

## ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی در حوضه آبخیز آبشینه همدان با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی و لرزه‌خیزی منطقه‌ای

سید داود محمدی\* - استادیار زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.  
سید حسین جلالی - دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.  
بهمن ساعدی - دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۲۷      تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۲/۱۲

### چکیده

شاخص‌های زمین‌ریختی به دلیل ارتباطی که با میزان و نوع فعالیت‌های زمین‌ساختی دارند می‌توانند به عنوان معیاری کارآمد برای تشخیص زمین‌ساخت فعال مناطق وسیع به کار روند. مطالعات در مناطق مختلف جهان بر کارایی این شاخص‌ها تأکید کرده‌اند. در پژوهش حاضر با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی عدم تقارن حوضه زهکشی، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، شکل حوضه، تقارن توپوگرافی عرضی، منحنی هیپسومترى حوضه، پیچ‌وخم رود و شیب طولی رودخانه آبشینه در حوضه آبخیز آبشینه برای تحلیل فعالیت زمین‌ساختی این حوضه استفاده شده است. برای مقایسه، ابتدا با جمع‌آوری داده‌های زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی نسبت به ارزیابی فعالیت لرزه‌ای منطقه اقدام شد. سپس لرزه‌خیزی منطقه به روش تحلیل خطر لرزه‌ای تعینی (DSHA) با استفاده از ویژگی‌های گسل‌های موجود برآورد گردید. نتایج نشان می‌دهد که در اغلب شاخص‌ها نشانه‌های فعالیت حوضه آبخیز آبشینه بارز است. بررسی پیشینه لرزه‌خیزی منطقه، بر فعالیت زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه تأکید دارد. روش تحلیل خطر لرزه‌ای تعینی نیز با به دست دادن مقدار بزرگی بیشینه ۶/۸ ریشتر و بیشینه شتاب افقی  $0.4g$  نسبت به مرکز ثقل حوضه، منطقه مورد مطالعه را از نظر لرزه‌خیزی فعال نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: زمین‌ساخت فعال، شاخص‌های زمین‌ریختی، تحلیل خطر لرزه‌ای تعینی (DSHA)، حوضه آبخیز آبشینه.

## مقدمه

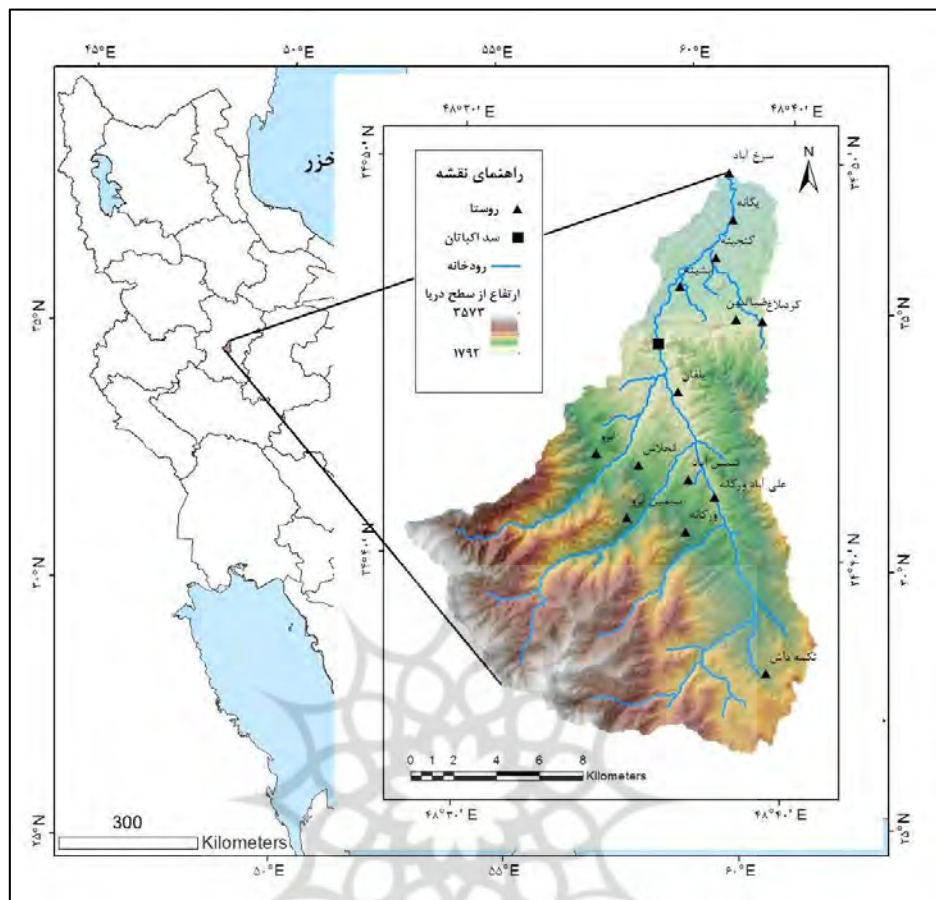
مورفومتری به عنوان یک اندازه گیری کمی از شکل مناظر تعریف می شود. به ساده ترین شکل، لند فرمها با روابطی از اندازه، ارتفاع (ماکزیمم، مینیمم، یا میانگین) و شیب آنها شناخته می شوند (عزتی و آق آتابایی، ۱۳۹۳، ۱۳۱). این اندازه گیری ها شرایطی را فراهم می آورند تا زمین ریخت شناسان به مقایسه چشم اندازهای مناطق مختلف پرداخته و شاخص های زمین ریختی (Geomorphic indices) را در اختیار داشته باشند، تا با آنها برای توصیف و شناسایی وضعیت مناطق با تکتونیک فعال اقدام نمایند. چشم اندازهای موجود در سطح زمین همانند دفتر ثبت وقایع گذشته از توان بالایی برای بازگویی حرکات تکتونیک برخوردار می باشند (ارفع نیا، ۱۳۸۹، ۲۴۵).

شاخص های ژئومورفیک برای شناسایی خصوصیات خاص از یک ناحیه، برای مثال برای تعیین سطح فعالیت های تکتونیک مفید هستند. بعضی از شاخص های ژئومورفیک با اکتشاف لوازم جدید پیشرفت کرده اند. این شاخص ها برای شناسایی نواحی ای که تغییر شکل سریع تکتونیک را تجربه کرده اند مفید می باشند. از این اطلاعات برای به دست آوردن جزئیات تکتونیک فعال یک منطقه ی خاص استفاده می شود. شاخص های ژئومورفیک بخصوص برای مطالعات زمین ساختی مفید می باشند زیرا برای ارزیابی سریع یک ناحیه ی خاص استفاده می شوند. اطلاعات لازم اغلب از روی عکس های هوایی و نقشه های توپوگرافی به دست می آید (گورابی، ۱۳۹۵، ۱۲۵ و ۱۲۶). هر یک از شاخص ها ارائه دهنده ی یک طبقه بندی نسبی از میزان فعالیت های تکتونیک می باشند. وقتی که از چند شاخص برای یک ناحیه استفاده شود، نسبت به کارگیری یک شاخص نتایج خیلی بامعناتری را ارائه می دهد. نتایج چندین شاخص می توانند با یکدیگر ترکیب شوند و رده ی فعالیت های تکتونیک را به دست آورند. این نتایج در سطح گسترده برای تخمین درجه ی نسبی فعالیت های تکتونیک در یک ناحیه مورد استفاده قرار می گیرد و می توان منطقه را به نواحی خیلی فعال، نیمه فعال یا غیرفعال رده بندی نمود (گورابی، ۱۳۹۵، ۱۴۹).

شاخص های ژئومورفیک در بررسی فعالیت های تکتونیک ابزار مفید و قابل اطمینانی هستند، زیرا با استفاده از آنها می توان مناطقی را که در گذشته فعالیت های سریع و یا کند تکتونیک را تجربه کرده اند، به راحتی شناسایی نمود (رامی رز - هیه را، ۱۹۹۸، ۳۱۷). در پژوهش حاضر با استفاده از شاخص های زمین ریختی حوضه آبخیز آبشینه به بررسی وضعیت فعالیت این حوضه پرداخته شده است.

