

ارزیابی مورفومتری شبکه زهکشی حوضه آبخیز جنوب غرب ایلام و ارتباط آن با تکتونیک

امجد ملکی* - دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.
منیژه یادگاری - دانشجوی دکتری گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.
شهرام بهرامی - دانشیار جغرافیای طبیعی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
رضا علی پور - استادیار زمین شناسی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۱۱ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶

چکیده

تاق‌دیس‌های جنوب غربی ایلام از مهمترین ارتفاعات زاگرس چین خورده است. با توجه به واقع شدن منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس و لرزه‌خیزی این زون ساختمانی، ارزیابی مورفومتری حوضه‌ها جهت شناخت فعالیت‌های تکتونیکی منطقه دارای اهمیت است. هدف از این پژوهش ارزیابی مورفومتری شبکه‌های زهکشی و حوضه‌های آبخیز منطقه و بدست آوردن اطلاعات دقیق از وضعیت تکتونیکی منطقه است. در این تحقیق علاوه بر روش‌های میدانی از تصاویر لایه‌های ارتفاعی DEM و همچنین نرم‌افزارهای Arc Hydroo, Zmap, Arc Gis, SPSS جهت ترسیم نقشه‌ها و نمودار و تحلیل آن‌ها استفاده گردید. شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش، شامل شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، تراکم حوضه زهکشی (Dd)، نسبت انشعابات (R)، شکل حوضه (Bs)، انتگرال هیپسومتری (Hi)، فاصله محور طاق‌دیس (Hs)، سینوسیته خط الرأس طاق‌دیس (SAD)، نسبت جهت (AR)، تقارن چین (FSI) و پارامترهای لرزه خیزی β -value, a -value, b -value می‌باشد که بر اساس آن تاثیر فعالیت تکتونیکی منطقه روی حوضه‌های آبخیز و شبکه زهکشی ارزیابی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که با توجه به مورفومتری شبکه زهکشی و تغییرات در هندسه چین‌ها و بالا آمدگی آن در نقاط مختلف منطقه، تفاوت‌های قابل توجهی در الگوی شبکه زهکشی و ناهنجاری آبراهه‌ها ایجاد شده است و تغییرات مشاهده شده در مقادیر شاخص‌های ژئومورفیک و پارامترهای لرزه‌ای که بیانگر کمیت‌هایی از تاریخچه زمانی زمین لرزه است از شواهد آن می‌باشد. در بخش‌هایی از منطقه انطباق کاملی بین پارامترهای لرزه خیزی و فعالیت‌های سطحی اندازه‌گیری شده بوسیله شاخص‌های مورفومتری بوده و منطقه از نظر فعالیت تکتونیکی به پهنه‌های با فعالیت تکتونیکی بالا تا متوسط تقسیم بندی شده است.

واژگان کلیدی: تکتونیک، شبکه زهکشی، تاق‌دیس، مورفومتری.

مقدمه

دو دسته از عوامل بیرونی و درونی در تغییر و تحول دائمی سطح زمین نقش عمده دارند. عوامل درونی که سبب شکل‌گیری ساختار اولیه زمین شده است و عوامل بیرونی که سبب فرسایش، تغییر شکل و تخریب این اشکال می‌گردد. رودخانه‌ها و شبکه‌های زهکشی یکی از اشکال گوناگون ژئومورفولوژی است که تحت تاثیر این عوامل بوجود می‌آیند. این عوارض نسبت به حرکات تکتونیکی حساس هستند. در ارزیابی مورفومتری شبکه‌های زهکشی شاخص‌های ژئومورفیکی ابزاری مفید و قابل اطمینان می‌باشند و در بررسی‌های آن‌ها دو دسته شاخص‌های کیفی و کمی قابل بررسی هستند که به کمک آن‌ها می‌توان اطلاعات دقیقی از تکتونیک بدست آورد. اندازه‌گیری‌های کمی حوضه‌های آبخیز و شبکه زهکشی منطقه این امکان را می‌دهد تا با اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژی، نقش تکتونیک‌های فعال را در تغییر شکل چشم‌انداز و عوارض ژئومورفولوژی منطقه بررسی شود. زاگرس چین خورده با ساختمان ژورایی به مجموعه‌ای از پستی و بلندی‌های منظم و ویژه‌ای اطلاق می‌شود که منشأ آن ناشی از مطابقت شکل ناهمواری با تغییر شکل تکتونیکی است که در آن کوه‌ها (تاق‌ها) منطبق بر تاقدیس‌ها و چاله‌ها (ناوها یا پاتاقها) منطبق بر ناودیس‌ها است (علایی طالقانی، ۱۳۸۱). تغییر در محور چین‌ها باعث تغییر در شکل حوضه‌های زهکشی می‌شود.

از نشانگرهای مفید برای ارزیابی رفتار لولا در طی فرایند چین‌خوردگی هندسه چین‌های رشدی-الگوی فرسایش بستر آبراهه در تعیین سازوکار چین‌خوردگی است (احمدی و همکاران، ۲۰۰۶). واحد ساختمانی زاگرس چین خورده از جمله مناطق فعال تکتونیکی ایران است که می‌توان شواهد بالآمدگی تکتونیکی را در تاقدیس‌های در حال رشد آن دید (انصاری لاری و همکاران، ۱۳۹۰). جهت ارزیابی نرخ و جهت گسترش جانبی چین‌های فعال (کلر و همکاران، ۱۹۹۹) شش معیار ژئومورفیک مفید را پیشنهاد کردند: (۱) کاهش تراکم زهکشی و میزان برش؛ (۲) کاهش ارتفاع تنگ‌های متروک؛ (۳) کاهش ارتفاع نیمرخ توپوگرافی در امتداد خط الراس چین؛ (۴) توسعه الگوهای زهکشی خاص، ناشی از انحراف شبکه زهکشی؛ (۵) تغییر شکل نهشته‌ها یا لندفرم‌های جوان و (۶) کاهش شیب پهلوهای چین.

از روی شاخص‌های ژئومورفیک می‌توان نواحی را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا حتی کند تکتونیکی را پشت سر گذاشته‌اند، به راحتی شناسایی نمود (رامیرز_هرررا، ۱۹۹۸؛ ۳۱۷). تاکنون شاخص‌های ژئومورفولوژیک زیادی مانند انتگرال هیپسومتریک (Hi)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، شاخص واحد (Iat)، شاخص عدم تقارن حوضه (Af)، تقارن توپوگرافی عرضی (T)، شکل حوضه (BS)، نسبت فاصله‌بندی شبکه زهکشی (R)، شاخص هلالیت (CI)، شاخص تقارن چین، خط الرأس تاقدیس، نسبت جهت، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، فرکانس رودخانه و الگوی زهکشی به عنوان ابزارهای مهمی جهت تشخیص مناطق فعال تکتونیکی توسط محققان مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (ولز و همکاران، ۱۹۹۸؛ آل همدونی و همکاران، ۲۰۰۸؛ علی پور و همکاران، ۲۰۱۱؛ بهرامی، ۲۰۱۲).

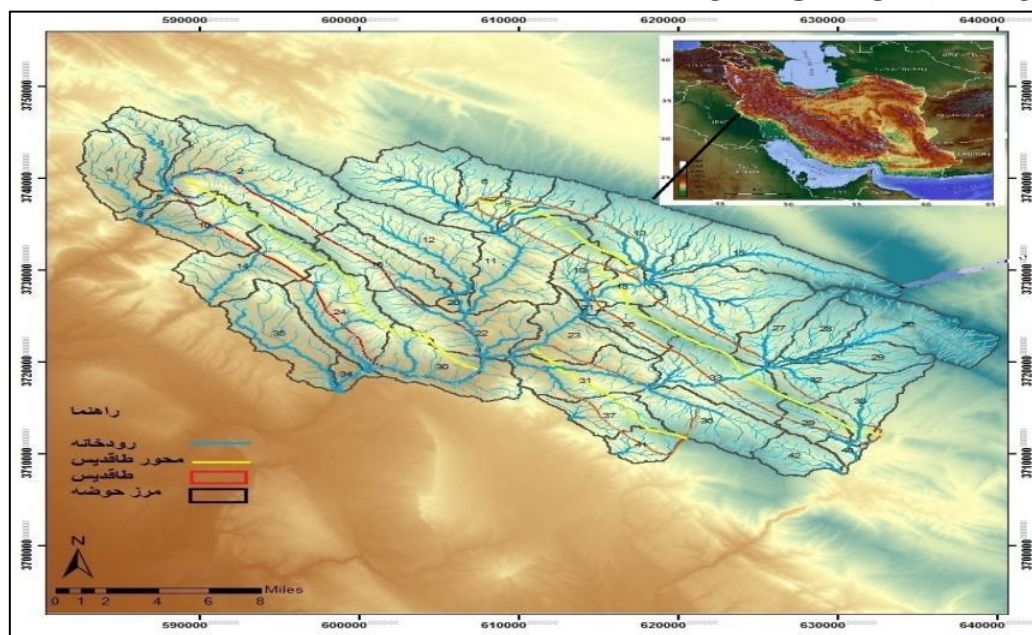
فقیه و همکاران (۱۳۹۴) در ارزیابی سازوکار رشد چین‌ها در زاگرس، از الگوی فرسایش بستر آبراهه‌ها و شاخص‌های کمی ریخت سنجی مانند (HI و RC) به عنوان نشانگرهای زمین ریختی جهت شناخت سازوکار رشد چین و الگوی چین‌خوردگی جدایشی در فارس ساحلی استفاده کردند و اثر تغییر ضخامت افق جدایشی بر روی الگوی چین‌خوردگی را مورد ارزیابی قرار دادند. (بهرامی و همکاران، ۲۰۲۰) نیز در بررسی تاقدیس گورم در فارس نشان دادند که شاخص هلالیت حوضه‌های زهکشی تشکیل شده روی دامنه تاقدیس (CI)، نسبت آبراهه‌ای درجه ۱ به تعداد کل آبراهه‌ها (NI/N)، سینوسیته خط الراس تاقدیس (SAD)، آبراهه‌های چنگالی شکل نامتقارن و همچنین آبراهه‌های مخروطی شکل از مهمترین شاخص‌های ژئومورفیک نشان دهنده رشد جانبی تاقدیس گورم می‌باشد. (جهانگیری و همکاران، ۱۳۹۰) نیز تاثیر تکتونیک فعال بر اشکال ژئومورفیک و ارتباط آن با ناهنجاری‌های سلسله مراتبی سیستم‌های زهکشی در تاقدیس قلاجه را مورد ارزیابی قرار دادند. (بیت الهی و همکاران، ۱۳۹۷) به تهیه نقشه پهنه‌بندی ضرایب لرزه‌خیزی a-value و b-value و همچنین نسبت آن‌ها a/b-Value برای گستره ایران پرداخت.

