پژوهش های آبخیزداری

دوره ی۳۵، شـماره ی ۳، شماره ی پیاپی ۱۳۶، پاییز ۱۴۰۱، صفحه های ۲۶-۱۵
شناسه ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2021.356199.1434

مقاله‌ی پژوهشی

CC BY

ارتباط عامل‌ها و ویژگی‌های شکل زمین با بار معلق در آبخیز رستم‌آباد استان ایلام

شمس‌اله عسگری
(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران

فریدون سلیمانی
استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

کوروش شیرانی
استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: shamsasgari@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴ مهر ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۴ آذر ۱۴۰۰

چکیده

یکی از دشـواری‌های آبخیز تحلیل رابطه‌های آماری و کمی عامل‌ها و ویژگی‌های تاثیرگزار بر تولید رسـوب و هدررفت خاک اسـت. هدف این تحقیق مدل‌سازی رابطه‌ی میان اندازه‌ی تولید بار معلق با عامل‌های مدل تجربی MPSIAC و اندازه‌ی بار معلق مشاهده‌شـده با ویژگی‌های شکل زمین و ارتباط آن‌ها با تولید بار معلق در آبخیز است. حوزه‌ی رستم‌آباد استان ایلام با چهار زیرحوزه‌ی مشـخص و مجهز به ایسـتگاه آب‌سنجی از حوزه‌های جنوبی استان ایلام به روش تصادفی ساده انتخاب شد. برای برآوردکردن اندازه‌ی تولید رسـوب مدل تجربی به‌کار برده‌شـد. آمار آب‌دهی و بار معلق چهار ایسـتگاه آب‌سنجی و ۱۲ ایستگاه هواشناسی ۳۰ سال از ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹ تهیه شد. اطلاعات گیتاشناسی زیرحوزه‌ها از نقشه‌های پستی بلندی محاسبه و ویژگی‌های شکل زمین زیرحوزه‌ها از مدل رقومی بلندی استخراج شد. با تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌یی، عامل‌ها و متغیرهای تاثیرگزار مشخص شد، و زیرحوزه‌ها رده‌بندی و به منطقه‌های همگن تقسیم کرده شد. برای بررسی همبستگی میان متغیرهای مسـتقل و وابسته، بهنجاربودن داده‌ها با آزمون‌های شـاپیرو-ویلک و کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس انجام شد. برای تحلیل ارتباط میان عامل‌های مدل تجربی و متغیرهای شکل‌زمین با بار معلق هر زیرحوزه روش وایازی چندگانه به کار برده‌شـد. نتیجه نشـان داد که اندازه ی بار معلق تولیدشده با عامل زمین‌شناسی، کاربری زمین، وضعیت فعلی فرسایش در سـطح آبخیز، فرسایش رودخانه‌یی و پستی بلندی حوزه همبسـتگی مثبت داشت و در تراز ۰/۰۰۱ معنی‌دار بود. اندازه‌ی بار معلق مشـاهده شده با شاخص شیب، ضریب‌گردی، بارندگی، ناهمواری و مساحت حوزه همبستگی مثبت داشت و در تراز ۰/۰۰۱ معنی‌دار بود. برای تأثیرگزاری عامل‌ها و متغیرها بر اندازه‌ی بار معلق زیرحوزه‌ها روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشـه‌یی به‌کار برده شـد. کاربری حوزه ۲۵/۲۴٪ از پراش همه‌ی متغیرهای پژوهش را تبیین کرد. سه عامل کاربری حوزه، وضعیت فعلی فرسـایش در سطح حوزه، و زمین‌شناسی، و دو سـنجه‌ی ضریب گردی و شیب توانست ۸۶٪ از پراش همه‌یی متغیرهای پژوهش را تبیین کند.

واژگان کلیدی: چندمتغیره، مؤلفه های اصلی، رسوب، وایازی، ویژگی شکل زمین

مقدمه

آبخیز چارچوب و واحد زمین‌ریخت‌شناسی و دربرگیرنده‌ی سامانه‌ی رودخانه‌یی است؛ درون‌دادی که به آبخیز وارد می‌شود با فرآیند حاکم تغییر می‌کند. تولید بار معلق نتیجه‌ی فرآیندی است که بر اثر عامل‌ها و متغیرهای درون‌دادی و برون‌دادی در آبخیز شکل می‌گیرد، بنابراین متغیر وابسته‌ی بار معلق تابع متغیرهای زیادی است و با اجرای مدل تجربی یا آب‌شناسی که در چند عامل خلاصه شده است نمی‌توان آمار دقیقی از این متغیر وابسته در دامنه‌ی پذیرفتنی خطای آماری داد. از طرفی رابطه‌ی عامل‌ها و بار معلق در تحقیقات سنتی جداگانه با نتیجه‌ی خطی از آبخیز استخراج شده است، در حالی که کاربرد مدل‌های آماری در وایازی‌های چندمتغیره می‌تواند از میان عامل‌ها و متغیرهای پرشمار تاثیرگزار بر بار معلق، مهم‌ترین عامل‌ها یا متغیر را با معنی‌داری آماری استخراج کند، و بهتر می‌تواند قانون‌مندی حاکم بر سامانه‌ی پیچیده‌ی آبخیز را معرفی کند.

با اجرای یکی از معروف‌ترین مدل‌های تجربی در برآورد فرسایش خاک و بار معلق به‌نام مدل MPSIAC که بیش‌ترین عامل‌های تاثیرگزار بر بار معلق را درنظر می‌گیرد، و تقریبا با درنظر گرفتن همه‌ی متغیرهای شکل زمین تاثیرگزار بر بار معلق در مدل‌های آماری تحلیل‌شده، پاسخی قانون‌مند، کمی و با معنی‌داری آماری مناسب معرفی می‌کند. ویژگی‌های شکل‌زمین آبخیزها، به مجموعه‌ی عامل‌های فیزیکی گفته می‌شود که اندازه‌ی آن‌ها برای هر حوزه به نسبت ثابت است و وضع ظاهری آبخیز را نشان می‌دهد (احمدزاده و همکاران۲۰۱۱). رسوب حوزه و درک پدیده‌ی فرسایش و پی‌آمدهای آن ممکن است در اولویت‌بندی زیرآبخیزها به‌کار برده‌شود (شایان و همکاران۲۰۱۳). کاهش تولید رسوب نیازمند اجرای روش های مناسب مهار بار معلق و حفاظت خاک در منطقه‌های بحرانی منبع تولید بار معلق در آبخیز است (پاتریک و همکاران (۲۰۱۶).

بار معلق محصول نهایی فرسایش در آبخیز است که ناشی از فرسایش خاک زمین‌های بالادست، فرسایش کناری، و بستر رودخانه است (پوهلرت و همکاران ۲۰۱۵). فرسایش و تولید بار معلق رفتار طبیعی رودخانه است و باعث هدررفت خاک حاصل‌خیز کشاورزی و وارد کردن زیان جبران‌ناپذیر به سازه‌های آبی می‌شود (کرمی و همکاران ۲۰۱۹). بار معلق رودخانه‌یی محرکی تنش‌زا و مهم‌ترین تهدید برای بوم‌سامانه‌های آبی است که برای جلوگیری یا به‌کم‌ترین رساندن زیان‌های واردشده باید سه مرحله‌ی فرآیند فرسایش را پژوهید (ناصری و همکاران ۲۰۱۹). تعیین اندازه‌ی بار معلق انتقال‌یافته با رودخانه‌ها از جنبه‌های گوناگون اهمیت دارد. بار معلق حمل‌شده با جریان آب عامل مهمی در شکل‌گیری ساختار هندسی و ویژگی‌های کل زمین رودخانه‌ها است (حیدری تاشکبود و همکاران ۲۰۱۹). نتیجه‌ی لامپ و همکاران (۲۰۱۶) در کمی‌سازی بار معلق سه رودخانه در منطقه‌ی شمالی آلاسکا با مدل‌سازی به‌روش وایازی خطی از اندازه‌ی بار معلق و ویژگی‌های حوزه، نشان داد که در هر سه رودخانه سنجه‌های بارندگی و شکل آبخیز تاثیر زیادی بر اندازه‌ی بار معلق حوزه دارد. نتیجه‌ی برآورد فرسایش خاک در زیرحوزه‌های خراسان رضوی با وایازی چندمتغیره‌ی گام به گام (معتمدی و همکاران، ۲۰۱۶) نشان داد که اندازه‌ی بار معلق تولیدشده با ضریب شکل حوزه و میانگین بارندگی سالانه همبستگی مثبت داشت و در تراز ۵ ٪معنی‌دار بود. پژوهش دانش‌فراز و همکاران (۲۰۱۷) در حوزه‌ی آیدوغموش آذربایجان شرقی با مدل MPSIAC و فن‌های سنجش از دور و جی‌آی‌اس نشان داد که سالانه ۴۷۵ تن در کیلومترمربع خاک فرسوده و از حوزه خارج شده است، و شیب و پوشش زمین مهم‌ترین عامل‌های مهار کننده‌ی بار معلق است.

