



# Evaluation and analysis of Tectonic Activities in Sivand Basin area using Morphometric Indices



## ARTICLE INFO

### Article Type

Original Research

### Authors

Khalaj M.<sup>1\*</sup> PhD

### How to cite this article

Khalaj M. Evaluation and analysis of Tectonic Activities in Sivand Basin area using Morphometric Indices. Geographical Research. 2023;38(2):265-273.

## ABSTRACT

**Aims** Morphometry can be defined as a quantitative measurement of the shape of landscapes on the ground, which can be used to identify areas with active tectonics. The purpose of this research is to investigate the active tectonics in the Sivand basin using five morphometric indices of Asymmetry factor of the drainage basin (Af), Relative relief (Bh), Form factor (Ff), Hypsometric integral and curve (Hi) and Stream gradient index (SL). By conducting this research, it is possible to understand the active processes in the Sivand basin and prevent damages caused by natural disasters such as floods and earthquakes to some extent.

**Methodology** This is a survey carried out in 2022-2023 in Fars province and it is a practical study in terms of its purpose. The nature of the data and their calculations are quantitative. GIS software and digital elevation map (DEM) with an accuracy of 30 meters, were used to calculate the indices. For each index, a zoning map was prepared in the area, and each of the mentioned indices was classified into five categories very high, high, medium, low and very low geotechnical activity. Finally, by averaging the entire category of indices, a final index of relative active tectonics index (Iat) was obtained and the area was classified into three categories of high, medium and low terraforming activity.

**Findings** In the sub-basins of Avanjan Fault, Musakhani Fault, Sivand Fault, Sivand river Fault and the faults located in the south of the investigated area, the measured indices showed high and medium values, which is due to the medium to high tectonic activity of the area.

**Conclusion** The Sivand basin has medium to high tectonic activity and the northern, northwestern, middle and southern parts of the region are more active than other parts. It is due to the effect of the mentioned faults on the region.

**Keywords** Basin; Active Tectonics; Morphotectonics; Morphometric Indices; Faulting

## CITATION LINKS

[Abdideh *et al.*, 2011] Assessment of relative active tectonics using Morphometric ...; [Babaei *et al.*, 2017] Assessment of active tectonics by using morphometric ...; [Bayati Khatibi, 2009] Detection of neotectonic activities in Qoranguchai water basin using Geomorphic ...; [Berberian, 1995] Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: Active basement ...; [Bull & McFadden, 1980] Tectonic geomorphology north and south of ...; [Burbank & Anderson, 2012] Tectonic geomorphology; [El Hamdouni *et al.*, 2008] Assessment of relative active tectonics, southwest ...; [Font *et al.*, 2010] DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics ...; [Haqtabalab & Karvan, 2011] Mosque, the manifestation of holy ...; [Fossen, 2016] Structural geology; [Hack, 1973] Stream-profiles analysis and ...; [Horton, 1945] Erosional development of streams and their drainage ...; [Keller, 1986] Investigation of active tectonics: Use of surficial Earthss ...; [Keller & Pinter, 2002] Active tectonics, earthquakes, uplift and ...; [Khodabakhshnezhad, 2015] Active tectonics of Great Karun River ...; [Maathuis & Wang, 2006] Digital elevation model ...; [Melosh, Keller, 2013] Effects of active folding and reverse faulting on stream channel ...; [Mosadeghzadeh *et al.*, 2020] Morphotectonic of Eastern part of Ramsar, North of ...; [Morisawa & Hack, 1985] Proceedings of the 15th Annual Binghamton ...; [Rabeti *et al.*, 2018] Assessment of active tectonics by using morphometric in ...; [Singh, 2009] Hypsometry and erosion proneness ...; [Singh *et al.*, 2014] Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS ...; [Snyder *et al.*, 2000] Landscape response to tectonic forcing: Digital elevation model analysis of stream profiles ...; [Stocklin, 1986] Structural history and tectonics of Iran ...; [Strahler, 1952] Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional ...; [Volker, *et al.*, 2007] A topographic fingerprint to distinguish ...; [Walker, 2006] A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman ...; [Wells *et al.*, 1988] Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate ...; [Yamani *et al.*, 2012] Morphologic and morphometric evidence for active tectonic effects on

<sup>1</sup> Department of Geology, Payam-e-Noor University, Tehran, Iran

### \*Correspondence

Address: Department of Geology, Payam-e-Noor University, Street Nakhli, Tehran, Iran. Postal Code: 19395-36974  
Phone: +98 (21) 22458231  
Fax: +98 (21) 22441511  
m\_khalaj@pnu.ac.ir

### Article History

Received: February 9, 2023

Accepted: Jun 20, 2023

ePublished: August 16, 2023

## تحلیل فعالیت‌های زمین‌ساختی حوضه آبریز سیوند با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی

محمد خلیج\* PhD

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

### چکیده

**اهداف:** ریخت‌سنجی را می‌توان اندازه‌گیری کمی شکل چشم‌اندازهای روی زمین تعریف کرد که می‌توانند برای شناسایی مناطق دارای زمین‌ساخت فعال به کار روند. هدف از این پژوهش بررسی زمین‌ساخت فعال در حوضه آبریز سیوند با استفاده از پنج شاخص ریخت‌سنجی عدم تقارن حوضه زهکشی (A<sub>f</sub>)، برجستگی نسبی (B<sub>n</sub>)، ضریب شکل (F<sub>i</sub>)، انتگرال و منحنی فراسنجی (H<sub>i</sub>) و گرادیان طولی رود (S<sub>i</sub>) است. با انجام این پژوهش، می‌توان به فرآیندهای فعال در حوضه سیوند پی برد و از خسارت‌های ناشی از بلایای طبیعی مانند سیل و زلزله تا حدودی جلوگیری کرد.

**روش‌شناسی:** این تحقیق پیمایشی در سال ۱۴۰۱ در استان فارس انجام شد و از نظر هدف کاربردی است. ماهیت پژوهش از نظر داده‌ها و محاسبات کمی است. برای محاسبه شاخص‌ها از نرم افزار GIS ۱۰/۸ و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۳۰ متر استفاده شد. نقشه پهنه‌بندی هر شاخص در گستره مورد بررسی تهیه شد و هر کدام از شاخص‌های مذکور از نظر فعالیت زمین‌ساختی به ۵ رده فعالیت بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم تقسیم شدند. در نهایت با میانگین‌گیری از رده کل شاخص‌ها، شاخصی نهایی به نام شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (I<sub>af</sub>) حاصل شد و گستره مورد بررسی به سه رده فعالیت زمین‌ساختی بالا، متوسط و کم تقسیم شد.

**یافته‌ها:** در زیرحوضه‌های منطبق بر گسل‌های آونجان، گسل موسی‌خانی، گسل سیوند، گسل رودخانه سیوند و گسل‌های واقع در جنوب گستره مورد بررسی شاخص‌های اندازه‌گیری شده مقادیر بالا و متوسط را نشان می‌دهند که به دلیل فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالای منطقه است.

**نتیجه‌گیری:** حوضه آبریز سیوند دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالا است و بخش‌های شمالی، شمال غربی، میانی و جنوبی منطقه فعال‌تر از بخش‌های دیگر هستند که به دلیل تأثیر گسل‌های مذکور بر منطقه است.

