

- بررسی اثر پخش سیلاب بر شاخص‌های تنوع، غنا، تراکم و یکنواختی گونه‌ای بانک بذر خاک در ایستگاه
آبخیزداری کوثر
سید محمدرضا حبیبیان، محمدجواد روستا، مهرداد زرافشار..... ۲
- سنجش پایداری بُعد نهادی طرح‌های آبخیزداری در مقیاس محلی با رویکرد تحلیل شبکه‌ی اجتماعی در
روستاهای کتویه، کال و بهرستان، جنوب استان فارس
حسن مقیم، خانه محمدی کنگرانی، ارشک حلی‌ساز..... ۲۲
- تعیین تغییرات بیلان آب و انرژی در مقیاس‌های مختلف زمانی با استفاده از منحنی بودیکو در آبخیز نیر، اردبیل
رئوف مصطفی‌زاده، نازیلا علائی، فاطمه کاتب..... ۳۹
- ارزیابی کارایی مدل‌های G2 و IntErO در برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب سالانه در آبخیز معرف کسلیان،
استان مازندران
فائزه کمری یکدانگی، عبدالواحد خالدی درویشان، سهیلا آقابیک‌امین..... ۵۵
- بررسی تغییرات کاربری زمین و شاخص‌های حدی هوا-آب‌شناسی در آبخیز رود میناب
مریم عباس‌زاده، ام‌البنین بذرافشان..... ۷۴
- تأثیر اقدام‌های آبخیزداری بر متغیرهای آب‌شناختی با استفاده از مدل SWAT در آبخیز کن
محمدحسین قویمی‌پناه، لیلا غلامی، عطاله کاویان، سیدحمیدرضا صادقی..... ۹۳
- رفتارسنجی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بُعد فراکتال آبخیز بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب
علی طالبی، محمد ملکشاهی، حسین خورشیدی، مهین کله‌هوئی، سید هادی ابطحی..... ۱۱۰
- ارزیابی کارایی مدل‌های یادگیری ماشین در تهیه‌ی نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش در آبخیز بار نیشابور
علی دسترنج، ابراهیم کریمی‌سنگچینی، حمزه نور..... ۱۳۳



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

بررسی اثر پخش سیلاب بر شاخص‌های تنوع، غنا، تراکم و یکنواختی گونه‌ای بانک بذر خاک در ایستگاه آبخیزداری کوثر

سید محمدرضا حبیبیان^{۱*}، محمدجواد روستا^۲، مهرداد زرافشار^۳

- ۱ و ۳ - استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
- ۲ - دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

در سال‌های اخیر استفاده از سامانه‌های پخش سیلاب، یکی از مؤثرترین روش‌ها برای مهار آب‌های سطحی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است، که افزون بر کاهش اثرهای زیان‌بار سیلاب‌ها موجب کاهش فرسایش خاک، تقویت سفره‌های آب زیر زمینی، بهبود زمین‌های کشاورزی و احیای پوشش گیاهی مراتع می‌شود. در مراتع سیلابی از خصوصیات بانک بذر خاک اطلاعات اندکی وجود دارد. برای این موضوع هزینه و وقت زیادی صرف شده است. بسیاری از گونه‌های موجود در بانک بذر می‌تواند اثر عامل‌های محیطی و مدیریتی گذشته را تفسیر کند. شناسایی این منبع نقش مهمی در حفاظت و احیاء پوشش گیاهی دارد. از این رو، این پژوهش با هدف بررسی اثر پخش سیلاب بر شاخص‌های تنوع زیستی بانک بذر خاک برای احیا و بهبود پوشش گیاهی در مراتع ویران‌شده در ایستگاه آبخیزداری کوثر انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر پخش سیلاب روی ترکیب، تراکم، تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای بانک بذر خاک در دو منطقه‌ای پخش سیلاب و بدون پخش سیلاب (شاهد) در منطقه‌ای گریبانگان فسا از سال ۱۳۹۹ به مدت سه سال، پژوهش‌های بانک بذر اجراء شد. پس از شناسایی آغازین مرتع‌های عرصه‌ای پخش سیلاب در خرداد ماه ۱۳۹۹، مکان‌یابی دو منطقه معرف درون و خارج از پخش سیلاب (شاهد) انجام شد. نمونه‌برداری بانک بذر خاک در پاییز ۱۳۹۹ قبل از آغاز رویش بذرهای موجود در خاک انجام

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: smrhabibian@yahoo.com

استناد: حبیبیان، س.م.ر.، روستا، م.ج.، زرافشار، م. ۱۴۰۳. بررسی اثر پخش سیلاب بر شاخص‌های تنوع، غنا، تراکم و یکنواختی گونه‌ای بانک بذر خاک در ایستگاه آبخیزداری کوثر. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۲): ۲۱-۲.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.361934.1535

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۴۳، تابستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۲ تا ۲۱

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

نویسندگان



شد. در درون منطقه‌ی معرف (مرتفع پخش سیلاب‌شده در ۶ نوار) و شاهد (مرتفع بدون پخش سیلاب)، یک نوار اندازه‌گیری ۱۵۰ متری در جهت عمود بر شیب زمین مستقر شد. از روی هر نوار اندازه‌گیری با فاصله‌ی ۱۰ متر یک قطعه یک مترمربعی با روش تصادفی-نظام‌مند (۱۵ قطعه یا تکرار) مشخص شد. در چهار گوشه و مرکز هر قطعه‌ی یک مترمربعی گودالی به قطر ۷ سانتی‌متر و با ژرفای ۵- و ۱۰-۵ سانتی‌متر حفر شد. خاک‌های هر ژرفا به‌شکل جداگانه در پنج نقطه‌ی قطعه‌ی یک مترمربعی با هم ترکیب و به‌عنوان یک نمونه برای کاشت در سینی‌های مخصوص در گلخانه در نظر گرفته شدند.

نمونه‌های بانک بذر خاک به‌مدت چهار ماه برای شکسته‌شدن خواب بذر در یخچال نگهداری و سپس به‌مدت یک سال برای کشت به محیط گلخانه منتقل و با روش ظهور گیاهچه، بذرهای موجود در خاک که به‌تدریج سبز شدند، شناسایی و شمارش شدند. تحلیل‌های بانک بذر بر اساس شمارش گیاهچه‌های جوانه‌زده در گلخانه انجام شد. تراکم گونه‌های موجود در بانک بذر خاک با روش محاسبه‌ی مجموع تعداد بذر همه‌ی گونه‌ها در مترمربع انجام شد. برای تعیین شاخص‌های تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای از نرم‌افزار PAST استفاده شد. برای غنای گونه‌ای بانک بذر خاک از شاخص‌های مارگالف و منهینیک و برای تنوع از شاخص‌های شانون-وینر و سیمپسون و برای یکنواختی از شاخص هیل استفاده شد. برای مقایسه‌ی خصوصیات بانک بذر خاک (تراکم، غنا، تنوع و یکنواختی گونه‌ای) میان دو منطقه‌ی معرف مرتفع پخش سیلاب و مرتفع بدون پخش سیلاب (شاهد) از آزمون t مستقل و برای مقایسه‌ی میان دو ژرفای ۵- و ۱۰-۵ سانتی‌متری نیز از آزمون t جفتی استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری به‌وسیله‌ی نرم‌افزار R با استفاده از تحلیل پراکندگی یک‌طرفه انجام شد. همچنین، مقایسه‌ی میانگین‌ها با روش دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی‌های گلخانه‌ای نشان داد که ۵۳۴۰ شمار بذر در گلخانه جوانه‌زنی داشت، که در منطقه‌ی پخش سیلاب در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر ۳۷۵۶ شمار بذر و در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر ۱۱۹۰ شمار بذر رویش داشتند. در منطقه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد) نیز در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر ۳۲۹ شمار بذر و در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر ۶۵ شمار بذر رویش داشتند. تراکم بانک بذر در منطقه‌ی پخش سیلاب ایستگاه آبخیزداری کوثر در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر، به‌طور میانگین رویش ۱۱۳ بذر (از ۱۸ خانواده‌ی گیاهی و ۶۱ گونه) در مترمربع بود. در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر، به‌طور میانگین رویش ۳۶ بذر (از ۱۸ خانواده‌ی گیاهی و ۵۶ گونه) در مترمربع بود. تراکم بانک بذر در منطقه‌ی شاهد در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر، به‌طور میانگین رویش ۹/۹۶ بذر (از ۱۰ خانواده‌ی گیاهی و ۲۳ گونه) در مترمربع بود. در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر، میانگین رویش ۱/۹۶ بذر (از ۸ خانواده‌ی گیاهی و ۱۵ گونه) در مترمربع بود. در منطقه‌ی پخش سیلاب میانگین تراکم بذرهای سبز شده در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر خاک ۳/۱۴ برابر بیشتر از ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر خاک بود. در منطقه‌ی شاهد هم میانگین تراکم بذرهای سبز شده در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر خاک ۵/۰۸ برابر بیشتر از ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر خاک بود. نتایج تجزیه‌ی پراکنش نشان داد که تفاوت شاخص‌های تنوع زیستی (تراکم، تعداد گونه، تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای) میان نوارهای شبکه‌ی پخش سیلاب بیشه زرد ۱ و شاهد در ژرفای ۵- و ۱۰-۵ سانتی‌متر بانک بذر خاک در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود. همچنین، در دو منطقه‌ی پخش سیلاب و بدون پخش سیلاب (شاهد) نتایج آزمون t نشان داد که تفاوت شاخص‌های تنوع زیستی میان ژرفای ۵- و ۱۰-۵ سانتی‌متر بانک بذر خاک در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طور کلی می‌توان گفت که اجرای عملیات پخش سیلاب در منطقه‌ی مطالعه‌شده زیست‌بوم ویژه‌ای ایجاد کرده است که سبب بهبود شرایط محیطی مانند رطوبت کافی و ماده آلی مناسب در منطقه شده است. همچنین، بر افزایش تراکم و تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای بانک بذر خاک و ترکیب گونه‌ای تأثیر قابل توجهی داشته است. بنابراین از این ظرفیت بانک بذر می‌توان برای احیای این منطقه و مناطق مشابه استفاده کرد. در نهایت نتایج این پژوهش نشان داد بانک بذر خاک منطقه‌ی مزبور پاسخ مثبتی به اجرای عملیات پخش سیلاب است به‌شکلی که در منطقه‌ی پخش سیلاب بیشترین تراکم، تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای ذخیره‌بذری خاک مشاهده شد. پیشنهاد می‌شود طرح‌های بررسی تأثیر پخش سیلاب بر شاخص‌های تنوع زیستی در قطعه‌های جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف اکالیپتوس، آکاسیا و همچنین قطعه‌های بوته‌کاری با گونه‌ی آتریپلکس همراه با قطعه‌ی شاهد در گریبانگان فسا انجام شود و نتایج با هم مقایسه شوند. نتایج این پژوهش را می‌توان در حفظ تنوع گیاهی، حفظ ذخیره‌های ژنتیکی و احیاء و مدیریت پوشش گیاهی منطقه به‌کار برد.

واژگان کلیدی: تنوع زیستی، جوانه زنی بذر، دشت گریبانگان فسا، سیل

مقدمه

در دهه‌های اخیر پخش سیلاب روی زمین‌های هموار دشت‌ها و ذخیره آن در آبخوان‌ها، یکی از روش‌های تغذیه مصنوعی است که توجه خاصی به آن شده است. یکی از اهداف مهم این طرح‌ها استفاده از سیلاب‌های فصلی است که در مناطق خشک و نیمه خشک رخ می‌دهند. این روش بیشتر در مناطق با خاک‌های با بافت سبک و در شیب‌های کم قابل اجرا است.

یکی از مؤلفه‌های اصلی مسائل زیست محیطی تنوع زیستی است و کاهش شدید تنوع زیستی پاسخ پیچیده‌ای از تغییرات زیست محیطی است (پریه اگو سانتاندر ۲۰۱۳). بحث و بررسی تنوع زیستی به موازات جنبه علمی و دانشگاهی آن، یکی از تأثیرگذارترین مسائل مرتبط با سیاست‌های زیست محیطی است (نوری و همکاران ۲۰۱۱). بررسی بوم‌شناختی تنوع گیاهی اهمیت بسزایی دارد و یکی از شیوه‌های اصولی دستیابی به پایداری نسبی بوم‌شناختی، توجه به حفظ و افزایش تنوع گونه‌ای در اجرای عملیات زیستی است (سالاریان و همکاران ۲۰۱۱). یکی از هدف‌های اصلی حفاظت زیستی کمی کردن تنوع گونه‌ای است. از این رو، پژوهش‌های زیادی برای کمی کردن و روش‌های اندازه‌گیری تغییرات تنوع گیاهی انجام شده است. یکی از رویکردهای مهم برای اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای، شاخص‌های تنوع است (اوکونور و همکاران ۲۰۱۱). تجزیه و تحلیل تنوع جامعه‌های گیاهی درک و آگاهی از پایداری و ثبات بوم‌نظام را بهبود می‌بخشد و راهنمای خوبی برای راهبردهای مدیریت پایدار به‌شمار می‌آید (آذرنیوند و زارع‌چاهوکی ۲۰۱۱). نجفی شبانکاره و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی بانک بذر خاک در جامعه‌های گیاهی منطقه‌ای حفاظت‌شده گنو نشان دادند که تعداد بذر در ژرفای ۵-۵ سانتی‌متر خاک (۲۹۳۳ شمار بذر) در مقایسه با تعداد بذر در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر خاک (۱۰۰۱ شمار بذر) حدود کمتر از سه برابر بود. تفاوت تعداد و تراکم بذر میان ژرفای ۵-۵ سانتی‌متر خاک با لایه‌ی ۱۰-۵ سانتی‌متر آن معنی‌دار بود. این پژوهشگران دریافتند که تفاوت تعداد تراکم بذر در بانک بذر خاک، در لایه‌های سطحی خاک در مقایسه با لایه‌های ژرف‌تر معنی‌دار بود. در این بررسی، در بانک بذر خاک اغلب گونه‌ها یک‌ساله بودند و به‌عبارت دیگر گونه‌های چندساله به‌ویژه فانروفیت‌ها در بانک بذر خاک کمتر مشاهده شدند.

کمالی و همکاران (۲۰۱۲) میان جامعه‌های چراشده و چراننده خصوصیات بانک بذر خاک (تراکم، غنا) و تشابه آن با پوشش سطحی زمین را مقایسه کردند و نشان دادند که چرای دام تأثیر معنی‌داری روی غنای گونه‌ای بانک بذر خاک داشت و غنای گونه‌ای بانک بذر خاک در لایه‌ی سطحی به‌شکل معنی‌داری بیشتر از لایه‌ی پایینی بود. در پژوهشی نظری و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که ۷۰٪ از تراکم بانک بذر خاک در ژرفای صفر تا پنج سانتی‌متر خاک بود و بانک بذر لایه‌ی

سطحی خاک در مقایسه با لایه‌ی پایینی به‌شکل معنی‌داری غنا و تنوع گونه‌ای بیشتری داشت. همچنین، این پژوهشگران دریافتند که پوشش گیاهی سطح زمین غنا و تنوع بیشتری در مقایسه با بانک بذر خاک داشت.

تغییرات پوشش گیاهی در سامانه‌های پخش سیلاب ممکن است به‌دلیل رسوبات حمل‌شده به‌وسیله‌ی سیلاب باشد (قربانی و همکاران ۲۰۱۵). مواد آلی، معدنی، و بذر گونه‌های گیاهی در رسوبات حمل‌شده وجود دارد. همچنین، سیلاب می‌تواند به‌عنوان مخزنی از بذر گونه‌های گیاهی باشد (لی و همکاران ۲۰۱۴) و نقش مهمی در پراکنش بذرها در دشت‌های سیلابی دارد (هیشی و همکاران ۲۰۱۲). نرخ پراکنش، ترکیب و الگوی توزیع بذر تحت تأثیر محدوده، مدت زمان و فراوانی سیلاب است (اوسونکویا و همکاران ۲۰۱۴). احتمال تغییر در اندازه‌ی بذر گونه‌ها در خاک به دلیل اجرای پخش سیلاب در ارتباط با دو سازوکار است. نخست این که رطوبت ناشی از پخش سیلاب به استقرار بهتر گونه‌های گیاهی و تولید بذر آنها کمک می‌کند و بذرهای تولیدشده می‌توانند به بانک بذر خاک اضافه شوند. سازوکار دوم احتمال جابه‌جایی و ورود بذرها به‌وسیله‌ی رسوبات است (هیشی و همکاران ۲۰۱۲). در دهه‌های اخیر اثر پخش سیلاب بر مؤلفه‌های خاکی و پوشش گیاهی بررسی شده است، اما تاکنون در پژوهش‌های داخلی اثر پخش سیلاب بر بانک بذر خاک بررسی نشده است و در خارج از کشور نیز بیشتر اثرات دشت‌های سیلابی بر بانک بذر خاک بررسی شده است. در برزیل در پانتانال شمالی پاتاگو و همکاران (۲۰۱۱) اثر سیلاب بر بانک بذر خاک بررسی کردند و دریافتند که مدت زمان سیلاب نقش مهمی در تعیین بانک بذر خاک در منطقه‌ی مزبور داشت و سیلاب موجب تغییر فراوانی، غنا و ترکیب گیاهی بانک بذر خاک شد. در زیگویی چین نتایج پژوهش ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که سیلاب‌های فصلی موجب تغییر تنوع زیستی و تراکم بذرها در بانک بذر خاک در ژرفای‌های گوناگون خاک شد. سوزا و همکاران (۲۰۱۶) اثر سیل بر ظهور گیاهچه از بانک بذر خاک را بررسی کردند و دریافتند که سیلاب بر غنا و فراوانی گیاهچه‌ها تأثیر سودمندی داشت و علفی‌های یک‌ساله یعنی گندمیان یک‌ساله بیشترین فراوانی را داشتند. با اندازه‌گیری تنوع و بررسی توزیع گونه‌ها و با تأکید بر پویایی بوم‌نظام‌ها می‌توان توصیه‌های مدیریتی لازم را پیشنهاد داد.

در استان مازندران نتایج بررسی جلیلیان و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که تفاوت شاخص‌های تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای در تیمارهای پخش سیلاب قرق‌شده و پخش سیلاب چراشده معنی‌دار بود و بیشترین تنوع و غنای گونه‌ای در تیمارهای پخش سیلاب و قرق مشاهده شد. این پژوهشگران گزارش کردند که پخش سیلاب می‌تواند نقش مفیدی در اصلاح و احیا مراتع داشته باشد و شیوه‌ی آبیاری سیلابی می‌تواند باعث بهبود برخی شاخص‌های مرتع (افزایش تولید، تقویت درصد

(۲۰۲۳) نشان داد که چرای متوسط و شدید دام باعث تغییر نوع گونه‌ای در منطقه‌ی مزبور شد، به‌شکلی که با افزایش شدت چرا، گونه‌های کریپتوفیت و تروفیت کاهش یافت و گونه‌های همی کریپتوفیت، فانروفیت و کامفیت در منطقه افزایش یافت. همچنین، شاخص‌های تنوع پوشش گیاهی و بانک بذر در منطقه چرای شدید در مقایسه با منطقه‌ی قرق بسیار کمتر بود، در حالی که شاخص‌های تنوع زیستی در منطقه‌ی چرای متوسط در مقایسه با چرای شدید اندازه‌ی بیشتری داشت.

در مراتع کنگاور رضایی و همکاران (۲۰۲۳) با ارزیابی یک‌سال پس از اثر آتش‌سوزی روی بانک بذر در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر خاک دریافتند که شاخص‌های تنوع، غنا گونه‌ای به‌طور معنی‌دار کاهش یافت اما تأثیر معنی‌داری روی شاخص یکنواختی نداشت. ارزیابی آنها در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر نیز نشان داد که آتش‌سوزی تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های تنوع زیستی نداشت. بعد از آتش‌سوزی طبقه‌بندی گیاهان در شکل‌های زیستی آن تغییر پیدا کرد و اندازه‌ی گیاهان کریپتوفیت ۸٪ و همی کریپتوفیت ۶٪ کاهش یافت. همچنین آتش‌سوزی سبب شد درصد قابل توجهی از پوشش، گیاهان یک‌ساله علفی شود و تعداد بذر در لایه‌ی سطحی (۵-۱۰ سانتی‌متر) به شدت کاهش یافت.