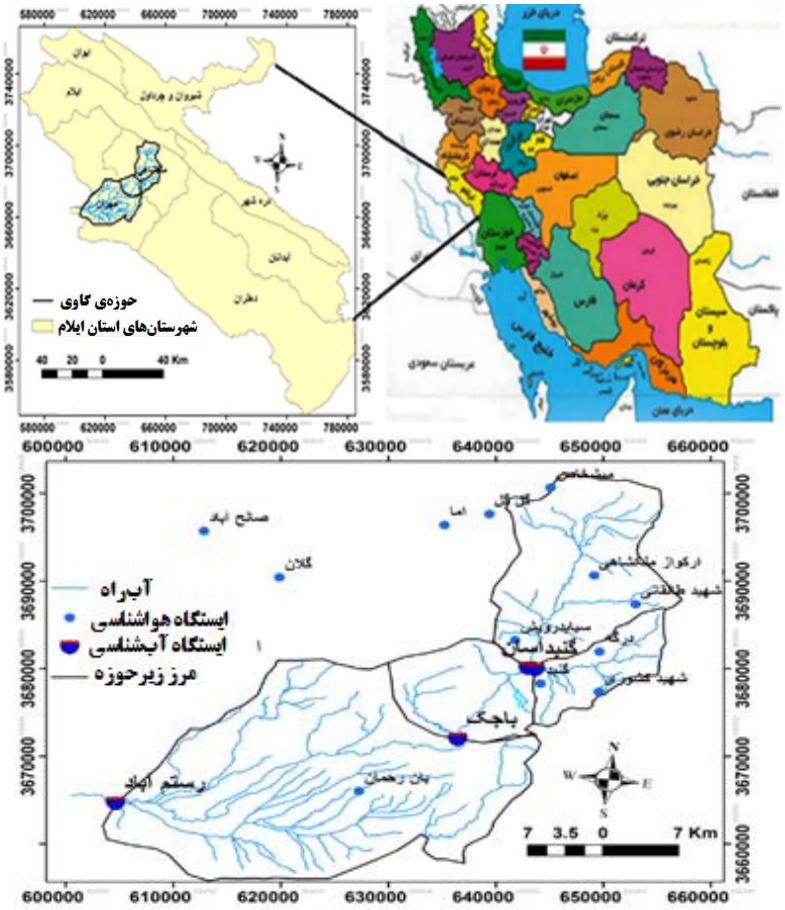
برآورد اندازه‌ی تولید بار معلق در حوزه‌ی قرنقو با روش وایازی چندمتغیره‌ی گام به گام نشان داد که اندازه‌ی بار معلق تولیدشده با حجم جریان و ضریب شکل حوزه، همبستگی مثبت داشت و در تراز ۵ ٪ معنی‌دار بود (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۲۰۱۸) برای شناسایی عامل‌های تاثیرگزار بر اندازه‌ی بار معلق این حوزه روش تحلیل مولفه‌های اصلی به‌کار برده شد. نتیجه‌ی پژوهش هنربخش و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که در برآورد اندازه‌ی بار معلق در حوزه‌ی دز از ۱۵ ویژگی در برآورد با روش تجزیه‌ی مولفه‌های اصلی، کارآیی این مدل بهترین و درصد خطای برآورد آن کم‌ترین بود. آب‌دهی سالانه تاثیرگزارترین عامل در مدل‌های برآورد بار معلق بود.

زنده‌بودن دو شهرستان ارکواز ملکشاهی و مهران و صدها روستا در استان ایلام به آبخیز رستم‌آباد و زیرحوزه‌های آن، و سدهایی مانند سد تنگ باجک و بند رضاآباد که بر آب‌گذر این زیرحوزه‌ها ساخته شده، وابسته است. بر این پایه بررسی متغیرهای تاثیرگزار در تولید بار معلق در این حوزه اهمیت زیادی دارد. بر پایه‌ی آمار و اطلاعات منطقه به‌نظر می‌رسد که برخی ویژگی‌های شکل‌زمین در تولید بار معلق زیرحوزه‌ها نقش بسزایی دارند. هدف از این تحقیق یافتن روش دقیق برآورد بار معلق در آبخیز است، و این که کدام روش از دید آماری و کمی بیش‌ترین عامل‌ها و ویژگی‌های تاثیرگزار در تولید بار معلق در یک حوزه خواهد داشت، و چه روشی یا مدلی ویژگی‌ها و عامل‌های اولویت‌دار موثر در تولید بار معلق را با معنی داری آماری خوب معرفی می‌کند. زیرحوزه‌ها از دید اندازه‌ی تولید بار معلق در منطقه معرفی شده‌اند. یکی از نوآوری‌های این تحقیق اختلاف اندازه‌ی بار معلق از نتیجه‌ی دو روش است که نشان می‌دهد در سامانه‌ی آبخیز همه‌ی عامل‌ها و متغیرهای تاثیرگزار بر رسوب‌زایی را باید در نظر گرفت تا بتوان آمار دقیق و معنی‌داری از اندازه‌ی بار معلق آبخیز داد. بنابراین نمی‌توان در سامانه‌ی آبخیز فقط عامل‌های فرسایش خاک را سنجید، یا اندازه‌ی بار معلق را فقط بر پایه‌ی متغیرهای شکل زمین

سنجید. نوآوری دیگر این تحقیق این است که معرفی عامل‌های اولویت‌دار تاثیرگزار بر رسوب‌زایی و اندازه‌ی خروجی رسوب در آبخیز از روش خطی یک‌متغیری یا مدل‌های تجربی نمی‌تواند معنی‌داری آماری رابطه‌ی بار معلق و عامل‌ها را نشان دهد، اما کاربرد هم‌زمان روش‌های تجزیه‌تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تجزیه‌تحلیل خوشه‌یی، و وایازی چندمتغیره‌ی گام به‌گام معنی داری آماری عامل‌ها و متغیرها را در ارتباط بار معلق با ساختار کمی و آماری مناسبی تبیین می‌کند. به‌دلیل این که نتیجه‌ی تحقیق کمی و مشخص است، دستگاه‌های اجرایی می‌توانند از دید کاربردی برای حفاظت خاک زیرحوزه‌ها برنامه‌ریزی کنند.

مواد و روش ها

آبخیز رستم‌آباد یکی از زیرآبخیزهای مهران در جنوب غرب شهرستان ایلام (′۴۶ °۴۴ تا ′۴۶ °۴۶ طول شرقی و ′۳۳ °۱۲ تا ′۳۳ °۲۸ عرض شمالی) است. پستی بلندی متغیر حوزه از بلندی ۹۰ متر تا ۱۹۵۰ متر از تراز دریا با تأثیر بر اندازه و نوع بارندگی سیل‌آسا، اندازه‌ی تبخیروتعرق و وضعیت پوشش‌گیاهی آبخیز بر ضریب روان‌آب و در نتیجه اندازه‌ی بار معلق تاثیرگزار است. سازندهای زمین‌شناسی از نوع رسوبی و شامل سازندهای گورپی، پابده، سروک، ایلام، آسماری، گچساران و آغاجاری است که اغلب فرسایش‌پذیر است. آبخیز رستم‌آباد زمین کشاورزی دشت مهران را پوشش می‌دهد و شریان‌های اصلی و فرعی این آبخیز در برداشت، حمل، تولید بار معلق و هدررفت خاک هر ساله زیان‌های زیادی بر زمین کشاورزی دشت وارد، و خاک مرغوب این زمین را وارد کشور عراق می‌کند، و یکی از دشواری‌های بهره‌برداران و کشاورزان منطقه است. موقعیت جغرافیایی، ایستگاه‌های هواشناسی و آب‌سنجی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه.

