



## سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال چهاردهم / شماره اول) بهار ۱۴۰۲

نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیویلیکا، گوگل اسکولار  
آدرس وب سایت: <http://girs.iaubushehr.ac.ir>



# تحلیل ارتباط ویژگی‌های مورفومتری و فرسایش‌پذیری با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی در حوضه آبریز پیوه‌ژن بینالود

مقاله پژوهشی

مهناز ناعمی تبار، محمدعلی زنگنه اسدی، رحمان زندی

دریافت: ۴ تیر ۱۴۰۰ / بازنگری: ۸ شهریور ۱۴۰۰ / پذیرش: ۱۵ آبان ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۱۵ آبان ۱۴۰۰ / دسترسی چاپی: ۱ فروردین ۱۴۰۲

### چکیده

باشد. بررسی ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبخیز پیوه‌ژن بر مبنای شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفومتری است. با توجه به اهمیت بررسی ویژگی‌های مورفومتری در مطالعات حوضه آبخیز و بررسی میزان فرسایش‌پذیری در این مطالعه هدف بررسی ویژگی‌های مورفومتری با نوع لندفرم و پیش‌بینی میزان فرسایش از طریق لندفرم‌ها است.

مواد و روش‌ها در پژوهش حاضر جهت تحلیل‌های مورفومتری از نرم افزار ArcGIS، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۲۰ متر تهیه شده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰۰ رقومی سازمان نقشه برداری کشور و تصاویر ماهواره‌ای استر (Aster) استفاده شده است. جهت استخراج تعداد آبراهه‌ها از نرم افزار آرک ویو (ArcView)، مدل ارتفاعی رقومی زمین، استفاده شده است. برای پارامتر شیب و جهت شیب و ارتفاع منطقه مطالعاتی از نقشه توپوگرافی و مدل ارتفاعی رقومی زمین استفاده شد. جهت تهیه پارامتر تراکم زهکشی نیز از مدل رقومی ارتفاع با استفاده از ماژول (Spectral indices) در ArcHydro و مدل رقومی ارتفاعی ماهواره استر (Aster) به صورت اتوماتیک آبراهه‌های موجود حوضه استخراج گردید. آستانه ۲۵-۵۰ سلول برای استخراج شبکه زهکشی انتخاب و شبکه زهکشی ترسیم شد. در آخرین مرحله، رتبه‌بندی آبراهه‌ها به روش استرالر انجام و پارامترهای مورفومتری استخراج شد. برای جداسازی لندفرم‌های

پیشینه و هدف پارامترهای مورفومتری حوضه آبریز شاخص‌های بسیار مناسب برای تحلیل فرآیندهای ژئومورفولوژیکی هستند. مطالعات فرسایش و تولید رسوب از مهم‌ترین تحقیقاتی هستند که به منظور اجرای برنامه‌های حفاظتی آب و خاک، کاهش فرسایش، تغییر هیدرولیک جریان رودخانه‌ها و همچنین جلوگیری از کاهش گنجایش دریاچه سدهای مخزنی، توسط متخصصان علوم زمین و به خصوص ژئومورفولوژیست‌ها انجام می‌گیرد. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های ژئومتری رودخانه، از اصطلاح مورفومتری یا شکل‌سنجی رودخانه‌ای استفاده می‌شود. مورفومتری، تحلیل‌های کمی از ویژگی‌های ژئومورفیک لندفرم‌های یک منطقه است. تحلیل مورفومتری یکی از روش‌های موثر برای اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها است که می‌تواند بیانگر وضعیت شبکه زهکشی حوضه

مهناز ناعمی تبار<sup>(✉)</sup>، محمدعلی زنگنه اسدی<sup>۲</sup>، رحمان زندی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
  ۲. دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
  ۳. استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
- پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [mahnaznaemi70@gmail.com](mailto:mahnaznaemi70@gmail.com)

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2023.686216>

<https://dori.net/dor/20.1001.1.26767082.1402.14.1.4.9>

منطقه مورد مطالعه مشخص شد. به طوری که افزایش تعداد آبراهه‌ها و طول آن در حوضه آبخیز نشان‌دهنده افزایش فرسایش است. سپس شاخص TPI که حالت گودی و برآمدگی را مورد تمایز قرار می‌دهد به عنوان یکی از شاخص‌های ژئومورفومتریک در نظر گرفته شد. حد پایین و بالای شاخص TPI برای منطقه مورد مطالعه به ترتیب  $-۳۹/۲۱$  و  $۳۳/۵۱$  محاسبه گردید. مناطق با TPI منفی نشان‌دهنده توپوگرافی کم (تعورها و گودال‌ها است) در حالی که TPI مثبت نشان‌دهنده توپوگرافی زیاد (محدب و یا ستیغ‌ها) است. وجود گودی‌ها و چاله‌ها (در مناطق با TPI کم) موجب افزایش زمان تاخیر جریان‌های سطحی در منطقه شده و باعث نفوذ آب می‌شود که به نوبه خود می‌تواند تاثیر بسزایی در ذخیره نزولات و رواناب‌های سطحی داشته باشد. نتایج بررسی‌های پارامترهای مورفومتری بیانگر آن است که شرایط فرسایش‌پذیری منطقه مساعدتر و وضعیت بحرانی است. تجزیه و تحلیل داده‌های طبقه‌بندی شده نشان داد که مساحت و طول آبراهه در فرسایش تاثیر گذار است. با مقایسه نقشه لندفرم‌ها و نقشه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه مشخص شد که لندفرم‌های طبقه ۴ (دره‌های U شکل) و لندفرم‌های طبقه ۳ (زهکش‌های مرتفع) دارای بیشترین فرسایش‌پذیری هستند. همچنین با افزایش میزان درجه ناهمواری میزان فرسایش در منطقه بیشتر می‌شود که در لندفرم‌های واقع در ارتفاعات بال دست مانند خط الرأس‌ها (لندفرم‌های کلاس ۸ و ۱۰) بیشترین میزان و در نتیجه بیشترین حساسیت‌پذیری این لندفرم‌ها مشخص شد. مکان‌های واقع در کلاس ۳ دارای بیشترین چگالی زهکشی می‌باشند. منطقه مطالعاتی با توجه به ویژگی‌های طبیعی، ویژگی‌های مورفومتری و فیزیوگرافی گرد است که باعث می‌شود زمان تمرکز کوتاه و دبی اوج بزرگتر و از لحاظ سیل‌خیزی مستعدتر باشد. با بررسی سایر مولفه‌های مورفولوژی به این نتایج دست یافتیم که منطقه مطالعاتی از لحاظ فرسایش‌پذیری مستعد است.

**واژه‌های کلیدی:** مورفومتری، لندفرم، شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، فرسایش‌پذیری

منطقه از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۲۰ متر استفاده شد و سپس نوع لندفرم‌ها بر اساس TPI یا شاخص موقعیت توپوگرافی شناسایی شدند و بر اساس رابطه  $TPI_i = Z_0 - \sum_{n=1} Z_{n/n}$  (ارتفاع نقطه مدل تحت ارزیابی،  $Z_n$  ارتفاع از شبکه،  $n$  تعداد کل نقاط اطراف در نظر گرفته شده در ارزیابی) محاسبه گردید، مقایسه ارتفاع هر سلول در یک مدل رقومی TPI، ارتفاع با میانگین ارتفاع سلول‌ها همسایه می‌باشد. در نهایت ارتفاع میانگین از مقدار ارتفاع در مرکز کم می‌شود.

**نتایج و بحث** پارامترهای مورفومتری بررسی شده در این تحقیق شامل تعداد آبراهه‌ها ( $N_u$ )، رتبه آبراهه‌ها ( $U$ )، طول آبراهه‌ها ( $L$ )، ضریب بیفورکاسیون ( $R_b$ )، ضریب ناهمواری ( $B_b$ )، تراکم زهکشی ( $D_d$ )، فراوانی آبراهه‌ها ( $F$ )، فاکتور شکل ( $R_f$ )، ضریب گردی ( $R_c$ ) و ضریب مستطیل معادل ( $R_e$ ) می‌باشد. نتایج نشان داد که با توجه به تعداد آبراهه‌ها (۱۸۴ آبراهه) وجود آبراهه‌های درجه اول، دوم و سوم، زیاد بودن طول آبراهه‌ها، بالا بودن نسبت طول آبراهه‌ها به مساحت حوضه و ضریب ناهمواری بالا منطقه فرسایش‌پذیر بوده و نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه دارد. همچنین مطالعات لندفرم‌ها در منطقه مورد مطالعه نشان داد که به کمک ویژگی‌های مورفومتری و میزان حساسیت لندفرم‌ها به فرسایش را در منطقه مشخص نمود. به طوری که بعد از تهیه نقشه لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) و در نظر گرفتن مناطق حساس به فرسایش از طریق ویژگی‌های مورفومتری، لندفرم‌های حساس به فرسایش در منطقه مورد مطالعه مشخص شدند. با مقایسه نقشه لندفرم‌ها و نقشه پهنه‌بندی فرسایش منطقه مورد مطالعه مشخص شد که لندفرم‌های کلاس ۲ (دره U شکل) و لندفرم‌های کلاس ۴ (زهکش‌های مرتفع) از بیشترین فرسایش‌پذیری برخوردار هستند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان تراکم زهکشی میزان فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد.

