نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۶، شماره ۷۹، فصل بهار، سال۱۴۰۱، صفحات ۱۳۹-۱۲۷

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۱۰/۰۷ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۱/۱۳

سنجش پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌ها بر اساس پارامترهای مورفومتری و آزمون همبستگی (مورد: حوضه آبریز زاب تا میرآباد)

معصومه رجبی[۱]
شهرام روستایی[۲]
محسن برزکار[۳]

چکیده

اولویت بندی زیر حوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل خیزی تأثیر مهمی در مدیریت حوضه آبریز دارد. هدف از اولویت بندی سیل خیزی در زیر حوضه‌ها ارائه الگویی برای کنترل و کاهش خطرات سیل و ارزیابی نقش هر یک از زیر حوضه‌ها در دبی اوج هیدروگراف سیلاب خروجی از حوضه می‌باشد. در این پژوهش پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌های رودخانه زاب بر اساس پارامترهای ۱۲ گانه مورفومتری ، اولویت بندی زیر حوضه‌های آبریز زاب بر اساس روش ترکیبی آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری انجام شد. در ابتدا مقادیر ۱۲ پارامتر مورفومتری و شاخص (Cv) محاسبه شده و زیر حوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل خیزی پهنه بندی شدند. سپس ارتباط بین پارامترهای مورفومتریک و تعیین وزن تأثیر هر یک از آنها با استفاده از روش‌های همبستگی تای کندال و آنالیز مجموع وزنی (WSA) تحلیل شد. در نهایت شاخص اولویت بندی زیر حوضه‌های آبریز (SWPI) بر اساس روش ترکیب خطی وزنی (WLS) برای هر یک از زیر حوضه‌ها محاسبه شد. به منظور اعتبار سنجی نتایج از داده‌های موقعیت سیل‌های مخرب گذشته در حوضه آبریز زاب استفاده گردید. نتایج نشان داد که در روش پتانسیل سیل خیزی که بر اساس ۱۲ پارامتر مورفومتری محاسبه شده زیر حوضه‌های شین آباد و صوفیان دارای پتانسیل زیاد سیل خیزی، زیر حوضه زاب کوچک دارای پتانسیل متوسط و زیر حوضه‌های کوپر و لاوین چای دارای پتانسیل کمی برای سیل خیزی می‌باشند. در واقع ۳۳/۸۳٪ مساحت حوضه زاب دارای پتانسیل خطر زیاد، ۱۴/۲۸٪ دارای پتانسیل خطر متوسط و ۵۱/۸۸٪ دارای پتانسیل خطر کم می‌باشد. نتایج حاصل از پارامترهای مورفومتری و همبستگی آماری نشان داد به ترتیب زیر حوضه‌های شین آباد و صوفیان با مقادیر ۲۴/۶۷ و ۲۳/۴۶ اولویت دارترین زیر حوضه‌ها شناسایی شدند. مقایسه نتایج دو روش با شرایط مورفومتری و ژئومورفولوژی زیر حوضه‌ها نشان می‌دهد نتایجی که با تکیه بر ۱۲ پارامتر مورفومتری حاصل شده است تطبیق بیشتری با شرایط ژئومورفیک حوضه دارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

واژگان کلیدی: سیل خیزی، مورفومتری، همبستگی ، رودخانه زاب

مقدمه

مفهوم مورفومتری در برگیرنده اندازه گیری و تحلیل عددی سطح زمین، شکل، ابعاد و فرم اراضی است (استرالر[۴]، ۱۹۶۴: ۳). در رابطه با سیل خیزی، مورفومتری حوضه در برگیرنده شاخص‌های کمی و توصیف کننده خصوصیات فیزیکی حوضه است که الگو و

[۱]. استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز(نویسنده مسئول)

Email : Mrajabi@tabrizu.ac.ir –Tel :09143134731

[۲]. استاد گروه ژئومورفولوژی،دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

