پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هفتم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۷
صص. ۲۴۰-۲۲۶

تحلیل فعالیت زمین ساختی حوضه آبریز میقان از طریق شاخص های ژئومورفیک

میر اسداله حجازی- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز
معصومه رجبی – استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز
جواد وروانی- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک
آتنا عسگری * – دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۱۸ تائید نهایی: ۱۳۹۷/۰۴/۰۲

چکیده

بخش هایی از پوسته زمین در عهد حاضر دارای حرکات زمین ساختی هستند و در آینده نیز مستعد بروز خطر خواهند بود.از این رو، اشکال ژئومورفولوژیکی در برابر فعالیت های زمین ساختی بسیار حساس بوده و در اثر این حرکات تغییر می کنند.حوضه آبریز میقان یکی از حوضه های مرکزی کشور در شمال شرقی استان مرکزی واقع شده است.وجود دو سیستم گسلی اصلی تبرته - تلخاب با روند جنوب شرقی – شمال غربی و گسل های فرعی متعدد نشان دهنده ظهور پدیده های مهم زمین ساختی در این منطقه است. ارزیابی فعالیت های زمین ساختی با استفاده از برخی از شاخص های کمی، نقش مهمی را در شناخت این فعالیت ها داشته و به تفسیر وضعیت زمین ساختی مناطق کمک می نماید .هدف از این پژوهش بررسی وضعیت نو زمین ساخت با استفاده از داده های ژئومورفولوژیکی است.برای دستیابی به این هدف از هفت شاخص ژئومورفولوژیکی: شاخص های شیب طولی رودخانه (SL) ، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن(VF)، عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، تقارن توپوگرافی عرضی(T)، نسبت شکل حوضه (BS) ، منحنی هیپسومتری حوضه(HC) و پیچ و خم رودخانه (S)،به عنوان ابزارهای اصلی این پژوهش بهره گرفته شده است.روش تحقیق بر پایه روش تحلیلی استوار است. ابزارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل نقشه های توپوگرافی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، تصویر ماهواره ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی در قالب نرم افزار ArcGIS 10 می باشد . همچنین، نتایج کمی بدست آمده طی چندین مرحله کار میدانی مورد ارزیابی قرار گرفتند .نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان می دهد که منطقه مورد مطالعه براساس شاخص های شیب طولی رودخانه که مقدار آن برابر (۳۵۳/۴) ، عدم تقارن حوضه زهکشی (۴۷/۶)، تقارن توپوگرافی عرضی (۰/۲۴) ،منحنی هیپسومتری حوضه ،و پیچ و خم رود که (۱/۲۱) می باشند از لحاظ زمین ساختی در وضعیت فعال و تنها بر اساس شاخص، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن که برابر (۲/۲۴) و نسبت شکل حوضه که (۳/۵) می باشد در حالت نیمه فعال قرار دارد.در نتیجه می توان گفت شاخص BS که بیانگر شکل حوضه است در حوضه های کشیده تر مقدار آن بالاتر است و از آنجا که بیشتر زیرحوضه های مطالعاتی نیز کشیده بودند بیانگر فعالیتهای تکتونیکی بالا می باشد.

واژگان کلیدی: زمین ساخت، حوضه میقان، شاخص های ژئومورفیک،سیستم اطلاعات جغرافیایی.

---

* نویسنده مسئول: E-mail : asgari.atena@yahoo.com

مقدمه

شناسایی مناطق فعال زمین ساختی اهمیت فراوانی دارد، زیرا در این گونه بررسی ها زمین ساخت فعال بیانگر حرکات جوانترین دوره زمانی یعنی کواترنر و بخصوص دوره هولوسن و زمان حال می باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸) بسیاری از اشکال ژئومورفولوژیکی در برابر حرکات زمین ساختی فعال بسیار حساس می باشند و همزمان با آن تغییر می کنند (مددی و همکاران،۱۳۸۳) از این رو، تحلیل های توپوگرافیکی، به عنوان یکی از ابزارهای مفید در انداز ه گیری شکل های چشم اندازها محسوب می شوند؛ زیرا اثر فعالیت های زمین ساختی بر توپوگرافی زمین بسیار گسترده است (صفاری و منصوری،۱۳۹۲) در مقیاس ناحیه ای، بدست آوردن نرخ زمین ساخت و یا حتی دانستن این که در کدام ناحیه خاص مطالعات کمّی برای تعیین نرخ فعالیت صورت می گیرد، مشکل است .طی سال های اخیر پژوهشگران زیادی سعی در کمّی نمودن حرکات زمین ساختی داشته اند که نهایتاً شاخص های متعددی را با عنوان شاخص های ریخت زمین ساختی یا شاخص های ریخت سنجی ارایه نموده اند (سلیمانی،۱۳۷۸)به منظور بررسی میزان دگریختی ایجاد شده حاصل از فعالیت های زمین ساختی، از شاخص های پیکر شناسی زمین می توان استفاده کرد (بال و مک فادن ، ۱۹۷۷ ؛ آزور و همکاران ، ۲۰۰۲ ؛ کلر و پینتر ، ۲۰۰۲ ؛ سیلوا و همکاران ، ۲۰۰۳ ؛ مولین و همکاران ، ۲۰۰۴ ؛ همدونی و همکاران،۲۰۰۸) شاخص های زمین ریختی بطور ویژه برای مطالعه زمین ساخت فعال مورد استفاده قرار می گیرند (داگلاس و همکاران ، ۲۰۰۱).همچنین این شاخص ها به دست محققان دیگری همچون(راکول[۱] و همکاران،۱۹۸۵)در جنوب غرب آمریکا، (ولز[۲] و همکاران،۱۹۸۸)در سواحل کاستاریکا مورد استفاده و آزمون قرار گرفته و تایید گردیده است. شاخص های زمین ریختی علاوه بر زمین ساخت، تحت تأثیر جنس زمین و آب و هوای منطقه نیز هستند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸)انداز ه گیری کمّی چشم اندازهای ریخت شناسی در یک منطقه، در تشخیص برخی ویژگی های آن منطقه از جمله میزان فعالیت زمین ساختی آن مفید است (کلر و پینتر، ۱۹۹۶) شاخص های زمین ریختی، تحول شبکه زهکشی و تغییرات جبهه کوهستان بر اثر فعالی تهای نو زمین ساختی را نمایان می سازند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸) این شاخص ها در مطالعه زمین ساخت فعال نسبی بر اساس تهیه یک شاخص منفرد بسیار مفید شناخته شده اند(بال و مک فادن،۱۹۷۷؛ آزور و همکاران، ۲۰۰۲ ؛ کلر و پینتر، ۲۰۰۲ ؛ سیلوا و همکاران،۲۰۰۳، مولین و همکاران، ۲۰۰۴) . هدف از این پژوهش بررسی فعال بودن حرکات نو زمین ساخت حوضه آبریز میقان با بکارگیری شاخص های زمین ریختی می باشد و در پی این است که آیا نتایج بدست آمده از این شاخص ها با شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در حوضه مورد مطالعه مورد تأیید قرار می گیرند یا نه؟ و آیا این منطقه از لحاظ فعالیت های زمین ساختی فعال است یا خیر؟ در نقاط مختلف دنیا و ایران برای مطالعه زمین ساخت فعال از شاخص های زمین ریختی استفاده فراوانی شده است که به موارد زیر می توان اشاره کرد :کلر و همکاران (۱۹۶۶) برای نخستین بار از دانش ریخت زمین ساخت به عنوان زمین ساخت ژئومورفولوژی یاد کرده و شاخص های کمّی زمین ریختی را برای حرکات نو زمین ساخت گسترش داده اند . همچنین بال و مک فادن (۱۹۷۷) برای نخستین بار از شاخص های ریخت سنجی برای مطالعات زمین ساختی استفاده کردند. همدونی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شاخص های زمین ریختی و شاخص نسبی فعالیت زمین ساختی، زمین ساخت فعال جنوب اسپانیا را طبقه بندی و مناطق فعال آن را مشخص نمودند .در واقع ژئومورفولوژی تکتونیک با استفاده از شاخص های ژئومورفیک و مدل های رقومی به شناسایی شواهد سطحی جابجایی ها و تغییر شکل ها می پردازد.این شاخص ها ابزارهای قوی برای ارزیابی اثرات تکتونیک فعال می باشد(محمد و همکاران،۲۰۱۲). آنالیز تکتونیک فعال بستگی به شاخص های ژئومورفیک دارد که به مقاومت سنگ ها، تغییرات اقلیمی و فرآیندهای تکتونیکی حساس هستند(بهات و همکاران،۲۰۱۳).شاخص های ژئومورفیک معمولا برای کشف واکنش لندفرمها به فرآیندهای تغییر شکل