## معرفی منطقه مورد مطالعه

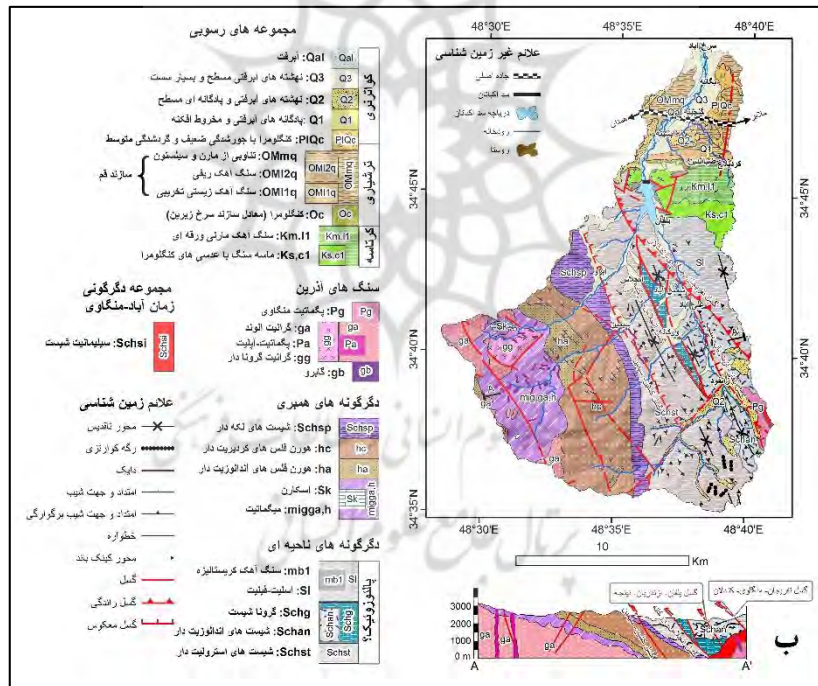
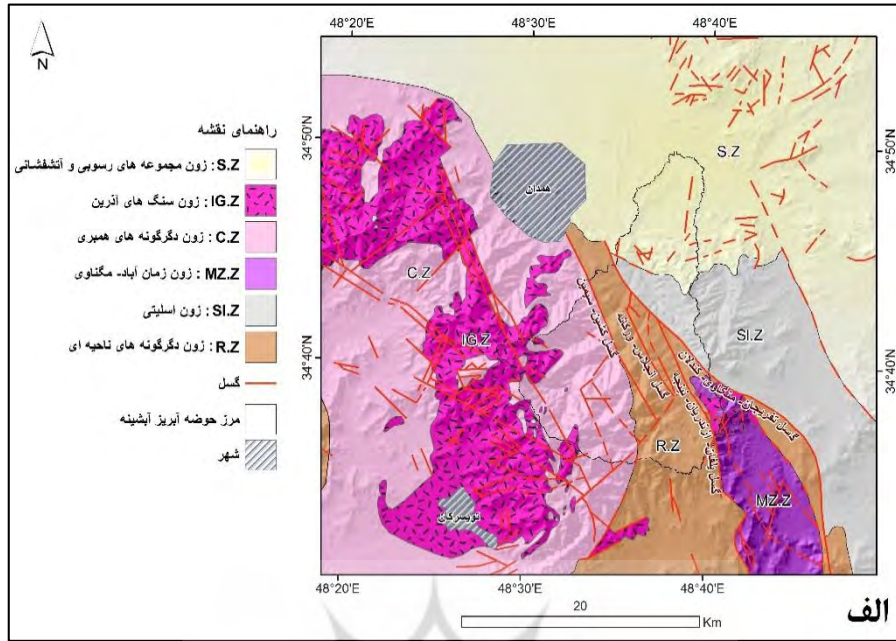
حوضه آبخیز آبشینه با مساحت ۲۲۱۵۵ هکتار در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر همدان و محدوده جغرافیایی ۱۴°۲۸'۴۸" تا ۳°۴۱'۴۸" طول شرقی و ۵۶°۳۴'۳۴" تا ۵°۴۵'۳۴" عرض شمالی در محدوده زاگرس مرکزی واقع شده است. بیشینه ارتفاع این آبخیز ۳۵۸۰ متر از سطح دریا است. بر اساس آمار سازمان هواشناسی در ایستگاه اکباتان (۱۳۸۶-۱۳۶۶) متوسط درجه حرارت سالانه منطقه °C ۱۲/۳۵+ است. سردترین ماه سال بهمن ماه با متوسط دمای °C ۲/۳ و گرم ترین ماه سال مرداد ماه با میانگین °C ۲۳/۴ است. میانگین بارش منطقه ۳۱۳ میلی متر در سال می باشد. بر اساس منحنی آمپروترمیک ماه های خشک سال، اردیبهشت تا شهریور هستند. آب و هوای منطقه بر اساس روش آمبرژه، حد واسط نیمه خشک و نیمه مرطوب است. شکل ۱ موقعیت این حوضه را در کشور و استان همدان و نیز نقشه هم ارتفاع حوضه آبخیز آبشینه را نشان می دهد (ایلدرمی، ۱۳۹۰، ۵).



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه آبخیز آبشینه در استان همدان و نقشه هم‌ارتفاع آن

### زمین‌شناسی عمومی منطقه

از دیدگاه زمین‌شناسی ساختمانی ناحیه مورد مطالعه در زون سندانج - سیرجان قرار دارد و سنگ‌بستر آن از سنگ‌های دگرگونی تشکیل شده است. با توجه به نقشه زمین‌شناسی چهارگوش همدان، قسمت اعظم حوضه آبخیز آبشینه بر روی سنگ‌های گرانیتی، شیست‌های آندالوزیت، گرونا و سیلیمانیت دار، هورنفلس و همچنین اسلیت‌ها و شیل‌های ژوراسیک قرار گرفته است. اغلب این سنگ‌ها فرسایش‌پذیری بالایی دارند که این امر منجر به از بین رفتن بخش زیادی از حجم مفید سد گردیده است. بخش سمت راست مخزن و کف آن از جنس شیست‌های سیاه‌رنگ و جناح چپ از شیست، ماسه‌سنگ‌های آهکی، و شیل‌های ژوراسیک تشکیل شده است. از نگاه ژئومورفولوژی، دره‌ای که سد اکباتان بر روی آن بنا شده است، دارای مقطع نامتقارن است. (خانلری و همکاران، ۱۳۸۹، ۵۹). نقشه ساختمانی و زمین‌شناسی حوضه آبخیز مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: الف) نقشه ساختمانی حوضه آبخیز آبشینه و اطراف ب) نقشه زمین شناسی حوضه آبخیز مورد مطالعه.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش جهت دستیابی به هدف تحقیق، اطلاعات کتابخانه‌ای و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه (جهت ترسیم لایه خطی گسل‌های منطقه) و تصاویر راداری ماهواره استر (جهت تهیه DEM) مهم‌ترین ابزارهای پژوهش بوده‌اند. ابعاد، شکل حوضه و ترسیم شبکه آبراهه‌ها با استفاده از اکستنشن HEC-GeoHMS در نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۱۰، استخراج شده است. به منظور تحلیل و ارزیابی وضعیت نو زمین ساختی محدوده مورد مطالعه از شاخص‌های زمین ریختی، عدم تقارن

حوضه زهکشی<sup>۱</sup>، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره<sup>۲</sup>، شکل حوضه<sup>۳</sup>، تقارن توپوگرافی عرضی<sup>۴</sup>، منحنی هیپسومتری حوضه<sup>۵</sup>، پیچ‌وخم رود<sup>۶</sup> و شیب طولی رود<sup>۷</sup> استفاده شده که به منظور محاسبه و اندازه‌گیری این شاخص‌ها نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۱۰، بکار برده شده است. همچنین جهت اندازه‌گیری شاخص شیب طولی رود، نیمرخ طولی رودخانه آبشینه با استفاده از DEM (به‌دست‌آمده از تصاویر راداری ماهواره استر) حوضه ترسیم گردید. تکنیک اصلی این پژوهش، تحلیل نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های زمین‌ریختی حوضه مورد مطالعه می‌باشد. سپس با بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی، وضعیت لرزه‌خیزی منطقه ارزیابی گردیده و با تحلیل مشخصات گسل‌های موجود در محدوده حوضه آبخیز، لرزه‌خیزی این منطقه به روش تحلیل خطر لرزه‌ای تعینی (DSHA) نیز تخمین زده شد. در نهایت نتایج حاصل کاربرد این روش‌ها در منطقه مورد مطالعه، با یکدیگر مقایسه گردیدند.

### شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی

شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی به‌عنوان یکی از ابزارهای اساسی جهت پی بردن به وضعیت و میزان تأثیر فعالیت‌های نئوزمین‌ساختی در سطح زمین می‌باشند که بارها توسط محققان مختلف مورداستفاده قرار گرفته‌اند. این موضوع به دلیل نقش این شاخص‌ها در ارزیابی سریع مناطق وسیع از نظر فعالیت زمین‌ساختی و سهولت دسترسی به نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی جهت اندازه‌گیری این شاخص‌ها می‌باشد. در جدول ۱ مقایسه مقادیر کمی برخی از این شاخص‌های زمین‌ریختی که توسط محققین مختلف ارائه شده است، آورده شده است. بر این اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های مذکور در حوضه مورد مطالعه به شرح ذیل می‌باشد:

**۱- شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی:** شکل هندسی شبکه رودها را می‌توان از نظر کیفی و کمی با روش‌های متعددی توصیف کرد. در مناطقی که شبکه زهکشی در حضور تغییر شکل‌های زمین‌ساختی توسعه پیدا می‌کند، شبکه زهکشی اغلب دارای شکل هندسی و الگوی متمایزی می‌باشد. عامل عدم تقارن، برای توصیف و درک ارتباط کج شدگی زمین‌ساختی در نواحی‌ای با مقیاس حوضه زهکشی و بزرگ‌تر ارتباط داده شده است (یمانی و علمیزاده، ۱۳۹۳، ۱۵). شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی به کج شدگی زمین در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی دلالت داشته و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Af=100(Ar/At) \quad (1)$$

در این رابطه  $Af$  عدم تقارن حوضه،  $At$  مساحت قسمت راست حوضه (نگاه به سمت پایین دست) و  $Ar$  مساحت کل حوضه می‌باشد. اگر مقدار عددی این شاخص در حدود ۵۰ باشد، بیانگر وجود تقارن و عدم کج شدگی در دو سمت آبراهه اصلی و در نتیجه عدم فعالیت نو زمین‌ساختی است. در صورتی که حوضه آبخیز تحت تأثیر این نیروها قرار داشته باشد، ممکن است که مقدار عددی به‌دست‌آمده  $Af$  کمتر یا بیشتر از ۵۰ باشد. در روش  $Af$  برای تجزیه و تحلیل‌های زمین‌ریخت‌شناسی فرض بر این است که کنترل‌کننده‌های سنگ‌شناسی (مانند شیب طبقات رسوبی) و شرایط اقلیمی و اکولوژیک (همچون اختلاف پوشش گیاهی بین شمال و جنوب دامنه‌ها) در منطقه باعث عدم تقارن نمی‌شوند (گورابی، ۱۳۹۵، ۱۳۱). اگر میزان این شاخص بزرگ‌تر از ۵۰ باشد، بیانگر فرازش در سمت راست آبراهه اصلی است و اگر میزان شاخص کوچک‌تر از ۵۰ باشد، بیانگر فرازش در سمت چپ آبراهه اصلی است. شکل ۳ نحوه تعیین پارامترهای این شاخص را در منطقه مورد مطالعه نمایش می‌دهد.

