

ارزیابی نقش تکتونیک فعال در مورفولوژی کانال‌های جریان حوضه بالادست الوند

محمود علایی طالقانی* - استادیار جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه

زهرا رحیم‌زاده - استادیار جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، کرمانشاه

علی رضایپور - کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۸/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۳/۲۵

چکیده

جهت شبکه‌ها، چگونگی زاویه اتصال آنها و ناهنجاری‌های زهکشی، شواهدی بر تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر الگوی زهکشی و وضعیت مورفولوژی کانال‌های جریان در حوضه بالادست رودخانه الوند به‌شمار می‌روند. این وضعیت که متأثر از شکستگی‌های طولی و عرضی کف ناودیس ریجاب و کچ‌شدگی آن به سمت جنوب غرب است، سبب شده تا آبراهه‌های اصلی در این حوضه، به صورت مجزا از ناودیس ریجاب خارج شوند. بر اساس این شواهد، در این پژوهش نقش نئوتکتونیک در مورفولوژی کانال‌های جریان حوضه بالادست رودخانه الوند، واقع در غرب استان کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام این پژوهش، پس از تعیین حدود منطقه مطالعاتی و تقسیم‌بندی آن به پنج زیرحوضه، ابتدا نقشه‌های شیب، توپوگرافی، شبکه زهکشی و گسل‌های حوضه، تهیه و سپس پارامترهای شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی (ΔA)، شاخص عدم تقارن حوضه (AF)، شاخص شیب طولی رودخانه (SI)، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه (T)، شاخص پیچ‌وخم رودخانه اصلی (S) و الگوی زهکشی برای هر زیرحوضه محاسبه شده‌اند. برای تهیه نقشه‌های مورد نیاز، از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استفاده شده است. رتبه‌بندی شبکه زهکشی با روش استراهلر انجام گرفت. برای تهیه نقشه گسل‌ها نیز، از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی استفاده شده است. با بررسی این شاخص‌ها مشخص شد که وضعیت زمین‌ساخت حوضه، در مورفولوژی کانال‌های جریان و مقدار شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش، به‌ویژه شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی، نقش مؤثری داشته‌اند؛ به‌گونه‌ای که در ناودیس ریجاب، به خصوص در بخش میانی آن (زیرحوضه شماره ۴)، تعداد بیشتر گسل‌ها و شکستگی‌های طولی و عرضی (گسل‌های کُرنند، ریجاب، پاتاق و پیران)، نقش مهمی در ناهنجاری زهکشی آن داشته است. نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های S، T، S و AF نشان می‌دهد که تکتونیک در قسمت غرب حوضه (بخش غربی ناودیس ریجاب) نسبت به شرق حوضه (تاقدیس گلبانگ) فعال‌تر است.

کلیدواژه‌ها: ژئومورفولوژی، کانال‌های جریان، نئوتکتونیک، زاگرس.

مقدمه

رشته‌کوه زاگرس ایران، به دلیل استقرار در منطقه برخورد دو سپر قاره‌ای (ایران مرکزی و عربستان)، یکی از نواحی فعال تکتونیکی است. شواهد زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و لرزه‌شناسی، نشان می‌دهد که زاگرس از شمال شرق به سمت جنوب غرب در حال بالآمدگی است. به گفته‌ای، ساختارهای زاگرس از شمال شرق به سمت جنوب غرب جوان تر می‌شوند (بربریان^۱، ۱۹۹۵: ۲۰۱). از شواهد این فعالیت‌ها، می‌توان به وقوع زلزله‌ها (بلانک^۲ و همکاران، ۲۰۰۳: ۴۰۵)، کوتاه‌شدگی طاق‌دیس‌ها، برش طاق‌دیس‌ها به وسیله رودخانه‌ها، پادگانه‌های بالآمده و متاندرهای رودخانه‌ای (بربریان، ۱۹۹۵: ۱۹۹)، بالآمدگی شبکه‌های آبیاری قدیمی (حسامی و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۴۳) و شواهد ژئومورفیک بالآمدگی چین‌ها، مانند الگوی شبکه زهکشی (ابرلند، ۱۹۸۵: ۱۶۲؛ رنگزن و اقبال‌الدین، ۱۹۹۵: ۲۱۶؛ رامسی^۳ و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۲؛ پیراسته^۴ و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۷۱) اشاره کرد.

خصوصیات شبکه‌های زهکش یک حوضه، مانند الگوی زهکشی، ناهنجاری‌های زهکشی، زاویه اتصال شبکه‌ها و جهت این شبکه‌ها، از مهم‌ترین شاخص‌های هستند که به کمک آنها می‌توان به شناسایی تکتونیک فعال پی برد. بر این اساس، در این پژوهش برای تشخیص تکتونیک فعال در خصوصیات مرفومتريکی شبکه‌های جریانی یکی از زیرحوضه‌های زاگرس چین‌خورده، به نام حوضه الوند، از این شاخص‌ها استفاده شده است.

در چند دهه گذشته محققان بسیاری به بررسی نقش تکتونیک در خصوصیات مرفومتريکی شبکه‌های جریانی پرداخته‌اند که به نتایج آنها اشاره می‌شود. دفونتینز و همکاران (۱۹۹۴) به بررسی نقش تکتونیک‌های فعال در ایجاد ناهنجاری‌های زهکشی و الگوی آبراهه‌ای مختلف در تایوان پرداختند.

جکسون^۵ و همکاران (۱۹۹۶) تکامل ساختمانی سیستم‌های چین‌خورده و گسلی در اوتاگوی مرکزی کشور نیوزیلند را بر اساس شواهد تغییرات در شبکه‌های زهکشی شناسایی و تبیین کردند.

سیکاسی^۶ و همکاران (۱۹۸۶) 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 شبکه زهکشی اضافه شود تا شبکه نظم سلسله‌مراتبی داشته باشد - به تعداد کل آبراهه‌های درجه یک موجود در حوضه، تعریف کردند.

گرنیری و پیروتا^۷ (۲۰۰۸) نیز با استفاده از شاخص انشعابات (که یکی از شاخص‌های ناهنجاری سلسله‌مراتبی است) به بررسی تأثیر تکتونیک در چهار حوضه زهکشی در شمال شرق سیسیلی ایتالیا پرداختند. بررسی آنها نشان داد که

1. Barbarian
2. Blance
3. Ramsi
4. Piraste
5. Jackson
6. Ciccacci
7. Guarnieri and Pirrotta

تکتونیک‌های فعال، نظم شبکه زهکشی را به هم می‌زنند و مقدار شاخص ناهنجاری زهکشی حوضه‌های تکتونیک با فعالیت بالا، بیشتر از حوضه‌های تکتونیک با فعالیت پایین است.

سیمونی^۱ و همکاران (۲۰۰۳) نقش بالآمدگی در تفاوت‌های مکانی الگو و تراکم زهکشی در آپنین شمالی ایتالیا را بررسی کردند. مطالعه آنها نشان داد که الگوی زهکشی، تراکم زهکشی و ناهنجاری‌های زهکشی در منطقه، از تکتونیک تأثیر یافته‌اند.

جیمسون^۲ و همکاران (۲۰۰۴) تأثیر تکتونیک در نسبت انشعابات، تراکم زهکشی و انتگرال هیپسومتریک شبکه‌های رودخانه‌ای هیمالیا در شمال هند را مورد مطالعه قرار دادند و مشخص شد که عوامل تکتونیک، نقش مهمی در تفاوت ویژگی‌های مورفومتری شبکه‌های زهکشی اعمال می‌کنند.

رامسی و همکاران (۲۰۰۸) واکنش شبکه زهکشی به یک طاق‌دیس در حال رشد با فرود محوری دوطرفه را در کوه‌های اطلس تونس مورد ارزیابی قرار دادند.

