



## Assessment of Active Tectonic by Using Geomorphic Indices in Dezful-Andimeshk Basin, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article Type

Original Research

#### Authors

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

#### How to cite this article

Khalaj M. Assessment of Active Tectonic by Using Geomorphic Indices in Dezful-Andimeshk Basin, Iran. Geographical Researches. 2020;35(1):83-94.

<sup>1</sup>Department of Geology, Faculty of Science, Tehran Branch, Payame Noor University, Tehran, Iran

#### \*Correspondence

Address: Department of Geology, Payame Noor University of Tehran (PNU), Nakhil Street, Tehran, Iran. Postal Code: 1955643183. Phone: +98 (21) 22442034 Fax: +98 (21) 22458369 m\_khalaj@pnu.ac.ir

#### Article History

Received: November 27, 2019  
Accepted: March 13, 2020  
ePublished: March 18, 2020

### ABSTRACT

**Aims & Backgrounds** Almost no area in the world can be found that has not been affected by tectonic processes. The morpho-tectonic indices of the basin are used to investigate the active tectonics. Morphometry can be defined as the quantitative measurement of the shape of the Earth's landscape that using these quantitative measurements can identify areas with active tectonics. The purpose of this study was to investigate the Active tectonic in Dezful- Andimeshk basin using five geomorphological indices of the Drainage Asymmetry Factor (Af), Relative relief (Bh), Form factor (Ff), Hypsometric integral and curve (Hi), and Stream gradient index (SL). With this research, it is possible to find out the active processes in Dezful-Andimeshk basin and the damage from natural disasters such as floods and earthquakes can be partially prevented.

**Methodology** This study is an applied research and has used quantitative calculations. GIS software and digital elevation map (DEM) with resolution of 30 m were used to calculate the indices. For each index, the zoning map in the study area was plotted and each of these indices was divided into five categories of very high, high, medium, low and very low in terms of tectonic activity. Finally, by averaging the whole set of indices, a final index called relative active tectonics index (Iat) was calculated and the study area was divided into four categories of very high, high, medium and low tectonic activity.

**Findings** In the sub basins corresponding to Dowragh, Mountain Front Fault and Parts of the Labrian, Ramhormoz and Balarud, the measured indices show high values due to the high tectonic activity of the area.

**Conclusion** The results of this study show that recent relative tectonic activity in Dezful-Andimeshk basin is high and very high due to the impact of the faults on the area.

**Keywords** Drainage Basin; Active Tectonic; Geomorphology Index; Faulting

### CITATION LINKS

[Abdideh M, et al; 2011] Assessment of relative active tectonics ...; [Bayati Khatibi M; 2009] Neotectonic affection analysis on ...; [Berberian M; 1995] Master "blind" thrust faults hidden ...; [Bull WB; 1977] Tectonic geomorphology north ...; [Burbank DW, Anderson RS; 2012] Tectonic ...; [El Hamdouni R, et al; 2008] Assessment of relative active ...; [Figuerola AM, Knott JR; 2010] Tectonic geomorphology of the southern ...; [Font M, et al; 2010] DEM and GIS analysis of the stream ...; [Fossen H; 2010] Structural ...; [Guarnieri P, Pirrotta C; 2008] The response of drainage basins ...; [Hack JT; 1973] Stream-profiles analysis and stream ...; [Hare PW, Gardner TW; 1985] Geomorphic indicators of vertical ...; [Holbrook J, Schumm SA; 1999] Geomorphic and sedimentary response ...; [Horton RE; 1945] Erosional development of streams and their ...; [Keller EA, Pinter N; 1996] Active tectonics Earthquakes ...; [Keller EA, et al; 1998] Active tectonics at Wheeler Ridge ...; [Keller EA, Pinter N; 2002] Earthquakes, Uplift, and ...; [Maathuis BHP, Wang L; 2006] Digital elevation model based hydro ...; [Maghsoudi M, Kamrani DH; 2009] Evaluation effect of tectonic activity ...; [Melosh BL, Keller EA; 2013] Effects of active folding and reverse faulting ...; [Moore ID, et al; 1991] Digital terrain modelling: A ...; [Seif A, Khosravi G; 2011] Investigation of active tectonics in Zagros ...; [Singh P, et al; 2014] Hydrological inferences from watershed ...; [Stocklin J; 1968] Structural history and tectonics of Iran ...; [Strahler AN; 1952] Hypsometric (area-altitude) analysis ...; [Walker RT; 2006] A remote sensing study of active folding ...; [Wells SG, et al; 1988] Regional variations in tectonic geomorphology ...; [Yamani M, et al; 2012] Morphologic and morphometric evidence for active ...

## بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی در حوضه آبریز دزفول-اندیمشک

محمد خلیج\* PhD

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، واحد تهران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

### چکیده

**اهداف و زمینه‌ها:** تقریباً هیچ ناحیه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که تحت تأثیر فرآیندهای زمین‌ساختی قرار نگرفته باشد. از شاخص‌های ریخت‌سنجی زمین‌ساختی حوضه آبریز به‌منظور بررسی زمین‌ساخت فعال استفاده می‌شود. ریخت‌سنجی را می‌توان اندازه‌گیری کمی شکل چشم‌اندازهای روی زمین تعریف کرد که با استفاده از این اندازه‌گیری‌های کمی می‌توان به شناسایی مناطق دارای تکتونیک فعال پرداخت. هدف از این پژوهش بررسی زمین‌ساخت فعال در حوضه آبریز دزفول- اندیمشک با استفاده از پنج شاخص ریخت‌سنجی عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، برجستگی نسبی (Bh)، ضریب شکل (Ff)، انتگرال و منحنی فرازنسجی (Hi) و گرادیان طولی رود (SL) است. با انجام این پژوهش، می‌توان به فرآیندهای فعال در حوضه دزفول- اندیمشک پی برد و از خسارت‌های ناشی از بلایای طبیعی مانند سیل و زلزله تا حدودی جلوگیری کرد.

**روش‌شناسی:** پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی است. ماهیت داده‌ها و محاسبات کمی است. برای محاسبه شاخص‌ها از نرم‌افزار GIS و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۳۰ متر استفاده شد. برای هر شاخص نقشه پهنه‌بندی در گستره مورد بررسی تهیه گردید و هر کدام از شاخص‌های مذکور از نظر فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده فعالیت بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم تقسیم شد. در نهایت با میانگین‌گیری از رده کل شاخص‌ها، شاخصی نهایی به نام شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) حاصل شد و گستره مورد بررسی به چهار رده فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، بالا، متوسط و کم تقسیم گردید.

**یافته‌ها:** در زیر حوضه‌های منطبق بر گسل‌های دورق، گسل پیشانی کوهستان، بخش‌هایی از گسل‌های لهری، رامهرمز و بالارود، شاخص‌های اندازه‌گیری شده مقادیر بالایی را نشان می‌دهند که به دلیل فعالیت زمین‌ساختی بالای منطقه است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که فعالیت زمین‌ساختی نسبی اخیر در حوضه دزفول- اندیمشک بالا و بسیار بالا است که به دلیل تأثیر گسل‌های مذکور بر منطقه است.

