

تأثیر عوامل مورفومتری بر دبی اوج با استفاده از تکنیک معادلات ساختاری (PLS) در حوزه‌های آبخیز جنوب ایران

- ❖ حسین صادقی مزیدی؛ دانشجوی دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس.
- ❖ ام‌البنین بذرافشان*؛ استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس.
- ❖ عبدالرضا بهره‌مند؛ دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.
- ❖ آرش ملکیان؛ دانشیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

چکیده

دبی سیل خروجی از حوزه‌ها تابع عوامل مختلفی مانند مورفومتری، بارش، نوع خاک و پوشش گیاهی هستند. پارامترهای مورفومتری حوزه می‌توانند برای تشریح واکنش هیدرولوژیک حوزه به کار روند. هدف از این تحقیق بررسی میزان تأثیر پارامترهای مختلف مرتبط با مورفومتری بر روی دبی اوج در ۱۰۸ ایستگاه آب‌سنجی در جنوب ایران است. پس از انجام آزمون‌های همگنی و تصادفی بودن داده‌ها، دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۲-۱۳۶۳ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۳) انتخاب و از این دوره آماری برای انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال و در مجموع برآورد مقادیر ۸۴ پارامتر مورفومتری و ژئومورفیک در نرم افزار ArcGIS استفاده گردید. در این تحقیق، برای بررسی مؤثرترین عوامل بر میزان دبی حداکثر سالانه، از مدل‌سازی معادلات ساختاری با رویکرد حداقل مربعات جزئی در نرم افزار Smart-PLS استفاده گردید. ۱۸ متغیر به‌عنوان عوامل مؤثر (متغیر مستقل) بر دبی حداکثر سیلاب (متغیر وابسته) شناسایی گردید. در بخش اول، تحلیل کیفیت مدل اندازه‌گیری ترکیبی (متغیر دبی حداکثر سالانه) با استفاده از آزمون‌های معنی‌داری، وزن‌های بیرونی و آزمون هم‌خطی چندگانه متغیرهای مشاهده‌پذیر، صورت پذیرفت که مطابق نتایج، معنی‌داری بارهای عاملی و روایی مدل اندازه‌گیری ترکیبی با استفاده از شاخص تورم واریانس تأیید گردید. در بخش دوم، تحلیل مدل‌های اندازه‌گیری انعکاسی (سایر متغیرها) در دو مرحله آزمون پایایی و آزمون روایی مورد بررسی قرار گرفت. کلیه بارهای عاملی مدل‌های اندازه‌گیری انعکاسی بیش از ۰/۷ و معنی‌دار بودند. در نهایت، از بین بیش از ۸۴ سازه، اثر زمان تمرکز و نسبت ارتفاعی مثبت و اثر ضریب کشیدگی میلر، خصوصیات شیب آبراهه اصلی، عدد ارتفاعی و خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی منفی بوده که این عوامل در مجموع، ۴۶ درصد از تغییرات دبی حداکثر سالانه در حوزه‌های جنوبی ایران را پیش‌بینی می‌کنند و در مجموع زمان تمرکز به صورت مستقیم (به میزان ۰/۳۸) بر روی دبی سیلاب تأثیرگذار است. بدین معنی که مؤثرترین عامل بر دبی سیلابی فاکتور زمان تمرکز است که در مدیریت سیلاب در حوزه‌های جنوبی ایران باید مورد نظر قرار گیرد.

کلید واژگان: دبی حداکثر سالانه، خصوصیات مورفومتری، رگرسیون کمترین مربعات جزئی، معادلات ساختاری، تحلیل عاملی.

۱. مقدمه

دبی اوج خروجی از حوزه‌های آبخیز تابع عوامل مختلفی هستند [۳۹]، که به صورت دوره‌ای و موضعی رخ می‌دهد [۳۳]. در دهه‌های اخیر، مدل‌های هیدرولوژی مبتنی بر فرایند، متعددی توسعه یافته‌اند [۱۱]. با این حال، استفاده از این مدل‌ها به پارامترهای گسترده و واسنجی نیاز دارد که همچنین کیفیت پایین داده‌های ورودی به این مدل‌ها نیز خود مشکل‌ساز است [۲۳]. پتانسیل قابل توجهی در خصوصیات حوزه‌های آبخیز و روش‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل این شاخص‌ها وجود دارد. تکنیک‌های مختلف تحلیلی نیز با چالش‌های خاص در این زمینه روبرو هستند [۴۰]. محققین مختلف با به کارگیری این عوامل، روابط گوناگونی را برای مناطق مختلف ارائه کرده‌اند. دستیابی به عواملی که بتوانند شاخص خوبی از میزان دبی حداکثر خروجی از حوزه‌ها را ارائه دهد، کمتر صورت گرفته و دلیل آن هم پیچیده بودن پارامترهای مؤثر بر آن است. دخالت عوامل زیاد در معادلات مربوط به دبی باعث پیچیده‌تر شدن آن شده و کارایی مدل‌ها را کاهش می‌دهد. به دست آوردن معادلاتی که دارای پارامترهای کمی باشند و قادر به نشان دادن میزان زیادی از واریانس تغییرات دبی اوج در حوزه‌های آبخیز باشد، نیاز به بررسی‌های آماری دقیق و پیچیده‌ای دارد [۲۵]. شناخت الگوهای تغییرات رواناب در ارتباط با عوامل مختلف، موضوعی پیچیده در علوم هیدرولوژیکی است [۵]. با توجه به داده‌های جریان درازمدت، پیشرفت علوم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های آماری جدید، به هیدرولوژیست‌ها اجازه می‌دهد تا بدانند چگونه الگوهای پیچیده شاخص‌های رواناب را در مناطق مختلف توضیح دهند [۳۳، ۶]. تا به امروز، بیشتر مطالعات در خصوص رواناب به طور کلی بر روی مجموعه‌ای از ویژگی‌های مرتبط، مانند روند اقلیمی و جوی [۷، ۳]؛ پوشش گیاهی [۱۲، ۱۵، ۲۹]، سطوح غیر قابل نفوذ [۶، ۱۹]؛ توپوگرافی [۲۲]؛ زمین‌شناسی [۲، ۲۰، ۴، ۱۱] و خصوصیات مورفومتریک حوزه [۱] و بسیاری از مطالعات دیگر متمرکز بوده است. شی و

همکاران [۳۴] در مقاله‌ای به بررسی اثر ترکیبی از پارامترهای حوزه از نظر کاربری اراضی و فیزیوگرافی بر روی رسوب ویژه رودخانه‌ای در چین پرداختند. کاربری اراضی، پارامترهای مورفومتری و خصوصیات خاک حوزه در مقیاس زیرحوزه‌ها به همراه میزان نفوذپذیری محاسبه گردید. برای بررسی ارتباط بین رسوب ویژه و معیارهای متشکل از ۱۹ ویژگی حوزه از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) استفاده کردند. نتایج نشان داد که الگوی کاربری اراضی اثر بیشتری را بر روی رسوب ویژه دارد و توانست ۶۵/۲ درصد از واریانس تغییرات رسوب را توجیه کند و همچنین مجموعه شاخص‌های فیزیوگرافی در حدود ۱۷/۷ درصد از واریانس تغییرات رسوب ویژه را توجیه کردند. ژانگ و همکاران [۴۱] در مقاله‌ای به بررسی چگونگی شرایط پیچیده تولید رسوب با شرایط بارش و همچنین ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوزه‌های آبخیز پرداخته‌اند. ویژگی‌های ژئومورفولوژی شامل خصوصیات توپوگرافی، ویژگی‌های شکل حوزه و ویژگی‌های شبکه جریان بود. از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای شناسایی روابط بین رسوب و ویژگی‌های حوزه استفاده شد. نتایج نشان داد که شکل حوزه تأثیر فراوانی بر روی رسوب دارد و همچنین ارزش VIP نشان داد که رسوب در درجه اول توسط انحنای طرح ($VIP = 1.87$) و بالاترین طول کانال ($VIP = 1.53$) کنترل می‌شود. در نهایت اعلام کردند که بینش ارائه شده توسط این نتایج را می‌توان در انتخاب متغیرهای ژئومورفولوژی مناسب برای فرسایش حوزه و مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده کرد. شائو و جین [۳۲] ادعان داشتند، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر دبی اوج هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی عامل خصوصیات زهکشی حوزه آبخیز است. فرچر و همکاران [۱۳] در بررسی تأثیر عوامل مختلف مؤثر بر دبی پیک، تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی را از عوامل مؤثر معرفی نمودند.

