

## بررسی نقش تکتونیک در ناهنجاری مورفومتری شبکه‌ی زهکشی در چهار حوضه‌ی آبخیز

### در زاگرس

شهرام بهرامی\* - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم سبزوار

مهران مقصودی - دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه تهران

کاظم بهرامی - دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۲/۴      تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۴/۲۷

### چکیده

این پژوهش، نقش تکتونیک در ناهنجاری سیستم زهکشی در چهار حوضه‌ی زهکشی پیران، پاتاق، کمندان و دره‌تخت در زاگرس شمال‌غرب را بررسی کرده است. شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی ( $\Delta a$ )، شاخص انشعابات ( $R$ )، شاخص عدم تقارن حوضه ( $AF$ )، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه ( $T$ ) و الگوی زهکشی پارامترهای مورد بررسی این پژوهش هستند. پارامترهای مذکور، بر اساس نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ به‌دست آمد. خطوط منحنی میزان، با اختلاف ارتفاع ۲۰ متر حوضه‌ها در محیط نرم‌افزار ILWIS رقمی شد و بر اساس آن، نقشه‌ی مدل ارتفاعی رقمی حوضه‌ها و شبکه‌های زهکشی با درجه‌های مختلف به‌روش استرالر تهیه شد. بعد از تعیین مسیرهای زهکشی ناهنجار و تعداد آبراهه‌ها در هر مسیر، شاخص‌های ناهنجاری زهکشی برای حوضه‌ها تعیین شد. شاخص‌های عدم تقارن حوضه ( $AF$ ) و شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه ( $T$ ) بر اساس تعیین خط مرکز حوضه‌ها و رودخانه‌های اصلی حوضه‌ها محاسبه شدند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مقدار شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی ( $\Delta a$ ) در حوضه‌ی پاتاق و پیران که در زاگرس چین‌خورده قرار دارند، نسبت به دو حوضه‌ی دیگر در زاگرس رورانده، بیشتر است. شاخص مذکور در حوضه‌های پاتاق، پیران، کمندان و دره‌تخت به‌ترتیب ۲/۰۶، ۱/۶۵، ۱/۲۴، ۱/۱۵ است. حداکثر پارامتر  $R$  (شاخص انشعابات) نیز در حوضه‌ی پاتاق (۱/۰۱) و حداقل آن در حوضه‌ی کمندان (۰/۷۵) است. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد، رابطه‌ی معنادار مستقیمی بین پارامتر  $\Delta a$  و  $AF$  وجود دارد، به‌طوری‌که ضریب همبستگی بین این دو متغیر ۹۶ درصد است. ضریب همبستگی بین  $\Delta a$  و  $T$  نیز ۸۷ درصد است؛ با این وجود، بررسی رابطه بین پارامتر  $R$  و  $AF$  نشان می‌دهد که رابطه‌ی مستقیمی بین این دو متغیر وجود ندارد و ضریب همبستگی آنها حدود ۴۴ درصد است. ضریب همبستگی بین  $R$  و  $T$  نیز ضعیف (۲۳ درصد) است. مطالعه‌ی الگوی زهکشی در حوضه‌ها نشان داد که حوضه‌های قدیمی‌تر و فرسایش‌یافته‌تر واقع در زاگرس رورانده (کمدان و دره‌تخت) الگوی زهکشی شبکه‌ی درختی دارند. الگوی زهکشی کلی در دو حوضه‌ی پیران و پاتاق (در بخش جوان‌تر و فعال‌تر زاگرس چین‌خورده) داریستی است، با این وجود، در این حوضه‌ها در پهلوهای پرشیب طاقدیس‌ها، الگوی موازی توسعه یافته است، درحالی‌که در مناطق کم‌شیب ساختمانی، الگوی شبکه‌ی درختی دیده می‌شود. به‌طور کلی، این پژوهش نشان می‌دهد که ناهنجاری زهکشی در حوضه‌های مورد مطالعه، متأثر از تکتونیک بوده و پارامتر  $\Delta a$  در مقایسه با پارامتر  $R$ ، کارایی بالایی در تعیین تکتونیک فعال حوضه‌ها دارد.

کلیدواژه‌ها: ناهنجاری زهکشی، شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی، شاخص انشعابات، پیران، کمندان، تکتونیک، زاگرس.

## مقدمه

رشته‌کوه زاگرس در محل برخورد پلاتفرم عربستان و اوراسیا، نمونه‌ی یک کمربند کوه‌زایی جوان و فعال است. شواهد زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و لرزه‌شناسی نشان می‌دهد که زاگرس از شمال شرق به سمت جنوب غرب در حال بالآمدگی است. به عبارتی، ساختارهای زاگرس از شمال شرق به سمت جنوب غرب جوان‌تر می‌شوند (بربریان<sup>۱</sup>، ۱۹۹۵، ۲۰۱). بررسی‌ها نشان می‌دهد که فعالیت‌های تکتونیک و مقدار بالآمدگی در بخش‌های مختلف زاگرس متفاوت است (نیلوفروشان و همکاران، ۲۰۰۳، ۴۱۱؛ ورنانت<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۴، ۳۸۱؛ حسامی و همکاران، ۲۰۰۶، ۱۴۷). از شواهد بالآمدگی زاگرس می‌توان به وقوع زلزله‌ها (بلانک<sup>۳</sup> و همکاران ۲۰۰۳، ۴۰۵)، کوتاه‌شدگی طاق‌دیس‌ها، برش طاق‌دیس‌ها توسط رودخانه‌ها، پادگانه‌های بالآمده و مئاندرهای رودخانه‌ای (بربریان، ۱۹۹۵، ۱۹۹)، بالآمدگی کانال‌های آبیاری قدیمی (حسامی و دیگران، ۲۰۰۶، ۱۴۳) و شواهد ژئومورفیک بالآمدگی چین‌ها مانند الگوی شبکه‌ی زهکشی (ابر لندر، ۱۹۸۵، ۱۶۲؛ رنگزن و اقبال‌الدین، ۱۹۹۵، ۲۱۶؛ رامسی و همکاران، ۲۰۰۸، ۳۲؛ پیراسته و همکاران، ۲۰۱۱، ۱۷۱) اشاره کرد.

از میان شواهد ژئومورفولوژیک تکتونیک‌های فعال، شبکه‌های زهکشی و خصوصیات مربوط به آنها مانند الگوی زهکشی، تراکم زهکشی، ناهنجاری‌های زهکشی، نحوه‌ی اتصال (زاویه‌ی اتصال شبکه‌ها) و جهت شبکه‌ها در شناسایی تکتونیک‌های فعال و تفاوت‌های مکانی آنها نقش مهمی دارند.

دفونتینز<sup>۴</sup> و چوروویکز<sup>۵</sup> (۱۹۹۱، ۲۴۸) نقش عوامل ساختمانی در ایجاد انواع الگوهای زهکشی، زاویه‌ی اتصال شبکه‌ها و تراکم زهکشی در حوضه‌ی زایره<sup>۶</sup> در آفریقای مرکزی را بررسی کردند. دفونتینز و همکاران (۱۹۹۲، ۲۰۴) نقش گسل‌های فعال در الگوی زهکشی و زاویه‌ی تلاقی یا برخورد شبکه‌های زهکشی در مراکش را مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین دفونتینز و همکاران (۱۹۹۴، ۲۴۷) به بررسی نقش تکتونیک‌های فعال در ایجاد ناهنجاری‌های زهکشی و الگوهای آبراهه‌ای مختلف در تایوان پرداختند. جکسون<sup>۷</sup> و همکاران (۱۹۹۶، ۲۲۱) تکامل ساختمانی سیستم‌های چین‌خورده و گسلی در اوتاگوی مرکزی<sup>۸</sup> در نیوزلند را بر اساس شواهد تغییرات در شبکه‌های زهکشی شناسایی و تبیین کردند. جکسون و همکاران (۱۹۹۸، ۳۸۱) در یک مطالعه‌ی دقیق، آثار کج‌شدگی چین‌ها و نقش گسل‌ها در الگوی زهکشی و انحراف مسیر شبکه‌ی آب‌ها در ناحیه‌ی ماناواتو<sup>۹</sup> در نیوزلند را مورد ارزیابی قرار دادند. تالینگ و سوتر<sup>۱۰</sup>

1. Berberian
2. Vernant
3. Blance
4. Deffontaines
5. Chorowicz
6. Zaire
7. Jackson
8. Central Otago
9. Manawatu
10. Talling and Sowler