هدف تحقیق حاضر ارزیابی مورفومتری شبکه‌های زهکشی این منطقه بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک و پارامترهای لرزه خیزی و ارتباط آن با تکتونیک منطقه می باشد. در این راستا مورفومتری ۴ تاقدیس سیاه کوه در (غرب)، تاقدیس گنو (شمال)، تاقدیس سیاه کوه (شرق) و تاقدیس ثمور (جنوب) منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با ۴۲ زیر حوضه، به همراه تاقدیس‌های جنوب غربی ایلام با روند شمالغرب- جنوب شرق و با مختصات جغرافیایی ۴۷ تا ۴۵:۵۰ درجه شمالی و عرض‌های جغرافیایی ۳۴:۵۰ تا ۳۳ درجه شرقی در جنوب غربی کشور ایران جای دارد، شکل (۱). این منطقه از شمال با استان کرمانشاه از جنوب با خوزستان از شرق با لرستان و از غرب با کشور عراق همسایه است. زیر حوضه‌های شماره ۲، ۱۷، ۱۱، ۱۵ به ترتیب با ۸۳، ۶۱، ۵۱ و ۴۹ کیلومتر بیشترین وسعت و زیر حوضه‌های ۲۱، ۸، ۲۰ با ۳، ۲ و ۵ کیلومتر کمترین وسعت را در منطقه دارا هستند. مرتفع‌ترین نقطه حوضه با ارتفاع ۲۵۵۴ و پست‌ترین نقطه آن ۴۰۳ متر ارتفاع از سطح دریا می باشد.

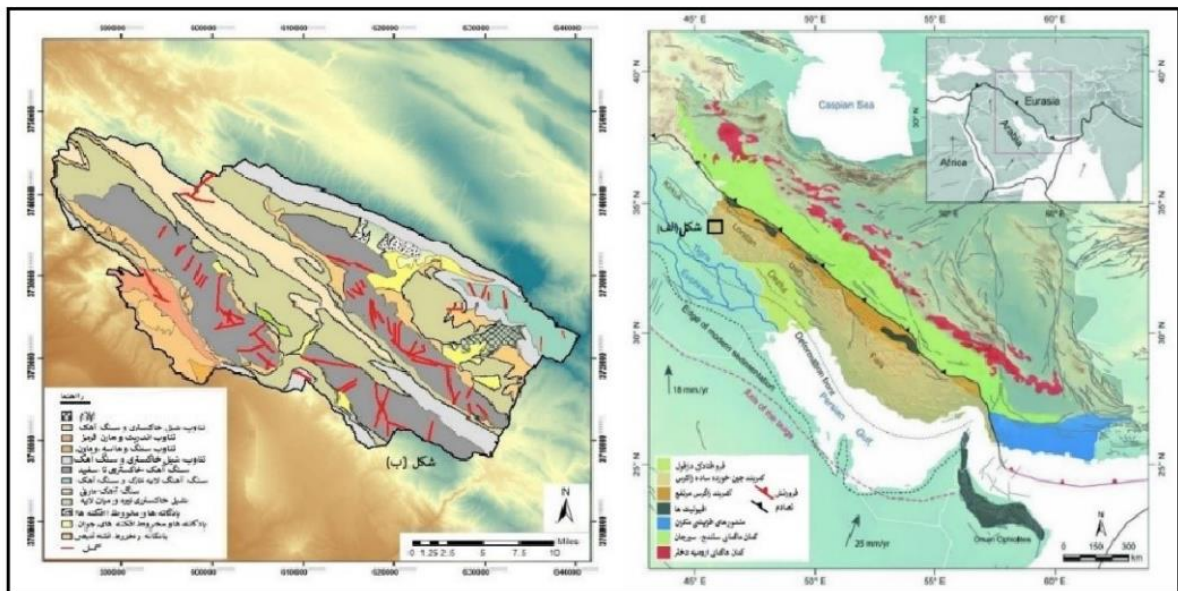


شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

زمین شناسی و ژئومورفولوژی تاقدیس‌های مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات زمین شناسی در بخش زاگرس چین خورده قرار گرفته است. این پهنه به شدت چین خورده و محور چین‌ها بسیار طویل است. روند محور تاقدیس‌ها شمال باختری- جنوب خاوری و از نوع متقارن هستند. از نظر چینه شناسی در تاقدیس‌های مورد مطالعه رخنمون‌هایی از سنگ‌های کرتاسه بالایی تا کواترنری دیده می‌شود که از قدیم به جدید عبارت اند از: گروه، سروک، سورگاه، ایلام، گورپی، پابده، آسماری گچساران و نهشته‌های کواترنری شامل پادگانه جدید و قدیم و مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید می‌باشد، شکل (۲). سازندهای گرو، سروک، ایلام و آسماری که از جنس آهک با میان لایه های رسی، ماری و شیلی تشکیل شده، جزء سازندهای مقاوم به فرسایش می‌باشند. سازند سورگاه از شیل های پیریت دار و آهک نازک لایه، سازند ایلام آهکی با میان لایه‌های شیلی و رسی و سازندهای گورپی،

پابده و گچساران مارنی و شیلی بوده و جزء سازندهای نرم‌فرا می‌باشند. بیشتر مساحت تاقدیس‌های منطقه توسط سازند ایلام پوشانده شده و سایر سازندها به صورت نواری در حواشی تاقدیس‌ها رخنمون دارند. گسل اصلی و تاثیر گذار در این منطقه گسل پیشانی کوهستان (MFF) و بخش‌های شمالی گسل پیش گودال زاگرس (ZFF) می‌باشد. از نظر ژئومورفولوژی با توجه به انواع بافت و ساخت در سازندهای زمین شناسی و عملکرد پدیده‌های تکتونیکی (گسل، چین خوردگی، خردشدگی، درزه و شکاف) و همچنین فرسایش، هوازگی و نقش رودخانه‌ها و جریان‌های آبی که در تکوین و شکل‌گیری مورفولوژی منطقه سهم بسزایی دارند، لندفرم‌های مختلفی در این منطقه قابل تشخیص است. در سازندهای گرو، سروک، ایلام و آسماری صخره‌های بلند پرتگاهی، اکثراً ستیغ مانند و تیغه‌ای با قله‌های بلند و آبراهه‌های عمیق و پرشیب شکل گرفته است. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه پدیده کارستی شدن و تشکیل غار در سازندهای آسماری و گچساران دیده می‌شود و زمین لغزه‌ها و واریزه‌های کوهپایه‌ها در دامنه ارتفاعات از دیگر لندفرم‌های غالب است.



شکل ۲: الف) جایگاه ساختاری منطقه مورد مطالعه در کمربند چین خوردہ رانده زاگرس (پیروز و همکاران ۲۰۱۷)؛ ب) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

شاخص‌های مورفومتری

به منظور بررسی مورفومتری شبکه‌های زهکشی حوضه آبخیز جنوب غرب منطقه مورد مطالعه، از ۱۱ شاخص استفاده شده است که در ادامه به تشریح آن پرداخته شده است.

جدول ۱: شاخص‌های مرتبط با مورفومتری شبکه‌های زهکشی

منبع	توضیحات	رابطه مربوط به شاخص	شاخص
(سیکاسی و همکاران، ۱۹۸۶: ۲۳۴) (بهرامی، ۲۰۱۳: ۹۱۸) (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷)	(Ha_t) : حداقل آبراهه‌های درجه ۱ است که باید به طور فرضی به شبکه زهکشی اضافه شوند تا مسیرها نظم سلسله مراتبی داشته باشند. $(N1)$: تعداد آبراهه‌های مرتبه یک واقعی حوضه	$\Delta a = \frac{Ha_t}{N1}$ $Na_t = \sum(Ha_{i \rightarrow j}^*)$	شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی
قاسمی و همکاران (۱۳۹۸)	$(\sum L1)$: مجموع طول آبراهه‌های مرتبه یک	$LN1 = \sum L1 / N1$	شاخص میانگین طول آبراهه‌های مرتبه ۱
(تاگر و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۸۷) (کلرو پیتر، ۲۰۰۲: ملوشوکلر، ۲۰۱۳)	نسبت طول آبراهه‌ها (Li) به مساحت (A) در یک منطقه	$D_d = \frac{\sum Li}{A}$	شاخص تراکم زهکشی
(Baroni et al., 2005)	(Rb) : نسبت انشعابات (Rbd) : نسبت تعداد آبراهه‌های مرتبه خاص که مستقیماً به رتبه بالاتر وارد می‌شوند، به تعداد کل آبراهه‌های رتبه بالاتر	$R = Rb - Rbd$ $Rb = \frac{Nu}{Nu+1}$	شاخص انشعابات (R)
شاخص‌های ژئومورفیک مرتبط با شکل حوضه			
(Burick and Anderson, 2001: 203) (کانون، ۱۹۷۶: رامیرز_هررا، ۱۹۹۸). (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۹).	(Bl) : طول حوضه، Bw : عرض حوضه، در عرض‌ترین بخش آن	$Bs = Bl/Bw$	شاخص شکل حوضه
(استراهلر، ۱۹۵۲) (اشتوبر و همکاران، ۲۰۰۷، زیسو، ۲۰۰۸)	$(Hmen)$: میانگین ارتفاع حوضه آبریز، $(Hmin)$: کمینه ارتفاع حوضه آبریز، $(Hmax)$: بیشینه ارتفاع حوضه آبریز	$Hi = \frac{(Hmean - Hmin)}{(Hmax - Hmin)}$	شاخص انتگرال هیپسومتری
(اشتوبر و همکاران، ۲۰۰۷، زیسو، ۲۰۰۸) (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).	با توجه به میزان تفرع و تحدب طبق جدول ذیل به ۳ رده فعالیت زمین ساختی تقسیم می‌شوند	رده ۱: $(Hi > .5)$ رده ۲: $(.4 < Hi < .5)$ رده ۳: $(Hi < .4)$	منحنی هیپسومتری

برخی دیگر از شاخص‌هایی که اثر تکتونیک بر هندسه چین را نشان می‌دهد، عبارتند از شاخص‌های Hs, SAD, AR, Fsi که در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول ۲: شاخص‌های مرتبط با مورفومتری چین‌ها

منبع	توضیحات	رابطه مربوط به شاخص	شاخص
(Bahrami, 2013)	این شاخص فاصله بین دو محور تاقدیس مجاور (طول موج تاقدیس) است.	HS	فاصله بین دو محور تاقدیس
بهرامی و همکاران (2020)	LD = طول خط الرأس واقعی تاقدیس LH = طول خط مستقیم بین ابتدا و انتهای خط الرأس	SAD = LD/LH	شاخص سینوسیته خط الرأس تاقدیس
(Burbery et al, 2008: 423)	L طول تاقدیس W حداکثر عرض تاقدیس	AR = L/W	شاخص نسبت جهت
(Burbery et al, 2010: 144)	S = عرض پهلوی کوتاه‌تر تاقدیس W/2 = نصف عرض تاقدیس	FSI = W/2	شاخص تقارن چین

داده‌های لرزه‌ای منطقه

پارامترهای لرزه خیزی به بیان وضعیت لرزه خیزی و میزان فعالیت گسل‌های منطقه با استفاده از داده‌های مربوط به زمین لرزه‌های قبلی می‌پردازد (شاهوردی، ۲۰۱۱) و بزرگای زلزله را با فراوانی زلزله‌های رخ داده مرتبط می‌سازد. از این طریق می‌توان آهنگ لرزه خیزی، توان لرزه خیزی و در نهایت تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه را مورد مطالعه قرار داد. در این مبحث، ارتباط میان بزرگی و تعداد زمینلرزه‌ها در هر منطقه و دوره زمانی با استفاده از یک رابطه خطی با شیب منفی بیان می‌شود که به رابطه گوتنبرگ-ریشتر معروف است (خاجی، ۱۳۹۶) و از رابطه (شماره ۱) محاسبه می‌شود.

$$\log N = a - bM$$

رابطه (۱)

در این رابطه: N، فراوانی زمینلرزه، b، ضرایب لرزه‌خیزی (a) توان لرزه‌خیزی و b، نسبت زمین‌لرزه‌های (کوچک به بزرگ) و M، بزرگای زمین‌لرزه (بیت‌اللهی و معتمد، ۱۳۸۹).