با توجه به محدودیت‌های ابزار و فنون اندازه‌گیری پارامترهای آب‌شناختی و نیز محدودیت داده، شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب امری اجتناب‌ناپذیر است. محدودیت‌های ذاتی روش‌های سنتی چند متغیره در

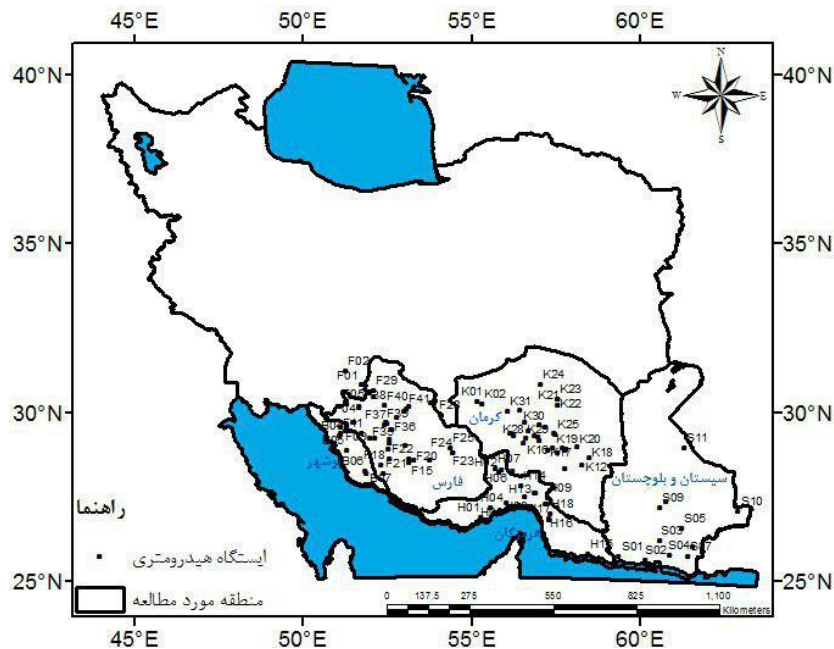
هورتن، میلر، گراولیوس و روابط مربوط به زمان تمرکز) بر روی دبی حداکثر سالانه در حوزه‌های آبخیز جنوبی ایران می‌پردازد، تا از این طریق مهم‌ترین و اثرگذارترین مؤلفه‌های مؤثر بر دبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب کشور را مشخص نمود.

۲. روش شناسی

۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی پنج استان فارس، هرمزگان، بوشهر، کرمان و سیستان بلوچستان، بخشی از حوزه‌های آبخیز خلیج فارس و دریای عمان و مرکزی را در بر می‌گیرد (شکل ۱). متوسط مساحت حوزه‌های آبخیز مورد بررسی ۳۰۸۹ کیلومتر مربع (کمترین: ۴۹؛ بیشترین: ۵۴۸۲۹ کیلومتر مربع)، متوسط بارش و تبخیر سالانه در مناطق مورد مطالعه به ترتیب ۳۴۴ و ۲۷۹۲ میلی‌متر، متوسط رطوبت سالانه ۴۱ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۴ درجه سانتی‌گراد است [۲۲].

برخورد با داده‌های غیر خطی می‌تواند با استفاده از آنالیزهای چندمتغیره، طرح‌ریزی و برطرف شود. به‌عنوان مثال، تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از روش‌های رایج در کاهش داده‌های ورودی است. رگرسیون حداقل مربعات جزئی^۱ (PLS) یک تکنیک جدید است که ترکیبی از ویژگی‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون خطی چندگانه و تعمیم این دو رویکرد تحلیلی است [۳۸]. PLS ترکیبی از ویژگی‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون چندمتغیره است و زمانی مناسب خواهد بود که پیش‌بینی‌ها دارای روابط گسترده‌ای از نوع خطی بین خود هستند [۴۱]. مطالعات متعدد مرور شده در این تحقیق نشان می‌دهد، تحقیقی با رویکرد PLS که تلفیقی از روش رگرسیونی و تحلیل عاملی است به بررسی اثرات مؤثر بر دبی سیل نپرداخته است، لذا هدف از پژوهش فوق، بررسی اثر ترکیبی از ویژگی‌های حوزه آبخیز از قبیل متغیرهای متعدد مورفومتری (شامل مشخصات کاملی از پارامترهای مربوط به شکل حوزه، خصوصیات زهکشی و پارامترهای نسبتی) و ژئومورفولوژیکی (ضرایب



شکل ۱. نقشه پراکنش ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه مورد مطالعه در جنوب ایران

۲.۲. خصوصیات توپوگرافی

خصوصیات اولیه توپوگرافی مورد بررسی از لایه DEM مربوط به هر حوزه محاسبه گردید که شامل مساحت حوزه (A)، مساحت سه بعدی حوزه (A3d)، حجم حوزه (V)، شیب (Slope) و جهت شیب (Aspect) [۱۷، ۲۹] هستند. ۱۳ پارامتر مرتبط با شیب و جهت شیب در حوزه آبخیز مورد بررسی گرفت (شیب‌های کمتر از هشت درصد مناطق مسطح در نظر گرفته شد). نظریه شاخص رطوبت اولین بار به وسیله بون و کرکبی (۱۹۷۹) در مدل بارش-رواناب TOPMODEL^۱ معرفی شد این شاخص، گرایش آب را به جمع شدن در هر نقطه از حوزه (سطح ویژه حوزه بر حسب مساحت تجمعی بالادست (A_s) و تمایل نیروهای گرانشی را به انتقال آب به پایین دست (بر حسب $\tan\beta$ به عنوان شیب هیدرولیکی تقریبی) توصیف می‌کند. شاخص رطوبت از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۸].

$$TWI = Ln(A_s / \tan \beta) \quad (۱)$$

در این تحقیق از رابطه مور و ویلسون [۲۷] برای محاسبه عامل طول و تندی شیب (LS) استفاده شد که این رابطه در تلفیق با GIS به صورت زیر است:

$$LS = \left[\frac{A_s}{22/13} \right]^{1/4} \left[\frac{\sin \theta \times 0.1745}{0.0896} \right] \quad (۱)$$

که در آن، θ : تندی شیب (درجه) می‌باشد. A_s : سطح ویژه حوزه است که به‌عنوان مساحت در واحد عرض متوسط در جهت جریان تعریف شده است [۳۳]. در جدول ۱ خصوصیات مربوط به هر شاخص ارائه شده است.

۳.۲. خصوصیات ژئومتریک

ویژگی‌های شکل حوزه آبخیز، پارامترهای نسبتی و خصوصیات شبکه جریان با استفاده از مرزهای حوزه و داده‌های DEM محاسبه شده‌اند. پارامترهای مربوط به شکل شامل محیط حوزه (P)، طول حوزه (Le)، طول و

عرض مستطیل معادل (Rw, Rl)، قطر دایره همسطح (D) می‌باشند [۹]. پارامترهای نسبتی شامل نسبت سطح (AAS)، نسبت حجم به سطح دوبعدی (A2V)، نسبت حجم به سطح سه‌بعدی (A3V)، ضریب هورتون (FF)، ضریب گراویلیوس (Cg)، ضریب کشیدگی میلر (Rc) هستند [۲۱]. پارامترهای مربوط به شبکه جریان شامل رده آبراهه اصلی (So)، مجموع طول آبراهه‌ها (SlS)، تراکم آبراهه (Sd)، اختلاف ارتفاع آبراهه اصلی (EleDs, EleUp)، شیب ۱۰ - ۸۵ درصد آبراهه اصلی (Slp1085r)، ارتفاع ده درصد طول آبراهه اصلی از خروجی (Ele10)، شیب آبراهه اصلی (SlpR)، طول آبراهه اصلی (LengthR) و ارتفاع ۸۵ درصد طول آبراهه اصلی از خروجی (Ele85) می‌باشند [۱].

۴.۲. معادلات ساختاری

تجزیه و تحلیل ساختارهای کوواریانس، مدل‌سازی علی یا مدل معادلات ساختاری یکی از اصلی‌ترین روش‌های تجزیه و تحلیل ساختار داده‌های پیچیده است [۶]. مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM^۲) دارای دو نوع نسل^۳ LISREL و PLS می‌باشد. LISREL که به عنوان نسل اول مدل معادلات ساختاری است، در مواردی که حجم نمونه بالا و متغیرها دارای توزیع نرمال است، برای محقق، مدل اندازه‌گیری (روابط بین متغیرهای پنهان و متغیرهای مشاهده‌گر) نسبت به مدل ساختاری (روابط بین متغیرهای پنهان) اهمیت بیشتری دارد. یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های عمده بین مدل‌های LISREL و PLS در شاخص‌های انعکاسی^۴ و شاخص‌های سازنده^۵ می‌باشد. شاخص‌های انعکاسی که تنها در مدل‌های LISREL به کار می‌روند؛ در برگیرنده رگرسیون‌های ساده‌ی زیادی برای تخمین نیازمند نمونه زیاد هستند، در

^۱ Topography-Based Hydrological Model (TOPMODEL)

^۲ Structural Equation Modeling

^۳ Linear Structural Relations

^۴ Reflective

^۵ Formative

دارد که توسط تننهاوس و همکاران [۳۴] پیشنهاد گردید. حدود این شاخص بین صفر و یک بوده و سه مقدار ۰/۰۱، ۰/۲۵ و ۰/۳۶ را به ترتیب به‌عنوان مقادیر ضعیف، متوسط و قوی برای GOF معرفی نمودند.

$$GOF = \sqrt{Communalities \times R^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

۲،۶،۲. کیفیت مدل اندازه‌گیری انعکاسی

این شاخص به‌وسیله شاخص اعتبار اشتراک با روایی متقاطع (CV Com^۱) محاسبه می‌شود. این شاخص در واقع توانایی مدل مسیر را در پیش‌بینی متغیرهای مشاهده پذیر از طریق مقادیر متغیر پنهان متناظرشان می‌سنجد. معروف‌ترین و شناخته شده‌ترین معیار اندازه‌گیری این توانایی، شاخص Q^۲ استون-گایسلر (Stone-Geisser) (CV Red) یا شاخص اشتراک افزونگی است. مقادیر مثبت این شاخص نشان‌دهنده کیفیت مناسب مدل اندازه‌گیری انعکاسی می‌باشد [۱۱].

