

# دو فصلنامه‌ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران

سال اول، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۴

صص ۱۸ - ۱

## بحران ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در اثر فعالیت تکتونیکی در دشت ماهیدشت

نسرین رنجبرمنش<sup>\*</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی دانشگاه اصفهان

مژگان انتظاری، استادیار دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی دانشگاه اصفهان

محمدحسین رامشت، استاد دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی دانشگاه اصفهان

### چکیده

منابع آب زیرزمینی در آسیا و به‌ویژه در منطقه خاورمیانه در وضعیت بحرانی است. دلیل این امر برداشت بیش از اندازه‌ی آب زیرزمینی (بیشتر از نرخ طبیعی آن است) است؛ که باعث افت پیوسته سطح آب زیرزمینی می‌شود. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در دشت ماهیدشت و افت شدید سطح آب زیرزمینی در چند سال اخیر پیش‌بینی می‌شود مسأله تأمین آب این دشت در آینده با بحران جدی مواجه گردد. ازاین‌رو لزوم مطالعه و برنامه‌ریزی دقیق جهت مقابله با این بحران بالقوه احساس می‌شود. لذا، در این تحقیق، بر اساس داده‌های موجود به بررسی ارتباط بین تکتونیک و نوسانات منابع آب زیرزمینی دشت ماهیدشت پرداخته شده است. به این منظور، جهت ارزیابی میزان فعالیت تکتونیکی در منطقه، شاخص‌های مورفوتکتونیک سینوزیته جبهه کوهستان «S»، نسبت پهنای کف دره به عمق یا ارتفاع دره «Vf»، انتگرال منحنی هیپسومتری «IH»، شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز «AF»، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی «T» و شاخص گرادیان طول رودخانه «SL» را با استفاده از نرم‌افزار Global Mapper محاسبه کرده‌ایم. نتایج حاصل از این محاسبات نشان‌دهنده نرخ فعالیت تکتونیکی متوسط تا بالا در منطقه (بیشتر در قسمت خروجی حوضه) است. همچنین طبق تجزیه و تحلیل آمار موجود در محیط ArcGis، سطح آب زیرزمینی در دشت (بیشتر در قسمت خروجی حوضه) افت داشته است؛ که میزان افت منطبق با فعالیت تکتونیکی می‌باشد. بنابراین تکتونیک جنبه‌ای می‌تواند از علل اصلی افت سطح آب زیرزمینی در منطقه باشد.

### واژگان کلیدی

بحران، مورفوتکتونیک، تکتونیک جنبه، نوسانات سطح آب زیرزمینی، ماهیدشت.

## مقدمه

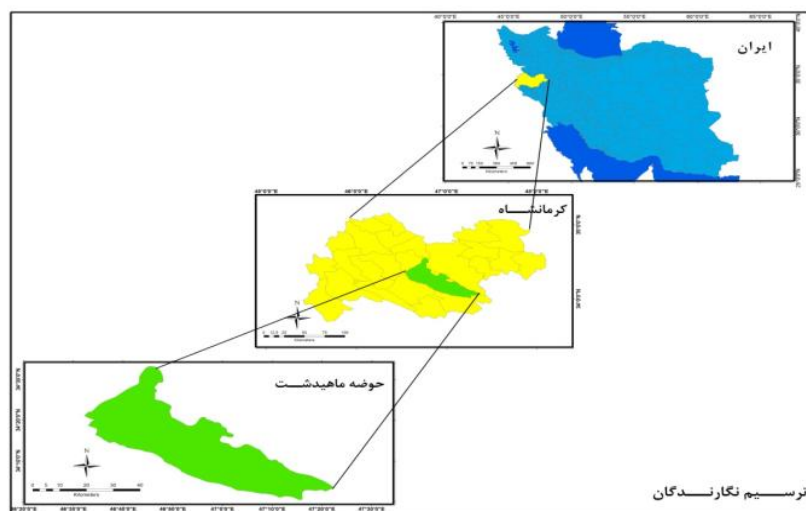
بحران آب به وضعیتی اطلاق می‌شود که در یک حوضه آبخیز میزان آب در دسترس کم تر از میزان تقاضای آب در آن منطقه است (طاهری و علیزاده، ۱۳۹۰: ۱). زمانی که برداشت از آب زیرزمینی نسبت به تغذیه طبیعی فراتر رود، ممکن است منابع آب زیرزمینی به حالت بحرانی برسد و سطح آب با افت شدید مواجه گردد. افت سطح آب می‌تواند خطرات زیست‌محیطی برای مناطق روستایی، شهری و صنعتی مثل فرونشست زمین، ایجاد شق و شکاف در سطح زمین (عامل آسیب به ساختمان‌ها و تأسیسات کشاورزی) و... را ایجاد کند. در این شرایط باید اقدامات مدیریتی اساسی صورت گیرد؛ تا از عواقب بحران‌ناپذیر آن کاسته شود. از جمله مطالعه وضع موجود و عوامل مؤثر بر کمیّت و کیفیت منابع آب و ارزیابی راهکار جهت بهره‌برداری بهینه از منابع آب موجود، عوامل زمین‌شناختی اثرات قابل‌توجهی بر وضعیت منابع آب زیرزمینی دارند. در بین این عوامل، نقش گسل‌ها بسیار بارز است. گسل‌ها با توجه به تغییراتی که می‌توانند در توالی لایه‌ها ایجاد کنند و همچنین با توجه به نقش مهمی که خود صفحات گسلی و شکستگی‌ها در نفوذ آب‌های جاری ایفا می‌کنند، می‌توانند به طور تعیین‌کننده‌ای بر وضعیت فراوانی و کیفیت منابع آب زیرزمینی اثر گذار باشند (هاشمی، بی‌تا). برای مطالعه وضعیت زمین‌شناختی و نحوه عملکرد گسل‌ها ابتدا باید وضعیت تکتونیکی منطقه از لحاظ فعالیت مشخص شود. شناسایی مناطق فعال به لحاظ تکتونیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. تقریباً هیچ ناحیه‌ای در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تأثیر این حرکات قرار نگرفته باشد (شایان و همکاران، ۱۳۹۰). در این تحقیق، بر اساس داده‌های موجود و در یک مقیاس ناحیه‌ای ابتدا به بررسی وضعیت تکتونیکی منطقه و ارتباط بین گسل‌ها و شکستگی‌های بزرگ مقیاس و وضعیت فراوانی و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت ماهیدشت پرداخته شده است. بررسی اجمالی بر روی پژوهش‌ها و تحقیقات انجام شده، در خصوص موضوع این تحقیق نشان می‌دهد در موارد بسیاری بین وضعیت منابع آب و ساختارهای زمین‌شناسی مناطق ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. کاظمی و همکاران (۱۳۸۵) به بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS پرداخته‌اند. نتایج تحقیقات ایشان نشان می‌دهد که رابطه نزدیکی بین فراوانی چشمه‌ها و فاصله از عناصر تکتونیکی وجود دارد. همچنین تبعیت روند کلی عناصر تکتونیکی و خطواره‌ها با شبکه هیدروگرافی و مشاهده تمرکز عوارض کارستی در امتداد کلی عناصر تکتونیکی نشان‌دهنده نقش اساسی عناصر تکتونیکی در هیدرولوژی منطقه می‌باشد. Travaglia (1988) در بررسی منابع آب زیرزمینی سوریه از خطواره‌ها و عناصر تکتونیکی به عنوان یک لایه اطلاعاتی مهم استفاده کرده است و به نتایج سودمندی در خصوص رابطه این عناصر با پتانسیل آبدهی چاه‌ها رسیده است. Ahmed (1996) از خطواره‌ها به عنوان راهنمای اکتشاف آب‌های زیرزمینی در سازندهای سخت موجود در نواحی خشک و نیمه خشک مراکش می‌توان استفاده نمود و نتیجه گرفت که عوامل تکتونیک روی هیدروگرافی منطقه تأثیر زیادی داشته است. الگوی شکستگی نشان‌دهنده آن است که گسل‌ها مسیرهای عمده برای حرکات جانبی و عمودی آب‌های زیرزمینی هستند. علاوه بر موارد یاد شده، بررسی کلی اثر گسل‌ها بر وضعیت آب‌های زیرزمینی موضوع تحقیقات فراوانی بوده است (Cervantes-Medel et al., 2004; Lippmann et al., 2000; Al-Taj, 2008).