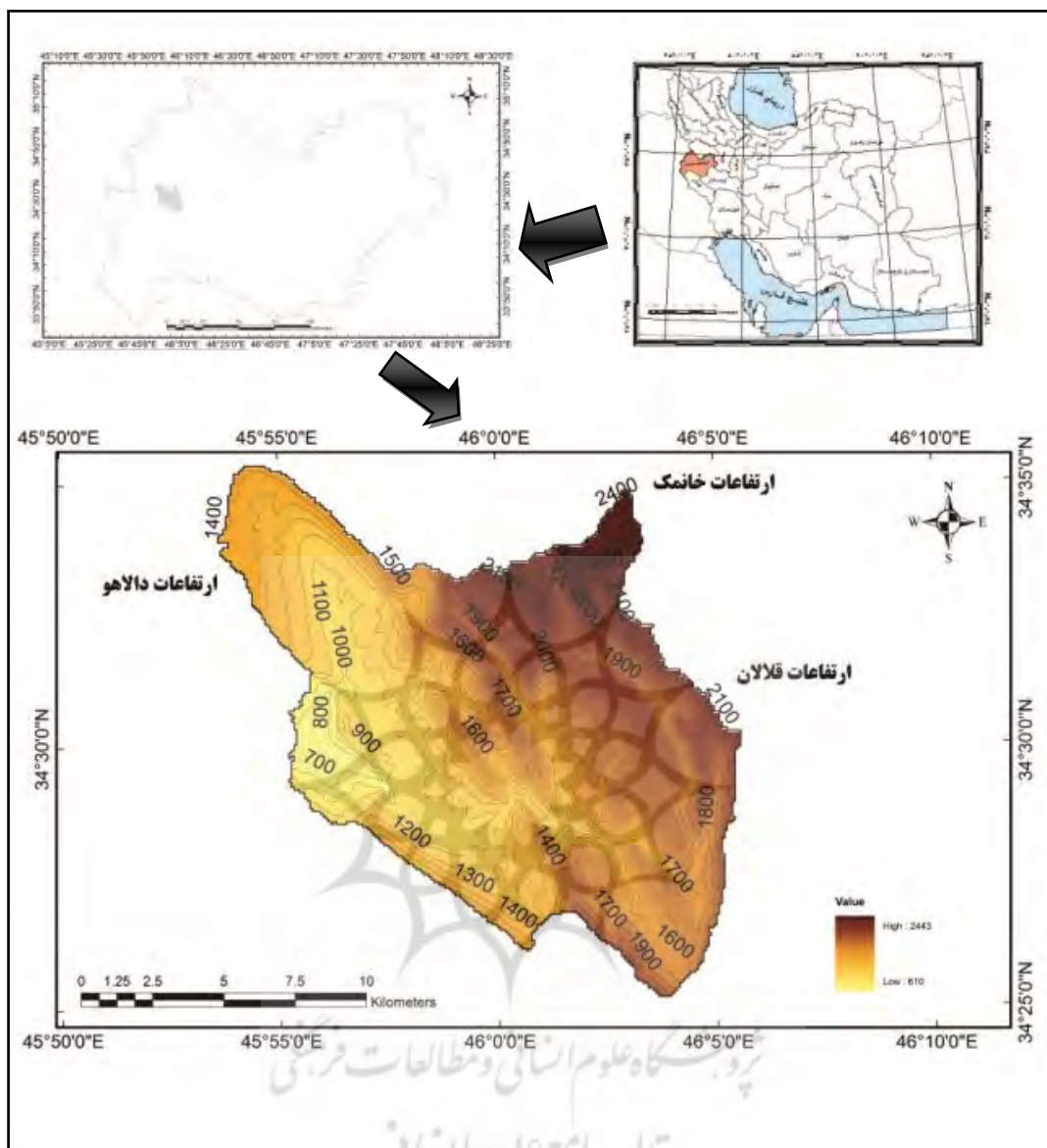
احمدی و همکاران (۲۰۰۶) تکامل شبکه زهکشی و تغییرات الگوی زهکشی طاق‌دیس‌های در حال رشد را در امتداد محور) در زاگرس فارس (طاق‌دیس‌های کوه سفیدار، کوه هندون و کوه خنج) ارزیابی کردند.

پیراسته و همکاران (۲۰۱۱) فرایندهای تکتونیک زاگرس را بر اساس تغییرات شبکه‌های رودخانه‌ای در یک دوره زمانی پنج‌ساله (۱۹۵۰ تا ۲۰۰۱) مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در زمینه سازماندهی و نظم و ترتیب رده‌های مختلف آبراهه‌ای و رابطه آن با عوامل تکتونیک نیز مطالعاتی انجام شده است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه بالادست الوند با مساحت ۱۸۹ کیلومتر مربع در غرب استان کرمانشاه و در حد فاصل شهرستان‌های دالاهو و سرپل ذهاب بین $34^{\circ} 25'$ تا $34^{\circ} 35'$ عرض شمالی قرار دارد. ارتفاعات خانمک و قلالان در شرق و شمال، بلندترین نقاط حوضه را شکل داده‌اند که با حرکت به سمت غرب و جنوب، از ارتفاع این کوه‌ها کاسته می‌شود (شکل ۱). رودخانه ریجاب، زهکش اصلی این بخش از حوضه الوند است که با طول ۲۳ کیلومتر، سرشاخه اصلی الوند شمرده می‌شود.

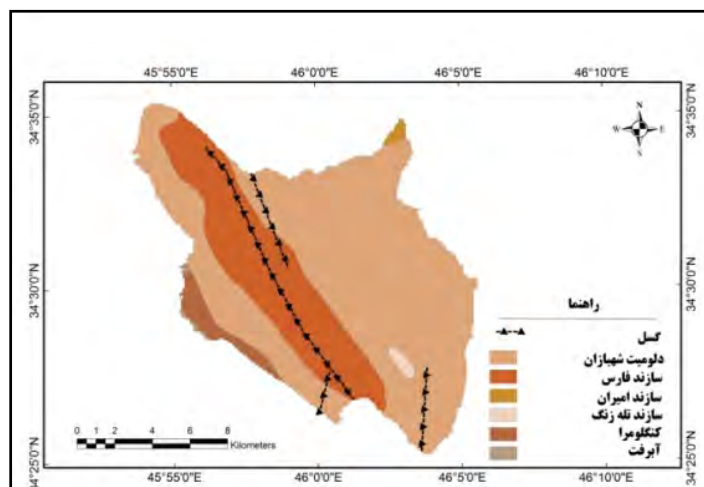
ساختمان زمین‌شناسی منطقه را مجموعه‌ای از اشکال تاقدیس - ناودیس شکل داده است که با روند شمال غرب - جنوب شرق، در اواخر تریاری موجودیت یافته و تا به امروز تحت تأثیر فرایندهای فرسایشی و نئوتکتونیک در حال تحول بوده‌اند. اسکلت اصلی این ناهمواری‌ها از لایه‌های مقاوم و سخت دولومیت شهبازان و آهک آسماری ساخته شده است که به صورت تفکیک نشده، ساختمان‌های تاقدیسی و ناودیسی را تشکیل داده‌اند. روی این لایه‌ها نیز رسوبات گروه فارس قرار گرفته‌اند (شکل ۲).