<sup>1</sup> Drainage Basin Asymmetry Factor

<sup>2</sup> Ratio of Valley- Floor with to Valley Height

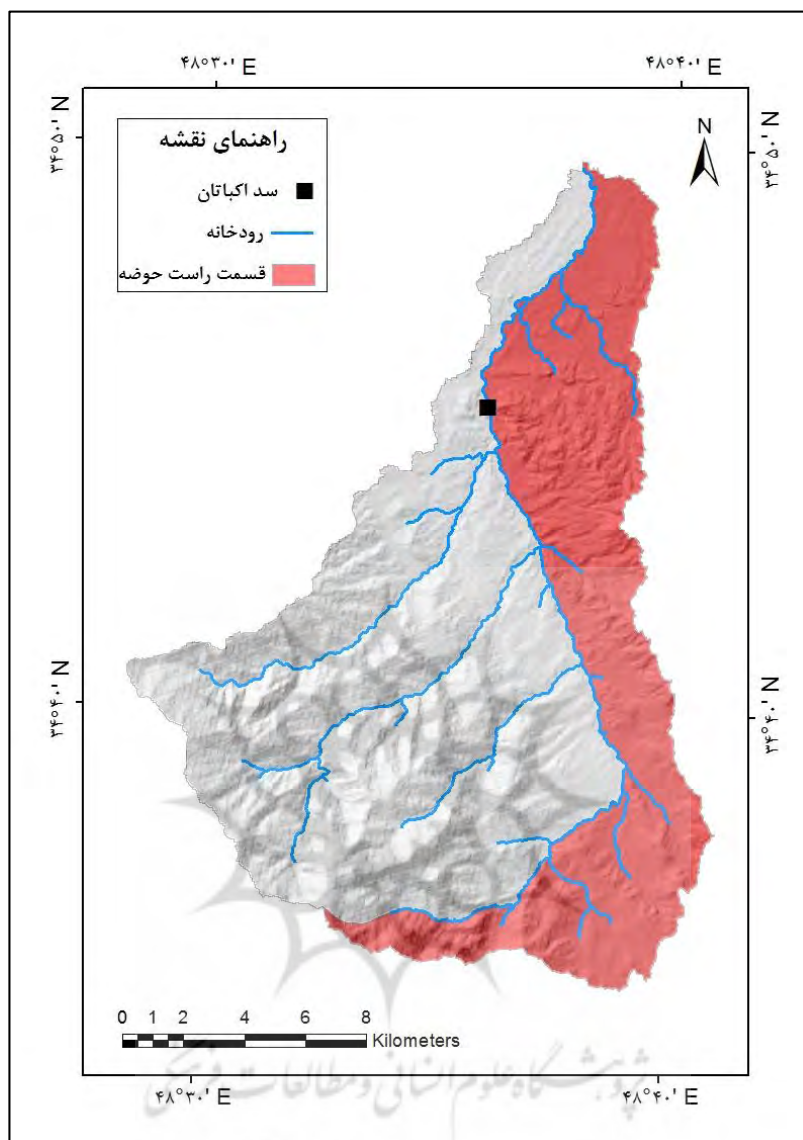
<sup>3</sup> Basin Shape Factor

<sup>4</sup> Transverse Topographic Symmetric

<sup>5</sup> Hypsometric Integral

<sup>6</sup> River Sinuosity Index

<sup>7</sup> Stream Length- Gradient Index



شکل ۳: برآورد شاخص Af در حوضه آبشینه

بر اساس نتیجه حاصل از اندازه گیری ها در رابطه (۱) ( $Af=36/67$ )، می توان گفت که حوضه مورد مطالعه از نظر نوزمین ساختی فعال بوده و بخش راست حوضه نسبت به بخش چپ آن فعال تر می باشد. در طبقه بندی انجام شده توسط همدونی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) (جدول ۱) نیز این منطقه جزء طبقه ۲ قرار می گیرد و فعال محسوب می شود. تحت تأثیر این فعالیت، شاخه های فرعی در بخش چپ حوضه طولانی تر از بخش راست بوده و در نتیجه کج شدگی به سمت راست حوضه یعنی ساحل شرقی رود می باشد.

جدول ۱: مقایسه بین شاخص‌های زمین‌ریختی از منظر محققان مختلف در طبقات متفاوت (همدونی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸: ۱۶۸)

همدونی و همکاران (۲۰۰۸)	سیلویا و همکاران <sup>۴</sup> (۲۰۰۳)	راک ول و همکاران <sup>۳</sup> (۱۹۸۵)	یول و مک فادن <sup>۲</sup> (۱۹۷۷)	
$Smf < 1$ $Vf < 0.5$ اعداد بزرگ غیر نرمال $ Af-5  > 15$ $Bs > 4$	$Smf < 1/53$ $Vf < 1/6$	سرعت بالآمدگی بیشتر از $0.4-0.5 m/Ka$ $Smf < 1/4$ $Vf < 1$	$Smf = 1/6-1/2$ $Vf = 0.5-1.055$ -مخروط افکنه های غیر خندقی (غیر مقاوم) -حوضه‌های آبخیز کشیده با دره‌های تنگ و باریک با تیب دامنه‌ای موازی در رسوبات نرم	طبقه ۱
$Smf = 1/1-1/5$ $Vf = 0.5-1$ اعداد غیر نرمال = کوچک SL $ Af-50  = 7-15$ $Bs = 3-4$	$Smf = 1/8-2/3$ $Vf = 0.3-0.8$	سرعت بالآمدگی = $0.5-1.5 m/ka$	$Smf = 1/8-3/4$ $Vf = 3/6-0.5$ -مخروط افکنه های خندقی (مقاوم) -حوضه آبخیز بزرگ که ضریب گردشدگی آن‌ها بیشتر از کلاس ۱ است.	طبقه ۲
$Smf > 1/5$ $Vf > 1$ اعداد نرمال SL $ Af-50  < 7$ $Bs < 3$	$Smf = 2/8-3/5$ $Vf = 0.8-1/2$	سرعت بالآمدگی کمتر از $0.5 m/ka$ $Smf > 1/4$ $Vf > 1$	$Smf = 2-7$ $Vf = 2-47$ -پیشانی کوهستان (پدیمنت) و خلیج نزدیک کوهستان -تیب تند دامنه‌ای با سازند مقاوم با مقدار کمی از جریان‌های کوهستانی	طبقه ۳

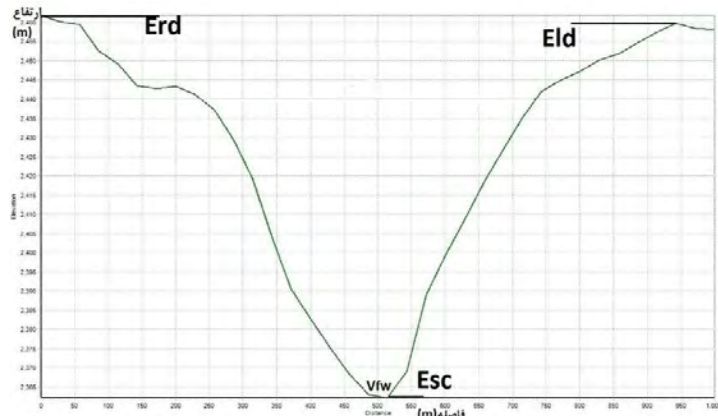
۲- شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره: از دیگر شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی که برای مطالعه و تشخیص فعالیت‌های نو زمین‌ساخت به کار می‌رود، نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع دره است که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Vf):

$$Vf = \frac{2Vfw}{(Eld - Esc) + (Erd - Esc)} \quad (2)$$

در این رابطه، Vf = نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، Vfw = پهنای کف دره، Esc = ارتفاع متوسط کف دره از سطح دریا، Erd = ارتفاع خط‌الرأس سمت راست رودخانه، خط تقسیم آب سمت راست (از سطح دریا)، Eld = ارتفاع خط‌الرأس سمت چپ رودخانه، خط تقسیم آب سمت چپ (از سطح دریا). شکل ۴ نحوه ارزیابی این شاخص را نشان می‌دهد. این پارامتر در فواصل مختلف از جبهه کوهستان برای هر دره بررسی می‌شود. این شاخص دره‌های پهن (با مقادیر زیاد Vf) را از دره‌های ص (شکل (مقادیر کم Vf) تفکیک می‌کند. مقادیر زیاد Vf مرتبط با بالآمدگی کم است. در این حالت، آبراهه‌ها پهنای بستر خود را فرسایش داده، پهنای دره افزایش می‌یابد. مقادیر کم شاخص بیانگر دره‌های عمیق و شکل رودهایی است که به‌طور عمیقی کف بستر خود را حفر می‌کنند و معمولاً با بالآمدگی همراه است. (آزانون و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲، ۲۲۷؛ یمانی و علمیزاده، ۱۳۹۳، ۱۹).