[۳]. دانشجوی دکتری تخصصی ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

[4] . Strahler

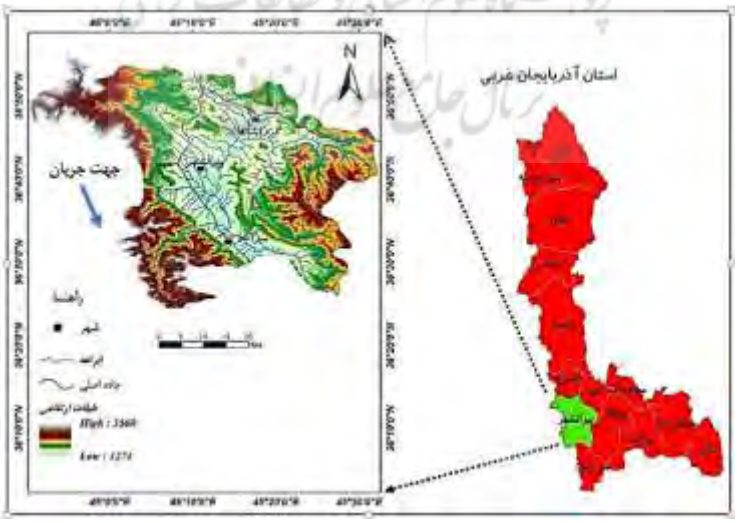
ویژگی‌های کمی سیل مانند مقدار، زمان وقوع، زمان تأخیر و هیدروگراف جریان را کنترل می‌کند. توسعه نامتعارف شهرها به واسطه افزایش جمعیت و به دنبال آن تغییر کاربری اراضی منجر به بهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و افزایش سیل خیزی حوضه‌ها شده است. زیر حوضه‌های آبریز از لحاظ پتانسیل فرسایش خاک، تولید رسوب و تشکیل جریان‌های سطحی متفاوت هستند و به تبع آن هدر رفت منابع آب و خاک در آنها نیز متفاوت خواهد بود (چاودری[1]، ۲۰۱۳: ۵). به طور کلی در سطح حوضه آبریز مسائل و مشکلات متعددی وجود دارد که با فرسایش خاک و وقوع سیلاب ارتباط دارند و برای مهار هر یک از خطرهای مزبور، مدل‌ها و روش‌های مختلفی طراحی شده است. از طرف دیگر محدودیت بودجه‌های مربوط به مدیریت منابع طبیعی موجب اجرا نشدن پروژه‌های اجرایی در تمام زیر حوضه‌ها می‌شود؛ بنابراین اولویت بندی زیر حوضه‌ها به منظور بهبود مدیریت حوضه‌های آبریز ضرورت می‌یابد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶). زهتابیان و همکاران (۱۳۸۸) بیان کردند که به دلیل وسعت زیاد حوضه‌های آبریز و محدودیت‌های اقتصادی و اجرایی احیای تمام زیر حوضه‌ها یک حوضه در یک پروژه هم زمان نه تنها عملی نیست بلکه ممکن است اثرهای معکوس داشته باشد. بر این اساس اولویت بندی زیر حوضه‌های آبریز تأثیر اساسی در مدیریت راهبردی و همه جانبه حوضه‌های آبریز کشور خواهد داشت. روش آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری نسبت به روش‌های مرسوم اولویت بندی حوضه‌های آبریز مانند روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فرآیند تحلیل سلسله مراتب فازی (FAHP) دارای این مزیت است که خطای ناشی از نظر کارشناسی در فرآیند تعیین اولویت‌ها هیچ تأثیری ندارد. روش‌های AHP و FAHP بر پایه مقایسه‌های زوجی انجام گرفته توسط کارشناسان به دلیل کامل نبودن تحقیقات در زمینه اهمیت عوامل مؤثر فاقد مستندات علمی است. این در حالی است که در روش آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری، اولویت بندی بر اساس اطلاعات به دست آمده از لایه‌های رقومی عوامل تأثیر گذار حوضه‌های آبریز و ایجاد رابطه همبستگی بین پارامترها انجام می شود (اهیر[2]، ۲۰۱۴: ۵). ارزیابی مورفومتریک به برآورد اولیه هیدرولوژیکی صحیح جهت پیش بینی درست رفتار تقریبی حوضه آبریز با در نظر گرفتن شرایط ژئومورفولوژی و زمین شناسی کمک می‌کند (آنگیلیری[3]، ۲۰۰۸، ۶). پاسخ هیدرولوژیکی حوضه رودخانه با خصوصیات فیزیوگرافی حوضه زهکشی، مانند اندازه، شکل، شیب، تراکم زهکشی و طول جریان‌ها ارتباط دارد (کومار[4]، ۲۰۱۵: ۷). به کار گیری پارامترهای مورفومتری در مطالعات مخاطره سیل و تهیه نقشه پهنه بندی با استفاده از آن یک روش مفید، کارآمد و کم هزینه در مدیریت حوضه‌های آبخیز است زیرا نقشه‌های پهنه بندی خطر سیل که به راحتی قابل استفاده بوده باعث کاهش اثرات زیان بار سیل می‌شوند (باپالو و همکاران[5] ۲۰۰۵: ۶). مطالعات زیادی در زمینه شناخت خصوصیات مورفومتریک حوضه و ارتباط آن با سیل خیزی صورت گرفته است. باجابا و همکاران[6] (۲۰۱۴) با ارزیابی ۲۵ پارامتر مورفومتری، حوضه ال لیته عربستان را به ۳ پهنه با خطر کم، متوسط و زیاد تقسیم بندی کردند. سمسون و همکاران[7] (۲۰۱۶) با استفاده از پارامترهای مورفومتریک نقشه پهنه بندی خطر سیل در حوضه اوو نیجریه را تهیه تهیه کرده و بیشتر مساحت حوضه در پهنه با پتانسیل زیاد خطر قرار دارند. ابو زید و منصور[8](۲۰۱۸) با استفاده از پارامترهای مورفومتری حوضه داهاب در مصر را به پنج پهنه‌ای خطر سیل تقسیم کرده و مناطق پر خطر دارای توپوگرافی ناهموار و لیتولوژی نفوذ ناپذیر بوده‌اند. رحمتی و همکاران (۱۳۹۴) اولویت بندی سیل خیزی زیر حوضه‌های آبریز استان گلستان بر اساس آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری را مورد پژوهش قرار دادند. نتایج نشان داد که روش نوین اولویت بندی قادر به تعیین اولویت ترتیبی تمام زیر حوضه‌ها نبود اما توانست زیر حوضه‌های با بیشترین اولویت، یعنی زیر حوضه‌های شماره ۳، ۱۶ و ۹ را اولویت دارترین زیر حوضه‌ها برای اجرای اقدامات آبریز

[1]- Chowdary
[2]- Aher
[3]- Angillieri
[4] - Kumar
[5] - Bapalu and Sinha
[6] - Bajabaa et al
[7] - Samson et al
[8] - Abuzied and Mansour

داری شناسایی کند. نیری و همکاران (۱۳۹۵) حوضه سطح استان کردستان را بر اساس پارامترهای مورفومتریک به دو دسته تقسیم کرده که حوضه‌های شرقی استان به علت شرایط توپوگرافی، لیتولوژی و پوشش گیاهی سیل خیز تر از حوضه‌های پر بارش غرب استان می-باشند. شیرانی و چاوشی (۱۳۹۶) پهنه بندی سیل خیزی حوضه زهره جراحی با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مدل ترکیبی نوین تاپسیس- رگرسیون چند متغیره خطی با تأکید بر تحلیل‌های کمی ژئومورفومتریک را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که مدل ترکیبی دارای دقت بالایی در شناسایی زیر حوضه‌های با پتانسیل سیل خیزی بالا است، به طوری که در زیر حوضه‌های صیدون، امام زاده جعفر و تخت دراز بیشترین تعداد سیلاب رخ داده است که این موضوع بیانگر کارایی بالای مدل و همچنین تأثیر زیاد وضعیت مورفومتریک زیر حوضه‌ها روی پتانسیل سیل خیزی آنها است. پروین (۱۳۹۸) ارزیابی پتانسیل سیل خیزی حوضه سرپل ذهاب با استفاده از تحلیل پارامترهای مورفومتریک را بررسی نمودند. در روش اول با استفاده از ۹ پارامتر مورفومتری تأثیر گذار بر سیل، درجه خطر سیل خیزی برای حوضه سرپل ذهاب و زیر حوضه‌های آن محاسبه گردید. در روش دوم مقادیر ۱۲ پارامتر مورفومتری و شاخص Cv محاسبه شده و حوضه سر پل ذهاب و زیر حوضه‌های آن از نظر پتانسیل سیل خیزی پهنه بندی گردید. نتایج نشان داد که روش دوم به علت به کار گیری تعداد بیشتر پارامترهای مورفومتری و تأکید بر پارامترهای مرتبط با شکل حوضه از کارایی مطلوب‌تری نسبت به روش اول برخوردار می‌باشد. با توجه به این که حوضه زاب از لحاظ شرایط ژئومورفولوژیکی دارای پتانسیل سیلاب و عبور رودخانه اصلی زاب از کنار شهرستان پیرانشهر و قرارگیری روستاها و زمین‌های کشاورزی و تأسیسات انسانی در حواشی این رودخانه اولویت بندی و پهنه بندی خطر سیل در این حوضه ضروری است. هدف این پژوهش اولویت بندی زیر حوضه‌های رودخانه زاب بر اساس روش نوین ترکیبی آنالیز مورفومتری و همبستگی آماری و پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌های زاب با استفاده از پارامترهای مورفومتری می‌باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه زاب که در شمال غربی کشور (زاگرس) قرارگرفته از کوه‌های شمال غرب پیرانشهر (سیاه کوه با ارتفاع ۳۵۷۸ متر) سرچشمه می‌گیرد، دارای جریان آب دائمی است و در سرتاسر سال خشک نمی‌شود. همچنین آب شعبه‌هایی مانند «چم لاوین»، «چم بادین» و جانداران در تنگه گرژال به رودخانه می‌ریزد. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش بخشی از حوضه آبریز رودخانه زاب از شهرستان پیرانشهر تا شهر میرآباد بوده که از لحاظ موقعیت و جایگاه، بین عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸ دقیقه و ۲۵ ثانیه و ۳۶ درجه و ۲۶ دقیقه و ۲۸ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۱ دقیق و ۲۴ ثانیه و ۴۵ درجه و ۴۰ دقیقه و ۴۴ ثانیه شرقی واقع است. مساحت محدوده مورد مطالعه حدود ۱۹۷۲ کیلومتر و محیط آن حدود ۳۲۵ کیلومتر برآورد گردیده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