۱ . Rockwell

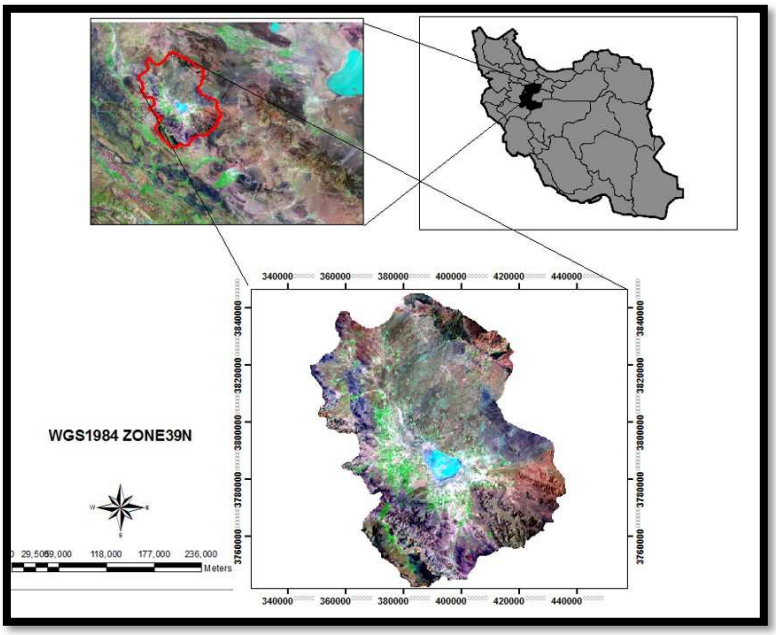
۲ . Wells

اخیر استفاده می شود،این شاخص ها به عنوان یکی از ابزارهای اساسی برای پی بردن به وضعیت و میزان تأثیر فعالیت های نئوتکتونیکی در سطح زمین می باشد که بارها توسط محققان بسیاری مورد استفاده قرار گرفته اند(آندرنی و همکاران،۲۰۱۴).همچنین آنالیز شاخص های ژئومورفیک سیستم های زهکشی می تواند فعالیت تکتونیکی اخیر و بالاآمدگی را کشف کند، زیرا کانال های رودخانه ای به تغییرات وارد به شیب و گرادیان آنها بسیار حساس هستند(دورانتی و همکاران،۲۰۱۴).گورابی و نوحه گر (۱۳۸۶)به بررسی شواهد ژئوموفولوژیکی زمین ساخت فعال حوضه آبخیز درکه با استفاده از شاخص های زمین ریختی پرداخته و دریافتند که مقادیر این شاخص ها حاکی از زمین ساخت فعال منطقه می باشد و در نهایت با توجه به شاخص شیب طولی رود (SL) اقدام به طبقه بندی این حوضه کردند. کرمی (۱۳۸۸) به مطالعه ارزیابی نسبی فعالیت های زمین ساختی با استفاده از تحلیل های شکل سنجی و داد ه های لرز ه زمین ساختی در حوضه اوجان چای پرداخته و نتایج این پژوهش نشان دهنده این است که کل حوضه اوجان چای دارای فعالیت های زمین ساختی زیاد است .خادمی(۱۳۸۹) به بررسی زمین ساخت فعال نسبی حوضه دامغان بر اساس شاخص های زمین ریختی پرداخته و نتایج این بررسی در نهایت بعنوان شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat)محاسبه و به چهار رده شامل مناطق خیلی فعال تا مناطق با فعالیت کم تقسیم بندی شد و در نهایت نشان دهنده فعال بودن حوضه رودخانه دامغان است .صفاری و منصوری (۱۳۹۲) در مقاله ای با عنوان :ارزیابی نسبی فعالیت های زمین ساختی بخش علیای حوضه آبخیز کنگیر(ایوان غرب)با استفاده از شاخص های ژئومورفیک به ارزیابی میزان فعالیت های زمین ساختی حوضه پی شگفته پرداختند و دریافتند که حوضه آبخیز کنگیر دارای وضعیت زمین ساختی نسبتاً فعالی است؛ به بیان دقیق تر حوضه کنگیر بر اساس شاخص هایVf،Af، Sl، Fd، Eu ، Smf و Fmf در کلاس یک فعالیت قرار دارد .همچنین مقادیر کمّی شاخص های محاسبه شده توسط نامبردگان با شواهد ژئومورفولوژی موجود در منطقه مانند وجود دره های ژرف و V شکل، پرتگاه های گسلی، سطوح مثلثی شکل، بریدگی کم جبهه کوهستان، کج شدگی زهکش اصلی و عدم تشکیل کوهپایه مطابقت دارد .در این نوشتار، از یک روش کمّی بر اساس شاخص های زمین ریختی، برای تعیین میزان فعالیت زمین ساختی حوضه میقان استفاده شده است (همدونی و همکاران،۲۰۰۸). شاخص های زمین ریختی در بررسی فعالیت های زمین ساختی ابزار مفید و قابل اطمینانی هستند، چرا که با استفاده از آنها می توان مناطقی را که در گذشته فعالیت های سریع یا کند زمین ساختی را تجربه کرده اند به راحتی شناسایی نمود (رامیرز - هریرا ،۱۹۹۸) استفاده همزمان از شاخص های زمین ریختی این امکان را به ما می دهد تا درک و تحلیل درستی از وضعیت نو زمین ساخت منطقه داشته باشیم (همدونی و همکاران،2008) مطالعات پیشین که در سایر نقاط جهان با استفاده از شاخص های زمین ریخت سنجی بر روی حوضه ها و شبکه های آبراهه ها صورت گرفته است، حکایت از کارایی آنها در شناسایی مناطق فعال دارد (شریفی نجف آبادی و همکاران،۱۳۸۹) لذا بیشتر بررسی های شاخص های زمین ریختی به محاسبه شاخص های خاص در مقیاس منطقه ای، مانند حوضه زهکشی یا پیشانی کوه، پرداخته اند. در این پژوهش سعی شده تا میزان فعالیت های تکتونیکی منطقه از طریق شاخص های ژئومورفیک موردبررسی قرار گیرد تا وضعیت نواحی مختلف حوضه از نظر فعالیت تکتونیکی مشخص شود.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه اصلی آبخیز کویر مرکزی ایران از ۵ زیر حوضه فرعی قمرود، قره چای، شور (خشک رود)،کویر میقان و کویر کاشان تشکیل شده است (ذوالفقاری،۱۳۸۹) . حوضه رسوبی میقان با وسعتی معادل ۵۵۲۸ کیلومترمربع، که ۲۰۰۰ کیلومترمربع آن را دشت و ۳۵۲۸ کیلومترمربع را ارتفاعات مشرف به دشت تشکیل می دهد. این حوضه متشکل از دریاچه فصلی میقان با مساحتی متغیر تا حداکثر ۲۰۶ کیلومترمربع و در رقوم ارتفاعی ۱۶۶۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا، دشت های آبرفتی فراهان و اراک، مخروط افکنه ها و کوهپایه ها است .این حوضه در حدفاصل حوضه های آبریز قم و قره چای به وسیله کوه های کم ارتفاعی که در جنوب، مشرق و شمال آن قرار دارند و مناطق تپه ماهوری واقع در غرب