**نتیجه‌گیری** بعد از تهیه نقشه لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) و در نظر گرفتن مناطق حساس به فرسایش از طریق ویژگی‌های مورفومتری، لندفرم‌های حساس به فرسایش در

## مقدمه

حوضه آبخیز رودخانه (Zargha) در شمال اردن پرداختند. نتایج نشان داد که اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز بر مبنای تحلیل مورفومتری، سازگارتر و برای تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی حفاظت در مقایسه با رویکرد PCA بهتر است. کومار رای و همکاران (۱۵) جهت بررسی تراکم زهکشی حوضه رودخانه وارونا (Varuna) هند با استفاده از GIS و داده‌های مدل ارتفاع دیجیتال (DEM) به این نتایج دست یافتند که پارامترهای ریخت‌سنجی مشتق شده با کمک داده‌های ارتفاعی-DEM مبتنی بر ASTER استر (SRTM) یا از طریق تکنیک‌های GIS اطلاعات بسیار مفیدی در زمینه تفسیر داده‌های هیدرولوژیکی حوضه‌ها ارائه می‌دهد (۶). عرب عامری و همکاران (۲) در پژوهشی جهت اولویت‌بندی مورفومتریک حوضه‌های آبخیز به منظور مدیریت بهینه منابع آب و خاک به این نتیجه رسیدند که پارامترهای مورفومتریک و مدل ترکیبی دارای دقت بالایی در شناسایی زیرحوضه‌های با پتانسیل سیل خیزی و فرسایش‌پذیری بالا است. از دیگر پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان به؛ گومز هرز و همکاران (۸)، گودویچ جی و پالوسکیویچ (۹)، کومار و همکاران (۱۴)، محمد و همکاران (۲۰)، روزیکا و میگون (۲۶) اشاره کرد. هدف از پژوهش حاضر بررسی ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبخیز پیوه‌ژن بر مبنای شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفومتری است. با توجه به اهمیت بررسی ویژگی‌های مورفومتری در مطالعات حوضه آبخیز و بررسی میزان فرسایش‌پذیری در این مطالعه هدف بررسی ویژگی‌های مورفومتری با نوع لندفرم و پیش‌بینی میزان فرسایش از طریق لندفرم‌ها است.

## مواد و روش‌ها

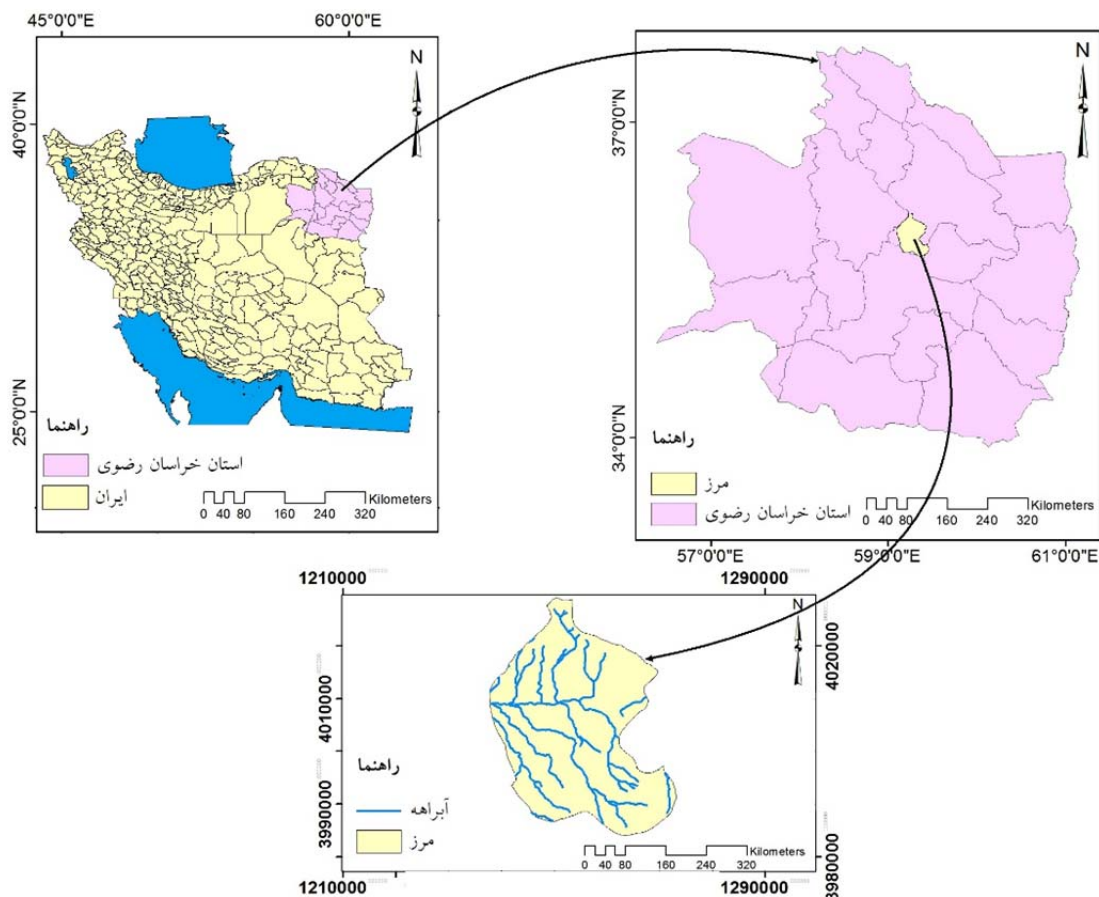
## منطقه مورد مطالعه

حوضه پیوه‌ژن در جنوب غربی شهرستان مشهد قرار دارد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۴۲/۱۶ کیلومتر مربع با موقعیت طول جغرافیایی  $61^{\circ} 34' 59''$  و عرض جغرافیایی  $38^{\circ} 05' 36''$  می‌باشد. سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه متنوع بوده اگرچه ۷۱/۶۰ درصد از منطقه را واحدهای سری میانی که

مورفولوژی رودخانه علم شناخت سیستم رودخانه از نظر شکل و فرم کلی، ابعاد و هندسه هیدرولیکی، راستا و پروفیل طولی بستر و نیز روند و نحوه تغییرات آن می‌باشد. مورفولوژی رودخانه به فاکتورهای متعددی چون تغییرات جریان آب، شیب بستر، سطح مقطع رودخانه، زمین‌شناسی منطقه، تکتونیک یا مورفوتکتونیک منطقه و نیز زمان لازم برای شکل‌گیری و تغییر شکل رودخانه، بستگی دارد (۲۴ و ۲۶). برای اندازه‌گیری ویژگی‌های ژئومتری رودخانه، از اصطلاح مورفومتری یا شکل‌سنجی رودخانه‌ای استفاده می‌شود. در واقع مورفومتری، تحلیل‌های کمی از ویژگی‌های ژئومورفیک لندفرم‌های یک منطقه است. تحلیل مورفومتریک یکی از روش‌های موثر برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌هاست که می‌تواند بیانگر وضعیت شبکه زهکشی حوضه باشد (۱۳). پارامترهای مورفومتری حوضه آبریز شاخص‌های بسیار مناسب برای تحلیل فرآیندهای ژئومورفولوژیکی هستند (۱۱ و ۱۷). مطالعات فرسایش و تولید رسوب از مهمترین تحقیقاتی هستند که به منظور اجرای برنامه‌های حفاظتی آب و خاک، کاهش فرسایش، تغییر هیدرولیک جریان رودخانه‌ها و همچنین جلوگیری از کاهش گنجایش دریاچه سدهای مخزنی، توسط متخصصان علوم زمین و به خصوص ژئومورفولوژیست‌ها انجام می‌گیرد (۳ و ۲۱). پیشرفت در فناوری GIS طبقه‌بندی خودکار بر اساس شاخص موقعیت توپوگرافی TPI را تسهیل کرده است (۲۲ و ۲۸). رابطه بین پارامترهای مورفومتریک از طریق زمین‌شناسی زیرین آن، ژئومورفولوژی و ویژگی‌های هیدرولوژیکی مختلف مشخص می‌شود (۴ و ۱۹). برای توصیف رابطه بین پارامترهای مختلف زهکشی یک حوضه، تجزیه و تحلیل ریخت‌سنجی کمی روشی مناسب است که با انجام مطالعه همبستگی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و هیدرولوژیکی حوضه بدست می‌آید (۱ و ۲۳). تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است که به مواردی از آن‌ها اشاره می‌شود. فرهان و همکاران (۵) با استفاده از مورفومتری، تکنیک‌های سنجش از دور و GIS به اولویت‌بندی

مرتعی تشکیل داده و حداقل و حداکثر میانگین بارش سالانه بین ۳۰۲-۴۸۰ میلی‌متر متغیر است (شکل ۱).