(۱۹۹۹، ۸۱۶) نقش تکتونیک و بالآمدگی طاقدیس ویلر ریج<sup>۱</sup> در کالیفرنیا را در تراکم زهکشی بررسی کردند. مطالعه‌ی آنها نشان داد که تراکم زهکشی در پهلوهای پُرشیب کمتر است. گولدزورسی<sup>۲</sup> و جکسون (۲۰۰۰، ۹۷۵) نقش تکامل گسل‌های عادی در تغییر مسیر آبراهه‌ها در یونان (در حوضه‌ی لاریسا<sup>۳</sup>) را تجزیه و تحلیل کردند. سیمونی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۳، ۲۵۸) نقش بالآمدگی در تفاوت‌های مکانی الگو و تراکم زهکشی در آپنین شمالی<sup>۵</sup> در ایتالیا را بررسی کردند. مطالعه‌ی آنها نشان داد که تفاوت‌های تکتونیکی در بخش‌های مختلف آپنین باعث تفاوت زیادی در الگوی زهکشی و تراکم زهکشی شده است و ناهنجاری‌های زهکشی، از تکتونیک تأثیر یافته‌است. جیمیسون<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۴، ۵۶) تأثیر عوامل تکتونیکی در نسبت انشعابات، تراکم زهکشی، انتگرال هیپوسومتريک شبکه‌های رودخانه‌ای در هیمالیا در شمال هند را مورد مطالعه قرار داده و مشخص شد که عوامل تکتونیکی، نقش مهمی در تفاوت ویژگی‌های مورفومتری شبکه‌های زهکشی اعمال می‌کنند. سونگ و چن<sup>۷</sup> (۲۰۰۴، ۳۹۳) نقش گسل خوردگی و ساختمان طاقدیس پاکوشان در مرکز تایوان را در جهت‌گیری و الگوی شبکه‌ی زهکشی بررسی کردند. دلکایلو<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۶، ۲۴۷) نقش بالآمدگی دو طاقدیس جانوری<sup>۹</sup> و چاندیگار<sup>۱۰</sup> در شمال غرب هند را در ایجاد الگوهای مختلف آبراهه‌ای تحلیل کردند. احمدی و همکاران (۲۰۰۶، ۷۲۷) واکنش شبکه‌های زهکشی به یک طاقدیس در حال رشد با فرود محوری دوطرفه را در کوه‌های اطلس در تونس مورد ارزیابی قرار دادند. ژانگ<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶، ۲۴۸) در مطالعه‌ای در شرق فلات تبت نشان دادند که مقدار کم نسبت انشعابات و طول رودخانه‌ها در کوه‌های مینشان<sup>۱۲</sup> به دلیل بالآمدگی فعال شرق این کوه‌ها است. رامسی و همکاران (۲۰۰۸، ۳۲) تکامل شبکه‌ی زهکشی و تغییرات الگوی زهکشی در طاقدیس‌های در حال رشد (در امتداد محور) در زاگرس فارس (طاقدیس‌های کوه سفیدار، کوه هندون و کوه خنج) را ارزیابی کردند. پیراسته و همکاران (۲۰۱۱، ۱۷۱) فرایندهای تکتونیکی زاگرس را بر اساس تغییرات شبکه‌های رودخانه‌ای در یک دوره‌ی زمانی (۱۹۵۰ تا ۲۰۰۱) را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در زمینه‌ی سازماندهی و نظم‌وترتیب رده‌های مختلف آبراهه‌ای و رابطه آن با عوامل تکتونیکی نیز مطالعاتی انجام شده است. سیکاسی<sup>۱۳</sup> و همکاران (۱۹۸۶، ۲۳۴) شاخصی به نام ناهنجاری سلسله‌مراتبی تعریف کردند که بر اساس آن تأثیر عوامل تکتونیکی در ناهنجاری‌های سلسله‌مراتبی مشخص شده است. آنها شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی را به صورت نسبت حداقل آبراهه‌های درجه یک (که باید به شبکه‌ی زهکشی اضافه شوند تا شبکه‌ها نظم سلسله‌مراتبی داشته باشند) به تعداد کل آبراهه‌های درجه یک موجود در حوضه

1. Wheeler Ridge
2. Goldsworthy
3. Larissa
4. Simoni
5. Northern Apennines
6. Jamieson
7. Sung and Chen
8. Delcaillau
9. Janauri
10. Chandigarh
11. Zhang
12. Minshan
13. Ciccacci

تعریف کردند. گارنیری و پیروتا<sup>۱</sup> (۲۰۰۸، ۲۶۷) نیز از شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی، شاخص انشعابات، برای بررسی تأثیر تکتونیک در چهار حوضه‌ی زهکشی در شمال شرق سیسیلی ایتالیا استفاده کردند. بررسی آنها نشان داد که تکتونیک‌های فعال، نظم شبکه‌ی زهکشی را بهم می‌زند و مقدار شاخص ناهنجاری زهکشی حوضه‌های تکتونیک با فعالیت بالا، بیشتر از حوضه‌های تکتونیک با فعالیت پایین است.

هدف این پژوهش، بررسی خصوصیات مورفومتریکی شبکه‌های زهکشی، نظم و ترتیب و الگوی زهکشی، ناهنجاری شبکه‌ی زهکشی به‌ویژه شاخص‌های ناهنجاری سلسله‌مراتبی آبراهه‌ها در چهار حوضه‌ی زهکشی در زاگرس چین‌خورده و رورانده و بررسی تأثیر تکتونیک بر شاخص‌های مورفومتریکی شبکه‌ی زهکشی است.

## مواد و روش‌ها

برای بررسی ویژگی‌های مورفومتریکی شبکه‌ی زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک در چهار حوضه‌ی زهکشی در زاگرس، محدوده‌ی حوضه‌های مطالعاتی در نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تعیین شد. خطوط منحنی میزان، با اختلاف ارتفاع ۲۰ متر حوضه‌ها در محیط نرم‌افزار الویس رقومی شد و بر اساس آن نقشه‌ی مدل ارتفاعی رقومی حوضه‌ها و شبکه‌های زهکشی با درجه‌های مختلف به‌روش استراهلر (اهنرت<sup>۲</sup>، ۱۹۹، ۲۰۵) تهیه شد.

در این پژوهش برای محاسبه‌ی شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی<sup>۳</sup> ( $\Delta a$ )، ابتدا تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی<sup>۴</sup> (Ha) به‌دست‌آمد (سیکاسی و همکاران، ۱۹۸۶، ۲۳۴؛ گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸، ۲۶۷). در سیستم شبکه‌ی زهکشی، هر آبراهه درجه ۱ اگر به آبراهه ۲ وارد شود، نظم سلسله‌مراتبی دارد، اما آبراهه‌های درجه ۱ که وارد آبراهه‌های درجه ۳، ۴ و بالاتر شوند، ناهنجاری سلسله‌مراتبی دارند. بنابراین، به این آبراهه‌های درجه ۱ که ناهنجاری دارند، باید به‌صورت فرضی آبراهه‌هایی اضافه شود، تا نظم سلسله‌مراتبی داشته باشند. به‌عنوان مثال، اگر به آبراهه‌های درجه ۱ که وارد آبراهه درجه ۳ می‌شوند، یک آبراهه فرضی اضافه کنیم، شبکه منظم می‌شود (آبراهه درجه ۱ قبلی به درجه ۲ تبدیل شده و هنگامی که درجه ۲ وارد درجه ۳ می‌شود، شبکه فاقد ناهنجاری خواهد شد). همچنین، برای آبراهه‌های درجه ۱ که به درجه ۴ وارد می‌شوند، با اضافه کردن ۳ آبراهه‌ی درجه ۱ فرضی، شبکه‌ی زهکشی دارای نظم سلسله‌مراتبی می‌شود. جدول شماره ۱ تعداد آبراهه‌های درجه ۱ که لازم است برای مسیرهای ناهنجار (مسیرهایی که به درجه به‌علاوه ۱ بالاتر از خود وارد نشده، بلکه به مسیرهای به‌علاوه ۲ و بالاتر از خود وارد می‌شوند) به‌صورت فرضی اضافه شوند را نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، اگر حوضه‌ای یک آبراهه درجه ۲ داشته باشد که وارد آبراهه درجه ۴ می‌شود، با اضافه کردن ۲ آبراهه درجه ۱ به‌صورت تئوری، شبکه‌ی مذکور از نظم سلسله‌مراتبی برخوردار می‌شود. همچنین به‌عنوان نمونه، اگر حوضه‌ای ۱۰۰ آبراهه درجه ۱ داشته باشد که وارد درجه ۶ می‌شوند، باید تعداد ۱۵۰۰ آبراهه درجه ۱ به‌صورت فرضی به شبکه‌ی زهکشی اضافه شود. به‌عبارتی دیگر، به‌ازای هر آبراهه درجه ۱ که وارد درجه ۶

1. Guarnieri and Pirrotta

2. Ahnert

3. Hierarchical anomaly index

4. Hierarchical anomaly number

می‌شود باید ۱۵ آبراهه درجه ۱ اضافه شود. در این مقاله معادله‌ی ریاضی مربوط به محاسبه‌ی تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Ha) برای مسیرهای زهکشی ناهنجاری ( $x \rightarrow y$ ) ارائه شده است (معادله ۱ و ۲). به‌عنوان مثال، برای مسیر ناهنجار ۱ به ۵، مقدار Ha، عدد ۷ به‌دست آمده است.

$$Ha(x \rightarrow y) = h(y-1) - h(x) \quad y > x \quad (1)$$

$$h(x, y) = 2^{(x,y)-1} \quad (2)$$

مثال:

$$Ha(1 \rightarrow 5) = h(5-1) - h(1) = h(4) - h(1) \quad h(1) = 2^{(1-1)} = 2^0 = 1$$

$$Ha(1 \rightarrow 5) = 8 - 1 = 7 \quad h(4) = 2^{(4-1)} = 2^3 = 8$$

در این پژوهش بعد از تعیین مسیرهای ناهنجار و تعداد آبراهه‌ها در مسیرهای ناهنجار و ضرب آنها در ستون سمت چپ جدول شماره ۱، تعداد آبراهه‌های درجه ۱ فرضی اضافه شده به هر مسیر ناهنجار محاسبه شد. Ha شامل مجموع آبراهه‌های درجه ۱ اضافه شده فرضی در تمام مسیرهای ناهنجار، و  $\Delta a$  (شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی) شامل عدد Ha تقسیم بر تعداد آبراهه‌های درجه ۱ واقعی کل حوضه هستند.