برای برآوردکردن اندازه‌ی تولید رسوب با مدل MPSIAC، با درنظر گرفتن عامل‌های زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب‌وهوا، روان‌آب، پستی‌بلندی، پوشش سطح زمین، کاربری زمین، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه‌یی) با وارد کردن لایه‌های اطلاعاتی به جی‌آی‌اس و رقومی‌سازی و رده‌بندی هر یک از این لایه‌ها بررسی شد، و عامل‌های مؤثر در رسوب‌زایی حوزه و اندازه‌ی تأثیر هر عامل بر پایه‌ی امتیازهای به‌دست آمده از رابطه‌های مدل MPSIAC مشخص شد.

آمار آب‌دهی و رسوب ۳۰ ساله‌ی چهار ایستگاه آب‌سنجی و ۱۲ ایستگاه هواشناسی از ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹ گرفته شد (شرکت

آب منطقه‌یی استان ایلام، اداره‌ی کل هواشناسی استان ایلام، مراجعه‌ی شـــخصی) (شـــکل ۲). با نقشـــه‌های پستی‌بلندی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ اطلاعات گیتاشناســـی زیرحوزه‌ها محاسبه شد. برای بررسی همبستگی میان متغیرهای مستقل و وابسته، بهنجار بودن داده‌ها با آزمون‌های شاپیرو– ویلک و کولموگروف اســـمیرنوف در نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس انجام شد. برای استخراج ویژگی‌های شـــکل زمین زیرحوزه‌ها مدل رقومی بلندی به‌کار برده‌شـــد. با تحلیل خوشـــه‌یی، آبخیزها به منطقه‌های همگن تقســـیم کرده‌شد. بار معلق با وایازی چندمتغیره در منطقه‌های همگن مدل‌سازی شد (زیگلر و همکاران ۲۰۱۴).

تحلیـــل عاملـــی از روش‌های چندمتغیری اســـت کـــه در آن متغیرهای مستقل و وابسته مطرح نیست، زیرا روشی هم‌وابسته اســـت و همه‌ی متغیرها نسبت به هم وابسته‌اند. تحلیل عاملی نقش بســـیار مهمی در نارســـایی متغیرهای مکنـــون یا همان عامل‌هـــا از راه متغیرهای مشاهده‌شـــده دارد. عامل (factor) متغیر جدیدی اســـت که بـــا ترکیب خطـــی اندازه‌های اصلی متغیرهای مشاهده-شـــده برآورد می‌شود. تفاوت این تحقیق با دیگر تحقیقات که مدل‌های فرســـایش خاک و برآورد بار معلق به‌کار برده‌اند، کاربرد تحلیل‌هایی آماری اســـت که موجب شده اســـت این تحقیق از روش محاسبه‌های کارشناسی و توصیفی خارج شود. در مدل‌های فرسایش خاک به یک عامل امتیاز داده می‌شود و تاثیر آن در فرسایش خاک و اندازه‌ی رسوب محاسبه می‌شود، که بی‌شک دقت آن کم‌تر است. در تحلیل‌های آماری عامل خاک به‌دســـت‌آمده از وزن‌دهی اســـت که به نوع، بافت، عمق، ویژگی‌های فیزیکی و شـــیمیایی خاک داده می‌شود، یا سازند زمین‌شناسی در آبخیز ترکیبی از نوع سنگ‌شناسی‌های گوناگون اســـت که هر کدام وزنی خاص خود در فرســـایش و رســـوب دارند. بنابراین هر عامل ممکن اســـت مجموعه‌یی از ویژگی‌های وابســـته‌به‌خود را تشکیل دهد. برای به‌دست آوردن امتیاز نهایی عامل نیاز اســـت با تحلیل‌هـــای آماری که حجم زیـــادی داده را در SPSS بـــرازش می‌کنـــد تحلیل، و با دقت بســـیار تاثیر عامل بر متغیر وابسته‌ی رســـوب را مشاهده کرد. همبستگی ارتباط متغیرها به‌شکل هم-وابسته با تحلیل ناخطی و چندگانه در ســـامانه‌ی پیچیده‌ی آبخیز، نتیجه‌ی قانون‌مند و علمی بهتری دارد، تا ارتباط خطی دو متغیر وابسته و مستقل، که نمی‌تواند این فرآیند را با دقت بســـیار نشان دهد، هر چند که در تحقیقات گذشته روش خطی یک یا دو متغیری به‌ناچار به‌کار برده شده‌بود. تحلیل خوشه‌یی روشی در کاستن از داده‌ها اســـت، یعنی با ازمیان بردن مشـــاهده‌ها تعدادی گروه همگن به‌دســـت می‌آید که هدف اصلی آن به‌کمینه رســـاندن تغییر درون‌گروهی و به‌بیشـــینه رســـاندن تغییر میان-گروهی است. در مرحلـــه‌ی بعد همگنی آبخیزها با روش تحلیل خوشـــه‌یی ارزیابی شـــد. در تحلیل خوشـــه‌یی پس از بمعیار کردن داده‌ها به روش Z-SCORE، گروه‌بندی با روش رده‌هایی تجمعی و محاسبه‌ی فاصله‌ی اقلیدسی به روش ward انجام شد (نایبی، ۲۰۱۵). روش وایازی گام‌به‌گام به‌دلیل سادگی در اجرا و تفسیر، در مدل‌سازی فرآیندهای آب‌شناسی به‌ویژه برآورد اندازه‌ی بار معق با ویژگی‌های گیتاشناسی حوزه بسیار به‌کاررفته است.

جدول ۱- ویژگی‌های شکل‌زمین به‌کاررفته در پژوهش.

ویژگی شکل زمین	نشانه	رابطه	مرجع
رتبه‌ی آب‌راه‌های حوزه	μ	-	Strahler (1957)
تعداد آب‌راه	$N\mu$	-	Strahler (1958)
میانگین نسبت انشعاب	ARb	$BR=(\frac{N1}{N2}+\frac{N2}{N3}+\cdots\frac{Nn-1}{Nn})(\frac{1}{n-1})$	Schumm (1956)
مجموع طول آب‌راه	Σ^X	X: طول آب‌راه	Horton (1945)
تراکم زه‌کشی	D_d	$D_d=\frac{\Sigma X}{A}$	Horton (1945)
فراوانی آب‌راه	F_s	$Fs=\frac{N\mu}{A}$	Horton (1945)
بافت زه‌کشی	Dt	$R_t=D_d.F_s$	Smith (1950)
ضریب شکل حوزه	Ff	$F_f=\frac{Area}{L2}$	Sharma and Tiwari(2009)
ضریب گردی	Rc	$Rc=\frac{4\pi A}{P2}$	Miller (1953)
ضریب کشیدگی	Er	$E=\frac{2\sqrt{A/\pi}}{L}$	Schumm (1956)
شاخص شکل حوزه	SW	$S_w=\frac{1}{Ff}$	Horton (1932)
نسبت لمنیسکیت	Lr	$L_r=\frac{L2}{4Area}$	Chorely et al (1957)
پستی‌بلندی حوزه	Bf	$B_f=E_{max}-E_{min}$	Schumm (1956)
نسبت پستی‌بلندی	Rr	$Rr=\frac{BF}{Lsmax}$	Schumm (1956)
عدد ناهمواری	Rn	$Rn=B_F.Dd$	Strahler (1958)
شاخص انشعاب	DI	$DI=\frac{BF}{Emax}$	Singh and Dubey(1994)

A: مساحت حوزه ، L: طول حوزه ، P: محیط حوزه، E_{max}: بیشینه‌ی بلندی حوزه، Emin: کمینه‌ی بلندی حوزه، Lsmax: بلندترین طول آب‌راه.