مقدار a (a-value) بیانگر تعداد زمینلرزه‌های بزرگتر یا مساوی صفر است که سطح لرزه خیزی (Seismicity Level) نامیده می‌شوند. مقدار این پارامتر به عوامل مختلف مانند مساحت منطقه مورد مطالعه، ابعاد چشمه‌های لرزه‌ای و فراوانی زمینلرزه‌ها وابسته است (Ishimoto and Iida, 1939). مقادیر پارامتر a-value از دامنه ۰٫۴ تا ۰٫۷ متغیر است (شکل ۶).

شیب نمودار فراوانی-بزرگی (FMD) بیانگر مقدار b (b-value) می‌باشد. این پارامتر بیانگر نسبت زمینلرزه‌های کوچک به بزرگ می‌باشد (Novelo-Casanova et al. 2006). هر چه تعداد زمینلرزه‌های بزرگ در منطقه بیشتر باشد مقادیر عددی b کوچکتر می‌شود. مقدار عددی این ضریب لرزه‌خیزی معمولاً میان ۰٫۴۵ تا ۱٫۵ متغیر است که این تفاوت ناشی از شرایط زمینساختی و فعالیت لرزه‌خیزی در مناطق مختلف می‌باشد (Gutenberg and Richter, 1954). در این مطالعه مقادیر پارامتر b-value از دامنه ۰٫۵۲ تا ۰٫۶۱ متغیر است (شکل ۷). به منظور برر سی تغییرات

آهنگ لرزه‌خیزی زمانی و مکانی در یک منطقه خاص از پارامتر β -Value استفاده می‌شود. این پارامتر آهنگ لرزه‌خیزی یک منطقه را از نظر زمانی بررسی و در بازه‌های زمانی متفاوت با یکدیگر مقایسه می‌کند و از رابطه (شماره ۲) بدست می‌آید (Matthews and Rosenberg, 1988).

$$\beta = m(t, \delta) - n\delta / n\delta (1 - \delta)^{1/2}$$

رابطه (۲)

که در این رابطه $m(t, \delta)$ ، تعداد زمین‌لرزه‌های به وقوع پیوسته در δ و $n.t$ ، تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده در کل بازه زمانی t ، انتهای بازه مورد نظر و δ ، طول فواصل بازه مورد نظر.

دامنه تغییرات β -Value بسیار گسترده است. مقادیر منفی این پارامتر مربوط مناطقی است که آهنگ لرزه‌خیزی کمتری نسبت به سایر مناطق دارند و مقادیر مثبت مربوط به مناطقی است که آهنگ لرزه‌خیزی بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند (Bachmanov et al., 2004). بررسی نقشه تغییرات پارامتر β -value در بازه زمانی ۱۰۴ ساله در منطقه مورد مطالعه بیان می‌دارد. که مقدار تغییرات این پارامتر مثبت بوده و از دامنه ۴۰ تا ۱۶۰ در حال تغییر است که این مسئله نشان از آهنگ لرزه‌خیزی بسیار بالا در منطقه مورد مطالعه دارد (شکل ۸).

در این مطالعه با استفاده از روش Maximum likelihood method پارامترهای لرزه‌خیزی و نقشه توزیع پارامترهای b -value و a -value با استفاده از نرم افزار ZMap با استفاده از معادله (Aki, 1985) (شماره ۳) و به صورت اتوماتیک محاسبه و ترسیم گردید (شکل ۸، ۷، ۶).

$$b = 0.434 / M - M_c$$

رابطه (۳)

در این رابطه M ، میانگین بزرگای زمینلرزه و M_c ، بزرگای کمینه می‌باشند. مقادیر پارامتر b -value از دامنه ۰٫۴ تا ۰٫۶۵ متغیر است.

یافته‌ها و بحث

ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی

در این پژوهش شاخص‌های Δa که بیانگر میزان ناهنجاری‌های شبکه‌های زهکشی است (جدول شماره ۳) محاسبه گردید. بالاترین مقدار در شاخص Δa در شرق منطقه با حوضه‌های کم وسعت و همچنین حاشیه تاقدیس سیاه کوه شرقی بدست آمده است. در برخی حوضه‌های این مناطق قسمت بالا دست و پایین دست حوضه‌هایی که در مسیر رودخانه اصلی قرار دارند، باریک یا پهن می‌شوند. این تغییرات وابسته به گسل پیشانی کوهستان (MFF) در این قسمت و تغییر روند محور تاقدیس است.

جدول ۳: مقادیر پارامتر Δa و Hat زیر حوضه‌های جنوب غربی ایلام

Index	Basin1	Basin2	Basin3	Basin4	Basin5	Basin6	Basin7	Basin8	Basin9	Basin10	Basin11	Basin12	Basin13	Basin14	Basin15	Basin16	Basin17	Basin18	Basin19	Basin20	Basin21
Hat	143	517	103	45	47	7	28	45	34	0	234	91	58	34	203	50	158	273	11	63	0

Δa	Hat	Index	Δa
3.07	301	Basin22	1.99
3.78	272	Basin23	2.53
1.11	111	Basin24	1.02
0.26	10	Basin25	0.62
0.48	46	Basin26	3.36
0	0	Basin27	0.2
0.20	7	Basin28	0.65
0.21	8	Basin29	3.46
0.90	64	Basin30	0.97
13.97	1327	Basin31	0
2.82	234	Basin32	1.92
0.93	27	Basin33	0.82
4.88	200	Basin34	0.62
0.19	16	Basin35	5.67
0.94	82	Basin36	1.46
0.70	43	Basin37	0.60
0.53	33	Basin38	0.97
0.68	26	Basin39	6.5
4.12	33	Basin40	0.27
0.66	23	Basin41	5.25
0.23	10	Basin42	0

در حوضه‌هایی که در قسمت پایین دست مسیر رودخانه اصلی پهن تر می شود مانند حوضه‌های شماره ۲، ۱۳، ۱۷، ۲۰، ۲۲، ۲۳، ۳۲ و ۳۴ که در حاشیه تاقدیس‌ها قرار دارد، اتصال آبراهه‌های مرتبه پایینتر به آبراهه‌های مرتبه بالاتر (مثلاً به ۵ یا ۱به ۴) کمتر رخ می‌دهد. در نتیجه مقدار عددی ناهنجاری سلسله مراتبی حوضه زهکشی Δa پایین است. اما حوضه‌های شماره ۲۸، ۳۲، ۱۵، ۱۷، ۱۱، ۵، ۸... که در قسمت پایین دست مسیر اصلی رودخانه باریکتر می شود اتصال آبراهه‌های مرتبه پایینتر به آبراهه‌های مراتب بالاتر (مثلاً به ۵ یا ۱به ۴) بیشتر دیده می شود که در نتیجه آن مقدار عددی ناهنجاری سلسله مراتبی حوضه زهکشی (Δa) بالا می‌رود. در حوضه‌هایی با مساحت متوسط که در جنوب و جنوب غرب و جنوب شرق منطقه و همچنین حوضه‌های کشیده اطراف تاقدیس‌های سیاه کوه که الگوی شبکه آبراهه‌ها بصورت موازی و داریبستی در جریان می‌باشد بالاترین میزان افزایش Δa مشاهده می‌گردد. در برخی حوضه‌های جنوب شرقی و حاشیه‌های تاقدیس سیاه کوه شرقی و ثمر با الگوی شاخه درختی و حوضه‌های عریض و دایره‌ای کمترین میزان Δa مشاهده می شود. در بین تاقدیس‌ها بالاترین مقدار این شاخص متعلق به حوضه ۳۲ با الگوی داریبستی واقع در تاقدیس سیاه کوه شرقی و مقداری عددی (۱،۸۶) و پایینترین مقدار عددی این شاخص مربوط به حوضه ۶ با الگوی شاخه درختی واقع در تاقدیس گنو با مقدار عددی (۰،۱۱) می‌باشد. با توجه به (جدول شماره ۳) وجود سازند ایلام که جزء سازندهای مقاوم به فرسایش می‌باشند و گسل اصلی و تاثیر گذار پیشانی کوهستان (MFF) به نوعی در مقادیر بالای شاخص Δa تاثیر دارد.

بر اساس نتایج حاصل از محاسبه شاخص LN1 بیشترین میزان عددی این شاخص مربوط به زیر حوضه‌های حاشیه جنوب شرق و شمال شرق منطقه و در زیر حوضه‌های شماره ۴۲، ۳۸، ۱۵ با مقادیر ۱،۱۸۹ و ۱،۰۲۸ و ۰،۹۶۱ و بخش‌هایی از تاقدیس سیاه کوه در غرب است. به دلیل حاکمیت سازند سورگه در اثر فرسایش و حفر عمیق زمین در بخش‌هایی از این حوضه‌ها تعداد آبراهه‌های رتبه ۱ کاهش یافته و به دنبال آن مقادیر شاخص LN1 پایین آمده است اما در حواشی تاقدیس‌های سیاه کوه در غرب و شرق منطقه، گنو، و ثمر با حوضه‌هایی که در قسمت پایین دست مسیر رودخانه اصلی باریک شده اند دارای شاخص LN1 بیشتری است. در تاقدیس‌های ثمر-سیاه کوه شرقی به ترتیب بیشترین شاخص LN1 ثبت گردیده است و تفاوت سازندها و تمرکز بیشترین زمین لرزه‌ها در راستای گسل پیشانی کوهستان (MFF) می تواند در این مناطق از مهمترین دلایل تغییر این شاخص باشد.