جدول ۱. تعداد آبراهه‌های فرضی درجه ۱ مورد نیاز برای منظم کردن مسیرهای ناهنجار

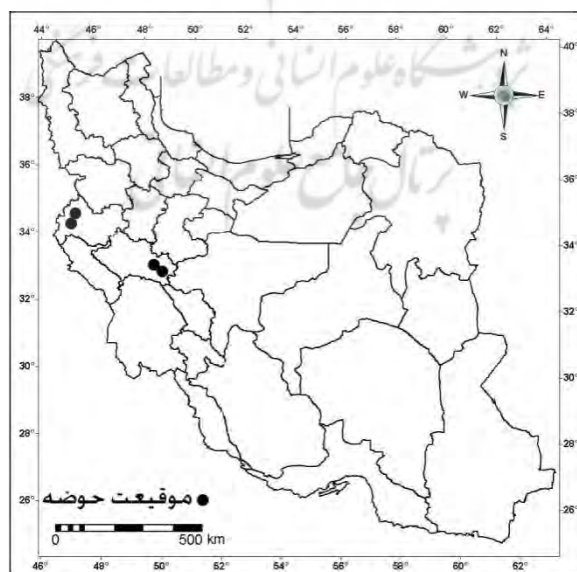
حد اقل تعداد آبراهه‌های فرضی درجه ۱ مورد نیاز برای منظم کردن (یک آبراهه در مسیرهای ناهنجار (Ha))	مسیر آبراهه‌هایی که ناهنجاری سلسله‌مراتبی دارند در یک حوضه درجه ۶
۱	۱→۳
۳	۱→۴
۷	۱→۵
۱۵	۱→۶
۲	۲→۴
۶	۲→۵
۱۴	۲→۶
۴	۳→۵
۱۲	۳→۶
۸	۴→۶

منبع: معادلات ۱ و ۲: نگارنده

بعد از تعیین Ha و  $\Delta a$ ، برای بررسی تأثیر تکتونیک در ناهنجاری زهکشی حوضه‌ها، دو پارامتر AF (فاکتور عدم تقارن حوضه) و T (تقارن توپوگرافی عرضی حوضه) محاسبه شدند. پارامترهای مذکور با استفاده از چند مقطع عرضی حوضه، تعیین خط وسط حوضه‌ی زهکشی و موقعیت طولانی‌ترین آبراهه حوضه در نرم‌افزار الویس محاسبه شدند. در نهایت میزان تأثیر تکتونیک بر ناهنجاری شبکه‌ی آبراهه‌ها در حوضه‌های مورد بررسی با استفاده از روابط خطی و ضریب همبستگی پارامترها تعیین و تجزیه و تحلیل شد.

## منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شامل چهار حوضه‌ی زهکشی در استان‌های کرمانشاه و لرستان هستند. دو حوضه‌ی پیران و پاطاق، در استان کرمانشاه، بین شهرستان دالاهو و سرپل ذهاب قرار گرفته‌اند. حوضه‌های کمندان و درّه‌تخت در استان لرستان، در جنوب و جنوب‌غرب ازنا و در دامنه‌ی شمال شرقی اشترانکوه واقع شده‌اند. شکل ۱ موقعیت حوضه‌های مطالعه‌ی را در ایران نشان می‌دهد. حوضه‌های پیران، پاطاق، کمندان و درّه‌تخت به ترتیب ۱۴۲/۹، ۱۹۲/۶، ۳۰/۰۲ و ۳۲/۹ کیلومتر مربع وسعت دارند. مرتفع‌ترین نقطه‌ی حوضه‌ی پیران ۲۴۶۰ متر (قله شاهان در شمال شرق حوضه) و پست‌ترین نقطه‌ی آن ۶۳۰ متر در غرب آن قرار دارد. حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه‌ی پاطاق به ترتیب ۵۸۰ (در شمال غرب) و ۲۴۸۰ متر (نواکوه در جنوب غرب حوضه) است. حداکثر ارتفاع در دو حوضه‌ی کمندان و درّه‌تخت ۳۸۸۸ متر (قله‌ی بین دو حوضه در منتهی‌الیه جنوبی درّه‌تخت) است. حداقل ارتفاع در حوضه‌های کمندان و درّه‌تخت، به ترتیب ۲۱۰۰ و ۱۹۸۰ متر است. حوضه‌های پیران و پاطاق، بخش بالادست حوضه آبریز الوند هستند. دبی متوسط سالانه‌ی رودخانه الوند، در ۵۰۰ متر پایین‌تر از خروجی حوضه‌ی پاطاق، در ایستگاه هیدرومتری سرپل ذهاب (دوره‌ی آماری ۱۳۵۸-۱۳۳۲) ۵/۲ مترمکعب در ثانیه است. حوضه‌های کمندان و درّه‌تخت، بخش بالادست حوضه‌ی رودخانه‌ی ماربر هستند. بر اساس ایستگاه هیدرومتری کمندان (در خروجی حوضه)، در دوره‌ی آماری ۱۳۸۰-۱۳۶۱، دبی متوسط سالانه‌ی رودخانه کمندان ۱/۴۶ مترمکعب محاسبه شده است. دبی متوسط سالانه‌ی ایستگاه هیدرومتری درّه‌تخت، در خروجی حوضه‌ی درّه‌تخت (دوره‌ی آماری ۱۳۸۰-۱۳۶۳) ۱/۳۶ مترمکعب در ثانیه است. متوسط شیب حوضه‌های پیران، پاطاق، کمندان و درّه‌تخت به ترتیب ۳۸/۹۳، ۳۰/۹، ۶۹/۹ و ۶۷/۷ درصد محاسبه شده است.



شکل ۱. موقعیت حوضه‌های مورد مطالعه در نقشه‌ی ایران

از نظر زمین‌شناسی دو حوضه‌ی پیران و پاطاق در پهنه‌ی ساختمانی زاگرس چین‌خورده و دو حوضه‌ی کمندان و درّه‌تخت در پهنه‌ی زاگرس رورانده قرار گرفته‌اند. حوضه‌ی پیران، بخشی از طاق‌دیس دالاهو و ناودیس فشرده ریجاب

است. حوضه‌ی پاتاق، بخشی از طاق‌دیس فرسایش‌یافته (کمب) نواکوه و ناودیس باریک سرمیل - شیره چقا و دامنه‌ی جنوب‌غربی طاق‌دیس دالاهو را شامل می‌شود. دو حوضه‌ی کمندان و درّه‌تخت نیز در دیواره پرشیب شمال‌شرقی اشترانکوه قرار گرفته‌اند. از نظر چینه‌شناسی حوضه‌ی پیران شامل سازندهای آسماری - شهبازان (ash) شامل دولومیت و آهک دولومیتی، امیران (ka) شامل سیلت استون، ماسه‌سنگ و گنگلومرا، گچساران (lf) شامل انیدریت، نمک لایه‌های نازک آهک و مارن است (شکل ۲) که به ترتیب ۷۸/۶، ۰/۱۴ و ۲۱/۱۸ درصد از مساحت کل حوضه را شامل می‌شوند. حوضه‌ی پاتاق شامل سازندهای آسماری؛ (as) شامل آهک، آسماری - شهبازان، تله زنگ؛ (et) شامل آهک، امیران، گرو؛ (kgf) شامل شیل، آهک و آهک‌های شیلی، گورپی؛ (kg) شامل شیل، مارن و آهک مارنی، آجاجاری؛ (uf) شامل ماسه‌سنگ‌های آهکی - گچی، مارن و سیلت استون، گچساران و آبرفت‌های کواترنری است (شکل ۲) که این سازندها به ترتیب ۰/۹۴، ۴۰/۵، ۸/۴۷، ۱۱/۸۷، ۳/۵، ۱/۱۶، ۸/۱، ۰/۶ و ۲۴/۸۷ درصد مساحت کل حوضه را دربرمی‌گیرند (شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۴۲، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ قصر شیرین).

در حوضه‌ی درّه‌تخت واحدهای سنگی آهک مارنی (E1)، آهک دولومیتی (JK)، برش رادیولاریتی (JKR)، آهک نازک لایه (K1)، و مارن و آهک (O1) به ترتیب ۲۵/۲۶، ۵۷/۶۸، ۱۵/۲۵، ۱/۶۶ و ۰/۱۶ درصد از کل مساحت حوضه را شامل می‌شوند (شکل ۳). در حوضه‌ی کمندان واحدهای سنگی آهک مارنی (E1)، آهک دولومیتی (JK)، برش رادیولاریتی (JKR)، آهک نازک لایه (K1)، مارن و آهک (O1) و کنگلومرا (Qc2) به ترتیب ۲/۵۲، ۵۵/۰۷، ۲۹/۴۳، ۲/۲۸، ۸/۰۵ و ۲/۶۷ درصد از کل مساحت حوضه را دربرمی‌گیرند (سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۳۷۱، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ خرم آباد).