**کلیدواژه‌ها:** حوضه زهکشی، زمین‌ساخت فعال، ریخت زمین‌ساخت، شاخص ریخت‌سنجی، گسلش

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۰

\*نویسنده مسئول: m\_khalaj@pnu.ac.ir

### مقدمه

هدف ریخت زمین‌ساخت استفاده از شکل سطح زمین برای پی‌بردن به فرآیندهای ایجادکننده آنها است. این شکل‌ها ممکن است توسط فرآیندهای اقلیمی و زمین‌ساختی متفاوتی که خود متاثر از شرایط سنگ‌شناسی باشند، به وجود آمده باشند [Volker et al., 2007]. تقریباً هیچ ناحیه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که تحت تأثیر تغییرات زمین‌ساختی قرار نگرفته باشد. زمین سیستمی پویاست و تغییر و تحول از جمله ویژگی‌های آن است. بسیاری از سیماهای کنونی طی رخدادهای جوان زمین‌ساختی شکل گرفته‌اند [Fossen, 2016]. ریخت زمین‌ساخت دانش مطالعه اشکال و سیماهای

ایجادشده روی زمین است که بر اثر مکانیسم‌های زمین‌ساختی ایجاد شده‌اند. بررسی ریخت زمین‌ساخت حوضه آبریز اطلاعات با ارزشی را در مورد شرایط زمین‌ساختی منطقه و میزان فعالیت اخیر آن در اختیار ما قرار می‌دهد [Burbank & Anderson, 2012]. مهم‌ترین ویژگی استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی، سادگی نسبی روش محاسبه و همچنین سرعت عمل بالا در به کارگیری آنها برای بررسی میزان فعالیت زمین‌ساخت مناطق بزرگ است و داده‌های ضروری آنها اغلب از نقشه‌های رقومی ارتفاعی و تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آیند و می‌توانند آشکارکننده ساختارهای فعال در منطقه باشد [Keller & Pinter, 2002]. شواهد ریخت زمین‌ساختی به دو صورت کمی و کیفی قابل ارزیابی هستند که ارزیابی کمی تحت عنوان ریخت‌سنجی مرسوم است و اندازه‌گیری‌های کمی امکان مقایسه زمین‌ریخت‌های مختلف و شناسایی ویژگی‌های خاص شامل سطح فعالیت زمین‌ساختی یک منطقه را برای ما فراهم می‌سازد [Keller, 1986]. فرآیندهای زمین‌ساخت فعال بر شکل و عملکرد رودخانه‌ها تأثیر می‌گذارد. بررسی رودها، برش و انحراف آنها، اطلاعات مهمی در مورد گسترش و تکامل گسل‌های منطقه فراهم می‌آورد [Walker, 2006]. حفر سنگ بستر رودخانه‌ها که موجب ایجاد تغییر شکل و تغییر در توپوگرافی رودخانه‌ها می‌شود به طور عمده توسط فرآیندهای زمین‌ساختی ایجاد شده است [Snyder et al., 2000]. استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی به منظور بررسی فعالیت‌های نو زمین‌ساختی توسط هورتون [Horton, 1945] آغاز شده و توسط محققین دیگری مانند استرالر و بول و مک فادن [Strahler, 1952; Bull & McFadden, 1980] دنبال شده است و تاکنون نیز ادامه یافته است. از تحقیقات انجام شده در زمینه ریخت زمین‌ساخت می‌توان به پژوهش یمانی و همکاران اشاره کرد که شواهد کیفی ریخت زمین‌ساختی و شاخص‌های کمی ریخت‌سنجی حاصل از زمین‌ساخت فعال بر مخروطه افکنه‌های شمال دامغان را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق فعال بودن گسل‌ها در دوره کواترنری را تایید می‌کند [Yamani et al., 2012]. نتایج حاصل از پژوهش آبدیده و همکاران در حوضه آبریز رودخانه دز نشان داده است که برخورد قاره‌ای بین صفحه عربی و بلوک ایران موجب گستردگی نرخ زمین ساخت در این منطقه شده است [Abdideh et al., 2011]. همچنین می‌توان به پژوهش‌های ولز و همکاران [Wells et al., 1988]، خدابخش‌نژاد و همکاران [Khodabakhshnezhad et al., 2015]، بابایی و همکاران [Babaei et al., 2017] و رابیتی و همکاران [Rabeti et al., 2018] اشاره کرد. از آنجا که ارتباط بین زمین‌ساخت فعال و ریخت‌سنجی در حوضه سیوند تا کنون مورد مطالعه قرار نگرفته است، بنابراین بررسی این شاخص‌ها به منظور شناسایی تأثیر زمین‌ساخت فعال بر تکامل زمین‌ساختی حوضه‌های زهکشی و رودخانه‌های این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. اصولاً مطالعات ریخت زمین‌ساختی بر اساس دو نوع مطالعات کمی و کیفی انجام می‌شود. در برخی از پژوهش‌های

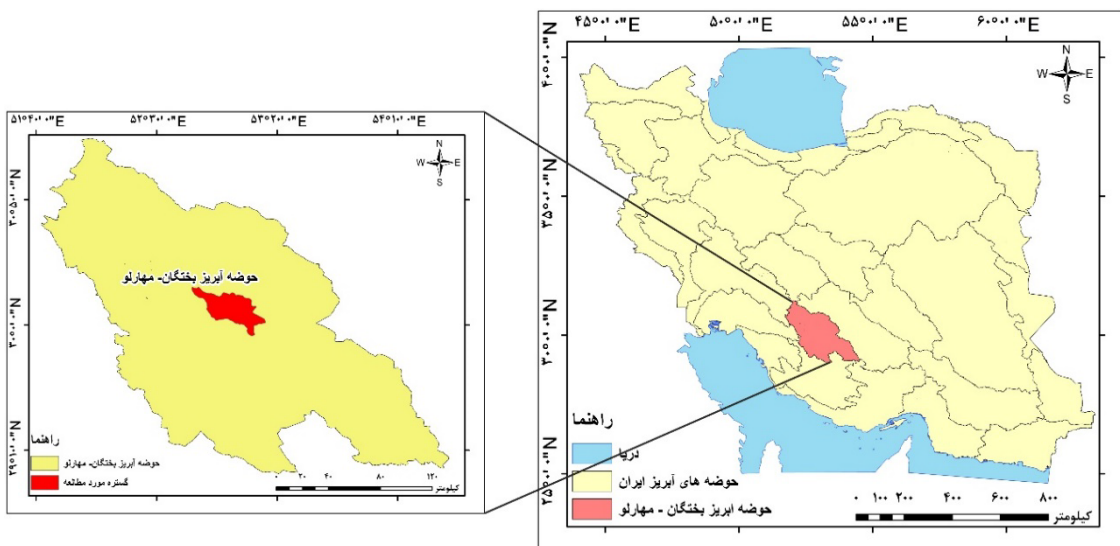
تحلیل فعالیت‌های زمین‌ساختی حوضه آبریز سیوند با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی ۲۷۷ است.

هدف از این مطالعه، مشخص کردن میزان و مقدار کمی فعالیت‌های زمین‌ساختی اخیر حوضه آبریز سیوند، با استفاده از شاخص‌های کمی عدم تقارن حوضه زهکشی، برجستگی نسبی، ضریب شکل، انتگرال و منحنی فراسنجی و گرادیان طولی رود است که در نهایت با استفاده از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی اخیر، فعالیت زمین‌ساخت کل منطقه به شکل کمی محاسبه و منطقه از لحاظ مخاطرات لرزه‌ای پهنه‌بندی شد.