نسبت لمنیسکیت معیاری برای توصیف اندازه‌ی تشابه شکل حوزه به دایره است که برای توصیف شکل حوزه به‌کار می‌رود (چورلی و همکاران ۱۹۷۵). بیش‌ترین اندازه‌ی نسبت لمنیسکیت بر پایه‌ی شکل و طول جریان برای زیرحوزه‌های رستم‌آباد و آسان به‌دست آمد. شاخص انشعاب نسبت میان تخریب واقعی به‌وسیله‌ی رود و توان آن از تراز پایه را نشان می‌دهد (پال و همکاران ۲۰۱۱). ضریب فشردگی (ضریب گراویلیوس) نسبت محیط حوزه به محیط دایره‌ی فرضی است که مساحت آن برابر مساحت حوزه باشد (دایره‌ی معادل). اگر حوزه دایره‌یی کامل باشد این ضریب ۱ است، اگرنه بزرگ‌تر از ۱ و نشان-دهنده‌ی انحراف شکل آن از دایره است. این ضریب بی بعد است و برای حوزه‌های کشیده ۱/۵ تا ۲/۵ است (فتاحی و همکاران ۲۰۱۷). یکی از روش‌های توصیف شکل منحنی فرازنمایی حوزه، محاسبه‌ی انتگرال فرازنمایی آن است. اندازه‌های زیاد انتگرال فرازنمایی (>۰/۵) نشانه‌ی وجود پستی‌بلندی زیاد نسبت به میانگین حوزه، و اندازه‌های کم تا میانه‌ی آن (<۰/۴) نشانه‌ی بودن شبکه‌ی زه‌کشی در سطح هموارتر است. ارتباط میان انتگرال فرازنمایی باعث شده است که این انتگرال همچون معیاری برای تشخیص چرخه‌ی فرسایش چشم‌انداز به‌کار برده‌شود. اندازه‌ی ناهمواری ارتباط مستقیمی با درجه‌ی شیب آب-راه‌ها و سطح زمین دارد، و به‌طور محسوسی بر فرآیندهای آب‌شناسی و فرسایش آبخیز اثر می‌گزارد (آهر و همکاران ۲۰۱۴). در حوزه‌های منطقه‌های بلند نه‌تنها بارندگی بیش از حوزه‌های پست است، که بارش به‌شکل برف است. بافت زه‌کش بستگی دارد به برخی عامل‌های طبیعی مانند اقلیم، بارش، پوشش، نوع سنگ و خاک، ظرفیت نفوذپذیری، مرحله‌ی تکامل ناهمواری‌ها. سنگ‌های سست و ضعیفی که پوشش‌گیاهی از آن‌ها محافظت نمی‌کند بافت ریز، اما سنگ‌های توده‌یی و مقاوم بافت درشت ایجاد می‌کنند. پوشش پراکنده‌ی گیاهی در اقلیم‌های خشک سبب ایجاد بافت ریزتری نسبت به سنگ مشابه در اقلیم‌های مرطوب می‌شود. بافت سنگ‌ها به‌طور کلی بستگی دارد به نوع پوشش و اقلیم.

برای کاهش تعداد متغیرهای مستقل و تعیین عامل‌های مؤثر در بار معلق حوزه، وایازی چندمتغیره‌ی گام به گام به‌کار برده-شد. این روش، اثر چندین متغیر مستقل را بر یک متغیر وابسته بررسی می‌کند (زارع و همکاران ۲۰۱۰). در وایازی چند متغیره‌ی گام به‌گام، متغیر مستقلی که تأثیر محسوس‌تری در زمینه‌ی متغیر وابسته ندارد، از تحلیل حذف و از معادله خارج کرده می‌شود. شکل کلی رابطه‌ی وایازی گام به گام رابطه‌ی ۱ است (نایبی، ۲۰۱۵).

$$Y= a + B_1X_1 + B_2X_2 + \ldots\ldots + B_nX_n + e \qquad (۱)$$

Y متغیر وابسته (بار معلق سالانه)، a: ثابت مدل، و X1, X2,…..,Xn، متغیرهای مستقل و ویژگی‌های شکل‌زمین حوزه اند. B1,B2,…,Bn ضریب هر متغیر مستقل، و e خطای مدل وایازی است.

یکی از شرایط کاربرد وایازی چندمتغیره‌ی گام به گام در تجزیه و تحلیل داده‌ها، نبود هم‌خطی چندگانه میان متغیرهای مستقل است که در این پژوهش با عامل تورم پراش بررسی شد. در وایازی چندمتغیره برای آزمون معنی‌دار بودن هر یک از ضریب‌های معادله‌ی وایازی، آزمون t به‌کار برده‌می‌شود. برای بررسی چگونگی برازش مدل بر داده‌ها دو معیار R^2 (ضریب تعیین) و SE (خطای بمعیار) به‌کار برده شد. R^2 یا ضریب تعیین چندگانه، نسبتی از تغییر کل در متغیر وابسته است که با معادله‌ی وایازی بیان می‌شود. خطای بمعیار، معیار دیگری برای انتخاب مدل نهایی است. مدلی که کم‌ترین خطای بمعیار را داشته باشد، باریک‌ترین فاصله‌ی اطمینان را خواهد داشت و مناسب‌تر است. در این تحقیق ۲۰ ویژگی شکل‌زمین و نُه عامل تاثیرگزار در تولید بار معلق متغیر مستقل گرفته شد، و ضمن شناسایی‌کردن مهم‌ترین ویژگی‌های شکل زمین مؤثر در اندازه‌ی بار معلق زیرحوزه‌ها، رابطه‌ی پیش‌بینی اندازه‌ی بار معلق سالانه با مؤثرترین سنجه‌ها تعیین شد. برای بیان شکل حوزه و مقایسه‌ی زیرحوزه‌ها از ویژگی‌های گوناگونی مانند ضریب شکل حوزه، شاخص شکل، ضریب فشردگی، ضریب کشیدگی، ضریب گردی، و نسبت لمنیسکیت به‌کار برده‌شد. اختلاف اندازه‌ی رسوب تولیدشده با وضعیت تولید بار معلق، حمل بار معلق و رسوب‌گذاری را در زیرحوزه نمایان ساخت. برای به‌دست آوردن رابطه‌های میان ویژگی‌های آب‌شناسی (بار معلق) و ویژگی‌های حوزه‌ها روش وایازی گام‌به‌گام به‌کار برده‌شد. برای انجام وایازی گام به گام از سه روش پیش‌رو، پس‌رو و ترکیب دو روش در دو حالت با داده‌های معمولی و لگاریتمی، و برای آزمون مدل‌ها روش تجزیه‌ی پراش به‌کار برده‌شد. وزن بار معلق حوزه متغیر وابسته و دیگر سنجه‌ها متغیرهای مستقل گرفته شد. معنی‌دار بودن هر یک از ضریب‌های رابطه وایازی با آزمون t سنجیده شد.

نتایج و بحث

نتیجه‌ی به‌دست‌آمده از تحلیل عامل‌های تاثیرگزار در تولید بار معلق هر زیرحوزه در جدول ۲ نشان داده شده است. نتیجه‌ی بررسی مدل MPSIAC و نه عامل این مدل برای چهار زیرحوزه‌ی تعیین شده نشان داد که بر پایه‌ی مجموع امتیازهای عامل‌های موثر در فرسایش و بار معلق، زیرحوزه‌ی آسان با درجه‌ی تولید بار معلق ۸۶/۸، گنبد با ۸۲/۳، تنگ باجک با ۸۱/۶، رستم‌آباد با ۷۵/۱، و کل حوزه‌ی پژوهش با ۸۱/۴ در رده‌ی فرسایشی زیاد بود، که اندازه‌ی تولید بار معلق آن ۱۴۲۹-

۴۷۶ مترمکعب در کیلومترمربع است. برای برآوردکردن تولید بار معلق با مدل MPSIAC رابطه‌ی میان درجه‌ی تولید و اندازه‌ی تولید (رابطه‌ی ۲) سنجیده‌شد (احمدی ۲۰۰۷).

۲

$$Qs=e^{0.036R}18.6$$

QS اندازه‌ی تولید بار معلق سالانه مترمکعب در کیلومترمربع وR درجه‌ی تولید بار معلق یعنی مجموع امتیاز عامل‌های گوناگون درنظر گرفته‌شده در مدل MPSIAC است.