شاخص تراکم حوضه زهکشی (Dd):

بر اساس مقادیر عددی محاسبه شده مقادیر این شاخص از ۳,۲۸ تا ۲,۰۶ متغیر است. بیشترین مقدار این شاخص با الگوی شاخه‌ای مربوط به زیر حوضه‌های شماره ۲۱,۴۱ در بخش‌های حاشیه سیاه کوه شرقی و ثمور و کمترین مقادیر این شاخص در نقاط دیگر متعلق به بخش جنوبی سیاه کوه در غرب و شرق منطقه می‌باشد. مقادیر عددی این شاخص در حوضه‌های دایره‌ای شکل و کم وسعت حاشیه تاقدیس‌ها بیشتر است که این امر می‌تواند به دلیل گسترش بیشتر سازند گورپی-پابده، ایلام و پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های قدیمی و فعالیت‌های تکتونیک باشد. سازند پابده یک سطح غیرقابل نفوذ بر روی لایه‌های زیرین ایجاد کرده است و این امر سبب کاهش نفوذ پذیری و افزایش میزان شاخص فراوانی حوضه زهکشی و اشکال کارستی در حوضه‌هایی که این سازند گسترش دارند شده است.

شاخص انشعابات (R): مقادیر این شاخص با نسبت انشعابات (RB) در ارتباط است. بیشترین مقادیر عددی شاخص R در کل حوضه مربوط به حاشیه تاقدیس سیاه کوه غربی و به ترتیب متعلق به حوضه ۴ با مقدار (۲,۲۴)، زیر حوضه شماره ۱۶ (۲,۱۸)، زیر حوضه شماره ۱۴ (۱,۹۸) و کمترین مقدار شاخص R به زیر حوضه شماره ۲۰ (۰,۰۶) و (۰,۰۸) و در نواحی تاقدیس ثمور در زیر حوضه ۲۳ (۰,۳۴)، ۳۷ (۰,۶۹) و سیاه کوه شرقی حوضه ۳۸ (۰,۳۹) و سیاه کوه غربی در حوضه ۵ (۰,۳۳) است. با افزایش فعالیت تکتونیک، مقدار این شاخص در این مناطق افزایش داشته است. مقادیر شاخص R در حوضه‌های مورد مطالعه در (جدول پیوست شماره ۶) ارائه شده است. با توجه به این جدول، نسبت انشعابات (RB)، در دامنه شمالی و جنوبی سیاه کوه در غرب و شرق منطقه با توجه به شدت فعالیت‌های تکتونیک و نوع لیتولوژی و سازند حاکم در منطقه (بالای ۵)، در حوضه‌های حاشیه منطقه (بین ۳-۵) و در بقیه حوضه‌ها (کمتر از ۳) است. این در حالی است که در بخشی از حاشیه سیاه کوه غربی، سیاه کوه غربی، گنو، تاقدیس ثمور و سیاه کوه شرقی بین (۳-۵) و بقیه زیر حوضه‌ها زیر ۳ می‌باشد.

شاخص شکل حوضه (Bs): با توجه به جدول ذیل بیشترین BS مربوط به حوضه ۵ با کلاس ۲ با مقادیر (۳-۴) و دارای کشیدگی است. بقیه حوضه‌ها در کلاس ۳ قرار داشته و دایره‌ای هستند.

جدول ۴: مقادیر پارامتر Bs زیر حوضه‌های جنوب غربی ایلام

Basin No	Basin No 2	Basin No 1	Indicator
1-42	5	.	Bs

شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi): مقادیر محاسبه شده این شاخص برای حوضه‌های زهکشی منطقه مورد مطالعه محاسبه گردیده است. منحنی هیپسومتری با توجه به میزان تقعر و تحدب به ۳ رده فعالیت زمین ساختی تقسیم می‌شوند (آل همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

رده ۱؛ ($Hi > 5$): حاشیه تاقدیس‌های سیاه کوه شرقی و ثمور با شش حوضه (۶,۱۵، ۳۵، ۳۹، ۴۱، ۴۲) حاشیه تاقدیس‌های شرقی در رده یک با فعالیت بالا و بالا آمدگی در اثر فعالیت زمین ساختی است

رده ۲؛ ($4 < Hi < 5$): حاشیه تاقدیس‌ها با ۱۰ حوضه (۵، ۱۸، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۳۱، ۳۳، ۳۴، ۳۶، ۳۷) در رده ۲ با فعالیت متوسط و در حالت تعادل قرار دارد.

رده ۳؛ ($Hi < 4$): حوضه جنوبی و شرقی در رده ۳ با فعالیت کم و فرسایش پذیری زیاد قرار دارد.

شاخص‌های مرتبط با مورفومتری چین‌ها:

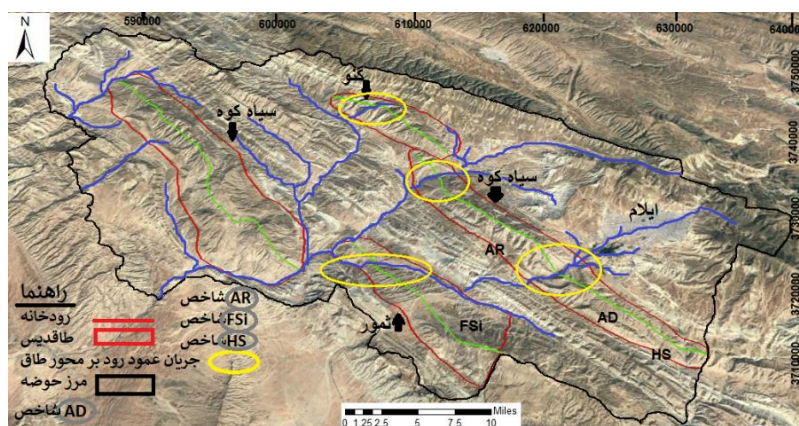
در بررسی شاخص‌های مرتبط با اثر تکتونیک بر هندسه چین مقادیر (HS,AR,FSi,SAD) در (جدول شماره ۵) محاسبه گردید.

جدول ۵: مقادیر شاخص‌های HS,AR,FSi,SAD (Bahrami,2013: 423 ·Burberry et al, 2008).

فعالیت نسبی	تکتونیک وضعیت	ارزش عددی شاخص	Index	طاقدیس مورد پژوهش	ردیف	فعالیت نسبی	تکتونیک وضعیت	ارزش عددی شاخص	Index	طاقدیس مورد پژوهش	ردیف
۲	تکتونیک فعال	۶,۷۶	AR	سیاه کوه غربی	۹	۱	تکتونیک فعال	۱,۰۲۲	SAD	سیاه کوه غربی	۱
۴		۷,۰۴		سیاه کوه شرقی	۱۰	۴		۱,۲۵۰		سیاه کوه شرقی	۲
۱		۳,۲۰		گنو	۱۱	۳		۱,۱۰۴		گنو	۳
۲		۳,۳۴		ثمور	۱۲	۲		۱,۰۶۷		ثمور	۴
۱		۸,۶۰	HS	سیاه کوه غربی	۱۳	۳		۰,۹۸۴	FSI	سیاه کوه غربی	۵
۴		۶,۳۵		سیاه کوه شرقی	۱۴	۲		۱,۰۸۴		سیاه کوه شرقی	۶
۳		۴,۳۹		گنو	۱۵	۱		۱,۲۳۲		گنو	۷
۲		۵,۹۴		ثمور	۱۶	۴		۰,۷۶۹		ثمور	۸

با توجه به این جدول، شاخص HS از فاصله بین دو محور تاقدیس مجاور (طول موج تاقدیس) بدست آمده است. در این شاخص حوضه‌های تاقدیس‌های گنو، ثمور، سیاه کوه در شرق منطقه مورد مطالعه با مقادیر (۴,۲۹، ۵,۹۴، ۶,۳۸) به ترتیب بیشترین فعالیت تکتونیک را نشان می‌دهد. شاخص SAD از نسبت طول خط الرأس تاقدیس به خط مستقیم (بین ابتدا و انتهای خط الرأس) بدست می‌آید و نشان دهنده میزان فرسایش و سن چین خوردگی است. در تاقدیس‌های جدید، خط الرأس تقریباً مستقیم است در حالی که در تاقدیس‌های قدیمی و فرسایش یافته، خط الرأس دارای طول بیشتری است. مقدار بالاتر شاخص SAD در تاقدیس سیاه کوه شرقی نشان می‌دهد این تاقدیس فرسایش یافته و قدیمی‌تر است، در حالی که مقدار کمتر شاخص مذکور در سیاه کوه غربی بیانگر جوانتر بودن و فرسایش کمتر آن می‌باشد. میزان بالای شاخص نسبت جهت (AR) نیز نشان دهنده فعالیت تکتونیک بالا و میزان کم آن نیز کاهش این فعالیت زمین ساختی را نشان می‌دهد. مقدار شاخص مذکور در تاقدیس سیاه کوه غربی (۶,۷۶)، گنو (۳,۲۰) و سیاه کوه شرقی (۷,۰۴) و ثمور (۳,۳۴) است. شاخص تقارن چین (FSI) میزان نابرابری دو یال تاقدیس و در نتیجه میزان فعالیت تکتونیک را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار این شاخص (۱,۰۸) به سیاه کوه شرقی تعلق دارد. به طور کلی با توجه به تراکم و نزدیکی تاقدیس‌های گنو، سیاه کوه و ثمور در شرق منطقه و نتایج حاصل از اندازه گیری پارامترهای لرزه‌ای a-value، b-value و β -value بیشترین فعالیت تکتونیک در شرق منطقه و به تاقدیس سیاه کوه تعلق دارد و شواهد مورفومتری در آن منطبق با ساختار گسل اصلی دارد. نقشه نهایی پارامتر a-value نشان می‌دهد که در بخش‌های نیمه خاوری و شمالی منطقه مورد مطالعه مقادیر این پارامتر بیشتر است (شکل ۶). در واقع مناطق نزدیک به گسل MFF از نظر لرزه خیزی و تعداد زمین لرزه‌ها

فعال تر می‌باشند. در مورد پارامتر b -value نیز نتایج مشابه است و در واقع بخش خاوری منطقه مورد مطالعه و در مجاورت گسل MFF، تعداد زمین لرزه‌های بزرگ بیشتر است. با مشخص شدن مناطق فعال تر با توجه به پارامترهای لرزه خیزی اندازه‌گیری شده، ارتباط این پارامترها با شواهد مورفومتری می‌تواند درک صحیح تر از شرایط تکتونیکی موجود در منطقه نشان دهد