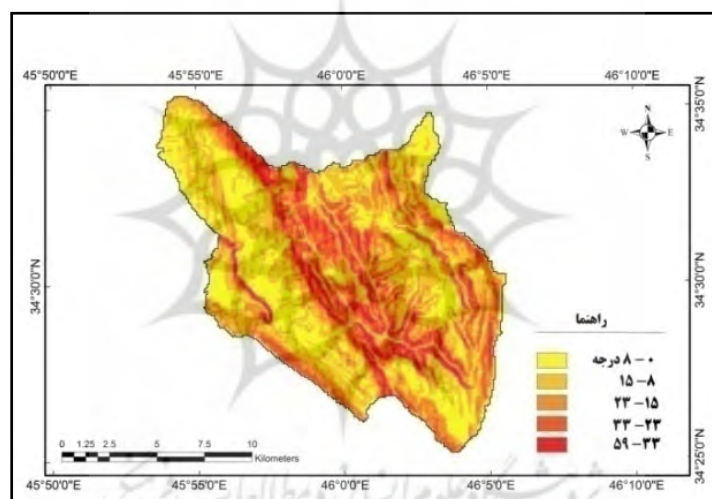
شکل ۱. نقشه موقعیت حوضه بالادست الوند

ترسیم: نویسندگان

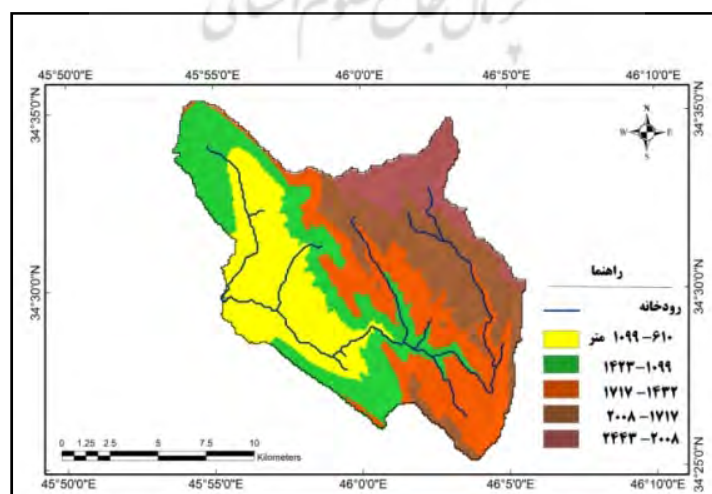
با توجه به وضعیت تکتونیکی، میانگین حداکثر شیب حوضه در بخش میانی آن ۴۰ درجه است (شکل ۳). الگوی زهکش حوضه تابع زمین ساخت است؛ به طوری که جریان‌های زهکش در داخل ناودیس ریجاب از جنوب شرق و شمال غرب به سمت مرکز ناودیس روانه شده‌اند و از آنجا نیز به سمت جنوب غرب متمایل می‌شوند. در واقع، آبراهه‌ها پس از سرازیر شدن از دامنه‌ها و رسیدن به بخش میانی ناودیس، برای خروج از حوضه به سمت جنوب غرب منحرف می‌شوند. علت این وضعیت، کج‌شدگی ناودیس ریجاب به سمت جنوب غرب است. به‌علاوه در اثر تکتونیک، شکستگی‌های عرضی در کف ناودیس ایجاد شده‌اند که منشأ شکل‌گیری بستر اکثر آبراهه‌ها هستند. آبراهه‌های سطح دامنه‌ها، به دلیل انطباق با سطح لایه‌های ساختمانی با شیب زیاد، به‌شکل الگوی موازی آرایش یافته‌اند؛ اما در سطح منطقه فلاتی، شکل کف ناودیس در ارتباط با گسل‌ها است (شکل ۴).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی حوضه بالادست الوند



شکل ۳. نقشه شیب حوضه بالادست الوند

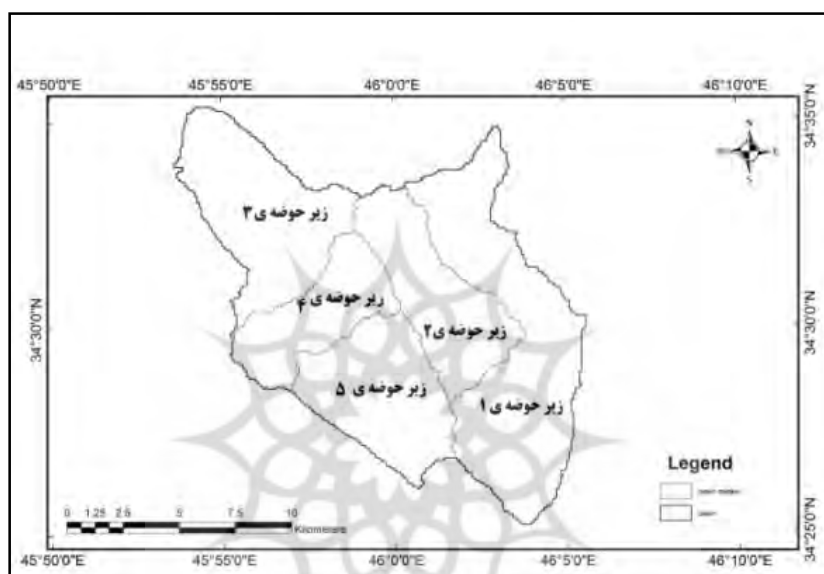


شکل ۴. نقشه توپوگرافی و هیدرولوژی حوضه بالادست الوند

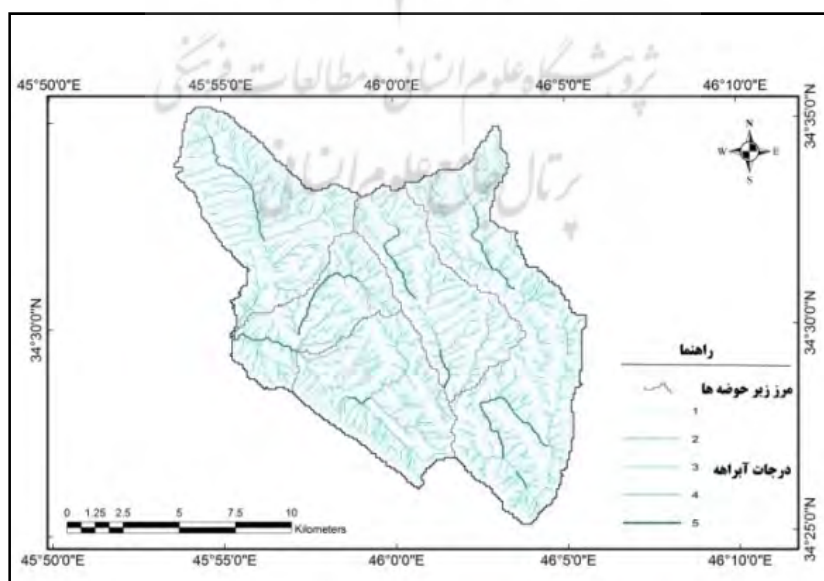
ترسیم: نویسندگان

مواد و روش‌ها

داده‌های لازم برای انجام این پژوهش، یعنی نقشه حوضه با تفکیک زیرحوضه‌ها، نقشه شبکه زهکش با رتبه‌بندی آن به روش استراهلر (اهنرت^۱)، نقشه شیب و نقشه توپوگرافی هر یک از زیرحوضه‌ها، ابتدا با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (Dem) با پیکسل ۴۰ متری در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 تهیه شدند که این امر به کمک نقشه‌های رقومی ۱:۲۰۰۰۰ نیروهای مسلح انجام گرفت و سپس به کمک نقشه ۱:۵۰۰۰۰ (نیروهای مسلح) کنترل شدند (شکل‌های ۵ و ۶). برای تهیه نقشه زمین‌شناسی و گسل‌ها نیز از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی) استفاده شده است.



شکل ۵. نقشه زیرحوضه‌های منطقه بالادست الوند



شکل ۶. نقشه آبراهه‌های حوضه بالادست الوند
ترسیم: نویسندگان

الگوی آبراهه‌های واقع در رشته‌کوه‌های زاگرس، به دلیل تأثیرپذیری از تکتونیک و تفاوت در وضعیت تکتونیکی بخش‌های مختلف آن، متفاوت است. در این پژوهش، برای بررسی وضعیت الگوی آبراهه‌ای حوضه بالادست الوند و ارتباط آن با فعالیت تکتونیکی، تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Ha)، شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Δa)، شاخص عدم تقارن حوضه (AF)، شاخص شیب طولی رودخانه (SI)، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه (T)، شاخص پیچ‌وخم رودخانه اصلی (S) و الگوی زهکشی مورد بررسی قرار گرفته است. روش اندازه‌گیری این شاخص‌ها به شرح زیر است.