۳. نتایج

۱،۳. تحلیل عاملی و استخراج سازه‌ها

سازه عبارت است از مفهومی که خود از ترکیب چند مفهوم دیگر به وجود آمده است یا مفهومی است که دارای دو یا چند بعد باشد. متغیرهای مکنون (پنهان) یا سازه‌ها، متغیرهای هستند که به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نبوده و به‌وسیله حداقل دو یا سه متغیر مشاهده‌پذیر قابل اندازه‌گیری می‌باشد [۳۷]. در این پژوهش ۸۴ متغیر به‌عنوان عوامل اثرگذار بر دبی حداکثر سیلاب مورد بررسی قرار گرفته است. برای عامل‌بندی (تحلیل عاملی) این متغیرها (تولید سازه‌ها) از تحلیل عاملی استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه گردید.

حالی که شاخص‌های سازنده که در مدل‌های PLS به کار می‌روند؛ در برگیرنده تنها یک رگرسیون چندگانه است که برای تخمین نسبت به مدل‌های LISREL نیاز به نمونه کم‌تری دارند. مدل‌های PLS هم می‌تواند شامل شاخص‌های سازنده و انعکاسی باشد که این موضوع باعث توانمندی این مدل‌ها در تخمین هر مدلی با هر مشخصاتی می‌شود. البته باید این موضوع را افزود که مدل‌های PLS مبتنی بر ساختارهای واریانس هستند، اما مدل‌های LISREL مبتنی بر ساختارهای کوواریانس می‌باشند. به خاطر اینکه در مدل‌های LISREL برای تک تک متغیرهای مشاهده‌گر، خطا لحاظ می‌شود، از جهت تخمین مدل‌های اندازه‌گیری از مدل‌های PLS قوی‌تر هستند اما در تخمین مدل‌های ساختاری PLS نسبت به LISREL قوی‌تر است. شاخص‌های انعکاسی برای محاسبه بارهای عاملی به کار می‌رود در حالی که شاخص‌های سازنده برای محاسبه اوزان به کار می‌رود [۲۱]. برای بررسی مؤثرترین عوامل بر میزان دبی اوج، از مدل‌سازی معادلات ساختاری با رویکرد حداقل مربعات جزئی استفاده شده است. در این رویکرد از کاربردی‌ترین نرم‌افزار آن یعنی Smart-PLS استفاده گردید.

۵،۲. آمار و اطلاعات مورد استفاده

مقادیر دبی حداکثر سالانه از بین داده‌های دبی حداکثر روزانه در ۸۴ ایستگاه آب‌سنجی در زیرحوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در جنوب ایران، از بولتن منابع آب طی دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۲-۱۳۶۳ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۳) تهیه گردید [۲۱]. آزمون همگنی ران تست جهت بررسی همگنی داده‌ها [۱۵] و آزمون هارست جهت تأیید کفایت داده‌ها [۱۷] بر روی داده‌ها صورت پذیرفت.

۶،۲. آزمون مدل‌ها

۱،۶،۲. شاخص نیکویی برازش معادلات ساختاری

شاخصی به نام نیکویی برازش (GOF) برای مدل‌سازی معادلات ساختاری به کمک روش PLS وجود

^۱ Cross-validated communalities/Stone-Geisser

جدول ۱. خصوصیات ژئومتریک و توپوگرافی مورد بررسی در حوزه‌های آبخیز

متغیر	اختصار	واحد	توضیحات
مساحت	A	Km ²	مساحت حوزه
محیط	P	Km	طول خط فرضی تقسیم آب که حوزه را از حوزه‌های مجاور مجزا می‌سازد
طول حوزه	Le	Km ²	طولانی‌ترین خطی که می‌توان در شکل حوزه آبخیز رسم کرد
مساحت سطح حوزه	A3d	Km ²	مساحت سطح سه بعدی حوزه که از DEM به دست می‌آید
حجم حوزه	V	Km ³	حجم حوزه که از DEM به دست می‌آید.
نسبت سطح	AAS	-	$AAS = A/A3d$
نسبت حجم به سطح دوبعدی	A2V	-	$A2V = V/A$
نسبت حجم به سطح سه بعدی	A3V	-	$A3V = V/A3d$
ضریب هورتون	FF	-	$FF = Area/L^2$
ضریب گراولوس	Cg	-	نسبت محیط حوزه به محیط دایره فرضی است که مساحت آن با مساحت حوزه برابر باشد.
ضریب کشیدگی میلر	Rc	-	نسبت مساحت حوزه به مساحت دایره‌ای که محیط آن مساوی محیط حوزه باشد.
ضریب کشیدگی	Re	-	نسبت قطر دایره فرضی هم مساحت حوزه به طول حوزه
طول و عرض مستطیل معادل	Rw,Rl	Km	مستطیل معادل داری سطح، محیط و ضریب گراولوس مساوی با حوزه اصلی است.
قطر دایره همسطح	D	Km	قطر دایره همسطح با حوزه
خصوصیات ارتفاعی	Hmin, Hmax, Hmea,Hsd, HCV, Hmed, Hran, Hstr	m	حداقل، حداکثر، متوسط، انحراف از معیار، ضریب تغییرات، میانه، اختلاف ارتفاع و ارتفاع مستقیم
خصوصیات شیب	Smin, Smax, Smea, Ssd, SCV, Sran	%	حداقل، حداکثر، متوسط، انحراف از معیار، ضریب تغییرات، اختلاف شیب
مساحت شیب	S0-2, S2-5, S5-8, S8-12, S12-20, S20-30, S30-60, S>60	Km ²	مساحت طبقات مختلف شیب
مساحت جهت شیب (۵ جهته)	Asp,As5n,As5e,As5s,As5w	Km ²	مساحت جهات شیب در طبقات مختلف (۵ جهته)
مساحت جهت شیب (۹ جهته)	As9n,As9ne,As9e,As9se, As9s,As9sw,As9w,As9nw	Km ²	مساحت جهات شیب در طبقات مختلف (۹ جهته)
طول خطوط تراز	C50,C100,C200	Km	طول خطوط تراز با گام‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متری
شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)	TWlmin,TWlmax,TWlrang, TWlmean,TWlstd,TWlCV	-	برخی شاخص‌های آماری مربوط به شاخص رطوبت توپوگرافی
شاخص اثر طول و تندی شیب (LS)	Lsmean,Lssmean,Lsmax,LSsd, LSstd,LSCV	-	برخی شاخص‌های آماری مربوط به شاخص اثر طول و تندی شیب
رده آبراهه اصلی	So	km	رده آبراهه اصلی
مجموع طول آبراهه‌ها	Sls	km	مجموع طول آبراهه‌ها
تراکم آبراهه	Sd	km/km ²	$Sd = Sls/A$
ارتفاع انتها و شروع آبراهه اصلی (متر)	EleDs,EleUp	m	-
شیب ۱۰ - ۸۵ درصد آبراهه اصلی (درصد)	Slp1085r	%	-
ارتفاع ده درصد طول آبراهه اصلی از خروجی	Ele10	m	-
شیب آبراهه اصلی (درصد)	SlpR	%	-
طول آبراهه اصلی (km)	LengthR	km	-
ارتفاع ۸۵ درصد طول آبراهه اصلی از خروجی	Ele85	m	-
زمان تمرکز	Tke,Tw,Tj,Tkar,Te,Tsc	hr	زمان تمرکز به روش‌های کریچ، ویلیامز، جاستون-کراس، کارتر، استیو رابطه تجربی SCS

(GOF) مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه ذکر می‌گردد.

۲,۳. نتایج استفاده از تحلیل مسیر به منظور اثبات

عوامل شناسایی شده

روش تحلیل مسیر، تعمیمی از رگرسیون معمولی بوده که قادر به بیان آثار مستقیم، غیر مستقیم و اثر کل هر یک از متغیرهای مستقل برای متغیرهای وابسته است [۱۴]. در این تحلیل ۱۸ عامل به‌عنوان عوامل مؤثر بر دبی حداکثر سیلاب شناسایی شدند، که این ۱۸ عامل متغیر مستقل و عامل دبی حداکثر سیلاب متغیر وابسته در نظر گرفته شد. شکل ۲ انواع متغیرهای تحلیل مسیر را نشان می‌دهد. در مدل، اعداد معنی‌داری تحلیل مسیر (کوچکتر از ۰/۰۵)، در تمام موارد در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار هستند [۷].

۳,۳. نتایج حاصل از آزمون مدل اندازه‌گیری

انعکاسی

آزمون مدل اندازه‌گیری انعکاسی در دو مرحله آزمون پایایی و آزمون روایی می‌باشد. در صورتی مدل اندازه‌گیری انعکاسی، مدلی همگن خواهد بود که قدر مطلق بار عاملی هر یک از متغیرهای مشاهده‌پذیر، متناظر با متغیر پنهان آن مدل دارای حداقل مقدار ۰/۷ باشد [۲۲]. مطابق نتایج به دست آمده (جدول ۳) کلیه بارهای عاملی مدل‌های اندازه‌گیری انعکاسی بالای ۰/۷ بوده و در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشند. طبق نتایج حاصل از شاخص کیفیت مدل اندازه‌گیری انعکاسی (جدول ۴)، شاخص CV Com برای تمامی متغیرها مثبت و بالای ۰/۶ می‌باشد که با این وجود کیفیت اثبات می‌شود. هنسler و همکارانش [۱۸] در مورد شدت قدرت پیش‌بینی مدل در مورد متغیرهای پنهان درون‌زا سه مقدار ۰/۰۲، ۰/۱۵ و ۰/۳۵ را به ترتیب به‌عنوان مقادیر ضعیف، متوسط و قوی برای این شاخص معرفی نمودند.

