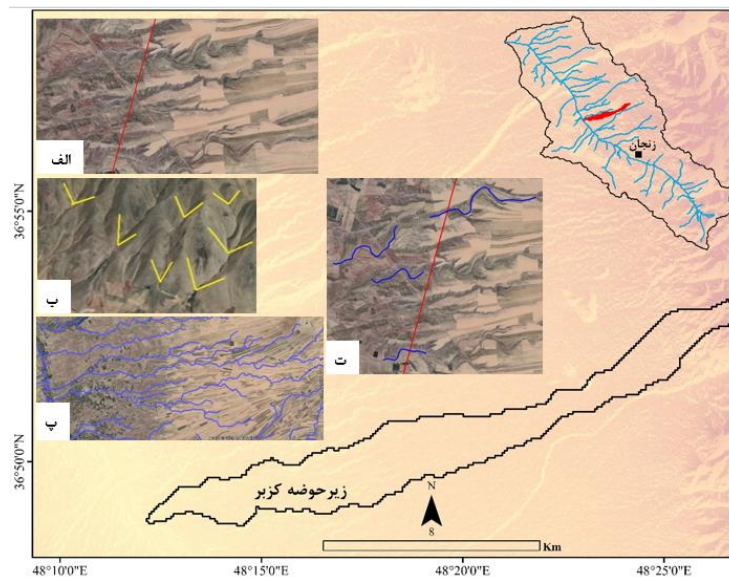
به این ترتیب پهنه شمال غربی حوضه محل تراکم نسبی گسل‌هایی است که در کنار گسل اصلی زنجان‌رود در شناخت مورفولوژی و زمین‌ساخت زیرحوضه‌های این قسمت از حوضه نقش محسوس‌تری دارند. برای نمونه در

نتیجه از قسمت میان دست زیرحوضه‌ها به سمت سطح اساس آن‌ها (زنجان رود) آثار حفر، عمیق‌شدگی، بریدگی و فرسایش قهقرایی در کنار هم دیده می‌شود.

می‌شود. اثر گسل‌ها در ترکیب با اثر دخالت گسل اصلی زنجان رود موجب شکل‌گیری بسترهای عمیق و تخریب شدیدتر قسمت‌های انتهایی این زیرحوضه‌ها شده و در



شکل ۷: طبقه‌بندی زیرحوضه‌های زنجان رود براساس میزان پویایی نوزمین‌ساختی



شکل ۸: زیر حوضه کزبر (کشیده‌ترین زیر حوضه) در پهنه شمال غربی زنجان رود؛ الف: عبور گسل کناوند (خط قرمز) از قسمت میانی زیرحوضه کزبر و عمیق‌شدگی آبراهه‌ها؛ ب: دره‌های جوان V شکل در جبهه کوهستان بالادست زیرحوضه؛ پ: تراکم بالای شبکه زهکشی؛ ت: انحراف آبراهه‌ها در اطراف گسل کناوند.

## نتیجه‌گیری

نتیجه حاصل از طبقه‌بندی نمایه‌ها نشان داد که تمرکز زیرحوضه‌های با کشیدگی و در نتیجه با تحرک نوزمین ساختی بالا در محدوده شمال‌غربی حوضه زنجان‌رود و به ویژه در پهنه شمالی این قسمت از حوضه است. این یافته تحقیق با آخرین نقشه تهیه شده از گسل‌های فعال منطقه همخوانی دارد که در آن تمرکز گسل‌های فرعی (از جمله گسل سهرین، گسل قره‌چریان و گسل کناوند) در قسمت شمال‌غربی حوضه می‌باشد. طبق نتایج به دست آمده از بررسی شکل حوضه‌ها، ضلع جنوب‌غربی حوضه زنجان‌رود دارای سطح متوسط فعالیت نوزمین‌ساخت است که این یافته در کنار نتایج مربوط به قسمت شمال‌غربی می‌تواند تقویت‌کننده فرضیه فعال‌تر بودن نیمه غربی حوضه زنجان رود نسبت به نیمه شرقی آن باشد. ضلع جنوب‌شرقی حوضه نیز دارای سطح تحرک زمین‌ساختی متوسط بوده و نسبت به پهنه شمال‌شرقی حوضه تحرک نوزمین‌ساختی بالاتری دارد. همان‌طور که پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده‌اند