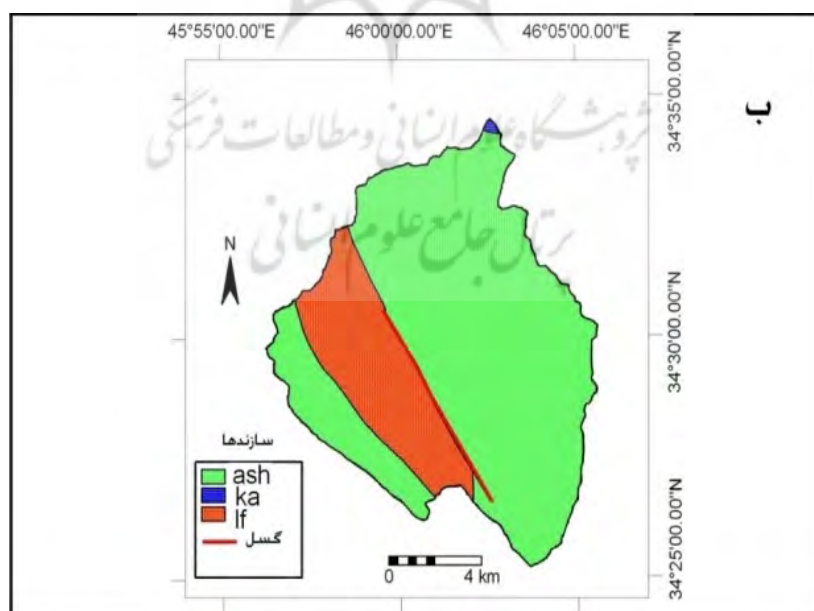
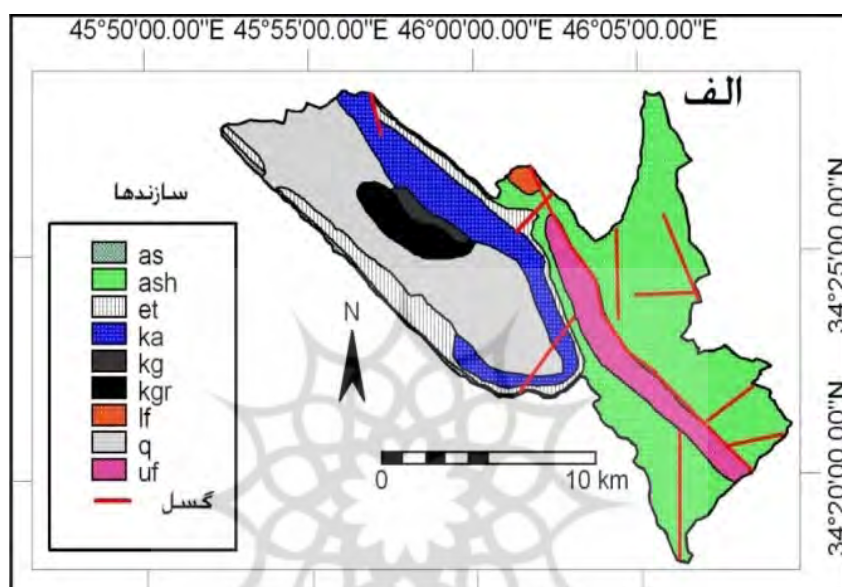
بارش متوسط سالانه‌ی ایستگاه‌های باران سنج پیران (دوره‌ی آماری ۱۳۴۴-۱۳۴۵) و حبیبوند در حوضه‌ی پاتاق (دوره‌ی آماری ۱۳۴۵-۱۳۴۶) به ترتیب ۵۵۲ و ۵۷۹ میلی‌متر است. بارش متوسط سالانه ایستگاه‌های باران سنج کمندان (دوره‌ی آماری ۱۳۴۶-۱۳۴۹) و درّه‌تخت (دوره‌ی آماری ۱۳۴۶-۱۳۴۹) به ترتیب ۷۵۲ و ۷۸۰ میلی‌متر است.

## یافته‌های تحقیق

حوضه‌های زهکشی واقع در رشته‌کوه‌های زاگرس به‌علت تأثیرپذیری از تکتونیک‌های فعال و تفاوت در وضعیت تکتونیک در بخش‌های مختلف آن، شبکه‌های زهکشی متفاوتی دارند، به‌طوری‌که، مورفولوژی و الگوی آبراهه‌ها در حوضه‌های مختلف، متفاوت است. در این پژوهش برای بررسی نظم‌وترتیب و ناهنجاری آبراهه‌ها و ارتباط آنها با عوامل تکتونیک پارامترهای Ha (تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی)، Δa (شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی)، H (شاخص انشعابات)، AF (فاکتور عدم تقارن حوضه)، T (تقارن توپوگرافی عرضی حوضه) و الگوی زهکشی بررسی شده است. برای محاسبه‌ی پارامترهای مذکور، ابتدا نقشه‌ی شبکه‌ی آبراهه‌ها با درجه‌های مختلف حوضه‌ها تهیه شد (شکل‌های ۴ و ۵) و بر اساس آن تعداد آبراهه‌ها در مسیرهای مختلف و دیگر پارامترهای مورفومتریک حوضه‌ها استخراج شد.

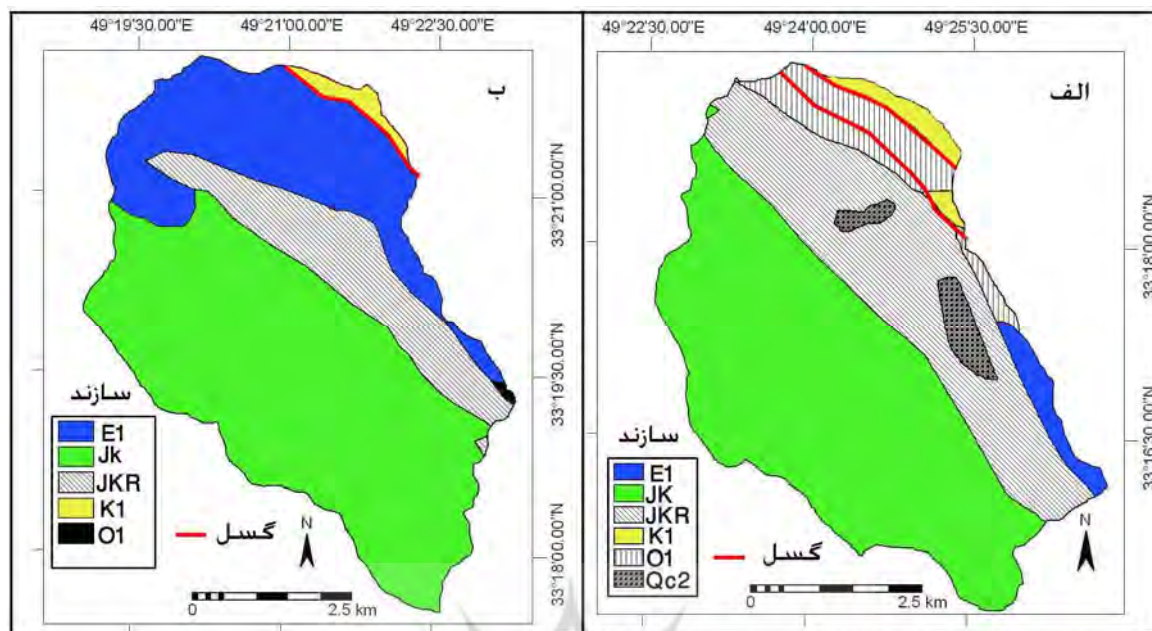
### تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Ha)

پارامتر Ha شامل حداقل آبراهه‌های درجه ۱ است که باید به‌طور فرضی به شبکه‌ی زهکشی اضافه شوند تا مسیرها نظم سلسله‌مراتبی داشته باشند (سیکاسی و همکاران، ۱۹۸۶، ۲۳۴؛ گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸، ۲۶۷). برای محاسبه‌ی این شاخص ابتدا تعداد آبراهه‌ها با درجه‌های مختلف حوضه‌ها تعیین شد.



شکل ۲. سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی پاتاق (الف) و پیران (ب)





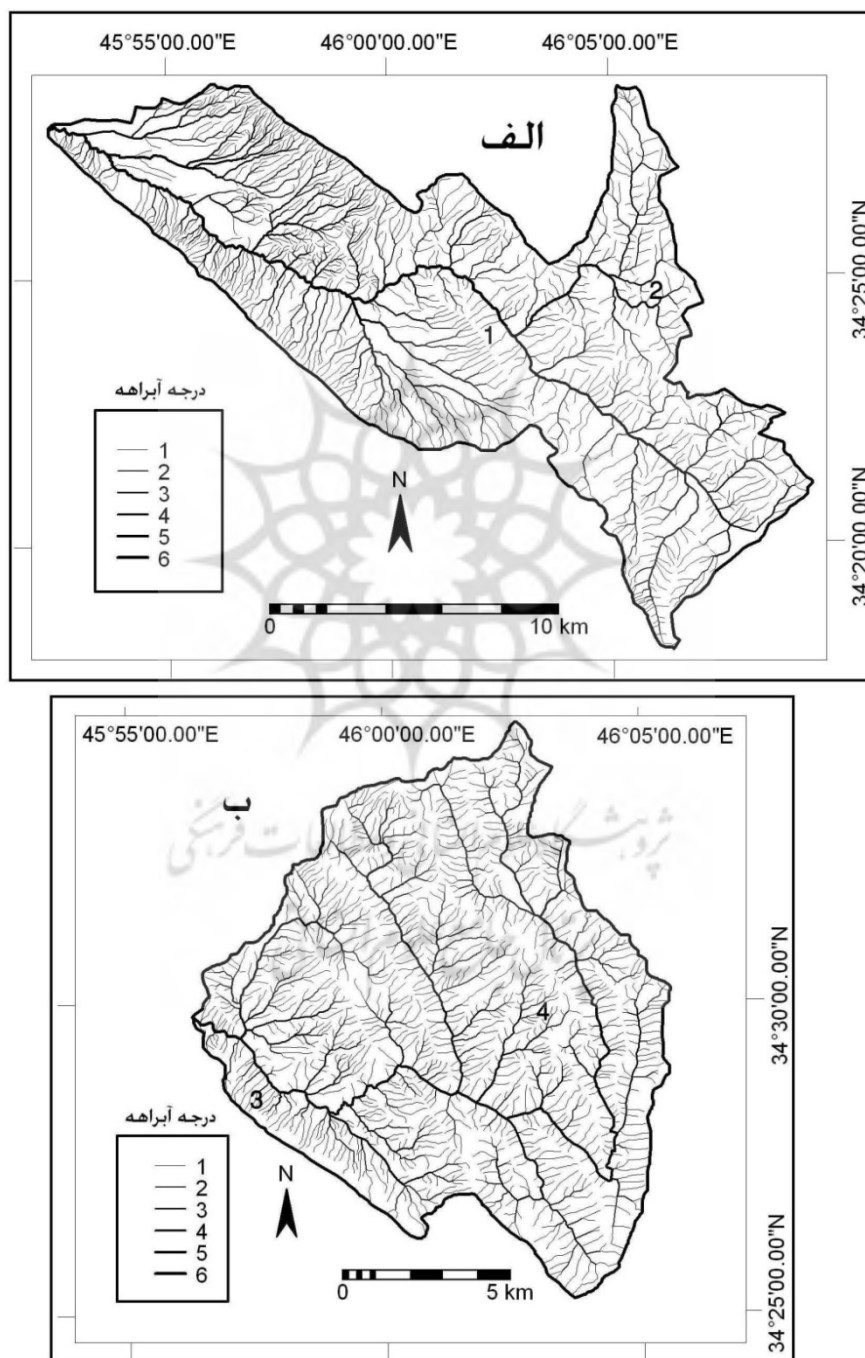
شکل ۳. سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی کمندان (الف) و دره‌تخت (ب)