از آنجایی که واحدهای هیدرولوژیک مبنای بررسی پارامترهای مورفومتریک برای اولویت بندی نقشه سیل خیزی هستند لذا در ابتدا با استفاده از شبکه آبراهه‌ای و منحنی‌های تراز ارتفاع، نقشه‌های توپوگرا فی ۱:۵۰۰۰۰ و داده‌های رقومی ارتفاعی اقدام به تدقیق مرز واحدهای هیدرولوژیک شد. سپس چون پارامترهای مورفولوژیکی حوضه آبریز در فرآیندهای فرسایش خاک و تشکیل رواناب تأثیر متفاوتی دارند، اولویت بندی زیر حوضه‌ها با روشی نوین و بر اساس تفاوت اهمیت پارامترهای مورفولوژیکی و آنالیز همبستگی آماری بین آنها انجام شد. مقدار پارامترهای مورفومتریک برای تمامی زیر حوضه‌ها در نرم افزار GIS محاسبه گردید. سپس همبستگی آماری پارامترهای مورفومتری بر اساس روش تای کندال[1] و با استفاده از نرم افزار spss انجام گرفت. بر اساس ماتریس همبستگی به دست آمده می‌توان ارتباط بین پارامترها را تحلیل کرد و برای هر یک از پارامترها، وزن نسبی بدون دخالت تصمیم گیرندگان (مدیران) تعریف نمود. بر اساس ضرایب ماتریس همبستگی وزن هر یک از پارامترهای مورفومتری با روش آنالیز مجموع وزنی[2] (WSA) تعیین شد. بر اساس رابطه ۱ وزن تأثیر (W_i) یک پارامتر عبارت است از نسبت مجموع ضرایب همبستگی آن پارامتر و مجموع کل ضرایب ماتریس همبستگی. بنابراین وزن تأثیر (W) برای تمام پارامترها محاسبه گردید.

رابطه۱:

$$W_i = \frac{\sum C_i}{\sum T}$$

که در آن $\sum C_i$ و $\sum T$ به ترتیب مجموع ضرایب همبستگی پارامتر i ام و مجموع کل ضرایب ماتریس همبستگی است. به منظور تعیین شاخص اولویت بندی زیر حوضه‌ها (SPWI) از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) استفاده شد. وزن‌های به دست آمده برای پارامترهای مورفومتری به عنوان متغیرهای ورودی شاخص اولویت بندی استفاده شد و در نهایت شاخص SPWI در نرم افزار GIS برای هر یک از زیر حوضه‌ها بر اساس رابطه ۲ محاسبه گردید.

رابطه ۲:

$$SPWI: W_1R_R + W_2F_+ W_3F_+ W_4D_+ W_5Re_+ W_6R_{n+} W_7R_{b+} W_8D_{t+} W_9C_+ W_{10}R_{C+} W_{11}K_+ W_{12}Rf$$

که در آن پارامتر W_1 تا W_{12} وزن تأثیر حاصل هر یک از پارامترهای مورفومتریک، R_R نسبت ناهمواری، F فراوانی جریان، D تراکم زهکشی، R_n عدد ناهمواری، R_b نسبت انشعاب،Re نسبت کشیدگی، D_t بافت زهکشی، C شاخص فشردگی، F فاکتور شکل، R_C نسبت دایره‌ای، Sm شیب متوسط و Rf ناهمواری می‌باشد. هر چه مقدار این شاخص در یک زیر حوضه بیشتر باشد آن زیر حوضه اولویت بیشتری برای اجرای طرح‌های مدیریتی خواهد داشت (جدول ۱). در ادامه جهت پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌ها دوازده پارامتر نسبت انشعاب، فروانی آبراهه، تراکم زهکشی، بافت زهکشی، شاخص فشردگی، فاکتور شکل، نسبت دایره‌ای، نسبت کشیدگی، شیب متوسط، ناهمواری حوضه، عدد ناهمواری و نسبت ناهمواری که دارای نسبت مستقیمی با رواناب هستند برای پنج زیر حوضه محاسبه گردید. برای مقادیر حاصل از هر یک از پارامترهای دوازده گانه در هر زیر حوضه امتیاز تعیین گردید. امتیاز تعیین شده بر اساس تعداد کل زیر حوضه‌ها بوده و از آنجا که تعداد ۵ زیر حوضه در این مطالعه وجود داشت هر پارامتر امتیاز بین ۱ تا ۵ را به خود اختصاص داد. مقادیر بالا که دارای تأثیر بیشتری در سیل خیزی بوده بیشترین امتیاز و مقادیر کمتر نیز کمترین امتیاز را به خود اختصاص می‌دهند (التاف و همکاران، ۲۰۱۴:

[1]- aaaaa aatt t uu

[2]- Weighted Sum Analysis: WSA

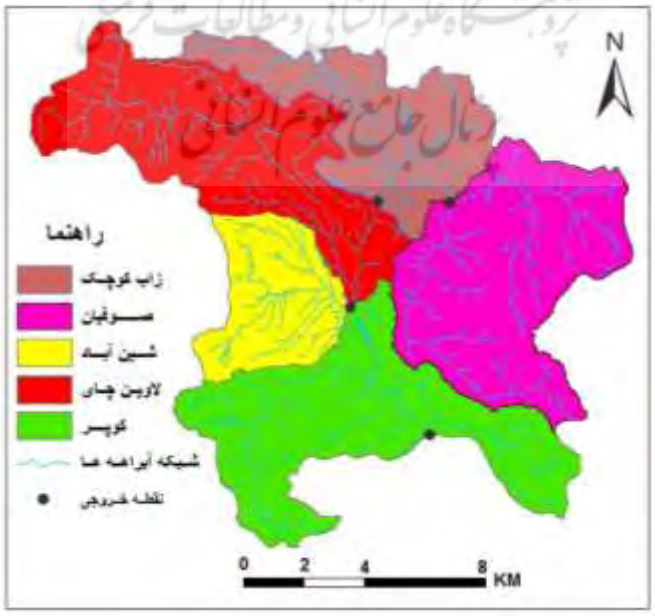
۶). در ادامه شاخص (Cv) که حاصل میانگین ۱۲ پارامتر مورفومتری است، محاسبه شده و بر اساس نتایج آن زیر حوضه‌ها به پهنه‌های با پتانسیل خطر زیاد تا کم سیل خیزی دسته بندی می‌گردند.