شکل ۳: نمایی از طاق‌دیس‌های منطقه

تغییرات در هندسه چین‌های منطقه و بالا آمدگی و یا فرسایش در برخی نقاط باعث بروز تفاوت‌های قابل توجهی در الگوی شبکه زهکشی و ناهنجاری آبراهه‌ها شده است. الگوی زهکشی در بیشتر مناطق فعال تکتونیکی داربستی است و الگوی موازی (اغلب در پهلوی تاقدیس‌ها) و در مواردی الگوی شاخه‌ای در کمب‌ها یا تاقدیس‌های فرسایش یافته دیده می‌شود. شبکه آبراهه‌ها در در پاره‌ای از نقاط حوضه‌های کشیده و طولیل در امتداد محور تاقدیس‌ها (غرب) و در پاره‌ای از نقاط دیگر زیر حوضه‌ها (شمال و شرق) در جهت عمود بر محور چین خوردگی‌ها جریان دارد. در سیاه کوه شرقی زیر حوضه‌ها قدیمی، برخاستگی بیشتری دارند (شکل ۳). در این تاقدیس محور تاقدیس در دو نقطه مرکز و شرق آن قطع شده است و ۳ آبراهه اصلی در امتداد شرق-جنوب و غرب آن از شمال به جنوب جریان دارد. در تاقدیس ثمور نیز آبراهه اصلی محور اصلی تاقدیس را قطع نموده و از شمال به غرب منطقه جریان دارد که بیانگر فعالیت تکتونیک و تفاوت در سازندها می‌باشد. با توجه به (جدول شماره ۶) سیاه کوه شرقی و بعد سیاه کوه غربی بیشترین فراوانی شاخص‌های محاسبه شده را نسبت به حوضه‌های دیگر دارند.

جدول ۶: ارزیابی و مقایسه توصیفی نسبت فراوانی شاخص‌ها (*) زیر حوضه‌های تاقدیس‌های جنوب غربی ایلام

ردیف	نام طاق‌دیس	الگوی زهکشی	Hi	Δa	Hat	FLi	LNi	R	RB	Ci	Dd	Df	Af
۱	سیاه کوه شرقی	درختی	*			*					*	*	*
۲	سیاه کوه غربی	داربستی-موازی			*			*	*		*		*
۳	گنو	داربستی-موازی		*	*						*		
۴	ثمور	داربستی-موازی		*	*					*			

با توجه به این موارد از مهمترین دلایل تفاوت شاخص‌های مورفومتری در این زیر حوضه‌ها خصوصاً سیاه کوه، انطباق کامل بین پارامترهای لرزه خیزی و فعالیت سطحی اندازه‌گیری شده بوسیله اندیس‌های مورفومتری است، که باعث گردید این بخش‌ها از نظر فعالیت نسبی تکتونیکی به پهنه‌های با فعالیت تکتونیکی بالا تا متوسط تقسیم بندی شوند و با توجه

به نقشه نهایی پارامتر a-value و b-value (شکل ۶ و ۷) مناطق نزدیک به گسل MFF از نظر لرزه خیزی و تعداد زمین لرزه‌ها فعال تر می‌باشند.

بررسی و تحلیل الگوی زهکشی

از روش‌های شناسایی فعالیت تکتونیکی مرتبط با گسل‌ها، شواهد تغییر شکل سطحی تاقدیس‌ها و بالا آمدگی منطقه مورد مطالعه به همراه تفاوت‌های موجود در نوع سازندهای منطقه می‌باشد که باعث بروز تفاوت‌های قابل توجه در شاخص‌های مورفومتری و الگوی شبکه زهکشی و ناهنجاری آبراهه‌ها شده است. در بررسی الگوی شبکه زهکشی تاقدیس‌های مورد مطالعه سه دسته الگوی زهکشی مشاهده می‌گردد. دسته اول الگوی زهکشی (شاخه درختی) است که معمولاً در حوضه‌های عریض یا دایره شکل ایجاد گردیده است. دسته دوم الگوی زهکشی موازی است که در حوضه‌های طولیل و باریک، تشکیل شده است. دسته سوم الگوی زهکشی موازی داریستی است که تلفیقی از الگوی زهکشی موازی و داریستی است. در بیشتر زیرحوضه‌ها، به خصوص زیرحوضه‌های کشیده و طولیل، آبراهه‌های اصلی و عمیق در امتداد محور تاقدیس جریان می‌یابند؛ در حالیکه سایر آبراهه‌ها به صورت عمود بر محور چین‌ها جریان می‌یابند. شبکه آبراهه‌ها در سیاه کوه غربی و گنو در امتداد محور تاقدیس جریان دارد و اغلب الگوی زهکشی داریستی و موازی دیده می‌شود. همچنین بیشترین مقدار در شاخص‌های H_i , H_{at} , R_B , D_d , Δa , L_{Ni} نیز در این قسمت مشاهده گردید. در برخی نقاط مسیر آبراهه‌ها در سیاه کوه شرقی و ثمور با توجه به نوع سازندها در جهت عمود بر محور تاقدیس در جریان می‌باشند. بیشترین تراکم زهکشی با الگوی شاخه‌ای در محدوده سیاه کوه شرقی وجود آمده است، (شکل ۴) و بیشترین فراوانی الگوی زهکشی شاخه درختی در زیر حوضه‌های (۳۹-۳۲-۱۷-۳۹-۸) و کمترین فراوانی الگوی داریستی در حوضه‌های (۲۵-۳۸) این تاقدیس‌ها مشاهده می‌گردد که این موضوع نشان دهنده فعالیت بودن زمینلرزه‌های بزرگ و فرسایش پذیری بیشتر آن دارد. در سیاه کوه غربی بیشترین فراوانی الگوی زهکشی داریستی در زیر حوضه‌های (۲۴-۱۴-۲-۵-۲۲-۲۹) و کمترین فراوانی الگوی زهکشی، الگوی شاخه درختی و موازی است. فراوانی زمینلرزه‌های کوچک نشان دهنده جوانی تاقدیس‌ها می‌باشد. تاقدیس‌های ثمور و گنو نیز کمترین الگوی شاخه درختی و بیشترین الگوی داریستی را نسبت به وسعت خود دارا می‌باشند و ارتباط الگوی زهکشی با ساختار و تکتونیک منطقه مشهود است.



شکل ۴: نقشه شبکه زهکشی و الگوی آبراهه در حوضه‌های منطقه مورد مطالعه

بررسی ارتباط بین شاخص‌های ژئومورفیک با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون

با توجه به (جدول شماره ۷)، نتایج ماتریس همبستگی پیرسون بیانگر همبستگی مثبت و نسبتاً قوی بین زوج شاخص‌های D_d-S_s ($r=0.668, p<0.01$) و همبستگی منفی قوی بین زوج شاخص‌های D_d- ($r=-0.511, p<0.05$) است. همچنین همبستگی‌های مثبت دیگری میان زوج شاخص‌های $R_B-N_{II/N}$ ($r=0.443$)، $R-\Delta a$ ($r=$

نکته مشخص می‌شود تفاوت‌های موجود در سازندهای منطقه و تکتونیک، بیشترین تأثیر را بر روی متغیرها دارند.

جدول ۷: مقادیر ضریب همبستگی پیرسون

Correlation												
	FS	Dd	R	RB	CI	LI	Δa	Bs	AF	Ni1/N	Dd1	Hi
FS	1											
Dd	0.28	1										
R	0.26	-0.08	1									
RB	-0.14	-0.08	0.14	1								
CI	0.07	0.05	0.27	0.02	1							
LN1	-0.10	0.25	-0.06	0.14	-0.07	1						
Δa	0.01	-0.30	.34*	-0.05	0.06	0.06	1					
Bs	-0.17	-0.18	-0.01	0.24	-0.10	-0.20	-0.03	1				
AF	-0.15	0.16	0.01	-0.07	0.07	0.01	-0.28	0.15	1			
Ni1	0.04	-0.04	0.09	.44**	-0.22	-0.21	0.00	-0.11	-0.02	1		
Ss	0.22	.67**	0.10	0.04	0.00	.39*	-0.15	-.35*	-0.11	0.08	1	
Hi	-0.28	-.51**	-0.21	.36*	-0.12	0.15	-0.09	0.22	0.03	0.1	-0.2	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

فرکانس زهکشی (Df) - تراکم زهکشی (Dd) - شاخص هالایت (CI) - انتگرال هیپسومتریک (HI) - شاخص ناهنجاریهای سلسله مراتبی (Δa) - شاخص شکل حوضه (Bs) - شاخص نسبت انشعابات (R) - شاخص میانگین طول آبراهه‌های رتبه ۱ (LN1) - شاخص تراکم آبراهه درجه یک (Ss) - نسبت آبراهه درجه یک به کل آبراهه‌ها (Ni1).

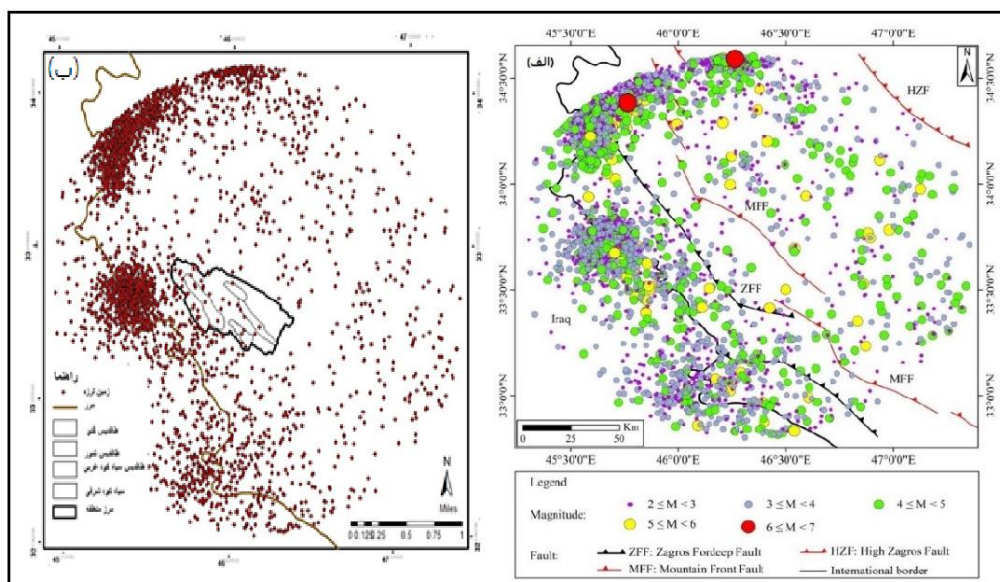
شاخص Dd به طور مستقیم به تعداد آبراهه‌های درجه یک وابسته است. با کاهش میزان تعداد آبراهه‌های درجه یک از تراکم زهکشی در منطقه نیز کاسته می‌شود. مقادیر عددی این شاخص‌ها در حوضه‌های ۱۹-۲۰-۲۱-۲۸-۲۹-۴۱-۴۲-۳۹-۳۶-۳۴ می‌باشد که این امر به دلیل گسترش سازند پابده، گورپی و ایلام با پادگان و مخروط افکنه‌های قدیمی است و گستردگی آثار کارستی در منطقه از شواهد ژئومورفولوژیکی آن می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص Dd در تاقدیس سیاه کوه شرقی در زیر حوضه ۱۸ با الگوی (شاخه درختی) و مقدار ۳,۹۷ و زیر حوضه ۵ با الگوی (داربستی) در سیاه کوه غربی با مقدار ۳,۹۵ و بیشترین