نتایج بررسی واکنش تنوع گونه‌های گیاهی در مقایسه با آبیاری سیلابی در شمال چین به‌وسیله‌ی یونگ‌هوئی و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که پس از سه سال سیل، شاخص‌های تنوع زیستی در پایین‌دست رود یارکانت و رود تاریم به‌شکل قابل توجهی افزایش یافت و ۱۱ گونه‌ی گیاهی جدید ظاهر شد. همچنین، این پژوهشگران گزارش کردند که با افزایش فاصله از کانال رود، تراکم گیاه و تنوع گونه‌ای کاهش یافت. روند سیل از عامل‌های اصلی تأثیرگذار بر توزیع است. آنها گونه‌های گیاهی و آب را از عامل‌های محدودکننده‌ی اصلی رشد گیاهان در مناطق خشک دانستند و گزارش کردند که جنگل‌های ساحلی بیابانی پس از سیل به‌شکل قابل توجهی بهبود یافتند و سیل باعث افزایش بازسازی شد. این پژوهشگران پیشنهاد کردند که ظرفیت و تنوع گونه‌ای جامعه‌های گیاهی در جنگل‌های ساحلی بیابانی برای حفظ روند فعلی بهبود بوم‌شناختی، باید آبیاری غرقابی ادامه یابد.

اکثر گونه‌های خوشخوراک بومی و مرتعی در اثر شدت چرا و بهره‌برداری بیش از ظرفیت از بین رفته‌اند و گونه‌های خشبی، مهاجم و غیرخوشخوراک جایگزین شده‌اند. پوشش گیاهی از منابع اساسی مرتع است و کلیه برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت‌ها برای حفظ و بهره‌برداری بهینه از آن می‌باشد. برای مدیران و سیاست‌گذاران دستیابی به سنجه‌های مختلف کمی و کیفی پوشش گیاهی و بستر خاکی آن، در تعیین ظرفیت، وضعیت (سلامت) مرتع و در نهایت اعمال مدیریت صحیح ضروری است. از این رو، این پژوهش با هدف بررسی اثر پخش سیلاب بر شاخص‌های تنوع زیستی بانک بذر خاک برای احیا و بهبود

تاج پوشش گیاهی، وضعیت مرتع، گروه‌های گیاهی، تنوع و غنای گونه‌ای و ترکیب و تراکم گونه‌های گیاهی) شود.

در ایستگاه پخش سیلاب گربایگان فسا غلامی و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که مقایسه‌ی میانگین بانک بذر خاک گروه‌های کارکردی بیان‌گر افزایش تراکم بذر آنها در پخش سیلاب بود. تحلیل چند متغیره (RDA) نشان داد که گروه‌های کارکردی تحت تأثیر عملیات پخش سیلاب بود. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که عملیات پخش سیلاب، تأثیر سودمندی بر تراکم بانک بذر خاک گروه‌های کارکردی داشت. همچنین نقش پرستاری گونه‌ی آتریپلکس (*Atriplex lentiformis*) در افزایش تراکم بانک بذر گروه‌های کارکردی مشاهده شد.

در پژوهشی عشوری و همکاران (۲۰۲۰) در مرتع لزور فیروزکوه گزارش کردند که تروفیت‌ها و پهن‌برگان علفی یک‌ساله و همچنین خانواده *Poaceae* بیشترین درصد گونه‌ها را در بانک بذر خاک داشتند. با توجه به حضور کل گونه‌های بانک بذر در فهرست پوشش گیاهی منطقه‌ی بررسی‌شده، شاخص تشابه سورنسون ۶۷٪ برآورد شد. گونه‌ی *Bromus tomentellus* در ایجاد ماتریس شباهت میان پوشش روی زمین و بانک بذر خاک بیشترین سهم را داشت. گونه‌ی *Poa bulbosa* با داشتن حداقل ۷۱ شمار بذر در مترمربع به‌شکل معنی‌داری یکی از گونه‌های اختصاصی با ارزش در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر بانک بذر خاک برآورد شد. همچنین این پژوهشگران گزارش کردند که گونه‌های مهم و با کاربردهای حفاظتی از دیدگاه علوم مرتع شامل *Festuca ovina*, *Lactuca orientalis*, *Stipa holosericea*, *Thymus pubescens*, *Bromus tomentellus* و *Astragalus lilacinus* بودند که این گونه‌ها به‌ترتیب با داشتن حداقل ۹۱۳، ۲۶۹، ۲۳۴، ۱۲۰، ۵۷ و ۱۴ شمار بذر در مترمربع خاک برای احیا مرتع لزور در شرایط نابودی پوشش گیاهی سطح زمین کاربرد خواهند داشت. در ایستگاه آبخیزداری کوثر نتایج پژوهش غلامی و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که از ۴۲ گونه‌ی گیاهی شناسایی‌شده در بانک بذر خاک، در سه منطقه‌ی پخش سیلاب، پخش سیلاب همراه با آتریپلکس کاری، و منطقه‌ی شاهد به‌ترتیب ۴۰، ۴۰ و ۲۴ گونه‌ی گیاهی وجود داشت. بیش‌ترین اندازه‌ی شاخص‌های تنوع و غنای گونه‌ای در منطقه‌ی پخش سیلاب بود. تحلیل افزونگی نشان داد که ترکیب گونه‌ای و گروه‌های بانک بذر خاک عرصه، به‌دلیل اجرای پخش سیلاب و بوته‌کاری با گونه‌ی آتریپلکس (*Atriplex lentiformis*) بود. در نهایت نتیجه‌ی این پژوهش نشان داد که بعد از گذشت حدود ۳۵ سال از اجرای پخش سیلاب در منطقه، تأثیر سودمند آن بر شاخص‌های ترکیب، تنوع و گروه‌های کارکردی بانک بذر خاک مشاهده می‌شود.

نتایج بررسی زاگرس میانی به‌وسیله‌ی احمدی و همکاران

۱۳۴۲ پهنه‌ی شن‌زار حدود ۵۴۰۰ هکتار بود اما مساحت آن در سال ۱۳۶۸ ۶۰۰۰ هکتار شد (پاک‌پرور ۲۰۱۷).

براساس روش دمارتن اقلیم منطقه، نیمه‌خشک بیابانی است. میانگین بارش سالانه (۱۴۰۱-۱۳۹۵) ۲۵۳/۹۸ میلی‌متر برآورد شد. براساس آمار ۲۴ ساله (۱۳۹۴-۱۳۷۱) ایستگاه آبخیزداری کوثر، مشخصه‌های اقلیمی عبارت است از: میانگین بارش سالانه، ۲۱۹ میلی‌متر؛ دمای بیشینه، 43°C ؛ دمای کمینه، -7°C ؛ میانگین دمای سالانه، 20°C ؛ میانگین تبخیر سالانه، ۲۵۴۸ میلی‌متر؛ میانگین تعداد روزهای یخبندان، ۲۶ روز در سال (قهاری ۲۰۱۵).

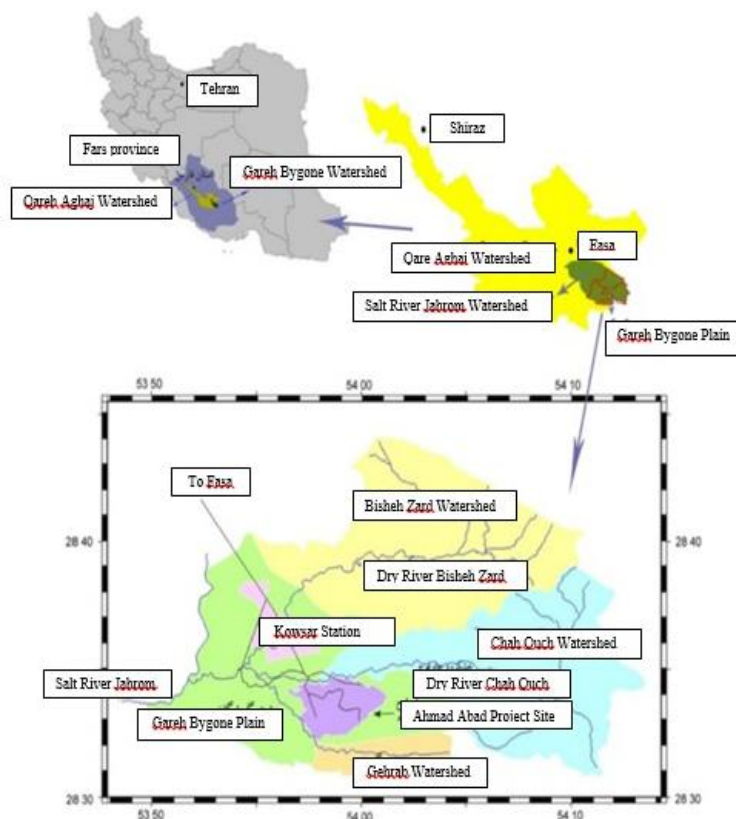
بر اساس تقسیم‌بندی مبین و ترگوبوف (۱۹۷۰) دشت گربایگان

پوشش گیاهی در مراتع ویران شده در ایستگاه آبخیزداری کوثر انجام شد.

مواد و روش‌ها

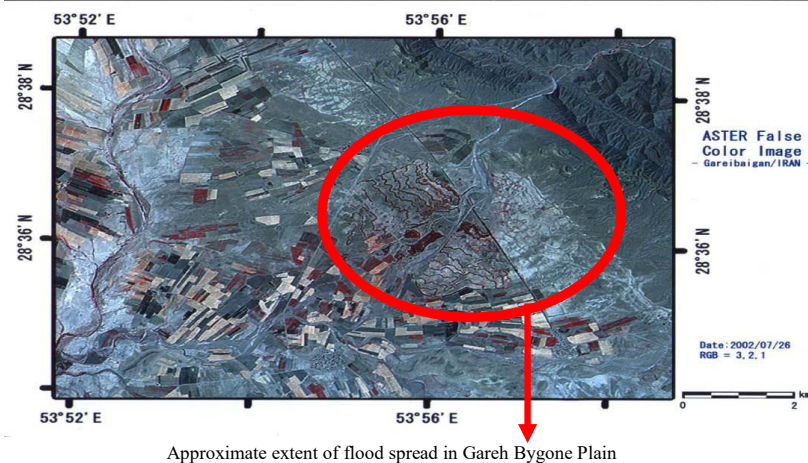
معرفی منطقه‌ی بررسی شده

ایستگاه تحقیقاتی، آموزشی و ترویجی آبخیزداری کوثر با مساحت ۲۲۰۰ هکتار (شکل‌های ۱ و ۲)، میان عرض‌های شمالی $28^{\circ}35'$ تا $28^{\circ}41'$ و طول‌های شرقی $53^{\circ}53'$ تا $53^{\circ}57'$ ، در دشت گربایگان (در جنوب شرق شیراز و فسا)، بلندی ایستگاه ۱۱۲۰ تا ۱۱۶۰ متر از سطح دریا و بر مخروط افکنه‌ای (شن‌زار) کم‌ژرف تا نسبتاً ژرف است. در سال



شکل ۱- موقعیت دشت گربایگان و ایستگاه آبخیزداری کوثر در ایران، فارس و آبخیز قره‌آغاچ.

Figure 1- Location of Gareh Bygone Plain and Aquifer Management Kowsar Station in Iran, Fars and Qare-Aghaj Basin Watershed.



شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای محدوده گسترش سیلاب در دشت گریبگان در سال ۲۰۰۲.
Figure 2- Satellite Image of the Flood Spreading Area in Gareh Bygone Plain in Year 2002.

شد. سپس به مدت یک سال برای کشت به محیط گلخانه منتقل شد و شناسایی و شمارش بذره‌های سبز شده در خاک با روش ظهور گیاهچه انجام شد. براساس شمارش گیاهچه‌های جوانه زده در گلخانه تحلیل‌های بانک بذر انجام شد.

شناسایی بذرها در گلخانه

ابتدا سنگ و سنگ‌ریزه‌ها، بقایای ریشه‌های گیاهی، ریزوم‌ها و پیازها از نمونه‌های خاک جدا شدند. سپس در گلخانه نمونه‌ها درون ظروف پلاستیکی که ته آنها حاوی چند سوراخ ریز برای جذب آب بود، ریخته شدند. ته ظروف به ژرفای سه سانتی‌متر از ماسه استریل شده پر شد تا جذب و نگهداری رطوبت به خوبی انجام شود. ظروف مربوط به نمونه‌ها روی میزها در گلخانه تحت شرایط طبیعی گذاشته شد. آبیاری به‌طور منظم و بر اساس نیاز ظروف به شکل مه‌پاش و با استفاده از سمپاش ۲۰ لیتری انجام شد. گیاهچه‌ها به شکل هفتگی شناسایی و ثبت شدند. سپس به آرامی و به شکلی که خاک ظروف به هم نخورد جدا شدند تا محیط برای رویش بذره‌های دیگر مهیا شود. گونه‌هایی که شناسایی نشدند، کدگذاری و به ظروف بزرگتر انتقال یافتند تا پس از رشد کافی شناسایی شوند. همچنین، در محیط گلخانه تعدادی ظرف که فقط حاوی ذرات ماسه استریل شده بودند، به عنوان نمونه‌های شاهد، در نظر گرفته شدند. ثبت و شمارش گیاهچه‌های سبز شده به شکل هفتگی یک بار، دو هفته یک بار و ماهی یک بار انجام شد و به مدت یک سال تا زمانی که دیگر گیاهچه جدیدی سبز نشد ادامه داشت. نمونه‌برداری از بانک بذر خاک، روش استریل کردن ماسه بادی، آبیاری به شکل مه‌پاش و گیاهچه‌های سبز شده در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است.

از دیدگاه رویشی در حد فاصل مناطق رویشی ایران - تورانی (منطقه‌ی نیمه بیابانی) و خلیج عمانی است. از مهم‌ترین گونه‌های گیاهی در مناطق بالادست آبخیز بیشه‌زرد تک درختان و درختچه‌های بنه (*Pistacia atlantica*)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia*)، در کناره‌ی مسیل‌ها پده (*Populus euphratica*)، گز (*Tamarix*)، دیوخر (*Lycium shawii*)، پرند (*Pteropryum*)، رملیک (*Ziziphus nummularia*) و در دشت، درمنه (*Artemisia sieberi*)، کهورک (*Prosopis*)، اسفناج وحشی (*Atriplex leucoclada*)، گون (*Astragalus spp*)، گندمیان و بقولات یک‌ساله و چندساله می‌باشند (مصباح ۲۰۱۶).

روش پژوهش

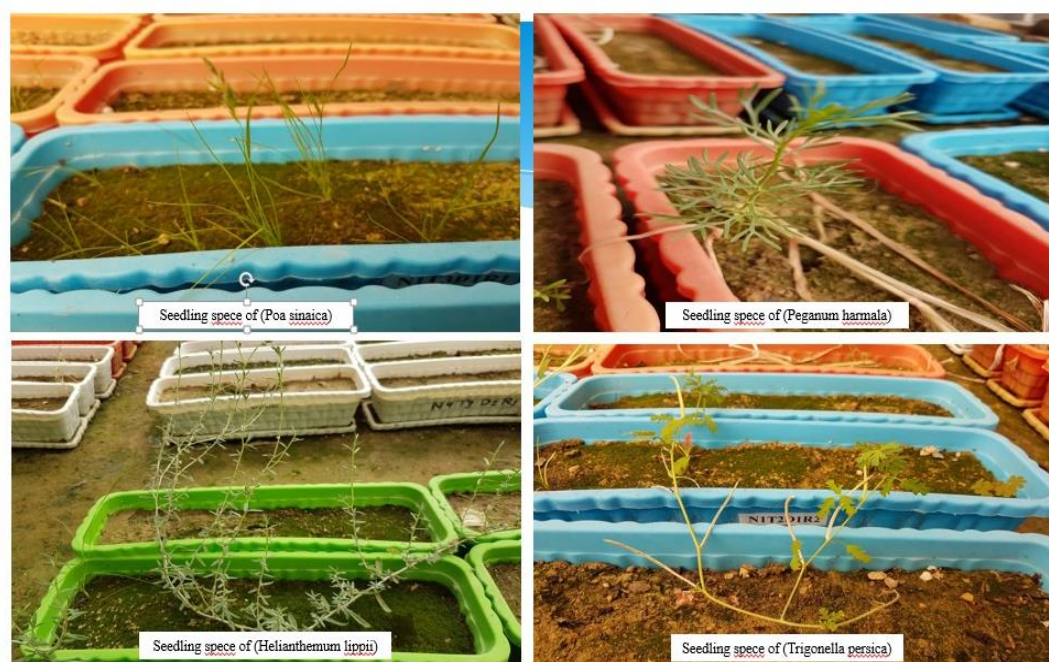
نمونه‌گیری بانک بذر خاک

نمونه‌برداری بانک بذر خاک در پاییز ۱۳۹۹ قبل از آغاز رویش بذره‌های موجود در خاک انجام شد. در درون منطقه‌ی معرف (مرتفع پخش سیلاب در ۶ نوار) و شاهد (مرتفع بدون پخش سیلاب)، یک نوار اندازه‌گیری ۱۵۰ متری در جهت عمود بر شیب زمین مستقر شد. از روی هر نوار اندازه‌گیری با فاصله‌ی ۱۰ متر یک قطعه یک مترمربعی به شکل تصادفی-نظاممند (۱۵ قطعه یا تکرار) مشخص شد. در چهار گوشه و مرکز هر قطعه یک مترمربعی گودالی به قطر ۷ سانتی‌متر و به ژرفای ۵-۱۰ و ۵-۱۰ سانتی‌متر حفر شد. خاک‌های هر ژرفا به شکل جداگانه در پنج نقطه قطعه یک مترمربعی با هم ترکیب و به عنوان یک نمونه برای کاشت در سینی‌های مخصوص در گلخانه در نظر گرفته شدند. نمونه‌های بانک بذر خاک به مدت چهار ماه به منظور شکسته شدن خواب بذر در یخچال نگهداری



شکل ۳- تصویر مراحل اجرای پژوهش (نمونه‌برداری از بانک بذر خاک در عرصه، استریل کردن ماسه بادی، آماده کردن بستر کاشت و آبیاری سینی‌های کاشت)

Figure 3- Images of the research implementation stages (sampling from the soil seed bank in the field, sterilizing the blown sand, preparing the planting bed and watering the planting trays)



شکل ۴- گیاهچه‌های تازه نورسته از چند گونه‌ی گیاهی در گلدان‌های مخصوص کاشت نمونه‌های بانک بذر خاک در گلخانه.

Figure 4- Newly emerged seedlings of several plant species in special pots for planting soil seed bank samples in the greenhouse.

بررسی شکل زیستی عنصرهای گیاهی

شکل زیستی ترکیب گیاهی موجود در بانک بذر خاک براساس شکل‌های زیستی رانکیاتر تعیین شد. از این رو، شکل‌های زیستی گونه‌ها (فانروفیت، کامفیت، کریپتوفیت، همی کریپتوفیت ژئوفیت و تروفیت‌ها) در مرتع با پخش سیلاب و بدون پخش سیلاب (شاهد) بررسی و مقایسه شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تحلیل‌های مربوط به بانک بذر براساس تعداد گیاهچه‌های جوانه‌زده و شمارش شده در گلخانه انجام شد. تراکم بانک بذر خاک با محاسبه‌ی تعداد بذر هر گونه در مترمربع انجام شد. برای تعیین شاخص‌های تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای از نرم‌افزار PAST استفاده شد. برای غنای گونه‌ای بانک بذر خاک از شاخص‌های مارگالف و منهینیک، برای تنوع از شاخص‌های شانون-وینر و سیمپسون و برای یکنواختی از شاخص هیل استفاده شد. برای مقایسه‌ی خصوصیات بانک بذر خاک (تراکم، غنا، تنوع و یکنواختی گونه‌ای) میان دو منطقه‌ی معرف مرتع با پخش سیلاب و مرتع بدون پخش سیلاب (شاهد) و همچنین برای مقایسه‌ی خصوصیات بانک بذر خاک در دو ژرفای ۵-۰ و ۱۰-۵ سانتی‌متر نیز از آزمون t استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری به‌وسیله‌ی نرم افزار R با استفاده از تحلیل پراکندگی یک‌طرفه انجام شد. مقایسه‌ی میانگین‌ها با روش دانکن انجام شد.