هدف اصلی در این مطالعه بررسی وضعیت تکتونیکی و ارتباط آن با کمیّت و کیفیت منابع آب دشت ماهیدشت جهت مهار بحران ناشی از افت سطح آب زیرزمینی است. در این خصوص لازم به ذکر است که

کیفیت و فراوانی منابع آب‌های زیرزمینی به عوامل متعددی بستگی دارد؛ که بخشی از این عوامل به جغرافیا و ویژگی‌های اقلیمی مناطق مرتبط است و بخش مهم دیگری نیز متأثر از خصوصیات زمین‌شناختی است. بر این اساس با فرض یکسان بودن شرایط اقلیمی می‌توان به بررسی اثر پارامترهای زمین‌شناختی پرداخت. حتی در این شرایط نیز در بین عوامل زمین‌شناختی فاکتورهای مؤثر متعدد می‌باشند و تفکیک آنها نیز مشکل است.

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در غرب ایران قرار گرفته است و یکی از بخش‌های شهرستان کرمانشاه واقع در استان کرمانشاه می‌باشد (شکل شماره ۱). این منطقه از شمال و شرق به حومه کرمانشاه بخش مرکزی و از جنوب به بخش سر فیروزآباد و از غرب به شهرستان اسلام‌آباد غرب محدود می‌گردد. این دشت بین  $36^{\circ}21'00''$  تا  $36^{\circ}22'00''$  طول شرقی و  $49^{\circ}00'00''$  تا  $49^{\circ}03'00''$  عرض شمالی واقع شده است (بیات و همکاران، ۱۳۹۰). مساحت ماهیدشت ۴۵۹ کیلومتر مربع می‌باشد و ارتفاع متوسط دشت برابر ۱۸۰۰ متر می‌باشد.

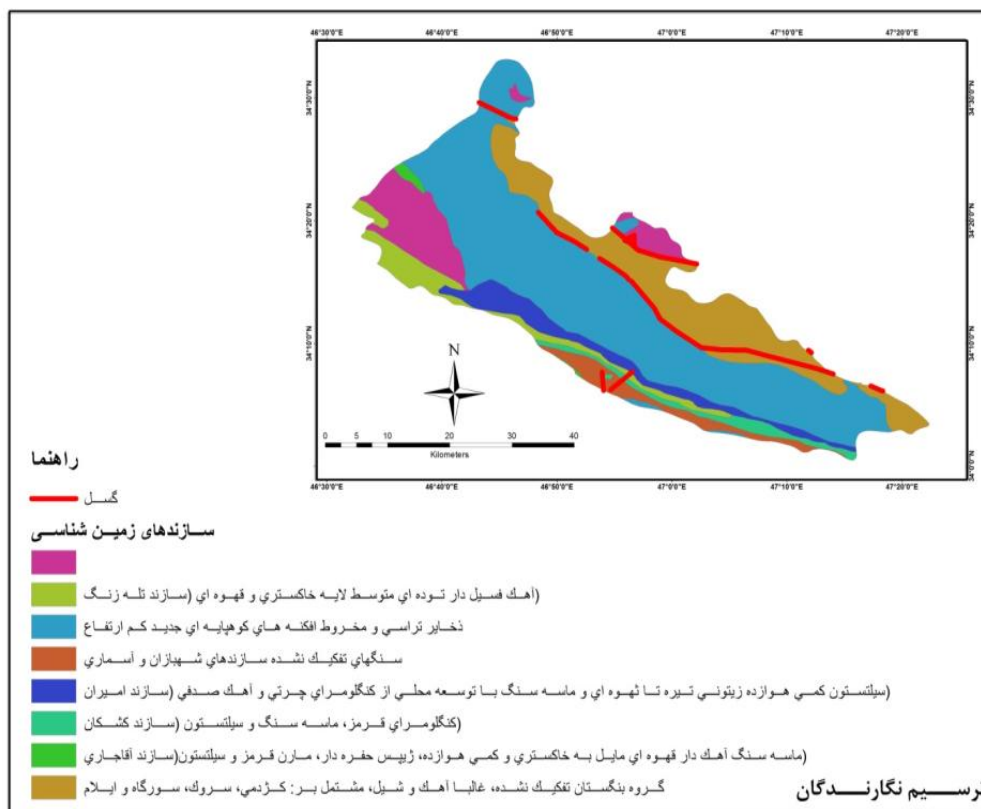


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### موقعیت زمین‌شناسی و وضعیت ساختاری منطقه

منطقه ماهیدشت از نظر ساختار زمین‌شناسی جزو زاگرس محسوب می‌شود. به گفته علائی (۱۳۸۴: ۱۴۴) زاگرس به پهنه‌ای از ایران گفته می‌شود که با روند شمال غربی - جنوب شرقی از حوالی مریوان تا تنگه هرمز ادامه یافته است. منطقه زاگرس به علت ساختار قابل توجه زمین‌شناسی و فرایندهای مختلف زمین‌ساختی (تکتونیکی) همواره مورد توجه خاص زمین‌شناسان و زمین‌ریخت‌شناسان بوده است. قرارگیری زون‌های فعال تکتونیکی، سازندهای آهکی و... در این منطقه، اهمیت مطالعه این منطقه را افزون تر کرده است. دشت ماهیدشت قسمتی از پهنه زاگرس می‌باشد. این دشت حاصل رسوبات آبرفتی رودخانه مرگ در یک بستر ناودیسسی نسبتاً طویل (بیش از ۷۰ کیلومتر) و با جهت شمال غربی- جنوب شرقی است. واریزه‌های بادبزی و رسوبات آبرفتی این رودخانه رسوبات عهد حاضر را به وجود آورده‌اند. آبرفت نواحی شمالی در ناحیه مرکزی دشت با آبرفت‌های دشت سنجابی در هم تداخل نموده است. سفره آب‌های زیرزمینی این دو دشت در تماس با یکدیگر هستند. ارتفاعات شمالی به‌طور کلی از آهک‌های کرتاسه فوقانی است. این آهک‌ها به

لحاظ گسترش منطقه‌ای زیاد و ضخامت قابل توجه و تکتونیک منطقه می‌توانند در ذخیره نزولات جوی و تغذیه آبرفت‌های دشت حایز اهمیت باشند. وجود چشمه‌های با آبدهی مناسب در حاشیه این سازندها تأیید این مطلب است. ارتفاعات جنوبی تنوع لیتو لوژیکی بیشتری نسبت به ارتفاعات شمالی دارند. همچنین آنها نیز بیرون زدگی دارند. بر روی این آهک‌ها سازند امیران با گسترش زیاد دیده می‌شود. این سازند از فلیش و مارن‌های ماسه‌ای تشکیل شده است و روی آنها را آهک‌های تیره رنگ تشکیلات سازند تله زنگ به طور هم شیب می‌پوشاند. بر روی آهک‌های تله زنگ رسوبات تبخیری سازند کشکان با زمان پالئوسن تا ائوسن دیده می‌شوند؛ که در انتهای ارتفاعات جنوبی بیرون زدگی دارند. این سازند از جنس سیلتستون، ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز رنگ می‌باشد. البته، این سازند تأثیر چندانی در جمع‌آوری نزولات جوی و تغذیه آبخوان زیرزمینی ندارد. آنها به طور محلی در اثر شکاف و شکست ثانویه می‌توانند بر روی سفره و آبخوان دشت تأثیر بگذارند. ضخامت آبرفت در دشت ماهیدشت از حداقل ۱۰ متر تا حداکثر ۲۰ متر آن هم در قسمت‌های مرکزی دشت متغیر است. عناصر تشکیل‌دهنده آبرفت مخلوطی از شن و ماسه به همراه سیلت می‌باشد، که بین لایه‌های رسی قرار گرفته است. سنگ کف دشت ۱ از نوع سنگ‌های آهکی می‌باشند (مرادی مطلق، ۱۳۸۷: ۵۳). نگاهی کلی به وضعیت زمین‌شناسی دشت ماهیدشت گویای آن است که بخش اعظم مساحت آن توسط نهشته‌های آبرفتی پوشیده شده است؛ که اکثر این نهشته‌ها نیز جدید و به سن کواترنری هستند. علاوه بر این دیده می‌شود که حاشیه اغلب این نهشته‌های کواترنری گسلی است که نشان از فعالیت گسل‌های این دشت دارد.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