مقدار SS به زیر حوضه‌های ۱، ۱۵، ۲۰، ۲۱، ۲۶، ۴۱ در حاشیه تاقدیس‌های سیاه کوه غربی و شرقی تعلق دارد. در حوضه‌هایی که بیشترین مقدار مربوط به شاخص Dd می‌باشد، حوضه‌های دایره‌ای و الگوی شبکه زهکشی درختی بوده. در شاخص‌های Dd-Hi با افزایش مقدار شاخص Hi، مقدار شاخص Dd کاهش می‌یابد و حوضه‌های که طویل و کشیده هستند به نسبت حوضه‌های پهن و فرسایشی میزان Hi بالاتری دارند. در این مناطق فرسایش و ناپایداری دامنه کمتر و فعالیت تکتونیکی بیشتر است. بیشترین فراوانی شاخص Hi، تحت تاثیر گسل منطقه مربوط به زیر حوضه‌های جوان ۲، ۴، ۳۳، ۳۵ در حاشیه تاقدیس سیاه کوه در غرب منطقه است. به عنوان مثال، در تاقدیس‌های سیاه کوه غربی بیشترین مقدار Hi به زیر حوضه ۳۳ با مقدار ۰،۵۶ و در زیر حوضه شماره ۲ سیاه کوه غربی با مقدار ۰،۵۲ و کمترین مقدار آن به حوضه شماره ۳۱ ثمور به مقدار ۰،۰۳ بوده است. حوضه‌های (۳۶، ۳۶، ۲۵، ۱۸، ۱۴، ۱۳، ۱۱، ۷، ۳۶) در حاشیه تاقدیس‌های منطقه با سازندهای سروک، سورگاه، گچساران، گورپی، پابده و ایلام بیشترین مقدار شاخص Hi را بخود اختصاص داده‌اند. تفاوت در سازندها مهمترین عامل تفاوت می‌باشد. تاقدیس‌های سیاه کوه شرقی برخاستگی بیشتری نسبت به سایر تاقدیس‌ها دارد آبراهه‌های این تاقدیس عمود بر محور تاقدیس جریان دارد و الگوی زهکشی در مناطق فعال تکتونیکی داربستی و الگوی موازی (اغلب در پهلوی تاقدیس‌ها) و در مواردی الگوی شاخه‌ای در کمب یا تاقدیس‌های فرسایش یافته دیده می‌شود. نمودار رابطه خطی زوج شاخص‌های Dd، Hi بیانگر رابطه غیر مستقیم و معکوس این شاخص‌ها در زیر حوضه‌های ۳۸، ۳۱، ۲، ۵، ۷ واقع در حاشیه این تاقدیس‌ها می‌باشد. همبستگی مثبت و خوب بین زوج شاخص‌های RB-NII/N ($r=0.443$) برقرار است. بالاترین مقدار RB مربوط به حوضه‌های ۱۹، ۳۱ واقع در تاقدیس‌های ثمور و سیاه کوه در شرق با مقادیر (۱،۶۷، ۱،۸۰) است. حوضه‌های کشیده و طویل مقادیر عددی RB بالاتری نسبت به حوضه‌های دایره‌ای و فرسایشی دارند. بیشترین مقدار شاخص Ni1 در زیر حوضه‌های ۱، ۴، ۷، ۲۵، ۲۶، ۲۹، ۳۰، ۳۳ و در حاشیه تاقدیس گنو و سیاه کوه در شرق و غرب منطقه با الگوی زهکشی داربستی و موازی مشاهده شده و با شاخص RB دارای رابطه خطی مستقیم و ضریب همبستگی مثبت می‌باشد. بین مقادیر Hi و مقادیر شاخص RB ارتباط همبستگی ضعیف برقرار است. بیشترین مقدار Δa در بین تاقدیس‌ها، متعلق به زیر حوضه شماره ۱۸ تاقدیس سیاه کوه شرقی با مقدار (۱، ۱۷) و در قسمتهایی از تاقدیس سیاه کوه که تحت تاثیر فرسایش بیشتری قرار دارند می‌باشد. کمترین مقدار شاخص Δa در زیر حوضه شماره ۳۱ تاقدیس ثمور با مقدار (۰، ۹) است. شاخص R نیز در قسمت‌های فرسایش یافته تاقدیس سیاه کوه شرقی و غربی بیشتر است. تفاوت در روند و محور تاقدیس‌ها به شدت شکل حوضه‌ها و تراکم آبراهه‌های درجه ۱ آنها را تحت تاثیر قرار داده و بنابر این ارتباط ضعیف و معکوسی بین دو شاخص شکل حوضه و تراکم آبراهه‌های درجه ۱ برقرار است. همچنین تفاوت در مقادیر شاخص‌های Bs و حوضه‌هایی که بیشترین تراکم آبراهه درجه ۱ را دارا می‌باشند تا حدودی ناشی از تفاوت سازندها در این منطقه است.

بررسی و تحلیل داده‌های لرزه‌ای منطقه و ارتباط آن با شواهد ژئومورفیک منطقه

فلات ایران بر روی کمربند لرزه‌خیز آلپ-همیمالیا قرار گرفته است که حدود هشتاد درصد از زمین لرزه‌های دنیا و حدود هفده درصد از زمین لرزه‌های بزرگ دنیا بر روی این کمربند اتفاق می‌افتد. همگرایی صفحات زمین‌ساختی عربی-اوراسیا باعث دگرشکلی فعال و پیوسته در فلات ایران شده و آن را به یکی از فعال‌ترین و لرزه‌خیزترین نواحی جهان تبدیل کرده است. میزان این دگرشکلی و لرزه‌خیزی در قسمت‌های مختلف فلات ایران متفاوت است و یکنواخت توزیع نشده و عموماً در کمربندهای اصلی، مثل زاگرس، البرز، ایران مرکزی در طول گسل‌های اصلی بزرگ متمرکز شده است (Vernant et al., 2004). با توجه به قرارگیری منطقه مورد مطالعه در پهنه زاگرس چین‌خورده و لرزه‌خیز بودن این پهنه، بررسی پارامترهای لرزه‌خیزی کمک زیادی به تحلیل‌های فعالیت تکتونیکی می‌کند. کانون سطحی زمین‌لرزه‌های زاگرس در تمام عرض کمربند پراکنده بوده و عمق بیش‌تر آنها کمتر از ۲۰ کیلومتر است. در این بخش از کوهزاد زاگرس عمده فعالیت‌های لرزه‌ای منطبق بر گسل‌های راندگی بزرگ و عمیق است. این گسل‌های بزرگ عموماً به صورت گسل‌های با درازای زیاد

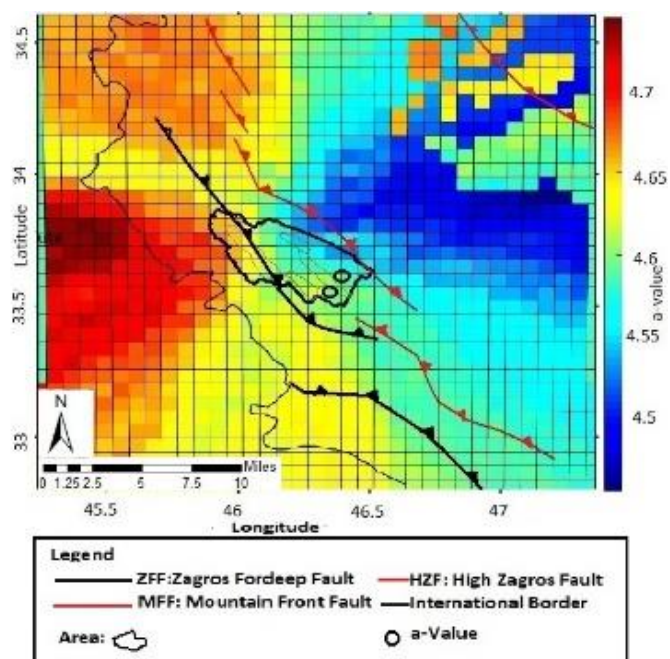
در زیر پوشش رسوبی قرار گرفته و یافتن شواهد سطحی از رخنمون این گسل‌ها به سختی میسر است. در بخش‌های غربی و شمال غربی منطقه مورد مطالعه، بخش‌هایی از گسل پیش‌گودال زاگرس (ZFF) عبور می‌کند که این گسل جنبه، فاقد گسیختگی سطحی است. در شمال شرق منطقه مورد مطالعه نیز گسل پیشانی کوهستان (MFF) رخنمون دارد که یک ساختار بسیار مهم در بخش غربی فلات ایران است (شکل ۵) و تمرکز زمین‌لرزه‌ها راستای این گسل بسیار زیاد است (بربریان، ۱۹۹۵). از روش‌های شناسایی فعالیت تکتونیکی مرتبط با گسل‌ها در کمربند چین‌خورده رانده زاگرس، شواهد تغییر شکل سطحی تاقدیس‌های رخنمون یافته است. در همین راستا مطالعات زیادی در مورد فعالیت نسبی تکتونیکی این تاقدیس‌ها با استفاده از ابزارهای مورفومتری انجام گرفته و یا در حال انجام است. علاوه بر برآورد فعالیت تکتونیکی به روش اندازه‌گیری‌های مورفومتری، اندازه‌گیری پارمترهای لرزه‌خیزی زلزله‌های ثبت شده نیز کمک زیادی به فعالیت تکتونیکی کمربند چین‌خورده رانده زاگرس می‌نماید. در واقع پارمترهای لرزه‌های کمیته‌هایی از تاریخچه زمانی زمین‌لرزه را نشان می‌دهد که برای بیان و توصیف ویژگی‌های زمین‌لرزه کاربرد دارد. بنابراین با توجه به اهمیت لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه و مقایسه نتایج حاصل از مطالعات لرزه‌خیزی و اندیس‌های تکتونیک فعال، پارمترهای لرزه‌های a -value، b -value و β -value محاسبه شده است. پارمتر β -value برای تعیین تغییرات زمانی آهنگ لرزه‌خیزی در بازه‌ی زمانی متفاوت به کار می‌رود. پارمتر a -value رابطه مستقیمی با استعداد لرزه‌خیزی مناطق مورد مطالعه دارد و در واقع تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه را طی زمان نشان می‌دهد. هر چه مقدار آن افزایش یابد نشان‌دهنده تراکم زمین‌لرزه‌ها در آن منطقه است. میزان پارمتر b -value با مقدار تنش تجمع یافته در ناحیه رابطه عکس دارد و کم بودن مقدار آن نشانگر نسبت بالای تعداد زمین‌لرزه‌های بزرگ به کوچک در منطقه خواهد بود.