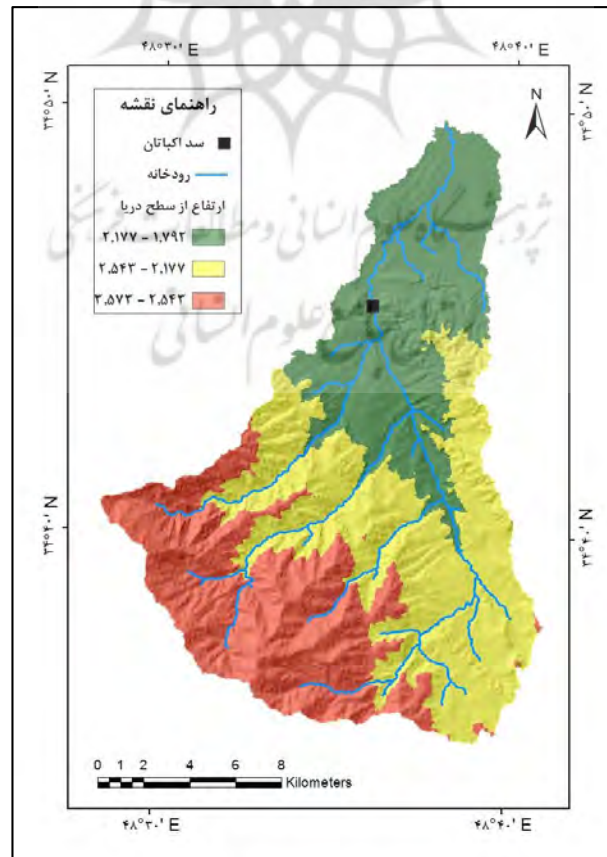
<sup>۱</sup> Hamdouni et al

<sup>۲</sup> Azañón et al



شکل ۴: روش ارزیابی شاخص Vf

جهت اندازه‌گیری این شاخص در محدوده مورد مطالعه، بیش از ۱۰۰ مقطع عرضی از شاخه‌های اصلی و فرعی رودخانه به وسیله اکستنسشن Hec-GeoRAS در نرم‌افزار Arc GIS تهیه و مقادیر شاخص Vf برای هر یک از این مقاطع محاسبه گردید. شکل ۵ مناطق پایین دست، میانه و بالادست حوضه آبخیز آبهینه را نمایش می‌دهد. با توجه به میانگین مقادیر به دست آمده در بالادست (ارتفاع ۲۵۴۳ متری تا ۳۵۷۳ متری)، میانه (ارتفاع ۲۱۷۷ متری تا ارتفاع ۲۵۴۳ متری) و پایین دست حوضه (ارتفاع ۱۷۹۲ متری تا ارتفاع ۲۵۴۳ متری) و مقادیر ارائه شده توسط محققان مختلف (جدول ۱)، می‌توان گفت که در رأس حوضه فعال بوده و حرکات نو زمین ساختی در آن از قسمت‌های پایین دست و خروجی حوضه بیشتر می‌باشد (شکل ۵ و جدول ۲). در نتیجه بالآمدگی حوضه در بخش‌های بالایی (ارتفاع ۲۵۴۳ متری تا ۳۵۷۳ متری) آن بیشتر و دره‌ها تنگ‌تر می‌باشند. این رخداد می‌تواند به سبب آهنگ بالآمدگی توده الوند باشد.



شکل ۵: مناطق پایین دست، میانه و بالادست حوضه



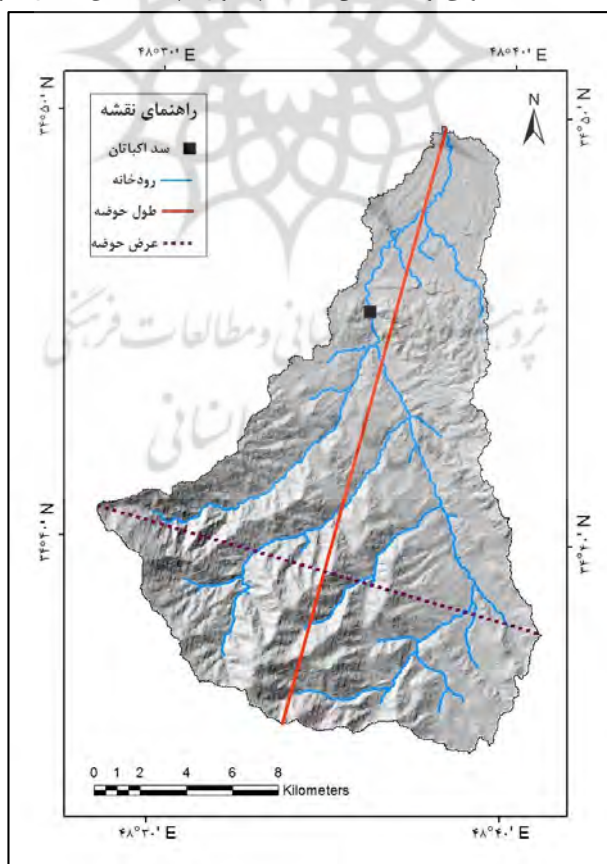
جدول ۲: مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص Vf در حوضه مورد مطالعه

مقادیر شاخص Vf	منطقه
۰/۲۵	بخش بالادست حوضه
۱/۴۱	بخش میانه حوضه
۱/۷۷	بخش پایین‌دست حوضه

۳- شاخص شکل حوضه: نسبت شکل حوضه زهکشی نیز شاخصی است که در ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی به کار می‌رود. معمولاً حوضه‌هایی که از نظر زمین‌ساختی فعال هستند، شکل کشیده دارند. با توقف فعالیت یا غلبه فرآیندهای فرسایشی، شکل حوضه به تدریج در طی زمان دایره‌ای می‌شود و شاخص کاهش می‌یابد. این شاخص از طریق رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$B_s = B_l/B_w \quad (3)$$

در این رابطه  $B_l$  طول حوضه آبخیز بوده که از خروجی حوضه تا انتهایی‌ترین بخش حوضه را در بر گرفته و  $B_w$  عرض حوضه آبخیز می‌باشد که در عرض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود (عزتی و آق‌آتابای، ۱۳۹۳، ۱۳۵). مقادیر بالای  $B_s$  نشان‌دهنده فعال بودن نو زمین ساخت حوضه آبخیز است. شکل کشیده و مقدار عددی بالای شاخص  $B_s$  برای حوضه آبخیز مورد مطالعه که ۱/۳۴ بوده (شکل ۶)، بیانگر کشیدگی کم حوضه و حرکات نو زمین‌ساختی کم در این حوضه می‌باشد (بقا و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴، ۹). در طبقه‌بندی همدونی و همکاران ۲۰۰۸ (جدول ۱)، شاخص شکل حوضه ۲/۸۱ در طبقه ۳ است.

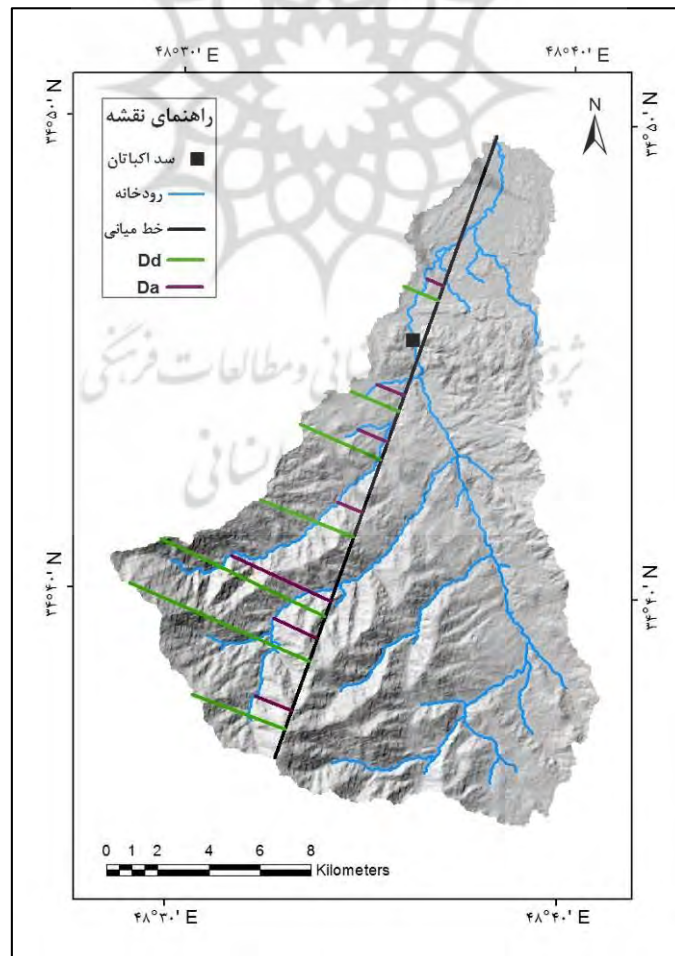
شکل ۶: محاسبه شاخص  $B_s$  در حوضه آبخیز مورد مطالعه