بعد از تعیین تمام مسیرهای زهکشی، مسیرهایی که ناهنجاری زهکشی دارند (جدول ۱) تعیین شدند. تعداد آبراهه در هر مسیر ناهنجر زهکشی، در ستون سمت چپ جدول شماره ۱ ضرب شد و از مجموع حاصل ضرب تعداد آبراهه‌ها در مسیرهای ناهنجر (ستون سمت راست جدول ۱) در حداقل آبراهه‌های درجه ۱ لازم برای منظم کردن شبکه (ستون سمت چپ جدول ۱)، شاخص  $H_a$  محاسبه شد. تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی ( $H_a$ ) برای چهار حوضه‌ی مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، حوضه‌های پیران و پاتاق در منطقه‌ی زاگرس چین‌خورده  $H_a$  بالاتری نسبت به دو حوضه‌ی کمندان و دره‌تخت در زاگرس رورانده دارند.

### شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی ( $\Delta a$ )

شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی یکی از شاخص‌های مهم تعیین میزان نقش تکتونیک در ناهنجاری شبکه‌ی زهکشی است، به طوری که هر چه میزان این شاخص در حوضه‌ی بیشتر باشد، نشان‌دهنده‌ی ناهنجاری بیشتر شبکه‌ی زهکشی یا تأثیر بیشتر تکتونیک بر سیستم آبراهه‌ای حوضه است. شاخص مذکور از تقسیم  $H_a$  بر تعداد واقعی آبراهه‌های درجه ۱ موجود در حوضه به دست می‌آید (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸، ۲۶۷). شاخص  $\Delta a$  برای حوضه‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. همچنان‌که جدول ۲ نشان می‌دهد مقدار  $\Delta a$  در حوضه‌های پاتاق، پیران، کمندان و دره‌تخت به ترتیب ۲/۰۶، ۱/۶۵، ۱/۲۴ و ۱/۱۵ است. نتایج این شاخص نشان می‌دهد که بالاترین ناهنجاری زهکشی مربوط به حوضه‌ی پاتاق و سپس حوضه‌ی پیران است که این موضوع بیانگر تأثیر تکتونیک‌های فعال در این حوضه‌ها نسبت به دو حوضه‌ی دیگر است.

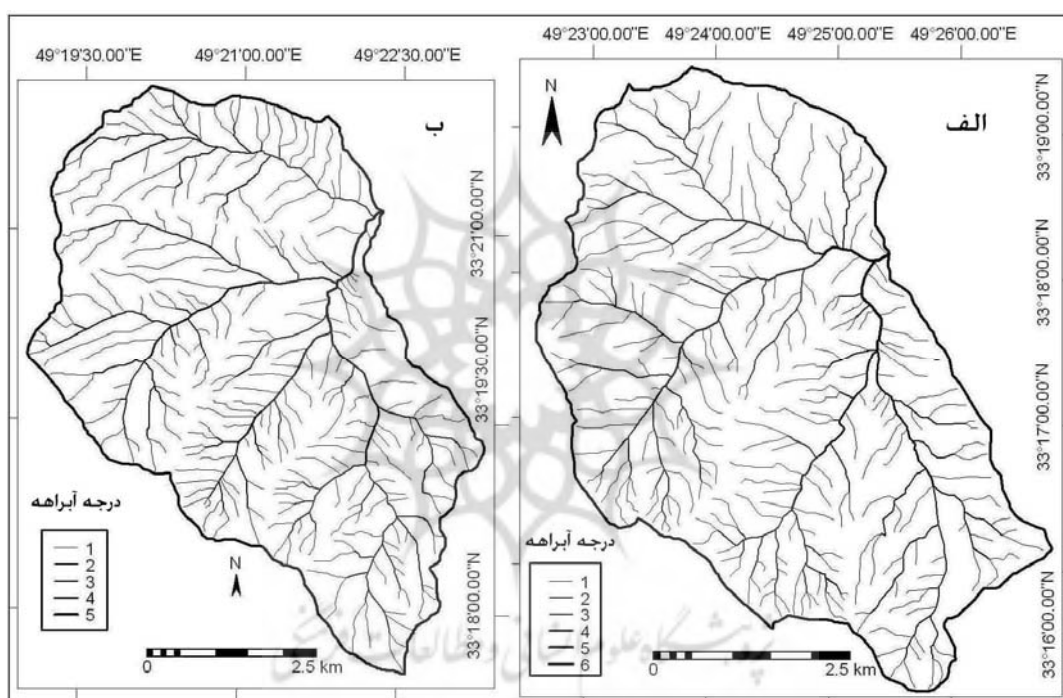
**شاخص انشعابات (R):** شاخص انشعابات از دیگر شاخص‌های تعیین آنومالی سیستم زهکشی در حوضه‌های آبخیز است. با افزایش درجه‌ی تأثیر عوامل تکتونیکی در حوضه‌ها مقدار شاخص مذکور افزایش می‌یابد. شاخص انشعابات، از عدد نسبت انشعابات حوضه، منهای نسبت مستقیم انشعابات حوضه به دست می‌آید (بارونی<sup>۱</sup> و همکاران ۲۰۰۵، ۲۲۳).



شکل ۴. نقشه‌ی شبکه‌ی آبراهه‌ها در حوضه‌ی پاتاق (الف) و پیران (ب)

برای محاسبه شاخص انشعابات ابتدا نسبت انشعابات (Rb) و سپس نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) محاسبه شد. نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه، از تقسیم تعداد کل آبراهه‌های آن درجه، بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر به دست می‌آید. نسبت انشعابات کل حوضه، از میانگین (Rb) کل درجه‌ها محاسبه شد (گارنیر و پیروتا، ۲۰۰۸، ۲۶۷). به عنوان مثال برای حوضه‌ی پیران نسبت انشعابات به صورت زیر محاسبه شده است:

$$Rb = \frac{1}{6-1} * \left\{ \frac{1084}{201} + \frac{201}{39} + \frac{39}{9} + \frac{9}{2} + \frac{2}{1} \right\} = 4/28$$



شکل ۵. نقشه‌ی شبکه‌ی آبراهه‌ها در حوضه‌ی کمندان (الف) و دره‌تخت (ب)

نسبت انشعابات در حوضه‌های پاتاق، کمندان و دره‌تخت نیز به ترتیب ۳/۹۷، ۳/۲۶ و ۴/۰۲ محاسبه شده است. نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) برای هر درجه از آبراهه، از تقسیم تعداد آبراهه‌های آن درجه (که مستقیماً به یک درجه بالاتر وارد می‌شوند) بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر به دست می‌آید. نسبت مستقیم انشعابات کل حوضه از میانگین (Rbd) کل درجه‌ها به دست آمد (گارنیر و پیروتا، ۲۰۰۸، ۲۶۷؛ بارونی و همکاران، ۲۰۰۵، ۲۲۳). به عنوان مثال، برای حوضه‌ی پیران، تعداد آبراهه‌های درجه ۱ که وارد می‌شوند ۶۴۱ عدد (جدول شماره ۴) و تعداد کل آبراهه‌های

درجه ۲ (جدول ۳) ۲۰۱ عدد است. بنابراین (Rbd) برای آبراهه درجه ۱ پیران  $\frac{641}{201}$  است.

نسبت مستقیم انشعابات برای حوضه‌های مورد مطالعه، در جدول ۳ ارائه شده است. شاخص انشعابات (H) در هر حوضه شامل عدد (Rb) آن حوضه، منهای مقدار (Rbd) آن است. با افزایش فعالیت تکتونیکی در حوضه‌ها، مقدار

شاخص انشعابات افزایش می‌یابد. مقدار (R) در حوضه‌های پیران، پاتاق، کمندان و دره‌تخت به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۰۱، ۰/۷۵ و ۰/۹۱ است وجود تکتونیک‌های فعال‌تر در حوضه‌های پاتاق و پیران را نسبت به دیگر حوضه‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۲. پارامترهای Ha و Δa در حوضه‌های مورد مطالعه