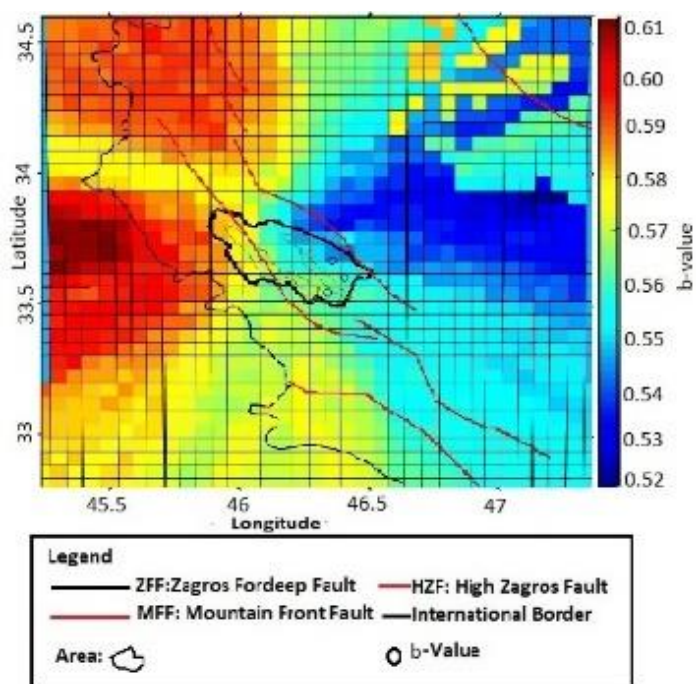
شکل ۵: نقشه کانون‌های زمین‌لرزه‌های سطحی به همراه بزرگی و گسل‌های اصلی پیرامون منطقه مورد مطالعه. (ب) نقشه تمرکز زمین‌لرزه‌ها پیرامون تاقدیس‌های مورد مطالعه.

به‌طور کلی هر چه میزان b -value کمتر باشد احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر بیشتر است. پارمتر β -value نیز آهنگ لرزه‌خیزی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که با کاهش یا افزایش این پارمتر، آهنگ لرزه‌خیزی نیز تغییر می‌کند. موضوع مهم در مورد ارتباط بین اندیس‌های مورفومتری اندازه‌گیری شده و پارمترهای لرزه‌خیزی این است که در این بخش از کمربند چین‌خورده رانده زاگرس، با توجه به پوشش ضخیم رسوبی، عمده فعالیت لرزه‌خیزی مربوط به گسل‌های بزرگ و پی‌سنگی و عمیق است. بنابراین اندازه‌گیری پارمترهای لرزه‌خیزی و به‌طور کلی تمرکز بالای زمین‌لرزه‌ها

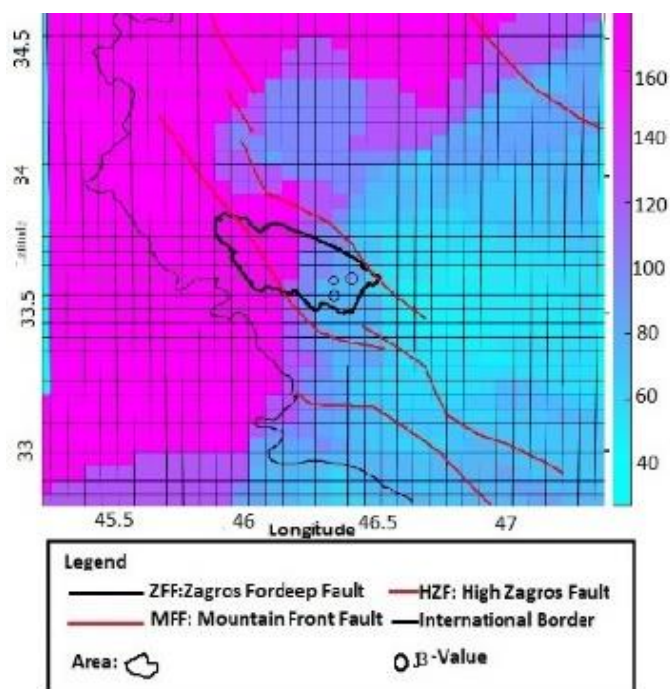
نشان دهنده فعالیت تکتونیکی بالا و بخش بالایی پوسته و عمدتاً زیر پوشش رسوبی است. اما اندازه گیری اندیس‌های مورفومتری فعالیت پوشش رسوبی سطحی و عمدتاً مرتبط با ساختارهای چین خورده و تاقدیس‌ها را نشان می‌دهد. در صورتی که در بخش‌هایی از کمر بند چین خورده رانده انطباق کاملی بین پارامترهای لرزه خیزی و فعالیت سطحی اندازه گیری شده بوسیله اندیس‌های مورفومتری باشد، می‌توان این بخش‌ها را از نظر فعالیت نسبی تکتونیکی به پهنه‌های با فعالیت تکتونیکی بالا تا متوسط تقسیم بندی نمود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای لرزه‌ای a -value، b -value و β value در منطقه مورد مطالعه انطباق خوبی با ساختارهای گسلی اصلی دارد. نقشه نهایی پارامتر a -value نشان می‌دهد که در بخش‌های نیمه خاوری و شمالی منطقه مورد مطالعه مقادیر این پارامتر بیشتر است، شکل (۶). در واقع مناطق نزدیک به گسل MFF از نظر لرزه خیزی و تعداد زمین لرزه‌ها فعال‌تر می‌باشند. در مورد پارامتر b -value نیز نتایج مشابه است و در واقع بخش خاوری منطقه مورد مطالعه و در مجارت گسل MFF، تعداد زمین لرزه‌های بزرگ بیشتر است. نتایج حاصل از پارامتر β -value در مقایسه با دو پارامتر دیگر تغییرات اندکی را نشان می‌دهد، (شکل ۶، ۷، ۸). در واقع در نیمه خاوری منطقه مورد مطالعه علاوه بر بخش شمالی بخش‌های جنوبی نیز آهنگ لرزه خیزی بالایی نشان می‌دهد. این موضوع به علت الگوی نرده بانی گسل MFF در بخش خاوری و جنوبی منطقه مورد مطالعه است و پایانه قطعه گسلی MFF در بخش‌های جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه فعالیت لرزه‌ای بالایی داشته است. فعالیت لرزه خیزی زیاد در راستای گسل MFF در منطقه مورد مطالعه قابل پیش‌بینی است، زیرا این گسل یکی از گسل‌های مهم و فعال منطقه زاگرس است و مرز جنوبی کمر بند چین خورده زاگرس را تشکیل می‌دهد. این راندگی، پوشیده و قطعه قطعه با خصوصیات ساختاری، توپوگرافی، زمین‌ریخت‌شناسی و لرزه‌زمین‌ساختی خاصی است و ترکیبی از قطعات رانده ناپیوسته با طول‌های ۱۵ تا ۱۱۵ کیلومتر است و طول کلی آن ۱۳۵۰ کیلومتر است. با مشخص شدن مناطق فعال‌تر با توجه به پارامترهای لرزه خیزی اندازه گیری شده، ارتباط این پارامترها با شواهد مورفومتری می‌تواند درک صحیح‌تر از شرایط تکتونیکی موجود در منطقه نشان دهد. بدین منظور با مقایسه نتایج حاصل از پارامترهای لرزه خیزی و اندیس‌های تکتونیک فعال می‌توان نتیجه گیری نمود که کدام شاخص‌های مورفومتری تطابق مناسبی با پارامترهای لرزه خیزی دارد. این موضوع می‌تواند به مطالعات بعدی در مورد شاخص‌های مورفومتری نیز کمک شایانی کند. در واقع پارامترهای لرزه خیزی با توجه به ثبت دستگاهی زمین لرزه‌ها از دقت بالایی برخوردار بوده و به طور نسبتاً دقیقی فعالیت مطلق و نسبی تکتونیکی مناطق را نشان می‌دهد و هر کدام از شاخص‌های مورفومتری که تطابق بهتری با پارامترهای لرزه خیزی داشته باشد، روش مناسب‌تری برای برآورد نسبی تکتونیک فعال است. مقایسه نتایج بدست آمده از پارامترهای لرزه خیزی و مطالعات تکتونیک فعال نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه، شاخص‌های RB ، Δa ، LNi ، Dd ، با مقادیر پارامتر a -value و b -value در مقایسه با دیگر شاخص‌های انطباق بیشتری دارند. همچنین با توجه به نقشه توزیع، β -value مقادیر این پارامتر در بخش‌های خاوری و جنوب خاوری، دارای بیشترین فراوانی بوده و با شاخص‌های Hi ، RB ، Dd ، Δa دارای بیشترین فراوانی در این منطقه می‌باشد. نکته مهم در مورد انطباق پارامترهای لرزه خیزی و شاخص‌های مورفومتری در منطقه مورد مطالعه این است که بیشترین انطباق را شاخص‌های مرتبط با شبکه زهکشی با پارامترهای لرزه خیزی دارند. دلیل این موضوع این است که این شاخص‌های مورفومتری مرتبط با شبکه زهکشی مثل RB ، $a\Delta$ ، Dd از آپلیفت یا بالآآمدگی تکتونیکی منطقه تاثیر زیادی می‌پذیرند و به نظر می‌رسد که به خوبی شواهد فعالیت‌های تکتونیکی اصلی زیر پوشش رسوبی را در خود ثبت می‌نمایند. البته این موضوع به این معنی نیست که دیگر شاخص‌ها از جمله شاخص‌های شکل حوضه که انطباق خوبی با پارامترهای لرزه خیزی ندارند، نتایج خوبی از تکتونیک فعال نشان نمی‌دهند. احتمالاً این شاخص‌ها از سنگ‌شناسی مناطق مورد مطالعه تاثیر زیادی می‌پذیرند و پدیده‌های سطحی نیز بر مقادیر این شاخص‌ها تاثیر می‌گذارند.