نتایج

گیاهچه‌های سبز شده در بانک بذر

شناسایی گیاهچه‌های سبز شده در بانک بذر عرصه‌ی پخش سیلاب

از دیدگاه درصد طول عمر گیاهچه‌های سبز شده موجود در بانک بذر در عرصه‌ی پخش سیلاب، از ۶۱ گونه‌ی شناسایی شده ۳۵ گونه (۵۸٪) یک ساله و ۲۶ گونه (۴۲٪) چند ساله بود. از دیدگاه فلوریستیک از ۶۱ گونه‌ی شناسایی شده در بانک بذر عرصه‌ی پخش سیلاب، ۲۲ گونه (۳۶٪) متعلق به خانواده‌ی Poaceae، ۱۲ گونه (۱۹٪) متعلق به خانواده‌ی Asteraceae، ۷ گونه (۱۱٪) متعلق به خانواده‌ی Papilionaceae، ۵ گونه (۸٪) متعلق به خانواده‌ی Brassicaceae، ۳ گونه (۵٪) متعلق به خانواده‌ی Chenopodiaceae، ۲ گونه (۳٪) متعلق به خانواده‌ی Lamiaceae، ۲ گونه (۳٪) متعلق به خانواده‌ی Apiaceae، ۲ گونه (۳٪) متعلق به خانواده‌ی Caryophyllaceae و ۸ گونه‌ی دیگر (۱۲٪) به ۸ خانواده‌ی گیاهی تعلق داشتند.

از دیدگاه درصد شکل‌های زیستی رانکیاتر گیاهچه‌های سبز شده موجود در بانک بذر عرصه‌ی پخش سیلاب، از ۶۱ گونه‌ی گیاهی شناسایی شده، ۲۳ گونه (۳۷٪) متعلق به Therophytes، ۱۵ گونه (۲۵٪) متعلق به Hemicyptophytes، ۱۱ گونه

(۱۹٪) متعلق به Geophytes، ۵ گونه (۸٪) متعلق به Chamaephytes، ۵ گونه (۸٪) متعلق به Phanerophytes و ۲ گونه (۳٪) به شکل زیستی Cryptophytes تعلق داشتند. **شناسایی گیاهچه‌های سبز شده در بانک بذر در عرصه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد)**

از دیدگاه درصد طول عمر گیاهچه‌های سبز شده موجود در بانک بذر در عرصه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد)، از ۲۳ گونه‌ی شناسایی شده ۱۷ گونه (۷۴٪) یک‌ساله و ۶ گونه (۲۶٪) چند ساله بود.

از دیدگاه فلوریستیک از ۲۳ گونه‌ی شناسایی شده، ۱۱ گونه (۴۸٪) متعلق به خانواده‌ی Poaceae، ۲ گونه (۹٪) متعلق به خانواده‌ی Apiaceae، ۲ گونه (۹٪) متعلق به خانواده‌ی Chenopodiaceae، ۲ گونه (۸٪) متعلق به خانواده‌ی Papilionaceae و ۶ گونه‌ی دیگر (۲۶٪) به ۶ خانواده‌ی گیاهی تعلق داشتند.

از دیدگاه درصد شکل‌های زیستی رانکیاتر گیاهچه‌های سبز شده موجود در بانک بذر در عرصه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد)، از ۲۳ گونه‌ی گیاهی شناسایی شده، ۸ گونه (۳۵٪) متعلق به Therophytes، ۶ گونه (۲۶٪) متعلق به Geophytes، ۲ گونه (۹٪) متعلق به Hemicyptophytes، ۲ گونه (۹٪) متعلق به Phanerophytes و ۲ گونه (۸٪) به شکل زیستی Chamaephytes تعلق داشتند.

وضعیت تراکم و ترکیب گونه‌های گیاهچه‌های سبز شده در گلخانه (نمونه‌های بانک بذر در عرصه‌های پخش سیلاب و شاهد) در منطقه بررسی شده

نتایج بررسی‌های گلخانه‌ای نشان داد که ۵۳۴۰ شمار بذر در گلخانه جوانه‌زنی داشت که در منطقه‌ی پخش سیلاب در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر ۳۷۵۶ شمار بذر و در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر ۱۱۹۰ شمار بذر سبز شدند. در منطقه‌ی شاهد (بدون عملیات پخش سیلاب) نیز در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر ۳۲۹ شمار بذر و در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر ۶۵ شمار بذر سبز شدند. در کشت گلخانه‌ای بیشترین بذر جوانه‌زده مربوط به گونه‌ی *Hordeum spontaneum* از خانواده‌ی Poaceae با تراکم ۳۰۹ شمار بذر در مترمربع و ترکیب گونه‌ای ۸/۲۷٪ در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر خاک در عرصه‌ی پخش سیلاب بود. کمترین بذر جوانه‌زده مربوط به گونه‌ی *Peganum harmala* از خانواده‌ی Zygophyllaceae با تراکم ۲ شمار بذر در مترمربع و ترکیب گونه‌ای ۱/۸۴٪ در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر خاک در عرصه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد) بود. بذره‌ای ۲۲ گونه (۲) گونه‌ی چند ساله و ۲۰ گونه‌ی یک‌ساله (به شکل گیاهچه در نمونه‌های بانک بذر در گلخانه سبز و ثبت شدند ولی این گونه‌ها در فهرست پوشش گیاهی روی زمین مشاهده نشدند. این فهرست عبارت بود از:

خانواده‌ی گیاهی و ۲۳ گونه) در مترمربع بود. تراکم بانک بذر در قطعه‌ی شاهد در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر، به‌طور میانگین رویش ۱/۹۶ بذر (از ۸ خانواده‌ی گیاهی و ۱۵ گونه در مترمربع بود. به‌طور کلی در زمین‌های پخش سیلاب میانگین تراکم بذرهای سبزشده در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر خاک ۳/۱۴ برابر بیشتر از ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر خاک بود. در قطعه‌ی شاهد هم تراکم بذرهای سبزشده در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر خاک ۵/۰۸ برابر بیشتر از ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر خاک بود.

در عرصه‌ی پخش سیلاب ایستگاه آبخوانداری کوثر، در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر خاک، تراکم بانک بذر ۱۱/۳۴ برابر در مقایسه با همین ژرفا در قطعه‌ی شاهد بود. همچنین، در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر خاک، بذرهای سبزشده در گلخانه ۱۸/۳۶ برابر در مقایسه با همین ژرفا در قطعه‌ی شاهد بود. در عرصه‌ی پخش سیلاب گربایگان میانگین تراکم سبز شدن بذرهای در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر در ۹ گونه‌ی گیاهی برابر با ۴۰/۵٪ از پوشش گیاهی منطقه

(*Anisosciadium orientale*, *Sonchus arvensis*, *Spergularia marina*, *Boissiera squarrosa*, *Poa sinaica*, *Hordeum spontaneum*, *Aegilops triuncialis*, *Bromus rubens*, *Adonis aestivalis*) ۴۵/۷۶ بذر در مترمربع بود.

در حالی‌که در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر در همین عرصه در ۹ گونه‌ی گیاهی برابر با ۴۰/۸۴٪ از پوشش گیاهی منطقه (*Anisosciadium orientale*, *Alyssum campestre*, *Spergularia marina*, *Boissiera squarrosa*, *Bromus tectorum*, *Poa sinaica*, *Hordeum spontaneum*, *Aegilops triuncialis*, *Bromus rubens*, *Adonis aestivalis*)

۱۴/۷ بذر در مترمربع بود.

در عرصه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد) در گربایگان میانگین تراکم سبز شدن بذرهای در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر در ۹ گونه‌ی گیاهی برابر با ۵۶٪ از پوشش گیاهی منطقه

(*Anisosciadium orientale*, *Salsola rigida*, *Chenopodium album*, *Orostegia persica*, *Bromus danthoniae*, *Bromus tectorum*, *Poa sinaica*, *Hordeum spontaneum*, *Stipa capensis*)

۵/۷۵ بذر در مترمربع بود.

در حالی‌که در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر در همین عرصه در ۹ گونه‌ی گیاهی برابر با ۶۳٪ از پوشش گیاهی منطقه (*Anisosciadium orientale*, *Lagoecia cuminoides*, *Salsola rigida*, *Chenopodium album*, *Bromus tectorum*, *Poa sinaica*, *Hordeum spontaneum*, *Aegilops triuncialis*, *Stipa capensis*)

۱/۲۳ بذر در مترمربع بود.

Lagoecia cuminoides, *Sonchus arvensis*, *Koelpinia linearis*, *Silene sp.*, *Chenopodium album*, *Convolvulus lineatus*, *Brassica sp.*, *Sinapis Aucheri*, *Sisymbrium altissimum*, *Descurainia sp.*, *Conringia orientalis*, *Juncus effuses*, *Orostegia persica*, *Trigonella monspeliaca*, *Plantago notate*, *Trachynia distachya*, *Lolium prene*, *Setaria viridis*, *Lolium sp.*, *Bromus rubens*, *Ceratocephala falcate*, *Adonis aestivalis*.

در مجموع در قطعه‌ی شاهد ۲۳ گونه از ۱۱ خانواده‌ی گیاهی سبز شدند. همچنین در گلخانه بذرهای دو گونه‌ی رملیک *Ziziphus nummularia* از خانواده‌ی *Rhamnaceae* و *Orostegia persica* از خانواده *Lamiaceae* در بانک بذر قطعه‌ی پخش سیلاب بذرهای این دو گونه وجود نداشت. از مجموع ۶۳ گونه‌ی سبزشده موجود در بانک بذر هم در عرصه‌ی پخش سیلاب و هم در عرصه بدون پخش سیلاب (شاهد)، ۳۶ گونه هم در پوشش گیاهی روزمینی و هم در پوشش گیاهی زیرزمینی (بانک بذر) وجود داشتند. در مجموع از ۱۹ خانواده‌ی گیاهی، گیاهچه ۶۳ گونه در بانک بذر مشاهده وثبت شد. بیشترین سهم از خانواده‌ها (۶۵/۵۶٪) مربوط به خانواده‌های *Poaceae* با ۱۶ گونه (۳۵/۴۰٪)، *Asteraceae* با ۱۲ گونه (۱۹/۰۵٪) و *Papilionaceae* با ۷ گونه (۱۱/۱۱٪) بود و بقیه از ۱۷ خانواده گیاهی دیگر بودند. با استفاده از شاخص تشابه سورنسون، مشخص شد که تشابه میان گونه‌های گیاهی موجود در پوشش روزمینی با گونه‌های گیاهی موجود در بانک بذر در عرصه‌ی پخش سیلاب ۴۰/۲٪ بود. با استفاده از شاخص تشابه سورنسون، مشخص شد که تشابه میان گونه‌های گیاهی موجود در پوشش روزمینی با گونه‌های گیاهی موجود در بانک بذر در عرصه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد) ۳۵/۸۰٪ بود. در بانک بذر عرصه‌ی پخش سیلاب از ۶۱ گونه سبزشده از ۱۹ خانواده در گلخانه، ۱۲ گونه ژئوفیت، ۱۶ گونه همی‌کریپتوفیت، ۲۳ گونه تروفیت، ۵ گونه کامفیت، ۲ گونه کریپتوفیت و ۳ گونه فانروفیت بودند. در بانک بذر قطعه‌ی شاهد (بدون پخش سیلاب) از ۲۳ گونه سبزشده در گلخانه، ۶ گونه ژئوفیت، ۵ گونه همی‌کریپتوفیت، ۸ گونه تروفیت، ۲ گونه کامفیت، ۲ گونه فانروفیت بودند. تراکم بانک بذر در عرصه‌ی پخش سیلاب ایستگاه آبخوانداری کوثر، در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر، به‌طور میانگین رویش ۱۱۳ بذر (از ۱۸ خانواده‌ی گیاهی و ۶۱ گونه) در مترمربع بود. تراکم بانک بذر در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر، به‌طور میانگین رویش ۳۶ بذر (از ۱۸ خانواده‌ی گیاهی و ۵۶ گونه) در مترمربع بود. تراکم بانک بذر در قطعه‌ی شاهد (بدون پخش سیلاب) در نزدیکی زمین‌های پخش سیلاب ایستگاه آبخوانداری کوثر، در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر، به‌طور میانگین رویش ۹/۹۶ بذر (از ۱۰

نتایج تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه‌ی پراکندگی و مقایسه‌ی میانگین شاخص‌های تنوع زیستی میان نوارهای پخش سیلاب و عرصه‌ی شاهد در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر تمام شاخص‌های تنوع زیستی میان نوارهای شبکه‌ی پخش

سیلاب بیشه زرد ۱ و شاهد در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر بانک بذر خاک در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۱). نتایج جدول ۱ بیان‌گر آن است که پخش سیلاب روی افزایش تنوع، غنای گونه‌ای و یکنواختی گونه‌ای در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر بانک بذر خاک تأثیر سودمندی داشته است.

جدول ۱- تجزیه‌ی پراکندگی شاخص‌های تنوع زیستی میان نوارهای شبکه‌ی پخش سیلاب و شاهد در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر بانک بذر خاک.

Table 1- Variance Analysis of Biodiversity Indices between Flood Spreading Network Strips and Control at a depth of 0-5 cm in the soil seed bank.

source of variables	source of error	DF	sum of squares	mean squares	F
Simpson species diversity	Strips and control	6	13.2000	2.2000	13.94 **
	error	98	15.4616	0.1578	
	total	104	28.6616		
Shannon-Weiner species diversity	Strips and control	6	109.331	18.221	9.02 **
	error	98	127.226	2.019	
	total	104	2.261	1.130	
Menchinic species richness	Strips and control	6	33.8571	5.6429	26.01 **
	error	98	21.2586	0.2169	
	total	104	55.1157		
Margalef species diversity	Strips and control	6	38.3571	6.3929	12.15 **
	error	98	51.5614	0.2169	
	total	104	89.9185		
Hill species evenness	Strips and control	6	8.9143	1.4857	15.07 **
	error	98	9.6655	0.0986	
	total	104	18.5787		
Seed species density	Strips and control	6	48115.7	8019.3	71.02 **
	error	98	11066.0	112.9	
	total	104	59181.7		
Number of plant species	Strips and control	6	174.514	19.086	11.29 **
	error	98	250.192	2.553	
	total	104	424.706		

** : at the level significant 1% در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

پخش سیلاب (شاهد) در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۲).

مقایسه‌ی میانگین آزمون دانکن نشان داد که میانگین شاخص‌های زیستی در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر بانک بذر خاک میان نوارهای شبکه‌ی پخش سیلاب بیشه زرد ۱ با عرصه بدون

جدول ۲- مقایسه ی میانگین شاخص های تنوع زیستی میان نوارهای پخش سیلاب و شاهد در ژرفای ۵-۰ سانتی متر بذر خاک.

Table 2- Comparison of the Mean Indices of Biodiversity between Flood Spreading Strips and Control at a depth of 0-5 cm in the soil seed bank.

The Bisheh-Zard of flood spreading network and control	Simpson species diversity	Shannon-Weiner species diversity	Menchinic species richness	Margalef species richness	Hill species evenness	Seed species density	Number of plant species
Strip 1	1.00 a	1.40 a	2.00 a	2.20 a	1.10 a	85 a	5.00 a
Strip 2	0.90 a	1.30 ab	1.70 ab	2.00 ab	1.00 a	83 a	4.00 ab
Strip 3	0.70 ab	1.00 abc	1.70 ab	1.80 ab	0.80 ab	80 a	3.00 bc
Strip 4	0.50 bc	0.90 bc	1.30 bc	1.60 abc	0.60 b	60 b	3.00 bc
Strip 5	0.50 bc	0.80 c	1.00 c	1.30 bc	0.50 bc	60 b	2.00 cd
Strip 6	0.44 bc	0.60 cd	0.90 c	1.00 cd	0.50 bc	50 b	2.00 cd
Control	0.15 c	0.30 d	0.20 d	0.30 d	0.20 c	20 c	0.80 d

بانک بذر خاک در سطح ۱٪ تفاوت معنی داری داشتند (جدول ۳). نتایج جدول ۳ بیانگر آن است که پخش سیلاب روی افزایش تنوع، غنای گونه ای و یکنواختی گونه ای در ژرفای ۵-۱۰ سانتی متر بانک بذر خاک تأثیر سودمندی داشته است.

تجزیه ی پراکندگی و مقایسه ی میانگین شاخص های تنوع زیستی میان نوارهای پخش سیلاب با عرصه ی شاهد در ژرفای ۵-۱۰ سانتی متر تمام شاخص های تنوع زیستی میان نوارهای شبکه ی پخش سیلاب بیشه زرد ۱ و شاهد در ژرفای ۵-۱۰ سانتی متر

جدول ۳- تجزیه ی پراکندگی شاخص های تنوع زیستی میان نوارهای شبکه پخش سیلاب و شاهد در ژرفای ۵-۱۰ سانتی متر بانک بذر خاک

Table 3- Variance Analysis of Biodiversity Indicators between Flood Spreading Network Strips and Control at a depth of 5-10 cm in the soil seed bank.

source of variables	source of error	DF	sum of squares	mean squares	F
Simpson species diversity	Strips and control	6	1.12157	0.18693	10.23 **
	error	98	1.79120	0.01828	
	total	104	2.91277		
Shannon-Weiner species diversity	Strips and control	6	2.60229	0.43371	9.02 **
	error	98	4.76220	0.04859	
	total	104	7.36449		
Menchinic species richness	Strips and control	6	4.25357	0.70893	8.29 **
	error	98	8.38260	0.08554	
	total	104	12.636		
Margalef species diversity	Strips and control	6	11.6571	1.9429	15.04 **
	error	98	12.6636	0.1292	
	total	104	24.3207		
Hill species evenness	Strips and control	6	3.23014	0.53836	11.66 **
	error	98	4.52540	0.04618	
	total	104	7.75554		
Seed species density	Strips and control	6	34302.9	5717.1	55.93 **
	error	98	10018.0	102.2	
	total	104	44320.9		
Number of plant species	Strips and control	6	112.629	18.771	11.70 **
	error	98	157.269	1.605	
	total	104	269.898		

در سطح ۱ درصد معنی دار است. **: at the level significant 1%

مقایسه‌ی میانگین آزمون دانکن نشان داد که میانگین شاخص‌های زیستی در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر بانک بذر خاک در میان نوارهای شبکه‌ی پخش سیلاب بیشه زرد ۱ و عرصه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد) در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه‌ی میانگین شاخص‌های تنوع زیستی میان نوارهای پخش سیلاب و شاهد در ژرفای ۵-۱۰ سانتی‌متر بانک بذر خاک.
Table 4- Comparison of the Mean Indices of Biodiversity between flood spreading strips and Control at a depth of 5-10 cm in the soil seed bank.

The Bisheh-Zard of flood spreading network and control	Simpson species diversity	Shannon-Weiner species diversity	Menchinic species richness	Margalef species richness	Hill species evenness	Seed species density	Number of plant species
Strip 1	0.40 a	0.60 a	0.80 a	1.20 a	0.58 a	62 a	3.00 a
Strip 2	0.38 a	0.52 ab	0.65 ab	1.10 a	0.50 ab	50 b	3.00 a
Strip 3	0.35 a	0.50 ab	0.60 ab	1.00 ab	0.50 ab	42 b	3.00 a
Strip 4	0.30 ab	0.40 ab	0.50 ab	0.70 bc	0.30 bc	30 c	2.00 ab
Strip 5	0.20 bc	0.30 bc	0.50 ab	0.60 c	0.30 bc	20 c	1.00 bc
Strip 6	0.20 bc	0.30 bc	0.45 b	0.50 cd	0.20 cd	20 c	1.00 bc
Control	0.10 c	0.10 c	0.10 c	0.20 d	0.05 d	6 d	0.40 c

بانک بذر هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). همچنین از دیدگاه شاخص یکنواختی گونه‌ای در نوار ۵ و شاخص غنای گونه‌ای مارگالف در نوار ۶ میان دو ژرفای ۵-۱۰ و ۰-۵ سانتی‌متر بانک بذر خاک هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. برای نمونه در نوار ۳ که میانگینی از تمام نوارهای شبکه‌ی پخش سیلاب بیشه زرد ۱ است، نتایج آزمون t در جدول ۵ نشان داده شده است.