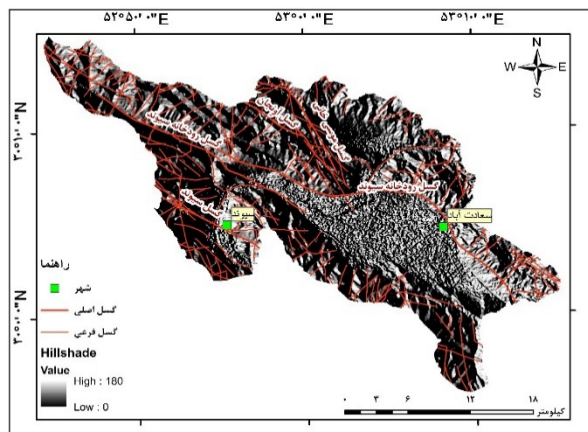
### روش‌شناسی

حوضه آبریز سیوند با مساحت ۶۸۵/۱۱۹ کیلومترمربع در جنوب ایران و در استان فارس واقع شده و یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز بختگان-مهارلو است. منطقه مورد بررسی بین طول‌های جغرافیایی "۲۹°۵۵'۴۱" تا "۳۰°۱۵'۴" شرقی و عرض جغرافیایی "۳۰°۱۵'۱۷" شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این مطالعه پیمایشی در سال ۱۴۰۱ در استان فارس به انجام رسید و از نظر هدف کاربردی است.

انجام‌شده مشابه منطقه مورد مطالعه از لحاظ ریخت زمین‌ساخت کیفی مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعات کیفی ریخت زمین‌ساختی، صرفاً با وجود برخی از ساختارهای زمین‌شناختی در یک منطقه، می‌توان پی به فعال‌بودن آن منطقه از لحاظ پتانسیل لرزه‌خیزی برد و صرفاً زمین‌ساخت منطقه از لحاظ پتانسیل ذخیره انرژی و امکان وقوع زمین‌لرزه در آینده تعیین می‌شود اما امکان تعیین میزان و مقدار مخاطرات لرزه‌ای به صورت کمی وجود ندارد. اما در مطالعات کمی ریخت‌سنجی به دلیل آن که ساختارهای زمین‌ساختی و ساختارهای ریخت زمین‌ساختی منطقه اندازه‌گیری می‌شوند و نتایج اندازه‌گیری با استفاده از معادلات ریاضی و با استفاده از نرم‌افزارهای مربوط، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، دقیقاً میزان کمی و عددی مخاطرات لرزه‌ای، میزان زمین‌ساخت فعال منطقه و ارتباط پدیده‌های ریخت زمین‌ساختی با ساختارهای زمین‌شناسی به دست می‌آید و می‌توان منطقه مورد بررسی را از لحاظ میزان مخاطرات لرزه‌ای پهنه‌بندی کرد. در آن دسته از مطالعات مشابه که بر اساس مطالعات کمی ریخت‌سنجی انجام شده است، برخی از شاخص‌های دیگر ریخت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفته



شکل ۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲) نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه

### زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

گستره مورد بررسی در تقسیم‌بندی ساختمانی-رسوبی ایران در محدوده زاگرس مرتفع واقع شده و گسل‌های متعددی در منطقه وجود دارد که شامل گسل‌های رودخانه سیوند، گسل سیوند، موسی‌خانی و گسل آونجان است (شکل ۲) [Stocklin, 1968].

نحوه حرکت صفحه عربی و صفحه ایران نسبت به هم و برخورد آنها به همدیگر پس از بسته‌شدن اقیانوس نئوتتیس موجب به وجود آمدن کوهزاد زاگرس شده است. این کمربند کوهزایی از شمال باختری تا جنوب مرکز ایران امتداد یافته است و در بخش میانی کوهزایی آلپی قرار گرفته و بنا بر نظر بسیاری از زمین‌شناسان از شمال خاوری به خرده قاره ایران مرکزی و از جنوب باختری به سپر



### شاخص ضریب شکل (Ff)

شاخص ضریب شکل با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد [Horton, 1945]

$$F_f = A/L^2 \quad \text{(معادله ۳)}$$

در این معادله A مساحت حوضه و L2 مجذور طول حوضه است. طول حوضه از محل خروج آبراهه اصلی تا مرتفع‌ترین نقطه در حوضه محاسبه می‌شود. هر چه مقدار ضریب شکل به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد حوضه مذکور به مربع نزدیک‌تر است و هر چه ضریب شکل کوچک‌تر از ۱ باشد حوضه کشیده‌تر است. حوضه‌های زهکشی در مناطق فعال از نظر زمین‌ساختی، دارای شکل کشیده‌تر هستند [Singh et al., 2014].

### شاخص انتگرال و منحنی فراسنجی (Hi)

شاخص انتگرال و منحنی فراسنجی بیانگر حجم فرسایش‌نیافته حوضه بوده و توصیف‌کننده توزیع نسبی ارتفاع در یک منطقه به ویژه حوضه آبریز است و از معادله ۴ محاسبه شد [Strahler, 1952].

### معادله ۴

$$H_i = (\text{average elevation} - \text{min elevation}) / (\text{max elevation} - \text{min elevation})$$

مقادیر بالای شاخص مذکور مربوط به نواحی فعال زمین‌ساختی است، در حالی که مقادیر پایین آن مربوط به نواحی قدیمی است که کم‌تر تحت تأثیر زمین‌ساخت فعال اخیر قرار گرفته‌اند [Font et al., 2010]. مقادیر بالای انتگرال و منحنی فراسنجی به دلیل وجود پستی و بلندی و توپوگرافی مرتفع نسبت به میانگین حوضه زهکشی و مقادیر متوسط تا کم این شاخص دلالت بر برش شبکه زهکشی در یک سطح هموارتر دارد [Singh, 2009].

### گرادیان طولی رود (Sl)

شاخص گرادیان طولی رود ابزار مفیدی برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی است و تأثیر تغییرات محیطی بر پروفیل طولی رودخانه را نشان می‌دهد و از معادله ۵ به‌دست آمد [Hack, 1973].

$$S_L = (\Delta H / \Delta L)L \quad \text{(معادله ۵)}$$

در این رابطه، Sl گرادیان طولی رود،  $(\Delta H / \Delta L)$  شیب مسیر کانال رود،  $(\Delta H)$  اختلاف ارتفاع در یک مقطع خاص از رودخانه،  $(\Delta L)$  فاصله افقی همان محل و L طول کلی کانال رودخانه از نقطه‌ای که این شاخص محاسبه می‌شود تا سرچشمه رودخانه است. در مناطقی که گسل آبراهه را قطع می‌کند، بیش‌ترین مقدار شاخص مشاهده می‌شود و این مناطق فعال هستند [Font et al., 2010]. هنگامی که رودخانه و آبراهه‌ها در نواحی با نرخ بالاآمدگی زیاد جریان دارند، مقدار Sl افزایش می‌یابد اما هنگامی که جریان رودخانه به موازات

به منظور استخراج دقیق ویژگی‌ها و شاخص‌های رودخانه‌ای و تحلیل حوضه‌های زهکشی می‌توان از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استفاده کرد [Maathuis & Wang, 2006]. در این مطالعه به منظور تعیین زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی در منطقه مورد مطالعه، به صورت زیر عمل شده است. ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰ متر در محیط GIS و همچنین به کارگیری افزونه جانبی نرم‌افزار GIS به نام Arc Hydro، زیرحوضه‌ها و شبکه آبراهه‌ها استخراج و حوضه سیوند به ۲۱ زیرحوضه تقسیم شد (شکل ۴).

شاخص‌های ریخت‌سنجی هر یک از زیرحوضه‌ها به صورت مجزا محاسبه شد. شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، برجستگی نسبی (Bh)، ضریب شکل (Ff)، انتگرال و منحنی فراسنجی (Hi) و گرادیان طولی رود (Sl). نقشه پهنه‌بندی در مقیاس حوضه برای هر شاخص نیز رسم شد. در مرحله بعد، واحدهای زمین‌شناسی و گسل‌های واقع در منطقه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور در گستره مورد مطالعه تعیین شد. در مرحله آخر به منظور تعیین سطح فعالیت زمین‌ساختی کل، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه و نقشه این شاخص رسم شد. سپس نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌ها همراه با ساختارهای اصلی منطقه، تجزیه و تحلیل شد.

### شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

شاخص عدم تقارن میزان کج‌شدگی زمین‌ساختی جهت جریان را در حوضه زهکشی نشان می‌دهد و برای درک ارتباط کج‌شدگی زمین‌ساختی در نواحی با مقیاس حوضه زهکشی بزرگ‌تر ارتباط داده شد [Morisawa & Hack, 1985; Keller & Pinter, 2002]. این شاخص از معادله ۱ محاسبه می‌شود.

$$A_f = 100(A_r / A_t) \quad \text{(معادله ۱)}$$

در این معادله Ar مساحت حوضه در سمت راست آبراهه اصلی در جهت پایین‌دست رود و At مساحت کل حوضه زهکشی است. این شاخص نسبت به کج‌شدگی عمود بر جهت آبراهه حساس است. در این پژوهش مقادیر Af به صورت  $|Af - 0|$  بیان شده که قدر مطلق تفاضل بین مقدار مشاهده‌شده و مقدار خنثی ۰ است [El Hamdouni et al., 2008].

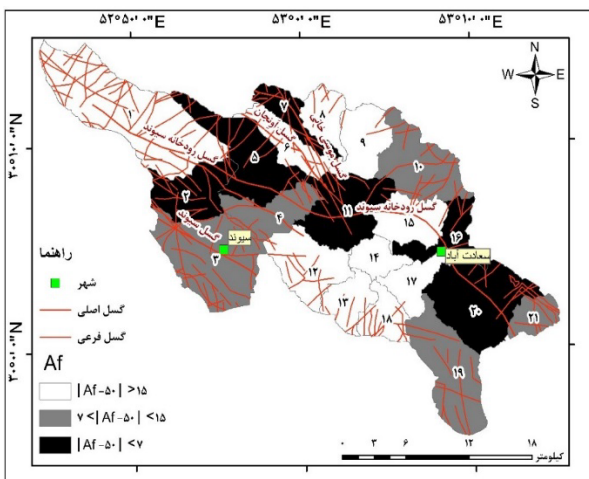
### شاخص برجستگی نسبی (Bh)

برجستگی نسبی نشان‌دهنده ارتفاع نسبی حوضه بوده و از اختلاف میان مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقاط در حوضه محاسبه شد. مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقطه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی در محیط Arc GIS برای هر زیر حوضه به صورت مجزا به‌دست آمده و با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد [Keller & Pinter, 2002].

$$B_h = H_{\max} - H_{\min} \quad \text{(معادله ۲)}$$

در این معادله، Bh برجستگی نسبی، Hmax بالاترین ارتفاع حوضه و Hmin پایین‌ترین ارتفاع حوضه است.

( $15 < |Af - 50|$ )، رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی متوسط ( $15 < |Af - 50| \leq 7$ )، رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی کم ( $7 < |Af - 50|$ ) طبقه‌بندی شد (شکل ۵). نتایج عددی حاصل از محاسبه شاخص عدم تقارن نشان داد که مقدار این شاخص بین ۰/۱ تا ۳۲/۰۳ متغیر است. بیش‌ترین مقدار و بیش‌ترین کج‌شدگی این شاخص مربوط به حوضه ۱۳ با مقدار ۳۲/۰۳ و کم‌ترین مقدار نیز مربوط به حوضه ۵ با مقدار ۰/۱ بود.



شکل ۵) نقشه پراکنندگی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی در منطقه مورد مطالعه

ساخترهایی مانند دره‌های حاصل از غسل راستالغز صورت می‌گیرد، میزان  $S_L$  کاهش پیدا می‌کند [Keller & Pinter, 2002].

### شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat)

به منظور بررسی زمین‌ساخت فعال در حوضه سیوند از شاخص‌های عدم تقارن حوضه زهکشی، برجستگی نسبی، ضریب شکل، انتگرال و منحنی فرازسنجی و گرادیان طولی رود استفاده شد. هر کدام از شاخص‌های مذکور بر اساس مقادیرشان رده‌بندی شدند و در نهایت با استفاده از روش احمدونی و همکاران، میانگین مقادیر رده شاخص‌های ریخت‌سنجی ( $S/n$ ) برای هر زیرحوضه اندازه‌گیری شد و شاخص نهایی به نام شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی ( $I_{at}$ ) حاصل شد [El Hamdouni et al, 2008].

### یافته‌ها

#### تحلیل شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی

به منظور محاسبه شاخص عدم تقارن با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS، مساحت کل حوضه و مساحت سمت راست آبراهه اصلی به تفکیک برای ۲۱ زیر حوضه واقع در گستره مورد مطالعه محاسبه شد. سپس نقشه میزان کج‌شدگی با ثبت مقادیر شاخص عدم تقارن و ساختارهای اصلی منطقه ترسیم شد. این شاخص از لحاظ فعالیت زمین‌ساختی در ۳ رده یعنی رده ۱ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا

جدول ۱) مقادیر پنج شاخص اندازه‌گیری‌شده و سطح فعالیت زمین‌ساختی در گستره مورد مطالعه

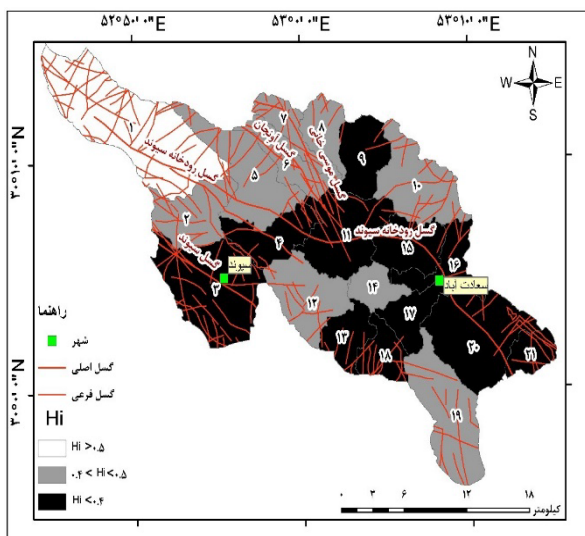
شماره حوضه	عدم تقارن حوضه زهکشی	برجستگی نسبی	ضریب شکل	انتگرال فرازسنجی	گرادیان طولی رود	زمین‌ساخت فعال نسبی	رده زمین‌ساخت فعال نسبی
۱	۱۹/۳۷	۱۲۹۵	۰/۲۴	۰/۵۱	۸۰۹/۸	۱/۶	۲
۲	۰/۲۱	۹۳۰	۰/۳۷	۰/۴۴	۷۵۸	۲/۶	۴
۳	۱۴/۶	۹۸۹	۰/۲۸	۰/۳۴	۷۰۲/۴	۲/۶	۴
۴	۱۲/۶۹	۸۰۰	۰/۱۸	۰/۲۲	۳۱۱/۵	۲/۲	۳
۵	۰/۱	۱۱۵۰	۰/۱۲	۰/۴۷	۱۷۸۶/۷	۱/۸	۲
۶	۱۶/۷۵	۹۳۹	۰/۱۴	۰/۴۸	۳۳۰/۴	۱/۸	۲
۷	۵/۸۱	۹۳۹	۰/۱۳	۰/۴۸	۴۲۳/۲	۲/۲	۳
۸	۱۹/۷۸	۷۱۳	۰/۲۴	۰/۴۸	۶۳۵/۹	۲	۲
۹	۲۳/۵۲	۶۹۱	۰/۳۲	۰/۳۲	۲۶۷/۲	۲/۶	۴
۱۰	۹/۹۳	۸۱۱	۰/۳۸	۰/۴	۲۲۳/۳۹	۲/۶	۴
۱۱	۰/۲۷	۷۵۵	۰/۱۳	۰/۲۲	۲۸۲/۸	۲/۶	۴
۱۲	۱۸/۴۹	۹۰۸	۰/۲۲	۰/۴۱	۶۶۱/۴	۲	۲
۱۳	۳۲/۰۳	۸۱۰	۰/۳۳	۰/۳۶	۶۵۹/۹	۲/۴	۳
۱۴	۲۷/۳۵	۲۸	۰/۳۲	۰/۴۳	۱۵۷/۶	۲/۴	۳
۱۵	۲۴/۱۱	۵۸۰	۰/۲۴	۰/۱۸	۲۹۲/۵	۲/۴	۳
۱۶	۱/۰۹	۵۴۲	۰/۱۲	۰/۲۸	۲۸۷/۷	۲/۶	۴
۱۷	۲۳/۶۳	۴۱۴	۰/۱۵	۰/۰۸	۱۹۵/۷	۲/۲	۳
۱۸	۳۰/۸۱	۸۱۱	۰/۱۶	۰/۲۷	۱۹۹/۲	۲/۲	۳
۱۹	۱۰/۸۵	۱۰۶۱	۰/۱۶	۰/۴۵	۳۸۵	۱/۸	۲
۲۰	۳/۷۹	۵۴۴	۰/۲۱	۰/۲۵	۱۳۷	۲/۸	۴
۲۱	۱۳/۴۴	۴۵۲	۰/۲۱	۰/۳۹	۱۲۳/۷	۲/۶	۴