باکاربستن رابطه‌ی ۲ اندازه‌ی تولید بار معلق سالانه در زیرآبخیز رستم‌آباد ۹۷۶/۴ مترمکعب در کیلومترمربع برآورد شد، که با دخالت دادن وزن مخصوص ۱۲۵۲/۷ تن در کیلومترمربع برابر با ۱۹/۴ تن در هکتار در سال بود. اندازه‌ی تولید بار معلق سالانه در زیرآبخیز تنگ باجک ۷۵۹/۶ مترمکعب در کیلومترمربع برآورد شد، که با دخالت‌دادن وزن مخصوص ۱۱۰۵/۳ تن در کیلومترمربع و ۱۶/۸ تن در هکتار در سال بود. اندازه‌ی تولید بار معلق سالانه در زیرآبخیز آسان ۶۶۳/۸ مترمکعب در کیلومترمربع برآورد شد، که با دخالت‌دادن وزن مخصوص ۹۸۰/۱ تن در کیلومترمربع و ۱۴/۷ تن در هکتار در سال بود. اندازه‌ی تولید بار معلق سالانه در زیرآبخیز گنبد ۵۳۳/۷ مترمکعب در کیلومترمربع برآورد شد، که با دخالت‌دادن وزن مخصوص برابر ۷۸۰/۶ تن در کیلومترمربع و ۱۲/۲ تن در هکتار در سال بود. اندازه‌ی تولید بار معلق سالانه در کل حوزه رستم‌آباد ۶۵۷/۸ مترمکعب در کیلومترمربع برآورد شد، که با دخالت‌دادن وزن مخصوص ۹۷۵/۶ تن در کیلومترمربع و ۱۵/۸ تن در هکتار در سال بود.

جدول ۲- نتیجه‌ی عامل‌های مدل MPSIAC در زیرحوزه‌های رودخانه‌ی رستم‌آباد.

عامل	زیرحوزه‌های رستم‌آباد				کل حوزه
	آسان	گنبد	تنگ باجک	رستم‌آباد	
زمین‌شناسی	۷/۴	۵/۲	۸/۱	۹/۳	۷/۵
خاک	۸/۵	۸/۱	۸/۲	۷/۳	۸/۱
آب‌وهوا	۴/۸	۲/۸	۶/۵	۷/۵	۵/۴
روان‌آب	۰/۴	۰/۷	۰/۵	۰/۶	۰/۶
پستی‌بلندی	۱۱/۵	۹/۲	۱۳/۴	۱۴/۶	۱۲/۱
پوشش زمین	۶/۴	۵/۳	۷/۸	۸/۳	۶/۹
کاربری زمین	۱۸/۶	۱۷/۳	۱۸/۶	۱۹/۴	۱۸/۴
وضعیت فرسایش فعلی	۱۴/۷	۱۶/۸	۱۱/۸	۱۱/۲	۱۳/۳
فرسایش رودخانه‌یی	۹/۴	۹/۷	۷/۴	۸/۶	۸/۷
مجموع امتیازهای R	۸۱/۶	۷۵/۱	۸۲/۳	۸۶/۸	۸۱/۴

تحلیل یافته‌های ارتباط ویژگی‌های شکلی زمین و اندازه‌ی رسوب اندازه‌گرفته در ایستگاه‌های آب‌سنجی و منحنی سنجه‌ی رسوب با میانگین رسوب سالانه در جدول ۳ داده شده است. اندازه‌ی بار معلق سالانه از ۱۶/۲ تن در هکتار در سال در زیرحوزه‌ی رستم‌آباد تا ۱۱/۶ تن در هکتار در سال در زیرحوزه‌ی گنبد متغیر بود. مساحت آبخیز یکی از ویژگی‌های مهم در بار معلق حوزه است. در این پژوهش دامنه‌ی مساحت از ۸۰ کیلومترمربع برای زیرحوزه آسان تا ۶۳۳ کیلومترمربع برای زیرحوزه‌ی رستم‌آباد متغیر بود. بیش‌ترین میانگین شیب در زیرحوزه‌ی آسان ۷۴/۶ ٪و کم‌ترین میانگین شیب زیرحوزه‌ی رستم‌آباد ۸/۳٪ مشاهده شد.

عامل‌های اقلیمی در کنار عامل‌های شکل زمین، میانگین بارندگی سالانه با شیب بارندگی و بلندی برای زیرحوزه‌های پژوهش در جدول ۳ داده شده است. نتیجه‌ی اجرای هر سه مدل درون‌یابی نشان داد که بر پایه‌ی اندازه‌های ME و RMSE دقت روش کریجینگ بیش‌تر از دیگر روش‌ها است، و از میان حالت‌های گوناگون روش کریجینگ نیز دقت مدل گوسی بیش‌ترین است. بر این پایه بیش‌ترین بارندگی در زیر حوزه‌ی آسان ۴۲۵ میلی‌متر و کم‌ترین بارش در زیرحوزه‌ی رستم‌آباد ۲۱۰ میلی‌متر بود. عامل بلندی حوزه با تأثیر بر اندازه و نوع بارندگی، اندازه‌ی تبخیر و تعرق، و وضعیت پوشش گیاهی حوزه بر ضریب روان‌آب و در نتیجه اندازه‌ی تولید بار معلق تاثیرگزار است. طول حوزه طول خطی است که نقطه‌ی خروجی حوزه را با خطی مستقیم به دورترین نقطه‌ی مرز حوزه وصل می‌کند (مهدوی ۲۰۱۶).

جدول ۳- اندازه‌ی بار معلق و برخی از ویژگی‌های زیرحوزه‌ها.

زیرحوزه	مساحت (km^2)	محیط (km)	شیب میانگین (%)	بارندگی سالانه میانگین (mm)	بار معلق (Ton/he/year)
رستم‌آباد	۶۳۳	۱۱۵	۸/۳	۲۱۰	۱۶/۲
تنگ‌باجک	۱۲۳	۴۴	۵۰/۹	۳۲۰	۱۴/۵
گنبد	۲۵۷	۷۱	۵۶/۸	۴۱۵	۱۱/۶
آسان	۸۰	۴۳	۷۴/۶	۴۲۵	۱۲/۴

جدول ۴- سنجه‌های بلندی و شکل زیرحوزه‌ها.

زیرحوزه	بلندی کمینه (m)	بلندی میانگین (m)	بلندی بیشینه (m)	طول آب‌راه اصلی (Km)	ضریب شکل	شاخص شکل	ضریب فشردگی	ضریب کشیدگی	ضریب گردی	نسبت لمنیسکیت
رستم‌آباد	۹۰	۲۱۰	۴۲۰	۳۶/۲۵	۰/۴۸	۲/۱۲	۱/۳۰	۰/۴۰	۰/۱۹	۲/۵۲
تنگ‌باجک	۴۵۰	۵۶۰	۹۲۰	۱۳/۷	۰/۶۵	۱/۵۴	۱/۱۲	۰/۴۶	۰/۴۲	۱/۶۲
گنبد	۸۴۰	۹۱۰	۱۲۰۰	۱۷/۳	۰/۸۸	۱/۱۴	۱/۲۵	۰/۵۲	۰/۴۳	۲/۲۵
آسان	۹۰۰	۱۲۹۶	۱۹۵۰	۲۵/۴	۰/۱۲	۸/۳۳	۱/۳۷	۰/۲۰	۰/۱۵	۳/۱۴

نتیجه نشـان داد که ضریب شـکل آبخیـز از ۰/۸۸ تا ۰/۱۲ متغیر اسـت. بیش‌ترین کشیدگی در زیرحوزه‌های گنبد و تنگ باجک بود. بیش‌ترین ضریب فشردگی در زیرحوزه‌های آسان و رسـتم‌آباد بود. شاخص شکل حوزه نیز نتیجه‌ی همسانی نشان داد. بیش‌ترین اندازه‌ی شـاخص شکل در زیرحوزه‌ی آسان بود. کم‌ترین ضریب فشـردگی در زیرحـوزه‌ی تنگ باجک ۱/۱۲ و بیش-ترین در زیرحوزه‌ی آسـان ۱/۳۷ بود و ضریب کشیدگی (شـیوم ۱۹۵۶) از ۰/۵۲ تا ۰/۲۰ متغیر بـود. در روش ضریب گـردی هر چه RC به ۱ نزدیک باشـد شـکل آبخیز به دایره نزدیک‌تر اسـت. بیش‌ترین اندازه‌ی انتگرال هیپسـومتری در زیرحوزه‌هـای گنبد، آسـان، و تنگ باجـک، و کم‌ترین آن در رسـتم‌آباد بود. کم‌ترین ناهمواری در رستم‌آباد و بیش‌ترین آن در آسان دیده شد. پستی‌بلندی نشان‌دهنده‌ی موقعیت اقلیمی است. بیش‌ترین اندازه‌ی پستی‌بلندی در آسان و کم‌ترین آن در رسـتم‌آباد بود. کم‌ترین بافت زه‌کشی در رستم‌آباد و بیش‌ترین تراکم در گنبد مشـاهده شد. نسبت تعداد قطعه‌های یک مرتبه بـه تعداد قطعه های مرتبه‌ی بیش‌تر نسـبت انشـعاب نامیده می‌شـود. این نسبت به علت تغییر تصادفی در هندسه‌ی آبخیز دقیقاً از مرتبه‌یی به مرتبه‌ی دیگر یکسـان نیسـت. بیش‌ترین میانگین نسـبت انشـعاب در گنبد و کم‌ترین انـدازه‌ی آن در رستم‌آباد مشاهده شد.