متشکل از فیلیت، شیل، ماسه سنگ و کوارتزیت هستند، تشکیل داده است. ۷۲/۵۱ درصد از کاربری منطقه را اراضی



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Location map of the study area

استفاده نمودیم. جهت تهیه پارامتر تراکم زهکشی نیز از مدل رقومی ارتفاع با استفاده از ماژول (Spectral indices) در Arc hydro و مدل رقومی ارتفاعی ماهواره استر به صورت اتوماتیک آبراهه‌های موجود حوضه استخراج گردید. آستانه ۲۵-۵۰ سلول برای استخراج شبکه زهکشی انتخاب و شبکه زهکشی ترسیم شد. در آخرین مرحله، رتبه‌بندی آبراهه‌ها به روش استرالر انجام و پارامترهای مورفومتری استخراج شد. ویژگی‌های مورفومتری مورد بررسی به همراه فرمول‌ها و نحوه آن‌ها در جدول یک نشان داده شده است. در روش

### روش تحقیق

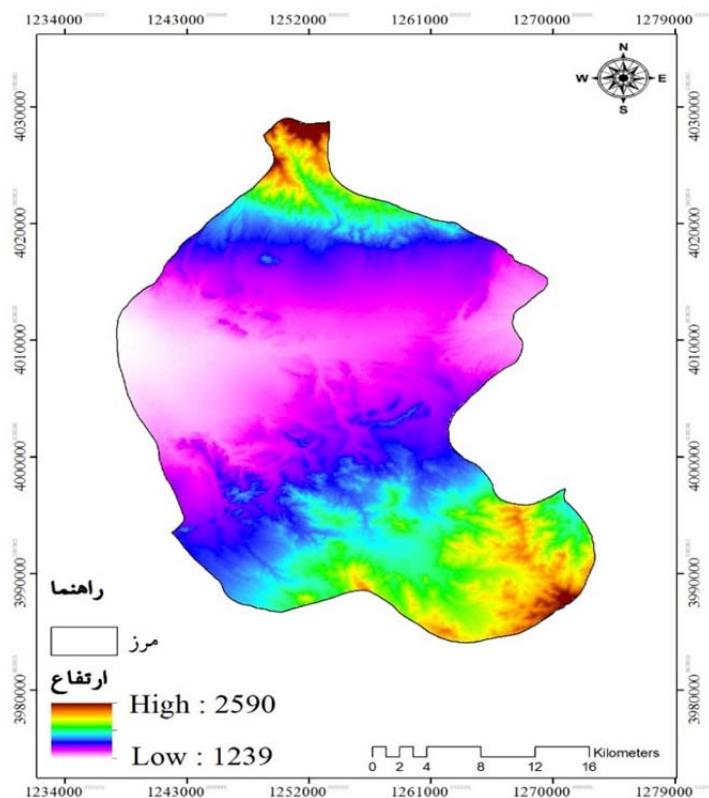
در پژوهش حاضر جهت تحلیل‌های مورفومتری از نرم افزار ArcGIS، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۲۰ متر تهیه شده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰۰ رقومی سازمان نقشه برداری کشور و تصاویر ماهواره‌ای استر (Aster) استفاده شده است. جهت استخراج تعداد آبراهه‌ها از نرم افزار آرک ویو (ArcView)، مدل ارتفاعی رقومی زمین، استفاده شده است. برای پارامتر شیب و جهت شیب و ارتفاع منطقه مطالعاتی از نقشه توپوگرافی و مدل ارتفاعی رقومی زمین

رده‌بندی استرالر، بخشی از آبراهه که هیچ سرشاخه‌ای ندارد به عنوان آبراهه درجه ۱ است و با اتصال دو آبراهه درجه ۱، آبراهه درجه ۲ و با اتصال دو آبراهه درجه ۲، آبراهه درجه ۳ و با اتصال دو آبراهه درجه ۳، آبراهه درجه ۴ نامیده می‌شود. به طور کلی با اتصال دو آبراهه با درجه مشابه آبراهه یک درجه بالاتر تشکیل می‌شود. در هر سیستم زهکشی بی‌نهایت اتصال وجود دارد و در حالت طبیعی باید آبراهه‌های درجه ۱ به آبراهه درجه ۲ و دو آبراهه درجه ۲ به یک آبراهه درجه ۳ بریزد.

جدول ۱. ویژگی‌های مورفومتری بررسی شده در حوضه آبخیز مورد مطالعه

Table 1. Morphometric features studied in the studied watershed

منابع	توصیف	رابطه	ویژگی‌های مورفومتری
استرالر (۳۱)	-	-	رتبه رودخانه (u)
هورتون (۱۰)	-	-	طول رودخانه (L <sub>u</sub> )
استرالر (۳۰)	Nu تعداد کل آبراهه ها	$L_{sm} = L_u / N_u$	میانگین طول رودخانه (L <sub>sm</sub> )
هورتون (۱۰)	L(u-1) مجموعه طول رودخانه	$R_L = L_u / L_{(u-1)}$	نسبت طول رودخانه (R <sub>L</sub> )
شوم (۲۷)	N <sub>(u+1)</sub> تعداد رودخانه‌های رتبه بالاتر	$R_b = N_u / N_{(u+1)}$	نسبت بیفورکاسیون (R <sub>b</sub> )
استرالر (۳۱)	-	$R_{bm} = \text{Average } R_b \text{ of all orders}$	میانگین نسبت بیفورکاسیون (R <sub>bm</sub> )
	H کل رلیف حوضه و L <sub>b</sub> طول حوضه آبخیز	$R_h = H / L$	ضریب ناهمواری (R <sub>h</sub> )
شوم (۲۷)	$\Pi = 3.14$	$R_e = (2/L_b) * (A/\pi)^{0.5}$	ضریب مستطیل معادل (R <sub>e</sub> )
میلر (۱۸)	-	$R_c = 4t * A/P^2$	نسبت گردی (R <sub>c</sub> )
هورتون (۱۰)	-	$R_f = A/L_b^2$	ضریب شکل (R <sub>f</sub> )
هورتون (۱۰)	P محیط حوضه	$R_t = N_u / P$	بافت زهکشی (R <sub>t</sub> )
هورتون (۱۰)	-	$F_s = N_u / A$	فراوانی آبراهه (F <sub>s</sub> )
هورتون (۱۰)	A مساحت حوضه	$D = L_u / A$	تراکم زهکشی (D)



شکل ۲. مدل رقومی ارتفاع حوضه

Fig. 2. Digital model of basin height

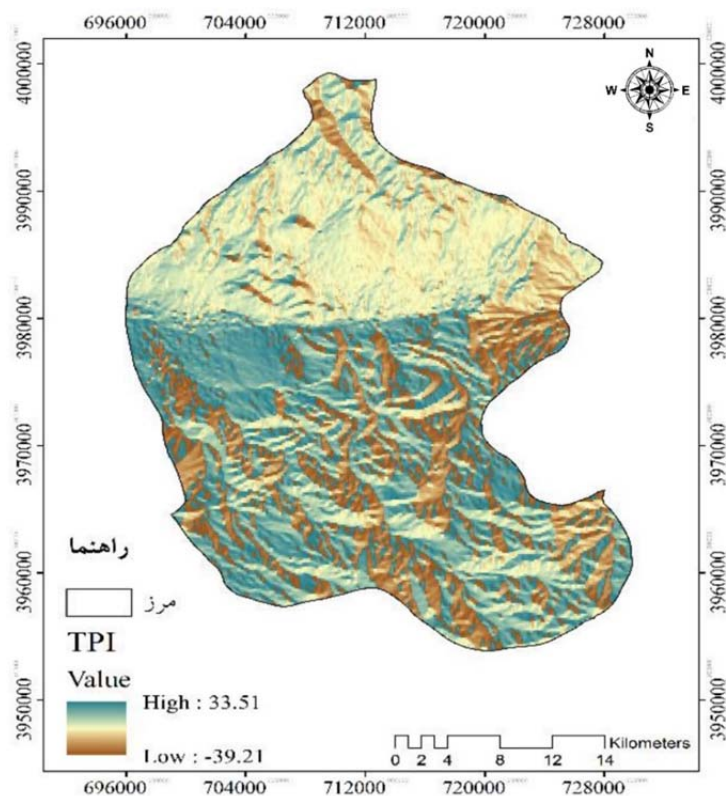
در ارزیابی. ترکیب  $TPI$  در مقیاس کوچک و بزرگ اجازه می‌دهد تا انواع اشکال ایجاد شود (جدول ۲). شاخص موقعیت توپوگرافی، ارتفاع هر پیکسل در مدل رقومی ارتفاع را با پیکسل مشخص اطراف آن پیکسل مقایسه می‌کند. مقادیر مثبت  $TPI$  نشان‌دهنده مناطقی است که بالاتر از نقاط اطراف قرار گرفته (تپه‌ها) و مقادیر منفی  $TPI$  نشان‌دهنده مناطقی است که پایین‌تر از اطرافشان هستند (دره‌ها)، مقادیر صفر و نزدیک صفر نیز نشان‌دهنده مناطق مسطح (جایی که شیب نزدیک صفر است) یا مناطقی با شیب ثابت هستند (شکل ۳).