حوضه، مساحت و طول برای تمامی حوضه‌ها به صورت مجزا به دست آمد و شاخص ضریب شکل برای ۲۱ حوضه زهکشی اندازه‌گیری شد (جدول ۱) و در نهایت نقشه پهنه‌بندی این شاخص در مقیاس حوضه ترسیم شد (شکل ۷). شاخص مذکور به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به سه رده شامل رده ۱ مقادیر کمتر از  $0.2 < Ff < 0.25$  دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا، رده ۲ مقادیر بین  $0.2 < Ff < 0.25$  تا  $0.25 < Ff < 0.4$  دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و رده ۳ شامل مقادیر بیشتر از  $Ff > 0.25$  طبقه‌بندی شد که فعالیت زمین‌ساختی کمی داشت.

### تحلیل انتگرال و منحنی فرازنسجی

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰ متر، ارتفاع میانگین، کمینه و بیشینه برای هر زیر حوضه به صورت مجزا در گستره مورد مطالعه تعیین و مقدار شاخص مذکور محاسبه شد (جدول ۱). سپس نقشه پهنه‌بندی سطح فعالیت زمین‌ساختی رسم شد (شکل ۸). این شاخص را می‌توان از لحاظ فعالیت زمین‌ساختی و بر اساس مقدار انتگرال و میزان تحدب و تقعر منحنی به سه رده تقسیم کرد یعنی رده ۱ با مقدار انتگرال  $0 < Hi < 0.5$  و بیشتر از  $Hi > 0.5$  که دارای منحنی فرازنسجی محدب بود و بیان‌کننده توپوگرافی بالا نسبت به مقدار میانگین آن در حوضه زهکشی است، رده ۲ با مقدار انتگرال فرازنسجی  $0.4 < Hi < 0.5$  که حد واسط رده ۱ و ۳ بود منحنی فرازنسجی محدب-مقعر را شامل می‌شد و رده ۳ با مقدار انتگرال فرازنسجی کمتر از  $Hi < 0.4$  که منحنی‌های مقعر را شامل می‌شد.

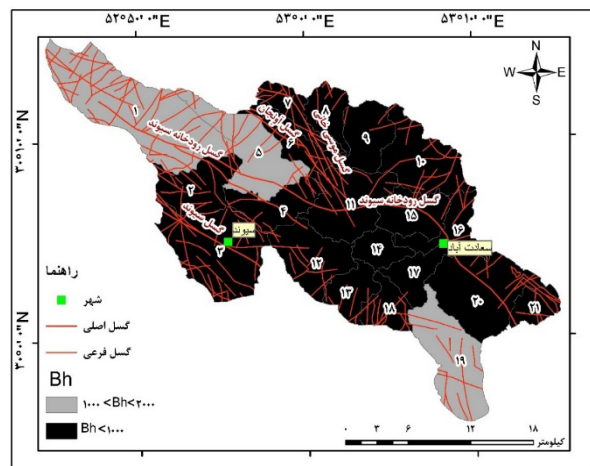
منحنی فرازنسجی تعدادی از حوضه‌هایی که بیش‌ترین مقدار عددی این شاخص را در گستره مورد مطالعه داشتند، در شکل ۹ آمده است که شامل حوضه ۱ با مقدار  $0.5$  و حوضه‌های ۸ و ۵ به‌ترتیب با مقادیر  $0.48$  و  $0.47$  بود و نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بالا و متوسط بود.



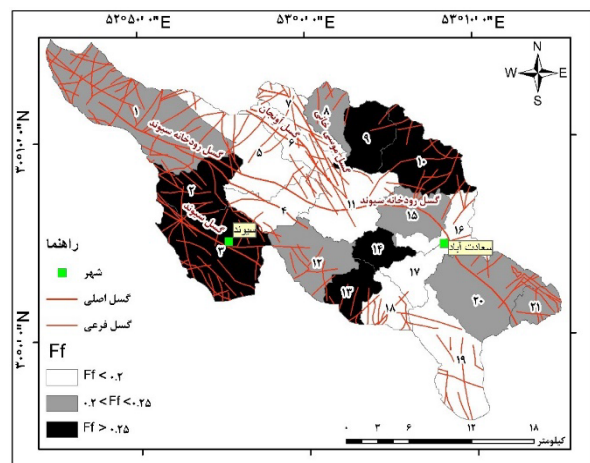
شکل ۸) نقشه پراکندگی شاخص انتگرال فرازنسجی در منطقه مورد مطالعه

### تحلیل شاخص برجستگی نسبی

نتایج عددی حاصل از محاسبه این شاخص در جدول ۱ نمایش شده است. مقادیر بالای برجستگی نسبی، بیانگر نرخ بالاآمدگی بیش‌تر، شدت جریان آب بیشتر و نفوذ پایین است که به دلیل فعالیت زمین‌ساختی بیش‌تر است. علاوه بر عامل فعالیت زمین‌ساختی، هر چه ارتفاع بیش‌تر باشد فرسایش کم‌تر و در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی بیش‌تر است. نقشه پهنه‌بندی حاصل از شاخص برجستگی نسبی در گستره مورد مطالعه رسم شد (شکل ۶) و به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی در دو رده طبقه‌بندی شد یعنی رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی متوسط ( $1000 < Bh < 2000$ ) و رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی کم ( $Bh < 1000$ ). برای شاخص برجستگی نسبی، این منطقه رده ۱ فعالیت زمین‌ساختی ( $Bh > 2000$ ) را نداشت، زیرا نرخ بالاآمدگی در این منطقه متوسط و کم بوده و نرخ بالاآمدگی بالا در این منطقه مشاهده نشد.