جدول ۵- سنجه‌های شکل زمین و پستی‌بلندی زیرحوزه‌ها.

زیرحوزه	میانگین پستی‌بلندی	نسبت پستی‌بلندی	بافت‌زه‌کشی	شاخص‌انشعاب	پستی‌بلندی‌نسبی	انتگرال‌هیپسومتریک	ناهمواری‌حوزه
رستم‌آباد	۲۵۵	۱۱/۶۶	۱/۱۲	۰/۶۰	۸/۳۳	۰/۱۶	۲۸۵
تنگ‌باجک	۶۸۵	۶۷/۱۵	۲/۱۴	۰/۷۴	۲۰/۴۲	۰/۳۴	۳۶۰
گنبد	۱۰۲۰	۷۰/۵۸	۳/۲۱	۰/۸۵	۲۲/۵۲	۰/۴۲	۵۲۰
آسان	۱۴۲۵	۷۸/۲۱	۲/۷۴	۰/۷۳	۲۵/۴۱	۰/۴۸	۶۵۴

متغیرهـای شـیب، ضریب گـردی، بارندگی، بافت زه‌کشـی، مسـاحت، محیط، شکل حوزه، و ناهمواری حوزه نسبت به دیگر متغیرها همبسـتگی بیش‌تری با اندازه‌ی تولید بار معلق حوزه داشت (جدول ۶).

جدول ۶- همبستگی میان عامل‌ها و متغیرهای زمین‌ریخت‌شناسی موثر بر رسوب در زیرحوزه‌ها.

متغیرهای مستقل		همبستگی پیرسون	تراز معنی‌داری
X1	زمین‌شناسی	۰/۸۷۴	۰/۰۰۱
X5	پستی‌بلندی	۰/۸۶۴	۰/۰۰۱
X7	کاربری زمین	۰/۹۲۲	۰/۰۰۱
X8	وضعیت فرسایش فعلی	۰/۹۱۰	۰/۰۰۱
X9	فرسایش رودخانه‌یی	۰/۸۴۳	۰/۰۰۱
X12	شیب	۰/۸۱۵	۰/۰۰۱
X13	بارندگی	۰/۷۷۹	۰/۰۰۱
X22	ضریب گردی	۰/۸۲۰	۰/۰۰۱
X26	بافت زه‌کشی	۰/۷۸۵	۰/۰۰۱
X28	پستی‌بلندی نسبی	۰/۷۸۹	۰/۰۰۱

جدول ۷ ضریب‌های رابطه‌ی وایازی و آزمون معنی‌داری را نشان می‌دهد. معنی‌دار بودن ضریب در معادله وایازی، نشان می-دهد که متغیر مستقل می‌تواند بخشی از تغییر در متغیر وابسته را بیان کند. به‌دلیل تراز معنی‌داری آزمون t با اطمینان ۹۵٪ این ضریب‌ها مخالف صفر و برابر با اندازه‌های برآورد شده است. اندازه‌های VIF کم‌تر از ۱۰ نبود هم‌خطی میان متغیرهای شکل زمین را نشان می‌دهد. از این رو، متغیرها برای تعیین ضریب وایازی مناسب است. برپایه‌ی مدل‌های به‌دست‌آمده از تحلیل همبستگی بار معلق، اندازه‌ی تولیدشده با شیب حوزه، میانگین بارندگی، ضریب گردی، بافت زه‌کش و پستی‌بلندی نسبی همبستگی داشت و در تراز ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۷).

برای ارزیابی مدل‌های وایازی، معنی‌داری آماری آن‌ها بررسی شد. مفهوم معنی‌دار بودن ضریب در معادله‌ی وایازی این است که متغیر مستقل می‌تواند به‌طور معنی‌داری بخشی از تغییر در متغیر وابسته را بیان کند. برای اطمینان از کارآیی مدل‌ها، فرضیه‌های تحلیل وایازی شامل خطی‌بودن، یک‌نواختی پراش و مستقل‌بودن باقی نیز بررسی شد. مدل توسعه‌یافته در منطقه‌ی ۲ اندازه‌ی ضریب R^2 بیش‌تری نسبت به مدل توسعه‌یافته در منطقه‌ی ۱ داشت. در مدل توسعه‌یافته در منطقه‌ی ۲ تعداد ویژگی‌های بیش‌تری معنی‌دار بود و به مدل وارد شد، بنابراین اندازه‌ی ضریب تبیین در مدل ۲ بیش‌تر شد زیرا با افزایش تعداد ویژگی‌های ورودی مدل اندازه‌ی ضریب تبیین افزایش می‌یابد، اگرچه ممکن است اندازه‌ی خطای مدل نیز تا حدی افزایش یابد. مدل توسعه‌یافته بر پایه‌ی عامل آب‌دهی سالانه در منطقه‌ی ۲ در مقایسه با مدل ۱ با تعداد بیش‌تر سنجه‌ی ورودی اندازه‌ی ضریب تعیین بیش‌تری (R^2=۰/۹۹) داشت (جدول ۸)، که اهمیت عامل ضریب گردی حوزه در برآوردکردن اندازه‌ی بار معلق را نشان می‌دهد. بهترین مدل وایازی مدلی است که ضریب تعیین R^2 آن بیش‌تر و اشتباه بمعیار SE آن کم‌تر باشد. از این رو مدل دوم، مدل نهایی برای زیرحوزه‌های پژوهش است.

جدول ۷- آزمون معنی‌داری ضریب‌های رابطه‌های وایازی.

مدل‌ها	متغیر مستقل	T	تراز معنی‌داری	اندازه‌ی ثابت	
۱	اندازه‌ی ثابت	۱۰/۸۵۴	۰/۰۰۱	۸۷۴۲۵۰/۳۲۱	Y=۱۰/۸۵۴- ۲۱/۳۵۴
	ضریب زمین‌شناسی حوزه	۲۱/۳۵۴	۰/۰۰۱	۸۹۶۸۷۵۲/۲۴۰	(x1)
۲	اندازه‌ی ثابت	۹/۹۴۷	۰/۰۰۱	۸۷۷۵۵۴/۳۵۲	Y=۹/۹۴۷ - ۲۳/۴۵۲
	ضریب کاربری حوزه	۲۳/۴۵۲	۰/۰۰۱	۸۸۹۳۵۶۷/۳۴۶	(x7)
۳	اندازه‌ی ثابت	۹/۷۱۰	۰/۰۰۱	۸۶۴۲۲۳/۲۰۱	Y=۹/۷۱۰ - ۲۲/۷۹۰
	ضریب وضعیت فرسایش حوزه	۲۲/۷۹۰	۰/۰۰۱	۸۷۹۴۳۲۶/۷۵۴	(x8)
۴	اندازه‌ی ثابت	۱۱/۸۲۰	۰/۰۰۱	۸۲۳۲۵۱/۴۴۰	Y=۱۱/۸۲۰ -۱۹/۸۱۲
	ضریب شیب حوزه	۱۹/۸۱۲	۰/۰۰۱	۷۷۱۹۹۳۲/۵۴۱	(x12)
۵	اندازه‌ی ثابت	۱۶/۵۱۴	۰/۰۰۱	۷۶۲۵۴/۷۹۰	Y=۱۸/۲۵۰ – ۱۶/۵۱۴
	ضریب گردی حوزه	۱۸/۵۲۱	۰/۰۰۱	۴۵۶۳۲۱/۲۲۱	(X22)

جدول ۸- ضریب‌های همبستگی رابطه‌های وایازی.