از دو آزمون برای بررسی روایی مدل‌های اندازه‌گیری ترکیبی استفاده می‌شود، آزمون معنی‌داری وزن‌های

ستون دوم جدول به تعداد متغیرهای درگیر با سازه مورد بحث اشاره دارد که علائم اختصاری آن نیز در عنوان متغیرها ارائه شده است. به عنوان مثال، تعداد متغیرهای اندازه‌ی حوزه به معادل با ۶ است. با توجه به این که هدف تحلیل عاملی، تبیین پدیده‌های مورد نظر با تعداد کمتری از متغیرهای اولیه است، بنابراین باید به حفظ عواملی پرداخت که اعتبار صوری یا نظری داشته باشد. لذا تحلیل عاملی تکرار شده تا چنین هدفی تحقق یابد. مقدار آزمون K.M.O برای هریک از عوامل نشان داده شده است، بنابر گفته چو [۱۵]، اگر مقدار شاخص K.M.O بالاتر از ۰/۵ باشد، متغیرها برای تحلیل عاملی مناسب است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها از شرایط مناسب برای تحلیل عاملی برخوردارند. عدد معنی‌داری آزمون بار تلت نشان داده شده که اصولاً باید از ۰/۰۵ کمتر باشد. گفتنی است اگر عدد اشتراکات (آلفای کرونباخ) حداقل برابر ۰/۵ باشد، متغیرها (شاخص‌ها) مورد پذیرش هستند. در این قسمت، بعد از حذف متغیرهای نامناسب در هر سازه، عدد اشتراک عامل‌ها در تمام عوامل بزرگتر از ۰/۵ است [۷]. بنابراین متغیرهای یاد شده از روایی مناسب برای تحلیل عاملی برخوردارند. همچنین نتایج مقادیر آلفای کرونباخ استاندارد شده در همگی موارد بالای ۰/۷۸ بود که بسیار مناسب است [۲۰]. براساس نتایج، درصد کل واریانس تبیین سازه توسط متغیرها بیش از ۰/۶ بوده که نشان‌دهنده روایی متغیرهاست، لذا سازه‌های معرفی شده مؤثر بر دبی حداکثر سیلاب مورد قبول واقع می‌شود.

نتایج مدل PLS:

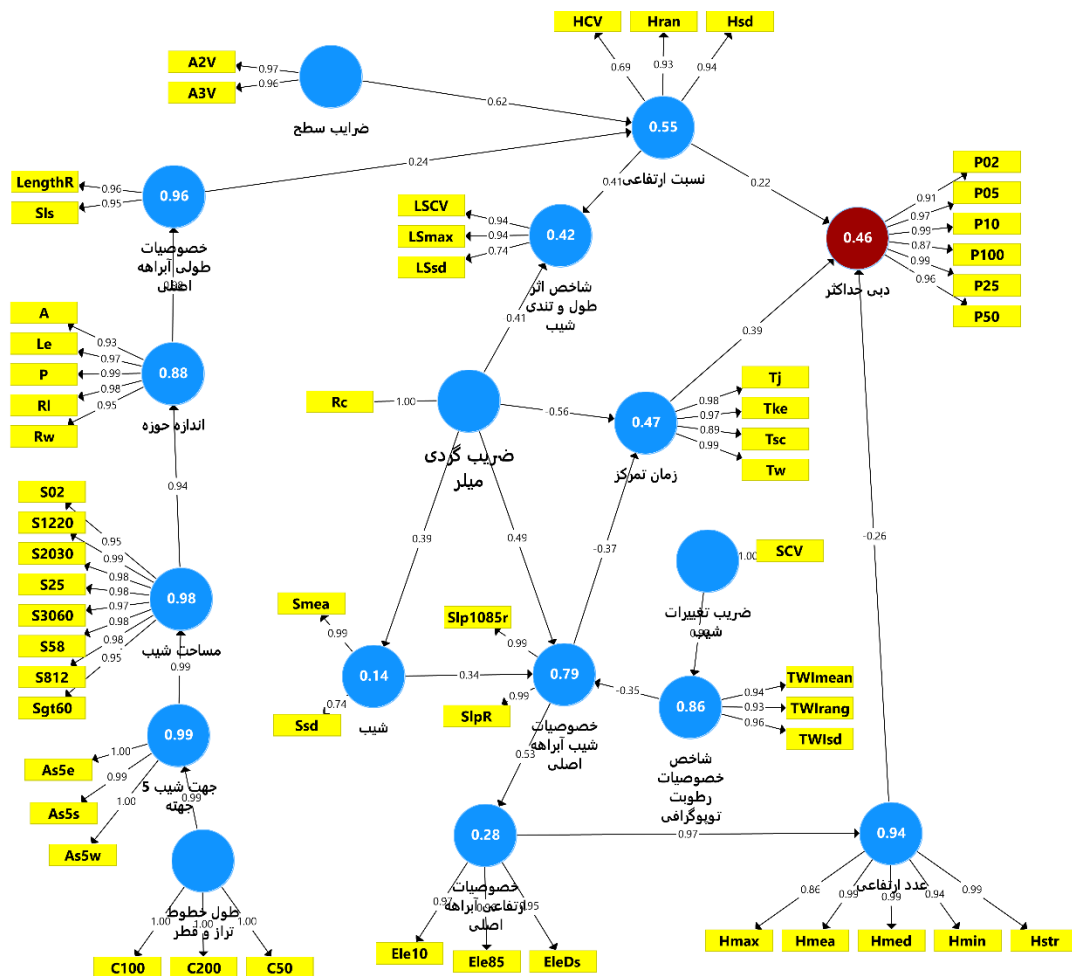
برای تجزیه و تحلیل داده‌ها با روش PLS از مقادیر دبی حداکثر سالانه ۸۴ ایستگاه آب‌سنجی و خروجی تحلیل عاملی (سازه‌های مؤثر) استفاده گردید. در این قسمت، در بخش اول کیفیت مدل اندازه‌گیری ترکیبی (دبی حداکثر سالانه) و مدل‌های اندازه‌گیری انعکاسی (۱۸ سازه اول) (جدول ۳) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش دوم کیفیت مدل ساختاری و در نهایت برآزش کلی مدل

همکارانش [۲۰] نیز مقادیر زیر ۵ را مناسب دانسته‌اند.

۴.۳. آزمون مدل اندازه‌گیری ترکیبی

برای بررسی سازگاری درونی بین متغیرهای مشاهده‌پذیر در یک مدل انعکاسی از شاخص پایایی مرکب استفاده می‌شود. در مدل‌های اندازه‌گیری انعکاسی، مقادیر بالای ۰/۷ نشان‌دهنده سازگاری درونی مدل‌های اندازه‌گیری انعکاسی می‌باشد. پایایی مرکب (CR)^۱ برای متغیرهای تحقیق در جدول ۵ ارائه شده است که حاکی از سازگاری درونی مدل‌های اندازه‌گیری انعکاسی تحقیق می‌باشد.

بیرونی و آزمون همخطی چندگانه متغیرهای مشاهده‌پذیر یا همان روایی همگرا. از آن جا که در مورد وزن‌ها در مدل اندازه‌گیری ترکیبی، محدوده‌ای مشخص نشده است، محققان به معنی‌داری این مقادیر بسنده نموده‌اند و در واقع معنی‌دار بودن آن را دلیل روایی مدل اندازه‌گیری ترکیبی دانسته‌اند و با توجه به نتایج جدول ۵ و معنی‌داری بارهای عاملی در سطح ۹۵ درصد، روایی مدل‌های اندازه‌گیری ترکیبی مدل (متغیرهای مورد بررسی) مورد تأیید است. طبق جدول ۶، VIF کلیه پارامترها برای متغیر پنهان ترکیبی (دبی حداکثر سالانه) را نشان می‌دهد. مقادیر کمتر از ۵ این شاخص برای کلیه پارامترها نشان‌دهنده روایی مدل اندازه‌گیری ترکیبی است. هاینر و



شکل ۳. مدل مفهومی تحقیق به همراه معنی‌داری روابط مسیر

¹Composite Reliability

جدول ۲. مقادیر پارامترهای K.M.O، بارتلت، کرونباخ و کرونباخ استاندارد شده سازه‌های تبیین شده