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۳

\*نویسنده مسئول: m\_khalaj@pnu.ac.ir

### مقدمه

پوسته ایران زمین طی رخدادهای زمین‌شناسی دوره‌های تشریری و کواترنری تحت تأثیر تحولات وسیعی قرار گرفته است؛ به همین دلیل بسیاری از سیمای‌های کنونی طی رخدادهای جوان زمین‌ساختی شکل گرفته‌اند [Fossen, 2010]. ریخت زمین‌ساخت، دانش مطالعه اشکال و سیمای‌های ایجاد شده بر روی زمین است که بر اثر مکانیسم‌های زمین‌ساختی ایجاد شده‌اند [Burbank & Anderson, 2012]. شاخص‌های ریخت‌سنجی در بررسی‌های زمین‌ساختی مفید هستند، زیرا می‌تواند برای ارزیابی سریع مناطق

وسیع به‌کار گرفته شوند و داده‌های ضروری آن اغلب به سرعت از نقشه‌های رقومی و تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آیند [Keller & Pinter, 1996]. فرآیندهای زمین‌ساخت فعال می‌تواند بر شکل و عملکرد رودها تأثیر بگذارد [Holbrook & Schumm, 1999]. بررسی الگوی زهکشی، میزان حفر و انحراف رودها، اطلاعات مهمی در مورد گسترش و تکامل ساختاری منطقه فراهم می‌آورد [Keller et al, 1998; Walker, 2006]. استفاده از شاخص‌های ریخت-سنجی در مطالعه فعالیت‌های نو زمین‌ساختی توسط هورتن [Horton, 1945] آغاز و به وسیله محققین دیگری همچون *ستراهلر* [Strahler, 1952] دنبال شده است. *یمانی* و همکاران [Yamani et al, 2012] شواهد کیفی ریخت زمین‌ساختی و شاخص‌های کمی ریخت‌سنجی حاصل از زمین‌ساخت فعال بر مخروطه افکنه‌های شمال دامغان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش فعال‌بودن گسل‌ها را در دوره کواترنری نشان می‌دهد. *آبدیده* و همکاران [Abdideh et al, 2011] ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال با استفاده از تحلیل ریخت‌سنجی در حوضه آبریز رودخانه دز را بررسی کردند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که علت گستردگی نرخ زمین‌ساخت در این منطقه ناشی از برخورد قاره‌ای بین صفحه عربی و بلوک ایران است. از سایر تحقیقات انجام شده در زمینه ریخت زمین‌ساخت می‌توان به *سیف و خسروی* [Seif & Khosravi, 2011]، *بیاتی خطیبی* [Bayati khatibi, 2009] و *مقصودی و کامرانی* [Maghsoudi & Kamrani, 2009] اشاره کرد.

هدف از این مطالعه، نشان دادن فعالیت‌های نو زمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های کمی ریخت‌سنجی در حوضه آبریز دزفول- اندیمشک است. بدین منظور، پنج شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، برجستگی نسبی (Bh)، ضریب شکل (Ff)، انتگرال و منحنی فرازنسجی (Hi) و گرادیان طولی رود (SL) در گستره مورد مطالعه اندازه‌گیری شد، سپس شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) تعیین گردید.

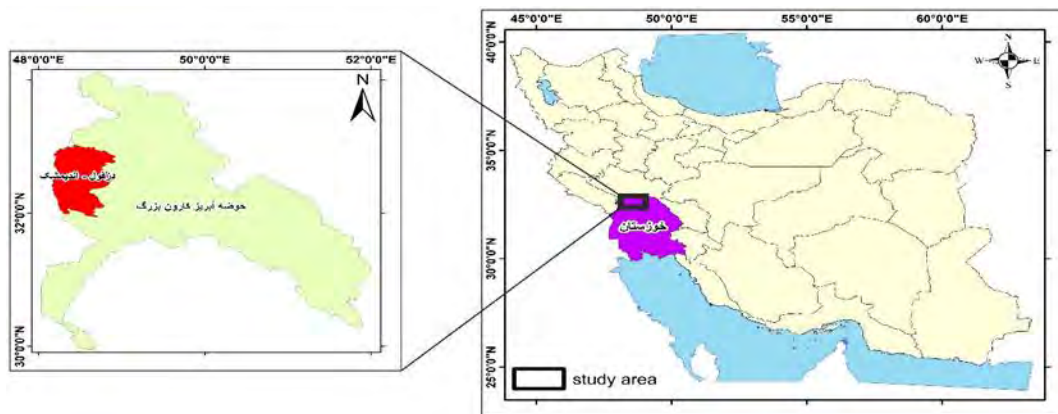
### روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی است. ماهیت داده‌ها و محاسبات کمی است. از دید جغرافیایی حوضه آبریز دزفول- اندیمشک با مساحت ۵۹۵۹/۱۰ کیلومترمربع در جنوب باختری ایران و در استان خوزستان واقع شده و جزئی از حوضه آبریز کارون بزرگ است. منطقه مورد بررسی بین طول‌های جغرافیایی "۴۱° ۹' ۴۸" تا "۵۱° ۵۶' ۳۱" شرقی و عرض جغرافیایی "۱۶° ۵۶' ۳۱" تا "۳۳° ۰۱' ۳۶" شمالی قرار گرفته است (شکل ۱).

در این مطالعه، به‌منظور بررسی زمین‌ساخت فعال در گستره مورد مطالعه از شاخص‌های ریخت‌سنجی حوضه آبریز استفاده شده است. با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) می‌توان ویژگی‌ها و شاخص‌های رودخانه را به‌طور دقیق استخراج و به تحلیل حوضه‌های زهکشی پرداخت [Moore et al, 1991; Maathuis & Wang, 2009].

هستند، تعیین و برای هر شاخص نقشه پهنه‌بندی محدوده مورد مطالعه رسم شد. در پایان نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های ریخت‌سنجی برای هر زیرحوضه با ساختارهای اصلی منطقه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نقشه سطح فعالیت نسبی زمین‌ساختی (lat) برای تعیین سطح فعالیت زمین‌ساختی کل رسم شد. شرح شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد استفاده در این پژوهش در ادامه آمده است

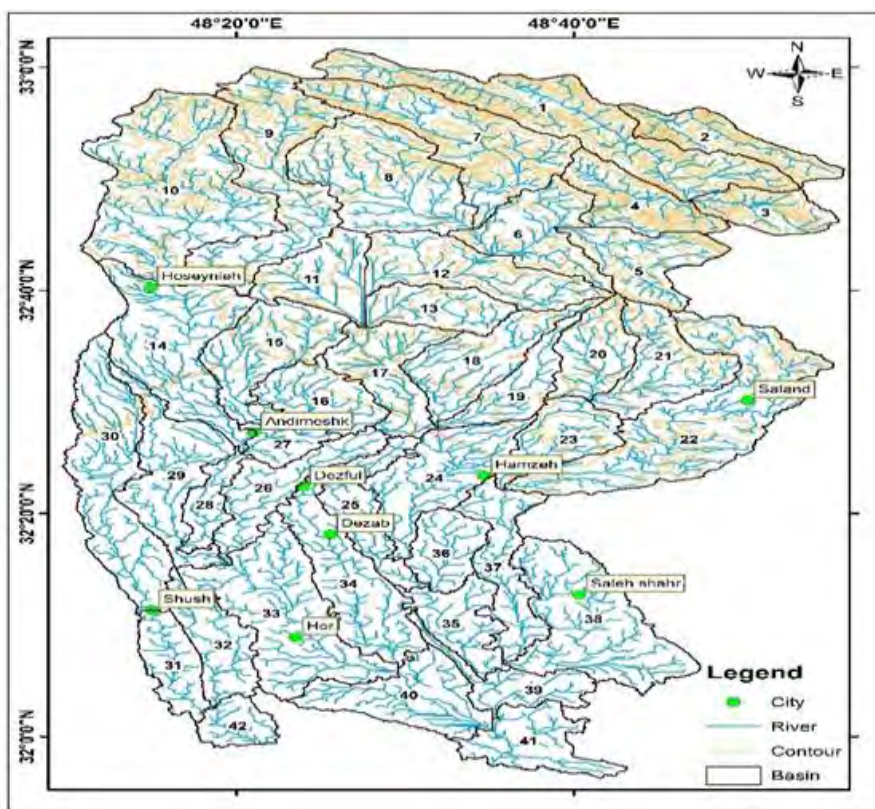
[2006]. ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر در محیط GIS، زیر حوضه‌ها و آبراهه‌های گستره مورد مطالعه استخراج شد و گستره مورد مطالعه به ۴۲ زیر حوضه تقسیم گردید شکل ۲ و شاخص‌های ژئومورفیکی به تفکیک در هر کدام از زیر حوضه‌ها اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، واحدهای زمین‌شناسی و ساختارهای اصلی منطقه که شامل گسل‌ها و چین‌های منطقه



شکل ۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

ایران امتداد یافته است و بنا بر نظر بسیاری از زمین‌شناسان از شمال خاوری به خرد قاره (Micro-continent) ایران مرکزی و از جنوب باختری به سپر عربستان محدود شده و در بخش میانی کوهزایی آلپی قرار گرفته است.