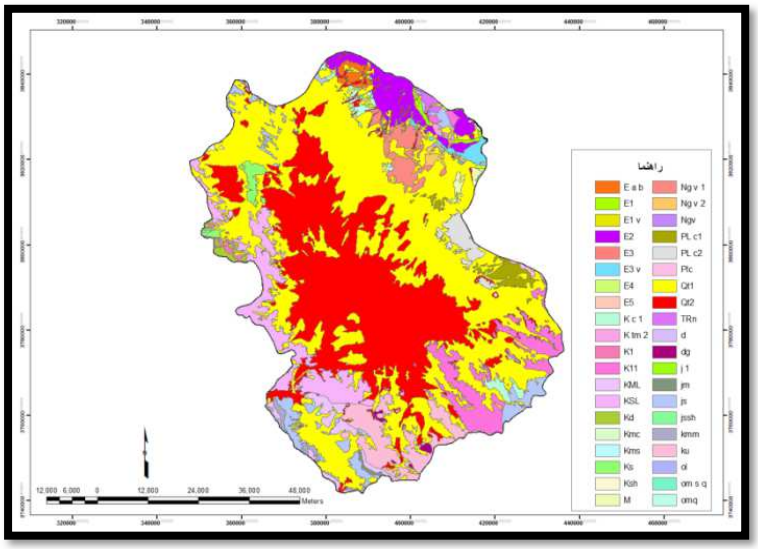
حوضه پدید آمده است. نزدیک ترین شهر به حوضه میقان ، اراک می باشد .اطراف کویر را روستاهایی با فواصل متفاوت نسبت به دریاچه فصلی میقان احاطه کرده اند .این کویر از طرف شمال به روستاهای ده نمک، داودآباد و ویسمه، از غرب به روستاهای میقان، راهزان و طرمزد و جاده اراک – فرمهین، از جنوب به روستاهای امام زاده خاتون و از شرق به روستای سهل آباد محدودشده است که نزدیک ترین آن ها، روستای راهزان و ده نمک به فاصله یک کیلومتری از دریاچه می باشند(مبارک آبادی، ۱۳۸۹) این منطقه در پست ترین نقطه حوضه به ارتفاع ۱۶۶۰ متر از سطح دریا می رسد.



شکل۱: موقعیت حوضه میقان

تحلیل ساختاری زمین شناسی منطقه

از نظر ساختمان زمین شناسی، حوضه میقان از دو واحد بزرگ کوهستانی در حاشیه و دشت رسوبی در بخش میانی تشکیل شده است.در نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه، حوضه میقان بصورت سیستم گرابنی دیده می شود که در امتداد دو گسل، فرو افتاده است.علت بسته شدن و استقلال حوضه، چین خوردن و بالا آمدن نهشته های زمان پلیوسن حاشیه شرق حوضه و هم زمان فرو افتادن دشت میانی در اثر جنبش اصلی رخداد تکتونیکی پاسادنین در عهد پلئیستوسن(۷۰۰ هزار سال قبل) می باشد.امتداد طبقات و گسل های عمده حوضه، موازی با محور اصلی زمین ساختی حاشیه در جهت جنوب شرقی – شمال غربی می باشند.این پدیده ها انعکاس جابجایی پلاتفرم های عربستان از جنوب غرب و سیبری از شمال شرق را نشان می دهند.رویداد بعد از فاز زمین ساختی پاسادنین در حوضه آبریز میقان با شروع یک فاز فرسایشی در پلئیستوسن مشخص می باشد.ته نشست های این دوره شامل آبرفت های قدیمی، آبرفت های جوان، کفه های رسی و نمکی می باشند که سطح نسبتاً پهناوری از حوضه را فراگرفته اند.(شکل۲)



شکل ۲: پراکنش واحدهای زمین شناسی در حوضه میقان برداشت از نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰۰

داده ها و روش ها

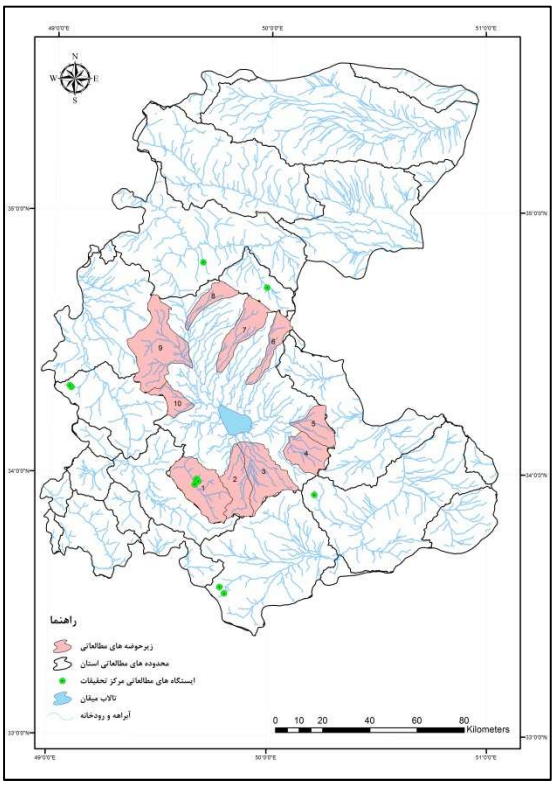
ابزارهای اصلی در این پژوهش برای بررسی وضعیت فعالیت زمین ساختی در منطقه مورد مطالعه شامل نقشه های توپوگراف(۱:۲۵۰۰۰و ۱:۵۰۰۰۰)، زمین شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰)، تصاویر ماهواره ای منطقه، بازدیدهای مکرر صحرایی و نرم افزار ARC GIS 10 می باشد .ابتدا بر روی نقشه توپوگرافی مرز حوضه تعیین شد و سپس لایه های اطلاعاتی مورد نیاز از آن استخراج گردید، در پایان به محاسبه مقادیر کمّی شاخص های زمین ریختی , VF, AF, SL, , HC, T، BS, S به ترتیبی که در زیر می آید برای حوضه میقان پرداخته شده است.

شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن(VF)

یک شاخص ژئومورفولوژی است که برای بررسی میزان فعالیت نیروهای زمین ساختی در یک منطقه استفاده می شود . نسبت پهنای دره به ارتفاع آن را معمولا در فاصله معینی از جبهه کوهستان(معمولا یک کیلومتر از جبهه کوهستان به طرف بالادست رود) اندازه می گیرند. این شاخص معمولا نشان می دهد که آیا رود به حفر بستر خود می پردازد و یا این که عمدتا فرسایش به صورت جانبی به طرف ارتفاعات و دامنه های حاشیه رود انجام می گیرد. مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده بالاآمدگی اندک نو زمین ساختی است .بنابراین رود پهنای بستر خود را فرسایش می دهد و در حال تعریض بستر خود است .مقادیر کم این شاخص نیز نشان دهنده دره های عمیق همراه با رودهایی است که به طور فعال کف بستر خود را حفر کرده و به طور معمول همراه با بالاآمدگی نو زمین ساختی است .این شاخص بر طبق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$VF=\frac{2VFW}{(Eld-Esc)+(Erd-Esc)}=2\times135\div(2005.9-1952.3)+(2018.9-1952.3)=2.24$$

در این رابطهVF = ، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، Vfw = پهنای کف دره ، Esc = ،ارتفاع متوسط کف دره از سطح دریا، Erd = ارتفاع خط الرأس سمت راست رودخانه، خط تقسیم سمت راست(از سطح دریا). و Eld = ارتفاع خط الراس سمت چپ رودخانه، خط تقسیم سمت چپ(از سطح دریا).(رامشت و همکاران،۱۳۹۱: ۳۹ و ۴۰). به منظور محاسبه شاخص VF در حوضه میقان ابتدا در ده مقطع متفاوت اقدام به محاسبه این شاخص گردید(شکل۳)، سپس از تمام VF های بدست آمده میانگین گرفته و در نهایت مقدار کل این شاخص برای حوضه میقان VF=2.24 بدست آمد(جدول شماره ۱) که مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده بالاآمدگی اندک نو زمین ساختی است .بنابراین رود پهنای بستر خود را فرسایش می دهد و در حال تعریض بستر خود است.



شکل ۳: موقعیت نیمرخ های ده گانه محاسبه شاخص ها در حوضه میقان

جدول ۱: مقادیر مربوط به محاسبه شاخص Vf در حوضه میقان

شماره حوضه	Vfw	Esc	Erd	Eld	VF
۱	۸۰	۲۱۳۱	۲۲۰۵	۲۱۷۵	۳/۱
۲	۱۰۰	۱۸۲۵	۱۸۹۵	۱۸۸۸	۵/۱
۳	۱۴۰	۱۷۸۵	۱۹۳۸	۱۸۹۰	۰۸/۱
۴	۵۰	۱۷۵۲	۱۷۶۷	۱۷۷۰	۰۳/۳
۵	۴۰۰	۲۰۹۶	۲۱۹۰	۲۱۵۰	۴/۵
۶	۲۴۰	۲۱۳۷	۲۱۹۰	۲۱۸۸	۶۱/۴
۷	۱۰۰	۱۷۷۵	۱۹۰۰	۱۸۹۰	۸۳/۰
۸	۱۰۰	۲۰۲۷	۲۰۴۴	۲۰۴۴	۸۸/۵
۹	۱۲۰	۱۸۸۷	۱۹۰۱	۱۸۹۹	۲۳/۹
۱۰	۲۰	۲۱۰۸	۲۱۵۹	۲۱۶۵	۳۷/۰
میانگین	۱۳۵	۱۹۵۲/۳	۲۰۱۸/۹	۲۰۰۵/۹	۲/۲۴

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی(AF)

عامل عدم تقارن، برای توصیف و درک ارتباط کج شدگی تکتونیکی در نواحی ای با مقیاس حوضه زهکشی و بزر گ تر ارتباط داده شده است. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی به کج شدگی زمین دراثر فعالیت های زمین ساختی دلالت داشته و به صورت زیر محاسبه می شود:

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

در این رابطه Af ، عدم تقارن حوضه Ar مساحت بخش غرب حوضه نسبت به رود اصلی و At مساحت کل حوضه است . باید توجه داشت که بخش غربی و شرقی حوضه را می بایست در جهت جریان رود در نظر گرفت .اگر مقدار عددی این شاخص در حدود 50 باشد، نشان دهنده وجود تقارن در دو سمت آبراهه اصلی و در نتیجه عدم فعالیت نو زمین ساختی است .در صورتی که حوضه آبریز تحت تاثیر این نیروها قرار داشته باشد ممکن است که مقدار عددی به دست آمده از Af کمتر یا بیشتر از 50 باشد .اگر میزان این شاخص بزرگتر از 50 باشد نشان دهنده فرازش در سمت غرب آبراهه اصلی است و اگر میزان شاخص کوچکتر از 50 باشد نشان دهنده فرازش در سمت شرق آبراهه اصلی است.(رامشت و همکاران،۱۳۹۱: ۳۸ و ۳۹). با عنایت به اینکه مقدار عددی بدست آمده برای این شاخص برابر با AF=47.6می باشد(جدول شماره ۲) و با توجه به اینکه کج شدگی حوضه میقان به سمت شرقی حوضه روی داده و نیز اینکه طول رودهای سمت چپ(یال غربی) حوضه طولانی تر از بخش مقابل است به این نکته پی می بریم که زمین ساخت در این حوضه دارای فعالیت های شدید می باشد و از نشانه های آن می توان به کج شدگی حوضه به سمت راست(شرق) و فرایند های دامنه ای (از نوع لغزشی و ریزشی) اشاره کرد.

جدول ۲: مقادیر مربوط به محاسبه شاخص AF در حوضه میقان

شماره زیرحوضه	Ar	At	AF
۱	۱۱۶/۳۷	۲۵۸/۲۵	۰۶/۴۵
۲	۵۴/۹۸	۱۱۷/۹۵	۶۱/۴۶
۳	۲۱۰/۳	۴۱۳/۵۵	۸۵/۵۰
۴	۳۰۵/۴	۵۶۳/۳۱	۲۱/۵۴
۵	۷۰/۴۹	۱۲۷/۲۶	۳۹/۵۵
۶	۱۳۶/۶۸	۲۲۲/۶۵	۳۸/۶۱
۷	۶۶/۷۵	۱۷۱/۰۲	۰۳/۳۹
۸	۱۱۵/۴۴	۳۵۲/۲۹	۷۶/۳۲
۹	۹۲/۳۶	۲۵۹/۹۱	۵۳/۳۵
۱۰	۷۳/۶۹	۱۵۳/۲۵	۰۸/۴۸
میانگین	۱۲۴/۲	۲۶۳/۹	۴۷/۰۶

شاخص گرادیان طولی رود(SL)

این شاخص مرتبط با قدرت جریان رود است. نیروی قابل دسترس رود در محدوه مشخص مجرا، متغیر هیدرولوژیکی مهمی است .زیرا به توانایی یک رود در فرسایش کف بستر آن و همچنین حمل مواد فرسایشی ارتباط دارد. این شاخص از طریق رابطه زیر حاصل می شود:

$$SL=\frac{\Delta H}{\Delta L}\times L$$

در این رابطه ΔHاختلاف ارتفاع دو نقطه معین، ΔLفاصله افقی همان دو نقطه،و L طول رود از نقطه مرکزی تا سرچشمه رود است. با توجه به رابطه فوق می توان گفت که $\frac{\Delta H}{\Delta L}$ در واقع همان رابطه شیب حوضه است. میزان قدرت رود به مقدار دبی و شیب بستر بستگی دارد .از این طریق می توان دریافت که این شاخص به تغییرات شیب حساس بوده و همین مسئله سبب شده تا بتوان روابط میان فعالیت های زمین ساختی، مقاومت سنگ و توپوگرافی را ارزیابی کرد. مقادیر زیادSL در سنگ های با مقاومت کم و یا در سنگ هایی که از نظر مقاومت یکسان هستند، می تواند نشان دهنده حرکات نو زمین ساختی فعال و جوان باشد.(رامشت و همکاران،۱۳۹۱: ۴۵و ۴۶).مقادیر شاخص شیب طولی رود برای حوضه میقان با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و ساماندهی اطلاعات جغرافیایی تعیین گردیده است .برای محاسبه