متغیرها	درصد کل واریانس تبیین سازه توسط متغیرها	کرونباخ استاندارد شده	کرونباخ	بارتلت	K.M.O	سازه	تعداد متغیر	ردیف
A, Le, A3d, V, Rw, Ri	۸۴/۹۴	۰/۹۷۷	۰/۷۹۱	۰	۰/۸۴	اندازه حوزه	۶	۱
A2v, A3v	۹۳/۴	۰/۹۳	۰/۹۲۹	۰	۰/۵	ضرایب سطح	۲	۲
FF, Re	۹۹	۰/۹۹۵	۰/۹۶۲	۰	۰/۵	ضرایب شکل	۲	۳
Hmin, Hmea, Hmed, Hstr	۹۸/۶۵	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷	۰	۰/۷۷۹	عدد ارتفاعی	۴	۴
Hsd, Hcv, Hran	۷۴/۲	۰/۸۲	۰/۳۷۳	۰	۰/۶۱	نسبت ارتفاعی	۳	۵
S0-2, S2-5, S5-8, S8-12, S12-20, S20-30, S30-60, S>60	۹۴/۶	۰/۹۹۲	۰/۹۴۴	۰	۰/۷۴۸	مساحت شیب	۸	۶
Scv	-	-	-	-	-	ضریب تغییرات شیب	۱	۷
Smea, Ssd	۸۲	۰/۷۸۱	۰/۵۹۳	۰	۰/۵	شیب	۱	۸
Asp, As5n, As5e, As5s, As5w	۹۷/۴۳	۰/۹۹۳	۰/۷۴۵	۰	۰/۸۴۶	جهت شیب ۵ جهته	۵	۹
As9n, As9ne, As9e, As9se, As9s, As9sw, As9w, As9nw	۹۶/۱۵	۰/۹۹۷	۰/۹۹۳	۰	۰/۷۷۲	جهت شیب ۹ جهته	۸	۱۰
C50, C100, C200, D	۹۶/۲	۰/۹۸۷	۰/۷۶۳	۰	۰/۷۷	طول خطوط تراز و قطر	۴	۱۱
Eleds, Eleup, Ele10, Ele85	۸۷/۷	۰/۹۵۳	۰/۹۵	۰	۰/۷۱۷	خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی	۴	۱۲
Sls, LenghR	۹۱/۱	۰/۹۰۳	۰/۶۳	۰	۰/۵	خصوصیات طولی آبراهه اصلی	۲	۱۳
Slp1085, SlpR	۹۸/۱	۰/۹۸۱	۰/۹۵	۰	۰/۵	خصوصیات شیب آبراهه اصلی	۲	۱۴
Tke, Tw, Tj, Tsc	۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	۰	۰/۶۵۷	زمان تمرکز	۴	۱۵
Twirange, TWImean, TWIsd	۸۹/۰۸	۰/۹۳۹	۰/۵۱۶	۰	۰/۷۵	شاخص رطوبت توپوگرافی	۳	۱۶
Lsmax, Lssd, Lscv	۷۶/۹۹	۰/۸۴۷	۰/۶۱۲	۰	۰/۶۵۳	شاخص اثر طول و تندی شیب	۳	۱۷
Rc	-	-	-	-	-	ضریب کشیدگی میلر	۱	۱۸
P02, P05, P10, P25, P50, P100	۹۰/۳	۰/۹۷۸	۰/۸۸۶	۰	۰/۴۹۲	دبی پیک با دوره بازگشت خاص	۵	۱۹

جدول ۳. بارهای عاملی مدل‌های اندازه‌گیری انعکاسی

P Values	بارعاملی	متغیر (سازه)	P Values	بارعاملی	متغیر (سازه)
۰/۰۰**	۰/۷۱۷	شاخص اثر طول و تندی شیب (LSsd)	۰/۰۰**	۰/۹۷۲	مساحت حوزه (A)
۰/۰۰**	۰/۹۴۳	اندازه حوزه (Le)	۰/۰۰**	۰/۹۵۱	ضرایب سطح (A2V)
۰/۰۰**	۰/۹۴۶	خصوصیات طولی آبراهه اصلی (LengthR)	۰/۰۰**	۰/۹۴۶	ضرایب سطح (A3V)
۰/۰۰**	۰/۹۷۱	اندازه حوزه (P)	۰/۰۰**	۰/۹۷۲	اندازه حوزه (A3d)
۰/۰۰**	۰/۹۱۶	دبی حداکثر (P02)	۰/۰۰**	۰/۹۹۲	جهت شیب ۵ جهته (As5e)
۰/۰۰**	۰/۹۶۷	دبی حداکثر (P05)	۰/۰۰**	۰/۹۹۳	جهت شیب ۵ جهته (As5n)
۰/۰۰**	۰/۹۸۸	دبی حداکثر (P10)	۰/۰۰**	۰/۹۹۴	جهت شیب ۵ جهته (As5s)
۰/۰۰**	۰/۸۷	دبی حداکثر (P100)	۰/۰۰**	۰/۹۸۸	جهت شیب ۵ جهته (As5w)
۰/۰۰**	۰/۹۹۴	دبی حداکثر (P25)	۰/۰۰**	۰/۹۹۲	جهت شیب ۹ جهته (As9e)
۰/۰۰**	۰/۹۵۷	دبی حداکثر (P50)	۰/۰۰**	۰/۹۸۶	جهت شیب ۹ جهته (As9n)
۰/۰۰**	۱	ضریب کشیدگی میلر (Rc)	۰/۰۰**	۰/۹۹	جهت شیب ۹ جهته (As9ne)
۰/۰۰**	۰/۹۶۶	اندازه حوزه (RI)	۰/۰۰**	۰/۹۹۵	جهت شیب ۹ جهته (As9nw)
۰/۰۰**	۰/۹۳۱	اندازه حوزه (Rw)	۰/۰۰**	۰/۹۴۴	جهت شیب ۹ جهته (As9s)
۰/۰۰**	۰/۹۵۳	مساحت شیب (S02)	۰/۰۰**	۰/۹۹۱	جهت شیب ۹ جهته (As9se)
۰/۰۰**	۰/۹۸۵	مساحت شیب (S1220)	۰/۰۰**	۰/۹۸۹	جهت شیب ۹ جهته (As9sw)
۰/۰۰**	۰/۹۸۱	مساحت شیب (S2030)	۰/۰۰**	۰/۹۸۹	جهت شیب ۹ جهته (As9w)
۰/۰۰**	۰/۹۸۱	مساحت شیب (S25)	۰/۰۰**	۰/۹۶۷	جهت شیب ۵ جهته (Asp)
۰/۰۰**	۰/۹۷۳	مساحت شیب (S3060)	۰/۰۰**	۰/۹۹۴	طول خطوط تراز و قطر (C100)
۰/۰۰**	۰/۹۸	مساحت شیب (S58)	۰/۰۰**	۰/۹۹۴	طول خطوط تراز و قطر (C200)
۰/۰۰**	۰/۹۷۶	مساحت شیب (S812)	۰/۰۰**	۰/۹۵۵	طول خطوط تراز و قطر (C50)
۰/۰۰**	۱	ضریب تغییرات شیب (SCV)	۰/۰۰**	۰/۹۳۹	طول خطوط تراز و قطر (D)
۰/۰۰**	۰/۹۵۵	مساحت شیب (Sgt60)	۰/۰۰**	۰/۹۴۶	خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی (Ele10)
۰/۰۰**	۰/۹۹	خصوصیات شیب آبراهه اصلی (Slp1085r)	۰/۰۰**	۰/۹۷۴	خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی (Ele85)
۰/۰۰**	۰/۹۹۱	خصوصیات شیب آبراهه اصلی (SlpR)	۰/۰۰**	۰/۹۲۶	خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی (EleDs)
۰/۰۰**	۰/۹۱۵	خصوصیات طولی آبراهه اصلی (SlS)	۰/۰۰**	۰/۸۹۹	خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی (EleUp)
۰/۰۰**	۰/۹۹۱	شیب (Smea)	۰/۰۰**	۰/۷۶۱	نسبت ارتفاعی (HCV)
۰/۰۰**	۰/۷۳۹	شیب (Ssd)	۰/۰۰**	۰/۸۶۹	عدد ارتفاعی (Hmax)
۰/۰۰**	۰/۹۴۳	شاخص خصوصیات رطوبت توپوگرافی (TWImean)	۰/۰۰**	۰/۹۹	عدد ارتفاعی (Hmea)
۰/۰۰**	۰/۹۳	شاخص خصوصیات رطوبت توپوگرافی (TWIrang)	۰/۰۰**	۰/۹۸۴	عدد ارتفاعی (Hmed)
۰/۰۰**	۰/۹۵۸	شاخص خصوصیات رطوبت توپوگرافی (TWIsd)	۰/۰۰**	۰/۹۳۵	عدد ارتفاعی (Hmin)
۰/۰۰**	۰/۹۸	زمان تمرکز (Tj)	۰/۰۰**	۰/۹۳۷	نسبت ارتفاعی (Hran)
۰/۰۰**	۰/۹۷۴	زمان تمرکز (Tke)	۰/۰۰**	۰/۹۴۹	نسبت ارتفاعی (Hsd)
۰/۰۰**	۰/۸۷۶	زمان تمرکز (Tsc)	۰/۰۰**	۰/۹۹۳	عدد ارتفاعی (Hstr)
۰/۰۰**	۰/۹۹۲	زمان تمرکز (Tw)	۰/۰۰**	۰/۹۴۷	طول و تندی شیب شاخص اثر (LSCV)
۰/۰۰**	۰/۹	اندازه حوزه (V)	۰/۰۰**	۰/۹۴۳	شاخص اثر طول و تندی شیب (LSmax)

جدول ۴. کیفیت مدل اندازه‌گیری انعکاسی شاخص اعتبار اشتراک با رویی متقاطع (CV Com) و شاخص اشتراک افزونگی (CV Red)