نتایج آزمون t
مقایسه‌ی میانگین شاخص‌های تنوع زیستی میان دو ژرفا در نوارهای شبکه‌ی پخش سیلاب و قطعه‌ی شاهد نتایج آزمون t نشان داد که اکثر شاخص‌های تنوع زیستی میان دو ژرفای ۵-۱۰ و ۰-۵ سانتی‌متر بانک بذر خاک در تمام نوارهای شبکه‌ی پخش سیلاب بیشه زرد ۱ در سطح ۱٪ و ۵٪ تفاوت معنی‌داری داشتند ولی از دیدگاه شاخص تعداد گونه در نوارهای ۲، ۳ و ۴ میان دو ژرفای مختلف

جدول ۵- مقایسه‌ی میانگین شاخص‌های تنوع زیستی میان دو ژرفای مختلف بانک بذر خاک در نوار ۳ شبکه‌ی بیشه زرد ۱ با استفاده از تحلیل آزمون t.
Table 5- Comparison of the average biodiversity indices between two different depths of the soil seed bank in strip 3 of Bisheh Zard network 1 using t-test analysis.

Comparisons Pairs	Depths of Investigation	Biodiversity Indices	Mean Standard Error	Standard Deviation	t	DF	Sig. (2-tailed)
1	0-5 cm 5-10 cm	Simpson species diversity	0.97	0.376	2.69	28	0.012 *
2	0-5 cm 5-10 cm	Shannon-Weiner species diversity	0.093	0.359	3.08	28	0.005 **
3	0-5 cm 5-10 cm	Menchinic species richness	0.130	0.503	6.69	28	0.000 **
4	0-5 cm 5-10 cm	Margalef species richness	0.200	0.763	3.49	28	0.002 **
5	0-5 cm 5-10 cm	Hill species evenness	0.087	0.338	2.59	28	0.015 *
6	0-5 cm 5-10 cm	Seed species density	2.80	10.7	10.05	28	0.000 **
7	0-5 cm 5-10 cm	Number of plant species	0.34	1.32	0.00	28	1.000 ns

ns: non-significant

معنی‌دار نیست.

*: at the level significant 5%

در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

** : at the level significant 1%

در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

نتایج تحلیل آزمون t نشان داد که اکثر شاخص‌های تنوع زیستی میان دو ژرفای ۵- و ۱۰- سانتی‌متر بانک بذر خاک در قطعه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد) در سطح ۱٪ و ۵٪ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه‌ی شاخص‌های تنوع زیستی میان دو ژرفای مختلف بانک بذر خاک در قطعه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد) با استفاده از تحلیل

آزمون t.

Table 6- Comparison of biodiversity indices between two different depths of the soil seed bank in the plot without flood spreading (control) using t-test analysis.

Comparisons Pairs	Depths of Investigation	Biodiversity Indices	Mean Standard Error	Standard Deviation	t	DF	Sig. (2-tailed)
1	0-5 cm 5-10 cm	Simpson species diversity	0.020	0.075	2.14	28	0.041 *
2	0-5 cm 5-10 cm	Shannon-Weiner species diversity	0.050	0.194	3.78	28	0.001 **
3	0-5 cm 5-10 cm	Menchinic species richness	0.024	0.092	3.75	28	0.001 **
4	0-5 cm 5-10 cm	Margalef species richness	0.039	0.153	1.89	28	0.070 ns
5	0-5 cm 5-10 cm	Hill species evenness	0.026	0.100	5.54	28	0.000 **
6	0-5 cm 5-10 cm	Seed species density	2.70	10.6	4.89	28	0.000 **
7	0-5 cm 5-10 cm	Number of plant species	0.12	0.464	3.05	28	0.005 **

ns: non-significant

*: at the level significant 5%

** : at the level significant 1%

معنی‌دار نیست.

در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

بحث

همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که سیلاب باعث افزایش فراوانی، کاهش غنا و تنوع گونه‌ای در بانک بذر خاک شد. در زیگویی چین نتایج پژوهشی که ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) انجام دادند نشان داد که سیلاب‌های فصلی موجب تغییرات تنوع زیستی و تراکم بذر در ژرفای‌های مختلف در بانک بذر خاک شد و سیلاب سبب افزایش تشابه میان بذرهای موجود در بانک بذر خاک (پوشش گیاهی زیرزمینی) و پوشش گیاهی روی زمینی شد. در تالاب پانتانال در آمریکای جنوبی، سوزا و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثر سیل بر ظهور گیاهچه از بانک بذر خاک در تیمار سیلاب و سپس آبیاری و تیمار فقط آبیاری دریافتند که سیلاب اثر سودمندی بر غنا و فراوانی گیاهچه‌ها داشت و بیشترین فراوانی مربوط به گندمیان یک‌ساله بود. در چین لی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی بانک بذر خاک در جنگل‌های ساحلی پایین‌دست رود تاریم گزارش کردند که تعداد و تراکم گونه‌ای در بانک بذر خاک در منطقه‌ی پخش سیلاب بیشتر از منطقه بدون پخش سیلاب بود یافته‌های این پژوهشگران هم راستا با نتایج این پژوهش است.

براساس نتایج این پژوهش مشخص شد که تراکم گیاهچه‌های جوانه‌زده در بانک بذر با افزایش ژرفای خاک به‌شدت کاهش یافت. به‌شکلی که در منطقه‌ی پخش سیلاب در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر خاک اندازه‌ی کاهش تراکم بانک بذر ۷۰/۶۸٪ و در منطقه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد) در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر خاک اندازه‌ی کاهش تراکم بانک بذر ۷۲/۸٪ بود.

بانک بذر خاک در مقایسه با پوشش گیاهی روی زمین در برابر نابود شدن مقاومت بیشتری دارد (وانگ و همکاران ۲۰۱۵). از این رو، بررسی تغییرات بانک بذر بوم‌نظام‌های طبیعی ویران‌شده و احیاء شده بسیار ضروری است (لی و همکاران ۲۰۱۴). سیلاب موجب تغییر تنوع، غنا و ترکیب بانک بذر خاک می‌شود (هولزل و اوتته ۲۰۰۱). اثر پخش سیلاب بر تراکم، تنوع و غنای بانک بذر خاک که در واقع همان پوشش گیاهی زیرزمینی (بانک بذر) است، به‌ندرت در منابع داخلی به آن توجه‌شده است و در منابع خارجی هم محدود به دشت‌های سیلابی است.

نتایج تجزیه پراکندگی نشان داد تفاوت شاخص‌های تنوع زیستی (تراکم، تعداد گونه، تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای) میان نوارهای شبکه‌ی پخش سیلاب بیشه زرد ۱ و شاهد در ژرفای ۵- و ۱۰- سانتی‌متر بانک بذر خاک در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود. همچنین تفاوت شاخص‌های تنوع زیستی میان ژرفای‌های ۵- و ۱۰- سانتی‌متر بانک بذر خاک هم در منطقه‌ی پخش سیلاب و هم در منطقه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد) در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود. در برزیل نتایج بررسی اثر سیلاب بر بانک بذر خاک در پانتانال شمالی به‌وسیله‌ی پاتاگو و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که مدت زمان سیلاب نقش مهمی در تعیین بانک بذر خاک در منطقه‌ی مزبور داشت و سیلاب موجب تغییر فراوانی، غنا و ترکیب گیاهی بانک بذر خاک شد. در یک زیستگاه ساحلی در جنوب شرقی کوئینزلند، اوسون و

گوشتی و سنگین از نوع شفت است. در هنگام رسیدن این گیاه، میوه‌ی آن در زیر و پیرامون درخت ریزش می‌کند و به دلیل نبودن یا کم بودن تعداد درختان مادری در منطقه‌ی پخش سیلاب بذر این گونه در خاک این مناطق مشاهده نشد. نتایج این پژوهش نشان داد که بعد از گذشت ۴۰ سال از اجرای عملیات پخش سیلاب در منطقه‌ی بررسی شده، تأثیر سودمند آن بر شاخص‌های ترکیب، تنوع و گروه‌های کارکردی بانک بذر خاک مشاهده می‌شود. پخش سیلاب با فراهم آوردن رطوبت و مواد غذایی مانند ماده‌ی آلی خاک بر ترکیب بانک بذر خاک منطقه تأثیرگذار بود و موجب ظهور و رویش برخی گونه‌ها در منطقه‌ی پخش سیلاب شد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های مارون و همکاران (۲۰۰۴)، غلامی و همکاران (۲۰۱۹)، غلامی و همکاران (۲۰۲۱)، عاشوری و همکاران (۲۰۲۰)، پاتریسیا و همکاران (۲۰۱۵) و یونگ هویی و همکاران (۲۰۲۳) که گزارش کردند پخش سیلاب سبب افزایش تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای می‌شود، پژوهش هماهنگی دارد. در منطقه‌ی پخش سیلاب فراوانی گونه‌های یک‌ساله و تروفیت‌ها در مقایسه با گونه‌های چندساله می‌تواند به دلیل ورود بذر با رسوبات حمل‌شده‌ی سیلاب و یا پراکنش بذر از مناطق پیرامون به وسیله‌ی دام‌ها باشد (لی و همکاران ۲۰۱۴).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طور کلی می‌توان گفت که اجرای عملیات پخش سیلاب در منطقه‌ی بررسی شده زیست‌بوم ویژه‌ای ایجاد کرده است که سبب بهبود شرایط محیطی مانند رطوبت کافی و ماده آلی مناسب در منطقه شده است. همچنین، بر افزایش تراکم و تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای بانک بذر خاک و ترکیب گونه‌ای تأثیر قابل توجهی داشته است. بنابراین از این ظرفیت بانک بذر می‌توان برای احیای این منطقه و مناطق مشابه استفاده کرد. همچنین، می‌توان در این منطقه با انتخاب استقرار گونه‌های سازگار با شرایط ایجادشده به وسیله‌ی پخش سیلاب، در بهبود وضعیت پوشش گیاهی گام مؤثری برداشت. در نهایت نتایج این پژوهش نشان داد بانک بذر خاک منطقه‌ی مزبور پاسخ مثبتی به اجرای عملیات پخش سیلاب است به‌شکلی که در منطقه‌ی پخش سیلاب بیشترین تراکم، تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای ذخیره بذر خاک مشاهده شد.

با توجه به اهمیت انجام پژوهش‌های پوشش گیاهی و بانک بذر در زمین‌های پخش سیلاب، پیشنهاد می‌شود طرح‌های بررسی تأثیر پخش سیلاب بر شاخص‌های تنوع زیستی در قطعه‌های جنگل کاری با گونه‌های مختلف اکالیپتوس، آکاسیا و همچنین قطعه‌های بوته‌کاری با گونه‌ی آترپلکس همراه با قطعه‌ی شاهد در گریایگان فسا انجام شود و نتایج با هم مقایسه شوند. نتایج این پژوهش را می‌توان در حفظ تنوع گیاهی، حفظ ذخیره‌های ژنتیکی و احیاء و مدیریت پوشش گیاهی منطقه به‌کار برد.

در علفزارهای آهکی جنوب غربی آفریقا، ژاکومین و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی اثرات مدیریت بر پوشش گیاهی نشان دادند که تراکم بانک بذر به‌شدت با افزایش ژرفای کاهش یافت. این یافته نشان داد که ژرفای خاک عامل تعیین‌کننده‌ی تراکم بانک بذر در علفزار بررسی شده بود. به‌طور کلی کاهش تراکم بانک بذر خاک با افزایش ژرفا به‌شکل کاملاً منظم و خطی رخ می‌دهد. در پژوهشی نظری و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که ۷۰٪ تراکم بانک بذر خاک در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر خاک بود و بانک بذر لایه‌ی سطحی خاک در مقایسه با ژرفای بیشتر، به‌شکل معنی‌داری غنا و تنوع گونه‌ای بیشتری داشت. آنها دریافتند که پوشش گیاهی سطح زمین غنا و تنوع بیشتری در مقایسه با بانک بذر خاک داشت. نتایج این پژوهشگران با یافته‌های این پژوهش در یک راستا است.

در ترکیب بانک بذر منطقه‌ی پخش سیلاب در گریایگان فسا ۱۵۱۴ گیاهچه از ۶۳ گونه‌ی گیاهی از ۱۹ خانواده شناسایی شد. میانگین تراکم بذر در این منطقه در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر خاک ۳۵۵/۹۰ بذر در مترمربع بود. در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر خاک ۱۰۴/۳۳ بذر در مترمربع بود. در منطقه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد) میانگین تراکم بذر در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر خاک ۳۸/۰۴ بذر در مترمربع بود. در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر خاک ۱۰/۳۳ بذر در مترمربع بود. در عرصه پخش سیلاب بیشترین بذرهای جوانه‌زده مربوط به گونه‌ی *Hordeum spontaneum* از خانواده *Poaceae* با میانگین تراکم ۳۰۹ شمار بذر در مترمربع با ترکیب گونه‌ای ۸/۲۷٪ در ژرفای ۵-۰ سانتی‌متر خاک بود. در منطقه‌ی بدون پخش سیلاب (شاهد) کمترین بذرهای جوانه‌زده مربوط به گونه‌ی *Peganum harmala* از خانواده *Zygophyllaceae* با میانگین تراکم ۲ شمار بذر در مترمربع با ترکیب گونه‌ای ۱/۸۴٪ در ژرفای ۱۰-۵ سانتی‌متر خاک بود. در بانک بذر قطعه‌ی شاهد، بذرهای دو گونه‌ی رملیک *Ziziphus nummularia* از خانواده‌ی *Rhamnaceae* و *Orostegia persica* از خانواده‌ی *Lamiaceae* در گلخانه سبز شدند. در حالی که بذرهای این دو گونه در بانک بذر قطعه‌ی پخش سیلاب نبود. وجود این گونه‌ها در منطقه‌ی شاهد و نبودن این گیاهان در مناطق پخش سیلاب می‌تواند به دلیل پاسخ متفاوت گونه‌های گیاهی به آب به‌عنوان یک عامل محیطی باشد. زیرا برخی گونه‌ها به بودن آب در منطقه‌ی پخش سیلاب پاسخ منفی دادند. این موضوع در منطقه‌ی پخش سیلاب موجب کاهش جوانه‌زنی گونه‌های بانک بذر خاک و حتی نبودن گیاهان در این منطقه شد (قربانی و همکاران ۲۰۱۵). جوانه نزدن بذر این گونه‌ها نیز می‌تواند به دلیل اشباع بودن خاک پیرامون ریشه‌ی این گیاهان از آب باشد، که در طولانی مدت موجب پوسیدگی، ریزش برگ و در نهایت مرگ گیاهان حساس به تهویه نامطلوب شد. در منطقه‌ی پخش سیلاب گونه‌ی رملیک *Ziziphus nummularia* جزو گونه‌های درختی با میوه‌ی

فهرست منابع

- Ahmadi A. Rezaei R. Abdi N. Toraj-Zard H. 2023. Changes in species diversity and soil seed bank under the exclosure and different intensity of livestock grazing in deteriorated forests of Middle Zagros. *Ecology of Forests*. 10(20):52-63. (In Persian).
- Ashouri P, Eftekhari AR, Hamzeh B, Souri M, Jalili A. 2020. Determining specific species and the contribution of species in the similarity between the soil seed bank and vegetation on the ground (case study: Lazor-Firouzkoh Rangeland). *Journal of Plant Ecosystem Conservation*. 17(8):281-305. (In Persian).
- Azarnivand, H. and Zare Chahouki, M.A. (2008). Range Improvement. Tehran University Press. 354p. (In Persian).
- Bakker JP, Berendse F. 1999. Constraints in the restoration of ecological diversity in grassland and heathlands communities. *Trends in Ecology & Evolution*. 14:63-68. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01544-4](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01544-4)
- Ghorbani JP, Dowlati Heydari GH. 2015. Effects of floodwater spreading on the vegetation and soil in an arid rangeland. *Journal of Arid Land Research and Management*. 29(4):473-486. <https://doi.org/10.1080/15324982.2015.1019160>
- Ghahari GH, Gandomkar A. 2015. Effect of aquifer management on groundwater changes in Gareh Bygone Plain. *Watershed Engineering and Management*. 7(2):172-183. (In Persian).
- Gholami P, Alvani-Nejad S, Esfandiyari N, Mesbah SH. 2019. Effect of Floodwater spreading on Soil Seed Bank Density of Plant Functional Groups (Case study: Gareh Bygone plain, Fasa, Fars province, Iran), 8th National Conference on Rain-water Catchment Systems. 26-27 November 2019. 10p.
- Gholami P, Alvani-Nejad S, Esfandiyari N, Mesbah SH. 2021. Response of Composition, Diversity and Functional Groups of Soil Seed Bank under Corrective Practices of Floodwater Spreading in the Kowsar Aquifer Management Station, The Province of Fars, *Journal of Watershed Management Research*. 34(1):140-154. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/wmej.2020.341847.1313>
- Hayashi HY, Shimatani K, Shigematsu J, Nishihiro S, Ikematsu D, Kawaguchi Y. 2012. A study of seed dispersal by flood flow in an artificially restored floodplain. *Landscape and Ecological Engineering*. 8(2):129-143. <https://doi.org/10.1007/s11355-011-0154-3>
- Jacquemyn H, Carmen Van M, Brys R, Honnay O. 2011. Management effects on the vegetation and soil seed bank of calcareous grasslands: An 11-year experiment. *Biological Conservation*. 144(1):416-422. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.020>
- Jalilian F, Behmanesh B, Mohammad Esmaeili M, Gholami P. 2017. Comparison of Rangeland Vegetation Cover and Soil Properties Variations Affected by Flood Spreading, Enclosure and Grazing Uses, *Journal of Water and Soil Sciences*. 21(2):29-43 (In Persian). <https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.21.2.29>
- Kamali P, Erfanzadeh R, Ghelichniya H. 2012. Role of soil seed bank in recovering of the degraded vegetation in Vaz water-

- shed, Pajuhesh & Sazandegi. 98:117-124 (In Persian).
- Lee H, Alday J, Cho K, Lee E, Marrs R. 2014. Effects of flooding on the seed bank and soil properties in a conservation area on the Han River, Korean Journal of Ecology and Environment. 70:102-113.
- Li JMHL, XU ZJ, Zhang MY, Wang ZR. 2008. Characteristics of standing vegetation and soil seed bank in desert riparian forest in lower reaches of Tarim river under effects of river- flooding, Journal of Applied Ecology. 19(8):1651-1657.
- Marone L, Cueto V, Milesi F, Lopez D, Casenave J. 2004. Soil seed bank composition over desert microhabitats: patterns and plausible mechanisms. Canadian Journal of Botany. 82(12):1809-1816. <https://doi.org/10.1139/b04-143>
- Mesbah SH. 2016. Vegetation monitoring of Kowsar aquifer Management station. The final report of the research project, Soil Conservation and Watershed Research Institute. 87p. (In Persian).
- Najafi Shaybankareh K, Jalili A, Khorasani N, Jam Zadeh Z. 2012. Investigation of Soil Seedbed Bank in Plant communities of GNU Protected Area, Journal of Research on Range and Desert of Iran. 19(4):613-601.
- Nazari S, Ghorbani J, Zali SH, Tamartash R. 2014. Species composition and seed density of soil seed bank in mountain grassland of north Alborz, Journal of Plant Research (Iranian Biology). 27(2):310-319.
- Nouri Z, Feghhi J, Zahedi Amiri G, Rahmani R. 2011. Estimation of species diversity in forest different stories (case study: Patom district of Kheyroud forest). Journal of Natural Environmental, Iranian Journal of Natural Resources. 63(4):399-407.
- O'Connor TG, Martindale G, Morris CD, Short A, Witkowski Ed TF, Scott-Shaw R. 2011. Influence of grazing management on plant diversity of highland sourveld grassland, kwazulu-natal, South Africa. Rangeland Ecology & Management. 64(2):196-207. <https://doi.org/10.2111/REM-D-10-00062.1>
- Osunkoya OOSA, Thinguyen CH, Perrett A, Shabbir SH, Nive A, Belgeri K, Dhileepan S, Adkins S. 2014. Soil seed bank dynamics in response to an extreme flood event in a riparian habitat. Journal of Ecological research. 29(6):1115-1129. <https://doi.org/10.1007/s11284-014-1198-2>
- Pakparvar M, Walraevens K, Cheraghi SAM, Ghahari Gh, Cornelis W, Gabriels D, Kowsar SA. 2017. Assessment of groundwater recharge influenced by floodwater spreading: an integrated approach with limited accessible data. Hydrological Sciences Journal. 62(1):147-164.
- Pattago MARM, Silveira CN, Cunha L, Cruz F. 2011. Distribution of herbaceous species in the soil seed bank of a flood seasonality area. Northern Pantanal, Brazil, International review of Hidrobiology. 96(2):149-163.
- Patricia O, José M, Domingues T, Catia D. 2015. Effects of flooding on the spatial distribution of soil seed and spore banks of native grasslands of the Pantanal wetland, Journal of Acta Botanica Brasilica. 29(3):400-407. <https://doi.org/10.1590/0102-33062015abb0027>
- Priego-Santander AG, Campos M, Bocco G, Ramirez-Sanchez LG. 2013. Relationship between landscape heterogeneity and plant species richness on the Mexican Pacific coast. Applied Geography. 40:171-178. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.02.013>
- Rezaie R, Ahmadi A, Abdi N, Toranjzar H.