شاخص SL در حوضه آبریز میقان ابتدا نیمرخ طولی رودخانه ترسیم گردید . سپس با توجه به کوهستانی بودن منطقه و به ارتفاع مختلف هر یک از زیر حوضه ها در فواصل ارتفاعی مشخص مقدار شاخصSL برای کل مسیر حوضه میقان از خروجی تا سرچشمه انداز ه گیری و از تمام SL های حاصل میانگین گرفته شد و در نهایت مقدار SL برای کل حوضه میقات مقدار عددی۳۵۳,۴ بدست آمد (جدول شماره۳) که نشانه فعال بودن منطقه ازلحاظ حرکات نو زمین ساخت و فراخاست حوضه می باشد.

جدول۳: مقادیر مربوط به محاسبه شاخص SL در حوضه میقان

شماره زیرحوضه	H	L	L	SL
۱	۷۹۲	۶/۳۳۵۵۹	۵/۱۸۷۲۹	۱/۴۴۲
۲	۳۴۵	۶/۱۵۴۸۶	۲/۱۰۵۷۴	۵/۲۳۵
۳	۶۱۱	۹/۲۵۹۳۳	۷/۱۶۴۵۴	۶/۳۸۷
۴	۲۲۸	۲/۲۵۴۶۱	۱/۱۷۹۶۱	۸/۱۶۰
۵	۵۵۷	۱/۲۴۰۶۸	۱/۱۴۳۶۶	۴/۳۳۲
۶	۷۵۱	۴/۱۹۹۳۷	۳/۱۱۵۷۲	۹/۴۳۵
۷	۱۶۴	۶/۱۸۱۸۹	۶/۱۰۲۸۱	۷/۹۲
۸	۹۴۰	۲/۳۰۵۱۰	۹/۱۶۹۱۴	۱/۵۲۱
۹	۷۷۰	۹/۳۰۰۴۳	۵/۱۹۳۴۶	۸/۴۹۵
۱۰	۶۶۱	۳/۳۰۶۹۸	۸/۱۸۰۲۲	۱/۳۸۸
میانگین	۵۸۱/۹	۲۵۳۸۸/۸	۱۵۴۲۲/۳	۳۵۳/۴

شاخص تقارن توپوگرافی عرضی(T)

این شاخص هم می تواند وضعیت تقارن و در نتیجه فعال یا غیرفعال بودن منطقه را مشخص نماید .این شاخص با رابطه زیر محاسبه می شود.

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

T = شاخص تقارن توپوگرافی عرضی ، Da فاصله نوار مئاندری فعال از خط میانی حوضه آبی ، Dd فاصله خط میانی حوضه آبی از خط مرز حوضه. در حوضه های کاملا متقارن مقدار عددی این شاخص صفر است .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 تاثیر ناچیزی داشته است، در این صورت مهاجرت عمومی و کلی دلیلی بر کج شدگی زمین در جهت خاص است . بنابراینT نشان دهنده دهنده این است که یک بردار با جهت و مقدار (۰و۱) است. این تجزیه و تحلیل بیشتر برای حوضه های زهکشی با الگوی دندریتیک مناسب است .مناطقی که ارزیابی انشعاب دره ها به خوبی دره یا تنه اصلی باشد ، محدوده های مقادیر بزرگT مجاز است(.(رامشت و همکاران،۱۳۹۱: ۴۲ و ۴۳).برای محاسبه شاخص Tدر حوضه میقان مقادیر Da و Dd در۱۰ زیر حوضه از پایاب تا سرچشمه حوضه اندازه گیری شد ، سپس از مجموع این اندازه گیر ی ها میانگین گرفته تا مقدار عددی بدست آمده بیان کننده تمام مسیر حوضه باشد .مقدار شاخص T برای حوضه میقان برابر با عدد ۰,۲۴ می باشد(جدول شماره ۴) با توجه به میزان شاخص Tدر حوضه میقان در می یابیم که این حوضه از لحاظ فعالیت های نو زمین ساختی در وضعیت فعال به سر می برد. از شواهد ژئومورفولوژیکی

موجود در حوضه میقان که مقدار شاخص T را تأیید می نمایند می توان به مواردی چون عدم تقارن شبکه زهکشی و طول بیشتر آبراهه ها در ساحل سمت چپ حوضه میقان اشاره کرد.

جدول۴: مقادیر مربوط به محاسبه شاخص T در حوضه میقان

شماره زیرحوضه	T
۱	۱۷/۰
۲	۱۴/۰
۳	۱۶/۰
۴	۱۵/۰
۵	۳۹/۰
۶	۱۵/۰
۷	۴۱/۰
۸	۲۶/۰
۹	۲۱/۰
۱۰	۴۱/۰
میانگین	۰/۲۴

شاخص شکل حوضه(BS)

نسبت شکل حوضه زهکشی نیز شاخصی است که در ارزیابی فعالیت های تکتونیکی به کار می رود. معمولا حوضه هایی که از نظر زمین ساختی فعال هستند، شکل کشیده دارند .با توقف فعالیت یا غلبه فرآیندهای فرسایشی، شکل حوضه به تدریج در طی زمان دایره ای می شود و شاخص کاهش می یابد. این شاخص از طریق رابطه زیر به دست می آید:

$$Bs= B_I/B_W$$

در این رابطهBI طول حوضه آبریز بوده که از خروجی حوضه تا انتهایی ترین بخش حوضه را در بر گرفته و BW عرض حوضه آبریز است .مقادیر بالایBS نشان دهنده فعال بودن نو زمین ساخت حوضه آبریز است.(رامشت و همکاران،۱۳۹۱: ۴۱ و ۴۲). در حالی که مقادیر پایین این شاخص بیشتر حوضه های دایره ای شکل نواحی با فعالیت های زمین ساختی کم(غیر فعال)را نشان می دهد. **(رامیرز -هریرا ،۱۹۹۸).** بر اساس طبقه بندی ال .همدونی و همکاران(۲۰۰۸) مقدار شاخص BS برای حوضه ها به شرح ذیل می باشد:

$BS > 4 \rightarrow$ حوضه فعال (کلاس ۱)

$BS = 3\text{-}4 \rightarrow$ حوضه نیمه فعال (کلاس ۲)

$BS < 3 \rightarrow$ حوضه غیر فعال (کلاس ۳)

میزان شاخص BS برای حوضه میقان مقدار عددیBS=3.۵ بدست آمد (جدول شماره ۵) و حاکی از این است که حوضه میقان بر اساس این شاخص از لحاظ فعالیت زمین ساختی نیمه فعال می باشد.