### طبقه‌بندی لندفرم‌ها به روش $TPI$

برای جداسازی لندفرم‌های منطقه از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۲۰ متر استفاده شد و سپس نوع لندفرم‌ها بر اساس  $TPI$  یا شاخص موقعیت توپوگرافی شناسایی شدند و طبق رابطه ۱ مقایسه ارتفاع هر سلول در یک مدل رقومی -  $TPI$ ، ارتفاع با میانگین ارتفاع سلول‌ها همسایه می‌باشد. در نهایت ارتفاع میانگین از مقدار ارتفاع در مرکز کم می‌شود (۳).

$$TPI_i = Z_0 - \sum_{n-1} Z_{n/n} \quad [1]$$

در این رابطه؛  $Z_0$  ارتفاع نقطه مدل تحت ارزیابی،  $Z_n$  ارتفاع از شبکه،  $n$  تعداد کل نقاط اطراف در نظر گرفته شده



شکل ۳. شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)

Fig. 3. Topographic index TPI

جدول ۲. طبقه‌بندی انواع لندفرم‌ها بر اساس شاخص موقعیت توپوگرافی (۳۰)

Table 2. Classification of landforms based on topographic position index (30)

مقادیر TPI	نوع لندفرم	شماره کلاس
TPI < -1	دره‌ها و بریدگی‌های واقع بر ارتفاعات و دامنه‌ها	۱
1 > TPI > 1	دره‌های آبراهه‌های میانی	۲
TPI < 1	زهکش‌های مرتفع	۳
TPI < -1	دره‌های U شکل	۴
TPI < 1, > -1	دشت‌های کوچک	۵
Slope > 50		
TPI < 1, > -1	دشت سر	۶
Slope > 50		
TPI < 1	فلات‌های بالایی (سطوح مسطح واقع بر ارتفاعات)	۷
TPI < -1	خط الرأس‌های مرتفع	۸
TPI < 1 > -1	تپه	۹
TPI < 1	خط الرأس‌های مرتفع، قله کوه	۱۰

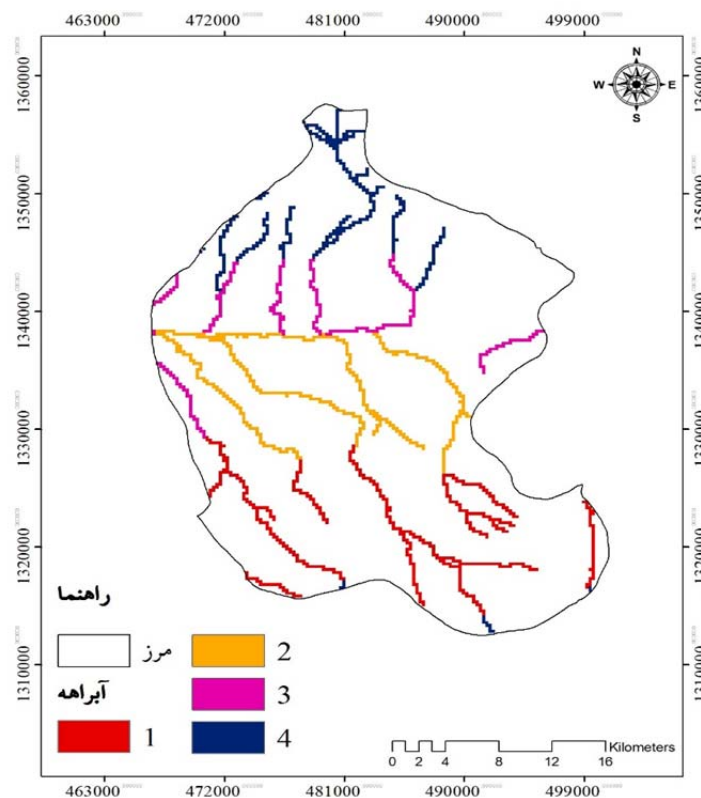
## نتایج

سپس به کمک اتصال خط الرأس‌های منطقه و استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، پارامترهایی از قبیل نقشه طبقات ارتفاعی، جهت جریان، بیشترین تجمع جریان، آبراهه‌های

به منظور استخراج آبراهه‌ها و تعیین رتبه هر یک از آبراهه‌ها ابتدا محدوده حوضه آبخیز مورد مطالعه تعیین شد.

سرعت زیاد رواناب و در نتیجه فرسایش زیاد حوضه آبخیز مورد مطالعه هستند. بیشینه ارتفاع محاسبه شده در حوضه آبخیز مورد مطالعه ۲۵۹۰ متر و کمینه آن ۱۲۳۹ متر می‌باشد که در شکل ۷ نشان داده شده است. تعداد کانال‌ها در هر رتبه را در اصطلاح تعداد آبراهه‌های آن رتبه می‌گویند. یک قانون کلی وجود دارد که طبق آن تعداد آبراهه‌های یک حوضه آبخیز با کاهش رتبه آبراهه‌ها افزایش می‌یابد. تعداد آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است.

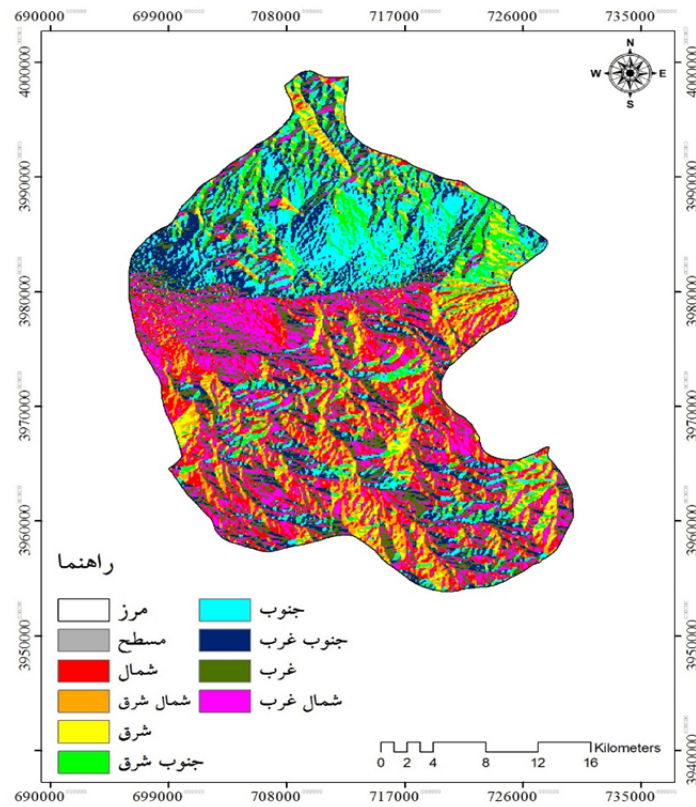
منطقه و در نهایت رتبه هر یک از آبراهه‌ها تعیین شدند (شکل ۴). در این مطالعه به منظور رتبه‌بندی آبراهه‌ها از روش استرالر استفاده شد. رودخانه اصلی دارای رتبه ۳ است. شکل ۵ نشان می‌دهد که کمترین مقدار جهت برای منطقه مورد مطالعه (مسطح و بدون جهت) و بیشترین آن ۳۴۰ درجه (شمالی) می‌باشد. نقشه شیب منطقه در محیط ArcGIS با استفاده از DEM منطقه تهیه شد که در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶ مشخص می‌شود که بیشترین شیب در منطقه ۷۳/۵۱ درجه می‌باشد. شیب‌های بسیار زیاد نشان دهنده



شکل ۴. تعداد آبراهه‌های حوضه

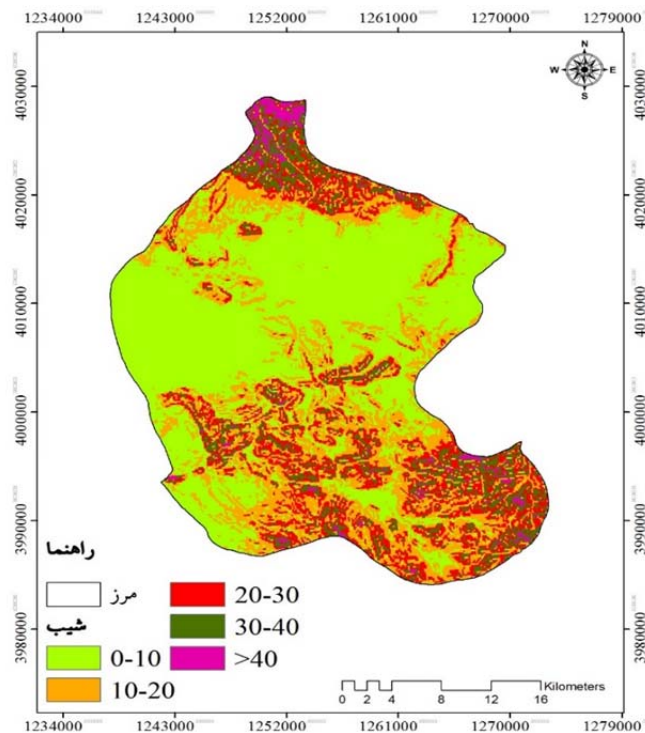
Fig. 4. Number of watersheds in the basin