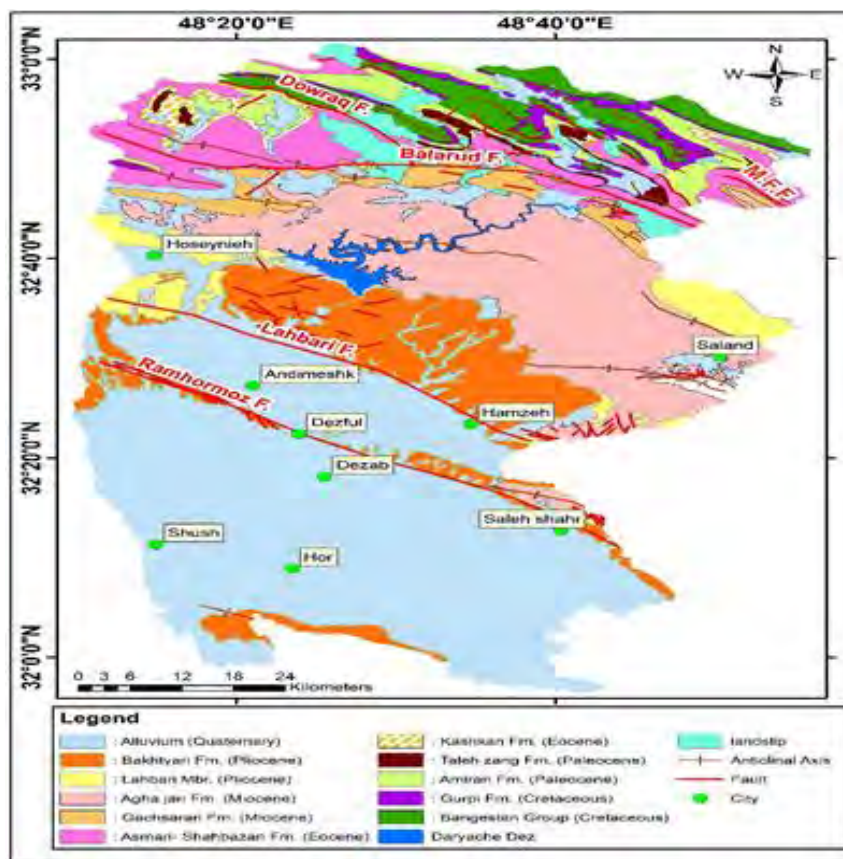
حوضه دزفول- اندیمشک در تقسیم‌بندی ساختمانی- رسوبی ایران [Stocklin, 1968]، در محدوده زون زاگرس چین‌خورده واقع شده است. زاگرس کمربند کوهزایی است که از شمال باختری تا جنوب مرکز



شکل ۲) حوضه‌ها و آبراهه‌های استخراج شده در منطقه مورد مطالعه

بختیاری، لهری، آقاجاری، گچساران، آسماری- شهبازان، کشکان، تله زنگ، امیران، گورپی و گروه بنگستان است (شکل ۳). گسل‌های مهم واقع در حوضه آبریز دزفول-اندیمشک عبارتند از گسل پیشانی کوهستان (M.F.F) دورق، گسل بالارود، گسل لهری و گسل رامهرمز.

از دیدگاه زمین‌ساخت ورقه‌ای این کمربند کوهزایی به‌عنوان لبه فعال شمال خاوری سپر عربستان در نظر گرفته می‌شود [Berberian, 1995]. منطقه مورد مطالعه در محدوده نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ بالارود، دزفول، شهبازان و شوشتر و نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ دزفول واقع شده است. از لحاظ زمین‌شناسی منطقه شامل سازندهای



شکل ۳) نقشه زمین‌شناسی گستره مورد بررسی (برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ دزفول، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور)

رابطه (۲)  $Bh = H_{max} - H_{min}$  در این رابطه،  $Bh$  برجستگی نسبی،  $H_{max}$  بالاترین ارتفاع در هر حوضه و  $H_{min}$  پایین‌ترین ارتفاع در هر حوضه است. این شاخص، نشان‌دهنده ارتفاع نسبی یک حوضه است. مقدار بالای برجستگی نسبی نشان‌دهنده شدت جریان آب، نفوذ پایین، نرخ بالآمدگی بیشتر و مقدار بالای رواناب است که به دلیل فعالیت زمین‌ساختی بیشتر است [Keller & Pinter, 2002].

شاخص ضریب شکل (Ff):

شاخص ضریب شکل از رابطه (۳) محاسبه می‌شود [Horton, 1945]:

رابطه (۳)  $Ff = A / L^2$  در این رابطه  $A$  مساحت حوضه و  $L^2$  مجذور طول حوضه است. طول حوضه از محل خروج آبراهه اصلی تا مرتفع‌ترین نقطه در حوضه محاسبه می‌شود. حوضه‌هایی با ضریب شکل بزرگ‌تر دارای دبی اوج بالا هستند. هر چه مقدار ضریب فرم به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد حوضه مذکور به مربع نزدیک‌تر است و هر چه ضریب فرم کوچک‌تر از ۱

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af):

عامل عدم تقارن، برای توصیف و درک ارتباط کج‌شدگی زمین‌ساختی در نواحی با مقیاس حوضه زهکشی و بزرگ‌تر ارتباط داده شده است. عامل عدم تقارن از رابطه (۱) محاسبه می‌شود [Hare & Gardner, 1985]:

رابطه (۱)  $Af = 100 (Ar/At)$

در این رابطه  $Ar$  مساحت قسمت راست حوضه در جهت پایین دست رود نسبت به رود اصلی و  $At$  مساحت کل حوضه زهکشی است. در این شاخص برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی، مقادیر  $Af = 0-50$  بیان شده که قدر مطلق تفاضل بین مقدار مشاهده شده و مقدار خنثی ۵۰ است [El Hamdouni et al, 2008]. جهت تورق یا لایه بندی در سنگ، ممکن است در افزایش میزان این شاخص نقش مهمی داشته باشند.

شاخص برجستگی نسبی (Bh):

برجستگی نسبی حوضه اختلاف میان مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقطه در حوضه است و از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

الحمدونی و همکاران [El Hamdouni et al, 2008]. میانگین مقادیر رده شاخص‌های ریخت‌سنجی (S/n) اندازه‌گیری شده و شاخصی نهایی به نام شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) حاصل می‌شود.

### یافته‌ها

با توجه به شاخص‌های ذکر شده در بخش روش تحقیق، در این بخش به بررسی یافته‌های حاصل از هر کدام از این شاخص‌ها پرداخته می‌شود.

#### تحلیل شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی:

این شاخص برای ۴۲ زیرحوضه در گستره مورد مطالعه محاسبه شد (جدول ۱) و در پنج رده به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی طبقه‌بندی گردید (شکل ۴) رده ۱ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا ( $Af < 38/4$   $25/78 \geq Af$ )، رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی بالا ( $25/78 \geq Af < 16/15$ )، رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی متوسط ( $16/15 \geq Af < 9/8$ )، رده ۴ فعالیت زمین‌ساختی کم ( $9/8 \geq Af < 4/78$ )، رده ۵ فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم ( $4/78 \geq Af < 0/34$ )، بیشترین مقدار این شاخص ۳۸/۴ مربوط به حوضه ۲۱ و کمترین مقدار این شاخص ۰/۳۴ مربوط به حوضه ۳۱ است که در جنوب گستره مورد مطالعه واقع شده است.