جدول۵: مقادیر مربوط به محاسبه شاخص Bs در حوضه میقان

شماره زیرحوضه	Bw	Bi	Bs
۱	۷۵۸۳/۱۶	۳۴۶۸۳/۴	۴/۵
۲	۱۰۹۸۷/۴۲	۲۰۲۲۴/۷	۱/۸
۳	۱۴۷۶۲/۲۹	۳۲۰۵۴/۸	۲/۱
۴	۲۵۶۹۱/۹۹	۳۵۳۲۵/۴	۱/۳
۵	۴۸۷۳/۶	۲۵۴۰۱	۵/۲
۶	۱۳۲۰۶/۱	۲۰۳۳۸/۲	۱/۵
۷	۱۲۴۹۲/۳۷	۲۱۵۰۳/۵	۱/۷
۸	۱۲۸۰۲/۶۶	۳۲۲۹۴/۴	۲/۵
۹	۱۰۵۱۷/۲۹	۳۰۸۳۷/۹	۲/۹
۱۰	۲۶۷۵/۳۸	۳۲۶۲۲/۷	۱۱/۷
میانگین	۱۱۵۶۹/۲	۲۸۵۲۸/۶	۳/۵

شاخص پیچ و خم رود(S)

بالا بودن پیچ و خم رود نشان دهنده پایداری نسبی نو زمین ساختی حوضه است .این شاخص از طریق رابطه زیر حاصل می شود:

$s=c/v$

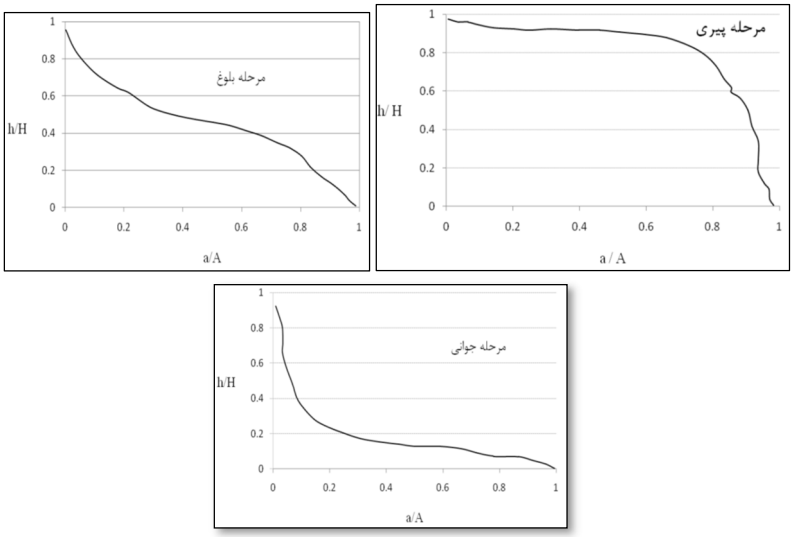
در این رابطه C طول رود ، و V طول دره در خط مستقیم، می باشند .هر چه مقادیر بدست آمده زیاد باشد، حاکی از نزدیک شدن رود به حالت تعادل بوده و هر اندازه کمتر باشد دلیل فعال بودن نو زمین ساخت در حوضه است.. (رامشت و همکاران،۱۳۹۱: ۴۵). با محاسبه شاخص S بر روی حوضه میقان مقدار عددی بدست آمده برای این شاخص برابر با $S=1.21$ می باشد(جدول شماره ۶) بنابراین با توجه به این شاخص می توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه از نظر زمین ساخت به حالت تعادل نرسیده و نیروهای درونی و زمین ساختی هنوز هم در تحول شکل زایی منطقه نقش بسزایی دارند.

جدول۶: مقادیر مربوط به محاسبه شاخص S در حوضه میقان

شماره زیر حوضه	C	V	S
۱	۴/۳۷	۵/۳۳	۱۱/۱
۲	۱/۲۱	۴/۱۵	۳۷/۱
۳	۹/۳۲	۱/۲۶	۲۶/۱
۴	۹/۳۵	۴/۲۵	۴۱/۱
۵	۷/۲۸	۵/۲۴	۱۷/۱
۶	۱/۲۳	۲۰	۱۵/۱
۷	۵/۲۰	۱/۱۸	۱۳/۱
۸	۸/۳۳	۳/۳۰	۱۱/۱
۹	۶/۳۸	۳۰	۲۸/۱
۱۰	۳۶	۶/۳۰	۱۷/۱
میانگین	۳۰/۸	۲۵/۳	۱/۲۱

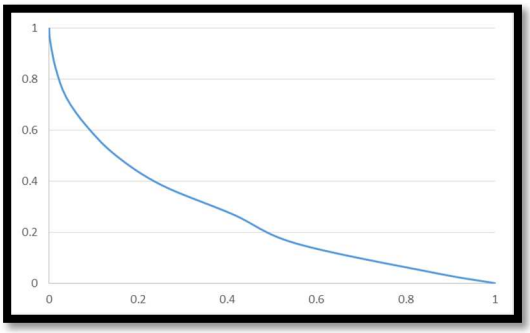
شاخص منحنی هیپسومتری حوضه(HC)

منحنی های هیپسومتری، توزیع سطوح ارتفاعی یک حوضه را از سطح آبهای آزاد می توانند ارزیابی و توصیف نمایند . این منحنی ها با ترسیم ارتفاع کل در مقابل مساحت کل حوضه ترسیم می گردند(علیزاده،۱۳۸۰) با تقسیم مساحت و ارتفاع این نمودار بر مساحت کل حوضه و حداکثر ارتفاع حوضه، می توان آن را به صورت بی بعد نشان داد .از طریق مقایسه منحنی هیپسومتری بدست آمده با منحنی های نظری (شکل شماره ۴) می توان وضعیت نوزمین ساخت حوضه را مشخص کرد .اگر منحنی از نظر فرسایش مرحله جوانی را نشان دهد بایستی به وجود فعالیت های نو زمین ساختی اشاره نمود و اگر با مرحله پیری انطباق داشته باشد حاکی از نو زمین ساخت آرام (غیرفعال) حوضه است.



شکل ۴: منحنی های هیپسومتری نظری چرخه فرسایش کلر و همکاران،2002

در شکل ۵ منحنی هیپسومتری حوضه آبریز مورد مطالعه نشان داده شده که حاکی از مرحله جوانی در آن است . همچنین تحدب در منحنی بی بعد بیانگر غلبه فعالیت نو زمین ساختی حوضه بر فعالیت های فرسایشی می باشد در حالی 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 وضعیتی فعال دارد.



شکل ۵: منحنی هیپسومتری بی بعد حوضه آبریز مورد مطالعه

یافته های پژوهش

برای ارزیابی وضعیت نو زمین ساختی حوضه آبریز میقان از هفت شاخص ژئومورفولوژیکی استفاده گردید. شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن(VF) که بر اساس خط اراس ها و کف بستر دره بوده و با استفاده از ۱۰ مقطع عرضی