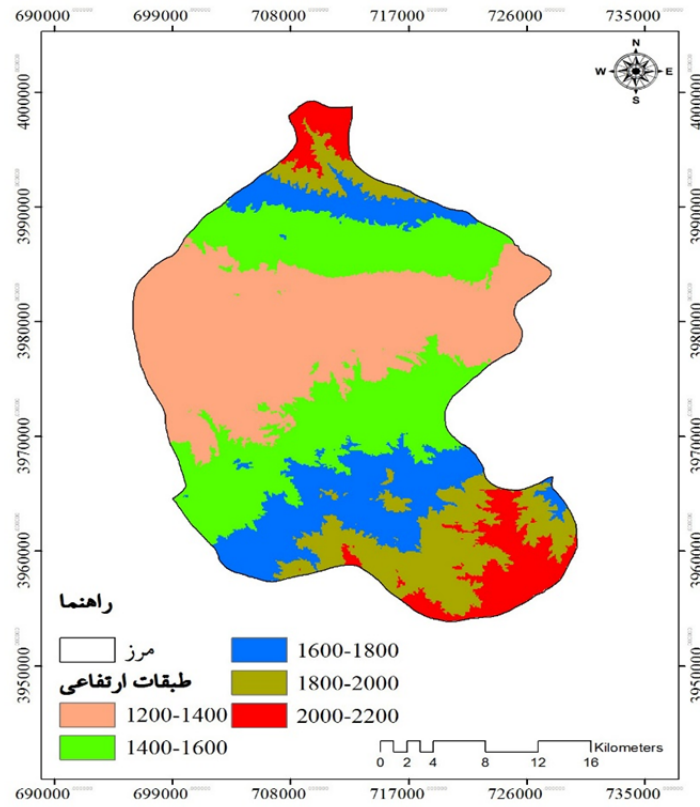
شکل ۵. جهت شیب حوضه

Fig. 5. Direction of basin slope



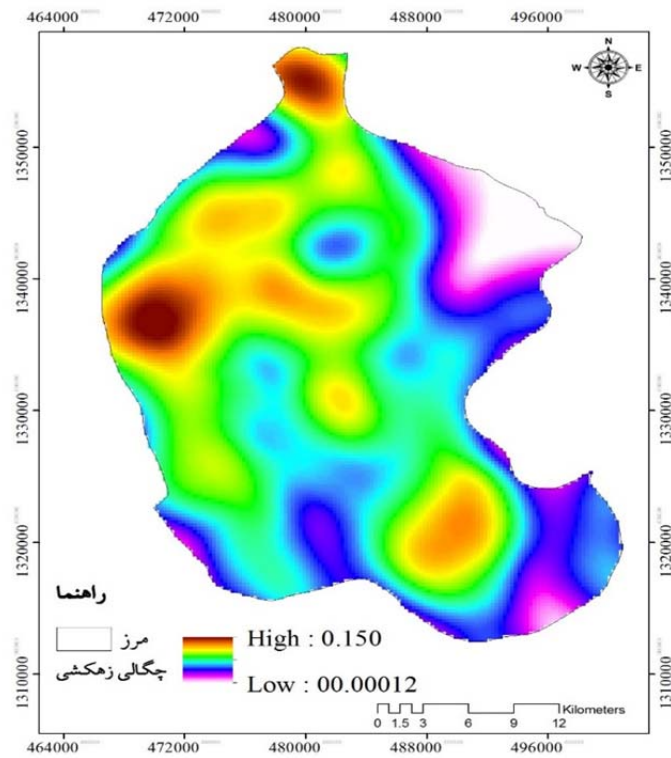
شکل ۶. شیب حوضه

Fig. 6. Basin Slope



شکل ۷. طبقات ارتفاعی حوضه

Fig. 7. Basin elevation classes



شکل ۸. نقشه تراکم زهکشی حوضه مورد مطالعه

Fig. 8. Drainage density map of the studied basin

جدول ۳. تعداد آبراهه‌ها در رتبه‌های مختلف حوضه مورد مطالعه

Table 3. Number of waterways in different ranks of the studied basin

رتبه آبراهه	I	II	III	IV
$N_u$	۱۲۱	۹۹	۱۹	۱

شمار بسیار زیادی از آبراهه‌های با طول کوچک در قسمت‌های بالا دست حوضه آبخیز گسترش پیدا کرده‌اند و دارای طول ثابتی نمی‌باشند و پیوسته در حال تغییر هستند ولی آبراهه‌های اصلی حوضه تقریباً دارای طول ثابتی هستند (۲۸). نتایج مربوط به طول حوضه آبخیز مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. طول آبراهه‌های حوضه مورد مطالعه

Table 4. Length of waterways of the studied basin

رتبه آبراهه	I	II	III	IV
$L_u$	۲۲/۶۱	۱۹/۷۸	۱۶/۵۵	۱۰/۱۲

نسبت بین طول آبراهه‌ها با رتبه‌های متفاوت در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که آبراهه‌های درجه اول در مجموع طول بیشتری از حوضه را نسبت به آبراهه‌های درجه دوم و آبراهه‌های درجه دوم نسبت به درجه سوم دارا هستند. دلیل این نتایج می‌تواند به علت تغییرات در شیب و توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه باشد.

جدول ۵. نسبت طول آبراهه‌ها در منطقه مورد مطالعه

Table 5. Ratio length ratio of waterways in the study area

رتبه آبراهه	II/I	III/II	IV/III
$R_L$	۰/۰۱	۰/۰۸	۱/۱۲

ضریب بيفورکاسيون نسبت بين تعداد آبراهه‌های یک رتبه نسبت به آبراهه‌های بعد از خودش می‌باشد. در حوضه آبخیز مورد مطالعه بیشترین مقدار ضریب بيفورکاسيون ۱/۱۱ محاسبه شد. در واقع به کمک این ضریب می‌توان الگوی زهکشی در منطقه را مشخص نمود. نتایج مربوط به ضریب بيفورکاسيون در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. ضریب بيفورکاسيون در منطقه مورد مطالعه

Table 6. Bifurcation coefficient in the study area

رتبه آبراهه	I/II	II/III	III/VI
$R_b$	۱/۱۱	۱/۰۲	-

میزان  $L_{sm}$  در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۰۹ تا ۰/۱۲ تعیین شد که در جدول ۷ نشان داده شده است. میزان  $L_{sm}$  هر رتبه از آبراهه نسبت به رتبه بعدی بیشتر می‌باشد.

جدول ۷. میزان  $L_{sm}$  در منطقه مورد مطالعه

Table 7.  $L_{sm}$  level in the study area

رتبه آبراهه	I	II	III	IV
$L_{sm}$	۰/۰۱۲	۰/۰۹	۰/۰۰۲۹	-

میزان بالای نسبت پستی و بلندی‌ها در منطقه نشان‌دهنده وجود شیب‌های زیاد و ارتفاعات زیاد در منطقه می‌باشد.  $R_h$  به طور نرمال با کاهش زهکش‌های منطقه افزایش می‌یابد. وضعیت پستی و بلندی‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸. وضعیت پستی و بلندی‌های منطقه مورد مطالعه

Table 8. Postage and elevation of the study area

ضریب ناهمواری	رلیف	بیشینه ارتفاع	کمینه ارتفاع	تراکم زهکشی
۰/۲۲	۱۷۳۲	۳۲۰۰	۲۰۰۰	$R_h$

تراکم زهکشی در واقع نسبت بین طول کل آبراهه‌ها به مساحت حوضه آبخیز می‌باشد. چگالی زهکشی ارتباط زیادی با میزان دره‌ها، کانال‌ها، رلیف و پوشش گیاهی، خاک و وضعیت  $D_d$  منطقه مورد مطالعه در جدول ۹ نشان داده شده است (شکل ۷).

جدول ۹. تراکم زهکشی حوضه آبخیز مورد مطالعه

Table 9. Drainage density of the studied watershed

تراکم زهکشی	مساحت	طول کل آبراهه	$D_d$
۰/۰۰۴۲	۵۲/۶۶	۴۳/۵۸	$D_d$

فراوانی آبراهه‌ها در واقع نسبت بین تعداد آبراهه‌ها به مساحت حوضه آبخیز منطقه مورد مطالعه است هورتون (۱۱). مقدار فراوانی آبراهه‌های حوضه آبخیز مورد مطالعه ۰/۴۴ می‌باشد که نشان دهنده ارتباط بین آبراهه‌ها و وضعیت زمین شناسی منطقه می‌باشد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. فراوانی آبراهه‌های حوضه مورد مطالعه

Table 10. Frequency of waterways in the studied basin

$F_s$	N	مساحت	$S_f$
$F_s$	۱۸۴	۵۲/۶۶	۰/۳۲

هورتون (۱۰) ضریب فرم حوضه را به عنوان نسبت بین طول حوضه آبخیز به مساحت آن معرفی نمود. با توجه به ضریب فرم می‌توان میزان کشیدگی یا گردی حوضه آبخیز را مشخص نمود. به طوری که هر چه این ضریب به یک

نزدیکتر باشد، حوضه دارای گردی بیشتری می‌باشد. در منطقه دهنده کشیدگی حوضه آبخیز مورد مطالعه می‌باشد (جدول مورد مطالعه ضریب شکل حوضه ۰/۵۱ بدست آمد که نشان (۱۱).