الف) شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Δa)

یکی از شاخص‌های مهم برای تعیین میزان نقش تکتونیک در ناهنجاری شبکه زهکشی، شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی است. هرچه میزان این شاخص در حوضه‌ای بیشتر باشد، نشان‌دهنده ناهنجاری بیشتر شبکه زهکشی یا تأثیر بیشتر تکتونیک بر سیستم آبراهه‌ای حوضه است. شاخص مذکور از تقسیم Ha (تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی) بر تعداد واقعی آبراهه‌های درجه ۱ موجود در حوضه به دست می‌آید (گارنیری و پروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷). شاخص Ha شامل حداقل آبراهه‌های درجه ۱ است که باید به طور فرضی به شبکه زهکشی اضافه شوند تا مسیرها نظم سلسله‌مراتبی داشته باشند (سیکاسی و همکاران، ۱۹۸۹: ۲۳۴؛ گارنیری و پروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷). برای محاسبه این شاخص، ابتدا تعداد آبراهه‌ها با درجه‌های مختلف حوضه‌ها تعیین و بعد از تعیین تمام مسیرهای زهکشی، مسیرهایی که ناهنجاری زهکشی دارند، مشخص شدند. از مجموع حاصل ضرب تعداد آبراهه‌ها در مسیرهای ناهنجار، حداقل آبراهه‌های درجه ۱ لازم برای منظم کردن شبکه حوضه، شاخص Ha محاسبه شده است.

برای آشنایی با چگونگی محاسبه شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Δa)، لازم به توضیح است که در یک شبکه زهکشی رتبه‌بندی شده، مطابق روش استراهلر، چنانچه هر آبراهه رتبه ۱ به آبراهه یک رتبه بالاتر از خود، مثل آبراهه رتبه ۲ بپیوندد، نظم سلسله‌مراتبی برقرار است، اما اگر چنانچه هر آبراهه رتبه ۱ به آبراهه‌های دو یا سه رتبه بالاتر از خود مثل آبراهه‌های رتبه ۳ و ۴ بپیوندد، ناهنجاری سلسله‌مراتبی دارند. در چنین حالتی، به این آبراهه‌های درجه ۱ که ناهنجاری دارند، باید به صورت فرضی آبراهه‌هایی اضافه شود، تا نظم سلسله‌مراتبی پیدا کنند. برای مثال: اگر به آبراهه‌های درجه ۱ که وارد آبراهه درجه ۳ می‌شوند، یک آبراهه فرضی اضافه کنیم، شبکه منظم می‌شود. همچنین برای آبراهه‌های درجه ۱ که به درجه ۴ وارد می‌شوند، با اضافه کردن ۲ آبراهه درجه ۱ فرضی، شبکه زهکشی دارای نظم سلسله‌مراتبی می‌شود. معادله ریاضی مربوط به محاسبه تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Ha) برای مسیرهای زهکشی ناهنجاری ($x \rightarrow y$) در زیر آمده است (معادله ۱ و ۲). برای مثال: برای مسیر ناهنجار ۱ به ۵، مقدار Ha، عدد ۷ به دست آمده است.

$$Ha(x \rightarrow y) = h(y - 1) - h(x) \quad y > x \quad \text{(معادله ۱)}$$

$$h(x, y) = 2^{(x, y) - 1} \quad \text{(معادله ۲)}$$

مثال:

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

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

در این پژوهش، پس از تعیین مسیرهای ناهنجاری و تعداد آبراهه‌ها در مسیرهای ناهنجار و ضرب آنها در ستون سمت چپ جدول ۱، تعداد آبراهه‌های درجه ۱ فرضی اضافه‌شده به هر مسیر ناهنجار محاسبه شده است. Ha شامل مجموع آبراهه‌های درجه ۱ اضافه‌شده فرضی در تمام مسیرهای ناهنجار و Δa (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

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

ب) شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)

شاخص عدم تقارن، شاخصی است که برای ارزیابی کج‌شدگی تکتونیکی حوضه‌های زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص از رابطه ۱ به دست می‌آید (ویردی و همکاران^۱، ۲۰۰۶؛ کلر و پینتر^۲، ۲۰۰۲؛ کلمنت و بروک^۳، ۲۰۰۸؛ ۱۷۸۹).

$$Af = |50 - (AR_X 100 / AT)| \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه:

AF : شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی؛

AR : مساحت حوضه (کیلومتر مربع) در سمت راست آبراهه اصلی؛

AT : مساحت کل حوضه (کیلومتر مربع) است (شکل ۵).

هرچه مقدار AF به عدد ۱۰۰ نزدیک شود، نشان‌دهنده کج‌شدگی حوضه به سمت چپ و هرچه به صفر نزدیک باشد، نشان‌دهنده کج‌شدگی حوضه به سمت راست است. مقدار ۵۰ نیز حوضه بدون کج‌شدگی را نشان می‌دهد و آستانه‌های آن (همدونی^۴، ۲۰۰۸؛ ۱۶۸) در سه کلاس طبقه‌بندی شدند. مقادیر کلاس ۱ فعال از نظر تکتونیکی با

1. Viridy
2. Keller and Pinter
3. Kellement and Bruk
4. Hamdoini

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی بزرگتر از ۱۵ ($AF > 15$)، مقادیر کلاس ۲ با فعالیت تکتونیکی متوسط و شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی میان ۷ تا ۱۵ ($AF = 7-15$) و کلاس ۳ فعالیت کم با شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی کمتر از ۷ ($AF < 7$) تعیین شدند.

ج) شاخص شیب طولی رودخانه

سیستم‌های رودخانه‌ای که به یک حالت تعادل ناشی از فرسایش - رسوب‌گذاری رسیده باشند، به‌وسیله نیمرخ طولی مقعر مشخص می‌شوند. انحراف از این حالت، تأثیرات تکتونیک، لیتولوژی یا عوامل اقلیمی را نشان می‌دهد. شاخص (SI) با کمی کردن تغییرات شیب رودخانه، بی‌نظمی‌های نیمرخ طولی رودخانه و علل آن را در اثر تکتونیک آشکار می‌کند (پدرا، ۲۰۰۹: ۲۶۶).

هنگامی که سنگ‌های بستر رودخانه مقاوم باشند، یا در مناطقی که حرکات تکتونیکی فعال در تغییر شکل قائم پوسته زمین مؤثر باشد، مقادیر عددی شاخص شیب رودخانه زیاد است (کلر و پنتر، ۱۹۹۶: ۱۳۰؛ بال و نیوپفر، ۱۹۸۷: ۲۳؛ سلیمانی، ۱۳۸۷: ۵۸).

تغییرات آب‌وهوایی، نقش مهمی را در بریده‌شدن سنگ بستر ایفا می‌کند که این عمل (بریده‌شدن سنگ بستر) در دوره نهشته‌گذاری امکان‌پذیر نیست؛ زیرا طی این دوره مواد رسوبی در کف بستر رودخانه برجای می‌ماند و برعکس؛ زمانی که سطح اساس بالا بیاید، مقداری از مواد در بستر رود انباشته شده و سبب پرشدن بستر می‌شود و در نتیجه مقدار SL را بالا می‌برد. این شاخص از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$SL = (H\Delta/\Delta Lr) Lsc \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه:

ΔH : اختلاف ارتفاع قطعه مورد نظر (متر)؛

ΔLr : طول شاخه مورد نظر (متر)؛

Lsc : مجموع طول آبراهه از خط مستقیم تا نقطه میانی قطعه مورد نظر (متر) است.

این شاخص با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ با فواصل منحنی میزان ۱۰۰ متر محاسبه شد. برای این کار، ابتدا نیمرخ طولی آبراهه اصلی هر حوضه از روی نقشه DEM منطقه تهیه شد و در فواصل معین (۱۰۰ متر) SI به‌دست آمد. برای تمام مسیر این عمل به‌ترتیب صد متر به صد متر از سرچشمه تا خروجی حوضه، انجام گرفت.