مسیر	پیران	پاتاق	کمدان	دره‌تخت
	تعداد آبراهه ضربدر حداقل آبراهه درجه ۱ لازم برای منظم کردن شبکه	تعداد آبراهه ضربدر حداقل آبراهه درجه ۱ لازم برای منظم کردن شبکه	تعداد آبراهه ضربدر حداقل آبراهه درجه ۱ لازم برای منظم کردن شبکه	تعداد آبراهه ضربدر حداقل آبراهه درجه ۱ لازم برای منظم کردن شبکه
۱→۳	۲۰۹ (۱)	۱۶۲ (۱)	۲۵ (۱) = ۲۵	۴۱ (۱) = ۴۱
۱→۴	۱۱۵ (۳) = ۳۴۵	۲۳ (۳) = ۶۹	۴۰ (۳) = ۱۲۰	۳۷ (۳) = ۱۱
۱→۵	۱۱۱ (۷) = ۷۷۷	۴۳ (۷) = ۳۰۱	۸ (۷) = ۵۶	۱۰ (۷) = ۷۰
۱→۶	۸ (۱۵) = ۱۲۰	۴۸ (۱۵) = ۷۲۰	۲ (۱۵) = ۳۰	۰ (۱۵) = ۰
۲→۴	۲۷ (۲) = ۵۴	۵ (۲) = ۱۰	۱۵ (۲) = ۳۰	۹ (۲) = ۱۸
۲→۵	۳۲ (۶) = ۱۹۲	۱۵ (۶) = ۹۰	۶ (۶) = ۳۶	۳ (۶) = ۱۸
۲→۶	۴ (۱۴) = ۵۶	۲۷ (۱۴) = ۳۷۸	۰ (۱۴) = ۰	۰ (۱۴) = ۰
۳→۵	۱۰ (۴) = ۴۰	۷ (۴) = ۲۸	۰ (۴) = ۰	۱ (۴) = ۴
۳→۶	۰ (۱۲) = ۰	۱۳ (۱۲) = ۱۵۶	۰ (۱۲) = ۰	۰ (۱۲) = ۰
۴→۶	۰ (۸) = ۰	۳ (۸) = ۲۴	۰ (۸) = ۰	۰ (۸) = ۰
Ha	۱۷۹۳	۱۹۳۸	۲۹۷	۲۶۲
Δa	۱۷۹۳/۱۰۸۴ = ۱/۶۵	۱۹۳۸/۹۴۰ = ۲/۰۶	۲۹۷/۲۴۰ = ۱/۲۴	۲۶۲/۲۲۸ = ۱/۱۵

جدول ۳. تعداد آبراهه‌ها و نسبت انشعابات در حوضه‌های مورد مطالعه

نام حوضه	پیران	پاتاق	کمدان	دره‌تخت
درجه آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه
۱	۱۰۸۴	۹۴۰	۲۴۰	۲۲۸
۲	۲۰۱	۲۰۸	۵۲	۴۵
۳	۳۹	۵۳	۱۰	۹
۴	۹	۱۲	۴	۳
۵	۲	۴	۲	۱
۶	۱	۱	۱	
Rb	۴/۲۸	۳/۹۷	۳/۲۶	۴/۰۲

## شاخص‌های کج‌شدگی تکتونیک حوضه‌ها

شبکه‌های زهکشی نسبت به تغییرات تکتونیک و کج‌شدگی‌های ساختمانی حوضه‌ها واکنش نشان می‌دهند. شاخص عدم تقارن حوضه‌ی (AF) یکی از شاخص‌های مهم، برای تعیین کج‌شدگی تکتونیک حوضه‌های زهکشی است که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

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

که در آن Ar مساحت سمت راست (با نگاه از بالادست به سمت پایین دست حوضه) رودخانه اصلی، و At مساحت کل حوضه است (ویردی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۶، ۲۰۹۸؛ کلا<sup>۲</sup> و پینتر<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲، ۱۲۳؛ کلمنت<sup>۴</sup> و بروک<sup>۵</sup>، ۲۰۰۸، ۱۷۸۹). هرچه مقدار AF به عدد ۱۰۰ نزدیک شود، نشان‌دهنده‌ی کج‌شدگی حوضه به سمت چپ و هر چه به صفر نزدیک شود نشان‌دهنده‌ی کج‌شدگی حوضه به سمت راست است. مقدار ۵۰ نیز حوضه‌های بدون کج‌شدگی را نشان می‌دهد. مقادیر AF برای حوضه‌های مطالعاتی در جدول شماره ۵ ارائه شده است. داده‌های مربوط به این پارامتر نشان می‌دهد که تمامی حوضه‌ها به سمت چپ منحرف شده و حوضه‌ی پاطاق بیشترین کج‌شدگی را نسبت به حوضه‌های دیگر دارد.

جدول ۴. تعداد آبراهه‌های هر درجه که مستقیماً به یک درجه بالاتر وارد می‌شوند و نسبت مستقیم انشعابات در حوضه‌های مورد مطالعه

نام حوضه	پیران	پاطاق	کمندان	دره تخت
مسیر آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه
۱ → ۲	۶۴۱	۶۶۰	۱۶۵	۱۴۰
۲ → ۳	۱۳۹	۱۵۳	۲۹	۳۳
۳ → ۴	۲۹	۳۰	۱۰	۸
۴ → ۵	۹	۹	۴	۳
۵ → ۶	۲	۴	۲	-
Rbd	۳/۲۹	۲/۹۶	۲/۵۱	۳/۱۱

شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه‌ی (T) یکی دیگر از شاخص‌ها، برای بررسی تأثیر تکتونیک در عدم تقارن حوضه‌های زهکشی است (کاگس، ۱۹۹۴، ۵۷۱). مقدار این شاخص بین صفر و یک در تغییر است و هر چه عدد T به ۱ نزدیک‌تر باشد، عدم تقارن در حوضه بیشتر است. شاخص مذکور از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$T = Da/Dd$$

1. Viridi
2. Keller
3. Pinter
4. Clement
5. Brook

که در آن Da، فاصله‌ی مرز حوضه تا خط وسط حوضه و Dd، فاصله‌ی رودخانه‌ی اصلی حوضه تا خط وسط حوضه است. برای محاسبه‌ی این شاخص، ابتدا خط وسط حوضه‌های زهکشی در نرم‌افزار الویس تعیین شد و سپس در چند مقطع عرضی از حوضه، مقدار T محاسبه شد و از میانگین آنها، تقارن توپوگرافی عرضی کل حوضه به دست آمد. جدول شماره ۵ مقدار T را برای حوضه‌های مختلف نشان می‌دهد. مقدار متوسط محاسبه شده T در حوضه پاتاق (۰/۴۸) نسبت به دیگر حوضه‌ها بیشتر است.

جدول ۵. شاخص‌های کج‌شدگی تکتونیکی (AF و T) در حوضه‌های مورد مطالعه

حوضه	پیران	پاتاق	کمندان	دره تخت
AF	۵۹	۶۳	۵۷	۵۶
T	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۳۳	۰/۲۱

## الگوی زهکشی

عوامل ساختمانی و سیستم چین‌خوردگی و تفاوت‌های محلی آن در زاگرس نقش مهمی در الگو و طرح سیستم آبراهه‌ای آن دارد. به‌طور کلی، الگوی زهکشی در مناطق چین‌خورده، طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های متوالی به‌صورت داریستی<sup>۱</sup> دارد (اهنرت، ۱۹۹۸، ۲۰۷)، با این وجود، تغییراتی که در الگوی زهکشی در این مناطق ایجاد می‌شود به شدت و قدمت چین‌خوردگی‌ها بستگی دارد. در مناطق جوان چین‌خوردگی در پهلوهای پُرشیب طاق‌دیس‌ها، الگوی زهکشی موازی توسعه یافته است (دفونتنیز، ۱۹۹۱، ۲۴۳)؛ در حالی که در طاق‌دیس‌های قدیمی‌تر با پهلوهای کم‌شیب که زمان زیادی از بالا آمدگی آنها گذشته است، شبکه‌های زهکشی توسعه می‌یابند و الگوی شبکه‌ی درختی ایجاد می‌شود.

بررسی الگوی زهکشی در حوضه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که حوضه‌های واقع در زاگرس رورانده که قبل از زاگرس چین‌خورده از آب خارج شده‌اند و عوامل فرسایشی در آنها بیشتر عمل کرده‌اند، الگوی زهکشی شبکه‌ی درختی دارند (شکل ۵). وضعیت الگوی زهکشی در دو حوضه‌ی پیران و پاتاق که در بخش خارجی منطقه‌ی جوان‌تر و فعال‌تر زاگرس چین‌خورده قرار دارند با دو حوضه‌ی دیگر متفاوت است. در حوضه‌های مذکور شبکه‌های زهکشی بیشتر تحت تأثیر ساختمان‌های طاق‌دیس‌ی و ناودیس‌ی قرار گرفته‌اند. در دامنه‌ی پُرشیب طاق‌دیس‌ها، به‌ویژه در دامنه‌های طاق‌دیس نواکوه، آبراهه‌های متأثر از پهلوهای پُرشیب، الگوی موازی به‌خود گرفته‌اند. (آبراهه‌های اطراف شماره ۱ در شکل ۴-الف و اطراف شماره ۳ در شکل ۴-ب).

با این وجود در حوضه‌های پاتاق و پیران، در مناطق با ساختمان‌های کم‌شیب و مناطقی که اشکال فرسایشی ایجاد شده‌اند، الگوی تقریباً شبکه‌ی درختی توسعه یافته است (آبراهه‌های اطراف شماره ۲ در شکل ۴-الف و اطراف شماره ۴ در شکل ۴-ب). به‌طور کلی، در حوضه‌های پیران و پاتاق که در زون جوان زاگرس واقع شده‌اند، در مناطق پُرشیب و

تحت تأثیر بالا آمدگی‌های سریع تکتونیک، مانند، پهلوهای پرشیب طاقدیس‌ها، الگوی زهکشی، موازی است. در این حوضه‌ها در مناطق کم‌شیب ساختمانی که فرسایش قدرت عمل بیشتری نسبت به تکتونیک داشته است، الگوی شبکه‌ی درختی دیده می‌شود.