جدول ۱: پارامترهای مورفومتریک مورد بررسی

پارامتر	فرمول	منبع
نسبت ناهمواری (Relief ratio)	Rr=(Rf/LB) 100	شوم (۱۹۵۶)
فراوانی جریان(Stream frequency)	F=Nu /A	هورتن (۱۹۳۲)
تراکم زهکشی (Drainage density)	D=Lu/A	هورتن (۱۹۳۲)
عدد ناهمواری (Ruggedness number)	Rn = Rf*D	میلتون (۱۹۵۷)
نسبت انشعاب (Bifurcation ratio)	Rb=Nu/Nu+1	هورتن (۱۹۴۵)
بافت زهکشی (Drainage texture)	Dt = Nu /P	هورتن (۱۹۴۵)
شاخص فشردگی (Compactness index)	c = P/2vpA	گراویلیوس (۱۹۱۴)
فاکتور شکل (Form factor)	$F = A/L^2$	هورتن (۱۹۳۲)
نسبت دایره ای (Circularity ratio)	Rc = 4A/P2	میلر (۱۹۵۳)
نسبت کشیدگی (Elongation ratio)	Re=1.128(NA / Lb)	شوم (۱۹۵۶)
شیب متوسط (Medium slope)	Sm//// A	چانگ (۱۹۸۹)
ناهمواری (Relief)	Rf= Hmox - Hmin	استرالر (۱۹۵۷)

بحث و یافته‌ها

تفکیک زیرحوضه‌هااولین گام برای بررسی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز زاب تقسیم بندی و تفکیک آن به زیرحوضه‌ها است. به همین منظور از آنجایی که واحدهای هیدرولوژیک مبنای بررسی پارامترهای مورفومتریک برای اولویت بندی نقشه سیل خیزی هستند لذا در ابتدا با استفاده از شبکه آبراهه‌ای و منحنی‌های تراز ارتفاع، نقشه‌های توپوگرا فی ۱:۵۰۰۰۰ و داده-های رقومی ارتفاعی اقدام به تفکیک مرز واحدهای هیدرولوژیک و زیرحوضه‌ها شد. این زیرحوضه‌ها عبارتند از: زاب کوچک، صوفیان، شین آباد، لاوین چای و کوپر(شکل۲).



شکل۲: زیر حوضه‌های رودخانه زاب در منطقه مطالعاتی

اولویت بندی زیر حوضه‌ها بر اساس روش ترکیبی آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری

تمامی متغیرهای دوازده گانه شامل نسبت کشیدگی نسبت دایره‌ای، نسبت انشعاب، فراوانی جریان، تراکم زهکشی، بافت زهشکی، شاخص فشردگی، فاکتور شکل، شیب متوسط، نسبت ناهمواری، ناهمواری و عدد ناهمواری برای تمامی زیر حوضه‌ها در جدول ۲ محاسبه شد و جهت استفاده از رابطه بین پارامترهای مورفومتری از روش همبستگی تای کندال استفاده شد. نتایج این همبستگی آماری در جدول ۳ نشان داده شده است و سپس وزن تأثیر (W_i) هر یک از پارامترها بر اساس روش آنالیز مجموع وزنی به دست آمد. بر اساس جدول ۴ شاخص عدد ناهمواری ۰/۲۳ و تراکم زهکشی ۰/۱۳ می‌باشد که آنالیز وزنی سایر پارامترها در جدول ۴ بیان شده است.

جدول ۲: نتایج محاسبات آنالیز مورفومتری زیر حوضه‌ها

پارامتر	صوفیان	زاب کوچک	کوپر	لاوین چای	شین آباد
نسبت کشیدگی	۰/۸۶	۰/۷۱	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۹۲
نسبت دایره‌ای	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۳۵
نسبت انشعاب	۲/۰۸	۲/۳۴	۰/۵	۲/۹۳	۶/۱۹
فراوانی جریان (کیلومتر مربع)	۲/۷۳	۲/۵۴	۰/۹۸	۰/۹۴	۲/۲۴
تراکم زهکشی(کیلومتر/کیلومتر مربع)	۱/۴۹	۱/۱۶	۰/۷۷	۱/۰۹	۱/۵۱
بافت زهشکی	۲/۶۸	۲/۱۷	۱/۶۲	۲/۹۶	۴/۱
شاخص فشردگی	۲/۰۴	۲/۳۱	۲/۳۷	۱/۹۸	۱/۸۲
فاکتور شکل	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۲۷	۰/۲۹
شیب متوسط	۵/۳۲	۳/۲۹	۱۱/۰۹	۴/۱۷	۵/۳۵
نسبت ناهمواری	۴/۲۶	۴/۹۶	۲/۱۴	۳/۸۱	۵/۱۷
ناهمواری(متر)	۱۵۰۰	۲۴۰۰	۲۵۰۰	۱۲۰۰	۲۱۰۰
عدد ناهمواری	۳/۵۷	۱/۷۴	۱/۶۱	۱/۳۰	۳/۶۲

جدول ۳: ماتریس همبستگی خصوصیات مورفومتری زیر حوضه‌ها

	نسبت کشیدگی	نسبت دایره‌ای	نسبت انشعاب	فراوانی جریان	تراکم زهکشی	بافت زهکشی	شاخص فشردگی	فاکتور شکل	شیب متوسط	نسبت ناهمواری	ناهمواری	عدد ناهمواری
نسبت کشیدگی	۱	-۰/۴	-۰/۲	-۰/۸	-۰/۸	-۰/۸	۰/۴	۰/۲	-۰/۲	۰	۰/۲	-۰/۴
نسبت دایره‌ای	-۰/۴	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۲	۰/۶	-۰/۶	۰	۰	-۰/۲	۰	۰/۶
نسبت انشعاب	-۰/۲	۰/۸	۱	۰/۴	۰/۴	۰/۴	-۰/۴	۰/۲	-۰/۲	۰	۰/۲	-۰/۸
فراوانی جریان	-۰/۸	۰/۶	۰/۴	۱	۰/۶	۱	-۰/۲	-۰/۴	۰	۰/۲	۰	-۰/۶
تراکم زهکشی	-۰/۸	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۱	۰/۶	-۰/۲	۰	۰	۰/۲	-۰/۴	۰/۶
بافت زهشکی	-۰/۸	۰/۶	۰/۴	۱	۰/۶	۱	-۰/۲	-۰/۴	۰	۰/۲	۰	۰/۶
شاخص فشردگی	۰/۴	-۰/۶	-۰/۴	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	۱	-۰/۴	-۰/۴	۰/۶	۰/۴	-۰/۲
فاکتور شکل	۰/۲	۰	-۰/۲	-۰/۴	۰	-۰/۴	-۰/۴	۱	-۰/۲	۰	-۰/۶	۰
شیب متوسط	-۰/۲	۰	-۰/۲	۰	۰	۰	-۰/۴	-۰/۲	۱	-۰/۸	-۰/۲	-۰/۴
نسبت ناهمواری	۰	-۰/۲	۰	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۶	۰	-۰/۸	۱	۰	۰/۲
ناهمواری	۰/۲	۰	-۰/۲	۰	-۰/۴	۰	۰/۴	-۰/۶	-۰/۲	۰	۱	۰
عدد ناهمواری	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۰/۶	۰/۶	۰/۶	-۰/۲	۰	-۰/۴	۰/۲	۰	۱
مجموع همبستگی‌ها	-۱/۱	۲/۶	۳/۶	۳/۲	۲/۲	۳	-۰/۴	-۰/۶	-۱/۴	۱/۴	۰/۰۲	۳/۲
مجموع کل	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۵/۸