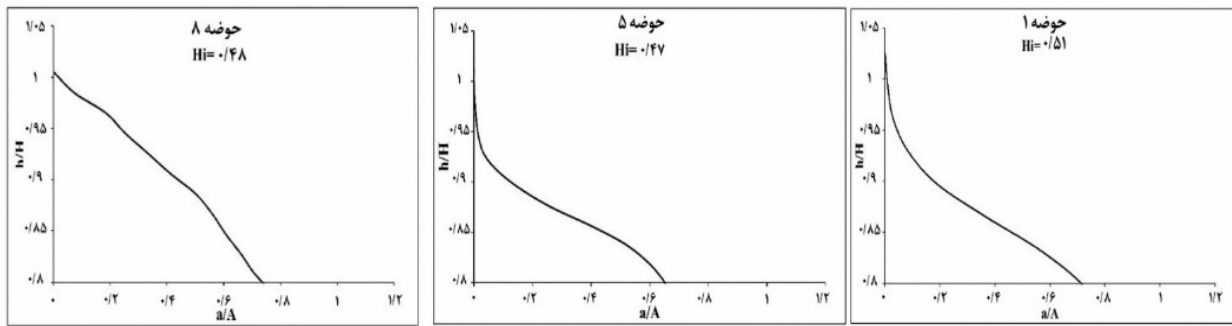
شکل ۶) نقشه پراکندگی شاخص برجستگی نسبی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۷) نقشه پراکندگی شاخص ضریب شکل در منطقه مورد مطالعه

### تحلیل شاخص ضریب شکل

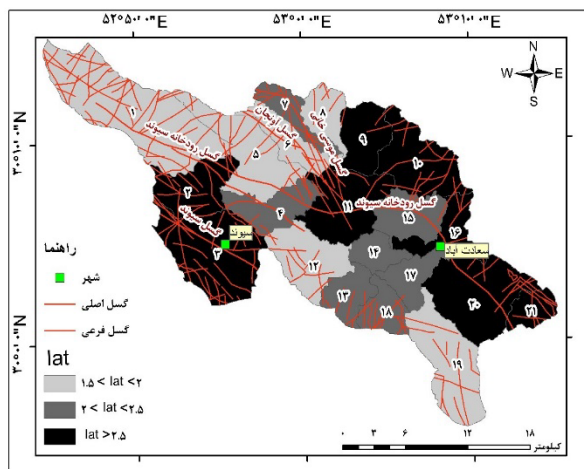
با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰ متر و آبراهه اصلی هر



شکل ۹) منحنی بیشینه فراسنجی در حوضه‌های ۱، ۵ و ۸

حوضه‌های آبریز سیوند رده ۱ یعنی فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا ( $1 < S/n < 1/5$ ) وجود نداشت. در نهایت نقشه توزیع سطح فعالیت زمین‌ساختی کل در منطقه رسم شد (شکل ۱۱).

پژوهش انجام‌شده در این بخش از زاگرس با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی حوضه آبریز سیوند نشان داد که به دلیل عملکرد گسل‌های فعال منطقه از جمله گسل‌های رودخانه سیوند، گسل سیوند، موسی‌خانی و گسل آونجان، ۳۷/۸٪ از مساحت گستره مورد مطالعه دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا، ۱۹/۸٪ دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و ۴۲/۴٪ دارای فعالیت کم بود. بخش‌های شمالی، شمال غربی، میانی و جنوبی منطقه مورد بررسی فعال‌تر از بخش‌های دیگر بودند.



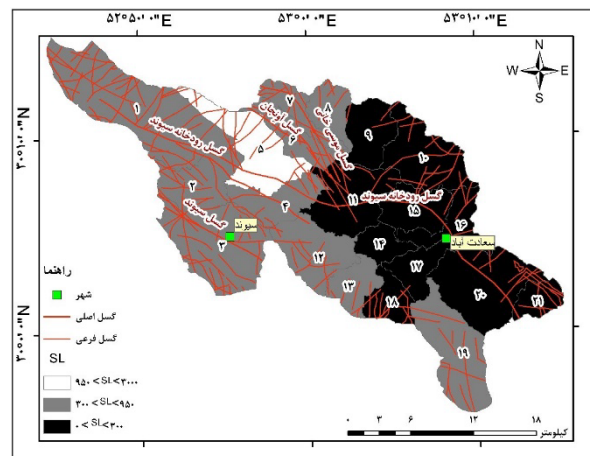
شکل ۱۱) نقشه توزیع سطح فعالیت زمین‌ساخت نسبی در منطقه مورد مطالعه

### بحث

هدف از این پژوهش ارزیابی و تحلیل فعالیت‌های زمین‌ساختی حوضه آبریز سیوند با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی است. مخاطرات ریخت زمین‌ساختی از مخاطرات محیطی هستند که در سراسر جهان باعث اختلال جدی در فعالیت‌های انسانی می‌شوند. در سال‌های اخیر شناخت مناطق مخاطره‌آمیز و دارای پتانسیل خطر افزایش یافته و راهکارهای ریخت زمین‌ساختی برای حل مسایل محیطی توسعه یافته است. از آنجا که در حوضه آبریز سیوند تا کنون مطالعات ریخت‌سنجی انجام نشده است، لذا ارزیابی زمین‌ساخت

### تحلیل شاخص گرادیان طولی رود

برای محاسبه این شاخص از مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰ متر در امتداد هر مسیر جریان برای تمامی حوضه‌ها، طولانی‌ترین آبراهه موجود در هر حوضه و لایه توپوگرافی استفاده شد و در نهایت میانگین مقادیر این شاخص برای هر حوضه محاسبه شد (جدول ۱). نقشه پهنبندی حاصل از این شاخص در شکل ۱۰ آمده است. این شاخص از لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به سه رده تقسیم‌بندی شده است که عبارتند از رده ۱ فعالیت زمین‌ساختی بالا ( $95 < S_L < 300$ )، رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی متوسط ( $300 < S_L < 950$ ) و رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی کم ( $S_L < 95$ ).



شکل ۱۰) نقشه پراکندگی مقادیر شاخص گرادیان طولی رود در منطقه مورد مطالعه

### تحلیل شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی

بر اساس نتایج حاصل از محاسبه و رده‌بندی شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی، عدم تقارن حوضه زهکشی، برجستگی نسبی، ضریب شکل، انتگرال فراسنجی و گرادیان طولی رود، برای ۲۱ زیر حوضه در گستره مورد مطالعه محاسبه و به سه رده زمین‌ساخت نسبی طبقه بندی شد، رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی بالا ( $1/5 < S/n < 2$ )، رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی متوسط ( $2/5 < S/n < 2$ ) و رده ۴ فعالیت زمین‌ساختی کم ( $S/n > 2/5$ ) (جدول ۱).

با توجه به نتایج حاصل از محاسبه شاخص (Lat)، حوضه سیوند فاقد رده ۱ فعالیت زمین‌ساختی بود یعنی در هیچ یک از زیر



بر اساس شاخص ضریب شکل، بیشترین کشیدگی حوضه‌ها و بیشترین فعالیت زمین‌ساختی این شاخص ناشی از فعالیت گسل رودخانه سیوند است. فعالیت گسل آونجان و گسل موسی‌خانی و همچنین فعالیت گسل‌های واقع در جنوب منطقه نیز بر حوضه‌های منطقه مورد بررسی اثرگذار بوده و موجب شده این حوضه‌ها فعالیت بالای زمین‌ساختی داشته باشند. /حمدونی و همکاران در بررسی‌های زمین‌ساخت فعال منطقه نوادا و با مقادیر ۰/۱۱ و ۰/۱۷ برای شاخص ضریب شکل در پنج حوضه آبریز، منطقه را با زمین‌ساخت بالا پهنه‌بندی کرده‌اند [El Hamdouni et al., 2013]. بول و مک‌فادن در بررسی‌های ریخت زمین‌ساخت ناحیه کالیفرنیا با به‌دست‌آوردن مقادیر کم‌تر از ۰/۲، منطقه را با زمین‌ساخت بالا رده‌بندی کرده‌اند [Bull & McFadden, 1980]. بیاتی خطیبی در بررسی زمین‌ساخت فعال حوضه آبریز قرنقوچای، با به‌دست‌آوردن مقادیر بین ۰/۲ تا ۰/۲۵، بخشی از منطقه را با زمین‌ساخت متوسط رده‌بندی کرده است [Bayati Khatibi, 2009].