شکل ۶: پارامترهای لرزه‌ای a-value در منطقه مورد مطالعه



شکل ۷: پارامترهای لرزه‌ای b-value در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸: پارامترهای لرزه‌ای β -value در منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر نشان می‌دهد بیشترین فعالیت تکتونیکی، با توجه به سن چین خوردگی و میزان فرسایش، نسبت جهت چین ها، فاصله محور تاقدیس‌ها و نابرابری در دو یال تاقدیس‌ها، به ترتیب در تاقدیس‌های سیاه کوه در شرق منطقه و ثمور رخ داده است. تغییرات در هندسه چین‌های منطقه باعث ایجاد الگوی زهکشی داربستی در مناطق فعال شده است. بیشتر حوضه‌های باریک و کشیده، با الگوی زهکشی موازی و داربستی در دامنه‌های پرشیب تاقدیس‌های منطقه، گسترش یافته‌اند. الگوی آبراهه‌ها در حاشیه و تاقدیس فرسایش یافته سیاه کوه شبکه درختی و نشان دهنده قدمت و فرسایش پذیری بیشتر این تاقدیس‌ها نسبت به غرب منطقه می‌باشد. در بررسی آماری بین شاخص‌های مورد مطالعه، نتایج بیانگر همبستگی مثبت و نسبتاً قوی بین شاخص‌های $Dd-Ss$ ($r=0.668, p<0.01$) و همبستگی منفی قوی بین زوج شاخص‌های است که از این نکته مشخص می‌شود که تفاوت‌های موجود در سازندهای منطقه و تکتونیک، بیشترین تاثیر را بر روی متغیرها دارند. در پارامترهای لرزه‌ای، افزایش تعداد زمین لرزه‌ها در پارامتر a -value در غرب و شمال غرب منطقه، نشان دهنده تراکم زمین لرزه در طی زمان در این نقاط می‌باشد و کاهش تعداد زمین لرزه‌ها در پارامترهای b -value در شرق و شمال شرق منطقه بیانگر نسبت بالای تعداد زمین لرزه‌های بزرگ به کوچک در منطقه است. همچنین نتایج بدست آمده از پارامترهای لرزه‌ای a -value, b -value و β -value نشان می‌دهد شاخص‌های مورفومتری مرتبط با شبکه زهکشی مثل $RB, Dd, \Delta a$ واکنش سریعتری نسبت به پارامترهای لرزه خیزی دارند. این شاخص‌ها از بالا آمدگی تکتونیکی منطقه تاثیر زیادی می‌پذیرند و به نظر می‌رسد که به خوبی شواهد فعالیت‌های تکتونیکی اصلی زیر پوشش رسوبی را در خود ثبت می‌نمایند. شاخص‌ها مورفومتری مرتبط با شکل حوضه انطباق خوبی با پارامترهای لرزه خیزی ندارند و احتمالاً این شاخص‌ها از سنگ شناسی مناطق مورد مطالعه تاثیر زیادی می‌پذیرند و عوامل سطحی نیز بر مقادیر این شاخص‌ها تاثیر می‌گذارند. با توجه به فعالیت‌های موجود در این قسمت از منطقه، الگوی شبکه آبراهه‌ها نیز به ترتیب از قسمت شرق به غرب منطقه از شاخه‌ای به داربستی و موازی دارای تغییر می‌باشد و بین آب‌های جاری با الگوهای متفاوت و نحوه تشکیل آبراهه با رتبه‌ها و انشعابات مختلف و فعالیت تکتونیکی و تغییرات فرسایشی ارتباط برقرار بوده و می‌تواند دلایلی بر تله‌های هیدروکربوری یا منابع آب در مناطق فعال تکتونیکی در منطقه باشد.

منابع

- انصاری لاری، احمد؛ ثروتی، محمد رضا؛ رعیتی، زینب، ۱۳۹۰. بررسی ژئومورفولوژی تاقدیس طاهونه؛ لارستان، مجله جغرافیای طبیعی، سال چهارم، شماره ۴، صص ۷۳-۸۶.
- آقاباتی، سید علی، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صص ۱-۷۰۹.
- آرین، مهران، ۱۳۸۹. چین خوردگی، مرکز پژوهشی زمین شناسی فرازمین، چاپ اول، انتشارات قم، آثار نفیس، صص ۱-۳۰۷.
- بهرامی، شهرام؛ شایان، سیاوش، ۱۳۹۲. بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی های مورفومتریک شبکه زهکشی و سطوح مثلثی شکل تاقدیس دنه خشک، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره ۳، صص ۱۹۹-۲۲۰.
- بهرامی، شهرام؛ زنگنه اسدی، محمد علی؛ بهروجه، افروز، ۱۳۹۱. مقایسه خصوصیات مورفومتری تاقدیسها و کاربرد آن در اکتشاف نفت در زاگرس چین خورده، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳۶، صص ۱-۱۶.
- بیت اللهی، ع.، معتمد، پ.، ۱۳۸۹. محاسبه پارامترهای لرزه خیزی برای منطقه‌ی البرز مرکزی، پژوهشنامه ی زمینلرزه شناسی و مهندسی زمینلرزه، سال سیزدهم، شماره ی سوم و چهارم، پاییز و زمستان .
- بیت اللهی، ع.، رزاقیان، غ.، ۱۳۷۹. پهنه بندی گستره ایران بر اساس تغییرات نسبت ضرایب لرزه خیزی a/b ، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته سال سیزدهم، شماره ۲۹، پاییز و زمستان. صص ۷۵-۸۳.
- جهانگیری، ع.، ۱۳۹۰. تحلیل ساختاری و شواهد ریخت زمین ساختی تاقدیس قلاج، ایلام-قصر شیرین، باختر ایران، پایان نامه ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی.
- حاجی، ن.، ۱۳۹۶. مبانی زلزله شناسی مهندسی و تحلیل خطر زلزله، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
- رضائی مقدم، محمدحسین و محمد، احمدی، ۱۳۸۵. تحلیل ژئومورفولوژی کمی الگوی زهکشی شبکه آبراهه‌ای به کمک زاویه برخورد آن ها در زیر حوضه سرباس استان کرمانشاه، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۱، صص ۳۶۰-۱.
- علانی طالقانی، محمود، ۱۳۸۱. ژئومورفولوژی ایران، انتشارات قومس، صص ۱-۳۶۰.
- قاسمی، افشان؛ ثروتی، محمد رضا؛ بهرامی، شهرام؛ رحیم زاده، بهمن، ۱۳۹۸، تحلیل ژئومتری گنبد‌های نمکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی نمونه مطالعه: گنبد‌های نمکی منطقه لار فارس، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۷۵، صص ۱۳۷-۱۵۴.
- منصوری، رضا؛ سربازی، زهرا، ۱۳۹۶. بررسی وضعیت تکتونیک فعال تاقدیس بانکول (در زاگرس چین خورده) با به کارگیری شاخص های مورفوتکتونیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، نشریه جغرافیای طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۱۲۵-۱۴۲.
- *Ahmadi, R., Ouali, J., Mercier, E., Mansy, J.L., 2006. The Geomorphologic Responses to Hinge Migration in the Fault-Related Folds in the Southern Tunisian Atlas, Journal of Structural Geology, 28, pp. 721-728.*
- *Bahrami, s., 2013. Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins: Implications for active tectonics. Tectonophysics, Vol. 608, 914-928.*
- *Bahrami, S., Capolongo, D., & Rahdan, M. M., 2020. Morphometry of drainage basins and stream networks as an indicator of active fold growth (Gorm anticline, Fars Province, Iran)”, Geomorphology, 355, pp. 68-86.*
- *Bahrami, S., 2012., Morphotectonic evolution of triangular facets and wine-glass valleys in the Noakoh anticline, Zagros, Iran: implications for active tectonics”, Geomorphology, 159, pp. 37-49.*
- *Bahrami, S. 2013., Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekhoshk anticline, Zagros, Iran, Geomorphology, 160, 180-181, pp. 217-230*
- *Berberian, M., 1995., Master “Blind” thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. Tectonophysics 241, 193- 224. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)00185-C](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)00185-C).*

- Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2001., *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science, Oxford (274 pp.).
- Burbery, C.M, Cosgrove, J. W, Liu, J. G., 2008., *Spatial arrangement of fold types in the Zagros Simply Folded Belt, Iran, indicated by landform morphology and drainage pattern characteristics*, *Journal of Maps*, p.417-430.
- Burbery, C. M, Cosgrove, J. W, Liu, J. G., 2010., *A study of fold characteristics and deformation style using the evolution of the land surface, Zagros Simply Folded Belt, Iran*, *Geological Society of London*, p.139–153
- Ciccacci, S., Fredi, P., Lupia Palmieri, E., Pugliese, F., 1986., *Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters*. *International Geomorphology*, Vol. 2, 33–48
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E.A., 2008., *Assessment of Relative Active Tectonics, Southwest Border of the Sierra Nevada (Southern Spain)* *Geomorphology*, Vol. 96, Pp 150-173.
- Faghih, A., Samani, B., Kusky, T., Khabazi, S., Roshanak, R., 2012., *Geomorphologic assessment of relative tectonic activity in the Maharlou Lake Basin, Zagros Mountains of Iran*. *Geol. J.* 47, 30–40.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., 2008., *The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily)*. *Geomorphology*, Vol. 95, 260-273
- Ishimoto, M. and Iida, K. 1939. *Observations of Earthquakes Registered with the Micro Seismograph Constructed Recently*. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 17, 443-478.
- Keller, E.A., Gurrola, L., Tierney, T.E., 1999. *Geomorphic criteria to determine direction of lateral propagation of reverse faulting and folding*. *Geology* 27,515 -518.
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*, Second ed. Prentice Hall, New Jersey. 362 p
- Novelo-Casanova, D.A., Martinez-Bringas, A. and Valdes-Gonzalez, C.,2006.,*Temporal variations of Q_c-1 and b-values associated to the December., 2000–January 2001 volcanic activity at the Popocatepetl volcano, Mexico*. *Journal of volcanology and geothermal research*, (3-4), pp.347-358.
- Pirouz, M., Avouac, J. P., Hassanzadeh, J., Kirschvink, J. L., & Bahroudi, A.,2017. *Early Neogene foreland of the Zagros, implications for the initial closure of the Neo-Tethys and kinematics of crustal shortening*”, *Earth and Planetary Science Letters*, 477, pp. 168-182.
- Ramírez-Herrera, M.T., 1998. *Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt*. *Earth Surf. Process. Landf.* 23,317 --332
- Strahler, A.N., 1952. *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*. *Geol. Soc. Am. Bull.* 63, 1117–1142.
- Tucker, G.E., Catani, F., Rinaldo, A., Bras, R.L., 2001. *Statistical analysis of drainage density from digital terrain data*, *Geomorphology*, V.36, p.187–202.