2023. Fire effects on composition, density and species diversity vegetation and soil seed bank (Case study: Kangavar rangelands), *Journal of Rangelands*. 16(4):729-744 (In Persian).
- Salaryan T, Jory MH, Ariapour A, Mahmoudi M. 2011. The studying of species diversity Javaherdeh region in Ramsar city with using of significance degree index. *Iranian Journal of Natural Ecosystems*. 2(1):11-20.
- Souza EBF, Ferreira A, Pott A. 2016. Effects of flooding and its temporal variation on seedling recruitment from the soil seed bank of a Neotropical floodplain. *Journal of Acta Botanica Brasilica*. 30(4):560-568. <https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0202>
- Wang G, Wang M, Lu X, Jang M. 2015. Effects of farming on the soil seed banks and wetland restoration potential in Sanjiang Plain, Northeastern China. *Ecological Engineering*. 77:265-274. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.039>
- Yonghui W, Jin L, Kaixuan Q, Mao Y. 2023. Response of Plant Species Diversity to Flood Irrigation in the Tarim River Basin, Northwest China, *Journal of Sustainability*. 14p. *Sustainability* 2023, 15, 1243. <https://doi.org/10.3390/su15021243> and <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>.
- Zhang MF, Chen S, Chen Y, Wang J. 2016. Effects of the seasonal flooding on riparian soil seed bank in the three Gorges reservoir region: a case study in Shanmu River. *Springerplus*, 5(1):492.



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Effect of Flood Spreading on Indices Species Diversity, Richness, Density and Evenness of Soil Seed in the Aquifer Management Kowsar Station

Seyed Mohammad Reza Habibian^{*1}, Mohammad Javad Roosta², Mehrdad Zarafshar³

1 and 3- Assistant professor, Natural Resources Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

2- Associate professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

In recent years, the use of flood spreading systems is one of the most effective ways to control surface water, especially in arid and semi-arid regions which In addition to the reduction of the harmful effects of floods, it results in the reduction of soil erosion, the strengthening ground water tables, the improvement of agricultural lands and the rehabilitation of rangelands vegetation. In flooded rangelands, there is little information about the characteristics of the soil seed bank. This, in turn, has cost and wasted a lot of time. The presence of many species in the seed bank can explain the effects of environmental and management factors in the past. Identification of this resource plays an important role in the protection and restoration of vegetation. In this regard, the aim of the current study is to assess the biological diversity indicators of the existing seed bank due to flood spreading in order to restore and improve the vegetation cover in such rangelands.

Materials and Methods

In order to investigate the effects of flood spreading on the composition, density, diversity, richness and evenness species of the soil seed bank in two areas with flood spread and without flood spread (Control) in Gareh Bygone Fasa region, seed bank research was carried out for three

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: smrhabibian@yahoo.com

Citation: Habibian, S.M.R., Roosta, M.J., Zarafshar M. 2024. Effect of Flood Spreading on Indices Species Diversity, Richness, Density and Evenness of Soil Seed in the Aquifer Management Kowsar Station. Watershed Management Research. 37(2): 2-21.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.361934.1535

Received: 04 April 2023, **Received in revised form:** 11 June 2023, **Accepted:** 21 June 2023

Published online: 21 June 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.2, Ser. No: 143, Summer 2024, pp. 2-21.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)



years from 2020. In June 2020, was done after the preliminary identification of the rangelands of the flood spreading area, the location of two representative areas inside and outside the flood spreading area (Control). Sampling of the soil seed bank in the fall of 2020, before the seeds in the soil began to grow. Inside the representative area (rangeland flooded in 6 strips) and Control (rangeland without flooding), 1 transect of 150 meters was established in the direction perpendicular to the slope of the land. At 10-m intervals along each transect, a 1-m² plot was randomly selected (total of 15 plots or repetitions). A pit with a diameter of 7 cm and a depth of 0 to 5 and 5 to 10 cm was dug in the four corners and center of each plot. Soils of each depth were combined separately in five points of one square meter plot and considered as a sample for planting in special trays in the greenhouse. The soil seed bank samples were kept in the refrigerator for four months to break the seed dormancy and then transferred to the greenhouse environment for one year for cultivation and by the seedling emergence method, the seeds in the soil which gradually they turned green, were identified and counted.

Analyzes related to the seed bank were performed based on the number of germinated seedlings and counted in the greenhouse. The density of species in the soil seed bank was calculated by calculating the total number of seeds of all species per square meter. The diversity, richness and evenness of species were assessed using PAST software. For species richness of the soil seed bank, Margalef and Menhinic indices were used, Shannon-Wiener and Simpson indices were used for diversity, and Hill index was used for evenness.

To compare the properties of the soil seed bank (density, richness, diversity and evenness of species) was also used between two representative areas of flooded rangeland and non-flooded rangeland (control) independent t-test and paired t-test were also used to compare between two depths of 0-5 and 5-10 cm. The analysis was conducted via R software, employing one-way analysis of variance and Duncan's method for comparison of means.

Results and Discussions

The results of the greenhouse studies showed that a total of 5340 seeds germinated in the greenhouse, 3756 seeds germinated in the flood spreading area at a depth of 0-5 cm and 1190 seeds germinated at a depth of 5-10 cm. In the area without flooding (control), 329 seeds grew at a depth of 0-5 cm and 65 seeds grew at a depth of 5-10 cm. In the flood spreading area of Aquifer Management Kowsar Station, in terms of the average density of the seed bank, at a depth of 0-5 cm, a total of 113 seeds per square meter (from 18 plant families and 61 species) sprouted. At a depth of 5-10 cm, a total of 36 seeds per square meter (from 18 plant families and 56 species) germinated. In the control area, in terms of the average seed bank density, at a depth of 0-5 cm, the average of 9.96 seeds per square meter (from 10 plant families and 23 species) germinated. At a depth of 5-10 cm, the average of 1.96 seeds per square meter (from 8 plant families and 15 species) germinated. The average density of sprouted seeds in the soil depth of 0-5 cm was 3.14 times higher than that in the soil depth of 5-10 cm. In the control area, the average density of germinated seeds in the soil depth of 0-5 cm was 5.08 times higher than that of the soil depth of 5-10 cm. The results of variance analysis showed that in terms of biodiversity indices (density, number of species, diversity, and richness species evenness) between the strips of Bisheh Zard 1 and control flood spreading network at the depth of 0-5 and 5-10 cm of the bank, there is a significant difference between soil seeds at the level of 1% and 5%. The results of the t-test showed that in terms of biodiversity indices between the depths of 0-5 and 5-10 cm of the soil seed bank both in the flood spreading area and in the non-flooding area (control) there is a significant difference in there are 1% and 5% levels.

Conclusion and Suggestions

In general, it can be concluded that the implementation of flood spreading operations in the studied area has created a special ecosystem that has improved the environmental conditions such as sufficient humidity and suitable organic matter in the area. Also, it has a significant effect on increasing the density and diversity, richness and evenness of the soil seed bank species, as well as the species composition. Therefore, the potential of the existing seed bank can be used to rehabilitation this area and similar areas. In general, the results of this research showed that the soil seed bank of this region had a positive response to the implementation of the flood spreading operation, so that the highest density, diversity, richness and evenness of the soil seed stock was observed in the flood spreading area. It is suggested to carry out

projects on the effects of flood spreading on biodiversity indices in forestry plots with different species of Eucalyptus, Acacia, as well as shrub planting plots with Atriplex species, as well as a control plot be compared in Gareh Bygone, Fasa. This research's findings can be used in preserving plant diversity, preserving genetic reserves, and revitalizing and managing vegetation in the region.

Keywords: Biodiversity, flood, Gareh Bygone Plain of Fasa, seed germination



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات آموزش و منابع طبیعی کشاورزی

سنجش پایداری بُعد نهادی طرح‌های آبخیزداری در مقیاس محلی با رویکرد تحلیل شبکه‌ی اجتماعی در روستاهای کتویه، کال و بهرستان، جنوب استان فارس

حسن مقیم^{۱*}، حنا محمدی کنگرانی^۲، ارشک حلی‌ساز^۳

۱ - دانش‌آموخته‌ی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس

۲ - دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳ - استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

به‌دلیل خشکسالی‌های اخیر و افت شدید ذخایر آب زیرزمینی در اکثر دشت‌های کشور، به طرح‌های آبخیزداری به‌عنوان راهکاری مناسب بیش از پیش توجه شده است. ارزیابی پایداری طرح‌های آبخیزداری در زمینه‌های گوناگون محیط‌زیستی، اقتصادی، اجتماعی و به‌ویژه نهادی بسیار مهم است. در این پژوهش، ارزیابی پایداری بُعد نهادی در جنوب استان فارس (ایران) در مقیاس محلی و با بهره‌گیری از روش تحلیل شبکه‌ی اجتماعی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

ارزیابی پایداری بُعد نهادی در سه طرح آبخیزداری کتویه لارستان، کال لامرد و بهرستان مَهر که در سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ اجرا شده بود، در پنج گام بررسی شد. در گام اول، دو سنجش اعتماد و همکاری به‌وسیله‌ی اجماع نظر خبرگان و با روش دلفی کلاسیک انتخاب شدند. در گام دوم، شبکه‌ی رابطه‌های اجتماعی شامل شش موضوع برای هر سه روستای هدف تعریف شد. در گام سوم، پرسش‌نامه مربوطه طراحی شد. تعداد پرسش‌نامه‌های تکمیل شده برای روستاهای کتویه، کال و بهرستان به‌ترتیب ۲۵، ۶۰ و ۲۰ (جمعاً ۱۰۵ شمار) بود. در گام چهارم، اطلاعات به‌دست آمده از پرسش‌نامه‌ها برای هر روستا در نرم‌افزار UCINET وارد شد. سپس سنجش‌های تراکم و مرکزیت (درجه و بینایی) برای ارزیابی دو سنجش اعتماد و همکاری محاسبه شدند. در گام پنجم، دو موضوع همکاری اداره‌ها و تمایل به همکاری با اداره‌ها به‌ترتیب برای دو سنجش همکاری و اعتماد انتخاب شدند و وضعیت پایداری این دو سنجش در سه روستای هدف تعیین شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Hassan_Moghimi@yahoo.com

استناد: مقیم، ح.، محمدی کنگرانی، ح.، حلی‌ساز، ا. ۱۴۰۳. سنجش پایداری بُعد نهادی طرح‌های آبخیزداری در مقیاس محلی با رویکرد تحلیل شبکه‌ی اجتماعی در روستاهای کتویه، کال و بهرستان، جنوب استان فارس. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۲): ۳۸-۲۲.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.361419.1525

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۳/۱۶، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۳/۳۱، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۴۳، تابستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۲۲ تا ۳۸.

©نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد، در روستای کتویه، درجه‌ی پایداری برای هر دو سنج‌هی همکاری و اعتماد ۳/۳ (پایداری متوسط) بود. از این رو، درجه‌ی پایداری در بُعد نهادی برای روستای کتویه ۳/۳ یا پایداری متوسط برآورد شد. در روستای کال، درجه‌ی پایداری برای دو سنج‌هی همکاری و اعتماد به‌ترتیب ۲/۷ و ۲/۳ بود. از این رو، درجه‌ی پایداری در بُعد نهادی برای روستای کال ۲/۵ یا تقریباً ناپایدار تا پایداری متوسط برآورد شد. در روستای به‌رستان، درجه‌ی پایداری برای دو سنج‌هی همکاری و اعتماد به‌ترتیب ۳ و ۱/۷ بود. از این رو، درجه‌ی پایداری در بُعد نهادی برای روستای به‌رستان ۲/۴ یا تقریباً ناپایدار برآورد شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در سه روستای کتویه، کال و به‌رستان، نهاد دولتی اداره‌ی منابع طبیعی و آب‌خیزداری شهرستان مربوطه و به تبع آن اداره‌ی کل منابع طبیعی و آب‌خیزداری استان از یک سو و شورای اسلامی روستاهای مزبور به‌عنوان نمایندگان اهالی از سوی دیگر، توانستند با ایجاد رابطه‌ی دو سویه، اعتماد و همکاری متقابل را میان طرفین ایجاد کنند. بنابراین، این موضوع سبب تقویت بُعد نهادی در پایداری توسعه‌ی طرح‌های آب‌خوانداری شد. به‌منظور جلب بیشتر اعتماد و همکاری آب‌خیزنشینان و استمرار آن در زمینه‌ی فعالیت‌های آب‌خوانداری، پیشنهاد می‌شود نگهداری از طرح‌های آب‌خوانداری به معتمدین محلی یا شوراهای اسلامی روستاها واگذار شود تا بستر مناسبی برای تقویت و ادامه‌ی مشارکت، همکاری و اعتماد دوطرفه آب‌خیزنشینان و نهادهای دولتی در زمینه‌ی حفاظت آب و خاک فراهم شود.

واژگان کلیدی: آب‌خیزداری، توسعه‌ی پایدار، سرمایه اجتماعی، شبکه‌ی رابطه‌ها، مدل منشوری

مقدمه

تعاملات راهنمایی می‌شوند بعد نهادی شامل قوانینی است که به‌وسیله‌ی آن همکشی‌های انسانی و قوانین هدایت می‌شوند (والنتین و اسپانگنبرگ ۲۰۰۰). دستور ۲۱ (کمیسون جهانی محیط‌زیست و توسعه ۱۹۹۲) بیان می‌کند توانایی یک کشور در پیگیری مسیر توسعه‌ی پایدار، به اندازه‌ی زیاد به‌وسیله‌ی ظرفیت مردم و نهادهای آن و همچنین شرایط جغرافیایی و بوم‌شناختی آن تعیین می‌شود. بر این اساس می‌توان گفت لازمه‌ی پیشرفت در توسعه‌ی پایدار در نظر گرفتن ساختار نهادی است.

به‌منظور بررسی بعد نهادی توسعه، از روش تحلیل شبکه‌ی اجتماعی^۱ استفاده می‌شود. به‌طور کلی تحلیل شبکه‌ی اجتماعی از جدیدترین روش‌های مطرح در حل مسئله، شناخت رابطه‌ها، تصمیم‌سازی، تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری و مدیریت است. به‌عبارت دیگر، تحلیل شبکه‌های اجتماعی یعنی نگاشتن و سنجش رابطه‌ها و جریان‌های میان افراد گروه‌ها، سازمان‌ها، رایانه‌ها یا دیگر موجودیت‌ها است (بورگاتی ۲۰۰۵). در این رویکرد چگونگی تأثیرگذاری ساختارهای اجتماعی رابطه‌های احاطه‌کننده فرد، گروه یا سازمان بر عقاید و باورها بررسی می‌شود (محمدی‌کنگرانی ۲۰۱۰). مهم‌ترین ویژگی‌های رویکرد تفسیر و تحلیل جزیی بر حسب ویژگی‌های موضوع‌های

به‌دلیل خشکسالی‌های اخیر و افت شدید ذخایر آب زیرزمینی در اکثر دشت‌های کشور، توجه به فعالیت‌های آب‌خیزداری در قالب آب‌خوانداری به‌عنوان راهکاری برای جبران کم‌آبی، بسیار افزایش یافته است. در راستای توسعه‌ی پایدار اثر بخشی فعالیت‌های آب‌خیزداری و آب‌خوانداری معمولاً در زمینه‌های گوناگون محیط‌زیستی، اقتصادی، اجتماعی و نهادی^۱ ارزیابی می‌شوند. بُعد نهادی یکی از چهار بعد مدل مفهومی منشوری^۲ است. هر چند بیشتر پژوهشگران و سازمان‌های بین‌المللی مرتبط با موضوع، توسعه‌ی پایدار را به سه بعد محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی تقسیم کرده‌اند، اما زمینه‌های دیگری نیز برای پایداری وجود دارد، از جمله می‌توان به پایداری نهادی اشاره کرد (آقاعلیخانی و برک‌پور ۲۰۱۲). کمیسیون توسعه‌ی پایدار ملل متحد^۳ در سال ۱۹۹۵ چهارمین بعد توسعه را بعد نهادی معرفی کرد. در نشست جهانی ژوهانسبورگ در سال ۲۰۰۲، دلیل شکست برنامه‌ی توسعه‌ی پایدار در مقایسه با چشم‌اندازی که در کنفرانس ریو در سال ۱۹۹۲ برای آن تعریف شده بود، توجه نکردن به بعد نهادی و نارسایی ابزارهای حکمروایی گزارش کرد (کنفرانس جهانی محیط‌زیست و توسعه ۲۰۰۲). بعد نهادی شامل همکشی‌های انسانی و قوانینی است که به‌وسیله‌ی آن‌ها این

1 - Institutional Dimension

2 - Prismatic Conceptual Model

3 - United Nations Commission Sustainable Development

4 - Social Network Analysis

با افزایش شبکه‌های اجتماعی می‌توان سرمایه گروهی را افزایش داد. در شمال غربی پاکستان، نیکسون و همکاران (۲۰۲۲) نفوذ اجتماعی بر حاکمیت آب را بررسی کردند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند، کاربران به‌شکل بومی با تغییرات اجتماعی - بوم‌شناختی سازگار می‌شوند.

در استان گلستان در آبخیز چهل‌چای، فاطمی و همکاران (۲۰۲۱) شبکه‌های اجتماعی بهره‌برداران روستایی تحلیل کردند. این پژوهشگران براساس نتایج به‌دست آمده پیشنهاد کردند به‌منظور مشارکت مؤثر سودبران در منطقه پژوهش‌شده، تدوین راهبردها، اقدام‌ها و خدمات مدیریت یکپارچه آبخیز باید مبتنی بر مشارکت سودبران و همکاری سازمان‌های متولی منابع طبیعی باشد. در استان مازندران، عباسی‌رستمی و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی روی منافع آب کشاورزی، شبکه‌ی اجتماعی کنشگران حکمرانی مدیریت بهم پیوسته را بررسی کردند. این پژوهشگران پیشنهاد کردند سازوکارهای قانونی و ترغیبی در قالب عضویت در کارگروه‌های مشترک برای مشارکت و همکاری بیشتر سازمان‌های به‌حاشیه‌رانده‌شده در فرایندهای تصمیم‌سازی، تصمیم‌گیری و اجرا به‌کار گرفته شود تا توزیع قدرت میان تمام نهادهای سودبر متوازن شود. در استان آذربایجان شرقی در روستای کلاله، درویشی و همکاران (۲۰۲۲) شبکه‌ی اجتماعی در راستای برنامه‌ریزی و مدیریت مشارکتی محیط‌زیست را تحلیل کردند و نتیجه گرفتند که شاخص‌های تراکم، اندازه، انتقال یافتگی و دوسویه پیوندهای اعتماد و مشارکت در حد کم و خیلی کم بود و بهره‌برداران روستای کلاله از نظر انسجام و پایداری در وضعیت مناسبی نبودند و در این روستا پیش از ارائه برنامه‌های مدیریتی، به تقویت همبستگی‌های اعتماد و مشارکت نیاز است. در دشت ابهر، عینلو و همکاران (۲۰۲۲) شبکه‌ی دست‌اندرکاران سازمانی در راستای مدیریت مشارکتی منابع آب را تحلیل کردند. بر اساس نتایج این پژوهش در دشت ابهر، برای تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و اجرای حکمرانی مشارکتی منابع آب سازمان‌ها، قدرت‌های سیاسی کلیدی و مؤثر و سازمان‌های با قدرت کم و به‌حاشیه‌رانده‌شده، شناسایی شدند.