## تحلیل داده‌ها و بحث

## ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه

آثار مختلف برجای‌مانده روی زمین بیان‌گر فعالیت‌های تکتونیکی در نقاط مختلف جهان است. گسل‌ها، کوه‌ها، دره‌های ساختمانی و ... شواهدی بر تسلط فرم‌زایی تکتونیک در دوران‌های گذشته زمین‌شناسی می‌باشد. البته، باید گفت که فرم‌زایی تکتونیک بسیار کند است و برای ایجاد یک پدیده تکتونیکی میلیون‌ها سال طول می‌کشد. اما، بدون شک این پدیده در زمان حال هم فعال است و فرم‌زایی تکتونیک همچنان ادامه دارد، لیکن به دلیل سرعت بسیار کند این پدیده، تشخیص آن در زمان حال بسیار مشکل است. شناسایی مناطق فعال به لحاظ تکتونیکی از اهمیت ویژه‌ای در بررسی‌های برآورد خطر زمین‌لرزه برخوردار می‌باشد. در این‌گونه بررسی‌ها لفظ «فعال» بیانگر حرکات تکتونیکی در جوان‌ترین بازه زمانی یعنی «کوآترنر پسین» و به خصوص در «عهد حاضر» می‌باشد (رامشت و شاه زیدی، ۱۳۹۰: ۸۵). در واقع حرکات تکتونیکی فعال زمین در دفرچه عوارض جوان همچون مخروط افکنه‌ها، تراس‌های رودخانه‌ای، گسل‌ها، دره‌ها و ... به ثبت رسیده است. این‌گونه عوارض جوان، شاهد و مدرک بسیار مستدل جهت اثبات وجود این نوع حرکات می‌باشند. به طور تقریبی هیچ ناحیه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تأثیر تغییرات تکتونیکی قرار نگرفته باشد. به همین لحاظ، ارزیابی و بررسی فرآیندهای تکتونیکی فعال و اثرات ناشی از آن همچون زمین‌لرزه‌ها برای بسیاری از فعالیت‌های بشری همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها، سدها، تأسیسات صنعتی و ... از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد تا به واسطه آن بتوان خطرات و خسارات ناشی از این‌گونه فرآیندهایی فعال را به حداقل ممکن رساند. در طول چند سال اخیر محققین مختلف در کنار بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیکی کیفی در مناطق دارای حرکات تکتونیکی فعال و جوان همچون: پهنای قسمت کوهپایه، شکل مقاطع طولی مخروط افکنه‌ها، شکل مقطع طولی و عرضی دره‌های متقاطع نسبت به جبهه‌های کوهستان، وجود سطوح مثلثی شکل در بخش جبهه کوهستان و بر روی افزارهای گسلی، مورفولوژی افزارهای گسلی، پادگانه‌های رودخانه‌ای، آبراهه‌های قطع‌شده، جابه‌جا شدگی نهشته‌های کوآترنر توسط گسل‌ها، چین‌خوردگی یا خمیدگی نهشته‌های جوان، وجود سطوح ژئومورفیک جوان بر روی افزارهای گسلی و یا بر روی جبهه کوهستان، سدهای غیرقابل نفوذ در سفره‌های آب‌های زیرزمینی و ... سعی در کمی نمودن رفتار حرکات تکتونیکی داشته‌اند. آنها برای این امر، شاخص‌های متعددی را تحت عنوان «شاخص‌های مورفومتریک» ارائه نموده‌اند. شاخص‌های ژئومورفیک به طور خاص برای مطالعات تکتونیک فعال مورد استفاده قرار می‌گیرند (Duglas et.al, 2001). دانشمندان زمین‌شناس و ژئومورفولوگ راه‌هایی را برای تشخیص تکتونیک فعال ارائه داده‌اند؛ که پاره‌ای از آن‌ها عبارت است از:

- ۱- سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)؛ ۲- نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (Vf)؛ ۳- تحلیل منحنی هیپسومتری (بی بعد یا فراز نما) حوضه‌های آبریز؛ ۴- انتگرال منحنی هیپسومتری (IH)؛ ۵- شاخص گرادیان رودخانه (SL)؛ ۶- شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز (AF)؛ ۷- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T)؛ ۸- شاخص تسطیح شدگی جبهه کوهستان (Facet%)؛ ۹- شاخص نسبت (v)؛ ۱۰- شاخص تععر مقطع طولی رودخانه (K)؛ ۱۱- شاخص وسعت مخروط افکنه (Af).

در این پژوهش با توجه به داده‌ها و اطلاعات موجود جهت تشخیص فعالیت تکتونیکی منطقه از ۶ شاخص زیر استفاده شده است:

## ۱- سینوزیته جبهه کوهستان

شاخصه‌ی پیچ‌وخم جبهه کوهستان از توان بالایی برای شناسایی مناطق تکتونیکی برخوردار می‌باشد (Keller & Pinter 2002). این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

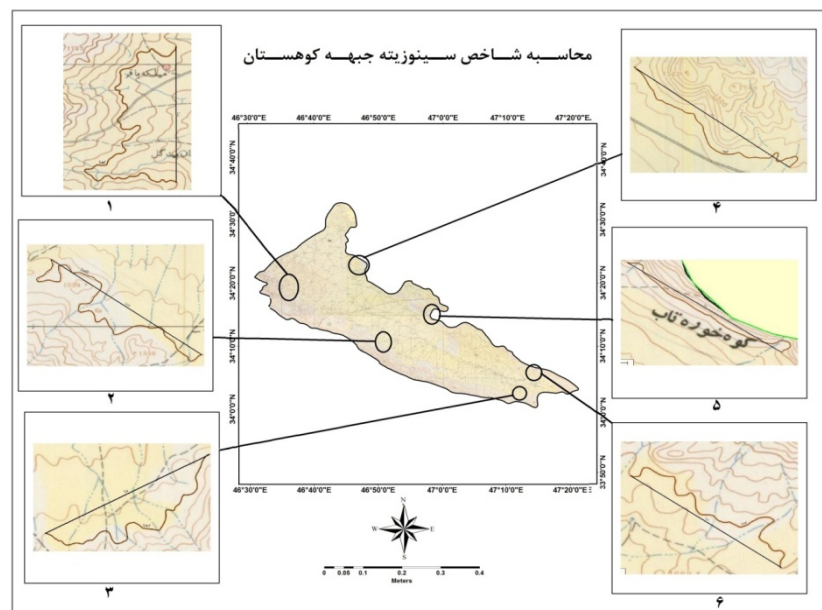
$$S = \frac{Lmf}{Ls}$$

$S$  = سینوزیته جبهه کوهستان یا پیچ و خم سرایشی تند کوهستان

$Lmf$  = طول سرایشی تند کوهستان در مرز بین کوهستان و کوهپایه (تمام طول لبه نقطه اتصال کوهپایه به کوهستان)

$Ls$  = طول خط مماس در امتداد سرایشی تند کوهستان

شاخصه‌ی سینوزیته (پیچ‌وخم) جبهه کوهستان، توازن میان نیروی فرسایش را که سعی در ایجاد فرسایش سطوح کوهستانی دارد و نیروی تکتونیکی که باعث ایجاد جبهه‌های صاف در طول گسل می‌شود را نشان می‌دهد (ارفع‌نیا، ۱۳۸۹). بر روی نقشه توپوگرافی با در نظر گرفتن پیچ و خم خطوط منحنی میزان محل اتصال کوهستان به کوهپایه، محدوده‌هایی به طول دلخواه و با توجه به تغییر در فرم خطوط میزان انتخاب می‌شود و خطی بر منحنی میزان مماس می‌گردد. با محاسبه میزان طول سرایشی تند کوهستان در مرز بین کوهستان و کوهپایه (تمام طول لبه نقطه اتصال کوهپایه به کوهستان) ( $Lmf$ ) و طول خط مماس در امتداد سرایشی تند کوهستان ( $Ls$ ) توسط کرویمتر و محاسبه میزان سینوزیته جبهه کوهستان یا پیچ و خم سرایشی تند کوهستان ( $S$ ) از رابطه بالا محاسبه و فعالیت یا عدم فعالیت تکتونیک مشخص می‌شود. این شاخص را در ۶ قسمت از حوضه مورد محاسبه قرار داده‌ایم (به خاطر اینکه وضعیت تکتونیکی تمام مناطق حوضه را مشخص کنیم). بدین ترتیب ابتدا حوضه را به سه قسمت ابتدایی، میانی و انتهایی تقسیم کرده، سپس در هر قسمت برای سمت چپ و سمت راست رودخانه اصلی به ترتیبی که در تصویر زیر مشاهده می‌شود (شکل ۳) مقدار  $S$  محاسبه شد و اعداد زیر (جدول ۱) به‌دست آمد.