جدول ۱۱. فاکتور شکل حوضه آبخیز

Table 11. Watershed shape factor

$R_f$	طول حوضه آبخیز	مساحت	فاکتور شکل
$R_f$	۱۸/۴۵	۵۲/۶۶	۰/۲۳

میلر (۱۸) ضریب گردی را برای حوضه‌های آبخیز آبخیز به مساحت آن محاسبه می‌شود. نتایج مربوط به ضریب تعریف نمود. ضریب گرد شدگی از نسبت بین محیط حوضه گردی حوضه آبخیز مورد مطالعه در جدول ۱۲ آمده است.

جدول ۱۲. ضریب گردی حوضه مورد مطالعه

Table 12. Round coefficient of the studied basin

$R_c$	محیط	مساحت	ضریب گردشگی
$R_c$	۳۵/۶۹	۵۲/۶۶	۰/۳۹

ضریب مستطیل معادل نسبت بین کل طول آبراهه‌های منطقه به مساحت منطقه مورد مطالعه می‌باشد. هر چه این ضریب بیشتر باشد میزان سیل خیزی منطقه کمتر می‌باشد شوم مقدار ضریب مستطیل معادل منطقه مورد مطالعه در (۲۷).

جدول ۱۳ آمده است. نتایج کلی حاصل از تجزیه و تحلیل مورفومتری حوضه آبخیز مورد مطالعه در جدول ۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۱۳. ضریب مستطیل معادل حوضه مورد مطالعه

Table 13. Rectangular coefficient equivalent to the studied basin

$R_e$	طول	مساحت	ضریب مستطیل معادل
$R_e$	۱۰	۵۲/۶۶	۰/۶۸

جدول ۱۴. نتایج مورفومتری حوضه آبخیز مورد مطالعه

Table 14. Morphometric results of the studied watershed

ردیف رودخانه				پارامترهای مورفومتری
I	II	III	IV	رده رودخانه (U)
۲۲/۶۱	۱۹/۷۸	۱۶/۵۵	۱۰/۱۲	طول رودخانه ( $L_{1j}$ )
۰/۰۰۱۱۷۱۱۲۱	۰/۰۱۵۱۱۰۱۹	۰/۰۰۰۴۴۳۳۳	-	نسبت طول رودخانه ( $R_L$ )
۱/۱۴	۱/۱۳	۹۲/۲	-	نسبت بیفورکاسیون ( $R_b$ )
۴/۳۹	۲/۱۱	۰/۳۲	۰/۰۰۳	میانگین طول رودخانه ( $L_{sm}$ )
۳۵/۶۹	-	-	-	محیط حوضه
۵۲/۶۶	-	-	-	مساحت حوضه
۱۱/۱۲۱	-	-	-	طول حوضه
۱۱۲۱	-	-	-	کل پستی و بلندی
۰/۰۰۹۹۱۳۱	-	-	-	ضریب ناهمواری ( $R_h$ )
۰/۰۰۱۱۲۰۱۷	-	-	-	تراکم زهکشی (D)
۰/۰۰۱۱۰۰۱۷۱	-	-	-	فراوانی آبراهه ( $F_S$ )
۰/۰۰۰۱۹۱۱۷	۵۲	۱۹	۱۳	تعداد آبراهه
۰/۰۱۳۰۰۱۳۲	-	-	-	فاکتور شکل ( $R_f$ )
۰/۱۱۲۰۰۷۲	-	-	-	ضریب گردی ( $R_c$ )
۰/۰۰۰۵۱۱۱۴	-	-	-	ضریب مستطیل معادل ( $R_e$ )

گیرند. به منظور بررسی میزان فرسایش‌پذیری حوضه آبخیز مورد مطالعه با نوع لندفرم از روش TPI به منظور استخراج نقشه لندفرم استفاده شد. مساحت هر یک از طبقات در جدول ۱۵ نشان داده شده است.

یکی از عوامل مهم کنترل سیل‌خیزی و فرسایش در حوضه آبخیز، شناسایی ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبخیز و اولویت‌بندی آن‌ها است تا در صورت اجرای عملیات کنترلی، مناطق دارای اولویت‌های بالاتر بیشتر مد نظر و مدیریت قرار

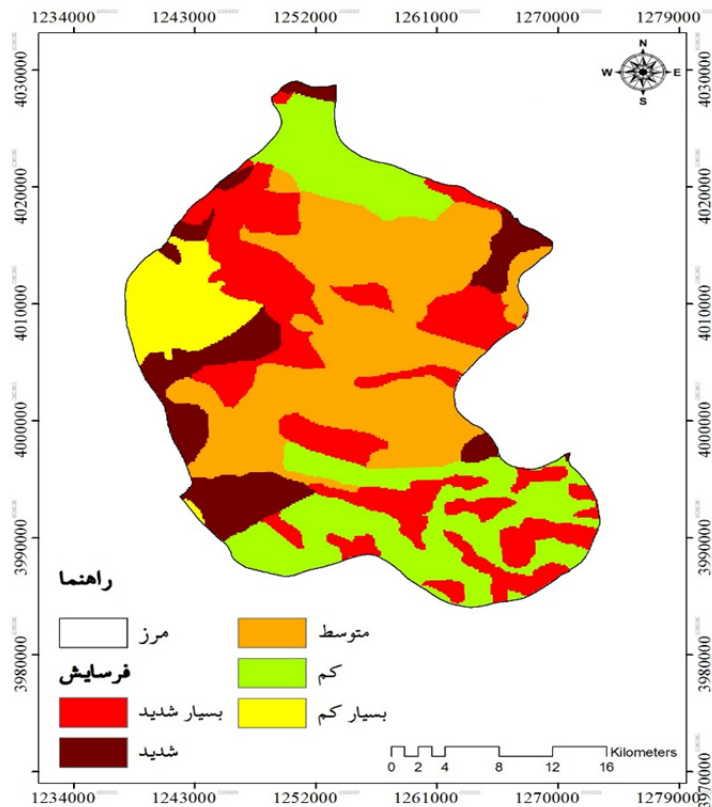
جدول ۱۵. مساحت هر یک از واحدهای لندفرم منطقه مورد مطالعه

Table 15. Area of each landform unit in the study area

کد	نوع لندفرم	مساحت (کیلومتر مربع)
۱	دره‌ها و بریدگی‌های واقع بر ارتفاعات و دامنه‌ها	۶/۱۳
۲	دره‌های آبراهه‌های میانی	۵/۱۴
۳	زهکش‌های مرتفع	۱۲/۱۰
۴	دره‌های U شکل	۷/۱۲
۵	دشت‌های کوچک	۵/۱۳
۶	دشت سر	۶/۱۴
۷	فلات‌های بالایی (سطوح مسطح واقع بر ارتفاعات)	۲/۱۶
۸	خط الرأس‌های مرتفع	۲/۱۲
۹	تپه	۲/۱۵
۱۰	خط الرأس‌های مرتفع، قله کوه	۴/۳۰
۱۱	مجموع	۵۲/۶۶

افزایش تعداد آبراهه‌ها و طول آن در حوضه آبخیز نشان‌دهنده افزایش فرسایش است. نقشه کلاس‌های میزان فرسایش‌پذیری در حوضه مورد مطالعه در شکل ۹ نشان داده شده است.

بعد از تهیه نقشه لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) و در نظر گرفتن مناطق حساس به فرسایش از طریق ویژگی‌های مورفومتری، لندفرم‌های حساس به فرسایش در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. به طوری که



شکل ۹. پهنه‌بندی شدت فرسایش در حوضه مورد مطالعه

Fig. 9. Erosion intensity zoning in the study basin

عنوان یکی از شاخص‌های ژئومورفومتری در نظر گرفته شد. حد پایین و بالای شاخص (TPI) برای منطقه مورد مطالعه به ترتیب  $-39/21$  و  $33/51$  محاسبه گردید. مناطق با TPI منفی نشان‌دهنده توپوگرافی کم (تعقیرها و گودال‌هاست) در حالی که TPI مثبت نشان‌دهنده توپوگرافی زیاد (محدب و یا ستیغ‌ها) است. وجود گودی‌ها و چاله‌ها (در مناطق با TPI کم) موجب افزایش زمان تاخیر جریان‌های سطحی در منطقه شده و باعث نفوذ آب می‌شود که به نوبه خود می‌تواند تاثیر بسزایی در ذخیره نزولات و رواناب‌های سطحی داشته باشد. نتایج بررسی‌های پارامترهای مورفومتری بیانگر آن است که شرایط

## بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف کشف ارتباط مؤلفه‌های کمی مورفولوژی و نوع لندفرم‌ها و فرسایش‌پذیری آن‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۲۰ متر انجام شد. در این پژوهش از مؤلفه‌های تعداد آبراهه‌ها ( $N_u$ )، رتبه آبراهه‌ها (U)، مجموع طول آبراهه (L)، ضریب بیفرکاسیون ( $R_b$ )، ضریب ناهمواری ( $B_b$ )، تراکم زهکشی ( $D_d$ )، فراوانی آبراهه (F)، فاکتور شکل ( $R_f$ )، ضریب گردی ( $R_c$ ) و ضریب مستطیل معادل ( $R_e$ ) استفاده شده است. سپس شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) که حالت گودی و برآمدگی را مورد تمایز قرار می‌دهد به