آستانه این شاخص در سه کلاس طبقه‌بندی شد. مقادیر کلاس ۱ فعال از نظر تکتونیکی $SI \geq 500$ ، مقادیر کلاس ۲ با فعالیت تکتونیکی متوسط $300 \leq SI < 500$ و کلاس ۳ فعالیت کم $SI < 300$ است.

(د) توپوگرافی معکوس حوضه (T)

این شاخص یکی دیگر از شاخص‌های بررسی تأثیر تکتونیک در عدم تقارن حوضه‌های زهکشی است (کاگس^۱، ۱۹۹۴: ۵۷۱). مقدار این شاخص بین صفر و یک تغییر می‌کند و هر چه عدد T به یک نزدیکتر باشد، عدم تقارن در حوضه بیشتر است (رندل^۲، ۱۹۹۴: ۵۷۷). در این شاخص مقادیر عددی نزدیک به یک، بیانگر تکتونیک فعال است. در حوضه مورد مطالعه، در هر زیرحوضه مقادیر Da و Dd در ۱۰ نقطه از مسیر رودخانه اصلی، از ابتدا تا انتهای رودخانه اندازه‌گیری شده و از مجموع این اندازه‌گیری‌ها، میانگین گرفته شد تا عدد به‌دست آمده، نماینده و بیان‌کننده کل مسیر رودخانه باشد. شاخص مذکور از رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$T = Da/Dd \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه:

T: شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه؛

Da: فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمربند فعال مئاندردی حوضه (رودخانه اصلی)؛

Dd: فاصله خط میانی حوضه تا خط تقسیم آب است.

(ه) شاخص پیچ‌وخم رودخانه اصلی (S)

از نظر چارچوب نظری، رودخانه‌ای که کمابیش به حالت تعادل رسیده باشد، برای حفظ تعادل بین شیب با دبی و رسوب‌گذاری، پیچ می‌خورد (باربانک و آندرسون^۳، ۲۰۰۰: ۸۳). شیب بستر رودخانه، به دلیل فعالیت‌های تکتونیک رابطه مستقیمی با پیچ‌وخم مسیر رودخانه دارد. هرچه میزان شاخص S بیشتر باشد، نشان‌دهنده فعال بودن تکتونیک در منطقه است. برای این منظور در هر زیرحوضه، از روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ طول دره به خط مستقیم و طول رودخانه اصلی اندازه‌گیری شد و نتیجه به‌دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این شاخص به صورت رابطه ۴ تعریف می‌شود:

$$S = C/V \quad \text{رابطه ۴}$$

که در این رابطه:

S: شاخص پیچ‌وخم رودخانه اصلی؛

C: طول رودخانه؛

V: طول دره به خط مستقیم است.

یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های به کار گرفته شده به شرح زیر ارائه شده است.

1. Kags
2. Randel
3. Anderson

الف) شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Δa)

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های انجام گرفته در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. شاخص‌های Δa و H_a در حوضه بالادست الوند

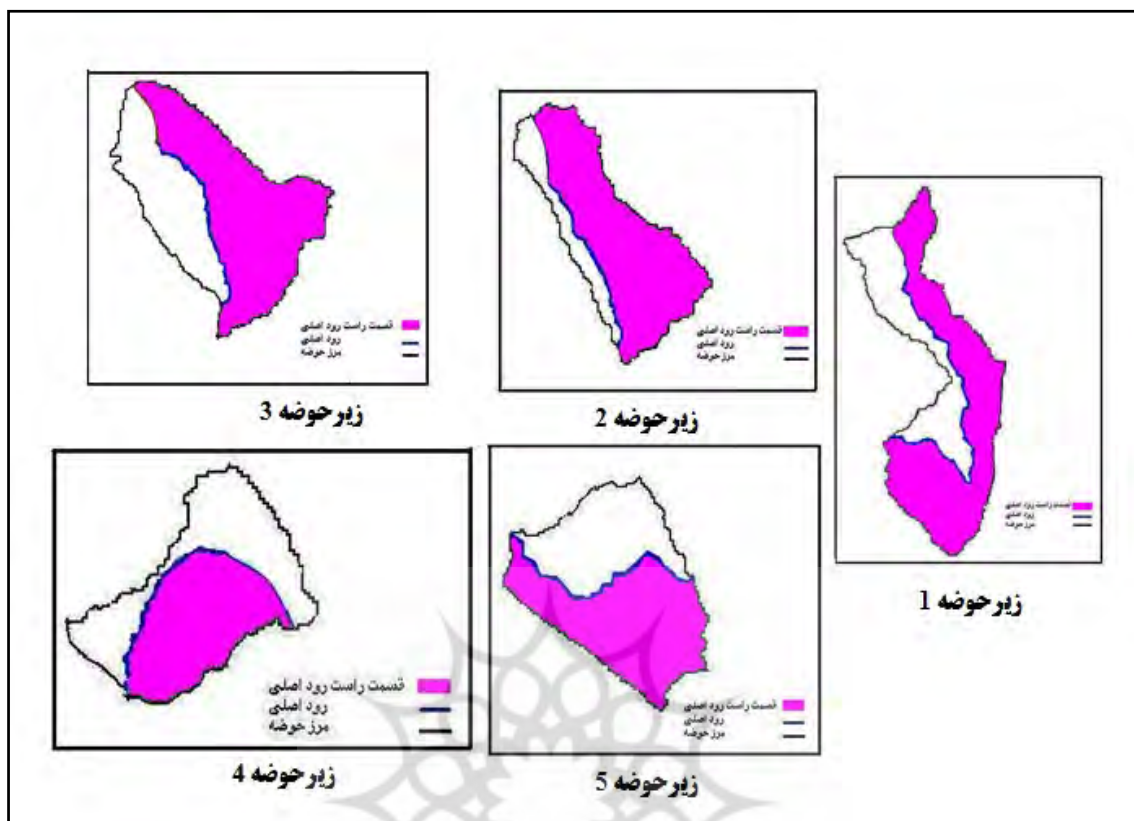
مسیر	حداقل تعداد	زیرحوضه شماره ۱	زیرحوضه شماره ۲	زیرحوضه شماره ۳	زیرحوضه شماره ۴	زیرحوضه شماره ۵
۱→۳	۱	$73(1)=73$	$13(1)=13$	$27(1)=27$	$3(1)=3$	$23(1)=23$
۱→۴	۳	$186(3)=186$	$114(3)=114$	$48(3)=48$	$18(3)=18$	$87(3)=87$
۱→۵	۷	$105(7)=105$	$0(7)=0$	$182(7)=182$	$56(7)=56$	$91(7)=91$
۲→۴	۲	$54(2)=54$	$22(2)=22$	$12(2)=12$	$4(2)=4$	$22(2)=22$
۲→۵	۶	$36(6)=36$	$0(6)=0$	$66(6)=66$	$36(6)=36$	$72(6)=72$
۳→۵	۴	$0(4)=0$	$0(4)=0$	$16(4)=16$	$4(4)=4$	$4(4)=4$
H_a		۴۵۴	۱۴۹	۳۵۱	۱۲۱	۲۹۹
Δa		$454/434=1/046$	$149/147=1/013$	$351/269=1/304$	$121/85=1/423$	$299/252=1/181$

ب) شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)

ویژگی تقارنی و عدم تقارن هر یک از زیرحوضه‌های رودخانه الوند در شکل ۷ و مقادیر عددی آن نیز در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مقادیر شاخص (AF) در حوضه ریجاب از $9/24$ تا $21/54$ متغیر است (جدول ۳). در زیرحوضه‌های شماره ۲، ۴ و ۵ که در کلاس ۱ قرار می‌گیرند، عدم تقارن و کج‌شدگی در آنها آشکار است و از نظر تکتونیکی فعال هستند و زیرحوضه‌های شماره ۳ و ۱ که در کلاس ۲ قرار می‌گیرند فعالیت متوسطی دارند.