جدول ٤: وزن تأثیر (W_J) به دست آمده برای تمام پارامترهای مورفومتری

پارامتر	عدد ناهمواری	ناهمواری	نسبت ناهمواری	شیب متوسط	فاکتور شکل	شاخص فشردگی	بافت زهکشی	تراکم زهکشی	فراوانی جریان	نسبت انشعاب	نسبت دایره‌ای	نسبت کشیدگی
وزن تأثیر (W_J)	۰/۲۳	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۲۹	-۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۲۱	-۰/۰۹

شاخص اولویت بندی زیر حوضه‌ها (SWPI) بر اساس روش ترکیب خطی وزنی (WLC) مطابق رابطه ۳ تعیین گردید.

رابطه ۳:

SWPI: ۰/۰۸Rr + ۰/۲۰Rn+ ۰/۲۰F+ ۰/۱۳D+ ۰/۰۳Sm+ ۰/۲۲Rb -۰/۰۷ Rc – ۰/۱۸Dt – ۰/۰۲C+ ۰/۱۶RC –۰/۰۸ ۰K+ ۰/۰۱R

در نهایت مقدار شاخص مزبور برای هر زیر حوضه محاسبه و بر اساس آن اولویت بندی نهایی زیر حوضه‌های آبریز زاب انجام شد که نتایج آن در جدول ۵ بیان شده است. به منظور تعیین دقت روش ترکیبی آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری در اولویت بندی زیر حوضه‌ها از داده‌های موقعیت سیل‌های گذشته که در حوضه زاب رخ داده، استفاده شد. در این بخش مجموع تعداد نقاط سیل برای هر یک از زیر حوضه‌ها به تفکیک محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

نتایج اعتبار سنجی نشان داد که روش نوین آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری در اولویت بندی تمام زیر حوضه‌ها نسبتاً خوب عمل نکرده ولی این روش در شناسایی زیر حوضه‌های دارای بیشترین اولویت (حادترین شرایط) دقت مناسبی دارد. دلیل این امر را می‌توان کارایی کمتر آنالیز مورفومتریک و مشخصات آبراهه‌ها در حوضه‌های آبریز کم شیب عنوان کرد. همچنین دلیل دقیق برآورد نکردن اولویت برخی از زیر حوضه‌ها، در نظر نگرفتن عوامل انسانی و اجتماعی زیر حوضه‌های آبریز است که تأثیر زیادی در فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه آبریز دارد. بر اساس نتایج اعتبار سنجی، زیر حوضه‌های شین آباد و صوفیان دارای بیشترین اولویت می‌باشند که روش نوین آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری آنها را در بالا ترین اولویت برای توجه بیشتر مدیران لحاظ کرده است.

جدول ٥: مقدار شاخص (SWPI) و اولویت بندی نهایی زیر حوضه‌ها

زیر حوضه	SWPI	اولویت
زاب کوچک	۲۱/۱۶	۳
صوفیان	۲۳/۴۶	۲
شین آباد	۲۴/۶۷	۱
لاوین چای	۲۰/۱۳	۴
کوپر	۱۷/۳۷	۵

جدول ٦: تعداد وقایع سیل‌های ثبت شده نسبتاً بزرگ برای زیر حوضه‌های آبریز زاب

زیر حوضه	تعداد وقوع سیل
زاب کوچک	۶
صوفیان	۸
شین آباد	۹
لاوین چای	۴
کوپر	۳

پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌ها با استفاده از تحلیل پارامترهای مورفومتریک

نسبت کشیدگی به درک ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه زهکشی کمک کرده و مقدار آن بین ۱ برای حوضه‌های دایره تا ۰ برای حوضه‌های کشیده در نوسان بوده و مقادیر بالای آن نشان دهنده شکل دایره حوضه، دبی پیک بالا و پتانسیل سیل خیزی بالا است (سین[1] ۱۹۹۷: ۹). مقادیر نسبت کشیدگی در تمامی زیر حوضه‌ها بیش از ۰/۵ بوده و حاکی از پتانسیل بالای سیل خیزی در آنها است. استرالر (۱۹۶۴) نسبت دایره را یک اندازه گیری کمی برای تجسم شکل حوضه می‌داند. مقادیر بالای این پارامتر نشان دهنده شکل دایره، ناهمواری بالا تا متوسط و نفوذ پذیری کم در حوضه بوده که باعث ایجاد دبی پیک در زمان کمتر می‌گردد. مقادیر پایین نیز بیانگر شکل کشیده حوضه، زمان تمرکز طولانی و دبی پیک کمتر و پتانسیل سیل خیزی کمتر است. میزان نسبت دایره‌ای زیر حوضه‌های لاوین چای ۰/۱۷، کوپر ۰/۱۹ و زاب کوچک ۰/۲۷ می‌باشد که نشان دهنده پتانسیل سیل خیزی نسبتاً کم در آنها از منظر این پارامتر است. میزان این پارامتر در زیر حوضه شین آباد ۰/۳۵ و زیر حوضه صوفیان ۰/۳۱ است که حاکی از پتانسیل سیل خیزی بالاتر آن‌ها از نظر این پارامتر می‌باشد (جدول ۷). نسبت انشعاب یک پارامتر مهم تأثیرگذار بر دبی پیک هیدروگراف رواناب است که مقادیر بالای آن حاکی از دبی آنی بالا و رخداد سیل است (هاوارد[2]، ۱۹۹۰: ۵). استرالر[3] (۱۹۶۴) معتقد است که نواحی کوهستانی و پر شیب دارای نسبت انشعاب بین ۳ تا ۴ می‌باشند. مقادیر نسبت انشعاب حاکی از پتانسیل کم سیل خیزی به جز زیر حوضه شین آباد که این نسبت عدد ۶/۱۹ را نشان می‌دهد و این نسبت حکایت از پتانسیل سیل خیزی بالا دارد (جدول ۷).