#### تحلیل شاخص برجستگی نسبی:

برای محاسبه شاخص برجستگی نسبی، مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقطه در هر حوضه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی محاسبه شد. نتایج حاصل از محاسبه این شاخص در جدول ۱ آمده است. این شاخص به پنج رده به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی طبقه‌بندی گردید (شکل ۵) رده ۱ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا ( $Bh < 2274$   $1605 \geq Bh$ )، رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی بالا ( $1605 \geq Bh < 748$ )، رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی متوسط ( $748 \geq Bh < 295$ )، رده ۴ فعالیت زمین‌ساختی کم ( $295 \geq Bh < 130$ )، رده ۵ فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم ( $130 \geq Bh < 46$ )، بیشترین مقدار این شاخص ۲۲۷۴ متر در زیرحوضه ۹ است که دارای بیشترین برجستگی است و کمترین مقدار این شاخص نیز مربوط به حوضه ۲۷ با مقدار ۴۶ است.

#### تحلیل شاخص ضریب شکل:

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر منطقه و آبراهه اصلی هر حوضه، مساحت و طول برای هر حوضه به دست آمد و شاخص ضریب شکل در ۴۲ حوضه زهکشی اندازه‌گیری جدول ۱ و نقشه پهنه‌بندی ترسیم شد (شکل ۶). شاخص ضریب شکل به پنج رده فعالیت زمین‌ساختی تقسیم گردید: رده ۱ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا ( $Ff \geq 0/17$ )، رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی بالا ( $0/17 < Ff \geq 0/12$ )، رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی متوسط ( $0/12 < Ff \geq 0/24$ )، رده ۴ فعالیت زمین‌ساختی کم ( $0/24 < Ff \geq 0/33$ )، رده ۵ فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم ( $0/33 < Ff \geq 0/46$ )، مقدار این شاخص در گستره مورد مطالعه بین ۰/۰۹ تا ۰/۶۶ است.

#### تحلیل شاخص انتگرال و منحنی فراسنجی:

باشد حوزه کشیده‌تر است [Singh et al, 2014]. حوضه‌های زهکشی در مناطق فعال از نظر زمین‌ساختی، دارای شکل کشیده‌تر هستند [Bull, 1977].

#### انتگرال و منحنی فراسنجی (Hi):

انتگرال فراسنجی توصیف‌کننده توزیع نسبی ارتفاع در یک منطقه به ویژه حوضه آبریز است و بیانگر حجم فرسایش نیافته حوضه است [Strahler, 1952] و از رابطه (۴) محاسبه می‌شود [Keller & Pinter, 2002]:

رابطه (۴)

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

مقادیر بالای این شاخص مربوط به نواحی فعال و جوان زمین‌ساختی است و مقادیر پایین آن مربوط به نواحی قدیمی است که کمتر تحت تأثیر زمین‌ساخت فعال قرار گرفته‌اند [El Hamdouni et al, 2008]. منحنی فراسنجی نشان‌دهنده توزیع مساحت، ارتفاع و برجستگی‌ها در یک حوضه زهکشی است و مرحله تکامل یک حوضه زهکشی را مشخص می‌کند. این منحنی از ترسیم مساحت نسبی (a/A) در محور افقی به ارتفاع نسبی (h/H) در محور عمودی حاصل می‌شود [Strahler, 1952].

#### شاخص گرادیان طولی رود (SL):

شاخص گرادیان طولی رود تأثیر تغییرات محیطی بر روی پروفیل طولی رودخانه را نشان می‌دهد و برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی ابزار مفیدی است. این شاخص با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود [Hack, 1973]:

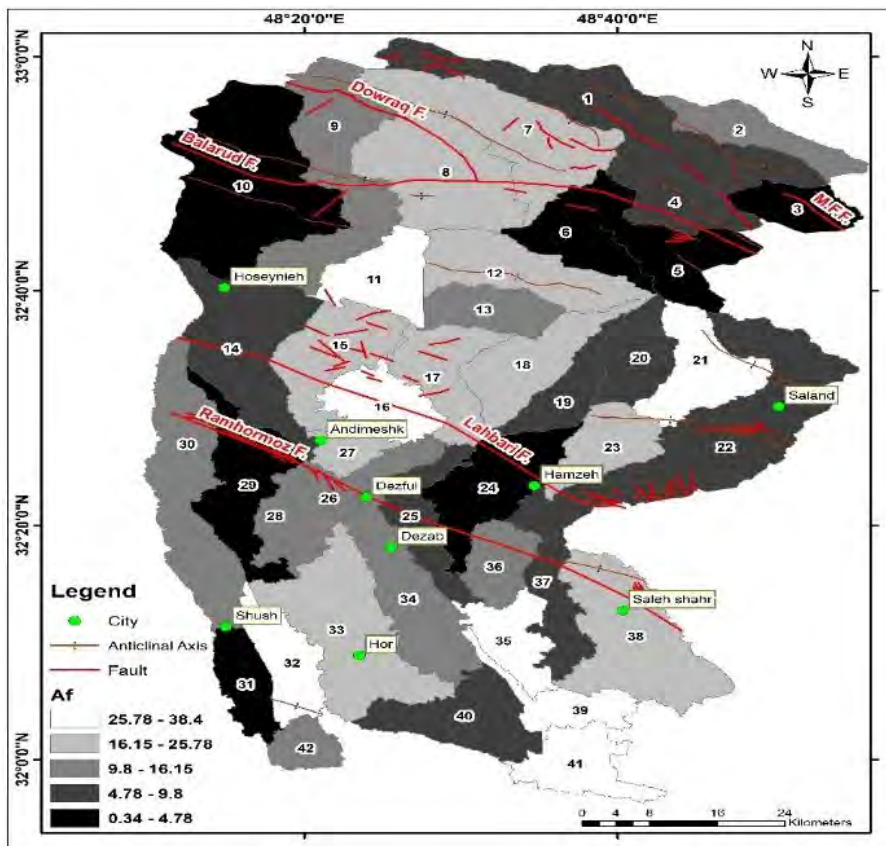
$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \quad (5)$$

در این رابطه، (SL) گرادیان طولی رود، ( $\Delta H$ ) اختلاف ارتفاع در یک مقطع خاص از رودخانه، ( $\Delta L$ ) فاصله افقی همان محل، ( $\Delta H / \Delta L$ ) شیب کانال یا گرادیان مسیر مشخص شده است و L طول کل کانال از نقطه مشخص شده و جایی که شاخص شروع به ارزیابی شده تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است. در مناطقی که گسل آبراهه‌های موجود در حوضه را قطع می‌کند، رود دستخوش تغییرات شده و شیب آن افزایش می‌یابد. این شاخص نشان‌دهنده تغییرات توپوگرافیکی در امتداد یک رود است. به طور معمول این تغییرات تحت تأثیر سه عامل که شامل: فعالیت زمین‌ساختی که می‌تواند باعث ایجاد بالآمدگی شود، تفاوت سنگ‌شناسی و فراوانی زیاد تغییرات سطح اساس دریا طی دوره کوتاه‌تر هستند. هنگامی که رودخانه‌ها و آبراهه‌ها در نواحی با نرخ بالآمدگی زیاد جریان دارند، مقدار شاخص گرادیان طولی رود افزایش می‌یابد [Font et al, 2010].