## بحث و نتیجه‌گیری

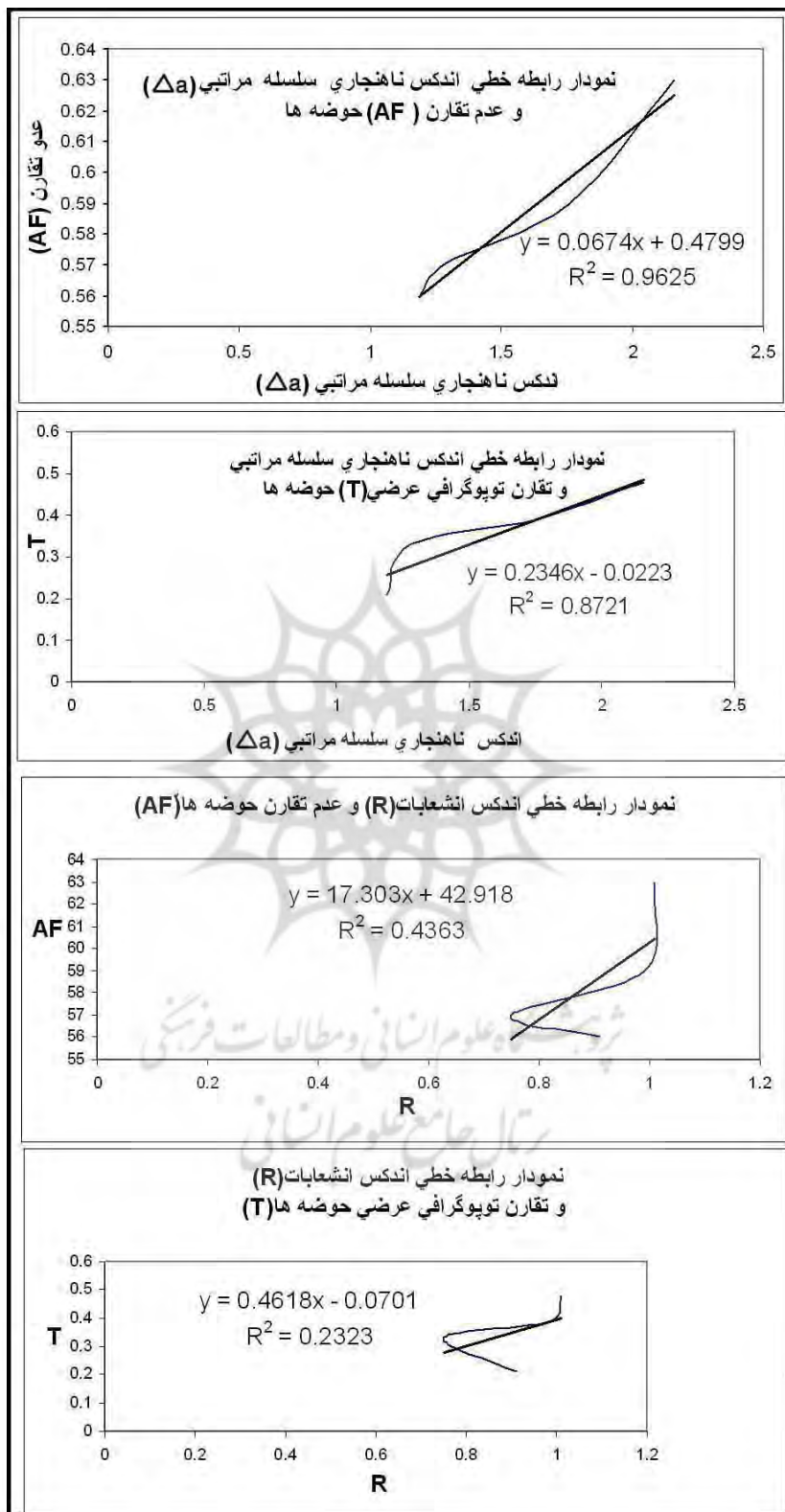
پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش عوامل تکتونیک در ناهنجاری زهکشی، وضعیت آبراهه‌ها و نظم سلسله‌مراتبی آنها در چهار حوضه‌ی زهکشی در زاگرس را مورد بررسی قرار داده است. به‌منظور تعیین نقش عوامل تکتونیک در وضعیت شبکه‌ی زهکشی، دو حوضه در زاگرس چین‌خورده و دو حوضه در زاگرس رورانده انتخاب شدند. به‌طور کلی، چین‌های زاگرس از شمال شرق به سمت جنوب غرب جوان‌تر بوده و ساختارها، سن کمتری دارند. حوضه‌های زهکشی پیران و پاتاق در زاگرس چین‌خورده و در بخش خارجی آن واقع شده‌اند که از نظر تکتونیک، جوان‌تر از زاگرس رورانده هستند و طاقدیس‌های آن اکنون در حال بالا آمدگی هستند. حوضه‌ی پاتاق در بخش جنوب غرب حوضه‌ی پیران واقع شده و ساختارهای جدیدتری از حوضه‌های دیگر دارد.

در این پژوهش برای بررسی ناهنجاری شبکه‌ی زهکشی، شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی و شاخص انشعابات مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین از شاخص‌های AF (شاخص عدم تقارن حوضه) و T (تقارن توپوگرافی عرضی حوضه) برای تعیین درجه‌ی تأثیرپذیری حوضه از عوامل تکتونیک استفاده شد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مقدار پارامتر  $\Delta a$  به‌عنوان یک شاخص مهم، برای شناسایی میزان ناهنجاری زهکشی در حوضه‌های مطالعاتی متفاوت است. مقدار پارامتر مذکور، بین  $2/06$  در حوضه‌ی پاتاق و  $1/15$  در حوضه‌ی دره‌تخت در حال تغییر است. به‌طور کلی، مقدار پارامتر  $\Delta a$  در حوضه‌های واقع در زاگرس چین‌خورده با تکتونیک‌های فعال‌تر (پاتاق و پیران)، بالاتر از دو حوضه واقع در زاگرس رورانده (قدیمی‌تر و فرسایش یافته‌تر) است.

برای بررسی رابطه‌ی ناهنجاری آبراهه‌ها با عوامل تکتونیک، رابطه‌ی خطی بین پارامترهای  $\Delta a$  و AF و T و ضریب همبستگی آنها محاسبه شده است (شکل ۶). همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد، رابطه‌ی مستقیمی بین پارامتر  $\Delta a$  و AF با ضریب همبستگی ۹۶ درصد در حوضه‌های مطالعاتی وجود دارد. همچنین، بین پارامترهای  $\Delta a$  و T حوضه‌های مطالعاتی رابطه‌ی مستقیمی با ضریب همبستگی ۸۷ درصد دیده می‌شود و این موضوع، نشان‌دهنده‌ی تأثیر بسیار زیاد تکتونیک و کج‌شدگی ساختمانی حوضه‌ها بر ناهنجاری و بی‌نظمی شبکه‌ی زهکشی است.

از دیگر شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش، شاخص انشعابات یا پارامتر R است که از اختلاف بین نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) و نسبت انشعابات (Rb) به‌دست آمد. شاخص مذکور نیز به‌خوبی تفاوت در ناهنجاری زهکشی در حوضه را نشان می‌دهد. بالاترین مقدار این پارامتر نیز مربوط به حوضه‌ی پاتاق ( $1/01$ ) واقع در زاگرس چین‌خورده و کم‌ترین آن مربوط به حوضه‌ی کمندان ( $0/75$ ) در زاگرس رورانده است. با این حال ترسیم رابطه خطی و ضریب همبستگی بین پارامتر R و AF نشان می‌دهد که رابطه‌ی خطی مستقیمی بین این دو متغیر وجود ندارد و ضریب همبستگی آنها حدود ۴۴ درصد است. ضریب همبستگی بین R و T نیز بسیار ضعیف (۲۳ درصد) است (شکل ۶).



شکل ۶. رابطه‌ی خطی و ضریب همبستگی بین پارامترهای ناهنجاری زهکشی و شاخص‌های کج‌شدگی تکتونیکی در حوضه‌های مورد مطالعه



بررسی داده‌های مربوط به  $\Delta a$  و ارتباط آنها با شاخص‌های عدم تقارن حوضه‌ها (AF و T) نشان می‌دهد که این پارامتر، در مقایسه با پارامتر شاخص انشعابات (R)، کارایی بالایی برای تعیین و شناسایی تکتونیک‌های فعال حوضه‌های آبخیز دارد. بررسی الگوی زهکشی در حوضه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد که حوضه‌های قدیمی‌تر و فرسایش‌یافته‌تر واقع در زاگرس رورانده (کمندان و درّه‌تخت) الگوی زهکشی شبکه‌ی درختی دارند. الگوی زهکشی در دو حوضه‌ی پیران و پاتاق (در بخش جوان‌تر و فعال‌تر زاگرس چین‌خورده) بیشتر تحت تأثیر ساختمان‌های طاق‌دیسی و ناودیس‌ها بوده و الگوی کلی داربستی دارند. با این وجود، در این حوضه‌ها در مناطق پُرشیب و تحت تأثیر بالاآمدگی‌های سریع تکتونیکی مانند پهلوهای پُرشیب طاق‌ها، الگوی موازی توسعه یافته است، درحالی‌که در مناطق کم‌شیب ساختمانی که فرسایش قدرت عمل بیشتری نسبت به تکتونیک داشته است، الگوی شبکه‌ی درختی دیده می‌شود.

بررسی ناهنجاری زهکشی با وضعیت ساختمانی حوضه‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر قرارگیری حوضه‌های آبخیز در زون‌های زمین‌شناسی بزرگ با ویژگی‌های خاص تکتونیکی، وضعیت محلی تکتونیک در هر حوضه آبخیز نیز در ناهنجاری آبراهه‌ها نقش مهمی دارد.