پارامتر فروانی آبراهه‌ها با نفوذپذیری، ظرفیت نفوذ، ناهمواری و ایجاد رواناب در ارتباط بوده و مقادیر بالای آن حاکی از نفوذ ناپذیری مواد زیر سطحی، ناهمواری بالا و کم بودن ظرفیت نفوذ است (پاتون و بیکر[4]، ۱۹۷۶: ۸). مقادیر پارامتر فروانی آبراهه در زیر حوضه‌ها حاکی از پتانسیل متوسط سیل خیزی آنها می‌باشد. تراکم زهکشی یک عامل مهم کنترل رواناب سطحی است که بر میزان دبی سیل تأثیر گذار است (پالارد و همکاران[5]، ۲۰۰۹: ۵). در مناطق با نفوذ پذیری کم، ناهمواری زیاد و پوشش گیاهی کم مقادیر این پارامتر بالا است. مقادیر تراکم زهکشی در زیر حوضه کوپر ۰/۷۷ کیلومتر/ کیلومتر مربع می‌باشد و سایر زیر حوضه‌ها بیشتر از ۱ هستند. بافت زهکشی یک مفهوم ژئومورفولوژیکی است که بازتاب دهنده شرایط لیتولوژیکی، ظرفیت نفوذ، ناهمواری و توپوگرافی حوضه است (رای و همکاران[6]، ۲۰۱۸: ۶). بر اساس طبقه بندی اسمیز[7] (۱۹۵۸) بافت زهکشی زیر حوضه‌ها نیز دارای بافت زهکشی درشت می‌باشند که حاکی از نفوذ پذیری مناسب و زمان واکنش دیرتر به بارش و ایجاد رواناب است. شاخص فشردگی عددی از درجه انحراف شکل حوضه از یک دایره استاندارد بوده و متأثر از شرایط لیتولوژیکی، پوشش گیاهی و رژیم اقلیمی حوضه است (ونز[8]، ۲۰۰۰: ۵). حوضه‌های دایره (۱ =C) دارای کوتاه ترین زمان تمرکز قبل از پیک جریان بوده و در حوضه‌های غیر دایره (C>۱) بر عکس است (التاف و همکاران[9]، ۲۰۱۳: ۲۰۱۳: ۷). زیر حوضه‌های شین آباد، صوفیان و زاب کوچک نسبت به زیر حوضه‌های کوپر و لاوین چای دارای ضریب نفوذ کم‌تر، ضریب رواناب بالا و پتانسیل خطر سیل خیزی هستند. هورتون[10] (۱۹۴۵) فاکتور شکل را نشان دهنده شکل یا طرح کلی حوضه و نسبت بین مساحت و طول حوضه می‌داند. مقادیر بالای فاکتور شکل نشان دهنده پتانسیل بالا برای ایجاد جریان‌های با پیک بالا در زمان کوتاه

1- Singh and Singh
2- Howard
3- straler
4- Patton and Baker
5- Pallard et al
6- Rai et al
7-Smith
8-Wentz
9- Altaf et al
10- Horton

بوده و مقادیر کم بر عکس می‌باشد (ردی و همکاران[1]، ۲۰۰۴: ۸). شیب متوسط برای شیب حوضه زهکشی استفاده می‌شود (چانگ[2]، ۱۹۸۹: ۱۱). حوضه‌های دارای مقادیر کم شیب متوسط دارای زمان تمرکز کم، دبی پیک بالا و پتانسیل سیل خیزی بالا هستند (چورلی و همکاران، ۱۹۵۷: ۹). مقادیر این پارامتر حاکی از پتانسیل بالای سیل خیزی در تمامی زیر حوضه‌های آن می‌باشد. نسبت ناهمواری بالا در حوضه‌های زهکشی نشان دهنده زمان تأخیر کم، سرعت جریان بالا، دبی پیک بالا است (بهات و احمد[3]، ۲۰۱۴: ۱۲). زیر حوضه-های شین آباد، صوفیان و زاب کوچک دارای نسبت ناهمواری بالای ۴ بوده که نشان دهنده پتانسیل سیل خیزی بالای آنها می‌باشد (جدول ۷). شاخص عدد ناهمواری منعکس کننده شیب و توپوگرافی حوضه بوده و از شاخص‌های مهم مؤثر بر رواناب می‌باشند. در حوضه‌های دارای دامنه‌هایی شیب دار، سرعت جریان بیشتر، رواناب سطحی سریع‌تر و زمان رسیدن به پیک هیدروگراف کمتر بوده و به دلیل افزایش ناهمواری و تراکم زهکشی دبی پیک افزایش می‌یابد (پاتون، ۱۹۸۸: ۱۲). میزان پارامتر عدد ناهمواری نیز در زیر حوضه-های شین آباد و صوفیان بیشتر از ۳ بوده که حاکی از پتانسیل متوسط سیل خیزی این حوضه‌ها بوده و سه زیر حوضه دیگر دارای پتانسیل سیل خیزی کمتر می‌باشند. پارامتر ناهمواری یک عامل مهم برای درک ویژگی‌های اصلی حوضه آبخیز، لند فرم‌ها، توسعه شبکه زهکشی، ویژگی‌های رواناب و شرایط فرسایش ناهمواری‌ها است (پاتون، ۱۹۸۸: ۲). مقادیر بالای این پارامتر باعث نفوذ کم، ضریب رواناب بالا و پاسخ سریع هیدرولوژیکی به رخداد بارش و پتانسیل سیل خیزی بالا می‌باشد (ازدمیر و همکاران[4]، ۲۰۰۹: ۶). میزان پارامتر ناهمواری در حوضه در اکثر زیر حوضه‌ها نشان دهنده پتانسیل بالای سیل خیزی است (جدول ۷).

جدول ۷: میزان پارامترهای مورفومتری دوازده گانه در زیر حوضه‌ها

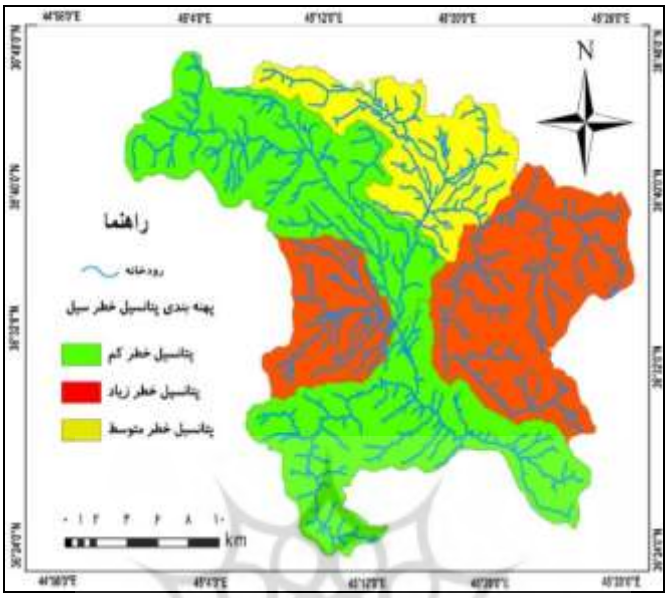
پارامتر	صوفیان	زاب کوچک	کوپر	لاوین چای	شین آباد
نسبت کشیدگی	۰/۸۶	۰/۷۱	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۹۲
نسبت دایره‌ای	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۳۵
نسبت انشعاب	۲/۰۸	۲/۳۴	۰/۵	۲/۹۳	۶/۱۹
فراوانی جریان (کیلومتر مربع)	۲/۷۳	۲/۵۴	۰/۹۸	۰/۹۴	۲/۲۴
تراکم زهکشی(کیلومتر / کیلومتر مربع	۱/۴۹	۱/۱۶	۰/۷۷	۱/۰۹	۱/۵۱
بافت زهشکی	۲/۶۸	۲/۱۷	۱/۶۲	۲/۹۶	۴/۱
شاخص فشردگی	۲/۰۴	۲/۳۱	۲/۳۷	۱/۹۸	۱/۸۲
فاکتور شکل	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۲۷	۰/۲۹
شیب متوسط	۵/۳۲	۳/۲۹	۱۱/۰۹	۴/۱۷	۵/۳۵
نسبت ناهمواری	۴/۲۶	۴/۹۶	۲/۱۴	۳/۸۱	۵/۱۷
ناهمواری(متر)	۱۵۰۰	۲۴۰۰	۲۵۰۰	۱۲۰۰	۲۱۰۰
عدد ناهمواری	۳/۵۷	۱/۷۴	۱/۶۱	۱/۳۰	۳/۶۲