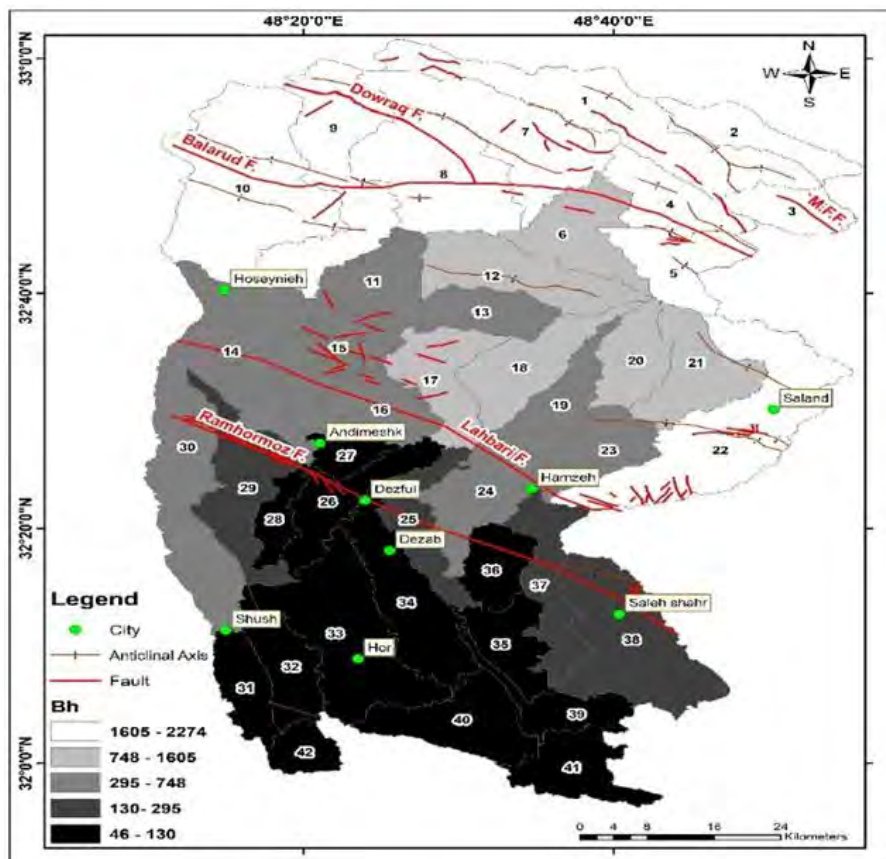
#### شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat):

به‌منظور بررسی زمین‌ساخت فعال در حوضه دزفول- اندیمشک از شاخص‌های عدم تقارن حوضه زهکشی، برجستگی نسبی، ضریب شکل، انتگرال و منحنی فراسنجی و گرادیان طولی رود استفاده شده است. هر کدام از شاخص‌های مذکور براساس مقادیری که دارا هستند رده‌بندی می‌شوند و در نهایت برای هر زیرحوضه بنا بر روش

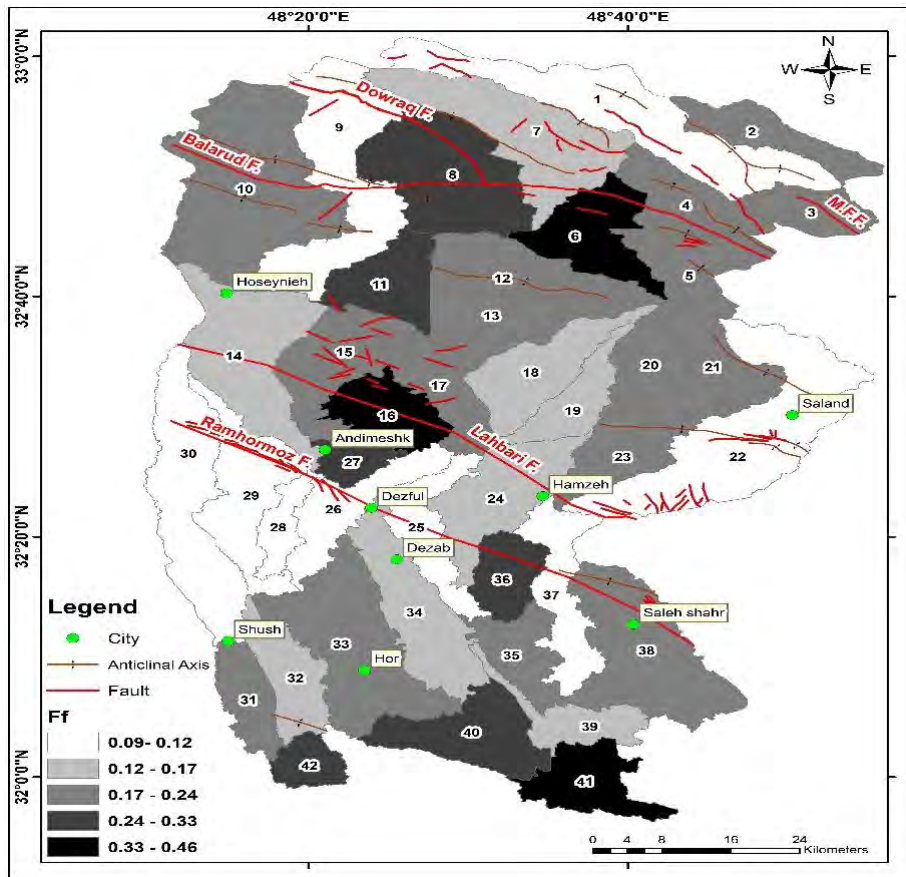
کمیته و پیشینه برای هر حوضه در گستره مورد مطالعه تعیین شد با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰ متر، ارتفاع میانگین،



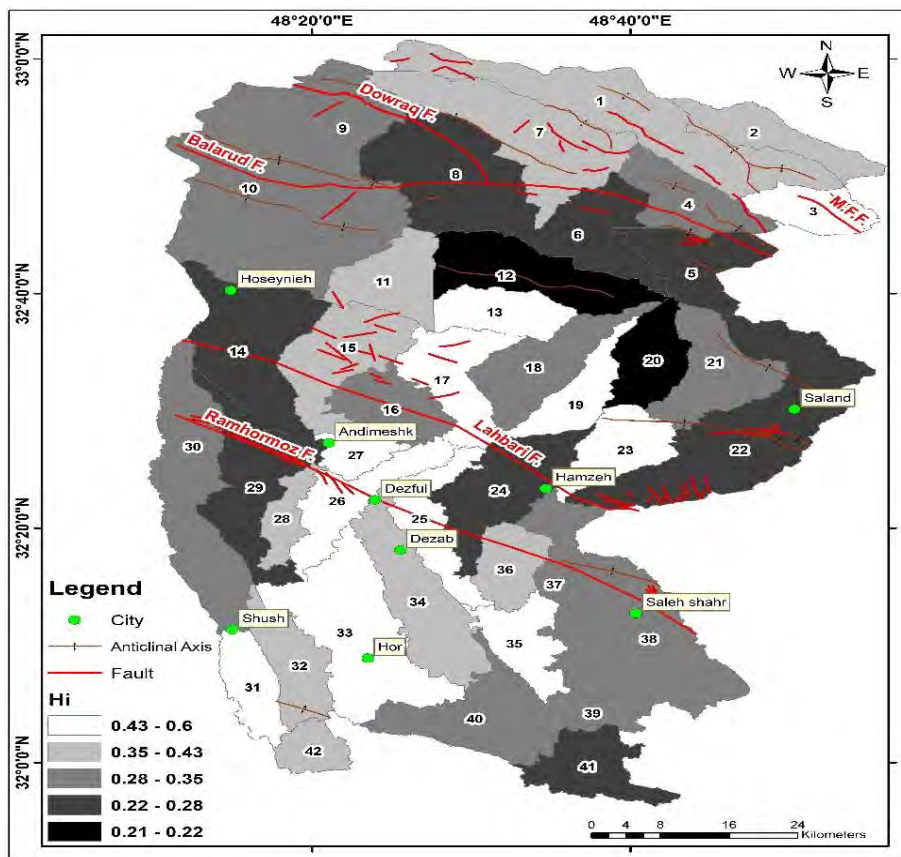
شکل ۴) نقشه پراکندگی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۵) نقشه پراکندگی شاخص برجستگی نسبی در منطقه مورد مطالعه



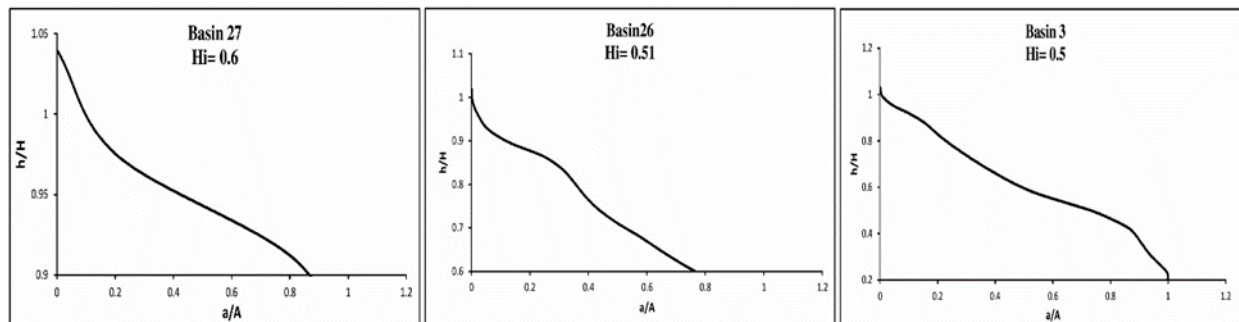
شکل ۶) نقشه پراکندگی شاخص ضریب شکل در منطقه مورد مطالعه