## پانویس

- 4-Mountain-front sinuosity and Asymmetrical factor
- 5-Ghats

گسل‌های متعددی در مورفولوژی منطقه دخیل هستند. طی پژوهش حاضر برای نخستین بار از منظر شکل حوضه‌ها به بررسی نوزمین‌ساخت حوضه زنجان‌رود پرداخته شد که دو هدف اصلی را محقق ساخت. در پی هدف نخست پژوهش مشخص شد که نمایه‌های مختلف شکل حوضه‌ها احتمالاً به دلیل تفاوت ماهیت آن‌ها می‌توانند نتایج گاهاً متناقضی را نشان دهند و بهتر است به‌طور مستقل و جداگانه به کار برده شوند. از سوی دیگر و در پی هدف دوم، سطح پویایی نوزمین‌ساخت حوضه زنجان‌رود در قالب کل زیرحوضه‌های اصلی آن (با آستانه مساحتی  $20 \text{ Km}^2$ ) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت و نقشه پهنه‌بندی مربوطه تهیه شد.

## سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده‌اند.

- 1-Neotectonic
- 2-Morphometry
- 3-LELES-GARUT

## References

- Abdideh, M., Qorashi, M., Rangzan, K. and Aryan, M., 2011. Assessment of Relative Active Tectonics using Morphometric Analysis, Case Study of Dez River (Southwestern, Iran). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, v. 20(80), p. 33-46. Doi: 10.22071/gsj.2011.55134 (in Persian).
- Anand, A.K. and Pradhan, S.P., 2019. Assessment of active tectonics from geomorphic indices and morphometric parameters in part of Ganga basin. *J. Mt. Sci.*, v. 16, p. 1943-1961.
- Babaei, S., Ghorashi, M., Pourkermani, M., Haji Hosseinloo, H. and Bouzari, S., 2019. Assessment of active tectonic with Using geomorphic indicators and GIS in Maragheh region basins (East Azerbaijan, Northwest Iran). *Quaternary Journal of Iran*, v. 5(1), p. 27-45 (in Persian).
- Badoozadeh, M., 2018. Active tectonics and segmentation of the North Zanjan fault, Master's Thesis, Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran (in Persian).
- Buczek, K. and Górnik, M., 2020. Evaluation of tectonic activity using morphometric indices: case study of the Tatra Mts. (Western Carpathians, Poland). *Environ Earth Sci.*, v. 79, Doi:10.1007/s12665-020-08912-9.
- Das, B.C., Islam, A. and Sarkar, B., 2022. Drainage Basin Shape Indices to Understanding Channel Hydraulics. *Water Resour Manage*, v. 36, p. 2523-2547, <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03121-4>.
- Goorabi, A., 2023. applied geomorphometry; Data, Methods and Techniques, University of Tehran Press, (in Persian).
- Goorabi, A. and Kiarostami, F., 2020. Influence of Neotectonic Movements on the Basin Shape (Case study Roodak basin). *Quantitative Geomorphological Research*, v. 9(1), p. 1-12, Doi: 10.22034/gmpj.2020.109530 (in Persian).