شکل ۳- محاسبه شاخص سینوزیته جبهه کوهستان

جدول ۱- مقادیر شاخصه سینوزیته جبهه کوهستان در حوضه ماهیدشت

شماره شکل	$L_{mf}(km)$	$L_s(km)$	S	وضعیت تکتونیکی
۱	۵.۶	۲.۳	۲/۴	غیرفعال
۲	۴.۶	۲.۴	۱/۹	نیمه فعال
۳	۳	۲	۱/۵	فعال
۴	۳.۲	۲.۴	۱/۳	فعال (خیلی فعال)
۵	۲	۱.۹	۱	فعال (خیلی فعال)
۶	۲.۸	۱.۷	۱/۶	فعال
میانگین	-	-	۱/۶	

جدول ۲- وضعیت تکتونیکی با توجه به مقادیر S

میزان S	وضعیت تکتونیکی	مفهوم	مثال
۱ الی ۱.۶	فعال	$\Delta u / \Delta t \geq \Delta w / \Delta t + \Delta s / \Delta t$	رسوبات بادبزی بدون گالی، حوضه زهکشی باریک با دره‌های باریک، شیب تپه‌ای تند
۱.۴ الی ۳	ملایم تا اندکی فعال یا نیمه فعال	$\Delta u / \Delta t < \Delta w / \Delta t < \Delta e / \Delta t$	رسوبات بادبزی با گالی، حوضه زهکشی پهن، بستر دره‌ها پهن تر از دشت‌های سیلابی
۱.۸ الی ۵	غیرفعال	$\Delta u / \Delta t \ll \Delta w / \Delta t < \Delta e / \Delta t$	جبهه کوهستانی فرسوده و خلیج شده، سیستم رودخانه‌ای یکپارچه تا حدی بزرگ در کوهستان‌ها
		$\Delta u / \Delta t \ll \Delta w / \Delta t = \Delta e / \Delta t$	
		$\Delta u / \Delta t \ll \Delta w / \Delta t < \Delta e / \Delta t$	

(منبع: رامشت و شاه زیدی، ۱۳۹۰: ۸۷)

البته، در میزان عدد S اختلاف نظر وجود دارد. به عنوان مثال در پژوهشی دیگر، بال (Bull) میزان ۱.۲ الی ۱.۶ را فعال و ۱.۸ الی ۳.۴ را نیمه فعال و ۲ الی ۷ را غیرفعال می‌داند. در مطالعه دیگری کوچک‌تر از ۱.۳ را خیلی فعال، بین ۱.۴ تا ۱.۶ را فعال، بین ۱.۶ تا ۱.۸ را کند و بین ۳ الی ۵ را غیرفعال می‌داند. به طور کلی اگر سینوزیته به عدد یک نزدیک شود بیانگر فرایش (Uplift) اخیر کوهستان و تکتونیک فعال است و هرچه از عدد یک بزرگ‌تر شود بیانگر کاهش فعالیت‌های تکتونیکی و غلبه عمل فرسایش است. دامنه تغییرات این شاخص  $S_{mf} > 1$  است.

با توجه به مطالب بیان شده و اعداد به دست آمده از جدول بالا مشاهده می‌شود که طبق این شاخص قسمت شمال شرق حوضه بیشترین فعالیت تکتونیکی را دارد.

## ۲- نسبت پهنای کف دره به عمق یا ارتفاع دره «Vf»:

$$V_f = \frac{2 \times V_{fw}}{[(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]}$$

$V_f$  = نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره

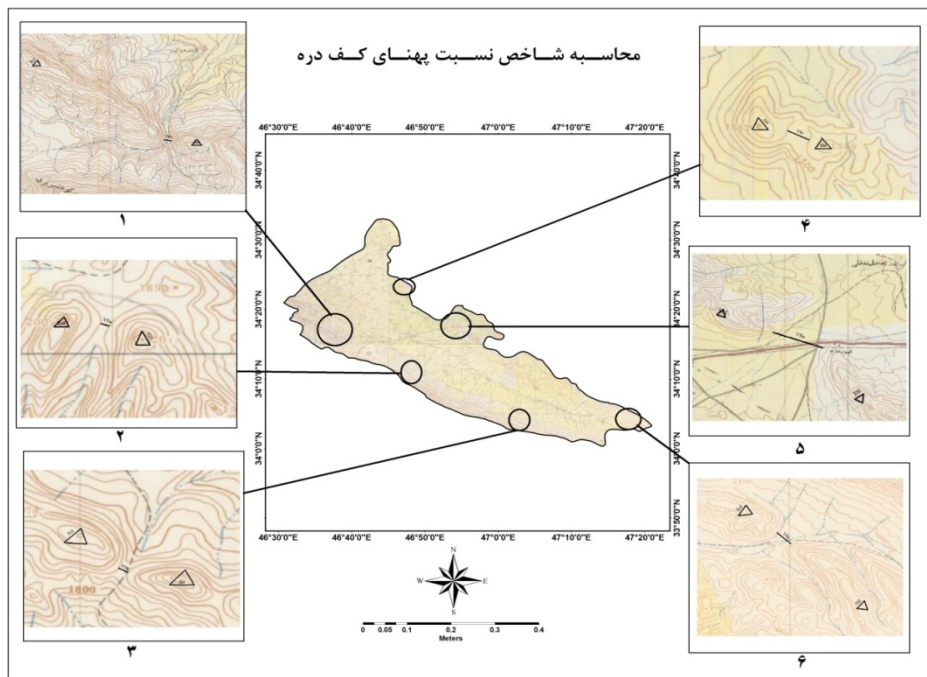
$V_{fw}$  = پهنای کف دره یا عرض بستر دره

$E_{sc}$  = ارتفاع متوسط کف دره از سطح دریا

$E_{rd}$  = ارتفاع خط الرأس سمت راست دره یا ارتفاع خط الرأس سمت راست رودخانه (خط تقسیم آب سمت راست از سطح دریا)

$E_{ld}$  = ارتفاع خط الرأس سمت چپ دره یا ارتفاع خط الرأس سمت چپ رودخانه (خط تقسیم آب سمت چپ از سطح دریا)

با استفاده از این شاخص می‌توان فهمید که رود در چه وضعیتی می‌باشد. ممکن است رود در حال حفر بسترش و یا به فرسایش کناری مشغول باشد و یا اقدام به توسعه بستر خود کند (شایان و همکاران، ۱۳۸۵). مقادیر کم تر از ۶ این شاخصه نشان‌دهنده مناطق در حال بالا آمدن می‌باشد. در مناطق غیرفعال از نظر بالآمدگی مقدار متوسط این شاخصه معمولاً بالاتر از ۷ است (ارفع نیا، ۱۳۸۹). به طور کلی اگر پهنای کف دره کم و ارتفاع خط الرأس‌ها زیاد باشد، بیانگر این است که تکتونیک فعال است. هرچه پهنای کف دره زیاد شود و از ارتفاع خط الرأس‌ها کاسته شود؛ مبین آرام بودن منطقه از نظر تکتونیک و غلبه فرسایش است. دامنه تغییرات این شاخص  $V_f > 0$  است.