شاخص اعتبار اشتراک	شاخص اشتراک افزونگی	SSE	SSO	سازه
۰/۶۵۷	۰/۷۸	۹۴/۹۱	۴۲۰	اندازهٔ حوزه
۰/۶۸۳	۰/۸۸	۲۹/۱۲۳	۲۵۲	جهت شیب ۵ جهته
۰/۵۵۴	۰/۲۳	۱۸۹/۳۴	۲۵۲	خصوصیات ارتفاعی آبراههٔ اصلی
۰/۷	۰/۷۴	۴۲/۸	۱۶۸	خصوصیات شیب آبراههٔ اصلی
۰/۵۵	۰/۸۳	۲۹/۸	۱۶۸	خصوصیات طولی آبراههٔ اصلی
۰/۶۲	۰/۵۸	۲۱۳/۱	۵۰۴	دبی حداکثر
۰/۶۲	۰/۳۷	۲۱۳	۳۳۶	زمان تمرکز
۰/۴۵	۰/۲۷	۱۸۴	۲۵۲	شاخص اثر طول و تندی شیب
۰/۵	۰/۷۶	۶۰	۲۵۲	شاخص خصوصیات رطوبت توپوگرافی
۰/۳	۰/۰۴۲	۱۶۱	۱۶۸	شیب
۰/۶	-	۱۶۸	۱۶۸	ضرایب سطح
۰/۷	۰/۸۲۸	۴۳	۲۵۲	طول خطوط تراز و قطر
۰/۶۰۴	۰/۸۲۵	۷۳	۴۲۰	عدد ارتفاعی
۰/۶۷۳	۰/۷۹۴	۱۳۸	۶۷۲	مساحت شیب
۰/۴۲۴	۰/۴	۱۵۱/۵	۲۵۲	نسبت ارتفاعی

جدول ۵. مقادیر الفای کرونباخ، پایایی مرکب و میانگین واریانس استخراج شده

میانگین واریانس استخراج شده	پایایی مرکب (CR)	آلفای کرونباخ	سازه
۰/۹۳۴	۰/۹۸۶	۰/۹۸۲	اندازهٔ حوزه
۰/۹۹۲	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	جهت شیب ۵ جهته
۰/۹۲۲	۰/۹۷۳	۰/۹۵۸	خصوصیات ارتفاعی آبراههٔ اصلی
۰/۹۸۱	۰/۹۹	۰/۹۸۱	خصوصیات شیب آبراههٔ اصلی
۰/۹۱۱	۰/۹۵۴	۰/۹۰۳	خصوصیات طولی آبراههٔ اصلی
۰/۹۰۲	۰/۹۸۲	۰/۹۷۸	دبی حداکثر
۰/۹۱۵	۰/۹۷۷	۰/۹۶۸	زمان تمرکز
۰/۷۶۷	۰/۹۰۷	۰/۸۴۷	شاخص اثر طول و تندی شیب
۰/۸۹۱	۰/۹۶۱	۰/۹۳۹	شاخص خصوصیات رطوبت توپوگرافی
۰/۷۴۶	۰/۸۶۴	۰/۷۸۷	شیب
۰/۹۳۴	۰/۹۶۶	۰/۹۳	ضرایب سطح
۰/۹۱۳	۰/۹۸۱	۰/۹۷۶	عدد ارتفاعی
۰/۹۴۷	۰/۹۹۳	۰/۹۹	مساحت شیب
۰/۷۳۳	۰/۸۸۹	۰/۸۲	نسبت ارتفاعی

جدول ۶. آزمون معناداری وزن‌های بیرونی و شاخص تورم واریانس ابعاد مدل اندازه‌گیری ترکیب

سازه	متغیر (دبی با دوره بازگشت مورد نظر)	وزن عاملی	معنی‌داری	VIF
دبی حداکثر سالانه	۲	۰/۱۷۹	۰/۰۰**	۱/۰۳
	۵	۰/۱۸۵	۰/۰۰**	۱/۰۴
	۱۰	۰/۱۸۷	۰/۰۰**	۱/۰۴
	۲۵	۰/۱۸۳	۰/۰۰**	۱/۰۳
	۵۰	۰/۱۷	۰/۰۰**	۱/۰۳
	۱۰۰	۰/۱۴۷	۰/۰۰**	۱/۰۲

خود به طور مستقیم درگیر با دو سازه ضریب کشیدگی میلر (۰/۱۸-) و زمان تمرکز (۰/۶۷) می‌باشد. سایر روابط به دست آمده در جدول ۵ ارائه شده است.

۶.۳. بررسی اثرات کل (اثرات مستقیم و

غیرمستقیم) متغیرهای برون‌زا بر دبی حداکثر

همان‌طور که جدول ۹ نشان می‌دهد، متغیر زمان تمرکز دارای بیشترین اثر مستقیم (۰/۳۸۶) بر دبی حداکثر سالانه است و متغیر نسبت ارتفاعی نیز با اثر مستقیم ۰/۲۱۷، کمترین میزان تأثیر مستقیم بر روی دبی حداکثر سالانه را از بین عوامل به خود اختصاص داده است. متغیر ضریب کشیدگی میلر دارای بیشترین اثر معکوس (۰/۲۸۳-) بر دبی حداکثر سالانه است و متغیرهای جهت شیب ۵ جهته و طول خطوط تراز و قطر نیز با اثر معکوس (۰/۰۴۸)، کمترین میزان تأثیر غیر مستقیم بر روی دبی حداکثر سالانه را از بین عوامل به خود اختصاص داده است. در نهایت با در نظر گرفتن مجموع اثرات مستقیم و غیرمستقیم که تحت عنوان اثر کل نامیده می‌شود، سازه‌های زمان تمرکز و ضریب کشیدگی میلر رتبه اول و دوم را در بین عوامل تأثیرگذار بر روی دبی حداکثر سالانه به خود اختصاص داده است، که زمان تمرکز دارای اثر مثبت و ضریب کشیدگی میلر دارای اثر منفی بر روی دبی حداکثر سالانه است که نشان می‌دهد، هرچه حوضه‌ها کشیده‌تر، دبی حداکثر کمتر است.

۵.۳. نتایج حاصل از آزمون کیفیت مدل

ساختاری

معیار اساسی ارزیابی متغیرهای مکنون درون‌زای مدل مسیر، ضریب تعیین می‌باشد. این شاخص نشان می‌دهد که چند درصد از تغییرات متغیر درون‌زا توسط متغیر برون‌زا صورت می‌گیرد. مقدار R^2 به دست آمده برای متغیرهای انعکاسی شده در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج نشان دهنده قابل پذیرش بودن ضرایب است. از دیگر شاخص‌های تأیید روابط در مدل ساختاری، معنی‌دار بودن ضرایب مسیر می‌باشد. معنی‌داری ضرایب مسیر مکمل بزرگی و جهت علامت، ضریب بتای مدل می‌باشد. چنانچه مقدار به دست آمده، بالاتر از حداقل مقدار آماره در سطح اطمینان مورد نظر باشد، آن رابطه یا فرضیه تأیید می‌گردد. در سطح معناداری ۹۵ درصد ضریب مسیر مدل (جدول ۸) نشان می‌دهد که تمامی روابط تأیید می‌گردد. تنها رابطه‌ای که معنی‌دار نیست رابطه رطوبت با عدد ارتفاعی است که از مدل کنار گذاشته شد. قوی‌ترین رابطه به دست آمده رابطه جهت شیب ۵ جهته با طول خطوط تراز (۰/۹۹۴) می‌باشد که نشان دهنده رابطه جدی جهت شیب با طول خطوط تراز در حوزه‌های جنوبی کشور می‌باشد. قوی‌ترین رابطه به وجود آمده با دبی حداکثر سالانه مربوط به سازه تغییرات رطوبت (۰/۵۸۳) می‌باشد که البته سازه تغییرات رطوبت

جدول ۷. ضریب تبیین و معنی داری آن در شاخص های انعکاسی

سازه	ضریب تبیین	معناداری ضریب مسیر (بتا)	میزان تبیین متغیر درون‌زا توسط متغیر برون‌زا
اندازه حوزه	۰/۸۸۱	۰/۰۰**	قابل توجه
جهت شیب ۵ جهته	۰/۹۸۸	۰/۰۰**	قابل توجه
خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی	۰/۲۸۴	۰/۰۰**	ضعیف
خصوصیات شیب آبراهه اصلی	۰/۸۰۷	۰/۰۰**	قابل توجه
خصوصیات طولی آبراهه اصلی	۰/۹۵۷	۰/۰۰**	قابل توجه
دبی حداکثر	۰/۶۸۱	۰/۰۰**	قابل توجه
زمان تمرکز	۰/۴۱۸	۰/۰۰**	متوسط
شاخص اثر طول و تندی شیب	۰/۳۷۵	۰/۰۰**	متوسط
شاخص خصوصیات رطوبت توپوگرافی	۰/۸۶۹	۰/۰۰**	قابل توجه
شیب	۰/۱۵	۰/۰۰**	ضعیف
طول خطوط تراز و قطر	۰/۹۵۹	۰/۰۰**	قابل توجه
عدد ارتفاعی	۰/۹۴۲	۰/۰۰**	قابل توجه
مساحت شیب	۰/۹۷۷	۰/۰۰**	قابل توجه
نسبت ارتفاعی	۰/۶۰۱	۰/۰۰**	متوسط