محاسبه گردید که در نهایت مقدار کل این شاخص برای حوضه میقان 2.24 متر می باشد که مقدار بالای این شاخص نشان دهنده بالاآمدگی اندک نو زمین ساختی است.. شاخص تقارن حوضه زهکشی(AF) با عنایت به اینکه مقدار عددی بدست آمده برای این شاخص برابر با 47.6 می باشد و با توجه به اینکه کج شدگی حوضه میقان به سمت شرقی حوضه روی داده و نیز اینکه طول رودهای سمت چپ(یال غربی)حوضه طولانی تر از بخش مقابل است به این نکته پی می بریم که زمین ساخت در این حوضه دارای فعالیت های شدید می باشد.شاخص گرادیان طولی رود(SL) که بیانگر قدرت رودخانه و شیب بستر است،۳۵۳,۴ متر بدست آمد که مقدار بالای حاصل از این شاخص بیانگر فعال بودن زمین ساخت حوضه می باشد. شاخص تقارن توپوگرافی عرضی(T) برای حوضه میقان برابر با عدد ۰,۲۴ می باشد، با توجه به میزان شاخص Tدر حوضه میقان در می یابیم که این حوضه از لحاظ فعالیت های نو زمین ساختی در وضعیت فعال به سر می برد. از شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در حوضه میقان که مقدار شاخص T را تأیید می نمایند می توان به مواردی چون عدم تقارن شبکه زهکشی و طول بیشتر آبراهه ها در ساحل سمت چپ حوضه میقان اشاره کرد.شاخص شکل حوضه(BS) نیز برای حوضه میقان ۳,۵کیلومتر بدست آمد و حاکی از این است که حوضه میقان بر اساس این شاخص از لحاظ فعالیت زمین ساختی در حالت نیمه فعال به سر می برد. عدد حاصل از شاخص پیچ و خم رود(S) 1.21 کیلومتر محاسبه گردید بنابراین با توجه به این شاخص می توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه از نظر زمین ساخت به حالت تعادل نرسیده و نیروهای درونی و زمین ساختی هنوز هم در تحول شکل زایی منطقه نقش بسزایی دارند. بر اساس شاخص هیپسومتری (HC) منحنی ترسیم شده حاکی از مرحله جوانی رود در دره و فعال بودن زمین ساخت آن است. در همین رابطه، نتایج حاصل از تحلیل های شکل سنجی در این پژوهش نیز نشان داد که این حوضه از لحاظ فعالیت های نئوتکتونیکی فعال بوده، اما میزان تاثیر این فعالیت ها در همه جای آن یکسان نیست و در مناطق بالادست در مقایسه با سایر بخش ها از این نظر فعال تر می باشند (جدول شماره۷). چنین حاکمیتی از پویایی پدیده ها از یک طرف منجر به فراهم سازی زیرساخت های ضروری برای استقرار گروه های انسانی و توامان تهدیدی برای تاسیسات و تجهیزات مستقر به علت مخاطرات مورفولوژیکی است.

جدول ۷ :نتایج حاصل از ارزیابی شاخص های ژئومورفیک تکتونیک فعال در حوضه آبریز میقان (ماخذ :نویسندگان)

شاخص	نماد	توصیف کمی	توصیف کیفی
شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره	VF	۲,۲۴	نیمه فعال
عدم تقارن حوضه زهکشی	AF	۴۷,۶	فعال
شاخص گرادیان طولی رود	SL	۳۵۳,۴	فعال
شاخص تقارن توپوگرافی عرضی	T	۰,۲۴	فعال
شاخص شکل حوضه	BS	۳,۵	نیمه فعال
شاخص پیچ و خم رود	S	۱,۲۱	فعال
شاخص منحنی هیپسومتری حوضه	HC	–	مرحله جوانی

نتیجه گیری

حوضه میقان متعلق به دو واحد زمین ساختی می باشد.نیمه جنوب غربی حوضه میقان متعلق به واحد ساختمانی سنندج – سیرجان است و بخشی از آن نیز، در نیمه شمال شرقی به ایران مرکزی تعلق دارد.مرز این دو واحد را یک گسل سراسری به نام گسل تبرته تعیین می کند. این گسل هم جهت با روند ارتفاعات حاشیه از جنوب شرقی به شمال غربی امتداد دارد. علاوه بر آن گسل سراسری دیگری با همان روند بنام گسل تلخاب، واحدساختمانی ایران مرکزی را در محدوده حوضه مطالعاتی به دو بخش تقسیم می کند.آن بخش از حوضه که در شمال گسل تلخاب قرار دارد، کمربند آتشفشانی ارومیه – دختر نامیده می شود.بخش دیگر در جنوب گسل در محل به نام هفتاد قله معروف است؛مانند پژوهش روستایی و نیری در سال ۱۳۹۰ که در مورد فعالیت نو زمین ساختی و به تجزیه و تحلیل نمیرخ طولی رودخانه مهاباد با بهره مندی از شاخصهای ژئومورفیک پرداختند و بالا آمدگی بخش جنوبی و جنوب غربی را در ارتباط با گسل فعال پیرانشهر و زون خردشده زاگرس دانستند، وجود گسل های اصلی و رو رانده در منطقه مورد مطالعه نیز حاکی از وجود فعالیتهای تکتونیکی فعال در منطقه است. حرکات تکتونیکی باعث به وجود آمدن گسل های متعدد در جهات مختلف به خصوص در نواحی جنوب شرقی و شمال غربی حوضه مورد مطالعه شده است. فعالیتهای گسل های منطقه، پیدایش پدیده های ژئومورفیک و شکل گیری سیمای توپوگرافیکی و شبکه های زهکشی فعلی منطقه را به دنبال داشته است. در این منطقه تکتونیک و کوهزایی هم تأثیر چشمگیری در ایجاد آبراهه ها داشته است. به طورکلی بر اساس نتایج این پژوهش سیمای توپوگرافیک و ژئومورفیک فعلی منطقه از فعالیت های زمین ساختی کواترنر متأثر شده اند. همچون مطالعه ده بزرگی و همکاران در سال ۲۰۱۰ که با استفاده از شاخص های ژئومورفیک ناحیه سروستان در بخش زاگرس مرکزی به مطالعه نو زمین ساخت منطقه پرداختند، ناحیه را به چهار منطقه به لحاظ فعالیت های نو زمین ساختی به صورت بسیار فعال، فعال، نسبتاً فعال و با فعالیت بسیار پایین طبقه بندی کردند، همچنین یمانی و همکاران در سال ۱۳۹۵ برای بررسی فعالیت های نو زمین ساخت، حوضه مورد مطالعه به چهار زیر حوضه تقسیم شد و میزان فعالیت تکتونیکی در هر زیر حوضه موردبررسی قرار گرفت که نتایج و ارقام حاصل از به کارگیری شاخص های مختلف نشان دهنده فعال بودن تکتونیک در بخش های مختلف حوضه، به ویژه در بخش های بالادست (زیر حوضه های رجایی شهر و کمال شهر) است و همچنین در زیر حوضه غربی منطقه (زیر حوضه چهاردانگه) که از نظر پنج شاخص ژئومورفیک دارای فعالیت کم تکتونیکی نسبت به سایر زیر حوضه ها بوده است نشان از تعادل نسبی و گذر از مرحله بلوغ فرسایشی در این قسمت از حوضه است.در این پژوهش نیز برای بررسی بهتر فعالیت های نو زمین ساخت،حوضه مورد مطالعه به ده زیر حوضه تقسیم شد و میزان فعالیت تکتونیکی در هر زیر حوضه موردبررسی قرار گرفت که نتایج و ارقام حاصل از به کارگیری شاخص های مختلف نشان دهنده فعال بودن تکتونیک در بخش های مختلف حوضه، به ویژه در بخش های بالادست است. در همین رابطه، نتایج حاصل از تحلیل های شکل سنجی در این پژوهش نیز نشان داد که این حوضه از لحاظ فعالیت های نئوتکتونیکی فعال بوده، اما میزان تاثیر این فعالیت ها در همه جای آن یکسان نیست و در مناطق بالادست در مقایسه با سایر بخش ها از این نظر فعال تر می باشند. چنین حاکمیتی از پویایی پدیده ها از یک طرف منجر به فراهم سازی زیرساخت های ضروری برای استقرار گروه های انسانی و توامان تهدیدی برای تاسیسات و تجهیزات مستقر به علت مخاطرات مورفولوژیکی است.به این ترتیب بین حرکات زمین ساخت و تغییرات زهکشی حوضه های آبریز نوعی تعامل وجود دارد. درنهایت، شایان ذکر است که مدیریت پایدار سامانه حوضه های آبریز، بدون توجه به نحوه عملکرد فرایندهای ژئومورفیکی و نیز عدم مطالعه پیامدهای فعالیتهای تکتونیکی، نمیتواند به نتیجه قابل انتظار دست یابد. درک درست تغییرات در مسیر جریان حوضه های آبریزو همچنین برنامه ریزی برای سازه های آنها مستلزم نگرش سیستمی به حوضه های آبریز است.