شکل ۴- محاسبه شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق یا ارتفاع دره

جدول ۳- مقادیر شاخصه نسبت پهنای کف دره در حوضه ماهیدشت

شماره شکل	$E_{sc}$ (m)	$E_{rd}$ (m)	$E_{ld}$ (m)	$V_{fw}$ (m)	$V_f$	وضعیت تکتونیکی
۱	۱۶۳۰	۲۱۴۲	۱۸۹۹	۱۸۷.۲	۰.۴	فعال
۲	۱۸۸۰	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۶۹.۶	۰.۵	فعال
۳	۱۸۵۰	۱۹۸۵	۱۹۸۵	۱۰۰.۴	۰.۷	فعال
۴	۱۵۱۰	۱۵۶۲	۱۵۴۹	۲۲۵.۶	۴.۹	فعال
۵	۱۴۳۰	۱۶۰۹	۱۶۲۹	۱۰۶۱.۷	۵.۶	فعال
۶	۱۷۲۰	۱۸۶۸	۱۹۶۰	۳۰۷.۵	۱.۵	فعال
میانگین	-	-	-	-	۲.۲	



برای محاسبه این شاخص ۶ مقطع از حوضه انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت. همان‌گونه که مشاهده می‌شود اعداد به‌دست آمده، بیانگر تکتونیک فعال در مناطق مختلف حوضه می‌باشد. میانگین این شاخص ۲/۲ است که بیانگر فرایش در منطقه است.

۳-انتگرال منحنی هیپسومتری: که بر اساس رابطه زیر به‌دست می‌آید (کرمی، ۱۳۹۰):

$$IH = \frac{H_{\text{mean}} - H_{\text{min}}}{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}$$

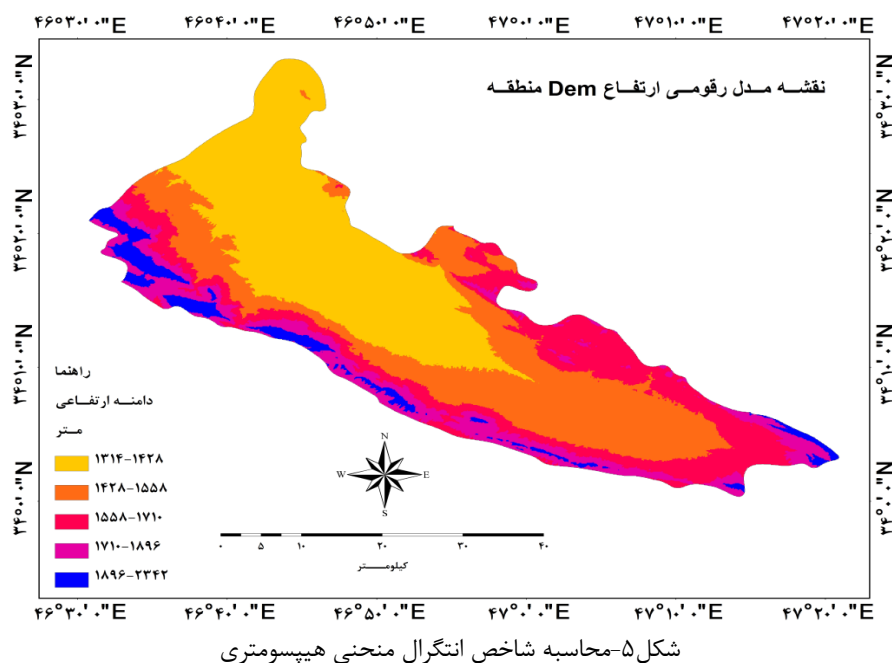
$IH$  = انتگرال منحنی هیپسومتری

$H_{\text{mean}}$  = ارتفاع متوسط حوضه

$H_{\text{min}}$  = ارتفاع کمینه حوضه

$H_{\text{max}}$  = ارتفاع بیشینه حوضه

از روش‌های ساده تشخیص تکتونیسم فعال محاسبه و بررسی انتگرال منحنی هیپسومتری در یک منطقه است. مقادیر عددی بزرگ (نزدیک به یک) برای این شاخص بیانگر توپوگرافی جوان (پستی‌وبلندی‌های فراوان به همراه فرآیند حفر قائم در دره رودخانه‌ها) و مقادیر عددی متوسط و کم به ترتیب بیانگر توپوگرافی بالغ و پیر است.



شکل ۵-محاسبه شاخص انتگرال منحنی هیپسومتری

$$IH = \frac{1800 - 1314}{2342 - 1314} = 0/47$$

از روش‌های ساده تشخیص تکتونیسم فعال محاسبه و بررسی انتگرال منحنی هیپسومتری در یک منطقه است. پارامترهای رابطه بالا به‌راحتی از روی نقشه‌های توپوگرافی قابل محاسبه است. مقادیر عددی بزرگ برای این انتگرال بیانگر توپوگرافی جوان (پستی‌وبلندی‌های فراوان به همراه فرایند حفر قائم در دره رودخانه‌ها) و

مقادیر عددی متوسط و کم به ترتیب بیانگر توپوگرافی بالغ و پیر است. کاربرد این روش بیشتر برای مقایسه حوضه‌ها با هم می‌باشد.

همان طور که مشاهده می‌شود مقدار این شاخص برای حوضه مورد مطالعه به طور تقریبی نزدیک به یک (۰/۴۷) است، بنابراین، نتیجه می‌گیریم که توپوگرافی منطقه نسبتاً جوان (فعال) است.

#### ۴- شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز

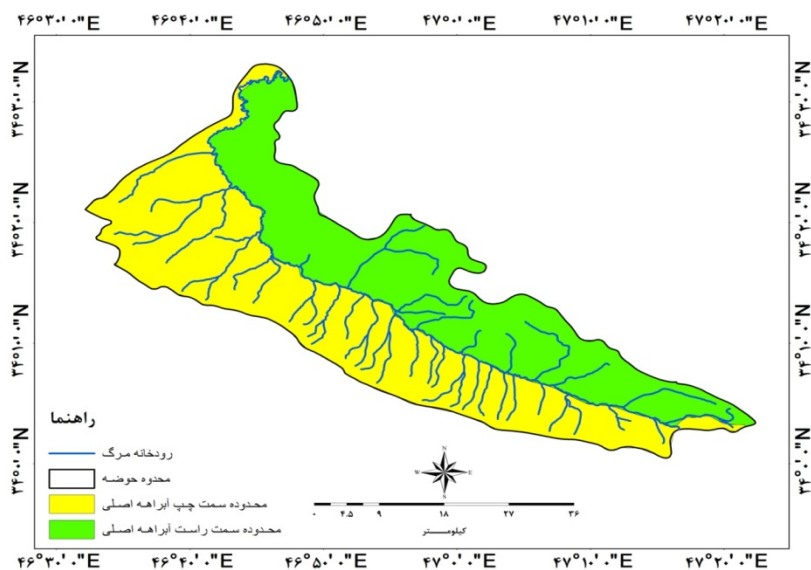
یکی دیگر از شواهد تکتونیسم فعال، مقایسه مساحت حوضه دربرگیرنده آبراهه‌ها و زهکش‌های فرعی در دو سوی یک آبراهه اصلی است. اگر در یک حوضه آبی تکتونیسم در یک سمت آبراهه اصلی فعال باشد، در سمت دیگر آبراهه، فرونشست ایجاد می‌شود. در نتیجه مساحت حوضه دربرگیرنده آبراهه‌های فرعی در سمت دارای فرایش فعال بیش از سمت مقابل خواهد بود. این شاخص از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد (زرگرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

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

$AF$  = شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها

$Ar$  = مساحت حوضه دربرگیرنده زهکش‌های فرعی در ساحل سمت راست آبراهه اصلی (برحسب کیلومتر مربع)

$At$  = مساحت حوضه‌های دربرگیرنده زهکش‌های فرعی در ساحل سمت چپ و راست آبراهه اصلی (برحسب کیلومتر مربع)



شکل ۶- محاسبه شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز

$$AF = 100(688.9/1508.6) = 45$$

اگر مقدار عددی این شاخص در حدود ۵۰ باشد؛ بیانگر وجود تقارن در دو سمت آبراهه اصلی و در نتیجه عدم فعالیت تکتونیکی است. اگر میزان این شاخص بزرگ‌تر از ۵۰ باشد بیانگر فرایش در سمت راست آبراهه اصلی است و اگر میزان شاخص کوچک‌تر از ۵۰ باشد بیانگر فرایش در سمت چپ آبراهه اصلی است. در این

محاسبه عدد به دست آمده کوچک‌تر از ۵۰ می‌باشد. بنابراین، در سمت چپ آبراهه اصلی فعالیت تکتونیکی داریم. در سمت راست با پدیده فرونشست مواجه هستیم.