۴- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی: این شاخص هم می تواند وضعیت تقارن و در نتیجه فعال یا غیر فعال بودن منطقه را مشخص نماید. این شاخص با رابطه ۴ محاسبه می شود:

(۴)

$$T = \frac{Da}{Dd}$$

در این رابطه  $T$ ، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی،  $Da$ ، فاصله نوار ممانداری فعال از خط میانی حوضه آبی و  $Dd$ ، فاصله خط میانی حوضه آبی از خط مرز حوضه می باشد (شکل ۷). در حوضه های کاملاً متقارن مقدار عددی این شاخص صفر می باشد، اما با کاهش تقارن حوضه، میزان شاخص افزایش یافته و به عدد یک نزدیک می شود. فرض بر این است که شیب طبقات بر مهاجرت مجرای اصلی رود تأثیر ناچیزی داشته است، در این صورت مهاجرت عمومی و کلی دلیلی بر کج شدگی زمین در جهت خاص می باشد. بنابراین  $T$  بیانگر یک بردار با جهت و مقدار (۱-۰) می باشد. این تجزیه و تحلیل بیشتر برای حوضه های زهکشی با الگوی دندریتیک مناسب می باشد. مناطقی که ارزیابی انشعاب دره ها به خوبی دره یا تنه اصلی باشد، محدوده های مقادیر بزرگ  $T$  مجاز می باشد (گورابی و نوحه گر، ۱۳۸۶، ۱۸۴). مقادیر عددی نزدیک به یک بیانگر فرازش در منطقه و در نتیجه نو زمین ساخت فعال است. برای محاسبه این شاخص ۷ مقطع بر روی حوضه مشخص و مقادیر هر یک از آن ها طبق رابطه (۴) محاسبه شد که میانگین آن ۰/۴۱ می باشد (جدول ۳). این عدد حاکی از فعال بودن نو زمین ساخت در حوضه است و همچنین می توان گفت که رود در حال فرسایش بستر خود می باشد.

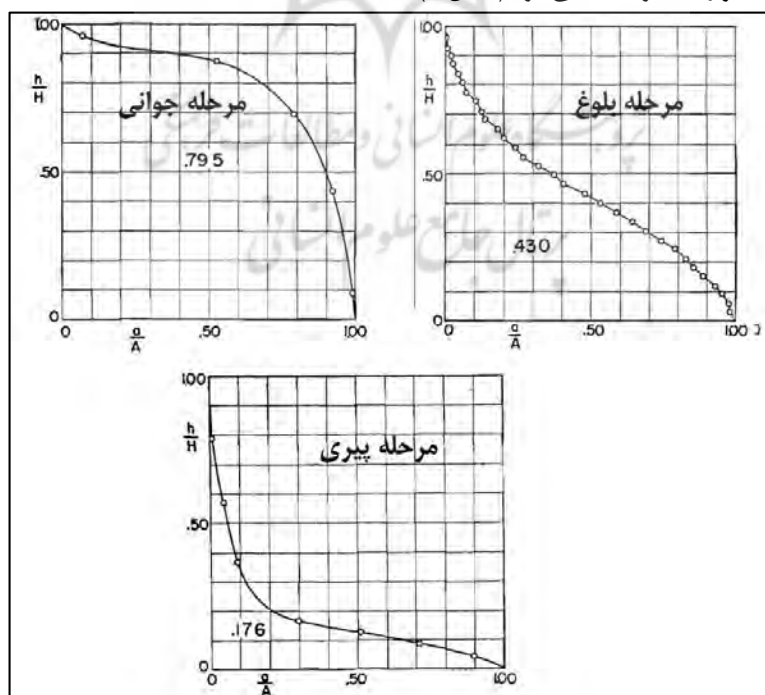


شکل ۷: نحوه محاسبه شاخص تقارن توپوگرافی عرضی

جدول ۳: مقادیر شاخص تقارن توپوگرافی حوضه آبخیز آبشینه

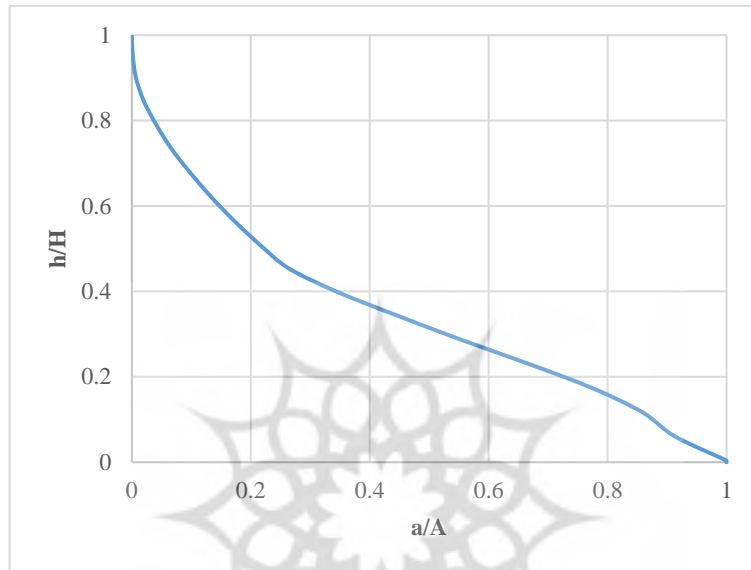
مقطع	Da (Km)	Dd (Km)	T
۱	۱/۵۹	۳/۷۰	۰/۴۳
۲	۱/۷۱	۷/۴۹	۰/۲۳
۳	۴/۲۴	۷/۲۰	۰/۵۹
۴	۱/۰۳	۳/۸۷	۰/۲۷
۵	۱/۲۶	۳/۳۵	۰/۳۸
۶	۱/۱۵	۲/۰۹	۰/۵۵
۷	۰/۶۲	۱/۴۱	۰/۴۴
میانگین	-	-	۰/۴۱

۵- شاخص منحنی هیپسومتری حوضه: منحنی‌های هیپسومتری، پراکنش سطوح ارتفاعی یک حوضه را از سطح آب‌های آزاد ارزیابی و توصیف می‌کنند. این منحنی‌ها با ترسیم ارتفاع کل در مقابل مساحت کل حوضه ترسیم می‌گردند. با تقسیم مساحت و ارتفاع این نمودار بر مساحت کل حوضه و حداکثر ارتفاع حوضه، می‌توان آن را به صورت بی‌بعد نشان داد. از طریق مقایسه منحنی هیپسومتری به دست آمده با منحنی‌های نظری می‌توان وضعیت نو زمین ساخت حوضه را مشخص کرد. اگر منحنی از نظر فرسایش مرحله جوانی را نشان دهد بایستی به وجود فعالیت‌های نو زمین ساختی اشاره نمود و اگر با مرحله پیری انطباق داشته باشد حاکی از نو زمین ساخت آرام (غیرفعال) حوضه است (شایان و همکاران، ۱۳۹۰، ۴۷ و ۴۸). در منحنی‌های نظری مذکور، مرحله جوانی، با برش‌های عمیق و برجستگی‌های ناهموار و ناصاف، مرحله بلوغ، با بروز فرایندهای زمین‌ریخت‌شناسی تقریباً به‌طور متوازن و متعادل و مرحله پیری با چشم‌اندازهای نزدیک به سطح اساس با برجستگی‌های بسیار هموار شده توصیف می‌شود (شکل ۸).



شکل ۸: منحنی های هیپسومترى نظری چرخه فرسایش (استرالر<sup>۱</sup>، ۱۹۵۲، ۱۱۲۹ و ۱۱۳۰ و ۱۱۳۱).

در شکل ۹ منحنی هیپسومترى حوضه آبخیز مورد مطالعه نشان داده شده که حاکی از مرحله بلوغ در آن است. همچنین تحذب در منحنی بی بعد بیانگر غلبه فعالیت نو زمین ساختی حوضه بر فعالیت های فرسایشی می باشد درحالی که تقعر در منحنی بی بعد بیانگر غلبه فعالیت های فرسایشی بر فعالیت نو زمین ساختی است. با توجه به نوع شکل نیز می توان گفت که این حوضه از نظر نو زمین ساختی فعالیت متوسط داشته و با بروز فرایندهای زمین ریخت شناسی تقریباً به طور متوازن و متعادل است.



شکل ۹: منحنی هیپسومترى بی بعد حوضه آبخیز مورد مطالعه.

۶- شاخص پیچ و خم رود: بالا بودن پیچ و خم رود بیانگر پایداری نسبی نو زمین ساختی حوضه است. این شاخص از طریق رابطه (۶) حاصل می شود:

$$S = c / v \quad (۶)$$

در این رابطه  $c$  طول رود و  $v$  طول دره در خط مستقیم، می باشند. هر چه مقادیر به دست آمده زیادتر باشد، حاکی از نزدیک شدن رود به حالت تعادل بوده و هر اندازه کمتر باشد، دلیل فعال بودن نو زمین ساخت در حوضه است (مددی و همکاران، ۱۳۸۳، ۱۳۱). میزان این شاخص بر اساس رابطه (۶) برابر است با:

$$S = ۴/۶ / ۳/۴ \quad S = ۱/۳۵$$

هرگاه مقدار این متغیر با یک برابر باشد بیانگر زون فعال از نظر زمین ساختی است، افزایش در مقدار آن بیانگر کاهش در فعالیت زمین ساختی منطقه است (آبدیده و همکاران، ۱۳۹۰، ۳۵).