در این پژوهش نیز در جنوب استان فارس پایداری بعد نهادی با تمرکز بر سه طرح آبخوانداری کتویه لارستان، کال لامرد و بهرستان مهر ارزیابی شد. بیش از ۱۰ سال از ساخت سازه‌های آبخیزداری در این سه طرح آبخوانداری می‌گذرد و در این مدت به‌طور مکرر آبرگیری شده‌اند. با بهره‌گیری از روش تحلیل شبکه‌ی اجتماعی، پایداری بعد نهادی ارزیابی شد. نتایج این ارزیابی بیانگر شرایط و وضعیت جنوب استان فارس از دیدگاه افت سطح آب زیرزمینی و بحران کم آبی بود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌های پژوهش‌شده

در این پژوهش در ناحیه‌ی زاگرس جنوب استان فارس سه طرح

مستقل را به تفسیر و تحلیل پدیده‌ها بر حسب رابطه‌های میان کنشگران مستقل یک سامانه تبدیل می‌کند مهم‌ترین ویژگی این رویکرد، تفسیر و تحلیل جزئی بر حسب ویژگی موضوع‌های مستقل است که تفسیر و تحلیل پدیده‌ها بر حسب رابطه‌های میان کنشگران مستقل را به یک سامانه تبدیل کرده است (بورگاتی ۲۰۰۵). مهم‌ترین نرم‌افزارهای مطرح در این روش شامل VISION با قابلیت دیداری نمودن، رسم و تحلیل شبکه‌ها به‌طور همزمان، UCINET با قابلیت تحلیل داده‌ها و NETDRAW با توانایی رسم شبکه و الگوهای ارتباطی است. افزون بر این، امکان ورود داده‌ها از نرم‌افزار UCINET به نرم‌افزار NETDRAW و رسم الگوهای ارتباطی وجود دارد (محمدی‌کنگرانی ۲۰۱۰).

پژوهش‌های بسیاری در زمینه‌ی تجزیه و تحلیل شبکه‌ی اجتماعی مدیریت آب انجام‌شده است. در تانزانیا در آبخیز امکیندو، استین و همکاران (۲۰۱۱) نقش شبکه‌های اجتماعی و تأثیر این شبکه‌ها روی مدیریت و حکمرانی خوب آب را بررسی و تحلیل کردند. این پژوهشگران بر کاربرد تحلیل شبکه به‌عنوان یک روش نظام‌مند در توصیف رابطه‌های میان ذی‌نفعان (سودبران) محلی برای انجام مدیریت آب تأکید کردند. آنها همچنین وجود رهبران محلی در روستاها را به‌عنوان یکی از اجزای اصلی در انجام این فرایند ضروری دانستند. در سوئیس، لینرت و همکاری (۲۰۱۳) سیاست‌های موجود در زیرساخت‌های آبی با استفاده از تحلیل شبکه‌های اجتماعی را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که تحلیل شبکه‌های اجتماعی نتیجه‌ای کاملاً مطلوب و مناسب داشت و با استفاده از آن می‌توان به مشکلات گوناگون در رابطه‌های میان سودبران که بر مسائل مربوط به تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌های آبی تأثیرگذار است، رسیدگی کرد. در بریتانیا، وارد و همکاران (۲۰۲۰) شبکه‌ی اجتماعی مشارکتی حاکمیت آب را تجزیه و تحلیل کردند. این پژوهشگران دریافتند که به‌منظور افزایش ارتباطات تاب‌آوری میان سازمانی برای مدیریت آب لازم است دانش تاب‌آوری در حاکمیت آب به‌شکل گسترده‌ای در نظر گرفته شود. در منطقه‌ی مرکزی شیلی در آبخیز راپل، روجاس و همکاران (۲۰۲۰) پیشبرد حکمرانی آب را بررسی کردند. آنها گزارش کردند که سودبران در منطقه‌ی پژوهش‌شده نقش حیاتی در پیوندهای موجود داشتند و در سراسر شبکه تأثیرگذار بودند. در چین در کمربند اقتصادی رود یانگ‌تسه، آن و همکاران (۲۰۲۱) در راستای تحلیل شبکه‌ی اجتماعی همبست غذا-انرژی-آب با هدف ساخت یک چارچوب تحلیل شبکه برای درک بهتر تغییرپذیری مکانی- زمانی همبست غذا-انرژی-آب در این کمربند اقتصادی نتیجه گرفتند که در همبست سه‌گانه، بیشترین مرکزیت با زیرسامانه‌ی انرژی بود و بر دو مؤلفه‌ی دیگر چیره بود. در اندونزی، گانداساری و همکاران (۲۰۲۲) شبکه‌های اجتماعی را با مرکزیت محلی و جهانی تجزیه و تحلیل کردند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند

آبخیزداری کتویه در شهرستان لارستان، طرح آبخیزداری کال در شهرستان لامرد و طرح آبخیزداری بهرستان در شهرستان مهر به عنوان طرح های هدف انتخاب شدند.

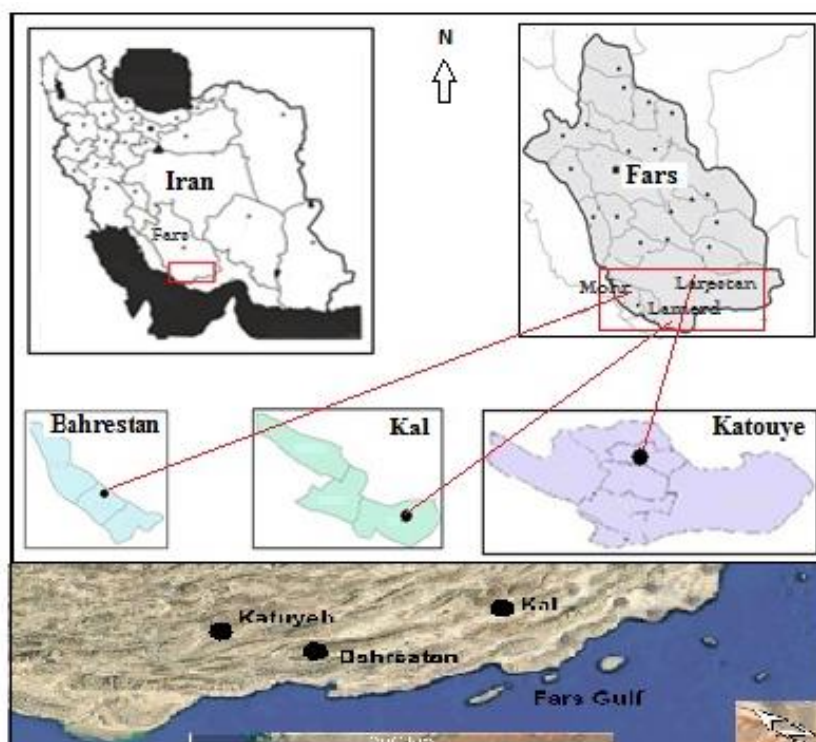
آبخیز کتویه در شهرستان جویم لارستان در استان فارس در ۱۲۰ کیلومتری شمال غربی شهر لار در ۲۷۰ کیلومتری شیراز (مرکز استان) است و گستردگی آن ۷/۵ کیلومتر مربع است. این آبخیز میان طول های جغرافیایی $53^{\circ}42'30''$ تا $53^{\circ}47'30''$ شرقی و عرض های جغرافیایی $28^{\circ}17'30''$ تا $28^{\circ}28'$ شمالی است. آبخیز کتویه از نظر ساختاری در منطقه ی فارس ساحلی و در کمربند چین خورده ی زاگرس است. این آبخیز از نظر چینه شناسی، شامل ردیف های رسوبی پاره سازند آهکی گوری از سازند میشان، سازند کنگلومرایی بختیاری و نهشته های آبرفتی عهد حاضر است. رویشگاه های جنگلی منطقه ی کتویه، در رویشگاه جنگلی خلیج عمانی است. سه گونه ی مهم مرتعی قابل شناسایی و تفکیک این منطقه شامل گون، کنار، اینوس است. اقلیم منطقه براساس روش دومارتن، نیمه خشک و براساس روش آمبرژه نیمه خشک معتدل است. میانگین بارندگی آبخیز کتویه ۲۳۰/۸ میلی متر است. روستای کتویه از جمله روستاهای کوهستانی به شمار می آید. جمعیت این روستا در سال ۱۳۸۸، ۲۵۷ نفر بود که در سال ۱۳۹۵ به ۴۷۴ نفر افزایش یافت. پیش از ساخت طرح تغذیه ی مصنوعی در این روستا بعد خانوار ۴/۴ بود و پس از ساخت طرح در سال ۱۳۹۵، بعد خانوار آن به ۳/۸ کاهش یافت. مهاجرت از این روستا در دو بازه ی زمانی سال ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ در حد صفر بود (مرکز آمار ایران ۲۰۱۷). در دو بخش شرقی و غربی روستای کتویه، به منظور مهار سیلاب و تغذیه ی مصنوعی سفره ی آب زیرزمینی (آبخیزداری)، طراحی و ساخت حوضچه های تغذیه ی مصنوعی انجام شد. در بخش کتویه ی شرقی یک حوضچه ی تغذیه مصنوعی و در بخش کتویه غربی دو حوضچه ی تغذیه مصنوعی زنجیره ای ساخته شد.

آبخیز کال در ۷۷ کیلومتری شمال شرقی شهر لامرد در ۳۷۰ کیلومتری شیراز (مرکز استان) است و گستردگی آن ۱۲۵ کیلومتر مربع است. این آبخیز میان طول های جغرافیایی $53^{\circ}42'30''$ تا $53^{\circ}47'30''$ شرقی و عرض های جغرافیایی $27^{\circ}12'45''$ تا $27^{\circ}22'30''$ شمالی است. آبخیز کال از نظر ساختاری در منطقه ی فارس ساحلی و در کمربند چین خورده ی زاگرس است. این آبخیز از نظر چینه شناسی شامل ردیف های رسوبی گروه خامی، گروه بنگستان، سازند پابده، گورپی، سازند آسماری-جهرم، سازند بختیاری و نهشته های آبرفتی عهد حاضر است. آبخیز کال متأثر از دو فلور خلیج عمانی و

ایران - تورانی است. در آبخیز کال دو نوع پوشش گیاهی خلیج عمانی و ایران - تورانی وجود دارد. سه گونه ی مهم مرتعی قابل شناسایی و تفکیک این منطقه شامل گون، کنار، اینوس است. اقلیم منطقه براساس روش دومارتن، خشک و براساس روش آمبرژه بیابانی گرم و شدید است. میانگین بارندگی آبخیز کال ۱۹۹/۹۸ میلی متر است. جمعیت روستای کال در سال ۱۳۸۶، ۱۶۹۶ نفر بود که در سال ۱۳۹۵ به ۱۸۰۱ نفر افزایش یافت. پیش از ساخت طرح تغذیه ی مصنوعی بعد خانوار در این روستا ۵/۱۲ بود و پس از ساخت طرح در سال ۱۳۹۵، بعد خانوار آن به ۳/۶۸ کاهش یافت. مهاجرت از این روستا در دو بازه ی زمانی سال ۱۳۸۶ و ۱۳۹۵، به ترتیب ۲/۷۴ و ۹/۴۳ بود (مرکز آمار ایران ۲۰۱۷). در روستای کال به منظور مهار سیلاب و تغذیه ی مصنوعی سفره ی آب زیرزمینی (آبخیزداری)، طراحی و ساخت حوضچه های تغذیه ی مصنوعی انجام شد.

آبخیز بهرستان در ۲۵ کیلومتری شمال غربی شهر مهر در ۴۶۴ کیلومتری شیراز (مرکز استان) است و گستردگی آن ۵ کیلومتر مربع است. این آبخیز میان طول های جغرافیایی $52^{\circ}43'31''$ تا $52^{\circ}44'57''$ شرقی و عرض های جغرافیایی $27^{\circ}42'27''$ تا $27^{\circ}43'58''$ شمالی است. آبخیز بهرستان از نظر ساختاری در منطقه ی فارس ساحلی و در کمربند چین خورده ی زاگرس است. این آبخیز از نظر چینه شناسی شامل ردیف های رسوبی سازند پابده - گورپی، سازند آسماری - جهرم، نهشته های آبرفتی عهد حاضر است. در بلندی های این آبخیز، گونه های درختچه ای بادام و درختی انجیر و کنار مشاهده شد که پراکندگی زیاد و تراکم کمی را داشتند. همچنین، گونه های گیاهی مهم این منطقه گون و پیچک صحرایی است. اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه گرم خشک است. میانگین بارندگی آبخیز بهرستان ۲۸۸/۷ میلی متر است. جمعیت روستای بهرستان در سال ۱۳۸۶، ۴۹۳ نفر بود که در سال ۱۳۹۵ به ۴۷۹ نفر افزایش یافت. پیش از ساخت طرح تغذیه ی مصنوعی بعد خانوار در این روستا ۳/۵ بود و پس از ساخت طرح در سال ۱۳۹۵، بعد خانوار آن به ۵/۵۸ کاهش یافت. مهاجرت از این روستا در دو بازه ی زمانی سال ۱۳۸۶ و ۱۳۹۵، به ترتیب ۰/۵۴ و ۱۴/۶۱ بود (مرکز آمار ایران ۲۰۱۷). در آبخیز بهرستان، بندخاکی به طول ۳۸۸ متر به همراه سرریز سنگی ملاتی ساخته شده است.

موقعیت و مشخصات طرح های مطالعه شده به ترتیب در شکل ۱ و جدول ۲ آورده شده است. مشخصات سه روستای هدف نیز در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت طرح‌های مطالعه‌شده.

Figure1- Location of studied projects.

جدول ۱- مشخصات سه روستای هدف (بازه‌ی زمانی ۱۳۸۶-۱۳۹۵).

Table 1- Specifications of three target villages (2007-2016 period).

No.	Name	County	Rural population (p)	Job	Family Dimension	Immigration Rate
1	Katouyeh	Larestan	474	Horticulture	3.8	0
2	Kal	Lamerd	1801	Agriculture	3.68	9.43
3	Bahrestan	Mohr	479	Agriculture	5.58	14.61

Source: Studies of consulting engineers

منبع: مطالعات مهندسان مشاور

جدول ۲- مشخصات سه طرح آبخوانداری مطالعه‌شده.

Table2- Specifications of three projects.

No.	Name	County	Average rainfall (mm)	Climate (Dumarten)	Year of implementation	Study Year	UTM (39R)	
							X	Y
1	Katouyeh	Larestan	230.8	Semi-Arid	2009	2017	768266	3131841
2	Kal	Lamerd	199.8	Arid	2007	2017	783586	3016149
3	Bahrestan	Mohr	288.8	Semi-Arid	2007	2017	743567	3065848

Source: Studies of consulting engineers

منبع: مطالعات مهندسان مشاور

تحلیل شبکه‌ی اجتماعی

تحلیل شبکه‌ی اجتماعی رویکردی برای مطالعه‌ی ساختارهای سازمانی است که خاستگاه اصلی آن زمینه‌های علوم اجتماعی، علوم سیاسی، مردم‌شناسی و نظریه‌ی نمودارها است. پیشینه‌ی این رویکرد به بیش از پنجاه سال می‌رسد (هولند و لیدهارت ۱۹۷۹).

مهم‌ترین ویژگی این رویکرد، تفسیر و تحلیل جزئی بر حسب ویژگی‌های موضوع‌هایی مستقل را به تفسیر و تحلیل پدیده‌ها بر حسب رابطه‌های میان کنشگران مستقل یک سامانه تبدیل کرده مهم‌ترین ویژگی این رویکرد، تفسیر و تحلیل جزئی بر حسب ویژگی موضوع‌های مستقل است که تفسیر و تحلیل پدیده‌ها بر حسب رابطه‌های میان کنشگران مستقل را به یک سامانه تبدیل کرده است (بورگاتی ۲۰۰۵). در این رویکرد کانون توجه از افراد و ویژگی‌هایشان به جفت افراد و ارتباط میان‌شان تغییر داده شده است (یقفیر ۱۹۷۸). رویکرد شبکه‌ای یکی از چهار رویکرد مطرح در نظریه‌ی سرمایه‌ی اجتماعی است و بر اصل ارزش‌مند بودن شبکه‌های اجتماعی استوار است و می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری شوند. به‌طور کلی، تحلیل شبکه مبتنی بر رویکرد شبکه‌ای و نظریه‌ی نمودارها ایجاد شده است. تحلیل شبکه نوعی روش تحلیلی در زمینه‌ی پژوهش‌های میان‌رشته‌ای است (هلمست و همکاران ۲۰۱۰). از سوی دیگر، شبکه‌های اجتماعی به‌عنوان یک مشخصه‌ی مهم در دستگاه‌های اجتماعی-بوم‌شناختی سبب تسهیل مشارکت میان بهره‌برداران مختلف برای دستیابی به حکمرانی موفق آب می‌شود (بودین و پرل، ۲۰۱۱ و بارنس‌موت و همکاران ۲۰۱۳). تحلیل شبکه یعنی ابزاری کارآمد در سنجش انسجام و پایداری اجتماعی در شبکه‌ی حکمرانی منابع آب است که می‌تواند شبکه‌ی غیرقابل مشاهده‌ی ارتباط‌های میان سودبران را قابل مشاهده کند که می‌تواند شبکه‌ی ارتباط‌های غیرقابل مشاهده‌ی میان سودبران را قابل مشاهده کند و ورودی‌های ارزشمندی برای مدیران و سیاست‌گذاران فراهم آورد که فرایند تصمیم‌گیری را بهبود بخشد (سالاری و همکاران ۲۰۱۶).

سنجش‌های شبکه‌ی اجتماعی

سنجش‌های شبکه‌ی اجتماعی استفاده‌شده در این پژوهش سه سنجش تراکم شبکه^۵، مرکزیت بینابینی^۶ و مرکزیت درجه^۷ بود. سنجش تراکم به‌شکل نسبت تعداد پیوندهای موجود، به همه‌ی پیوندهای ممکن تعریف می‌شود و معرف اندازه‌ی همبستگی شبکه است (ابراهیمی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). اندازه‌ی این شاخص ۱-۰٪ و ۱۰۰-۰٪ متغیر است (جاتل

۲۰۱۳). تراکم زیاد در شبکه نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی انسجام زیاد (بهم پیوستگی) در شبکه است. از این رو، اندازه‌ی سرمایه‌ی اجتماعی افزایش می‌یابد و فعالیت‌های مشارکتی تسهیل می‌شود (نیویگ و همکاران ۲۰۱۰). سنجش مرکزیت بینابینی، مرکزیت بر اساس موقعیت افراد در شبکه و بر پایه‌ی کوتاه‌ترین مسیر میان هر دو فرد محاسبه می‌شود. بنابراین فردی بیشترین مرکزیت بینابینی را دارد که بینابین بسیاری از افراد دیگر باشد و راه‌های ارتباطی افراد دیگر از آن بگذرد. این افراد قدرت جداسازی کردن یا افزایش ارتباط‌ها را دارند (محمدی‌کنگرانی و همکاران ۲۰۱۱). سنجش مرکزیت درجه‌ی ساده‌ترین نوع مرکزیت است که ارزش مرکزیت هر نقطه فقط با شمارش تعداد همسایگانش به‌دست می‌آید. هرچه مرکزیت درجه‌ی یک فرد بیشتر باشد، ارتباط‌ها و شبکه‌ی بیشتری در اختیار دارد و تأثیرگذارتر است (محمدی‌کنگرانی ۲۰۱۱).

نرم‌افزارهای UCINET و NETDRAW

در این پژوهش به‌منظور تحلیل شبکه از نرم‌افزارهای UCINET و NETDRAW استفاده شد. برای تحلیل اطلاعات جمع‌آوری‌شده، این اطلاعات در نرم‌افزار اکسل و در چارچوب‌های ماتریس‌های لازم برای ورود به نرم‌افزار UCINET ثبت شدند و سنجش‌های مزبور محاسبه شد. این نرم‌افزار ضمن داشتن قابلیت تحلیل سنجش‌های مزبور، و ارتباط با نرم‌افزار NETDRAW، امکان رسم و تحلیل گرافیکی داده‌ها را نیز دارد. در این پژوهش در نرم‌افزار UCINET، از دسته فرمان‌های ورود اطلاعات و تعیین سنجش‌های تراکم و مرکزیت (درجه و بینابینی) استفاده شد.