#### ۵- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی

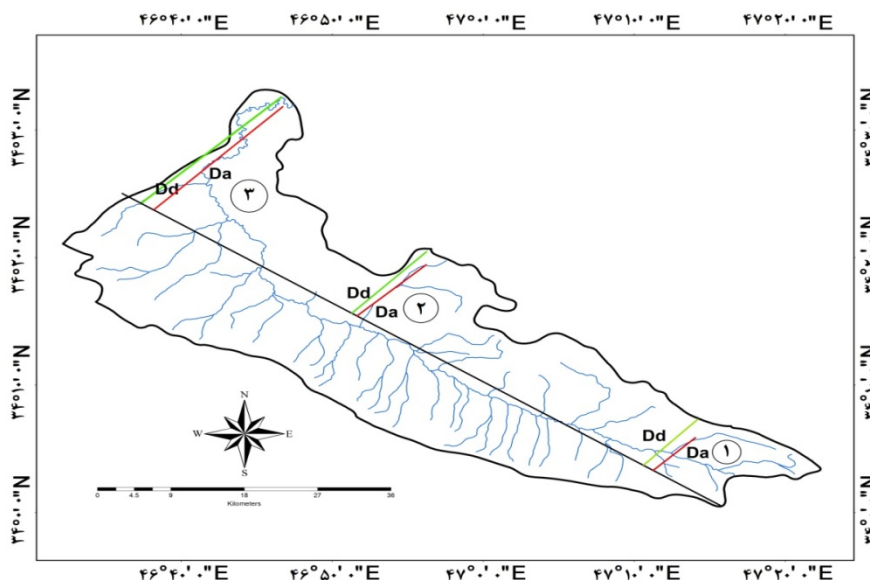
$$T = \frac{Da}{Dd}$$

$T$  = شاخص تقارن توپوگرافی عرضی

$Dd$  = فاصله نوار مئاندري فعال از خط میانی حوضه آبی

$Da$  = فاصله خط میانی حوضه آبی از خط مرز حوضه

برای محاسبه این شاخص ابتدا خط میانی حوضه (خط تقارن) ترسیم می‌شود. سپس با توجه به وضعیت قرارگیری خطوط مئاندري و میانی حوضه نسبت به یکدیگر در محل های مختلف شاخص تقارن توپوگرافی عرضی محاسبه می‌گردد. در حوضه های به طور کامل متقارن  $T=0$  و مقدار  $T$  بیانگر یک بردار با مقدار عددی بین ۰ تا ۱ است. با افزایش عدم تقارن مقدار  $T$  افزایش پیدا می‌کند (Randel, 1994). مقادیر عددی نزدیک به یک بیانگر افزایش در منطقه و در نتیجه تکتونیسم فعال است. برای محاسبه این شاخص در حوضه ماهیدشت ۳ مقطع بر روی حوضه مشخص گردید (شکل ۶) و مقادیر هر یک از آنها طبق رابطه فوق محاسبه شد. میانگین آن ۰/۸۵ می‌باشد (جدول ۴).



شکل ۷- محاسبه شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (ترسیم: نگارندگان)

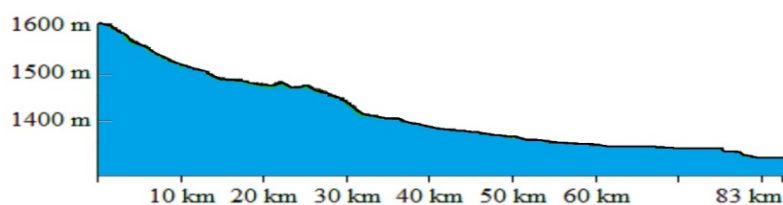
جدول ۴- مقادیر شاخص تقارن توپوگرافی عرضی

T	Dd(km)	Da(km)	مسیر
۰/۷۴	۸/۷۶	۶/۵۰	۱
۰/۸۷	۱۱/۶۱	۱۰/۱۹	۲
۰/۹۴	۲۰/۹۹	۱۹/۸۲	۳
۰/۸۵	-	-	میانگین

همان‌گونه که مشاهده می‌شود عدد به‌دست آمده بزرگ‌تر از صفر و به یک نزدیک است. بنابراین، تکتونیک منطقه فعال است. همچنین می‌توان گفت رود در حال فرسایش بستر خود می‌باشد.

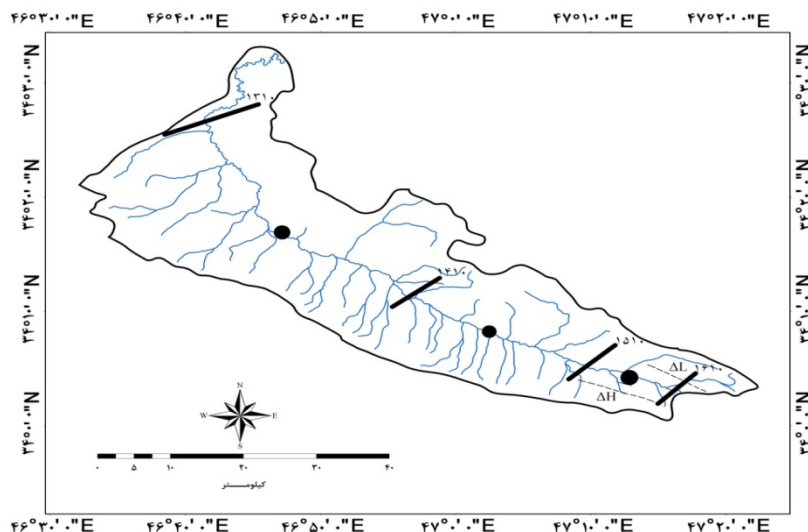
#### ۶- شاخص گرادیان طول رودخانه

شاخص گرادیان طول رودخانه (SL) یکی از شاخص‌های ژئومرفیک می‌باشد؛ که برای سنجش میزان فعالیت نیروهای درونی و تکتونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پارامترها از روی نقشه‌های توپوگرافی قابل اندازه‌گیری می‌باشد. شاخص SL به قدرت رودخانه بستگی دارد. همچنین به تغییرات شیب رودخانه خیلی حساس است. این حساسیت، ارزیابی روابط ممکن بین فعالیت تکتونیکی، مقاومت سنگ و توپوگرافی را امکان‌پذیر می‌سازد. شاخص گرادیان طول رودخانه که از شاخص‌های مهم برای تفکیک مناطق فعال و غیرفعال تکتونیکی به شمار می‌رود، در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ با فواصل منحنی میزان ۲۰ متر محاسبه گردید. برای محاسبه شاخص گرادیان طول رودخانه ابتدا نیمرخ طولی آبراهه‌ی اصلی حوضه از ورودی حوضه به سمت خروجی حوضه از روی نقشه توپوگرافی تهیه گردید (شکل شماره ۸).



شکل شماره ۸- نیمرخ طولی آبراهه اصلی (ترسیم: نگارندگان)

سپس در فواصل ارتفاعی معین- به طور معمول ۱۰۰ متر- میزان SL اندازه گرفته شد. برای تمام مسیر رودخانه این کار از سرچشمه تا خروجی حوضه به ترتیب ۱۰۰ متر ۱۰۰ متر انجام گرفت (شکل شماره ۹). از SL های به‌دست آمده، میانگین گرفته شد تا SL کل جریان یا رودخانه به‌دست آید (جدول شماره ۵).



شکل ۹- محاسبه شاخص گرادیان طول رودخانه (ترسیم: نگارندگان)

در منطقه مورد مطالعه شاخص SL برای آبراهه اصلی حوضه اندازه‌گیری شد. میزان شاخص گرادیان رودخانه یا SL برای این حوضه از ۶۱/۳۴ تا ۱۲۵/۷۹ در نوسان می‌باشد (جدول شماره ۵).