در منطقه مورد مطالعه، بیشترین مقدار شاخص انتگرال و منحنی فرازسنجی و بالاترین فعالیت زمین‌ساختی به دلیل فعالیت گسل رودخانه سیوند بود. فعالیت گسل‌های موسی‌خانی، آونجان و تعدادی از گسل‌های واقع در جنوب منطقه، موجب شده حوضه‌های واقع در این مناطق فعالیت متوسط و پایین داشته باشند که حاکی از فعالیت اندک این گسل‌ها بود. مصدق‌زاده و همکاران با مطالعه ریخت‌زمین‌ساخت رودشکن‌های شرق رامسر، مقادیر شاخص انتگرال و منحنی فرازسنجی مشابه پژوهش حاضر به‌دست آورده و منطقه مورد بررسی را با فعالیت متوسط و پایین رده‌بندی کرده‌اند [Mosadeghzadeh et al., 2020]. بیانی و همکاران فعالیت زمین‌ساختی چند زیر حوضه در منطقه شمال دامغان را در حد متوسط رده‌بندی کرده‌اند [Yamani et al., 2012]. سینگ با بررسی شاخص انتگرال و منحنی فرازسنجی در حوضه آبریز هیمالیا عدد ۰/۵۰ را برای زیر حوضه مورد مطالعه به دست آورده است که نزدیک به عدد به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر است، این محقق نیز رده فعالیت زمین‌ساختی متوسط و پایین را برای زیر حوضه مورد مطالعه پیشنهاد کرده است [Singh, 2009]. بالاترین مقدار شاخص گرادیان طولی رود مربوط به ناحیه‌ای بود که گسل رودخانه سیوند قرار دارد، زیرا گسل رودخانه سیوند در محل برخورد به آبراهه واقع در این حوضه موجب ایجاد ناهنجاری در آبراهه شده و بالاترین فعالیت زمین‌ساختی شده است. تلاقی گسل آونجان با آبراهه‌های واقع در حوضه‌های ۶ و ۷، تلاقی گسل موسی‌خانی با آبراهه واقع در حوضه ۸، فعالیت گسل سیوند و قطع شدن آبراهه واقع در حوضه‌های ۲ و ۳ و همچنین فعالیت گسل‌های واقع در جنوب گستره مورد مطالعه، موجب شده آبراهه واقع در این حوضه‌ها تا حدودی ناهنجاری داشته و رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی متوسط در این حوضه‌ها مشاهده شود. خدابخش‌نژاد و همکاران در بررسی زمین‌ساخت فعال حوضه آبریز کارون، با به‌دست‌آوردن مقادیری نزدیک به مقادیر به‌دست‌آمده در این پژوهش، زیر

فعال این منطقه بر اساس بررسی‌های ریخت‌سنجی ضروری به نظر می‌رسد و نتایج این پژوهش می‌تواند برای برنامه‌ریزان شهری در این ناحیه مفید واقع شود. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با برخی از شاخص‌های مشابه در تحقیقات آبدیده و همکاران [Abdideh et al., 2011]. خدابخش‌نژاد و همکاران [Khodabakhshnezhad et al., 2015]. بابایی و همکاران [Babaei et al., 2017]. رابیطی و همکاران [Rabeti et al., 2018]. بیانی و همکاران [Yamani et al., 2012]. بیاتی خطیبی [Bayati Khatibi, 2009]. مصدق‌زاده و همکاران [Mosadeghzadeh et al., 2020]. بول و مک‌فادن [Bull & McFadden, 1980]. بوربانک و آندرسون [Burbank & Anderson, 2012]. ملوش و کالر [Melosh & Keller, 2013]. /حمدونی و همکاران [El Hamdouni et al., 2008] همسویی دارد. البته برخی از شاخص‌های کمی ریخت‌سنجی این پژوهشگران با شاخص‌های به کار برده‌شده در این تحقیق تفاوت دارند؛ ضمناً برخی از آنها در مطالعات ریخت زمین‌ساختی، علاوه بر شاخص‌های کمی از شاخص‌های کیفی نیز استفاده کرده‌اند. با این حال، در شاخص‌های ریخت‌سنجی مشابه با شاخص‌های پژوهش حاضر، برای نتیجه‌گیری از همان روش‌شناسی و همان نتایجی که در این پژوهش به آنها استناد شده است، استفاده کرده‌اند.

براساس شاخص عدم تقارن حوضه فعالیت گسل سیوند، گسل رودخانه سیوند و گسل آونجان موجب شده که بیش‌تر زیرحوضه‌های واقع در این گسل‌ها دارای کج‌شدگی بوده و فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالا را نشان دهند. ونز و همکاران با به‌کارگیری شاخص عدم تقارن در حوضه آبریز کاستاریکا و بیاتی خطیبی با به‌کارگیری شاخص عدم تقارن در حوضه آبریز قرنقوچای و با به‌دست‌آوردن مقادیر کم‌تر از ۱۵، فعالیت زمین‌ساخت متوسط را برای مناطق مورد بررسی خود پیشنهاد داده‌اند [Wells et al., 1988; Bayati Khatibi, 2009]. رابیطی و همکاران در حوضه آبریز سپیدرود و بابایی و همکاران با بررسی ریخت زمین‌ساخت البرز مرکزی و استفاده از شاخص عدم تقارن، به ارقام و نتایجی بالاتر از ۱۵ دست یافته‌اند که فعالیت زمین‌ساختی بالا را برای مناطق مورد بررسی نشان می‌دهد [Rabeti et al., 2018; Babaei et al., 2017]. بر اساس شاخص برجستگی نسبی و با توجه به نقشه پهنه‌بندی مشخص شد که به دلیل فعالیت بخشی از گسل رودخانه سیوند و به دلیل فعالیت گسل‌های واقع در جنوب منطقه، بیش‌تر مساحت حوضه‌ها فعالیت زمین‌ساختی متوسط و پایین داشتند. بوربانک و آندرسون در بررسی‌های ریخت زمین‌ساختی حوضه آبریز منچستر با استفاده از شاخص برجستگی نسبی با ارقام بالاتر از ۲۰۰۰، منطقه را به عنوان یک زیرحوضه با فعالیت بالا رده‌بندی کرده‌اند [Burbank & Anderson, 2012]. بابایی و همکاران با بررسی ریخت زمین‌ساخت البرز مرکزی با استفاده از شاخص برجستگی نسبی و به‌دست‌آوردن اعدادی نزدیک ۲۰۰۰ برای منطقه مورد بررسی، فعالیت زمین‌ساختی بالا را تشخیص داده‌اند [Babaei et al., 2017].

**تشکر و قدردانی:** موردی از طرف نویسنده گزارش نشده است.  
**تأییدیه‌های اخلاقی:** این مقاله تاکنون در هیچ یک از مجلات داخلی و خارجی به چاپ نرسیده است.  
**تعارض منافع:** موردی از طرف نویسنده گزارش نشده است.  
**سهم نویسندگان:** محمد خلج کلیه امور مقاله را انجام داده است (۱۰۰٪).  
**منابع مالی:** موردی از طرف نویسنده گزارش نشده است.