مدل	ضریب همبستگی چندگانه (R)	ضریب تبیین (R^2)	ضریب تبیین تعدیل‌شده	خطای‌معیار (SE)	تراز معنی‌داری	تراز معنی‌داری Sig.
۱	۰/۸۷۴	۰/۹۹	۰/۷۸۵	۱/۵۶۹۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
۲	۰/۹۲۲	۰/۹۹	۰/۸۲۵	۱/۲۳۱۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
۳	۰/۹۱۰	۰/۹۹	۰/۸۱۱	۱/۲۵۴۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
۴	۰/۸۱۵	۰/۹۸	۰/۷۶۹	۲/۵۳۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
۵	۰/۸۴۲	۰/۹۸	۰/۷۷۶	۱/۳۴۵۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱

داده‌ها برای تجزیه‌شدن به مؤلفه‌های اصلی کاملا مناسب بود (جدول ۹). اندازه‌ی KMO =۰/۹ بود، در نتیجه داده‌ها برای تحلیل عاملی هم مناسب بود. آماره‌ی کرویت بارتلت نشان می‌دهد که آیا جدول همبستگی همسان و واحد است. نتایج آزمون کرویت بارتلت نیز معنی‌دار بود، به این مفهوم که فرض مخالف تأیید شد، یعنی میان متغیرها همبستگی معنی‌داری بود. معنی‌دار بودن مجذور کای نیز بیانگر کمینه‌ی شرایط لازم برای اجرای تحلیل عاملی است. اندازه‌ی آماره‌ی KMO برابر با ۰/۹ نشان می‌دهد که داده‌های استخراج‌شده برای انجام تحلیل عاملی تجزیه به مولفه‌های اصلی مناسب اند. معنی‌داربودن آزمون کرویت بارتلت در تراز ۰/۰۰۱ و مجذور کای ۱۹۷/۵۸ بیانگر تحلیل عاملی برای شناسایی ساختار مناسب است.

جدول ۹- آماره‌ی KMO و نتیجه‌ی آزمون کرویت بارتلت.

۰/۹	سنجش کفایت داده‌ها با Kaiser-Meyer-Olki
۱۹۷/۵۸	Approx. Chi-Square
۴۹	df
۰/۰۰۱	Sig

جدول ۱۰- درصد پراش تجمعی و اندازه‌های ویژه‌ی عامل‌های گوناگون.

مولفه ها	درصد توجیه پراش
ضریب زمین‌شناسی حوزه	۲۱/۵۴
ضریب کاربری حوزه	۲۵/۲۴
ضریب وضعیت فرسایش حوزه	۲۲/۶۱
ضریب شیب حوزه	۱۱/۴۵
ضریب گردی حوزه	۵/۱۵

برای تعیین تعداد عامل‌ها اندازه‌ی ویژه به‌کار برده‌شد. کمینه‌ی اندازه‌ی ویژه برای انتخاب عامل‌های نهایی ۱ است، و عامل‌هایی که اندازه‌ی ویژه بیش‌تر از ۱ داشته باشند جزء عامل‌های نهایی اند. نتایج نشان داد که اندازه‌ی پنج عامل ضریب زمین‌شناسی، ضریب کاربری زمین، ضریب وضعیت فرسایش، ضریب شیب و ضریب گردی حوزه ویژه بیش‌تر از ۱ بود. درصد پراش تبیین‌شده با هر عامل در جدول ۱۰ نشان داده شده است. نتیجه‌ی این تحقیق با پژوهش‌های مشابه زهانگ و همکاران (۲۰۱۵)، سلیم و همکاران (۲۰۱۴) و آریس و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

برای بررسی رابطه‌ی رسوب‌زایی سطح حوزه و اندازه‌ی بار معلق خروجی از ایستگاه آب‌سنجی به روش مشاهده‌یی و عامل‌های مدل تجربی MPSIAC برای ویژگی‌های شکل زمین درتولید بار معلق حوزه روش‌های وایازی چندمتغیری، تحلیل خوشه‌یی، تحلیل عاملی که از روش‌های رایج در مدل‌سازی رابطه‌ی اندازه‌ی بار معلق و ویژگی‌های آبخیز است به‌کار برده‌شد. هنگامی می‌توان به اندازه‌ی بار معلق همچون متغیر وابسته و عامل‌ها و سنجه‌های شکل زمین همچون متغیرهای مستقل استناد کرد که در مدل آماری نتیجه‌ی معنی‌دار، قانون‌مند و علمی داده شود. بر پایه‌ی فرآیند مدل‌سازی وایازی، بود یا نبودِ عامل یا متغیر در مدل باید از نظر آماری پذیرفتنی باشد، بنابراین مدل نهایی داده‌شده به‌دلیل مستند و معتبر بودن از نظر آماری، و گذراندن درست فرآیند مدل‌سازی بر پایه‌ی نتیجه‌ی داده‌شده استنادکردنی و پذیرفتنی است.

عامل‌ها و متغیرهای پیش‌بینی در مدل وایازی به‌دست آمده مشخص می‌کند که بودنِ عامل‌های اقلیمی و آب‌شناسی در مدل معنی‌دار است. نتیجه‌ی تحقیق نشان‌دهنده‌ی آن است که عامل‌ها و ویژگی‌های شکل زمین همبستگی زیادی با رسوب زایی و اندازه‌ی رسوب دارند. در مدل MPSIAC عامل‌های کاربری زمین، وضعیت فعلی فرسایش، زمین‌شناسی، فرسایش رودخانه‌یی و پستی‌بلندی در تراز ۰/۰۰۱ با بار معلق معنی‌دار بود. اندازه‌ی تولید بار معلق به‌ترتیب در رستم‌آباد ۱۹/۴تن، در تنگ باجک ۱۶/۸ تن، در آسان ۱۴/۷ تن، در گنبد ۱۲/۲ تن، و میانگین در کل حوزه‌ی رستم‌آباد ۱۵/۸ تن در هکتار در سال است. از میان عامل‌های زمین‌ریختی ضریب شیب، ضریب گردی، پستی‌بلندی، بارندگی، مساحت حوزه، و ضریب کشیدگی حوزه در برآوردکردن اندازه‌ی رسوب برپایه‌ی روش تجزیه‌تحلیل به مؤلفه‌های اصلی مهم‌ترین بودند، و همبستگی بسیار نشان دادند.

اندازه‌ی بار معلق سالانه از ۱۶/۲ تن در هکتار در سال در رستم‌آباد تا ۱۱/۶ تن در هکتار در سال در گنبد متغیر بود. ارزیابی اندازه‌ی آزمون کرویت بارتلت و ک.ام.او ۰/۹ بود، و در نتیجه داده‌ها برای تحلیل خوشه‌یی مناسب بود. درصد پراش تبیین شده با هر عامل نشان می‌دهد که کاربری حوزه با ۲۵/۲۴٪ از پراش همه‌ی متغیرهای تحقیق را تبیین کرد، و در مجموع سه عامل کاربری حوزه، وضعیت فرسایش فعلی، زمین‌شناسی و دو سنجه‌ی ضریب گردی و ضریب شیب توانست ۸۶٪ از پراش همه‌ی متغیرهای پژوهش را تبیین کند. اختلاف اندازه‌ی بار معلق از نتیجه‌ی دو روش نشان می‌دهد که در سامانه‌ی آبخیز همه‌ی عامل‌ها و متغیرهای تاثیرگزار در رسوب‌زایی و اندازه‌ی رسوب را باید در نظر گرفت تا بتوان داده‌های دقیق و معنی داری از اندازه‌ی بار معلق آبخیز داد. بنابراین نمی‌توان در سامانه‌ی آبخیز فقط عامل‌های فرسایش خاک یا فقط متغیرهای زمین‌ریختی اندازه‌ی رسوب را سنجید.