میزان و در نتیجه بیشترین حساسیت‌پذیری این لندفرم‌ها مشخص شد. مکان‌های واقع در کلاس ۳ دارای بیشترین چگالی زهکشی میباشند. منطقه مطالعاتی با توجه به ویژگی‌های طبیعی، ویژگی‌های مورفومتری و فیزیوگرافی گرد است که باعث می‌شود زمان تمرکز کوتاه و دبی اوج بزرگتر و از لحاظ سیل‌خیزی مستعدتر باشد. با بررسی سایر مولفه‌های مورفولوژی به این نتایج دست یافتیم که منطقه مطالعاتی از لحاظ فرسایش‌پذیری مستعد است. نتایج پژوهش با نتایج جیدی و همکاران (۷)، جوشی و همکاران (۱۲)، لرامچلا و همکاران (۱۶)، رجبی و روستایی (۲۵) و سینگ و همکاران (۲۹)، مطابقت دارد. بررسی و شناخت مورفومتری حوضه‌ها در زمینه مسائل مختلفی از جمله برای تخمین آبدی رودخانه، پیش‌بینی سیلاب، مدیریت منابع آب حائز اهمیت می‌باشد. در این مطالعه با بررسی ویژگی‌های مورفومتری و مقایسه آن با لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه، لندفرم‌های حساس به فرسایش در منطقه مشخص شد. به طوریکه در مطالعات بعدی بدون اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفومتری میتوان از طریق نقشه لندفرم‌ها که به طور اتوماتیک از مدل رقومی ارتفاع تهیه میشود، مناطق حساس به فرسایش را مشخص نمود و بعد از آن مدیریت و راهکارهای الزم را برای کاهش و پیشروی فرسایش در منطقه مورد مطالعه انجام داد. آنالیز مورفومتری به عنوان روشی کم هزینه و سریع در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. به طور کلی بررسی و شناخت مورفومتری حوضه‌ها در زمینه مسائل مختلفی از جمله برای تخمین آب دهی رودخانه‌ها، پیش‌بینی سیلاب، مدیریت منابع آب، برنامه ریزی جهت بهره‌برداری از سدها، مدیریت زراعی اراضی پایین دست و سایر پروژه‌های منابع آب و آبخیزداری حائز اهمیت می‌باشد.

فرسایش‌پذیری منطقه مساعدتر و وضعیت بحرانی است. تجزیه و تحلیل داده‌های طبقه‌بندی شده نشان داد که مساحت و طول آبراهه در فرسایش تاثیر گذار است. نتایج حاکی از آن است که دره‌های U شکل با مساحت  $7/12$  کیلومتر مربع و زهکش‌های مرتفع با مساحت  $10/12$  کیلومتر مربع بیشترین میزان فرسایش در حوضه را دارند. پارامترهای به کار رفته در این پژوهش نشان از حساسیت این شاخص‌ها در برابر فرسایش و سیل‌خیزی است. لندفرم دره‌ها و بریدگی‌های واقع بر ارتفاعات و دامنه‌ها با مساحت  $6/13$  کیلومتر مربع، دره‌های آبراهه‌های میانی با مساحت  $5/14$  کیلومتر مربع، دشت‌های کوچک با مساحت  $5/13$  کیلومتر مربع، دشت سر با مساحت  $6/14$  کیلومتر مربع، فلات‌های بالایی (سطوح مسطح واقع بر ارتفاعات)  $2/16$  کیلومتر مربع، خط الرأس‌های مرتفع با مساحت  $2/12$  کیلومتر مربع، تپه با مساحت  $2/15$  کیلومتر مربع، خط الرأس‌های مرتفع، قله کوه با مساحت  $4/30$  کیلومتر مربع می‌باشد که نشان‌دهنده فرسایش‌پذیر بودن حوضه می‌باشد. حوضه از نظر ساختاری و پیچیده است و رواناب در حد متوسط تا زیاد می‌باشد. نسبت شاخه‌های این حوضه بالای ۳ است که نشان از توپوگرافی مواج حوضه دارد. قسمت بالای حوضه با زمین‌های تپه‌ای مشخص می‌شود، در حالی که قسمت‌های مرکزی و پایینی توسط دره‌های وسیع اشغال شده است به طوری که افزایش تعداد آبراهه‌ها و طول آن در حوضه آبخیز نشان‌دهنده افزایش فرسایش است. با مقایسه نقشه لندفرم‌ها و نقشه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه مشخص شد که لندفرم‌های طبقه ۴ (دره‌های U شکل) و لندفرم‌های طبقه ۳ (زهکش‌های مرتفع) دارای بیشترین فرسایش‌پذیری هستند. همچنین با افزایش میزان درجه ناهمواری میزان فرسایش در منطقه بیشتر میشود که در لندفرم‌های واقع در ارتفاعات بالا دست مانند خط الرأس‌ها (لندفرم‌های کلاس ۸ و ۱۰) بیشترین



## References

1. Ajaykumar K K, Jaweed TH, Kale SS, Umrikar BN, Sankhua RN. 2019. Identification of erosion-prone areas using modified morphometric prioritization method and sediment production rate: a remote sensing and GIS approach. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1): 986-1006. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1555189>.
2. Arabameri A, Pourghasemi H, Rezaei K, Sohrabi M. 2019. Prioritization sub-watershed of Acemangar Basin in Chaharmahal-e- Bakhtiari for soil and water management using morphometric parameters and ensemble of TOPSIS-multivariate linear regression algorithm. *Iranian Watershed Management Science and Engineering*, 13(45): 87-96. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1398.13.45.11.5>. (In Persian).
3. Bahrami S, motamedi rad m, akbari e. 2013. Evaluation of the effect of tectonic in the quantitative characteristics of drainage system (case study: four catchments in northeast of Iran). *Arid Regions Geographic Studies*, 3(12): 85-102. <http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-295-en.html>. (In Persian).
4. De Reu J, Bourgeois J, Bats M, Zwertvaegher A, Gelorini V, De Smedt P, Chu W, Antrop M, De Maeyer P, Finke P. 2013. Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. *Geomorphology*, 186: 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.015>.
5. Farhan Y, Anbar A, Al-Shaikh N, Mousa R. 2016. Prioritization of semi-arid agricultural watershed using morphometric and principal component analysis, remote sensing, and GIS techniques, the Zerqa River Watershed, Northern Jordan. *Agricultural Sciences*, 8(1): 113-148. <https://doi.org/10.4236/as.2017.81009>.
6. Gayen S, Bhunia GS, Shit PK. 2013. Morphometric analysis of Kangshabati-Darkeswar Interfluvies area in West Bengal, India using ASTER DEM and GIS techniques. <http://111.93.204.14:8080/xmlui/handle/123456789/582>.
7. Gidey G, Ketema T, Gashu G, Deressa S. 2021. GIS Based Morphometric Analysis of Gudina Wacho Watershed, Western Ethiopia: Suggestion for Surface Irrigation Development. *Journal of Water Resources and Ocean Science*, 10(5): 92-99. <https://doi.org/10.11648/j.wros.20211005.11>.
8. Gomez-Heras M, Ortega-Becerril JA, Garrote J, Fort R, Lopez-Gonzalez L. 2019. Morphometric measurements of bedrock rivers at different spatial scales and applications to geomorphological heritage research. *Progress in Earth and Planetary Science*, 6(1): 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40645-019-0275-0>.
9. Gudowicz J, Paluszkiwicz R. 2021. MAT: GIS-Based Morphometry Assessment Tools for Concave Landforms. *Remote Sensing*, 13(14): 2810. <https://doi.org/10.3390/rs13142810>.
10. Horton RE. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, 56(3): 275-370.
11. Jafari GH, Qafari K. 2021. Erodibility status analysis of sub-basins of Zagros Morphotectonic unit in relation to morphometric characteristics. *Environmental Erosion Research Journal*, 10(4): 74-89. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1399.10.4.1.8>. (In Persian).
12. Joshi M, Kumar P, Sarkar P. 2021. Morphometric parameters based prioritization of a Mid-Himalayan watershed using fuzzy analytic hierarchy process. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, p 10004. <https://doi.org/10.1051/e10003sconf/202128010004>.
13. Khan M, Gupta V, Moharana P. 2001. Watershed prioritization using remote sensing and geographical information system: a case study from Guhiya, India. *Journal of Arid Environments*, 49(3): 465-475. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0797>.
14. Kumar B, Rao CUB, Rao KS, Patel A, Kushwaha K, Singh SK. 2021. Geomorphic analysis, morphometric-based prioritization and tectonic implications in Chite Lui river, Northeast India. *Journal of the Geological Society of India*, 97: 385-395. <https://doi.org/10.1007/s12594-021-1696-0>.
15. Kumar R, Singh P, Mishra VN, Singh A, Sajan B, Shahi AP. 2019. Geospatial approach for quantitative drainage morphometric analysis of varuna river basin, India. *Journal of Landscape Ecology*, 12(2): 1-25. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2019-0007>.
16. Lalramchulloa DA, Rao CUB, Rinawma P. 2021. Morphometric and Sinuosity Analysis of Tlawng River Basin: A Geographic Information System Approach. *Journal of Geographical Studies*, 5: 22-32. <https://doi.org/10.21523/gcj5.21050103>.
17. Mahala A. 2020. The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings. *Applied Water Science*, 10(1): 1-16. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1118-2>.
18. Miller V. 1953. A quantitative geomorphologic study of drainage watershed characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee.