۷- شاخص شیب طولی رود: شاخص شیب رودخانه به تغییرات قدرت رودخانه و شیب کانال حساس بوده و از آن برای ارزیابی روابط بین جنبش زمین ساختی، جنس سنگ و توپوگرافی استفاده می شود. رودخانه هایی که از نظر زمین ساختی دچار آشفتگی نشده باشند، دارای نیمرخ طولی مقعر با تغییرات ملایم بوده و در رودخانه های متعادل شیب رودخانه در تمام مسیر رود ثابت باقی می ماند. مقادیر عددی شاخص گرادیان رودخانه زمانی که سنگ های بستر رودخانه مقاوم باشند و یا در مناطقی که حرکات تکتونیکی فعال در تغییر شکل قائم پوسته زمین مؤثر باشند، زیاد بوده و بنابراین مقادیر زیاد SL در سنگ های دارای مقاومت کم و یا در سنگ های از لحاظ مقاومتی یکسان، می تواند بیانگر حرکات تکتونیکی فعال و جوان باشد.

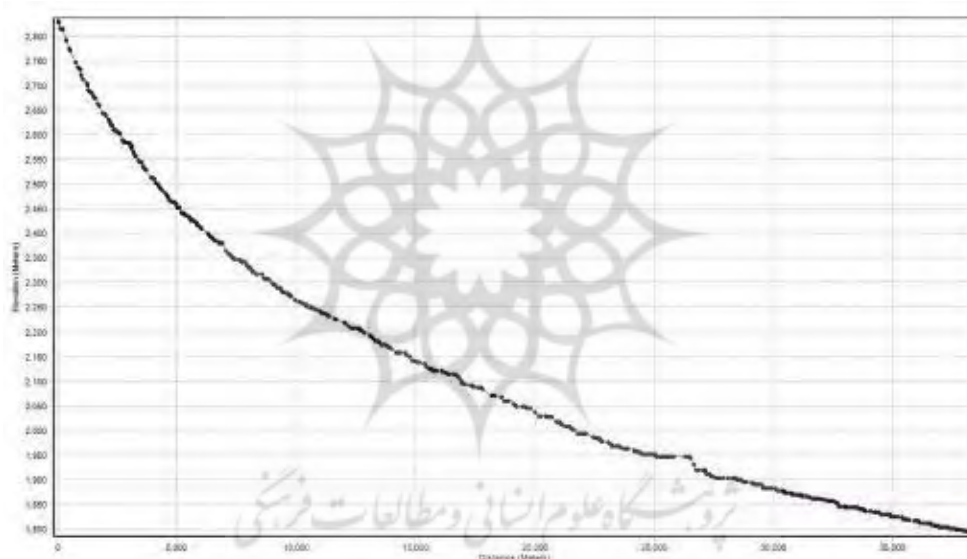
مقادیر عددی کوچک این شاخص نیز یا مبین وجود سنگ‌های رسوبی نرم و فراوان بوده و یا در اثر خردشدگی زیاد سنگ‌های منطقه بر اثر حرکات افقی گسل‌های امتدادلغز به وجود آمده است.

این شاخص به صورت رابطه (۷) تعریف شده است (الماسیان و همکاران، ۱۳۹۰، ۷۴):

$$SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} \times L \quad (7)$$

در این رابطه H ذ اختلاف ارتفاع دونقطه معین، L ذ فاصله افقی همان دونقطه و L طول رود از نقطه مرکزی تا سرچشمه رود است. با توجه به این رابطه می‌توان گفت که  $\frac{\Delta H}{\Delta L}$  در واقع همان رابطه شیب است.

مقادیر زیاد SL در سنگ‌های با مقاومت کم و یا در سنگ‌هایی که از نظر مقاومت یکسان هستند، می‌تواند بیانگر حرکات نو زمین‌ساختی فعال و جوان باشد. برای ارزیابی شاخص شیب طولی رود در حوضه آبخیز مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با استفاده از اکستنشن HEC-GeoHMS شیب طولی رود در مقاطع ۱۰۰ متری محاسبه شد. با توجه به نتایج حاصل از محاسبات، این شاخص بین ۰/۰۱ تا ۶/۹۶ می‌باشد.



شکل ۱۰: نیمرخ طولی رود آبشینه در حوضه آبخیز مورد مطالعه

نیمرخ طولی شاخه اصلی رود با استفاده از اکستنشن HEC-GeoHMS در نرم‌افزار Arc GIS ترسیم گردید (شکل ۱۰). روند نیمرخ طولی رودخانه آبشینه با توجه به شکل ۱۰، در طول مسیر، شیب یکسانی ندارد و در قسمت‌های مختلف آن با تغییراتی همراه است. مراجعه به نقشه زمین‌شناسی حوضه مشخص کرد که شاخص شیب طولی رود، ارتباط نزدیکی با شرایط لیتولوژیکی و عملکرد گسل‌های منطقه دارد. غلبه سنگ‌های گرانیتی و هورنفلسی مقاوم در محدوده ارتفاعی ۲۵۰۰ متری تا ۳۵۷۳ متری منجر به شیب بیشتر در بخش ابتدایی حوضه آبخیز مورد مطالعه شده است که در ارتفاعات پایین‌تر وجود سنگ‌های دگرگونی با مقاومت کمتر شیب طولی رودخانه را کاهش داده است و در خروجی حوضه این شیب به حداقل خود رسیده است. بررسی‌ها وجود ارتباط میان افزایش و کاهش شاخص SL و میزان مقاومت سنگ‌ها را به خوبی ثابت کرده است.

### بررسی لرزه‌خیزی منطقه

یکی از روش‌هایی که می‌توان به منظور بررسی وضعیت فعالیت زمین‌ساختی حوضه‌های مختلف به کار برد، مطالعه شاخص‌های لرزه‌خیزی منطقه است. روش‌های مختلفی برای مطالعه وضعیت لرزه‌خیزی وجود دارد که از آن‌ها می‌توان به بررسی وضعیت لرزه‌خیزی منطقه با استفاده از گردآوری اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های باستانی (تا سال ۱۹۰۰ میلادی)

روی داده در منطقه، گردآوری اطلاعات مربوط به زمین لرزه‌های دستگاهی (بعد از سال ۱۹۰۰ میلادی تاکنون) و پیش‌بینی و برآورد خطر لرزه‌ای منطقه به روش تعینی اشاره نمود. در این پژوهش از این روش‌ها به‌منظور مقایسه و تکمیل نتایج مطالعه فعالیت حوضه آبشینه به‌دست‌آمده از مطالعه شاخص‌های زمین‌ریختی استفاده شده است.

زمین لرزه‌های تاریخی مهم روی داده در محدوده استان همدان عبارت‌اند از:

- زمین لرزه سال ۹۷۶ میلادی همدان-اسدآباد، با بزرگی ۵/۳ ریشتر که شهرهای همدان و اسدآباد را تحت تأثیر قرار داده است.

- زمین لرزه سال ۱۰۸۷ میلادی، با بزرگی ۵/۹ ریشتر که همدان و منطقه اطراف آن را به لرزه در آورده و دو برج را در شهر تخریب نموده است.

- زمین لرزه ۱۱۹۱ میلادی تخریب زیادی به همراه نداشته است. رومرکز زمین لرزه ۱۳۱۵ میلادی در شهر گلپایگان واقع در شرق همدان، قرار داشته است که در آن ۲۰ روستا به‌طور کامل خراب شده‌اند. زمین لرزه در سال ۱۴۳۰ میلادی با بزرگی ۵/۹ ریشتر همدان را لرزانده است (قیادی و فریدونی، ۲۰۱۲، ۱۰۲۹).

طبق بررسی داده‌های زمین لرزه‌های دستگاهی روی داده در منطقه مورد مطالعه، به شعاع ۵۰ کیلومتری از مرکز ثقل حوضه، برگرفته از داده‌های زمین لرزه‌های ایران پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تعداد کل رخدادها ۱۱۴ می‌باشد. تعداد زمین لرزه‌های با بزرگی مساوی و بزرگ‌تر از ۵ ریشتر ۱۰ رخداد است. جدول ۴ زمین لرزه‌های دستگاهی منطقه با بزرگی بیشتر از ۵ ریشتر را نشان می‌دهد.

قدیمی‌ترین زمین لرزه دستگاهی رویداده در تاریخ ۱۹۵۸/۱/۲ ساعت ۱۵:۴۵:۲۹ ثبت شده است. طول و عرض جغرافیایی رو مرکز آن، به ترتیب ۳۴/۴۹ و ۴۷/۸۴ بوده بزرگای آن در مقیاس امواج درونی ۴/۷ می‌باشد.

آخرین زمین لرزه دستگاهی روی داده، در تاریخ ۲۰۱۴/۲/۱۳ در ساعت ۰۲:۰۹:۰۸ ثبت شده است. طول و عرض جغرافیایی رو مرکز آن، به ترتیب ۳۴/۰۴ و ۴۸/۵۰ می‌باشد. بزرگای آن در مقیاس محلی ۳/۴ می‌باشد.