ارزیابی پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌ها با استفاده از شاخص (Cv):

پارامترهای دوازده گانه انتخابی رابطه‌ای مستقیمی با رواناب و پتانسیل سیل خیزی دارند. بنابراین مقادیر بالای پارامترها با توجه به تأثیر بیشتر در پارامترهای دوازده گانه انتخابی رابطه مستقیمی با رواناب و پتانسیل سیل خیزی دارند. بنابراین مقادیر بالای پارامترها با توجه به تأثیر بیشتر در پتانسیل سیل خیزی بیشترین امتیاز (امتیاز ۵) و مقادیر کمتر، پایین ترین امتیاز (امتیاز ۱) را به خود اختصاص می-دهند. جدول ۸ مقادیر امتیاز اختصاص یافته به هر پارامتر را در هر زیر حوضه نشان می‌دهد. مقادیر شاخص (Cv) برای هر زیر حوضه از

[1]-Reddy et al
[2]- Chang
[3]- Bhatt and Ahmed
[4]- Ozdemir et al

میانگین گیری از شاخص‌های ۱۲ گانه به دست آمده و بر این اساس زیر حوضه‌های شین آباد و صوفیان دارای پتانسیل زیاد سیل خیزی، زیر حوضه زاب کوچک دارای پتانسیل متوسط و زیر حوضه‌های کوپر و لاوین چای دارای پتانسیل کمی برای سیل خیزی دارا هستند (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌های رودخانه زاب بر اساس پارامترهای ۱۲ گانه

جدول ۸: میزان پارامترهای مورفومتری دوازده گانه در زیر حوضه‌ها

پارامتر	صوفیان	زاب کوچک	کوپر	لاوین چای	شین آباد
نسبت کشیدگی	۴	۳	۱	۲	۵
نسبت دایره‌ای	۴	۳	۲	۱	۵
نسبت انشعاب	۲	۲	۱	۴	۵
فراوانی جریان(کیلومتر مربع)	۵	۴	۲	۱	۳
تراکم زهکشی(کیلومتر / کیلومتر مربع	۴	۳	۱	۲	۵
بافت زهشکی	۳	۲	۱	۴	۵
شاخص فشردگی	۳	۴	۵	۲	۱
فاکتور شکل	۳	۴	۵	۱	۲
شیب متوسط	۳	۱	۵	۲	۴
نسبت ناهمواری	۳	۴	۱	۲	۵
ناهمواری(متر)	۲	۴	۵	۱	۳
عدد ناهمواری	۴	۳	۲	۱	۵
شاخص Cv	۳/۳۳	۳/۰۸	۲/۵۸	۱/۹۱	۴
پتانسیل خطر	زیاد	متوسط	کم	کم	زیاد

نتیجه گیری

از آنجا که خصوصیات فیزیوگرافی و مورفومتری زیر حوضه‌های آبریز تأثیر زیادی در سیل خیزی و رفتار هیدرولوژیکی دارد می‌توان بر اساس آن به بررسی وضعیت و پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌ها پرداخت. در این پژوهش به منظور پتانسیل سیل خیزی در ابتدا به اولویت بندی زیر حوضه‌های زاب بر اساس روش نوین آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری پرداخته شد. بر اساس این روش نتایج نشان داد که زیر حوضه های شین آباد و صوفیان برای اجرای اقدامات مدیریتی در بیشترین اولویت قرار دارند که به منظور اطمینان از نتایج این روش، داده‌های وقوع سیل‌های گذشته حوضه زاب برای اعتبار سنجی استفاده شد. بر اساس نتایج به ترتیب زیر حوضه‌های شین آباد و صوفیان با مقادیر ۲۴/۶۷ و ۲۳/۴۶ اولویت دارترین زیر حوضه‌ها شناسایی شدند. از مزایای مهم این روش نوین مطرح شده این است که تجزیه و تحلیل‌ها بر اساس رابطه آماری و واقعی بین پارامترهای مورفومتریک صورت گرفته که به تبع آن خطای ناشی از مقایسه‌های نظری مدیران در اولویت بندی زیر حوضه‌ها حذف شده است که این نوع اولویت بندی با دقت بیشتر و به وقایع نزدیک‌تر خواهد شد. در حالی که در روش‌هایی همچون فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اولویت بندی زیر حوضه‌ها بر اساس دخالت مستقیم تصمیم گیرندگان (مقایسه زوجی پارامترها) است که دارای خطای زیادی در تعیین اولویت زیر حوضه‌ها می‌باشد.

در روش پتانسیل سیل خیزی که بر اساس ۱۲ پارامتر مورفومتری محاسبه شده نیز زیر حوضه‌های شین آباد و صوفیان دارای پتانسیل زیاد سیل خیزی، زیر حوضه زاب کوچک دارای پتانسیل متوسط و زیر حوضه‌های کوپر و لاوین چای دارای پتانسیل کمی برای سیل خیزی می‌باشند. در واقع ۳۳/۸۳٪ مساحت حوضه زاب دارای پتانسیل خطر زیاد، ۱۴/۲۸٪ دارای پتانسیل خطر متوسط و ۵۱/۸۸٪ دارای پتانسیل خطر کم می‌باشد. در این روش تأکید بیشتری بر روی پارامترهای مرتبط با شکل حوضه (شاخص فشردگی، نسبت دایره‌ای، نسبت کشیدگی و فاکتور شکل) صورت گرفته است. پارامترهای شکلی بر زمان تمرکز، میزان نفوذ و ضریب رواناب تأثیر دارند. در این روش پارامترهای ناهمواری و خطی نیز مورد تأکید قرار گرفته‌اند.