حوضه‌های پیران و پاتاق، بخشی از واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده و حوضه‌های کمندان و درّه‌تخت، بخشی از واحد ساختمانی زاگرس رورانده هستند. واحد زاگرس مجموعه‌ای از طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های متوالی را تشکیل می‌دهد که در آن توپوگرافی تابع ساختمان زمین‌شناسی است. به عبارتی کوه‌ها منطبق بر طاق‌دیس و دشت منطبق بر ناودیس است که تحت تأثیر تکتونیک، مورفولوژی طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های آن متغیر است. همان‌گونه که در مقدمه ذکر شد، مطالعات نشان می‌دهد که زاگرس از شمال شرق به سمت جنوب غرب در حال بالاآمدگی است و ساختارهای زاگرس از شمال شرق به سمت جنوب غرب جوان‌تر می‌شوند. به عبارتی بخش‌های شمال شرق (زاگرس رورانده) میلیون‌ها سال زودتر از بخش‌های جنوب غرب (زاگرس رورانده) از آب خارج شده است. به همین دلیل ساختارهای بخش زاگرس جنوب غرب جوان‌تر و دست‌نخورده‌تر باقی مانده‌اند، درحالی‌که، ساختارهای بخش رورانده، بیشتر تغییر شکل یافته‌اند. مطالعه‌ی حاضر با هدف بررسی نقش تکتونیک در مورفومتری شبکه‌ی زهکشی، دو حوضه‌ی پیران و پاتاق در واحد زاگرس چین‌خورده و دو حوضه‌ی کمندان و درّه‌تخت در زاگرس رورانده را مورد بررسی قرار داده است.

ارزیابی شاخص‌های  $\Delta a$  و R و ارتباط آنها با شاخص‌های عدم تقارن حوضه‌ها (AF و T) نشان می‌دهد که شاخص  $\Delta a$  در مقایسه با شاخص R کارایی بالایی برای تعیین و شناسایی تکتونیک‌های فعال حوضه‌های آبخیز دارد. بررسی حاضر نشان می‌دهد که حوضه‌های قدیمی‌تر واقع در زاگرس رورانده (کمندان و درّه‌تخت)، الگوی زهکشی شبکه‌ی درختی دارند، درحالی‌که الگوی زهکشی در دو حوضه‌ی پیران و پاتاق (در بخش جوان‌تر زاگرس)، الگوی کلی داربستی دارند.

به‌طور کلی، از مجموع مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت زمین ساخت حوضه‌ها، در الگوی زهکشی و مقدار شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش (به‌ویژه شاخص  $\Delta a$ ) نقش مؤثری دارند، به‌طوری‌که به‌عنوان نمونه، در حوضه‌ی پاتاق، تعداد بیشتر گسل‌ها و شکستگی‌ها نقش مهمی در افزایش ناهنجاری زهکشی آن داشته است. همچنین در این حوضه، عملکرد یک گسل راست لغز، عمود بر محور چین، طاق‌دیس نواکوه را به‌طور عرضی قطع کرده و امکان

ورود رودخانه واقع در ناودیس سرمیل - شیره چقا به طاق‌دیس فرسایش یافته پاتاق را فراهم کرده و این تغییر مسیر ناگهانی شبکه، از یک ناودیس به طاق‌دیس مجاور در افزایش ناهنجاری زهکشی این حوضه نقش مؤثری داشته است. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، شاخص‌های ناهنجاری زهکشی در حوضه‌های بیشتر با خصوصیات تکتونیکی و مورفومتریکی متفاوت بررسی شود تا کارایی و ارزش این شاخص‌ها به‌طور دقیق‌تری تعیین شود.

## منابع

- 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.
- Ahnert, F., 1998, **Introduction to Geomorphology**, London, Arnold, 352 p.
- Baroni, C., Noti, V., Ciccacci, S., Righini, G., Salvatore, M.C., 2005, **Fluvial Origin of the Valley System in Northern Victoria Land (Antarctica) from Quantitative Geomorphic Analysis**. GSA Bulletin, 117 (1-2), pp. 212–228.
- Berberian, M., 1995, **Master "Blind" Thrust Faults Hidden under the Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics**, Tectonophysics, 241, pp. 193-224.
- Blanc, E.J.P., Allen, M. B., Inger, S., Hassani, H., 2003, **Structural Styles in the Zagros Simple Folded Zone**, Iran, Journal of the Geological Society, London, 160, pp. 401-412.
- 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, pp. 233–248.
- Clement, A.J.H and Brook, M.S., 2008, **Tilting of Active Folds and Drainage Asymmetry on the Manawatu Anticlines**, New Zealand, A Preliminary Investigation, Earth Surface Processes and Landforms 33, pp. 1787–1795.
- Cox, R.T., 1994, **Analysis of Drainage-Basin Symmetry as a Rapid Technique to Identify Areas of Possible Quaternary Tilt-Block Tectonics**, An Example from the Mississippi Embayment, Geological Society of America Bulletin 106, 571–581.
- Deffontaines, B., Chorowicz, J., 1991, **Principles of Drainage Basin Analysis from Multisource Data: Application to the Structural Analysis of the Zaire Basin**, Tectonophysics, 194, pp. 237-263.
- Deffontaines, B., Chotin, P., Air Brahim, L., & Rozanov, M., 1992, **Investigation of Active Faults in Morocco Using Morphometric Methods and Drainage Pattern Analysis**, Geologische Rundschau, 81, pp. 199-210.
- Deffontaines, B., Lee, J.C., Angelier, J., Carvalho, J., Rudant, J.P., 1994, **New Geomorphic Data on the Active Taiwan Orogen**, A Multisource Approach, Journal of Geophysical Research, 99, 20, 243- 20, 266.
- Delcaillau, B., Carozza, J.M., Laville, E., 2006, **Recent Fold Growth and Drainage Development**, the Janauri and Chandigarh Anticlines in the Siwalik Foothills, Northwest India, Geomorphology, pp. 76- 241–256.

- Goldsworthy, M., & Jackson, J., 2000, **Active Normal Fault Evolution in Greece Revealed by Geomorphology a Drainage Pattern**, Journal of the Geological Society, London, 157, 967- 981.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., 2008, **The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily)**, Geomorphology, 95, pp. 260–273.
- Hessami, K., Nilforoushan, F., Talbot, C.J., 2006, **Active Deformation within the Zagros Mountains Deduced from GPS Measurements**, Journal of the Geological Society, London, 163, pp.143-148.
- Iranian Geological Survey**, 1992, 1/100000 geologic map of Khoram - Abad.
- Iranian National Geography Organization**, 1997, 1/50000 topographic map, sheet 5158-1 and 7063-4.
- Jackson, J., Norris, R., Yougson, J., 1996, **The Structural Evolution of Active Fault and Fold Systems in Central Otago**, New Zealand, Evidence Revealed by Drainage Patterns, Journal of Structural Geology, 18 (2-3), pp. 217-234.
- Jackson, J., Van Dissen, R., Berryman, K., 1998, **Tilting of Active Folds and Faults in the Manawatu Region**, New Zealand, Evidence from Surface Drainage Patterns, New Zealand Journal of Geology and Geophysics 41, pp. 377–385.
- Jamieson, S.S.R., Sinclair, H.D., Kirstein, L.A., Purves, R.S., 2004, **Tectonic Forcing of Longitudinal Valleys in the Himalaya**, morphological Analysis of the Ladakh Batholith, North India, Geomorphology, 58, pp. 49–65.
- Keller, E.A. and Pinter., N., 2002. **Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape**, New Jersey, Prentice Hall, 362 p.
- National Iranian Oil Company**, 1963, 1/250000 geologic map of Qasre - Shirin.
- Nilforoushan, F., Vernant, P., & Masson, F., et al, 2003, **GPS Network Monitors the Arabia–Eurasia Collision Deformation in Iran**, Journal of Geodesy, 77, pp. 411–422.
- Oberlander, T. M., 1985, **Origin of Drainage Transverse to Structures in Orogens**, in Tectonic Geomorphology, edited by Morisawa, M., and Hack, J.T., Allen and Unwin, Boston, pp. 155 – 182.
- Piraste, S., Pradhan, B., Rizvi, S.M., 2011, **Tectonic Process Analysis in Zagros Mountain with the Aid of Drainage Networks and Topography Maps Dated 1950–2001 in GIS**, Arabian Journal of Geoscience, 4 (1-2), pp. 171-180.
- Ramsey, L.A., Walker, R.T., Jackson, J., 2008, **Fold Evolution and Drainage Development in the Zagros Mountains of Fars Province**, SE Iran, Basin Research, 20, pp. 23-48.
- Rangzan, K., and Iqbaluddin., 1995, **Morpo- tectonic Study of Zagros Structural Belt of SW Iran Using Remote Sensing Techniques**, Journal of the Indian Society of Remote Sensing 23, (4), pp. 211- 224.
- Simoni, A., Elmi, C., Picotti, V., 2003, **Late Quaternary Uplift and Valley Evolution in the Northern Apennines, Lamone Catchment**, Quaternary International, pp. 101–102-253–267.

- Sung, O., Chen, Y.C., 2004, **Geomorphic Evidence and Kinematic Model for Quaternary Transfer Faulting of the Pakuashan Anticline, Central Taiwan**, Journal of Asian Earth Sciences 24, 389–404.
- Talling, P., & Sowter, M.J., 1999, **Drainage Density on Progressively Tilted Surfaces with Different Gradients**, Wheeler Ridge, California, Earth Surface Processes and Landforms 24, pp. 809-824.
- Vernant, P., Nilforoushan, F. & Hatzfeld, D., et al. 2004, **Present-day Crustal Deformation and Plate Kinematics in Middle East Constrained by GPS Measurements in Iran and Northern Oman**, Geophysical Journal International, 157, pp. 381–398.
- Virdi, N. S., Philip, Bhattacharya, S., 2006, **Neotectonic Activity in the Markanda and Bata River Basins, Himachal Pradesh, NW Himalaya: A Morphotectonic Approach**. International Journal of Remote Sensing 27 (10), 2093–2099.
- Zhang, H.P., Liu, S.F., Yang, N., Zhang, Y.Q., Zhang, G.W., 2006, **Geomorphic Characteristics of the Minjiang Drainage Basin (Eastern Tibetan Plateau) and its Tectonic Implications: New Insights from a Digital Elevation Model Study**, Island Arc 15, pp. 239–250.