شکل ۷) نقشه پراکندگی شاخص انتگرال فراسنجی در منطقه مورد مطالعه

شاخص مربوط به حوضه‌های شماره ۲۶، ۲۷ و ۳ و کمترین مقدار نیز مربوط به حوضه‌های ۱۲ و ۲۰ است. شاخص انتگرال فراسنجی همراه با منحنی فراسنجی در تعیین وضعیت زمین‌ساختی منطقه به ما کمک می‌کند. منحنی فراسنجی مربوط به حوضه ۳ با مقدار ۰/۵، حوضه ۲۶ با مقدار ۰/۵۱ و حوضه ۲۷ با مقدار ۰/۶ که دارای بیشترین فعالیت زمین‌ساختی هستند به صورت زیر است (شکل ۸).

و سپس به محاسبه شاخص انتگرال فراسنجی پرداختیم (جدول ۱). شاخص فراسنجی به پنج رده فعالیت زمین‌ساختی طبقه‌بندی شد که عبارتند از: رده ۱ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا ( $0.6 > Hi \geq 0.43$ )، رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی بالا ( $0.43 > Hi \geq 0.35$ )، رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی متوسط ( $0.35 > Hi \geq 0.28$ )، رده ۴ فعالیت زمین‌ساختی کم ( $0.28 > Hi \geq 0.22$ ) و رده ۵ فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم ( $0.22 > Hi \geq 0.21$ ) است (شکل ۷). بیشترین مقدار این

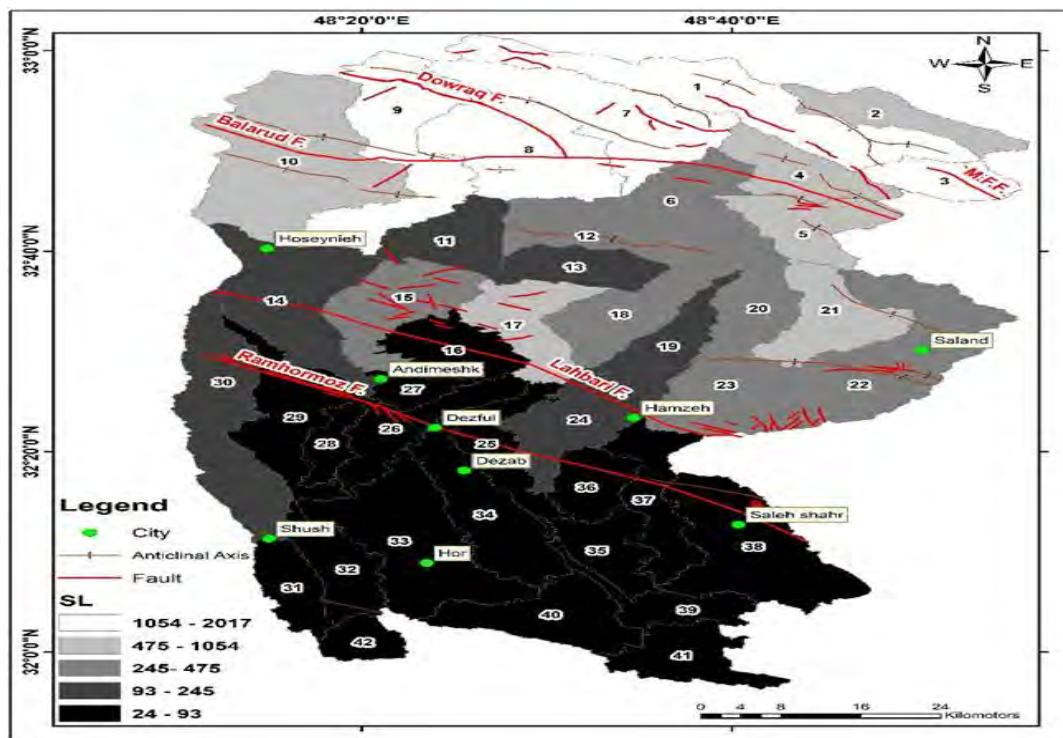


شکل ۸) منحنی بیشینه فراسنجی در حوضه‌های ۲۶، ۲۷ و ۳

بسیار بالا ( $2017 > SL \geq 1054$ )، رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی بالا ( $1054 > SL \geq 475$ )، رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی متوسط ( $475 > SL \geq 245$ )، رده ۴ فعالیت زمین‌ساختی کم ( $245 > SL \geq 93$ )، رده ۵ فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم ( $93 > SL \geq 24$ )، حوضه‌های واقع در شمال گستره مورد مطالعه بیشترین مقادیر شاخص مذکور را دارند که به دلیل فعالیت گسل‌های واقع در این حوضه‌ها است.

### تحلیل شاخص گرادیان طولی رود:

در این پژوهش، به منظور محاسبه شاخص گرادیان طولی رود برای هر کدام از آبراهه‌های موجود در ۴۲ زیر حوضه منطقه مورد مطالعه، لایه آبراهه‌ها در محیط ArcGIS افزوده شده و مقادیر  $(\Delta H/\Delta L)$  و  $L$  اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از محاسبه این شاخص در جدول ۱ آمده است. شاخص گرادیان طولی رود از نظر فعالیت زمین‌ساختی به ۵ رده تقسیم شده است (شکل ۹) رده ۱ فعالیت زمین‌ساختی



شکل ۹) نقشه پراکنده مقادیر شاخص گرادیان طولی رود در منطقه مورد مطالعه



مورد مطالعه به چهار رده زمین‌ساخت فعال نسبی طبقه‌بندی شد: رده ۱ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا ( $1/5 < lat \leq 1$ )، رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی بالا ( $2 < lat < 1/5$ )، رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی متوسط ( $2/5 < lat \leq 2$ ) و رده ۴ فعالیت زمین‌ساختی پایین ( $lat \geq 2/5$ ) را نشان می‌دهد.