- Haryanto, I., Jedi Setiadi, D., Alam, S., Nurul Ilmi, N. and Sunardi, E., 2018, Mountain-Front Sinuosity and Asymmetrical Factor of Leles-Garut Intra-Arc Basin, West Java, *Journal of Geological Sciences and Applied Geology*, v. 2(5), p. 1-7.
- Herlekar, M., 2014. A Morphometric Approach to Understand the Neotectonic Controls of Drainage Basin from Western Ghats of India, *Gondwana Geological Magazine*, v. 29, p. 135-148.
- Jafari, GH., 2017. Investigating the Role of Faults in the Morphology of the Northern Plains of Zanjanrood. *Geography and Environmental Planning*, v. 28(1), p. 35-48, Doi: 10.22108/gep.2017.97799.0 (in Persian).
- Maghsoudi, M., Jafarbeiglo, M. and Jafari, R., 2020. Assessment of Active Tectonic in Hable Roud and Kordan Basins using Geomorphic Indexes. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, v. 9(3), p. 57-77, Doi: 10.22067/geoh.2020.66963.0 (in Persian).
- Momipour, M., 2015. Study of neotectonics and erosion of Maron basin with geomorphometric technique, *Environmental erosion research*, v. 6(3), p. 51-33 (in Persian).
- Nabavi, S.T., Alavi, S.A., Wibberley, CH.A.J. and Jahangiri, M., 2020. Normal Fault Networks and Their Spatial Relationships in Plio-Quaternary Sedimentary Series: A Case Study in the Zanjan Depression, NW Iran, *Journal of Structural Geology*, 136 p.
- Pavlidis, S.B., 1989. Looking for a definition of neotectonics. *Terra Nova*, v. 1, p. 233-235.
- Psomiadis, E., Charizopoulos, N., X. Soulis, K. and Efthimiou, N., 2020, Investigating the Correlation of Tectonic and Morphometric Characteristics with the Hydrological Response in a Greek River Catchment Using Earth Observation and Geospatial Analysis Techniques, *Geosciences*, v. 10, <https://doi.org/10.3390/geosciences10090377>.
- Rezaei Moghaddam, M.H., Rajabi, M. and Zamani, Z., 2020. Evaluation of quantitative geomorphic indices and cluster analysis in the active tectonic study (Case study: Talvar sub basins), *Quarterly Journal of Geographical Space*, v. 20(71), p. 120-103 (in Persian).
- Różycka, M. and Migoń, P., 2021. Morphometric properties of river basins as indicators of relative tectonic activity – Problems of data handling and interpretation, *Geomorphology*, v. 389, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107807>.
- Sharifi Paichoon, M., Zare, F. and Teherinejad, K., 2017. Assessment of Neotectonic activities using geomorphical indicators (case study: Kazab basin-yazd), *Journal of Natural Environmental Hazards*, v. 6(11), p. 15-32, Doi: 10.22111/jneh.2017.3077 (in Persian).
- Sharma, S. and Sarma, J.N., 2017. Application of Drainage Basin Morphotectonic Analysis for Assessment of Tectonic Activities over Two Regional Structures of the Northeast India, *Geological Society of India*, v. 89, p. 271-280.
- Singh, N., Jha, M., Tignath, S., Singh, B.N. and Maddheshiya, S.K., 2021. Evaluation of neotectonic signatures and sequencing of morphotectonic events in the badlands of the Mandakini River watershed, Chitrakoot, India, *Environmental earth sciences*, v. 80, Doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09716-1>.
- Sobooti, F., Qods, F. and Asgari, R., 2017. Seismicity and active faulting in Zanjan and nearby areas, 13th Iran Geophysics Conference, Tehran, Iran (in Persian).
- Soleymani Azad, SH., Nemati, M., Abbassi, M., Foroutan, M., Hessami, KH., Dominguez, S., Bolourchi, M. and Shahpasandzadeh, M., 2019. Active-Couple Indentation in Geodynamics of NNW Iran: Evidence from Synchronous Left- and Right-Lateral Co-Linear Seismogenic Faults in Western Alborz and Iranian Azerbaijan Domains, *Tectonophysics*, v. 754 (March), p. 1-17.
- Valkanou, K., Karymbalis, E., Papanastassiou, D., Soldati, M., Chalkias, C. and Gaki-Papanastassiou, K.A., 2021. Assessment of Neotectonic Landscape Deformation in Evia Island, Greece, Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, v. 10, <https://doi.org/10.3390/ijgi10030118>.
- Wołosiewicz, B., 2018. Morphotectonic control of the Białka drainage basin (Central Carpathians): Insights from DEM and morphometric analysis, *Contemp.Trends. Geosci*, v. 5(1), p. 61-82.

- Yamani, M., Amirinejad Tork, S., Gholami, F. and Nejad Hoseyni, R., 2018. Investigation of the active tectonic in Semnan basin (South of Semnan) using geomorphological indices. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, v. 6(1), p. 149-174, Doi: 10.29252/grd.2018.1246 (in Persian).
- Yavarifard, A., Dehbozorgy, M., Nozaem, R., Hakimiasiabar, S. and Rabeti, D., 2021. Assessment of active tectonics by using morphometric indices in Western and Central Alborz. *Quantitative Geomorphological Research*, v. 10(1), p. 149-171, Doi: 10.22034/gmpj.2020.245542.1207 (in Persian).
- Zali, Z., 2015. Determination of the Kinematics and Shallow Geometry of the North-West Zanzan Fault System Through Neotectonic and Geophysical Investigations, Master's Thesis, Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Atudies in Basic Sciences, Zanzan, Iran (in Persian).
- Zanzan Province Geosciences and Mining Roadmap Report, 2014. Geological Organization, Tehran, Iran (in Persian).