جدول ۵- مقادیر شاخص گرادیان طول رودخانه در حوضه ماهیدشت

ارتفاع (m)	$\Delta H$	$\Delta L$	L	SL
۱۵۱۰-۱۶۱۰	۱۰۰	۱۱۴۱۲/۹۱	۷۰۰۰/۱۹	۶۱/۳۴
۱۴۱۰-۱۵۱۰	۱۰۰	۲۶۱۵۸/۸۴	۲۶۴۳۰/۵۴	۱۰۱/۰۳
۱۳۱۰-۱۴۱۰	۱۰۰	۴۴۱۱۳/۰۸	۵۹۲۶۵/۴۳	۱۲۵/۷۹
میانگین	-	-	-	۹۶/۰۵

در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان ابراز داشت که میزان SL در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه بیشتر از بخش‌های مرکزی و جنوبی است. از آن جایی که از نظر لیتولوژی تفاوتی در سطح حوضه وجود ندارد (زیرا تمام حوضه از سنگ‌های آهک و ماسه‌سنگ تشکیل شده و شیب حوضه نیز تقریباً یکنواخت است). بنابراین، تفاوت در میزان SL در حوضه را می‌توان به فعالیت تکتونیکی و شرایط آب و هوایی نسبت داد. البته، لازم به ذکر است که شاخص گرادیان به تغییرات شیب حساس است؛ چنانچه تغییرات شیب طولی رودخانه نیز خود از فعالیت‌ها و جابه‌جایی‌های تکتونیکی ناشی می‌شود. بر اساس شاخص‌های زمین ریختی به‌دست آمده، منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر فعالیت تکتونیکی، منطقه‌ای فعال محسوب می‌شود.

### نوسانات سطح آب زیرزمینی

دشت ماهیدشت از جمله وسیع‌ترین دشت‌های استان کرمانشاه می‌باشد. این منطقه با داشتن خاک حاصلخیز و مرغوب و به علت وجود منابع آبی چون رودها، چشمه‌ها و منابع آب زیرزمینی غنی یکی از مهم‌ترین مناطق کشاورزی در غرب کشور محسوب می‌شود (فعالیت کشاورزی شامل زراعت، باغداری و دامداری است) و از این نظر دارای موقعیت ممتازی در منطقه است. فعالیت‌های زراعی در منطقه به دو صورت آبی و دیم انجام می‌گیرد و بیشتر غلات است. وجود منابع آب در منطقه از دیرباز مورد توجه بوده است و باعث ایجاد زمینه استقرار گروه‌های انسانی در مجاورت رودها و چشمه‌ها شده است. از طرفی تنوع پوشش گیاهی و فراهم آوردن زمینه مناسب برای فعالیت کشاورزی و صنعتی و... که تأثیر مهمی بر اشتغال در منطقه داشته است. این امر نیز از تأثیرات مثبت منابع آب در این دشت می‌باشد. رودخانه مرگ مهم‌ترین جریان سطحی منطقه است که یک رودخانه فصلی می‌باشد. این رودخانه بیشتر در محدوده دشتی بوده است و از نظر کشاورزی حایز اهمیت خاصی است. اما، در زمینه بهره‌برداری مطلوب از آب این رودخانه محدودیت‌ها و موانعی وجود دارد که می‌توان آن‌ها را به شرح زیر برشمرد:

- کاهش میزان آب‌های سطحی یا خشک شدن آن در فصل گرم سال؛

- طغیان رود در اوایل بهار به دلیل بارش باران و ذوب برف؛

- خطر خشکسالی به علت نوسانات اقلیمی در بعضی از سال‌ها؛

- زمان نامناسب بارش برای کشاورزی.

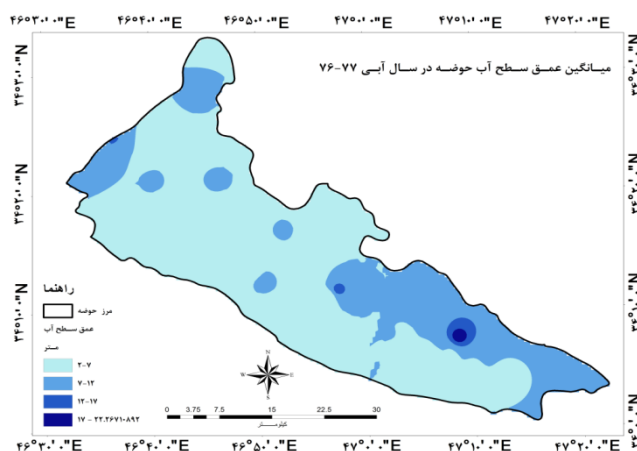
وجود مشکلات فوق باعث شده است آب‌های زیرزمینی منطقه مورد توجه زیادی قرار گیرد؛ به‌طوری‌که منبع اصلی تأمین آب این دشت را تشکیل می‌دهد. بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی توسط چاه‌ها (عمیق و

نیمه عمیق)، چشمه‌ها و قنات صورت می‌گیرد (نادریان، ۱۳۸۶). از کل آبخوان ماهیدشت سالانه (۱۵۱×۱۰۶) میلیون مترمکعب برداشت و تخلیه می‌گردد. آب‌های زیرزمینی مورد بهره‌برداری، در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب و بهداشت به مصرف می‌رسد. بررسی‌های انجام شده در طول سال‌های آبی ۷۷-۱۳۷۶ الی ۹۰-۱۳۸۹ نشان می‌دهد که مقادیر افت سالانه سطح آب زیرزمینی در منطقه بسیار قابل توجه بوده و هر سال روند افزایشی داشته است. در جدول شماره ۶- میانگین سطح آب زیرزمینی حوضه در طول این ۱۴ سال نشان داده شده است، که اطلاعات ۳ سال آماری (سال اول، سال میانی و سال آخر) به عنوان نمونه ذکر گردیده است.

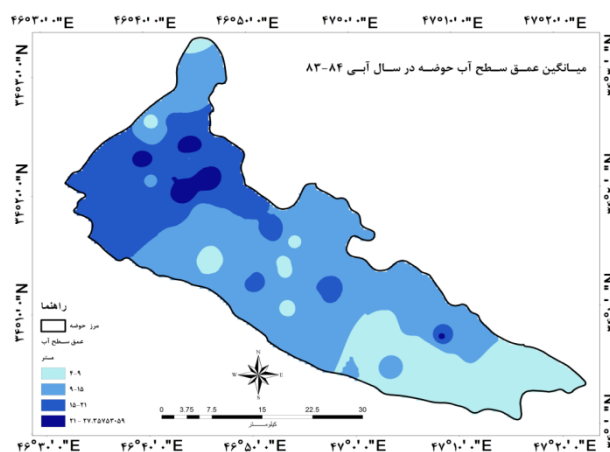
جدول شماره ۶- تعداد چاه‌ها و میانگین عمق سطح آب آنها

ردیف	سال آبی	تعداد چاه‌ها	میانگین عمق سطح آب زیرزمینی m	بارندگی mm
۱	۷۶-۷۷	۴۶	۶/۶۷	۵۱۸/۶
۲	۸۳-۸۴	۴۷	۱۳/۶۶	۴۷۱/۱
۳	۸۹-۹۰	۵۰	۲۱/۰۲	۲۴۵

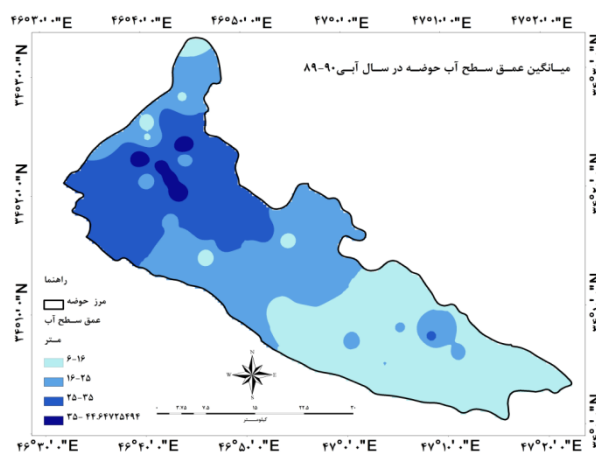
با توجه به اعداد جدول بالا پهنه‌بندی نقاط هم عمق سطح آب زیرزمینی برای هر ۳ سال آبی در محیط نرم افزار Arc Gis به صورت نقشه‌های زیر (شکل‌های ۱۰ تا ۱۲) ترسیم شد.