منابع

- خادمی، محسن(۱۳۸۹): محاسبه و تفسیر برخی شاخص های ریخت زمین ساختی پیرامون گسل ترود، جنوب دامغان،مجله علوم زمین، شماره ۷۵ ، صص ۴۷-۵۶.
- ذوالفقاری، مرتضی، هاشمی،محمدناصر، و حیدری،مریم(۱۳۸۹): بررسی تغییرات مکانی بارندگی و حجم نزولات جوی در حوضه آبخیز کویر میقان،مجموعه مقالات دومین همایش تالاب های کویری ایران،دانشگاه آزاد اسلامی امیرکبیر،اراک.
- رامشت،محمد حسین.آرا، هایده.شایان، سیاوش و یمانی، مجتبی(۱۳۹۱): ارزیابی دقت و صحت شاخص های ژئومورفولوژیکی با استفاده از داده های ژئودینامیکی مطالعه موردی :حوضه آبریز جاجرود در شمال شرق تهران،مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی،شماره ۲،صص۳۵-۵۲.
- روستایی،شهرام؛ و هادی ، نیری(۱۳۹۰):ارزیابی فعالیت های تکتونیکی با استفاده از نیمرخ طولی در حوضه آبریز مهاباد،جغرافیا و برنامه ریزی دانشکده علوم انسانی و اجتماعی،دانشگاه تبریز،شماره ۳۶.
- سلیمانی، شهریار(۱۳۷۸): رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه شناسی، مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، چاپ اول.
- شریفی نجف آبادی، رسول، معیری، مسعود، غیور، حسن .علی، صفایی، همایون، سیف، عبداله(۱۳۸۹): بررسی و تحلیل شواهد ژئومورفیک زمین ساخت در حوضه رودبار از سرشاخه های دز ، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره۷۳ ، صص ۳۶-۲۱.
- صفاری، امیر.، و منصوری، رضا ((۱۳۹۲): ارزیابی نسبی فعالیت های زمین ساختی بخش علیای حوضه آبخیز کنگیر ایوان غرب با استفاده از شاخص های ژئومورفیک ، مجله جغرافیا و آمایش شهری -منطق های، شماره ۷، صص ۵۰-۳۵.
- کرمی،فریبا(۱۳۸۸):ارزیابی نسبی فعالیت های تکتونیکی با استفاده از تحلیل های شکل سنجی مورد نمونه: حوضه اوجان چای، شمال شرقی کوهستان سهند.مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی،شماره۳،صص۱۳۵-۱۵۴.
- گورابی، ابوالقاسم و نوحه گر، احمد (۱۳۸۶): شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه ،« پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۰ ، صص ۱۷۷-۱۹۶.
- مبارک آبادی، آزاده.(۱۳۸۹): ژئومورفولوژی کویر میقان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه طبرستان،چالوس.
- مددی، عقیل، رضایی مقدم، محمد .حسین، رجایی، عبدالحمید(۱۳۸۳): تحلیل فعالیت های نئوتکتونیک با استفاده از روش های ژئومورفولوژی در دامنه های شمالغربی تالش (باغرو داغ)، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۴۸ ، صص ۱۲۳- ۱۳۸.
- یمانی،مجتبی؛ و شهناز علیزاده(۱۳۹۵): بررسی فعالیت های نو زمین ساخت حوضه آبخیز کرج از طریق شاخص های ژئومورفیک،فصل نامه جغرافیایی طبیعی،سال نهم ،شماره ۳۱.
- *Andreani,L., Stanek, P., K., Gloaguen, R., Krentz., O., Domínguez., G., L., (2014), DEM-Based Analysis of Interactions between Tectonics and Landscapes in the Ore Mountains and Eger Rift (East Germany and NW Czech Republic), Remote Sens. 2014, 6, 7971-8001.*
- *Azor, A., Keller, E.A., Yeats, R.S., (2002), "Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge Ventura basin, southern California", Geological Society of America Bulletin 114, 745–753.*
- *Bhat F. A., Bhat I. M., Hamid Sana, Mohd Iqbal, Akh tar R. Mir, 2013, Identification of geomorphic signatures of active tectonics in the West Lidder Watershed, Kashmir Himalayas: Using Remote Sensing and GIS, INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATICS AND GEOSCIENCES, Volume 4, No 1.*

- *DehBozorgi, M. Pourkermani, M. Arian, M.Matkan, A.A. Motamedi, HosseiniAsl,(2010) Quantitative Analysis of Relative Tectonic Activity in The Sarvestan Area, Geomorphology 121.*
- *Doranti-Tiritan, C., Christian Hackspacher, P., Henrique de Souza, D., Siqueira-Ribeiro, C., M., (2014) The Use of the Stream Length-Gradient Index in Morphotectonic Analysis of Drainage Basins in Poços de Caldas Plateau, SE Brazil, International Journal of Geosciences, 5, 1383-1394.*
- *Bull, W.B., McFadden, L.D., (1977), "Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O. (Ed.)", Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton, pp. 115–138.*
- *Duglas W.burbank, Robert S. Anderson (2001), "Tectonic Geomorphology", Blackwell Science, Lt.*
- *EL Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. , Keller E.A., (2008), "Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (Southern Spain)", Geomorphology, 96, 150-173.*
- *Keller, E.A., Pinter, N., (1996), "Active, Tectonics: Earthquaqe, Uplift and Landscape, Prentice Hall Publication", London.*
- *Keller, E.A., Pinter, N., (2002), "Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. Prentice Hall", New Jersey.*
- *Molin, P., Pazzaglia, F.J., Dramis, F., (2004), "Geomorphic expression of active tectonics in a rapidlydeforming forearc, sila massif, Calabria, southern Italy", American Journal of Science 304, 559–589.*
- *MASDOUQ, A., FATHI, SH., MOHAMMAD, A., 20١٢, MORPHO TECTONIC INDICES OF THE DEAD SEA TRANSFORM, JORDAN, Geogr. Fis. Dinam. Quat. 30, 5-11, 4 figg., 1 tab.*
- *Ramirez- Herrera, M.T., (1998) "Geomorphic Assessment of active tectonic in the Acambay Graben", Mexican Volcanic belt Earth Surface and landforms 23,317-322.*
- *Rockwell, T.K. et al. 1984. Alate Pleistocence- Holocence Soil Chronosquence in the Ventura Basin Southern California U.S. Aallen and Unwin, London. 309-327.*
- *Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardajm, T., (2003), "Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity", Gemorphology 250, 203–226.*
- *Wells, S.G., Bullard, T.F., Menges, C.M., Drake, P.G., Karas, P.A., Kelson, K.I., Ritter, J.B., and Wesling, J.R. 1988. Regional Variations in Tectonic Geomorphology along a Segmented Convergent Plate Boundary. Pacific Coast of Costa Rica. Geomorphology, 1, 239–265.*