جدول ۳. مقادیر شاخص (AF) در حوضه بالادست الوند و کلاس هر حوضه از نظر فعالیت تکتونیکی

کلاس فعالیت تکتونیکی	AF	$A_T (Km^2)$	$A_R (Km^2)$	زیرحوضه
۲	۱۴/۳۷	۵۹/۴۳	۲۱/۱۸	۱
۱	۲۱/۵۴	۳۱/۹۵	۲۲/۶۰	۲
۲	۹/۲۴	۳۷/۳۶	۱۵/۲۳	۳
۱	۱۵/۵۸	۱۴/۲۱	۹/۳۲	۴
۱	۱۵/۲۰	۳۵/۵۸	۱۲/۳۸	۵



شکل ۷. ارزیابی شاخص عدم تقارن حوضهٔ زهکشی در هر زیرحوضه

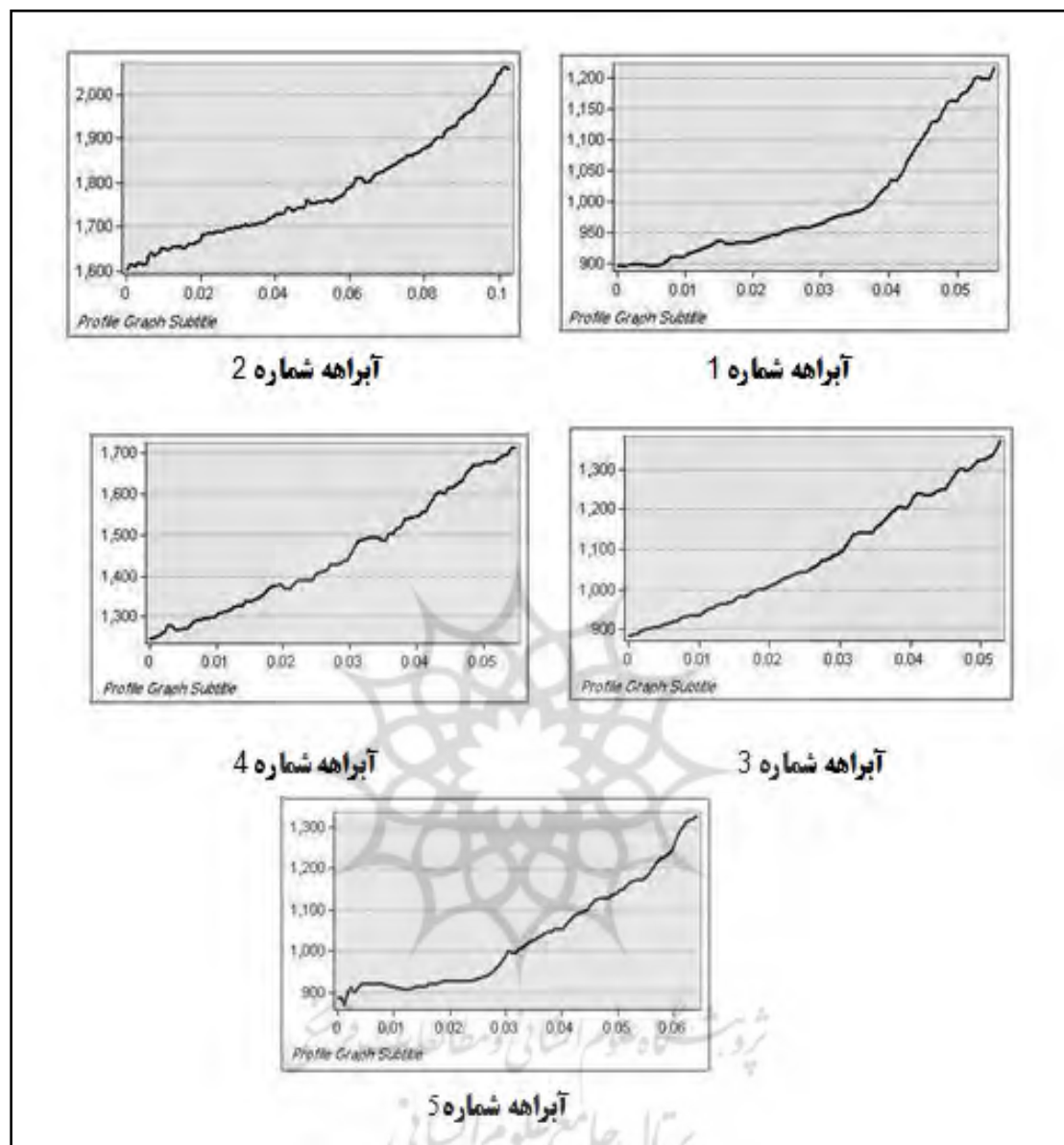
ترسیم: نویسندگان

ج) شاخص شیب طولی رودخانه

نمودار شیب طولی رودخانه الوند، به تفکیک زیرحوضه‌های پنج‌گانهٔ آن در شکل ۸ نشان داده شده است. در جدول ۴ نیز داده‌های به‌دست آمده مشاهده می‌شود. مطابق این داده‌ها، در رودخانه‌های حوضهٔ مورد مطالعه، مقادیر شاخص (SL)، بین ۶۹۵ و ۲۹۵ در نوسان است. کمترین میزان شاخص به رودخانهٔ زیرحوضهٔ شمارهٔ ۲ مربوط می‌شود و بر فعالیت تکتونیکی کم زیرحوضه دلالت دارد. زیرحوضهٔ شمارهٔ ۵ با فعالیت متوسط و زیرحوضه‌های شمارهٔ ۱، ۴ و ۳ از حوضه‌های فعال هستند که این رودخانه‌ها، رودخانه‌هایی با بیشترین بی‌نظمی در نیمرخ طولی از حوضه‌های فعال به‌شمار می‌روند.

جدول ۴. مقادیر شاخص (SL) در حوضهٔ بالادست الوند و کلاس هر حوضه از نظر فعالیت تکتونیکی

کلاس فعالیت تکتونیکی	SL	$L_{sc}(m)$	$\Delta L_r(m)$	ΔH	زیرحوضه
۱	۶۹۵	۹۱۰۰	۱۶۳۵۰	۱۲۵۰	۱
۳	۲۹۵	۲۳۰۰	۸۹۶۰	۱۱۵۰	۲
۱	۵۱۲/۵	۴۱۰۰	۵۶۰۰	۷۰۰	۳
۱	۶۶۰	۳۲۵۰	۶۱۵۰	۱۲۰۰	۴
۲	۳۳۵/۲	۲۸۵۰	۸۵۰۰	۱۰۰۰	۵