شکل ۱۰- نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی در سال آماری اول



شکل ۱۱- نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی در سال آماری میانی



شکل ۱۲- نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی در سال آماری آخر

و مشخص گردید که در سال اول آماری (۷۶-۷۷) میزان افت سطح آب از حدود ۴ متر تا ۱۰ متر بوده است و در سال دوم آماری (۸۳-۸۴) میزان افت سطح آب از حدود ۹ متر تا ۲۰ متر و در سال سوم آماری (۸۹-۹۰) میزان افت سطح آب از حدود ۱۰ متر تا ۳۲ متر بوده است. میزان این افت از قسمت های ورودی (جنوب حوضه) به سمت خروجی (شمال حوضه) بیشتر می شود. به طوری که در قسمت ورودی حوضه ما شاهد افت تقریبی ۶-۷ متری سطح آب هستیم، در صورتی که در قسمت خروجی حوضه سطح آب حدود ۲۰ تا ۲۵ متر افت داشته است.

#### ۴- نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان می دهد که میزان افت سطح ایستابی در طول این ۱۴ سال ۱۴/۳۵ متر می باشد. بررسی علل و عوامل مؤثر بر افت سطح آب نشان می دهد که تکتونیک جنب می تواند یکی از علت های اصلی افت سطح ایستابی در منطقه باشد. در بین شاخص های مختلف جهت مشخص کردن وضعیت تکتونیکی منطقه ما شاخص های مورفوتکتونیک سینوزیته جبهه کوهستان «S»، نسبت پهنای کف دره به عمق یا ارتفاع دره «Vf»، انتگرال منحنی هیپسومتری «IH»، شاخص عدم تقارن آبراهه ها در حوضه آبریز «AF» و شاخص

تقارن توپوگرافی عرضی «T» را مورد ارزیابی قرار داده‌ایم که همگی بیان‌کننده فعالیت منطقه از نظر تکتونیکی می‌باشد. از تلفیق نتایج مربوط به تکتونیک منطقه و میزان افت سطح آب مشاهده می‌شود که در بخش‌هایی از منطقه که تکتونیک فعال است (بخش‌های شمالی و شمال شرقی حوضه) افت سطح ایستابی بیشتر است. از آن جایی که فعالیت تکتونیکی سبب بروز عوارضی چون گسل می‌شود و گسل‌های موجود در مناطق کارستیک باعث انتقال آب زیرزمینی و کاهش زمان ماندگاری آب در منطقه می‌شوند؛ لذا، آب زیرزمینی دشت توسط این عامل به سمت حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان هدایت می‌شود و از سفره اصلی دشت خارج می‌گردد. این روند افت سطح آب و کاهش حجم سفره را به همراه دارد. بنابراین، در کل می‌توان چنین استنباط نمود که عامل اصلی کاهش ضریب ذخیره و افت سطح آب در منطقه فعالیت تکتونیکی می‌باشد.

اگر نیاز روزافزون جمعیت منطقه به آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته شود، ارقام مربوط به میزان افت سطح آب نشان‌دهنده بحرانی بودن حوضه از نظر استفاده از این آب‌ها است. همچنین این امر بیانگر روند مخاطره‌آمیز از بین رفتن این منبع بالارزش در حوضه و همچنین محدودیت در توسعه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در منطقه می‌باشد؛ که در شرایط کنونی لزوم مدیریت صحیح بر این منابع ارزشمند احساس می‌شود. لذا، کنترل و اصلاح میزان پمپاژ آب و استفاده از پمپاژ بهینه ضروری است. همچنین به‌منظور تقویت آبخوان می‌توان از طرح‌های تغذیه مصنوعی در مناطق اولویت دار استفاده نمود و یا آبخوان‌های مصنوعی ایجاد کرد که مانع از فرار آب زیرزمینی از منطقه می‌شود.



## ۵- منابع

۱. ارفع نیا، رامین (۱۳۸۹)، تکتونیک فعال در منطقه اقلید، کاربرد مدل رقومی سرزمینی (DTM) در مورفوتکتونیک، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۴، صفحات ۲۴۵-۲۵۶
۲. بیات، باقر، متکان، علی اکبر، رحمانی، بیژن، عربی، بهناز (۱۳۹۰). برنامه‌ریزی جامع کاربری اراضی و آمایش سرزمین در حوضه‌های آبریز شهری با استفاده از GIS-مطالعه موردی: حوضه آبریز ماهیدشت، فصل‌نامه جغرافیایی آمایش محیط، شماره ۱۳، صفحات ۱۱۹-۱۳۵
۳. رامشت، محمدحسین، شاه زیدی، سمیه سادات (۱۳۹۰). کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی، منطقه‌ای، اقتصادی، توریسم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه اصفهان، اصفهان.
۴. زرگر زاده، مرضیه، رنگرن، کاظم، چرچی، عباس، آبشیرینی، احسان (۱۳۸۸). کاربرد GIS و شاخص‌های ژئومورفیک در پهنه‌بندی تکتونیک فعال زون زاگرس، همایش و نمایشگاه ژئوماتیک ۸۸.
۵. شایان، سیاوش، شریفی کیا، محمد، زارع، غلامرضا و امیری، شهرام (۱۳۹۰). ارزیابی فعالیت‌های نو زمین ساختی حوضه‌های آبریز با شاخص‌های ژئومورفولوژیک (مطالعه موردی حوضه آبریز پاسخن، استان فارس)، مجله مکان (فصلنامه جغرافیا و آمایش سرزمین)، شماره ۱، صفحات ۵۲-۳۷
۶. طاهری، سیددانیال، علیزاده، کامیاب (۱۳۹۰). دسترسی و حفظ منابع آب در بحران، مجله علمی ابن سینا/اداره بهداشت و درمان نهاجا، شماره ۱ و ۲، صفحات ۵۵-۶۰
۷. -علائی طالقانی، محمود (۱۳۸۴). ژئومورفولوژی ایران، چاپ سوم، انتشارات قومس، تهران.
۸. کاظمی، رحیم، غیومیان، جعفر و جلالی، نادر (۱۳۸۵). بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و GIS، نشریه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۳، صفحات ۴۱-۳۴
۹. کرمی، فریبا (۱۳۹۱). ارزیابی نسبی تکتونیک فعال با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، شماره ۳۷، صفحات ۱۸-۱
۱۰. مرادی مطلق، جعفر (۱۳۸۷). نقش عوامل طبیعی در استقرار و توزیع محوطه‌های باستانی دشت ماهیدشت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه رازی، کرمانشاه.
۱۱. نادریان، پروین (۱۳۸۶). مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان حوضه آبریز مرگ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه.
۱۲. هاشمی، سید ناصر (بی‌تا). بررسی نقش گسل‌های اصلی در کنترل فراوانی و کیفیت منابع آب زیرزمینی استان سمنان، طرح تحقیقاتی SW86003، صفحات ۸-۱

13. Ahmed, M (1996). Lineament as groundwater exploration guides in hard-rock trains of arid regions, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 22 No. 1.
14. Al-Taj, M (2008). Structural Control on Groundwater Distribution and Flow in Irbid Area, North Jordan, *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*, V.1, P.81- 88.
15. Bull, W. B. & McFadden, L. D (1977). "Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault California", In: Doebling, D.O.(ed.), *Geomorphology in Arid Regions, Proceedings of Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton: 115-138*

16. Cervantes-Medel, A. and Armienta, M.A (2004). *Influence of faulting on groundwater quality in Valle del Mezquital, Mexico*, *Geoffisica International*, Vol. 43, No. 3, 477-493.
17. Duglas, W. Burbank, Robert, S. Anderson(2001). *Tectonic Geomorphology*, Blackwell Science, Ltd.
18. Keller, E. A. & Pinter, N(2002). "*Active Tectonics–Earthquakes, Uplift, and Landscape (2nd edition)*", Prentice Hall, London, 362 pp.
19. Lippmann, M.J., Truesdell, A. H. and Pruess, K (2000). *The control of fault on the hydrology of the Cerro Prieto III area*, *Twenty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 24-26, 2000*, SGP-TR-165.
20. Randel, T (1994) *Analysis of drainage- basin symmetry as arp in techniques to areas of possible Qaternery tilt-block tectonice: An examble from the Mississippi Embayment*. *Geological society*. Vol,106. Pp571-581.
21. -Travaglia,A (1988). *Ground water exploration by satellite remote sensing on the Syrian Arab Republic*. RSC services 76, FAO.