معرفی عامل‌های اولویت‌دار تاثیرگزار بر رسوب‌زایی و بار خروجی معلق در آبخیز از روش خطی یک‌متغیری یا مدل‌های تجربی نمی‌تواند معنی‌داری آماری رابطه‌ی رسوب و عامل‌ها را نشان دهد، اما کاربرد همراه‌باهم روش‌های تجزیه‌تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تجزیه‌تحلیل خوشه‌یی، و وایازی چندمتغیری گام‌به‌گام معنی‌داری آماری عامل‌ها و متغیرها در ارتباط بارمعلق را با ساختار کمی و آماری مناسبی تبیین می‌کند. سازگان‌های اقلیمی و آب‌شناسی آبخیزهای کشور گوناگون است، به‌همین دلیل رسیدن به الگوی کارآمد کاربرد این روش در برآوردکردن تولید و اندازه‌ی بار معلق منطقه‌های گوناگون ممکن است سودمند باشد.

فهرست منابع

Aher P, Adinarayana J, Gorantiwar SD. 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, 511: 850–860.

Ahmadi H. 2007. Applied geomorphology: Water Erosion (Volume 1), University of Tehran Publications, 714 p. (In Persian).

Ahmadzadeh H, Abdideh M, Qarashi M, Rangzan K, Arian, M. 2011. Relative assessment of active infrastructure using morphometric analysis, A case study of the Dez River Basin, Southwestern Iran, Quarterly Journal of Earth Sciences, 20(80): 33–46. (In Persian).

Alizadeh A. 2015. Applied hydrology, Imam Reza Publications, 972 p. (In Persian).

Aris MG, Varni M, Chagas C. 2016. Suspended sediment concentration controlling factors: An analysis for the Argentine Pampas region, Hydrological Science Journal, 61 (12): 2237–2248.

Asghari Saraskanrood S, Qala E. 2019. Investigating the relationship between hydrogeomorphic properties and sediment production (Case study: Qarnaqo Basin in East Azerbaijan Province), Quantitative Geomorphological Research, 8(1): 164–146. (In Persian).

Heidari Tashe Kaboud Sh, Rezai H. 2019. Estimation of suspended sediment load values of the river using colonial competition algorithm, Journal of Science and Engineering Elites, 14(2): 288–282. (In Persian).

Honarbakhsh A, Niazi A, Soltani Koopai S, Tahmasebi P. 2019. Modeling the relationship between sediment rate and hydrological and environmental characteristics of the basin (Case study: Dez Dam Basin), Quantitative Geomorphological Research, 8(1): 117–105. (In Persian).

Gholami L, Sadeghi HR, Khaledi Darvishan AW, Telluri AR. 2008. Storm-Wise sediment yield prediction using rainfall and runoff variables, Journal of Agricultural Sciences and Industries, 22(2): 263–271. (In Persian).

Fattahi MH, Talebzadeh Z. 2017. Relationship between catchment compression coefficient and its fractal properties, Iran Water Resources Research, 13(1): 203–191 .(In Persian).

Karami F, Bayati Khatibi M. 2019. Modeling

soil erosion and prioritizing sediment production in Sattarkhan Ahar dam basin using MUSLE and SWAT models, Hydrogeomorphology, 5(18): 137–115. (In Persian).

Lamb E, Toniolo H. 2016. Initial quantification of suspended sediment loads for Three Alaska North Slope Rivers, Water, 419 (8): 2–11.

Mahdavi M. 2015. Applied hydrology, University of Tehran Press. 342 p. (In Persian).

Motamedi R, Azari M. 2017. The relationship between geomorphic features and watershed sediment (Case study: Selected sub-basins of Khorasan Razavi), Environmental Erosion Research, 4(28): 82–101. (In Persian).

Naieby H. 2015. Advanced applied statistics with SPSS: Factor Analysis, Path Analysis, Cluster Analysis, Logistic Regression, Multivariate Regression, University of Tehran Press, 400 p.

Naseri F, Azari M, Dastarani M. 2019. Optimization of sediment level equation coefficients using genetic algorithm (Case study: Ghazaghli and Bagh Abbasi Stations), Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 9(35): 97–82. (In Persian).

Pal B, Samanta S, Pal DK. 2012. Morphometric and hydrological analysis and mapping for Watut watershed using remote sensing and GIS techniques, International Journal of Advances in Engineering & Technology, 12(1): 357–376.

Patrick Laceby J, McMahon J, Evrard O, Olley J. 2015. A comparison of geological and statistical approaches to element selection for sediment fingerprinting, Journal of Soils and Sediments, 15(8): 2117–2131.

Pohlert T. 2015. Projected climate change impact on soil erosion and sediment uield in the River Elbe catchment, Springer International Publishing Switzerland, pp. 97–108.

Salim AHA. 2014. Geomorphological analysis of the morphometric characteristics that determine the volume of sediment yield of Wadi Al-Arja, South Jordan, Journal of Geographical Sciences, 24(3): 457–474.

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.

Shayan S, Zare G, Yamani M, Sharifi Kia M. 2013. Analysis of the trend of statistical changes in discharge and sediment of the catchment area and its application in environmental planning, Iranian Journal of Applied Geomorphology, 1(2): 37– 50. (In Persian).

Sharma SK, Tiwari KN. 2009. Bootstrap based artificial neural network (BANN) analysis for hierarchical prediction of monthly runoff in Upper Damodar Valley Catchment, Journal of Hydrology, 374(3): 209–222.

Strahler AN. 1958. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms, Geological Society of America Bulletin, 69(3): 279–300.

Strahler AN. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology, Eos, Transactions American Geophysical Union, 38(6): 913–920.

Tamene L, Park SJ, Dikau R, Vlek PLG. 2006. Analysis of factors determining sediment yield variability in the highlands of northern Ethiopia, Geomorphology, 76(1): 76–91.

Zare chahuki MA. 2010. Data analysis in natural resources research using SPSS software, first edition, Jahad University Press: 309 p. (In Persian).

Zhang HY, Shi ZH, Fang NF, Guo MH. 2015. Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China, Geomorphology, 234(18): 19–27.

Ziegler AD, Benner G, Tantasirin C. 2014. Turbidity-based sediment monitoring in northern Thailand: Hysteresis, variability, and uncertainty, Journal of Hydrology, 519(11): 2020–2039.

Watershed Management Research

VOL. 35, No.3, Ser. No: 136, Autumn 2022, pp. 15 -26
DOI: 10.22092/WMRJ.2021.356199.1434

Research Paper

Relationship Between Geomorphic Factors and Parameters with Sediment in Rostamabad Watershed of Ilam Province

Shamsolah Asgari
(Corresponding Author)* Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran
Faridoon Soliemani
Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran
Kourosh Shirani
Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Isfahan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

Corresponding Author's Email: shamsasgari@yahoo.com
Received: 06 October 2021 Accepted: 25 November 2021

Abstract
Analysis of statistical relationships and quantitative factors and parameters affecting the production of sediment and soil loss is one of the problems of the watershed. The purpose of this study is to model the relationship between sediment production rate using MPSIAC experimental model factors and observed sediment rate using geomorphic parameters and their relationship with sediment yield in the watershed. Rastamabad watershed of Ilam province was selected by a simple random method with four sub-watersheds identified and equipped with a hydrometric station from the southern basins of Ilam province. In this study, an experimental model was used to estimate the sediment yield. Flow and sediment data of four hydrometric stations and 12 meteorological stations from 1991 to 2020 for 30 years were prepared by the Regional Water Company and the General Meteorological Office of Ilam Province. Physiographic information of the sub-watersheds was calculated from topographic maps with a scale of 1.25000 and the geomorphic features of the sub-watershed were extracted from the digital elevation model. Using factor analysis and cluster analysis, influential factors and variables were identified and sub-domains were classified and divided into homogeneous regions. In order to investigate the correlation between independent and dependent variables, the data normality test was performed by Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov tests in SPSS software. The statistical multiple regression method was used to analyze the relationship between experimental model factors and geomorphic variables with sediment yield of each watershed. The results showed that the sediment yield had a positive correlation with geological factors, land use, upland erosion, river erosion and topography of the watershed and was significant ($P\leq 0.001$). The amount of observed sediment had a positive correlation with slope, circulatory ratio, rainfall, topography, and area of the watershed and was significant ($P\leq 0.001$). In order to influence the factors and variables on the amount of sediment in the sub-watersheds, the method of principal component analysis and cluster analysis were used. The results showed that the land use explained 25.24% of the variance of all research variables. Finally, the three factors of land use, upland erosion, and geology, and two parameters of circulatory ratio and slope were explained at 86%. Of the variance of all research variables.

Keywords: Geomorphic properties, main components, multivariate regression, sediment