مقایسه نتایج دو روش با شرایط مورفومتری و ژئومورفولوژی زیر حوضه‌ها نشان می‌دهد نتایجی که با تکیه بر ۱۲ پارامتر مورفومتری حاصل شده است تطبیق بیشتری با شرایط ژئومورفیک حوضه دارد. زیر حوضه لاوین چای که دارای شیب کم توپوگرافی بوده و در محدوده رسوبات مخروط افکنه‌ای قرار دارند و زیر حوضه کوپر چون حوضه‌ای کشیده می‌باشد دارای پتانسیل خطر کمتر می‌باشند. در حالی که زیر حوضه‌های زاب کوچک و صوفیان چای به علت ناهمواری زیاد و قرار گرفتن در نهشته‌های نفوذ ناپذیر از قبیل ماسه سنگ، کنگلومرا و سنگ‌های دگرگونی منطقه، دارای دامنه‌های شیب دار بوده و از لحاظ شکل به ویژه زیر حوضه شین آباد با توجه به نزدیکی به شکل دایره دارای پتانسیل خطر زیاد هستند.

پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- پروین، منصور (۱۳۹۸)، ارزیابی پتانسیل سیل خیزی با استفاده از تحلیل پارامترهای مورفومتریک مطالعه موردی: حوضه سرپل زهاب، *پژوهش‌های دانش زمین*، سال دهم، شماره ۳۹، پاییز ۱۳۹۸، صص ۱۹۰– ۱۷۴.
- رحمتی ، امید، طهماسبی پور، ناصر، پور قاسمی، حمید رضا (۱۳۹۴)، اولویت بندی سیل خیزی بر اساس آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری مطالعه موردی: زیر حوضه‌های آبریز استان گلستان، *مجله اکو هیدرولوژی*، دوره ۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴، صص ۱۶۱ – ۱۵۱.
- زهتابیان، غلامرضا، قدوسی، جمال، احمدی، حسن، خلیلی زاده، مجتبی (۱۳۸۸)، بررسی اولویت پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌های آبریز و تعیین مناطق مولد سیل در آن (مطالعه موردی: حوضه آبریز مارمه استان فارس)، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، شماره ۶: ۳۸ – ۲۷.
- شیرانی، کورش، چاوشی، ستار (۱۳۹۶)، پهنه بندی سیل خیزی حوضه با تأکید بر تحلیل‌های کمی ژئومورفومتریک مطالعه موردی: حوضه آبریز زهره جراحی، *نشریه علوم آب و خاک*، سال بیست و دو / شماره چهارم / زمستان ۱۳۹۷.
- محمدی، علی اصغر، احمدی، حسن (۱۳۹۰)، اولویت بندی زیر حوضه‌ها جهت ارائه برنامه‌های احیایی آبریزداری (مطالعه موردی: حوضه آبریز معروف)، *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، شماره ۲۹: ۷۷ – ۶۹.
- نیری، هادی، سالاری، ممند، میرزا مرادی، اسرین (۱۳۹۵)، پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبریز استان کردستان با به کارگیری شاخص-های مورفومتری و تحلیل‌های آماری، *مجله پژوهش‌های کمی*، شماره ۱، صص ۱۹۰ -۱۸۱.

- Aher, P., Adinarayana, J., and Gorantiwar, S.D., 2014, ***Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India***: A remote sensing and GIS approach. Journal of Hydrology, vol 511, pp. 850-860.
- Abuzied, S.M. and Mansour, B.M., 2018. ***Geospatial hazard modeling for the delineation of flash flood-prone zones in Wadi Dahab basin, Egypt,*** Journal of Hydroinformatics, v. 21(1), p. 180-206.
- Angillieri, M.Y.E., 2008. ***Morphometric analysis of Colangüil river basin and flash flood hazard, San Juan, Argentina.*** Environmental geology, v. 55(1), p. 107-111.
- Altaf, S., Meraj, G. and Romshoo, S.A., 2014. Morphometry and land cover based multi-criteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed, Environmental monitoring and assessment, v. 186(12), p. 8391-8412.
- Bapalu, G.V. and Sinha, R., 2005. GIS in flood hazard mapping: A case study of Kosi River Basin, India, GIS Development Weekly, v. 1(13), p. 1-3.
- Bhatt, S. and Ahmed, S.A., 2014. ***Morphometric analysis to determine floods in the Upper Krishna basin using Cartosat DEM***, Geocarto International, v. 29(8), p. 878-894.
- Bajabaa, S., Masoud, M. and Al-Amri, N., 2014. ***Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia)***. Arabian Journal of Geosciences, v. 7(6), p. 2469-2481.
- Chowdary, V.M., Chakraborthy, D., Jeyaram, A., Krishna Murthy, Y.V.N., Sharma, J.R., Dadhwal, V.K., 2013, Multi-Criteria Decision Making Approach for Watershed Prioritization Using Analytic Hierarchy Process Technique and GIS. Water Resource Management, vol 27, pp. 3555-3571.

- Chorley, R.J., Malm, D.E.G. and Pogorzelski, H.A., 1957. A new standard for estimating basin shape, American Journal of Science, v. 255, p. 138-141.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology, Geological society of America bulletin, v. 56(3), p. 275-370.
- Kumar, R., Kumar, S., Lohani, A.K., Nema, R.K. and Singh, R.D., 2015. Evaluation of geomorphological characteristics of a catchment using GIS, GIs India, v. 9(3), p. 13-17.
- Lykoudi, E. and Zanis, D., 2004. The influence of drainage network formation and characteristics yvrr a cccchee tt 's iiii ee tt ylll ,, nn ooooeeeii ggs ff cccnnd nnooooooooo nnneeeeeee en uuiii al hydraulics-river flow, University of Napoli-Federico II, Naples, p. 793-800.
- Ozdemir, H. and Bird, D., 2009. ***Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point floods***, Environmental Geology, v. 56, p. 1405-1415.
- Patton, P.C. and Baker, V.R., 1976. ***Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls***, Water Resources Research, v. 12, p. 941-952.
- Pallard, B., Castellarin, A. and Montanar, A., 2009. ***A look at the links between drainage density and flood statistics, Hydrology and Earth System Sciences***, v. 13, p. 1019-1029.
- Rai, P.K., Chandel, R.S., Mishra, V.N. and Singh, P., 2018. ***Hydrological inferences through morphometric analysis of lower Kosi river basin of India for water resource management based on remote sensing data***, Applied Water Science, v. 8(1), p.171-152.
- Strahler, A. N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. PP. 4-11. *In:* Chow, V.T. (Ed.), Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill Book Company, New York.
- Samson, S.A., Eludoyin, A.O., Ogbole, J., Alaga, A.T., Oloko-Oba, M., Okeke, U.H. and Popoola, O.S., 2016. Drainage Basin Morphometric Analysis for Flood Potential Mapping in Owu Using Geospatial Techniques, Journal of Geography, Environment and Earth Science International, v. 4(3), p. 1-8.
- Smith, K.G., 1958. ***Standards for grading texture of erosional topograph***y, American Journal of Science, v. 248(9), p. 655-668.
- Singh, S. and Singh, M.C., 1997. Morphometric analysis of Kanhar river basin, National Geographic J India, v. 43(1), p. 31-43.
- Wentz, E.A., 2000. A shape definition for geographic applications based on edge, elongation and perforation, Geographical Analysis, v. 32(2), p. 95-112.