Ucinet→Data→Import Excel→ Metrices

Ucinet→Network→ 2- Mode network → 2- Mode cohesion

Ucinet→Network→ 2- Mode network → 2- Mode centrality

روش پژوهش

این پژوهش در پنج گام انجام شد. در نخستین گام سنجش‌های ارزیابی انتخاب شدند. در این رابطه دو سنجش اعتماد و همکاری به‌وسیله‌ی اجماع نظر خبرگان و با روش دلفی کلاسیک^۸ انتخاب شدند (فانی و همکاران ۲۰۲۰، موسی و همکاران ۲۰۱۹، چاین‌چانا ۲۰۲۲) (جدول ۳). خبرگان طرف مشورت در این طرح ۱۶ تن بودند. خبرگان براساس روش گلوله برفی^۹ انتخاب شدند (سالاریان و همکاران ۲۰۲۰). در گام دوم، شبکه‌ی رابطه‌های اجتماعی موجود در بعد نهادی در رابطه با طرح آبخیزداری در هر یک از سه روستای هدف تعریف شد. شبکه‌های مراجعه به اداره‌ها، همکاری اداره‌ها، تمایل به

5 - Network density

6 - Between centrality

7 - Degree centrality

8 - Delphi method

9 - Snowball

و سنجش‌های تراکم و مرکزیت (درجه و بینایی) برای ارزیابی دو سنجی اعتماد و همکاری محاسبه شدند. در پنجمین گام، دو موضوع همکاری اداره‌ها و تمایل به همکاری با اداره‌ها به ترتیب برای دو سنجی همکاری و اعتماد انتخاب شدند و وضعیت پایداری این دو سنجی در سه روستای هدف تعیین شد. به منظور طبقه‌بندی داخلی هر یک از سنجش‌های استفاده‌شده از طبقه‌بندی استاندارد روش پرسکات‌آلن استفاده شد. بنابراین، براساس جمع جبری درجه‌ی پایداری مطابق با جدول طبقه‌بندی استاندارد پرسکات‌آلن، وضعیت پایداری هر یک از دو سنجی همکاری و اعتماد به دست آمد و میانگین‌گیری از آن‌ها انجام شد.

همکاری با اداره‌ها، مسئولیت‌پذیری در حل مشکل، روستاییان مؤثر در حل مشکل کم‌آبی و کارشناسان مؤثر در حل موضوع کم‌آبی برای هر سه روستای هدف تعریف شد. در سومین گام، پرسش‌نامه‌ی مبتنی بر شبکه‌ی رابطه‌های اجتماعی تعریف‌شده، طراحی شد (شکل ۲). پس از بررسی پایایی^{۱۰} و روایی^{۱۱} پرسش‌نامه، به روش رودرو و گفتگو با اهالی سه روستای هدف تکمیل شدند. تعداد پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده برای روستای کتویه ۲۵، روستای کال ۶۰ و روستای بهرستان ۲۰ شمار (جمعاً ۱۰۵ شمار) بود. در گام چهارم، اطلاعات به دست آمده از پرسش‌نامه‌ها برای هر روستا در نرم‌افزار UCINET وارد شد. سپس نمودارهای مربوطه رسم شدند

جدول ۳- وزن هر یک از سنجش‌های ارزیابی و وزن نهایی هر سنجی در چارچوب مدل منشوری بر اساس دیدگاه خبرگان.

Table 3- The weight of each of the evaluation criteria and the final weight of each criterion in the framework of the prismatic model based on the opinions of experts.

Dimension	Criterion	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Minimum	Maximum	Average Computational Weight	Rounded Average Weight
Institutional	Confidence	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3.88	4
	Cooperation	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	2	3	3	1	1	1	4	2.94	3

1) Which of the following departments or people do you usually refer to solve problems and issues related to the village?		2) Which of the departments or people you referred to cooperated with you the most?			
Agricultural Bank	Department of Natural Resources and Watershed Management -County	Agricultural Bank	Department of Natural Resources and Watershed Management -County		
Governorship	Department of Agricultural Jihad - County	Governorship	Department of Agricultural Jihad - County		
District administration	Rural Water and Wastewater Administration -County	District administration	Rural Water and Wastewater Administration -County		
Village Islamic Council	City Water Affairs Department	Village Islamic Council	City Water Affairs Department		
Villager	Veterinary department - County	Villager	Veterinary department - County		
3) If another project is to be implemented in your village, which of the following departments or people are you willing to cooperate with?		4) Which of the following departments or people have had a greater role and responsibility in solving problems related to village water and building water catchment structures?			
Governorship	Department of Natural Resources and Watershed management -County	Governorship	Department of Natural Resources and Watershed management -County		
District administration	Department of Agricultural Jihad - County	District administration	Department of Agricultural Jihad - County		
Village Islamic Council	Rural Water and Wastewater Administration -County	Village Islamic Council	Rural Water and Wastewater Administration -County		
Villager	City Water Affairs Department	Villager	City Water Affairs Department		
5) Please name 5 people from your village who played an important role in the implementation of the water watershed project?		6) Please name the 5 experts of the departments who played an important role in the implementation of the watershed project?			
No.	Name	Job	No.	Name	Job
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		

شکل ۲- پرسش‌نامه‌ی جمع‌آوری اطلاعات بعد نهادی از سه روستای هدف.

Figure 2- Questionnaire to collect institutional dimension information from the three target villages.

نتایج و بحث

تراکم، مرکزیت درجه و مرکزیت بینابینی استفاده شد. موضوع همکاری اداره‌ها برای سنج‌های همکاری و موضوع تمایل به همکاری با اداره‌ها برای سنج‌های اعتماد انتخاب شدند. وضعیت پایداری این دو سنج در سه روستای کتویه، کال و بهرستان تعیین شد (جدول‌های ۴ تا ۶). همچنین، درجه‌ی پایداری دو سنج‌های همکاری و اعتماد از بُعد نهادی در روستاهای هدف براساس سنج‌های محاسبه‌شده در جدول ۷، آورده شده است. نمودارهای تهیه‌شده در نرم افزار UCINET در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است.

اطلاعات به دست آمده از پرسش‌نامه‌ها به نرم افزار UCINET وارد شد. برای سه روستای مطالعه‌شده، نمودار رابطه‌ها شامل شبکه‌های مراجعه به اداره‌ها، همکاری اداره‌ها، تمایل به همکاری با اداره‌ها، مسئولیت‌پذیری اداره‌ها در حل مشکل، روستاییان مؤثر در حل مشکل آب و کارشناسان مؤثر در حل موضوع آب، به وسیله‌ی نرم افزار رسم شد. در این پژوهش برای ارزیابی دو سنج‌های همکاری و اعتماد، از سه سنج یا شاخص

جدول ۴- اندازه‌های تراکم و ویژگی‌های پراکندگی در سه روستای هدف با استفاده از UCINET.

Table 4 - Values of density and fragmentation factors in three target villages using UCINET Software.

Networks	Discontinuity			Density		
	Behrstan	Kal	Katouye	Behrstan	Kal	Katouye
Refer to the offices	0.07	0.03	0.05	0.38	0.43	0.58
Cooperation of departments	0.07	0.06	0.05	0.38	0.43	0.54
Willingness to cooperate with departments	0.13	0.03	0.06	0.34	0.37	0.58
Administrations' responsibility in solving the problem	0.07	0.03	0.06	0.34	0.31	0.50
Administrations' responsibility in solving the problem	0.00	0.27	0.00	0.38	0.16	0.38
Effective villagers in solving the water problem	0.74	0.61	0.20	0.18	0.16	0.45

جدول ۵- اندازه‌های سنج‌های مرکزیت (درجه و بینابینی) در سه روستای هدف در شبکه‌ی همکاری روستاییان مؤثر در حل مشکل آب.

Table 5- Values of the centrality measure (degree and between) in the three target villages in the Cooperation network of effective villagers in solving the water problem.

Village	Centrality	Names of villagers effective in solving the water problem									
		Safar zamani	Mohammad zamani	Abdolrahim zamsni	Noruz zamani	Abdolhosein zamani	Majid zamani	Samad zamini	Hajrsafar zamani	Malek mansouri	Mojtaba zamanidoust
Katouye	Deg.	0.596	0.60	0.88	0.80	0.36	0.36	0.40	0.36	0.12	0.12
	Betw.	0.13	0.16	0.80	0.00	0.60	0.05	0.05	0.03	0.00	0.00
kal	Deg.	0.28	0.02	0.25	0.25	0.45	0.20	0.03	0.07	0.02	0.10
	Betw.	0.23	0.00	0.17	0.11	0.33	0.06	0.00	0.00	0.00	0.05
Behrestan	Deg.		1.00		0.15	0.30	0.25	0.40	0.10	0.30	0.40
	Betw.		0.71		0.01	0.02	0.02	0.06	0.00	0.02	0.05

جدول ۶- اندازه‌های سنج‌های مرکزیت (درجه و بینابینی) در سه روستای هدف در شبکه‌ی همکاری کارشناسان مؤثر در حل مشکل آب.

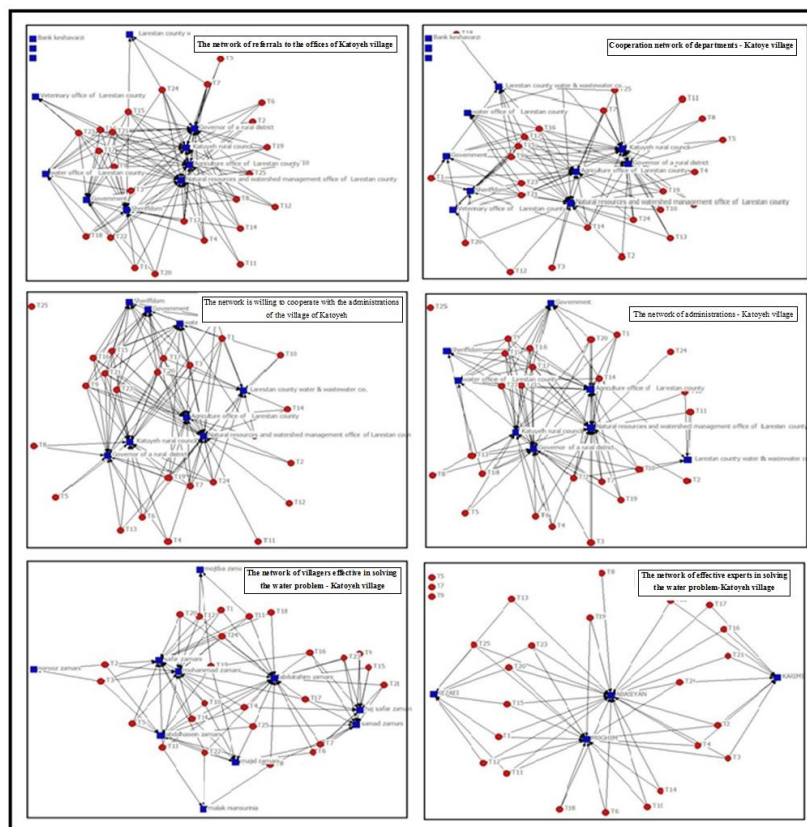
Table 6 - Values of the centrality measure (degree and between) in the three target villages of the cooperation network of effective experts in solving the water problem.

Village	Centrality	Names of effective experts in solving the water problem					
		Karimi	Rezaii	Moghimi	Abbasiyan		
Katouye	Degree	0.32	0.32	0.64	0.88		
	Between	0.04	0.03	0.17	0.47		
kal	Degree	0.03	0.02	0.03	0.02	0.20	0.63
	Between	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.35
Behrestan	Degree	0.00	0.00	0.55			
	Between	0.00	0.00	0.24			

جدول ۷- اندازه های سنجی مرکزیت (درجه و بینابینی) در سه روستای هدف در شبکه همکاری روستاییان مؤثر در حل مشکل آب.

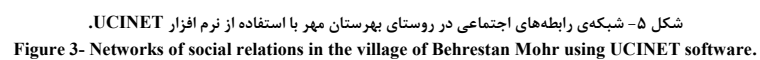
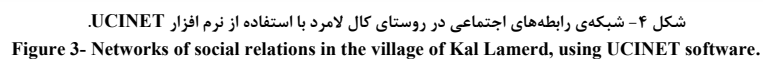
Table 7- Values of the centrality measure (degree and between) in the three target villages in the communication network with institutions and organizations.

Net	Village	Centrality D= Degree B= Between	Institutions and Organizations									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Refer to the offices	Kato.	D	0.96	0.64	0.12	0.36	0.16	0.00	0.52	0.56	0.86	0.76
		B	0.22	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.05	0.14	0.11
	Kal	D	0.72	0.75	0.23	0.03	0.00	0.28	0.15	0.38	0.92	0.98
		B	0.13	0.07	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.27	0.37
	Bahr.	D	0.85	0.40	0.40	0.10	0.10	0.00	0.10	0.35	0.45	0.00
		B	0.23	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.37
Cooperation of the offices	Kato.	D	0.80	0.56	0.36	0.28	0.24	0.00	0.32	0.36	0.74	0.76
		B	0.21	0.07	0.07	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.16	0.16
	Kal	D	0.68	0.17	0.08	0.00	0.00	0.05	0.08	0.23	0.83	0.98
		B	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.24	0.42
	Bahr.	D	0.85	0.40	0.40	0.10	0.01	0.00	0.10	0.35	0.45	1.00
		B	0.23	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.37
Willingness to cooperate with departments	Kato.	D	0.88	0.64	0.44	0.44	0.00	0.00	0.44	0.40	0.76	0.64
		B	0.29	0.08	0.04	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02	0.15	0.10
	Kal	D	0.69	0.07	0.08	0.00	0.00	0.00	0.12	0.22	0.87	0.92
		B	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.32	0.40
	Bahr.	D	0.40	0.15	0.15	0.05	0.05	0.00	0.00	0.65	0.65	1.00
		B	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.36
Taking responsibility of the administrations	Kato.	D	0.88	0.48	0.02	0.36	0.00	0.00	0.36	0.28	0.68	0.72
		B	0.39	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.14	0.17
	Kal	D	0.62	0.02	0.08	0.02	0.00	0.00	0.03	0.05	0.77	0.90
		B	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.44
	Bahr.	D	0.90	0.00	0.20	0.05	0.00	0.00	0.50	0.10	0.60	0.80
		B	0.42	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.26
Department of Natural Resources and Watershed of the city						1	Agricultural Bank				6	
Department of Agricultural Jihad of the city						2	Governorship				7	
City water and sewage department						3	Prefectural				8	
Department of water affairs of the city						4	Village Islamic Council				9	
Veterinary department of the city						5	Villager				10	



شکل ۳- شبکه های رابطه های اجتماعی در روستای کتویه لارستان با استفاده از نرم افزار UCINET.

Figure 3- Networks of social relations in the village of Katoyeh Larestan, using UCINET software.



جدول ۸- درجه‌ی پایداری دو سنجهی همکاری و اعتماد از بُعد نهادی در روستاهای هدف.

Table 7- The degree of stability of the two criteria of cooperation and confidence from the institutional dimension in the target villages.

Dimension	Criterion	Indicator	Katuyeh	Kal	Bahrestan
institutional	Cooperation	Degree of centrality	85%	68%	85%
		Degree of stability	5	4	5
		Intermediary centrality	21%	16%	23%
		Degree of stability	2	1	2
		Density	54%	43%	38%
		Degree of stability	3	3	2
		The degree of stability of cooperation criteria	3.3	2.7	3
		Description of the degree of stability of the trust criterion	Medium stability	Medium stability	Medium stability
	Confidence	Degree of centrality	88%	65%	40%
		Degree of stability	5	4	2
		Intermediary centrality	29%	19%	1%
		Degree of stability	2	1	1
		Density	58%	37%	34%
		Degree of stability	3	2	2
		The degree of stability of the trust criterion	3.3	2.3	1.7
		Description of the degree of stability of the trust criterion	Medium stability	Almost unstable	Almost unstable
The degree of stability of the institutional dimension (by calculating the average)			3.3	2.5	2.4
Description of the degree of stability of the institutional dimension			Medium stability	Almost unstable to moderate stability	Almost unstable

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تقریباً ناپایدار برآورد شد. از جمله نکات قابل توجه در تحلیل شبکه‌های ارتباطی سه روستای هدف، مقایسه‌ی مرکزیت اداری و منابع طبیعی و آبخیزداری در دو موضوع مراجعه به اداره‌ها و همکاری با اداره‌ها بود. براساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت تقریباً مراجعه‌های اهالی سه روستا به اداره‌ی منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان مربوطه با همکاری اداره‌های مزبور همراه بود. این موضوع بیانگر این است که اداره‌ی منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان‌های مربوطه (به‌ویژه بخش آبخیزداری)، همکاری کامل و همه‌جانبه‌ای با درخواست‌های ارائه‌شده از سوی اهالی کتویه، کال و بهرستان داشتند. در میان دیگر نهادهای

در روستای کتویه، درجه‌ی پایداری برای هر دو سنجهی همکاری و اعتماد ۳/۳ (پایداری متوسط) بود. از این رو، درجه‌ی پایداری در بُعد نهادی برای روستای کتویه ۳/۳ یا پایداری متوسط برآورد شد. در روستای کال، درجه‌ی پایداری برای دو سنجه همکاری و اعتماد به ترتیب ۲/۷ و ۲/۳ بود. از این رو، درجه‌ی پایداری در بُعد نهادی برای روستای کال ۲/۵ یا تقریباً ناپایدار تا پایداری متوسط برآورد شد. در روستای بهرستان، درجه‌ی پایداری برای دو سنجهی همکاری و اعتماد به‌ترتیب ۳ و ۱/۷ بود. از این رو، درجه‌ی پایداری در بُعد نهادی برای روستای بهرستان ۲/۴ یا

دیگری سلیمی‌کوچی و همکاران (۲۰۲۰) الگوی ساختاری سرمایه اجتماعی درون گروهی بهره‌برداران منابع آب منطقه سد درودزن را تحلیل کردند و نتیجه گرفتند که اندازه‌ی شاخص تراکم در میان بهره‌برداران محلی منابع آب در پیوند اعتماد و مشارکت در روستاهای کوه‌سبز و کوه‌تاوی در حد قابل قبول بود. نتایج این پژوهشگران با یافته‌های این پژوهش هماهنگی دارد. در استان کرمان کریمی‌گوغری و همکاران (۲۰۱۷) در زمینه‌ی واکاوی شبکه‌ی نهادی ترویج و آموزش کشاورزی نتیجه گرفتند که نهادهای دولتی ذیربط از جمله اداره‌ی کل منابع طبیعی و آب‌خیزداری استان، پیوندهای تبادل اطلاعات و همکاری در میان کنشگران نهادی را رعایت کرده‌اند و وضعیت نسبتاً مطلوبی داشتند. یافته‌های این پژوهشگران با نتایج این پژوهش هم‌راستا است. به‌منظور جلب بیشتر اعتماد و همکاری آب‌خیزنشینان و استمرار آن در زمینه‌ی فعالیت‌های آبخوانداری، پیشنهاد می‌شود حفاظت و نگهداری از طرح‌های آبخوانداری به معتمدین محلی یا شوراهای اسلامی روستاها واگذار شود تا بستر مناسبی برای تقویت و ادامه‌ی مشارکت، همکاری و اعتماد دوطرفه آب‌خیزنشینان و نهادهای دولتی در زمینه‌ی حفاظت آب و خاک فراهم شود. شایان ذکر است، تمایل نداشتن برخی از اهالی در پاسخگویی به پرسش‌نامه‌ها به دلیل بی‌انگیزگی و نزاع‌های محلی از جمله مشکلات و محدودیت‌های این پژوهش بود.