شکل ۸. نمودار شیب طولی رودخانه اصلی در زیرحوضه‌ها

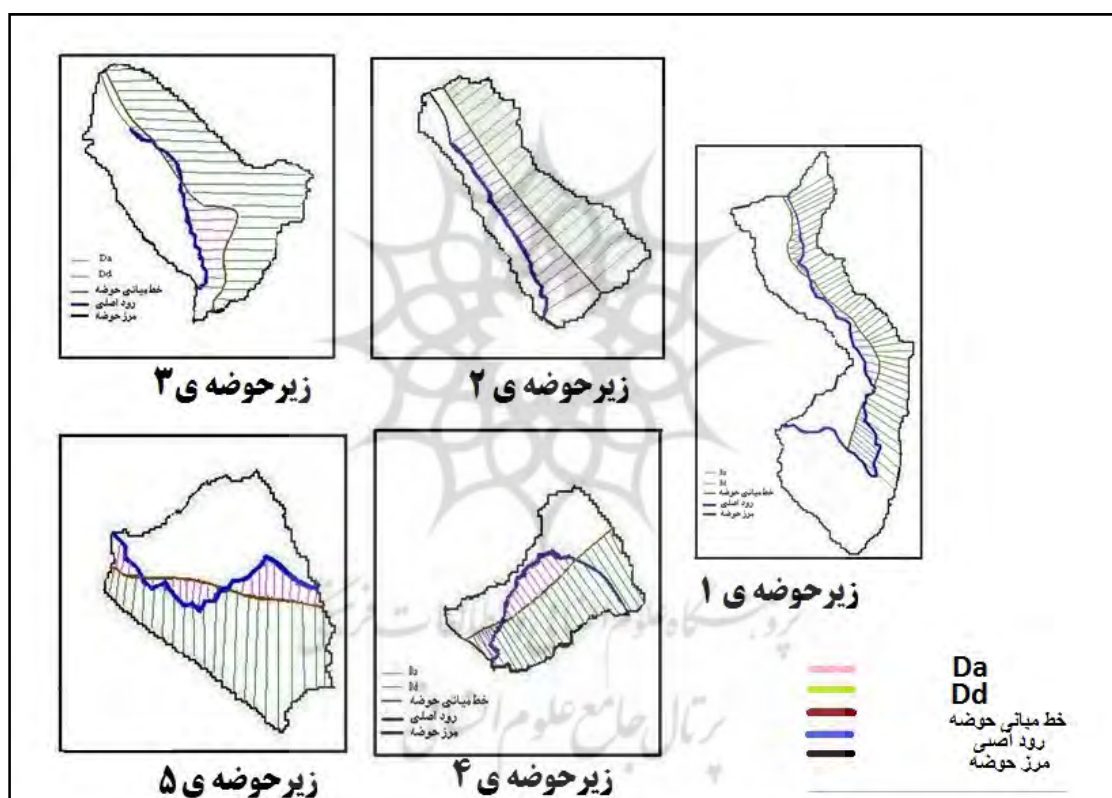
ترسیم: نویسندگان

(د) توپوگرافی معکوس حوضه (T)

نتایج حاصل از بررسی این شاخص در شکل ۹ به صورت نمودار و در جدول ۵ به صورت عددی نشان داده شده است. داده‌ها بیانگر آن است که در رودخانه‌های حوضه مورد مطالعه، مقادیر شاخص (T)، بین ۰/۶۷ تا ۰/۳۲ در نوسان است، کمترین میزان شاخص به رودخانه زیرحوضه شماره ۱ و بیشترین آن، به ترتیب به رودخانه زیرحوضه‌های شماره ۴ و ۲ مربوط است که نشان از فعالیت تکتونیک دو حوضه دارد. حوضه‌های شماره ۳ و ۵ در مرتبه بعدی قرار دارند (جدول ۵).

جدول ۵. مقادیر شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)

T	Da	Dd	زیرحوضه
-۰/۳۲	۴۵۰	۱۴۵۰	۱
-۰/۶۵	۱۰۳۰	۱۵۸۰	۲
-۰/۳۸	۷۰۰	۱۸۰۰	۳
-۰/۶۷	۸۱۰	۱۲۰۰	۴
-۰/۳۵	۷۵۰	۲۱۰۰	۵

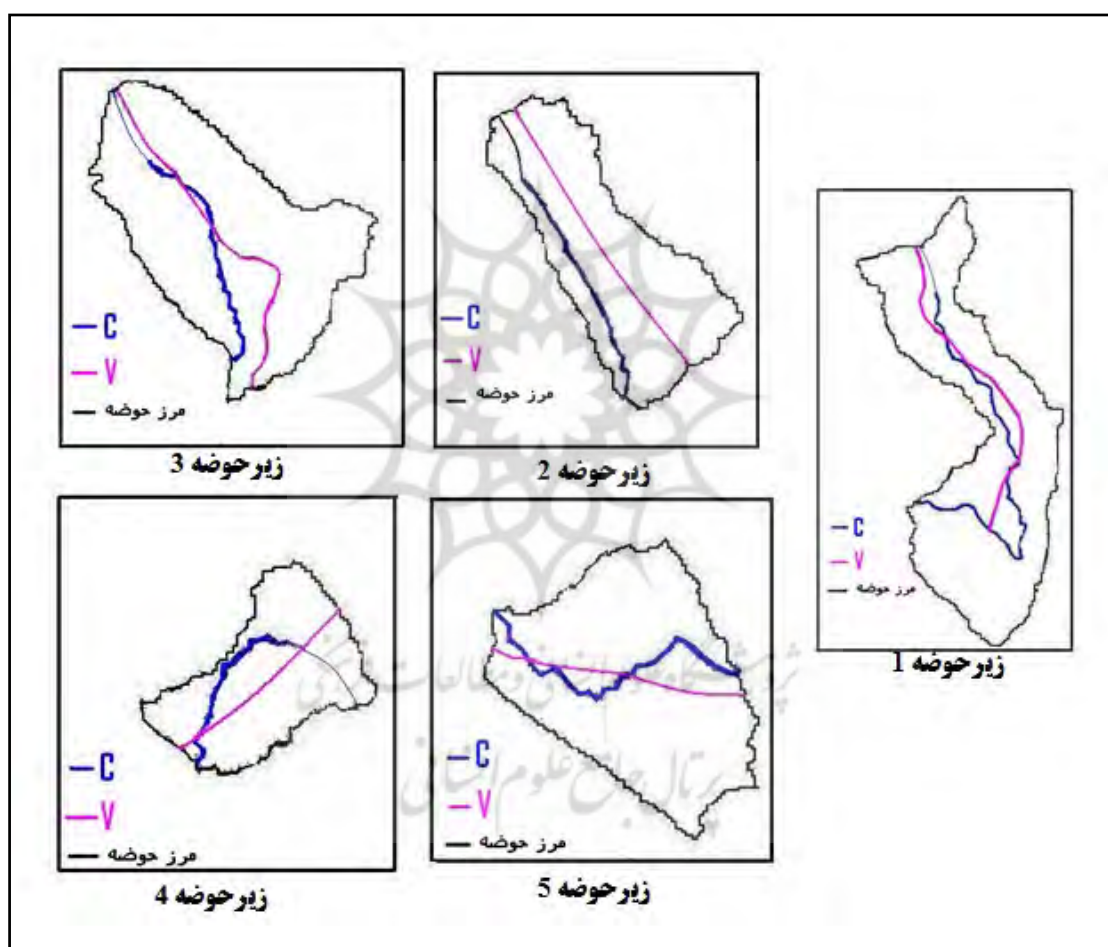


ه) شاخص پیچ و خم رودخانه اصلی (S)

نمودار پیچ و خم رودخانه‌ای زیرحوضه‌های الوند در شکل ۱۰ و نتایج آماری آن نیز، در جدول ۶ قابل مشاهده است. در رودخانه اصلی حوضه مورد مطالعه، مقادیر شاخص (S) بین ۰/۹۲ تا ۱/۲۵ متغیر است، در زیرحوضه‌های شماره ۴ و ۵ حرکات نتوتکتونیکی فعال و پیچ و خم رودخانه زیاد است و زیرحوضه‌های شماره ۳، ۲ و ۱ که بیشتر حالت خطی دارند، مرتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند (جدول ۶).