- Project NR 389042, Tech Report 3. Columbia University Department of Geology. ONR Geography Branch. New York. 77-93.
19. Moglen GE, Eltahir EA, Bras RL. 1998. On the sensitivity of drainage density to climate change. *Water resources research*, 34(4): 855-862. <https://doi.org/10.1029/97WR02709>.
  20. Mohammed A, Adugna T, Takala W. 2018. Morphometric analysis and prioritization of watersheds for soil erosion management in Upper Gibe catchment. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 6(1): 1419. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2018.061.1419>.
  21. Muralitharan J, Abebe A, Duraisamy R. 2021. Drainage Morphometric Analysis of Shope watershed, Rift Valley, Ethiopia: Remote sensing and GIS-based approach. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol 1. IOP Publishing, pp 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-0113/15/012796/012001/012009>.
  22. Nawaj S, Siddiqui L, Islam MS, Parveen N, Saha M. 2021. Evolution of river course and morphometric features of the River Ganga: A case study of up and downstream of Farakka Barrage. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(4): 578-590. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.01.006>.
  23. Obeidat M, Awawdeh M, Al-Hantouli F. 2021. Morphometric analysis and prioritisation of watersheds for flood risk management in Wadi Easal Basin (WEB), Jordan, using geospatial technologies. *Journal of Flood Risk Management*, 14(2): e12711. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12711>.
  24. Psomiadis E, Charizopoulos N, Soulis KX, Efthimiou N. 2020. Investigating the correlation of tectonic and morphometric characteristics with the hydrological response in a Greek river catchment using earth observation and geospatial analysis techniques. *Geosciences*, 10(9): 377. <https://doi.org/10.3390/geosciences10090377>.
  25. Rajabi M, Roostaei S, Akbari B. 2019. Investigation of Meandering Pattern of Aji-Chay River Using Central Angle Indices and Curvature coefficient (Area between Bakhshayesh and Khajeh). *Hydrogeomorphology*, 6(20): 21-40. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1398.6.20.2.5>. (In Persian).
  26. Różycka M, Migoń P. 2021. Morphometric properties of river basins as indicators of relative tectonic activity—Problems of data handling and interpretation. *Geomorphology*, 389: 107807. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107807>.
  27. Schumm SA. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin*, 67(5): 597-646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2).
  28. Sethupathi A, Narasimhan CL, Vasanthamohan V, Mohan S. 2011. Prioritization of miniwatersheds based on Morphometric Analysis using Remote Sensing and GIS techniques in a draught prone Bargur–Mathur subwatersheds, Ponnaiyar River basin, India. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2(2): 403-414.
  29. Singh W, Barman S, Tirkey G. 2021. Morphometric analysis and watershed prioritization in relation to soil erosion in Dudhnai Watershed. *Applied Water Science*, 11(9): 151. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01483-5>.
  30. Strahler AN. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological society of America bulletin*, 63(11): 1117-1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2).
  31. Strahler AN. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6): 913-920. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>.



## Analysis of the relationship between morphometric properties and erodibility using topographic position index in the Pivehzen binalod

Mahnaz Naemitabar, Mohammad Ali Zanganeh Asadi, Rahman Zandi

Received: 25 June 2021 / Received in revised form 30 August 2021 / Accepted: 6 November 2021  
Available online 6 November 2021 / Available print 21 March 2023

### Abstract

**Background and Objective** The morphometric parameters of the catchment are very suitable indicators for the analysis of geomorphological processes. Erosion studies and sediment production are among the most important research carried out by geoscientists, especially geomorphologists, to implement soil and water conservation programs, reduce erosion, change the hydraulic flow of rivers, and prevent the reduction of reservoir dam lake capacity. To measure the geometric (geometric) characteristics of a river, the term morphometry or river shaping is used. In fact, morphometrics is the quantitative analysis of the geomorphic features of landforms in an area. Morphometric analysis is one of the effective methods for prioritizing sub-basins that can indicate the status of the drainage network of the

basin. Investigation of morphometric features of the Piveh Gene watershed is based on morphometric and geomorphometric indices. Considering the importance of studying morphometric characteristics in watershed studies and examining the degree of erosion in this study, the aim is to analyze the morphometric features with the type of landform and predict the amount of erosion through landforms.

**Materials and Methods** In the present study, for morphometric analysis, ArcGIS software, a digital elevation model (DEM) with an accuracy of 20 meters, prepared from 1:50,000 digital topographic maps of the National Mapping Organization and Aster satellite images were used. Has been. To extract the number of waterways, ArcView software, a digital terrestrial model (DEM), has been used. For the slope parameter and the slope direction and height of the study area, we used a topographic map and a digital elevation model of the earth. In order to prepare the drainage density parameter, the existing elevation waterways were extracted from the digital elevation model using the module (Spectral indices) in Arhydro and the digital elevation model of the Aster satellite. A threshold of 25-50 cells was selected for drainage network extraction and the drainage network was plotted.

M. Naemitabar<sup>1</sup>, M. A. Zanganeh Asadi<sup>2</sup>, R. Zandi<sup>3</sup>

1. PhD. Student of Geomorphology, Department of Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran
2. Associate Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran
3. Associate Professor, Department of Remote sensing and GIS, Faculty of Geography and Environmental Sciences, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran

e-mail: [mahnaznaemi70@gmail.com](mailto:mahnaznaemi70@gmail.com)

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2023.686216>

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1402.14.1.4.9>

In the last step, waterways were classified by astral method and morphometric parameters were extracted. To separate the landforms of the region, a digital model of height with a resolution of 20 meters was used and then the type of landforms were identified based on TPI or topographic position index and according to equation  $TPI_i = Z_0 - \sum_{n=1}^n Z_{n/n}$  ( $Z_0$  Model point height under evaluation,  $Z_n$  The height of the grid,  $n$  The total number of surrounding points considered in the evaluation) comparing the height of each cell in a digital model TPI, Height is adjacent to the average height of the cells. Finally, the average height decreases from the height value in the center.

**Results and Discussion** Morphometric parameters studied in this paper include the number of streams (Nu), the rank of streams (U), the length of streams (L), bifurcation coefficient (Rb), roughness coefficient (Bb), drainage density (Dd), frequency of streams (F), shape factor (Rf), roundness coefficient (Rc) and rectangle coefficient are equivalent (Re). The results showed that according to the number of waterways (184 waterways), the existence of first, second, and third-degree waterways, the length of waterways, the high ratio of waterway lengths to the area of the basin, and the high unevenness coefficient of the erodible area And requires optimal planning and management. Also, landform studies in the study area showed that with the help of morphometric features, they determined the susceptibility of landforms to erosion in the area. So that after preparing the landforms using the topographic position index (TPI) and considering erosion-sensitive areas through morphometric features, erosion-sensitive landforms in the study area were identified. By comparing the landform map and the erosion zoning map of the study area, it was found that Class 2 landforms (U-shaped valley) and Class 4 landforms (high drains) have the highest erosion. The results showed that with increasing the drainage density, the amount of erosion increases.

**Conclusion** After mapping the landforms using the topographic position index (TPI) and considering erosion-sensitive areas through morphometric features, erosion-sensitive landforms in the study area were identified. So that the increase in the number of waterways and their length in the watershed indicates an increase in erosion. Then, the topographic position index (TPI), which distinguishes between hollow and bulge, was considered as one of the geomorphometric indicators. The lower and upper limits of the index (TPI) for the study area were calculated as -39.21 and 33.51, respectively. Areas with negative TPI indicate low topography (concavities and pits) while areas with positive TPI indicate high topography (convex or ridges). The presence of dimples and holes (in areas with low TPI) increases the latency of surface currents in the area and causes water infiltration, which in turn can have a significant impact on the storage of precipitation and surface runoff. Have. The results of studies of morphometric parameters indicate that the erodibility conditions of the region are more favorable and the situation is critical. Analysis of classified data showed that the area and length of the canal are effective in erosion. By comparing the landforms map and the waterways map of the study area, it was found that the 4th floor landforms (U-shaped valleys) and the 3rd-floor landforms (high drainages) have the highest erodibility. Also, with an increasing degree of unevenness, the amount of erosion in the area increases, which in landforms located at high altitudes, such as ridges (Class 8 and 10 landforms), the highest amount and, consequently, the highest sensitivity of these landforms are determined. Class 3 locations have the highest drainage density. Due to its natural features, morphometric and physiographic features, the study area is round, which makes the time of short concentration and literal peak larger and more prone to flooding. By examining other morphological components, we came to the conclusion that the study area is prone to erosion.

**Keywords:** Morphometry, Landform, Topographic position index (TPI), Erodibility

Please cite this article as: Please cite this article as: Naemitabar M, Zanganeh Asadi M. A, Zandi R. 2023. Analysis of the relationship between morphometric properties and erodibility using topographic position index in the Pivehzen binalod. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 14(1): 66-85. <https://doi.org/10.30495/GIRS.2023.686216>