### تحلیل شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (lat):

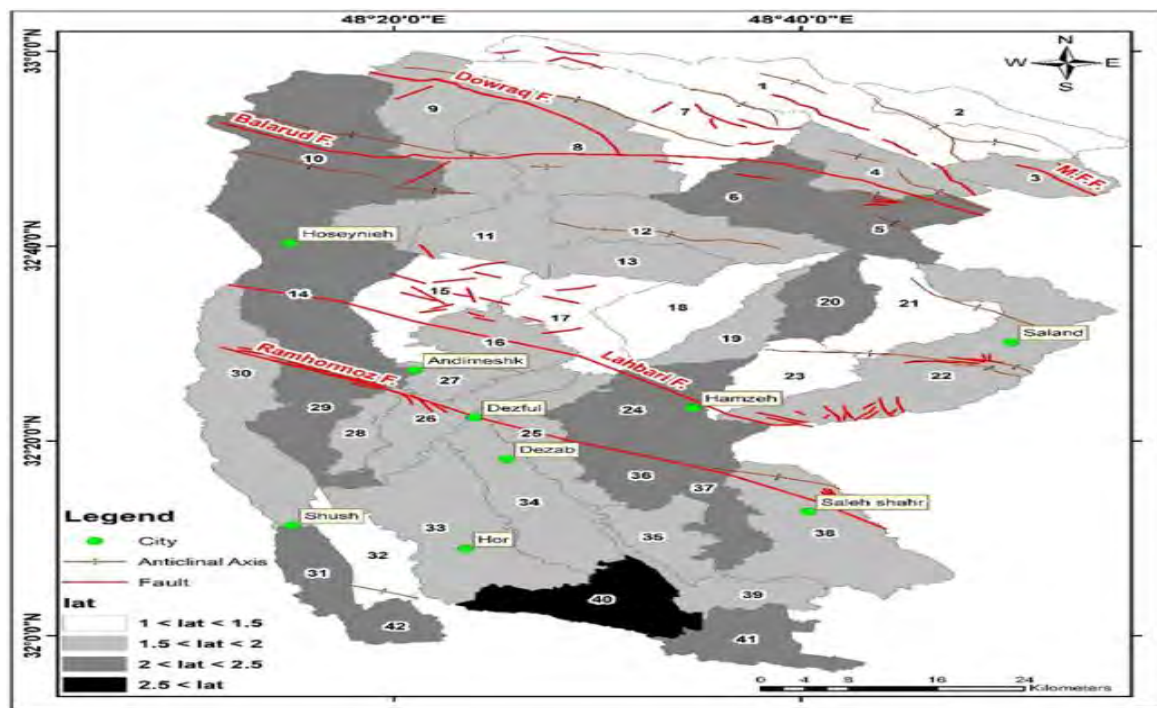
شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی با میانگین‌گیری از رده کل شاخص‌های عدم تقارن حوضه زهکشی، برجستگی نسبی، ضریب شکل، انتگرال و منحنی فراسنجی و گرادیان طولی رود، برای ۴۲ زیرحوضه واقع در گستره مورد مطالعه محاسبه (جدول ۱) و گستره

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 فراسنجی	گرادیان طولی رود	زمین‌ساخت فعال نسبی	رده زمین‌ساخت فعال نسبی
۱	۸/۴	۲۱۰۸	۰/۱۲	۰/۳۸	۱۴۵۲	۱/۵	۱
۲	۱۵/۵۶	۲۰۵۱	۰/۱۹	۰/۳۶	۶۹۳	۱/۵	۱
۳	۲/۷	۲۱۷۹	۰/۲۴	۰/۵	۲۰۱۷	۱/۷۵	۲
۴	۶/۶۴	۱۹۰۹	۰/۲۱	۰/۳۳	۷۶۵	۲	۲
۵	۱/۷۳	۱۹۸۵	۰/۲۳	۰/۲۶	۸۳۱	۲/۲۵	۳
۶	۱/۶۶	۱۳۰۷	۰/۳۹	۰/۲۲	۴۵۵	۲/۵	۳
۷	۱۷/۱۳	۲۱۶۷	۰/۱۴	۰/۴۱	۱۲۰۰	۱	۱
۸	۱۷/۷۸	۲۰۱۵	۰/۳	۰/۲۵	۱۲۳۸	۲	۲
۹	۱۴/۸۷	۲۲۷۴	۰/۱۲	۰/۳	۱۰۵۴	۱/۷۵	۲
۱۰	۳/۹	۲۰۵۹	۰/۲	۰/۲۸	۸۱۵	۲/۲۵	۳
۱۱	۳۵/۷۸	۶۵۶	۰/۳۳	۰/۳۸	۱۸۰	۱/۷۵	۲
۱۲	۲۴/۸۱	۱۱۶۰	۰/۲	۰/۲۱	۳۳۳	۱/۷۵	۲
۱۳	۱۰/۹۴	۵۸۲	۰/۲۲	۰/۴۵	۱۲۸	۱/۷۵	۲
۱۴	۶/۳۱	۷۰۴	۰/۱۵	۰/۲۵	۱۵۰	۲/۲۵	۳
۱۵	۲۲/۱۶	۷۰۴	۰/۲	۰/۳۷	۲۴۵	۱/۵	۱
۱۶	۳۱/۰۷	۴۹۰	۰/۴	۰/۳۲	۷۸	۲	۲
۱۷	۲۲/۲۵	۷۴۸	۰/۲۱	۰/۴۹	۷۹۵	۱/۲۵	۱
۱۸	۱۶/۱۵	۱۱۲۵	۰/۱۶	۰/۲۸	۲۷۷	۱/۲۵	۱
۱۹	۶/۵۷	۶۲۱	۰/۱۳	۰/۴۳	۲۲۳	۱/۷۵	۲
۲۰	۴/۷۸	۱۱۹۳	۰/۲۴	۰/۲۱	۳۰۳	۲/۲۵	۳
۲۱	۳۸/۴	۱۱۶۸	۰/۲۱	۰/۳۱	۴۷۵	۱/۵	۱
۲۲	۸/۲۹	۱۶۰۵	۰/۱۱	۰/۲۷	۳۸۶	۲	۲
۲۳	۲۰/۰۲	۵۹۱	۰/۱۸	۰/۴۳	۲۸۴	۱/۵	۱
۲۴	۳/۵۴	۴۸۶	۰/۱۷	۰/۲۲	۱۲۲	۲/۲۵	۳
۲۵	۷/۷۸	۱۳۰	۰/۰۹	۰/۴۹	۴۵	۲	۲
۲۶	۹/۸	۱۰۱	۰/۱۲	۰/۵۱	۴۰	۱/۷۵	۲
۲۷	۱۶/۹۴	۴۶	۰/۲۹	۰/۶	۵۶	۲	۲
۲۸	۱۳/۳۶	۹۲	۰/۱۲	۰/۴	۲۴	۱/۷۵	۲
۲۹	۲/۶۳	۲۲۲	۰/۱	۰/۲۶	۷۹	۲/۵	۳
۳۰	۱۱/۹۷	۲۹۵	۰/۱	۰/۳	۹۳	۱/۷۵	۲
۳۱	۰/۳۴	۶۸	۰/۱۸	۰/۴۷	۴۵	۲/۲۵	۳
۳۲	۲۵/۷۸	۸۲	۰/۱۵	۰/۴	۳۷	۱/۵	۱
۳۳	۲۲/۰۶	۹۵	۰/۲۴	۰/۴۸	۲۶	۱/۷۵	۲
۳۴	۱۱/۹۷	۱۱۹	۰/۱۳	۰/۳۹	۴۳	۱/۷۵	۲
۳۵	۲۷/۸۶	۱۱۵	۰/۲۲	۰/۴۸	۲۹	۱/۷۵	۲
۳۶	۱۰/۸۲	۱۱۶	۰/۲۸	۰/۳۷	۳۳	۲/۲۵	۳
۳۷	۵/۳۷	۲۴۸	۰/۰۹	۰/۳۱	۵۷	۲/۲۵	۳
۳۸	۱۶/۹۷	۲۰۴	۰/۱۹	۰/۳۱	۳۵	۲	۲
۳۹	۳۲/۹۴	۱۰۳	۰/۱۳	۰/۲۹	۴۲	۱/۷۵	۲
۴۰	۸/۵۴	۱۰۵	۰/۲۸	۰/۳۴	۳۳	۲/۷۵	۴
۴۱	۳۰/۴۶	۱۰۰	۰/۴۶	۰/۲۷	۳۸	۲/۵	۳
۴۲	۱۱/۵۶	۵۷	۰/۳۳	۰/۳۵	۴۷	۲/۲۵	۳

مساحت منطقه مورد مطالعه رده ۱ و رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی را دارا است.