جدول ۶. مقادیر شاخص بیج‌وخم رودخانه اصلی (S)

S	V	C	زیر حوضه
۰/۹۲	۱۷۶۷۰	۱۶۴۲۰	۱
۰/۹۳	۹۸۰۰	۹۲۰۰	۲
۰/۹۴	۹۳۱۰	۸۷۶۰	۳
۱/۲۵	۵۳۰۰	۶۶۵۰	۴
۱/۲۴	۷۸۵۰	۹۸۰۰	۵



شکل ۱۰. ارزیابی شاخص S در هر زیر حوضه

ترسیم: نویسندگان

بحث و نتیجه‌گیری

وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها بر مورفولوژی شبکه‌های جریان‌ی و الگوی شبکه‌ی زهکشی، نقش مؤثری دارد. این موضوع باعث شده است تا از طریق مورفومتری شبکه‌ی زهکشی و برخی خصوصیات مورفولوژی و فیزیوگرافی آبراهه‌ها، بتوان میزان فعالیت تکتونیک یک حوضه را مورد ارزیابی قرار داد. در این پژوهش با استفاده از همین ویژگی‌ها، به ارزیابی

میزان تأثیرپذیری حوضه بالادست رودخانه الوند پرداخته شد. حوضه الوند در بخش شمال غرب زاگرس چین‌خورده واقع شده است. بخش بالادست آن به وسیله رودخانه ریجاب زهکشی می‌شود که متشکل از طاقدیس کوه قلالان و خانمک در شرق و شمال و ناودیس ریجاب در غرب و جنوب است. این چین‌ها با تعداد زیادی گسل بریده شده‌اند که گسل‌های کوند، پیران، ریجاب از مهم‌ترین آنها هستند. این گسل‌ها به‌طور طولی و عرضی طاقدیس و ناودیس‌ها را بریده‌اند. شبکه‌های آبراهه‌ای حوضه نیز، به‌طور عمده در امتداد این گسل‌ها ابقا شده‌اند. از این رو به نظر می‌رسد که مورفولوژی منطقه، تحت تأثیر فعالیت این گسل‌ها در حال تحول است. برای ارزیابی این خصوصیت، از شاخص‌های ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Δa)، شاخص عدم تقارن حوضه (AF)، شاخص شیب طولی رودخانه (SI)، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه (T) و شاخص پیچ‌وخم رودخانه اصلی (S) استفاده شده است. برای دستیابی به نتایج بهتر، ابتدا حوضه مورد مطالعه به پنج زیرحوضه تقسیم‌بندی شده و سپس شاخص‌های مورد نظر سنجش قرار گرفته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مقدار Δa به‌منزله یک شاخص مهم برای شناسایی میزان ناهنجاری زهکشی و به تبع آن میزان فعالیت تکتونیکی، در بخش‌های مختلف حوضه ریجاب متفاوت است. در حقیقت مقدار این شاخص بین ۱/۰۴۶ در زیرحوضه شماره ۱ تا ۱/۴۲۳ در زیرحوضه شماره ۴ متفاوت است. با توجه به اینکه زیر حوضه‌های شماره ۱ و ۲، در سطح طاقدیس‌های حوضه و زیرحوضه‌های شماره ۳، ۴ و ۵ در سطح ناودیس حوضه قرار گرفته‌اند و نیز با توجه به مقدار عددی شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی هر یک از زیرحوضه‌ها (داده‌های جدول ۲)، می‌توان نتیجه گرفت، فعالیت تکتونیکی حوضه مورد مطالعه در بخش ناودیس بیشتر از بخش طاقدیس آن است. در واقع گسل‌هایی که ساختمان ناودیس ریجاب واقع در غرب و جنوب حوضه مورد مطالعه را بریده‌اند، از گسل‌هایی که ساختمان طاقدیس کوه‌های قلالان و خانمک واقع در شرق و شمال حوضه را بریده‌اند، جنبش بیشتری دارند. داده‌های این شاخص همچنین نشان می‌دهد، فعالیت تکتونیک در بخش میانی ساختمان ناودیس ریجاب (زیرحوضه شماره ۴)، بیشتر از بخش‌های کناری آن (زیرحوضه‌های شماره ۳ و ۵) است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از شاخص‌های (S, T, SI, AF) نشان می‌دهد که قسمت غرب حوضه (ناودیس ریجاب) نسبت به شرق حوضه (طاقدیس قلالان و خانمک) تکتونیک فعال‌تری دارد. وجود آبشارهای بلند در محل خروج آبراهه‌ها از ساختمان ناودیس، همراه با تندآبهای بستر رود الوند وقتی به لایه‌های کف ناودیس ریجاب می‌رسد و نیز، وجود دره‌های عمیق به‌شکل کانیون در محل جریان آبراهه‌های ناودیس ریجاب، از پیامدهای مورفولوژیکی فعالیت تکتونیک در بخش غرب و جنوب حوضه مورد مطالعه است.

منابع

- رضایی مقدم، م. ح؛ احمدی، م. (۱۳۸۵). تحلیل ژئومورفولوژی کمی الگوی زهکشی شبکه آبراهه‌ای، به‌کمک زاویه برخورد آنها در زیرحوضه سرباس استان کرمانشاه. مجله تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۱، شماره ۸۱، صص. ۸۴-۹۸.
- نگهبان، م.؛ خطیب، م. م. (۱۳۸۴). بررسی تکتونیک فعال به‌روش تراکم‌سنجی آبراهه‌ها در اطراف گسل نصرت‌آباد (خاور ایران)، بیست‌ودومین همایش زمین‌شناسی، تهران: سازمان زمین‌شناسی کشور.

یمانی، م.؛ باقری، س.؛ جعفری اقدم، م. (۱۳۸۹). مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نوزمین‌ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال غربی)، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۵، شماره ۹۷، صص. ۱۶۲۷-۱۶۴۵.

Ahnert, F., 1998, **Introduction to Geomorphology**, Arnold, London.

Berberian, M., 1995, **Master "Blind" Thrust Faults Hidden under the Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface Morph Tectonics**, Tectonophysics, Vol. 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, Vol. 160, No. 3, PP. 401-412.

Burbank, W. and Anderson, R.S., 2001, **Tectonic Geomorphology**, Blackwell Science, .U.S.A.

Ciccacci, S., Feredi, 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, Vol. 33, No. 11, PP. 1787-1795.

Cox, R.T, 1994, **Analysis of Drainage Basin Symmetry as a Rapid Technique to Identify Areas of Possible Quaternary rilt-block Tectonics: An Example from the Mississippi Embayment**, Geological Society of America Bulletin, Vol. 106, No. 5, PP. 571-581.

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, Vol. 99, No. B 10, PP. 20243-20266.

El Hamdouni, R., Irigaray, C. Fernandez, T. Chacon, J. Keller, E.A., 2008, **Assessment of Relative Active Tectonics, Southwest Border of the Sierra Nevada (Southern Spain)**. Geomorphology, Vol. 96, No. 1-2, PP. 150-173.

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, No. 3-4, 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 Social, Vol. 163, PP. 143-148.

Jackson, J., Noris, R., Yougson, J., 1996, **The Structural Evolution of Active Fault and Flood Systems in Central Otago, New Zealand, Evidence Revealed by Drainage Patterns**, Journal of Structural Geology, Vol. 18, No. 2-3, PP. 217-234.

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, Vol. 58, No. 1-4, PP. 49-65.

Keller, E. A, and Pinter N., 2002, **Active Tectonics Earthquake, Uplift, and Landscape**, Prentice Hall Publisher. New, Jersey.

Keller, E.A and Pinter N., 1996, **Active Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscape**,

Prentice Hall Publication, Landon.

- 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.
- Pedrera, A., Perez – Pena, J.V., Galindo-zaldivar, J., Azanon, J.M. and Azor, A., 2009, **Testing the Sensitivity of Geomorphology Indices in Areas of Low- rate Active Folding (Eastern Betic cordillera, Spain)**, Geomorphology, Vol. 105, No. 3-4, PP. 218-231.
- 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, Vol. 4, No. 1-2, PP. 171-180.
- Ramsey, L.A., Walker, R.T., Jackson, J., 2008, **Flood Evolution and Drainage Development in the Zagros Mountains of Fars Province, SE Iran**, Basin Research, Vol. 20, PP. 23-48.
- Randel, T. C., 1994, **Analysis of Drainage-basin Symmetry as a Rapid Technique to Identify Area of Possible Quaternary Tilt-block Tectonics: an Example from Mississippi Embayment**, Geological Society, V. 106, No. 5, PP. 571-581.
- Rangzan, K., and Iqbaluddin, I., 995, **Moropo- tectonic Study of Zagros Structural Belt of SW Iran Using Remote Sensing Techniques**, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol. 23, No. 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, Vol. 101-102, PP. 253-267.
- Virdi, N. S., Philip, J. Bhattacharya, S., 2006, **New Tectonic Activity in the Markanda and Bata River Basins, Himachal Pradesh, NW Himalaya: A Morph Tectonic Approach**. International Journal of Remote Sensing, Vol. 27, No. 10, PP. 2093-2099.