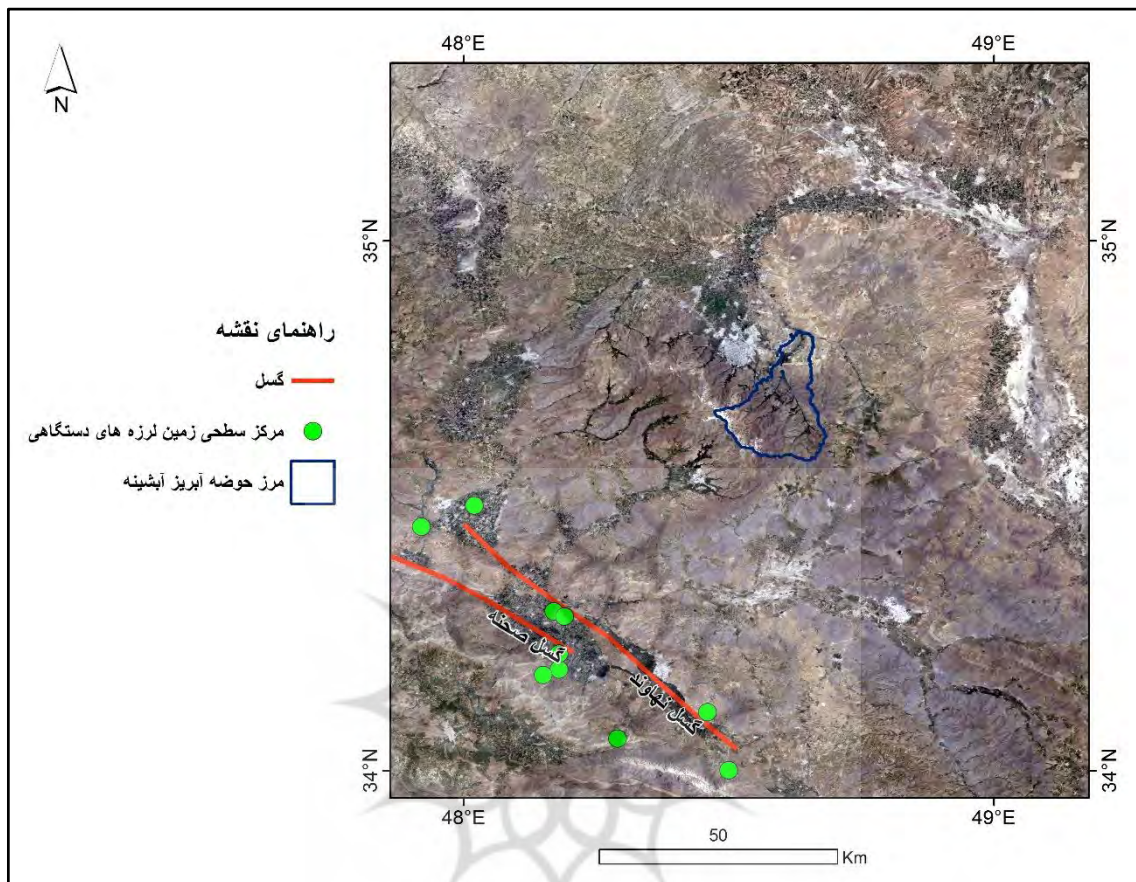
بزرگ‌ترین زمین لرزه دستگاهی رویداده در منطقه تاریخ ۱۹۵۸/۸/۱۶ در ساعت ۱۹:۱۳:۰۰ ثبت شده است. طول و عرض جغرافیایی رو مرکز آن، به ترتیب ۳۴/۳۰ و ۴۸/۱۷۰ می‌باشد که در شمال غرب نهاوند قرار دارد. بزرگای آن در مقیاس امواج سطحی ۶/۶ و امواج درونی ۶/۲ می‌باشد و منبع ثبت‌کننده آن مرکز لرزه‌نگاری آمبولونگ-فیلیپین (AMB) است.

جدول ۴: زمین لرزه‌های دستگاهی منطقه مورد مطالعه با بزرگی بیشتر از ۵ ریشتر

منطقه	منبع	بزرگی	عمق	طول	عرض	زمان	تاریخ
کنگاور	NOW	Mb=۵/۵	۵۷	۴۷/۹۲	۳۴/۴۶	۱۵:۲۶:۲۷	۱۹۵۸/۸/۱۴
شمال غرب	AMB	Ms=۶/۶		۴۸/۱۷	۳۴/۳۰	۱۹:۱۳:۰۰	۱۹۵۸/۸/۱۶
شمال شرق	NOW	M=۵/۱		۴۸/۵۰	۳۴/۰۰	۲۲:۱۵:۱۸	۱۹۵۸/۸/۱۶
غرب نهاوند	NOW	M=۵/۱	۸۶	۴۸/۱۸	۳۴/۱۹	۱۵:۵۴:۵۸	۱۹۵۸/۸/۱۹
غرب نهاوند	EHB	M=۵/۳	۱۵	۴۸/۱۹	۳۴/۲۹	۲۲:۳۶:۰۰	۱۹۶۰/۴/۲
غرب نهاوند	EHB	M=۵	۱۵	۴۸/۱۵	۳۴/۱۸	۱۵:۲۶:۲۷	۱۹۶۰/۴/۲
نهاوند	NOW	M=۵/۳	۸۴	۴۸/۴۶	۳۴/۱۱	۰۷:۰۰:۵۱	۱۹۶۱/۱۰/۱۴
کنگاور	AMB	Ms=۵/۸		۴۸/۰۲	۳۴/۵۰	۱۲:۴۴:۰۰	۱۹۶۳/۳/۲۴
جنوب نهاوند	EHB	Mw=۵/۳	۲۵	۴۸/۲۹	۳۴/۰۶	۰۶:۲۷:۵۱	۱۹۸۷/۵/۲۹
غرب نهاوند	EHB	Mw=۵/۳	۲۵	۴۸/۱۸	۳۴/۲۲	۰۵:۱۳:۱۲	۱۹۹۸/۸/۲۱

بررسی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لرزه ارائه شده توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی نشان می‌دهد که همدان و منطقه مورد مطالعه در پهنه خطر زیاد زلزله واقع شده‌اند ([www.bhrc.ac.ir](http://www.bhrc.ac.ir)). در نقشه خطر لرزه‌ای پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله نیز منطقه مورد مطالعه در مرز پهنه خطر متوسط و خطر بالا قرار گرفته است.

در شکل ۱۱ به نمایش درآمده است. مرکز سطحی زمین‌لرزه‌های دستگاهی منطقه با بزرگی بیشتر از ۵ ریشتر و گسل‌های مربوطه



شکل ۱۱: نقشه زمین‌لرزه‌های دستگاهی منطقه مورد مطالعه با بزرگی بیشتر از ۵ ریشتر و گسل‌های مربوطه.

برآورد خطر لرزه‌ای حوضه مورد مطالعه به روش تعیینی<sup>۱</sup> (DSHA)

در تحلیل خطر تعیینی، رخداد خاصی از زلزله بر اساس گسل مسبب و فاصله از ساختگاه بر اساس قضاوت کارشناسانه انتخاب شده و با بهره‌گیری از یک یا چند رابطه کاهندگی انتخابی، مقدار پارامترهای جنبش زمین برآورد می‌شود. فرآیند آن عبارت است از:

۱. تعیین چشمه‌های لرزه‌ای یا مؤثرترین چشمه لرزه‌ای در ایجاد خطر،
۲. تعیین فاصله ساختگاه از چشمه لرزه‌ای ( $R$ )،
۳. تعیین بزرگای زلزله محتمل در پهنه یا ساختگاه مورد نظر ( $M$ )،
۴. انتخاب رابطه کاهندگی سازگار با ساختگاه مورد بررسی،
۵. محاسبه شتاب زلزله ( $PGA$  (Peak Ground Acceleration) یا طیف شتاب.

با توجه به عدم قطعیت‌های متنوعی که در پارامترهای تحلیل خطر وجود دارد، تعیین این رخداد غالب، کار چندان ساده‌ای نیست و مستلزم قضاوت مهندسی است. به‌عنوان یک پیشنهاد، می‌توان رخداد غالب حاصل از تحلیل تفکیک خطر را به‌عنوان رخداد انتخابی در تحلیل تعیینی لحاظ نمود (راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله، ۱۳۹۲، ۲۵).