جدول ۸. آزمون ضرایب مسیر در مدل تحقیق

رابطه	ضریب مسیر	معنی داری	ضریب
نسبت ارتفاعی با شاخص اثر طول و تندی شیب	۰/۴۱۲	۰/۰۰**	۰/۴۱۲
نسبت ارتفاعی با دبی حداکثر	۰/۲۱۷	۰/۰۰**	۰/۲۱۷
مساحت شیب با اندازه حوزه	۰/۹۳۸	۰/۰۰**	۰/۹۳۸
عدد ارتفاعی با دبی حداکثر	-۰/۲۵۹	۰/۰۰**	۰/۲۶
ضریب کشیدگی میلر با شیب	۰/۳۸۷	۰/۰۰**	۰/۳۹
ضریب کشیدگی میلر با خصوصیات شیب آبراهه اصلی	۰/۳۶۴	۰/۰۰**	۰/۳۶۴
ضریب کشیدگی میلر با زمان تمرکز	-۰/۳۷۸	۰/۰۰**	۰/۳۷۸
ضریب کشیدگی میلر با شاخص اثر طول و تندی شیب	-۰/۴۰۹	۰/۰۰**	۰/۴۱
ضریب تغییرات شیب با شاخص خصوصیات رطوبت توپوگرافی	۰/۹۲۷	۰/۰۰**	۰/۹۲۷
ضرایب سطح با نسبت ارتفاعی	۰/۶۲۴	۰/۰۰**	۰/۶۲۴
شیب با خصوصیات شیب آبراهه اصلی	۰/۳۵۵	۰/۰۰**	۰/۳۳۵
شاخص خصوصیات رطوبت توپوگرافی با خصوصیات شیب آبراهه اصلی	-۰/۳۴۷	۰/۰۰**	۰/۳۴۷
شاخص اثر طول و تندی شیب با دبی حداکثر	.	۰/۰۰**	.
زمان تمرکز با دبی حداکثر	۰/۳۸۶	۰/۰۰**	۰/۳۸
خصوصیات طولی آبراهه اصلی با نسبت ارتفاعی	۰/۲۴۳	۰/۰۰**	۰/۲۴۳
خصوصیات شیب آبراهه اصلی با زمان تمرکز	-۰/۳۷۱	۰/۰۰**	۰/۳۷۱
خصوصیات شیب آبراهه اصلی با خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی	۰/۳۵۳	۰/۰۰**	۰/۳۵۳
خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی با عدد ارتفاعی	۰/۹۷۲	۰/۰۰**	۰/۹۲۷
جهت شیب ۵ جهته با مساحت شیب	۰/۹۸۹	۰/۰۰**	۰/۹۸۹
جهت شیب ۵ جهته با طول خطوط تراز	۰/۹۹۴	۰/۰۰**	۰/۹۹۴
اندازه حوزه با خصوصیات طولی آبراهه اصلی	۰/۹۷۹	۰/۰۰**	۰/۹۷۹

جدول ۹. بررسی اثرات مستقیم و غیر مستقیم متغیر سازه‌های مدل بر روی دبی حداکثر سالانه

اولویت	سازه	اثر غیر مستقیم	اثر مستقیم	اثر کل	ضریب تبیین با دبی حداکثر
۱	زمان تمرکز	-	۰/۳۸۶	۰/۳۸۶	
۲	ضریب کشیدگی میلر	-۰/۲۸۳	-	-۰/۲۸۳	
۳	خصوصیات شیب آبراهه اصلی	-۰/۲۷۷	-	-۰/۲۷۷	
۴	عدد ارتفاعی	-	-۰/۲۵۹	-۰/۲۵۹	
۵	خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی	-۰/۲۵۲	-	-۰/۲۵۲	
۶	نسبت ارتفاعی	-	۰/۲۱۷	۰/۲۱۷	
۷	ضرایب سطح	۰/۱۳۵	-	۰/۱۳۵	
۸	شاخص خصوصیات رطوبت توپوگرافی	۰/۰۹۶	-	۰/۰۹۶	۰/۴۶
۹	شیب	-۰/۰۹۳	-	-۰/۰۹۳	
۱۰	ضریب تغییرات شیب	۰/۰۸۹	-	۰/۰۸۹	
۱۱	خصوصیات طولی آبراهه اصلی	۰/۰۵۲	-	۰/۰۵۲	
۱۲	اندازه حوزه	۰/۰۵۲	-	۰/۰۵۲	
۱۳	مساحت شیب	۰/۰۴۹	-	۰/۰۴۹	
۱۴	جهت شیب ۵ جهته	۰/۰۴۸	-	۰/۰۴۸	
۱۵	طول خطوط تراز و قطر	۰/۰۴۸	-	۰/۰۴۸	

شاخص، مجذور ضرب دو مقدار متوسط مقادیر اشتراکی^۱ و متوسط ضریب تعیین^۲ است. شاخص GOF این مدل، ۰/۶۴۵ به دست آمده که از مطلوبیت کلی مدل حکایت دارد.

۴. بحث و نتیجه گیری

دبی اوج خروجی از حوزه‌های آبخیز تابع عوامل مختلفی هستند، که هر یک از عوامل، دارای روابط درون‌زا و برون‌زای پیچیده است که کشف این روابط، تحولی عظیم در شناخت ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوزه آبخیز پدید می‌آورد. محدودیت‌های ذاتی روش‌های سنتی چندمتغیره در برخورد با داده‌های غیر خطی و دارای پراکندگی می‌تواند با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره، طرح‌ریزی و برطرف شود [۲۴]. براساس رویکردهای مبتنی بر مدل‌یابی معادلات ساختاری،

در رابطه با زمان تمرکز نیز می‌توان گفت که هرچه میزان زمان تمرکز بیشتر باشد زمان رسیدن به دبی حداکثر نیز بیشتر است، بدین مفهوم که در دو حوزه آبخیز توجه این امر به پارامترهای تحلیل مسیر در رابطه با سازه زمان تمرکز در مدل برمی‌گردد که این سازه با سازه‌های ضریب کشیدگی میلر (۰/۳۸-) و خصوصیات شیب آبراهه اصلی (۰/۳۷-) رابطه عکس داشته، در حالی که زمان تمرکز با دبی حداکثر رابطه مثبتی دارد. لذا آنچه در حوزه‌های جنوبی ایران بیشترین تأثیر را بر روی دبی حداکثر سالانه از روی عوامل مؤثر بر این موضوع دارد، سازه‌های زمان تمرکز، نسبت ارتفاعی و عدد ارتفاعی می‌باشند که به ترتیب ۴۷، ۵۵ و ۹۴ درصد از کل واریانس (تغییرات) متغیر دبی حداکثر سالانه را پیش‌بینی می‌کنند. در مجموع عوامل مورد بررسی در این تحقیق توانستند ۴۶ درصد از تغییرات دبی حداکثر سالانه در حوزه‌های جنوبی ایران را پیش‌بینی کنند. این

^۱ Communality

^۲ R Square Average

قرار گرفته است. هر دوی این پارامترها دارای اثر غیرمستقیم و منفی بر روی دبی حداکثر می‌باشند. یعنی با افزایش شیب در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه میزان دبی حداکثر کاهش می‌یابد. اسمیت و مارشال [۳۰] نشان دادند که خصوصیات ارتفاعی مهم‌تر از جهت شیب بر روی رواناب تأثیر دارند که تأیید کننده این نتایج است. جهت شیب با اثر غیر مستقیم $0/048$ نسبت به خصوصیات ارتفاعی با اثر مستقیم $0/217$ ، دارای تأثیر کمتری (در حدود $4/5$ برابر کمتر) بر دبی حداکثر سالانه می‌باشد. بدین معنی که مؤثرترین عامل بر دبی سیلابی فاکتور زمان تمرکز است که در مدیریت سیلاب در حوزه‌های جنوبی ایران باید مورد نظر قرار گیرد. از بین بیش از ۸۴ سازه، سازه‌های زمان تمرکز، ضریب کشیدگی میلر، خصوصیات شیب آبراهه اصلی، عدد ارتفاعی، خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی و نسبت ارتفاعی به ترتیب بیشترین تأثیر را بر روی دبی حداکثر در حوزه‌های آبخیز جنوبی کشور ایران دارا می‌باشند که تأثیرات سازه‌های زمان تمرکز و نسبت ارتفاعی مثبت و معنی‌دار و تأثیرات سازه‌های ضریب کشیدگی میلر، خصوصیات شیب آبراهه اصلی، عدد ارتفاعی و خصوصیات ارتفاعی آبراهه اصلی منفی و معنی‌دار می‌باشند که این عوامل در مجموع قادر بودند، ۴۶ درصد از تغییرات دبی حداکثر سالانه در حوزه‌های جنوبی ایران را پیش‌بینی کنند. زمان تمرکز به صورت مستقیم (به میزان $0/38$) توانسته است بر روی دبی سیلاب تأثیرگذار باشد. یعنی در حوزه‌های جنوبی ایران هرچه میزان زمان تمرکز بیشتر باشد، میزان دبی حداکثر سالانه نیز بیشتر است. بدین معنی که مؤثرترین عامل بر دبی سیلابی فاکتور زمان تمرکز است که در مدیریت سیلاب در حوزه‌های جنوبی ایران باید مورد نظر قرار گیرد.