### منابع

- Abdideh M, Qorashi M, Rangzan K, Aryan M (2011). Assessment of relative active tectonics using Morphometric Analysis, case study of Dez River (southwestern, Iran). Scientific Quarterly Journal of Geoscience. 20(80):33-46. [Persian]
- Babaei Sh, Dehebozorgi M, Hakimi Asyabar S, Hosseini Asl A (2017). Assessment of active tectonics by using morphometric indices in Central Alborz. Quantitative Geomorphology Research. 6(1):40-56. [Persian]
- Bayati Khatibi M (2009). Detection of neotectonic activities in Qoranguchai water basin using Geomorphic and Morphotectonic indicators. Journal of Geographical Space. 9(25):23-50. [Persian]
- Berberian M (1995). Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: Active basement tectonics and surface morphotectonics. Tectonophysics. 241(3-4):193-224.
- Bull WB, McFadden LD (1980). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring DO, editor. Geomorphology in arid regions. 1<sup>st</sup> Edition. London: Routledge.
- Burbank DW, Anderson RS (2012). Tectonic geomorphology. New Jersey: Wiley Press.
- El Hamdouni R, Irigaray C, Fernandez T, Chacón J, Keller EA (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology. 96(1-2):150-173.
- Font M, Amorese D, Lagarde JL (2010). DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: The Normandy intraplate area (NW France). Geomorphology. 119(3-4):172-180.
- Fossen H (2016). Structural geology. 2<sup>nd</sup> Edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hack JT (1973). Stream-profiles analysis and stream-gradient index. Journal of Research of the U.S. Geological Survey. 1(4):421-429.
- Horton RE (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin. 56(3):275-370.
- Keller EA (1986). Investigation of active tectonics: Use of surficial Earth processes. In: National Research Council, editor. Active Tectonics, Studies in Geophysics. Washington DC: National Academy Press.
- Keller EA, Pinter N (2002). Active tectonics, earthquakes, uplift and landscape. 2<sup>nd</sup> Edition. London: Pearson Press.
- Khodabakhshnezhad A, Pourkermani M, Arian M, Mutkan AA, Charchi A (2015). Active tectonics of the Great Karun River basin. Scientific Quarterly Journal of Geoscience. 24(95):13-28. [Persian]
- Maathuis BHP, Wang L (2006). Digital elevation model based hydro-processing. Geocarto International. 21(1):21-26.
- Melosh BL, Keller EA (2013). Effects of active folding and

حوضه‌های مربوط را در رده زمین‌ساخت متوسط پهنه‌بندی کرده‌اند [Khodabakhshnezhad et al., 2015]. ملوش و ککر در بررسی کمربند چین‌خورده سانتا باربارا از شاخص گرادیان طولی رود استفاده کرده و با به‌دست‌آوردن اعداد تقریباً مشابه پژوهش حاضر، رده زمین‌ساخت با فعالیت متوسط را برای آن مناطق پیشنهاد کرده‌اند [Melosh & Keller, 2013]. آبدیده و همکاران نیز با به‌دست آوردن اعداد نزدیک به این پژوهش در شاخص گرادیان طولی رود، رده فعالیت زمین‌ساخت متوسط را برای زیر حوضه آبریز دز پیشنهاد کرده‌اند [Abdideh et al., 2011].

با توجه به نتایج حاصل از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی و بر پایه نقشه پهنه‌بندی این شاخص، رده فعالیت زمین‌ساختی منطقه بالا ارزیابی شد و این به دلیل فعالیت بخش‌هایی از گسل رودخانه سیوند، گسل آونجان و گسل موسی‌خانی، که تحت تاثیر فعالیت گسل‌های واقع در جنوب منطقه قرار داشتند، بود. الحمدونی و همکاران [El Hamdouni et al., 2008]، ملوش و ککر [Melosh & Keller, 2013]، مصدق‌زاده و همکاران [Mosadeghzadeh et al., 2020]، خدابخش‌نژاد و همکاران [Khodabakhshnezhad et al., 2015]، بابایی و همکاران [Rabeti et al., 2017]، بابایی و همکاران [Babaei et al., 2017]، یمانی و همکاران [Yamani et al., 2012] و سایر محققانی که شاخص‌های ریخت‌سنجی را در مطالعات زمین‌ساخت فعال به کار برده‌اند، با به‌دست‌آوردن مقادیر مشابه در شاخص‌های مشابه و تحلیل آن در شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی، برای پهنه‌بندی منطقه مورد بررسی خود، به نتایجی مشابه نتایج پژوهش حاضر برای فعالیت زمین‌ساخت فعال منطقه حوضه آبریز سیوند رسیده‌اند.

تفاوت در وضعیت زمین‌شناسی هر منطقه نسبت به مناطق دیگر موجب می‌شود که برخی از مناطق برای به کارگیری نوع خاصی از شاخص‌ها مناسب‌تر از شاخص‌های دیگر باشند. وضعیت زمین‌شناسی منطقه سیوند موجب شد برخی از شاخص‌های کمی ریخت‌سنجی مانند شاخص ناهنجاری‌های سلسله مراتبی، شاخص کج‌شدگی حوضه یا شاخص‌های نسبت پیشانی کوهستان در این منطقه به خوبی قابل اندازه‌گیری نباشند، بنابراین از به کارگیری چنین شاخص‌هایی خودداری شد.

پیشنهاد می‌شود با مطالعات ژئوفیزیکی به‌ویژه مطالعات مغناطیس‌سنجی، وضعیت تحت‌الارضی منطقه، وضعیت خطواره‌ها و گسل‌های پنهان در منطقه، که تاثیر قابل توجهی بر لرزه زمین‌ساخت منطقه دارند مورد بررسی قرار گیرد.

### نتیجه‌گیری

حوضه آبریز سیوند دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالا است و بخش‌های شمالی، شمال غربی، میانی و جنوبی منطقه فعال‌تر از بخش‌های دیگر هستند که به دلیل تاثیر گسل‌های مذکور بر منطقه است.

model analysis of stream profiles in the Mendocino triple junction region, northern California. Geological Society of America Bulletin. 112(8):1250-1263.

- Stocklin J (1968). Structural history and tectonics of Iran: A review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 52(7):1229-1258.

- Strahler AN (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin. 63(11):1117-1142.

-Volker HX, Wasklewicz TA, Ellis MA (2007). A topographic fingerprint to distinguish alluvial fan formative processes. Geomorphology. 88(1-2):34-45.

- Walker RT (2006). A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman province, S.E. Iran. Journal of Structural Geology. 28(4):654-666.

- Wells SG, Bullard TF, Menges CM, Drake PG, Karas PA, Kelson KI, et al. (1988). Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary. Pacific Coast of Costa Rica. Geomorphology. 1(3):239-265.

- Yamani M, Maghsudi M, Ghassemi MR, Mohammadnejad V (2012). Morphologic and morphometric evidence for active tectonic effects on alluvial fans in North Damghan. Physical Geography Research Quarterly. 44(2):1-18. [Persian]

reverse faulting on stream channel evolution, Santa Barbara Fold Belt, California. Geomorphology. 186(25):119-135.

- Mosadeghzadeh E, Dehbozorgi M, Hakimi Asiabar S (2020). Morphotectonic of Eastern part of Ramsar, North of Iran. Quantitative Geomorphology Research. 8(3):242-258. [Persian]

- Morisawa M, Hack JT, editors (1985). Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual Binghamton Geomorphology Symposium; 1984 Sep; Boston: Allen and Unwin.

- Rabeti D, Debozorgi M, Hakimi Esiaber S, Nouzaim R (2018). Assessment of active tectonics by using morphometric indices in Sepidrud Basin, Western Alborz. Quantitative Geomorphology Researches. 7(2):140-157. [Persian]

- Singh OM (2009). Hypsometry and erosion proneness: A case study in the lesser Himalayan watersheds. Journal of Soil and Water Conservation. 8(2):53-59.

- Singh P, Gupta A, Singh M (2014). Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 17(2):111-121.

- Snyder NP, Whipple KX, Tucker GE, Merritts DJ (2000). Landscape response to tectonic forcing: Digital elevation