<sup>۱</sup> Deterministic Seismic Hazard Analysis

بر این اساس با استفاده از نقشه زمین شناسی (شکل ۲)، گسل های حوضه آبخیز (چهار گسل) شناسایی و مرکز ثقل حوضه با اکستنشن HEC-GeoHMS تعیین گردید. سپس ویژگی های مهم گسل ها، به ویژه طول آن ها و فاصله آن ها تا مرکز ثقل حوضه محاسبه گردید. در مرحله بعد با استفاده از روابط تجربی رمزی (۱۹۹۹) و مهاجر اشجعی و نوروزی (۱۹۷۸) (روابط ۸ و ۹) بزرگ ترین زمین لرزه محتمل در حوضه آبخیز برای هر چهار گسل شناسایی شده محاسبه گردید.

$$M_s = 3.81 + 1.920 \log L \quad (۸)$$

$$M = 5.4 + \log L/2 \quad (۹)$$

در نهایت با گزینش روابط تجربی دوناون (۱۹۷۳) برای ایران (رابطه ۱۰) و استوا (۱۹۷۰) بیشینه شتاب افقی (رابطه ۱۱) حاصل از رخدادهای احتمالی زمین لرزه در حوضه تعیین گردید.

$$a = \frac{1080 e^{0.5M}}{(R+25)^{1.32}} \quad (۱۰)$$

$$a = \frac{1254 e^{0.8M}}{(R+25)^2} \quad (۱۱)$$

در این روابط  $M$  بزرگی زمین لرزه،  $a$  شتاب زمین لرزه،  $R$  فاصله تا گسل،  $L$  طول گسل می باشد (به نقل از قبادی و فریدونی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲، ۱۰۳۲). جدول ۴ نتایج حاصل از تحلیل خطر لرزه ای به روش تعیینی را نشان می دهد.

جدول ۴: برآورد و ارزیابی خطر زلزله در حوضه آبخیز آبشینه

نام گسل	طول گسل (km)	فاصله گسل تا مرکز ثقل حوضه (km)	بزرگ ترین زمین لرزه محتمل (ریشتر)			شتاب افقی بیشینه (g)
			رمزی (۱۹۹۹)	مهاجر اشجعی و نوروزی (۱۹۷۸)	دوناون (۱۹۷۳)	
کشین	۱۷/۲۸	۱/۴۵	۶/۲	۶/۳	۰/۳۳	۰/۲۷
انجلاس	۸/۴۷	۰/۷۳	۵/۶	۶	۰/۲۷	۰/۲
یلفان	۱۶/۳۲	۲/۷۱	۶/۱	۶/۳	۰/۳۱	۰/۲۴
تفریجان	۳۷/۲۵	۲/۹۴	۶/۸	۶/۷	۰/۴۰	۰/۳۶

### بحث و نتیجه گیری

شاخص های زمین ریختی در ارزیابی فعالیت های زمین ساختی بسیار با اهمیت می باشند، چراکه با استفاده از این شاخص ها می توان مناطقی که در گذشته فعالیت های سریع یا کند زمین ساختی را تجربه کرده اند به راحتی شناسایی کرد. نتایج حاصل از تحلیل شاخص های زمین ریختی در این پژوهش نیز نشان داد که این حوضه از لحاظ فعالیت های زمین ساخت جوان در مورد برخی شاخص ها همانند عدم تقارن حوضه زهکشی، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، شاخص پیچ و خم و شاخص شیب طولی، فعال و در مورد شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، شاخص شکل حوضه و شاخص منحنی هیپسومتری حوضه، نیمه فعال بوده است (جدول ۵).

<sup>۱</sup> Ghobadi & Fereidooni



جدول ۵: نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی در حوضه آبخیز آبشینه

شاخص	نماد	توصیف کمی	مقدار حدی کمی	توصیف کیفی
عدم تقارن حوضه زهکشی	Af	۳۶/۶۷	۵۰	فعال
شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره	Vf	۱/۳۹	$Vf > 1$	نیمه فعال
شاخص شکل حوضه	Bs	۱/۳۴	$Bs < 3$	نیمه فعال
شاخص تقارن توپوگرافی عرضی	T	۰/۴۱	۰-۱	فعال
شاخص منحنی هیپسومتری حوضه	HC	-	-	مرحله بلوغ
شاخص پیچ‌وخم رود	S	۱/۵۳	۱	فعال
شاخص شیب طولی رود	SL	۰/۰۱-۶/۹۶	-	فعال

نتایج بررسی لرزه‌خیزی منطقه و تحلیل خطر لرزه‌ای به روش تعینی نیز نشان می‌دهد که حوضه آبخیز آبشینه لرزه‌خیزی بالایی داشته (بزرگی زمین‌لرزه تا ۶/۸ ریشتر) و احتمال وقوع زمین‌لرزه با بزرگی بالا در منطقه زیاد است و در صورت وقوع زمین‌لرزه در این حوضه بر اثر گسیختگی در یکی از گسل‌های بررسی‌شده در این مطالعه، شتاب افقی بیشینه در مرکز ثقل حوضه، مقدار بالایی (تا  $0.4g$ ) خواهد داشت (جدول ۴). مقادیر بالای بزرگی و شتاب افقی بیشینه زمین‌لرزه‌های احتمالی بر روی گسل تفریجان به سبب طول نسبتاً زیاد گسل ( $37/25Km$ ) و نزدیک بودن به مرکز ثقل حوضه می‌باشد. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل شاخص‌های زمین‌ریختی، بررسی لرزه‌خیزی منطقه و تحلیل خطر لرزه‌ای به روش تعینی، علاوه بر زمین‌ساخت فعال حوضه، کارایی استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی در تشخیص میزان فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز را تأیید می‌نماید.

## منابع

- ارفع نیا، رامین، ۱۳۸۹، تکتونیک فعال در منطقه ی اقلید، کاربرد مدل رقومی سرزمینی (DTM) در مورفوتکتونیک، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۶، شماره ۴، صص. ۲۴۵-۲۵۶.
- الماسیان، محمود، کریم روشن بخت و منصوره توکلی زاده، ۱۳۹۰، حرکات تکتونیکی فعال و جوان در گستره کاشان، سامانه گسلی قم - زفره، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، سال ۲۱، شماره ۸۱، صص. ۶۳-۷۸.
- ایلدرمی، علیرضا، ۱۳۹۰، تحلیل مورفومتری زمین لغزش در حوضه آبخیز آبشینه و برآورد رسوب آنها، جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۶، شماره ۳۷، صص. ۱-۳۳.
- پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ([www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir)).
- خانلری، غلامرضا، رضا حیدری ترکمانی و علی اکبر مومنی، ۱۳۸۹، مطالعات کارست و بررسی ویژگیهای تزریق پذیری پی سنگ سد اکباتان (طرح افزایش ارتفاع)، پژوهشهای چینه نگاری و رسوب شناسی، سال بیست و ششم، شماره پیاپی ۴۱، شماره چهارم، صص. ۵۷-۷۲.
- شایان، سیاوش، محمد شریفی کیا، غلامرضا زارع و شهرام امیری، ۱۳۹۰، ارزیابی فعالیت های نو زمین ساختی حوضه های آبریز با شاخص های ژئومورفولوژیک مطالعه موردی: حوضه آبریز پاسخن، استان فارس، فصلنامه جغرافیا و آمایش سرزمین، سال اول، شماره اول، صص. ۳۷-۵۲.
- عزتی، مریم و مریم آق آتابای، ۱۳۹۳، تحلیل زمین ساخت فعال حوضه ی بجنورد با کمک شاخصهای مورفوتکتونیکی، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۴، صص. ۱۴۴-۱۳۰.
- گورابی، ابوالقاسم و احمد نوحه گر، ۱۳۸۶، شواهد زمین ریختی زمین ساخت فعال حوضه آبخیز درکه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص. ۱۷۸-۱۹۶.

- گورابی، ابوالقاسم، ۱۳۹۵، تکتونیک فعال: زمین‌لرزه‌ها، بال‌آمدگی، چشم‌انداز، مولفان: ادوارد کلو و نیکلاس پیتنر، مترجم: ابوالقاسم گورابی، نشر انتخاب، تهران.
- مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ([www.bhrc.ac.ir](http://www.bhrc.ac.ir)).
- مددی، عقیل، محمد حسین رضائی مقدم و عبدالمجید رجایی، ۱۳۸۳، تحلیل فعالیت‌های نئوزمین ساخت با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال‌غربی تالش، باغرو داغ، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۸، صص. ۱۲۳-۱۳۸.
- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۹۲، راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله، نشریه شماره ۶۲۶.
- یمانی، مجتبی و هیوا علمیزاده، ۱۳۹۳، تاثیر نوزمین ساخت در مورفولوژی شبکه زهکشی حوضه آبخیز نچی با استفاده از شاخصهای ژئومورفیک و مورفومتریک، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره اول، شماره پیاپی ۱۱۲، صص. ۹-۲۲.
- Azañón, J.M., Pérez-Peña, J.V., Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J.M., and Rodríguez-Peces, M.J., 2012, Active tectonics in the central and eastern Betic Cordillera through morphotectonic analysis: the case of Sierra Nevada and Sierra Alhamilla, *Journal of Iberian Geology*, Vol. 38 (1), pp. 225-238.
- Bagha, N., Arian, M., Ghorashi M., Pourkermani, M., Hamdouni, R.E., and Solgi, A., 2014, *Evaluation of relative tectonic activity in the Tehran basin, central Alborz, northern Iran, Geomorphology*, Vol. 213, pp. 66-87.
- Ghobadi, M.H., Fereidooni, D., 2012, Seismic hazard assessment of the city of Hamedan and its vicinity, west of Iran, *Nat Hazards*, Vol. 63, pp.1025° 1038.
- Hamdouni, R.E., Iriggaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., and Keller, E.A., 2008, *Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain)*, *Geomorphology*, Vol. 96, pp. 150-173.
- Ramirez-Herrera, M.T., 1998, Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graban, Mexican Volcanin belt, *Earth surface process and land forms*, Vol. 23 pp. 317-322.
- Strahler, A.N., 1952, Hypsometric (Area-altitude) Analysis of Erosional Topography, *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 63, pp.1117-1142.