محققان علوم مختلف می‌توانند رابطه علی میان چند متغیر پیش‌بین و وابسته را حتی زمانی که این روابط پیچیده باشند، بررسی کنند [۳۲]. رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) یک تکنیک جدید است که ترکیبی از ویژگی‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون خطی چندگانه و تعمیم این دو رویکرد تحلیلی است. PLS ترکیبی از ویژگی‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون خطی چندگانه و رگرسیون چندمتغیره می‌باشد و زمانی مناسب است که پیش‌بینی‌ها دارای روابط گسترده‌ای از نوع خطی بین خود هستند [۷]. در بررسی عوامل مؤثر مورفومتری و ژئومورفیکی بر رفتار دبی حداکثر سالانه در حوزه‌های آبخیز جنوب ایران، مشخص گردید، بنا به اهمیت ویژگی‌های مورفومتری و ژئومورفیکی در این تحقیق، تنها به بررسی این سری از پارامترهای حوزه‌های آبخیز پرداخته شد و همان طور که اکثر مطالعات نشان می‌دهند، تأثیرات ویژگی‌های توپوگرافی بر روی دبی حداکثر اثبات شده است [۱،۲۴،۴۱]. مطابق نتایج این تحقیق، مشخص گردید، پارامترهای اندازه حوزه و خصوصیات طولی آبراهه اصلی، دارای اثر غیرمستقیم در حدود $0/053$ بر روی دبی حداکثر سالانه هستند. بدین معنی که، با افزایش طول آبراهه و طول حوزه، شاهد افزایش میزان دبی هستیم که این نتیجه با تحقیقات اکثر محققین [۳۴،۱۹،۱] مطابقت دارد. از جمله خصوصیات مهم توپوگرافی، تندی و جهت شیب است که به صورت مستقیم و یا با تأثیر بر روی سایر عوامل محیطی، باعث تغییر در فرایندهای هیدرولوژیکی خاک به‌ویژه پتانسیل تولید رواناب می‌شوند. در این راستا مطالعات گسترده‌ای در جهان در مقیاس‌ها و کاربری‌های مختلف و نیز شرایط طبیعی و شبیه‌سازی شده صورت گرفته است. در این مطالعه دو پارامتر، شیب آبراهه اصلی و شیب حوزه آبخیز مورد بحث

References

- [1] Ahn, K.-H., & Merwade, V. (2016). Role of Watershed Geomorphic Characteristics on Flooding in Indiana, United States. *Journal of Hydrologic Engineering*, 21(2), 5015021-1-5015021-12.
- [2] Arnau-Rosalén, E., Calvo-Cases, A., Boix-Fayos, C., Lavee, H., & Sarah, P. (2008). Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hillslopes in Alicante (Spain). *Geomorphology*, 101(4), 595-606.
- [3] Bae, D., Jung, I., & Chang, H. (2008). Long-term trend of precipitation and runoff in Korean river basins. *Hydrological Processes*, 22(14), 2644-2656.
- [4] Berger, K. P., & Entekhabi, D. (2001). Basin hydrologic response relations to distributed physiographic descriptors and climate. *Journal of Hydrology*, 247(3-4), 169-182.
- [5] Carrillo, G., Troch, P. A., Sivapalan, M., Wagener, T., Harman, C., & Sawicz, K. (2011). Catchment classification: hydrological analysis of catchment behavior through process-based modeling along a climate gradient. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(11), 3411-3430.
- [6] Carrillo, G., Troch, P. A., Sivapalan, M., Wagener, T., Harman, C., & Sawicz, K. (2011). Catchment classification: hydrological analysis of catchment behavior through process-based modeling along a climate gradient. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(11), 3411-3430.
- [7] Carrascal, L. M., Galván, I., & Gordo, O. (2009). Partial least squares regression as an alternative to current regression methods used in ecology. *Oikos*, 118(5), 681-690.
- [8] Day, C. A. (2009). Modelling impacts of climate change on snowmelt runoff generation and streamflow across western US mountain basins: a review of techniques and applications for water resource management. *Progress in Physical Geography*, 33(5), 614-633.
- [9] Dendy, F. E. and G. C. Bolton. 1976. Sediment yield-runoff-drainage area relationships in the United States. *Journal of Soil and Water Conservation* 31:264-266.
- [10] Detenbeck, N. E., Brady, V. J., Taylor, D. L., Snarski, V. M., & Batterman, S. L. (2005). Relationship of stream flow regime in the western Lake Superior basin to watershed type characteristics. *Journal of Hydrology*, 309(1-4), 258-276.
- [11] de Vente, J., Poesen, J., Arabkhedri, M., & Verstraeten, G. (2007). The sediment delivery problem revisited. *Progress in Physical Geography*, 31(2), 155-178.
- [12] Fan, Y., van den Dool, H. M., & Wu, W. (2011). Verification and Intercomparison of Multimodel Simulated Land Surface Hydrological Datasets over the United States. *Journal of Hydrometeorology*, 12, 531-555.
- [13] Fercher, M., Mueller, M. H., and Alaoui, A. (2018). Modelling the impact of land use changes on peak discharge in the Urseren Valley, Central Swiss Alps. *CATENA*, 163, 321-331.
- [14] Freer, J., McDonnell, J. J., Beven, K. J., Peters, N. E., Burns, D. A., Hooper, R. P., Kendall, C. (2002). The role of bedrock topography on subsurface storm flow, 38(12).
- [15] Gerten, D., Schaphoff, S., Haberlandt, U., Lucht, W., & Sitch, S. (2004). Terrestrial vegetation and water balance - Hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *Journal of Hydrology*, 286(1-4), 249-270.
- [16] Hirsch, R. M. 1982, A comparison of four streamflow record extension techniques. *Water Resources Research*, 18(4), 1081-1088.
- [17] Hurst, H. The long-term storage capacity of reservoirs *Transactions of American Society Civil Engineer.*" (1951): 116-195.
- [18] Henseler, J., & Fassott, G. (2010). Testing Moderating Effects in PLS Path Models: An Illustration of Available Procedures. In *Handbook of Partial Least Squares* (pp. 713-735). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.S
- [19] Huang, H., Cheng, S., Wen, J., & Lee, J. (2008). Effect of growing watershed imperviousness on hydrograph parameters and peak discharge. *Hydrological Processes*, 22(13), 2075-2085.

- [20] Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2011). PLS-SEM: Indeed a Silver Bullet. *The Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2), 139–152.
- [21] Iacobucci, D. (2010). Structural equations modeling: Fit Indices, sample size, and advanced topics. *Journal of Consumer Psychology*, 20(1), 90–98.
- [22] IRWA, 2017. Iran Water Resource Bulletin, power ministry. [In Persia].
- [23] Jetten, V., Govers, G., & Hessel, R. (2003). Erosion models: quality of spatial predictions. *Hydrological Processes*, 17(5), 887–900.
- [24] Jencso, K. G., & McGlynn, B. L. (2011). Hierarchical controls on runoff generation: Topographically driven hydrologic connectivity, geology, and vegetation. *Water Resources Research*, 47(11), 1–16.
- [25] King, R. S., Baker, M. E., Whigham, D. F., Weller, D. E., Jordan, T. E., Kazyak, P. F., & Hurd, M. K. (2005). Spatial considerations for linking watershed land cover to ecological indicators in streams. *Ecological applications*, 15(1), 137–153.
- [26] Kothyari, U. C., Jain, M. K., & Ranga Raju, K. G. (2002). Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS. *Hydrological Sciences Journal*, 47(5), 693–706.
- [27] Moore, I.D., and Wilson, J.P. (1992). Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *J. Soil and Water Conserv.* 47: 423-428.
- [28] Mith, T. J., & Marshall, L. A. (2010). Exploring uncertainty and model predictive performance concepts via a modular snowmelt-runoff modeling framework. *Environmental Modelling and Software*, 25(6), 691–701.
- [29] Nosetto, M. D., Jobbágy, E. G., Brizuela, A. B., & Jackson, R. B. (2012). The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 154, 2–11.
- [30] Speight, J. G. (1980). The role of topography in controlling throughflow generation. *Earth Surface Processes*, 5(4), 187–191.
- [31] Sharma, S. K., & Tiwari, K. N. (2009). Bootstrap based artificial neural network (BANN) analysis for hierarchical prediction of monthly runoff in Upper Damodar Valley Catchment. *Journal of Hydrology*, 374(3–4), 209–222.
- [32] Sahoo, R., and Jain, V. (2018). Sensitivity of drainage morphometry based hydrological response (GIUH) of a river basin to the spatial resolution of DEM data. *Computers & Geosciences*, 111, 78–86.
- [33] Sawicz, K., Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P. A., & Carrillo, G. (2011). Catchment classification: empirical analysis of hydrologic similarity based on catchment function in the eastern USA. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(9), 2895–2911.
- [34] Shi, Z. H., Ai, L., Li, X., Huang, X. D., Wu, G. L., and Liao, W. (2013). Partial least-squares regression for linking land-cover patterns to soil erosion and sediment yield in watersheds. *Journal of Hydrology*, 498, 165–176.
- [35] Tenenhaus, M., Vinzi, V. E., Chatelin, Y.-M., & Lauro, C. (2005). PLS path modeling. *Computational Statistics & Data Analysis*, 48(1), 159–205.
- [36] Trimble, S. W. (2000). LAND USE: U.S. Soil Erosion Rates--Myth and Reality. *Science*, 289(5477), 248–250
- [37] Ullman, J. B. (2006). Structural equation modeling: Reviewing the basics and moving forward. *Journal of personality assessment*, 87(1), 35–50.
- [38] Wold, S., Sjöström, M., & Eriksson, L. (2001). PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 58(2): 103-130.
- [39] Wei, W., Chen, L., Yang, L., Fu, B., & Sun, R. (2012). Spatial scale effects of water erosion dynamics: Complexities, variabilities, and uncertainties. *Chinese Geographical Science*, 22(2), 127–143.
- [40] Xin, Z., Yu, X., & Lu, X. X. (2011). Factors controlling sediment yield in China's Loess Plateau. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(6), 816–826.
- [41] Zhang, H. Y., Shi, Z. H., Fang, N. F., & Guo, M. H. (2015). Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China. *Geomorphology*, 234, 1