در نهایت نقشه توزیع سطح فعالیت زمین‌ساخت نسبی در گستره مورد بررسی ترسیم شد (شکل ۱۰). با توجه به این شاخص، بیشتر



شکل ۱۰ نقشه توزیع سطح فعالیت زمین‌ساخت نسبی در منطقه مورد مطالعه

**بحث**

بخش‌های کوچکی از گسل‌های دورق و بالارود و همچنین بیشتر حوضه‌های واقع در امتداد گسل‌های رامهرمز و لهری دیده می‌شود که موجب شده این حوضه‌ها فعالیت زمین‌ساختی بالا و بسیار بالا را نشان دهند. همچنین می‌توان گفت که تاقدیس‌های موجود در گستره مورد مطالعه موجب شده است که بیشتر حوضه‌ها فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالا را دارا باشند. شاخص انتگرال و منحنی فراسنجی در حوضه‌های واقع در شمال گستره مورد مطالعه، فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالا را نشان می‌دهد که به دلیل فعالیت گسل پیشانی کوهستان، بخش‌هایی از گسل دورق و بالارود و سایر گسل‌های واقع در این حوضه‌ها است. همچنین فعالیت گسل‌های لهری و رامهرمز موجب شده که قسمت‌های میانی گستره مورد بررسی فعالیت بسیار بالا و بالا را نشان دهند. براساس شاخص گرادیان طولی رود، گسل دورق در مناطقی که به آبراهه‌های واقع در حوضه‌های ۸ و ۹ برخورد کرده، موجب ایجاد آنومالی در آبراهه‌ها شده و گرادیان طولی رود را افزایش داده است. در حوضه‌های واقع در امتداد گسل بالارود نیز شاهد فعالیت زمین‌ساختی بالا هستیم. گسل پیشانی کوهستان نیز آبراهه موجود در حوضه ۳ را قطع کرده و موجب مقادیر بالایی از شاخص گرادیان طولی رود در این حوضه شده است. با توجه به نتایج حاصل از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی و بر پایه نقشه پهنه‌بندی این شاخص، بیشتر مساحت حوضه‌های واقع در گستره مورد مطالعه سطح فعالیت زمین‌ساختی بالا و بسیار بالا را نشان می‌دهند که به دلیل فعالیت گسل‌های پیشانی کوهستان، سایر گسل‌های واقع در شمال و شرق منطقه و همچنین چین‌های متعدد موجود در گستره مورد مطالعه هستند. با توجه به شاخص ضریب شکل، حوضه‌های با کشیدگی بیشتر دارای فعالیت زمین‌ساختی بالاتری هستند. بیشترین کشیدگی حوضه در مجاورت

در این مطالعه از شاخص‌های ریخت‌سنجی برای تعیین فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبریز دزفول- اندیمشک استفاده شده است. پژوهش‌های زیادی با استفاده از شاخص‌های مورفومتری در مناطق مختلف جهان انجام شده که می‌توان به کارهای *ولز* و همکاران [Guarnieri & Wells et al, 1988]، *گازنیری و پیروتا* [Wells et al, 1988]، *پیروتا* [Figueroa & Knott, 2008]، *ملوش و کالر* [Melosh & Keller, 2013] اشاره کرد که نتایج حاصل از کار ما را تأیید می‌کند. با توجه به شاخص‌های محاسبه شده، نتایج زیر حاصل شده است:

براساس شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی فعالیت زمین‌ساختی بالا و بسیار بالا در امتداد بخش‌هایی از گسل‌های دورق، بالارود، لهری و همچنین قسمت‌هایی از گسل رامهرمز دیده می‌شود که گویای فعالیت زمین‌ساختی این گسل‌ها در عهد حاضر است. شاخص برجستگی نسبی در حوضه‌های واقع در شمال و شرق منطقه مورد مطالعه بیشترین مقادیر را دارا هستند که نشان‌دهنده نرخ بالآمدگی بیشتر به دلیل فعالیت زمین‌ساختی بیشتر در این حوضه‌ها است. حوضه‌هایی که فعالیت زمین‌ساختی بالا و بسیار بالا را نشان می‌دهند تحت تأثیر گسل‌های دورق، بالارود، گسل پیشانی کوهستان، سایر گسل‌های واقع در شمال و شرق منطقه و همچنین چین‌های متعدد موجود در گستره مورد مطالعه هستند. با توجه به شاخص ضریب شکل، حوضه‌های با کشیدگی بیشتر دارای فعالیت زمین‌ساختی بالاتری هستند. بیشترین کشیدگی حوضه در مجاورت

- Fossen H (2010). Structural geology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Guarnieri P, Pirrotta C (2008). The response of drainage basins to the late quaternary tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*. 95(3-4):260-273.
- Hack JT (1973). Stream-profiles analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the U.S Geological Survey*. 1(4):421-429
- Hare PW, Gardner TW (1985). Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa M, Hack JT, Editors. *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual Binghamton Geomorphology Symposium*, Allen and Unwin, Boston, 123-134. *Tectonic Geomorphology*. 4:75-104.
- Holbrook J, Schumm SA (1999). Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: A brief review and critique of a tool for recognizing subtle epirogenic deformation in modern and ancient settings. *Tectonophysics*. 305(1-3):287-306.
- 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, Pinter N (1996). *Active tectonics Earthquakes, Uplift and Landscape*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Keller EA, Zepeda RL, Rockwell TK, Ku TL, Dinklage WS (1998). Active tectonics at Wheeler Ridge, southern San Joaquin Valley, California. *Geological Society of America Bulletin*. 110(3):298-310.
- Keller EA, Pinter N (2002). *Earthquakes, Uplift, and landscape*. 2<sup>nd</sup> ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Maathuis BHP, Wang L (2006). Digital elevation model based hydro-processing. *Geocarto International*. 21(1):21-26.
- Maghsoudi M, Kamrani DH (2009). Evaluation effect of tectonic activity in regulation rivers channel case study: Tajan River. *Journal of Natural Geography Research*. 40(66):37-55. [Persian]
- Melosh BL, Keller EA (2013). Effects of active folding and reverse faulting on stream channel evolution, Santa Barbara Fold Belt, California. *Geomorphology*. 186:119-135.
- Moore ID, Grayson RB, Ladson AR (1991). Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Process*. 5(1):3-30.
- Seif A, Khosravi G (2011). Investigation of active tectonics in Zagros thrust belt Farsan region. *Journal of Natural Geography Research*. 42(4):125-145. [Persian]
- 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.
- 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.
- Walker RT (2006). A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman province, SE Iran. *Journal of Structural Geology*. 28(4):654-668.

سایر گسل‌های واقع در منطقه است که موجب شده حوضه آبریز دزفول- اندیمشک فعالیت زمین‌ساخت کنونی بالا و خیلی بالایی را دارا باشد.

## نتیجه‌گیری

پژوهش انجام شده در این بخش از زاگرس با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی حوضه آبریز نشان می‌دهد که به‌طور کلی حوضه آبریز دزفول- اندیمشک دارای فعالیت زمین‌ساخت نسبی اخیر است که به دلیل عملکرد گسل‌های فعال منطقه از جمله گسل‌های پیشانی کوهستان، دورق، بخش‌هایی از گسل‌های بالارود، لهبری و رامهرمز است. در حدود ۷۰/۰۶٪ از گستره مورد مطالعه فعالیت زمین‌ساختی بالا و بسیار بالا، ۲۷/۶٪ فعالیت زمین‌ساختی متوسط و ۲/۳۳٪ فعالیت کم را دارا است، نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های مورفولوژی مورد استفاده در این پژوهش و تجزیه و تحلیل این شاخص‌ها، فعالیت زمین‌ساختی اخیر این منطقه را تأیید می‌کند.

**تشکر و قدردانی:** موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.

**تأییدیه‌های اخلاقی:** موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.

**تعارض منافع:** موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.

**سهام نویسندگان:** محمد خلیج (۱۰۰٪)

**منابع مالی:** موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.

## منابع

- Abdideh M, Qureshi M, Rangzan K, Aryan M (2011). Assessment of relative active tectonics using morphometric analysis, case study of Dez River, Southwestern of Iran. *Earth Science*. 20(80):33-46. [Persian]
- Bayati Khatibi M (2009). Neotectonic affection analysis on longitudinal river profiles in Gharangho Chai basin, the Eastern slope of Sahand. *Geographic-space. Ahar*. 27:79-113. [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 (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: *Geomorphology in Arid Regions, Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium*, State University of New York. Binghamton. pp. 115-138
- Burbank DW, Anderson RS (2012). *Tectonic Geomorphology*. 2<sup>nd</sup> ed. United States: Wiley.
- 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.
- Figueroa AM, Knott JR (2010). Tectonic geomorphology of the southern Sierra Nevada Mountains (California): Evidence for uplift and basin formation. *Geomorphology*. 123(1-2):34-45.
- 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.

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

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.