دولتی و غیردولتی، مراجعه‌ها و همکاری‌ها در شورای اسلامی روستا و دهیار در هر سه روستای شهرستان مرکزیت مراجعه به دهیار صفر و مرکزیت همکاری با دهیار ۱۰۰٪ گزارش شد. این موضوع می‌تواند بیانگر این باشد اهالی با دهیار قبلی تعامل چندانی نداشتند، از این‌رو، اندازه‌ی مراجعه به ایشان صفر بود. اما با تغییر دهیار، اهالی روستا به همکاری کامل با ایشان تمایل پیدا کردند. در روستای کتویه، مرکزیت همکاری هر دو نهاد دهیار و شورای اسلامی برابر و ۷۶٪ بود. دلیل این موضوع، یکی‌بودن رئیس شورای اسلامی روستا و دهیار روستا بود. بر این اساس، در سه روستای کتویه، کال و شهرستان نهاد دولتی اداره‌ی منابع طبیعی و آب‌خیزداری شهرستان مربوطه و به تبع آن اداره‌ی کل منابع طبیعی و آب‌خیزداری استان از یک سو و شورای اسلامی روستاهای مزبور به‌عنوان نمایندگان اهالی از سوی دیگر، توانستند با ایجاد رابطه‌های دو سویه، اعتماد و همکاری متقابل را میان طرفین ایجاد کنند. این موضوع بعد نهادی در پایداری توسعه‌ی طرح‌های آبخوانداری در مناطق مطالعه‌شده، را تقویت کرد. در جزیره‌ی قشم در جنگل‌های حرا، سلیمانی و همکاران (۲۰۲۱) نهادهای دولتی و مردمی را بررسی کردند و نتیجه گرفتند، شاخص تراکم در شبکه‌ی مردم سازمان (دولت) قابل قبول بود و این موضوع سبب پایداری توسعه در زمینه‌ی حفاظت از جنگل‌های حرا شد. یافته‌های این پژوهشگران با نتایج این پژوهش هم‌راستا است. در پژوهش

فهرست منابع

- Abbasirostami A, Yazdanpanah M, Abdshahi A, Azizi T, Savari M. 2021. Analysis of the social network of cooperative activists in the interconnected management of agricultural water resources in Mazandaran province. *Journal of Watershed Management Research*. 13(25):197-209. (In Persian).
- Aeinlu F, Ekhtesasi MR, Ghorbani M, Abdi-nezhad P, Anjamshoja R. 2022. Analysis of the network of organizational stakeholders in the direction of collaborative management of water resources (Study area: Abhar Plain). *Journal of Range and Watershed Management*. 75(2):263-282. (In Persian).
- Agha Alikhani Z, Barakpour N. 2013. Comparison of social and institutional capacities of sustainable development in the cities of Karaj and Qazvin. *Scientific Research Quarterly of Urban Studies*. 4(14):81-94.
- Alizadeh S, Bayat M. 2015. Investigating good environmental governance in middle-income countries. *Environmental Science and Technology*. 2(2):513-501.
- An R, Liu P, Cheng L, Yao M, Wang Y. 2021. Network analysis of the food – energy – water nexus in china's Yangtze river economic belt from a Strategic perspective. *Environment research*. 16(5):1-16. id.054001. DOI: 10.1088/1748-9326/abe25e.
- Barnes-Mauthe M, Allen SD, Gray SA, Leung PS. 2013. The influence of ethnic diversity on social network structure in a common-pool resources system: implications for collaborative management. *Ecology and Society*. 18(1):23.
- Blore ML. 2015. The role of social capital in community – based natural resource management: A case study from South Africa. M.Sc. dissertation, University of Pretoria. 131p.
- Bodin O, Prell C. 2011. Social network in natural resources management. Cambridge University Press.
- Borgatti S. 2005. Centrality and network flow. *Social networks*. 27(1):55-71.
- Chainchana C. 2022. Development of an educational sustainability assessment model. Application of the Delphi Research. 9(2):119-128.
- Darvishi A, Fakheran S, Yousefi M, Ghorbani M, Ahadi M. 2022. Social network analysis for environmental planning and co-management. *Journal of Environmental Research*. 13(25):151-165.
- Downer A. 2000. Good Government (Guiding Principles for Implementation), Australia, Canberra mailing center. 9 p.
- Ebrahimizadeh MA, Mohammadi Kangarani H, Gholami H, Nikkhah H. 2020. Applying network analysis approach to trust network evaluation in Hosein Abad, South Khorasan Carbon sequestration project. *Journal of Forest*. 12(1):17- 31. (In Persian).
- Fani A, Ghazi I, Malekian A. 2020. Developing water resources management strategies using the Delphi – SWOT technique for sustainable development (Case study: Bandar Abbas City). *Quarterly of Geography and Regional Planning Journal*. 10(2-3):667-683. (In Persian). DOI: 20.1001.1.22286462.1399.10.39.11.8
- Fatemi M, Rezaei Moghaddam K, Pourghasemi H. 2021. Social networks analysis of rural stakeholders in watershed management. *Journal of Environment and Develop*. 23(12):17535-17557. (In Persian). DOI: 10.1007/s10668-021-01399-9
- Gandasari D, Dwidienawati D, Tjahjana D, Sugart M, Faisal M. 2022. Social network analysis: local and global centrality as the communication network structure in the beef cattle farmer groups. *International Journal of Industrial Engineering and Production Research*. 33(2):1-17.

- Helms R, Ignacio R, Brinkkemper S, Zonneveld A. 2010. Limitations of network analysis for studying efficiency and effectiveness of knowledge sharing. *Electronic Journal of Knowledge Management*. 8(1):53-068.
- Holland PW, Leichardt S. 1979. The advance research symposium on social networks. In P.W. Holland and s. Leichardt (Eds.) *Perspectives on Social Network Research*. New York.
- Jatel N. 2013. Using social network analysis to make invisible human actor water governance's networks visible. The Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Arts in the College of Graduate Studies (Interdisciplinary Studies) the University of British Columbia. 35 p . 10.14288/1.0074319
- Jovoric R, Draskovic M, Deli basic M. Ovonc M. 2017. The concept of sustainable regional development- Institutional Aspects, Policies and Prospects. *Journal of International Studies*. 10(1):255-266. Doi:10.14254/2071-8330.2017110-1/18.
- Karimi Gougheri H, Rezaei Moghaddam K, Zamani GH, Hayati D, Rezaei A. 2017. Analyses of agricultural extension and education organizational network in Kerman province: social network analysis. *Journal of Agricultural Extension and Education*. 13(2):131-151. (In Persian).
- Lienert J, Schnetzer F, Ingold K. 2013. Stakeholder analysis combined with social network analysis provides fine-grained insights into water infrastructure planning processes. *Environmental Management Journal*. August. 125:134-148.
- Liu J, Qu H, Huang D. 2014. The role of social capital in encouraging resident's pro-environmental behaviors in community – Based Ecotourism, *Tourism management*. 41(1):190-201.
- Macbeth J, Carson D, Northcote J. 2004. Social capital, tourism and regional development: SPCC. *Current Issues in Tourism*. 7(6):502-522.
- Mohammadi kangarani H, shamekhi T, hoseinzadeh M. 2011. Investigating and analyzing the network of formal and informal relationships between organizations using the network analysis approach (Case study: Kohgilouye and Boyerahmad Provinces). Faculty of management, University of Tehran. *Journal of Governmental Management*. 3(6):149-164. (In Persian).
- Mohammadi Kangarani H, Shayeste A, Holisaz A, Ghonche poor D. 2016. Drawing and analyzing the trust network among tourism sector employees using the network – based analysis approach (Case study: Tabl Village, Qeshm Island). *Hormozgan Cultural Journal*. 8(4):137-150. (In Persian).
- Mohammadi Kangrani H. 2011. Network analysis: A new method to solve management and policy issues in line with industrial development. *Journal of Industrial Technology Development Quarterly*. 14(8):23-34. (In Persian).
- Momeni F, Atapour MR, Salehzadeh R, Ghazali MM. 2002. Institutional arrangements and comprehensive development: the role of institutional innovations in achieving technological development and sustainable development. *Journal of Economic Researches*. 16(3):107-130. (In Persian).
- Musa HD, Yacob MR, Abdullah AM. 2019. Delphi exploration of subjective well-being indicators for strategic urban planning towards sustainable development in Malaysia. *Journal of Urban Management*. 8(1):28-41.
- Navidi F, Mirtahiri L, Hassanzadeh M. 2017. Data analysis methods and links in social networks. *Journal of Balance and Information*. 4(2):11-21. (In Persian).
- Newig J, Gunther D, Paha-Wostl C. 2010. Synapses in the network: Learning in governance networks in the context of environmental management. *Ecology and Society*. 15(4):24.

- Nixon R, Ma ZH, Khan B, Birkenhltz T, Lee L, Ahmadian I. 2022. Social influence shape adaptive water governance: empirical evidence from northwestern Pakistan. *Ecology and Society*. 27(3):37.
- OECD. 2002. Governance for sustainable development. Five OECD case studies, Paris, OECD.100 p.
- Pfeffer J. 1978. Organizational design. Arlington Heights: AHM publishing.1(2):109-122. Doi: 10.1177/017084068000100207
- Rathwell KJ, Peterson GD. 2012. Connecting social networks with ecosystem services for watershed governance: a social- ecological network perspective highlight the critical role of bridging organization. *Ecology and Society*. 17(2):24-34.
- Rojas R, Bennison G, Galvaz V, Claro E, Castelblanco G. 2020. Advancing collaborative water governance: unravelling stakeholder's relationships and influences in contentions River basins. *Water Journal*. 12(12):3316.
- Sabot K, Wickremasingle D, Blanchet K, Avan B, Schellenberg J. 2017. Use of social network analysis methods to study professional advice and performance among healthcare providers: A systematic review. *Systematic Reviews*. 6(208):2-28.
- Salari F, Ghorbani M, Malekian A, Fahmi H. 2016. The application of the social network analysis method in measuring the capacity of local stakeholders for the adoption of cooperative management of water resources (Study area: Sarab Shah Hossein Village, Rezin Watershed, Kermanshah). *Journal of Water and Soil Research*. 47(2):387-395. (In Persian).
- Salarian M, Davary K, Alizadeh A, Lagzian M, Fazeli M. 2020. Collaborative framework for decision making processes of the water management (Case study: Kashflood Basin). *JWMR*. 11(22):76-95.
- Salimi Koochi J, Salajegheh A, Ghorbani M, Malekian A, Rezaei A. 2021. Analysis of the structural pattern of social capital within the group of water resource users. *Journal of Range and watershed*. 73(3):499-511. (In Persian).
- Soleymani Z, Mohammadi Kangarani H, Rezaei M, Hosseinzadeh M. 2021. Participatory management desert ecosystems study of cooperation network of public and governmental institutions in mangrove forests (Qeshm land). *Journal of Rang and Desert Research*. 28(4):787-803. (In Persian).
- Stein C, Ernstson H, Barron J. 2011. A social network approach to analysis water governance: The case of the Mkindo catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*. 14-15(36):1085-1092.
- UNCED- United Nation's Conference on Environmental and Development. 1992. Agenda 21, report of the United Nations conference on environment and development, Rio de junior, 3-14-june. 75 p.
- Valentin A, Spangenberg J. 1999. Indicators for sustainable communities. Paper presented at the international workshop "Assessment methodologies for urban in structure". Stockholm. 20 to 21 November. 88 p.
- Ward S, Meng F, Bunney S, Diao K, Butter D. 2020. Animating inter-organizational resilience communication: a participant social network analysis of water governance in the UK. *Journal of Heliyon/Oct*, 3:6(10):e05069 e05069. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020. e05069



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Measuring the Sustainability of the Institutional Dimension of Watershed Projects on a Local Scale with the Approach of Social Network Analysis in the Katouye, Kal and Bahrestan Villages, South of Fars Province

Hassan Moghim^{*1}, Hannaneh Mohammadi Kangarani², Arashk Holisaz³

1- Ph.D., Watershed Management Sciences and Engineering, General Office of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province

2- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Assistant Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Extended Abstract

Introduction and Goal

Due to the current droughts and the sharp drop in ground water reserves in most of the country's plains, aquifer projects have received more and more attention as a suitable solution. The issue of assessing the sustainability of water catchment projects in various environmental, economic, social and particularly institutional dimensions is crucial. In this research, the evaluation of the sustainability of the institutional dimension in the south of Fars province (Iran) has been investigated on a local scale using the social network analysis method.

Materials and Methods

The evaluation of the sustainability of the institutional dimension in the three aquifer projects of the Katuyeh (Larestan), Kal (Lamard) and Baherstan (Mohr), which were implemented between 2007-2009, was examined through a five-step process. First, the two metrics of trust and cooperation were selected through the consensus of experts and using the classical Delphi method. Second, social relations networks including six topics were established in all three target villages.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** Hassan_Moghim@yahoo.com

Citation: Moghim, H., Mohammadi Kangarani, H., Holisaz, A. 2024. Measuring the Sustainability of the institutional dimension of watershed projects on a local scale with the approach of social network analysis in Katouye, Kal and Bahrestan villages, south of Fars province. Watershed Management Research. 37(2): 22-38.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.361419.1525

Received: 07 February 2023, **Received in revised form:** 06 June 2023, **Accepted:** 21 June 2023

Published online: 21 June 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.2, Ser. No: 143, Summer 2024, pp. 22-38.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)



Third, the relevant questionnaire was designed. The number of completed questionnaires for the villages of Katuyeh, Kal and Behrestan is 25, 60 and 20 respectively (105 in total). In the fourth step, the information obtained from the questionnaires for each village was entered into the UCINET software. Then density and centrality measures (degree and betweenness) were calculated to evaluate two measures of trust and cooperation. Fifth, the two topics of “cooperation of administrations” and “willingness to cooperate with administrations” were determined for the two selection metrics and the stability of these two metrics of cooperation and trust in three villages, respectively.

Results and Discussion

The results of this research showed that in Katwiah village, the degree of stability for both measures of cooperation and trust was 3.3 (moderate stability). Therefore, the degree of stability in the institutional dimension was estimated to be 3.3 or average stability for Katwiah village. In Kal village, the degree of stability for the two measures of cooperation and trust was 2.7 and 2.3 respectively. Therefore, the degree of stability in the institutional dimension for Kal village was estimated as 2.5 or almost unstable to moderate stability. In Bahriстан village, the degree of stability for the two measures of cooperation and trust was 3 and 1.7, respectively. Therefore, the degree of stability in the institutional dimension for Bahriстан village was estimated as 2.4 or almost unstable.

Conclusion and Suggestions

In the three villages of Katoyeh, Kal and Behrestan, the government body of the Natural Resources and Watershed Management Department of the respective city and accordingly the General Department of Natural Resources and Watershed Management of the province on the one hand and the Islamic Council of the said villages as the representatives of the residents on the other hand, were able to establish two-way relations, trust and create mutual cooperation between the parties. Therefore, this issue strengthened the institutional dimension in the sustainability of watershed project development. In order to gain more trust and cooperation of the watershed residents and its continuity in the field of watershed activities, it is suggested that the maintenance of the watershed project plan be entrusted to the local trustees or the Islamic councils of the villages in order to provide a suitable platform for strengthening and continuing participation, cooperation and Provide mutual trust of watershed residents and government institutions in the field of water and soil conservation.

Key Words: Prismatic model, relationship network, social capital, sustainable development, watershed management



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مآذان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تعیین تغییرات بیلان آب و انرژی در مقیاس‌های مختلف زمانی با استفاده از منحنی بودیکو در آبخیز نیر، اردبیل

رئوف مصطفی‌زاده^{۱*}، نازیلا علانی^۲، فاطمه کاتب^۳

- ۱ - دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، عضو پژوهشکده‌ی مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی اردبیل، ایران
- ۲ - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
- ۳ - دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

فهم درست مؤلفه‌ها و تغییرات بیلان آب در مطالعه‌های آب‌شناختی و منابع آب اهمیت قابل توجهی دارد. تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر تغییرات رواناب، مدیریت منابع آب و توسعه‌ی پایدار جامعه تأثیرگذار است. در این راستا، این پژوهش با هدف تعیین و مقایسه‌ی تغییرات بیلان آب با استفاده از منحنی بودیکو در استان اردبیل در آبخیز نیر، انجام شد.

مواد و روش‌ها

منحنی بودیکو برای آبخیز نیر در مقیاس‌های زمانی ماهانه (فصلی و سالانه) محاسبه شد. در این پژوهش، از داده‌های یک دوره‌ی آماری ۳۳ ساله‌ی ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی آبخیز نیر برای محاسبه‌ی میانگین بارش و تبخیر-تعرق بالقوه استفاده شد. منحنی بودیکو، یک رابطه‌ی غیرخطی است که با محدودیت‌های فیزیکی تقاضای آب جوی ($PET > ET$) و عرضه ($P > ET$) محدود می‌شود و شاخص خشکی در منحنی بودیکو تعادل بلندمدت آب را نشان می‌دهد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: raooofmostafazadeh@uma.ac.ir

استناد: مصطفی‌زاده، ر.، علانی، ن.، کاتب، ف. ۱۴۰۳. تعیین تغییرات بیلان آب و انرژی در مقیاس‌های مختلف زمانی با استفاده از منحنی بودیکو در آبخیز نیر، اردبیل. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۲): ۵۴-۳۹
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmrj.2023.362093.1538

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۳/۲۶، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۶/۳۱، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۴۳، تابستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۳۹ تا ۵۴.

©نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



نتایج و بحث

نتایج نشان داد که روند تغییرات جریان رود در مقیاس سالانه به شکل مستقیم با تغییرات مؤلفه‌های آب و هوایی ارتباط داشت. این در حالی بود که بر اساس داده‌های واقعی، فقط در تعدادی از فصل‌ها روند تغییر جریان از تغییر مؤلفه‌های اقلیمی تبعیت می‌کرد. هم چنین در سال‌های مطالعه‌شده، توزیع داده‌ها در منحنی بودیکو بیانگر آن بود که اندازه‌ی مصرف آب در آبخیز نیر از محدوده‌ی پیش بینی شده بر اساس منحنی بودیکو، به انرژی و تعادل آب، دچار انحراف شده است. بیشترین و میانگین و حداقل ET برای سال‌های بررسی شده به ترتیب ۸۷۶/۵۵، ۴۳۱/۸۵ و ۲۷۷/۸۸ به دست آمد. هم چنین بیشترین و میانگین و حداقل نسبت PET/P به ترتیب ۰/۰۷، ۰/۰۵ و ۰/۰۲ بود. بیش‌تر سال‌های مطالعه‌شده داده‌های مشاهداتی روی منحنی بودیکو در محدوده‌ی محدودیت آب قرار داشتند، که در آن، اندازه‌ی مصرف آب مشاهده‌شده (AET/P) برابر با پیش‌بینی مصرف آب (PET/P) بود. بر اساس نتایج، تغییرات در AET/P در سال‌های (۱۳۶۰، ۱۳۶۲، ۱۳۶۸، ۱۳۷۳، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹) کم‌تر بود. بر اساس تغییرات در اندازه‌های PET/P و AET/P نسبت به منحنی بودیکو می‌توان در خصوص توانایی آبخیز در تنظیم AET قضاوت کرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش دما و کاهش بارش، اندازه‌ی تبخیر-تعرق واقعی سالانه آبخیز افزایش یافت و منجر کاهش رواناب در آبخیز شد. این نتایج می‌تواند برای پیشنهاد راهکارهای مدیریتی و سازگار با اقلیم در راستای استفاده‌ی بهینه از منابع آب به کار گرفته شود. سرانجام می‌توان گفت که اندازه‌ی تبخیر-تعرق بالقوه در آبخیز مطالعه‌شده از اندازه‌ی بارش بیش‌تر بود. نتایج این پژوهش می‌تواند برای مدیریت منابع آب با در نظر گرفتن محدودیت‌های تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی به کار گرفته شود.

واژگان کلیدی: تبخیر-تعرق بالقوه، جریان رود، مدیریت منابع آب، معادله بیلان، مؤلفه‌های اقلیمی

مقدمه

آب و هوایی ناشی از فعالیت‌های انسانی تأثیرگذار باشد. حتی در بوم‌نظام‌های آب شیرین نیز، عامل‌های اجتماعی از جمله پویایی جمعیت، توسعه‌ی اقتصادی، درگیری‌های سیاسی و سیاست‌های استفاده از منابع، باعث ایجاد اختلال در بوم‌نظام از جمله حذف جنگل، تغییر کاربری زمین‌ها و سیمای سرزمین، چرای دام، کشاورزی، معدن و آتش‌سوزی می‌شوند (طالبی‌خیای و مصطفی‌زاده ۲۰۲۱). این اختلال‌ها می‌توانند بر تغییرات زیست‌محیطی، تبخیر-تعرق و جریان اثرگذار باشند (جانس و همکاران ۲۰۱۲؛ مصطفی‌زاده و همکاران ۲۰۲۳). ارزیابی جامع توزیع بارش، اندازه‌ی تبخیر-تعرق و رواناب اهمیت زیادی در دامن‌ی گسترده‌ای از بخش‌های اجتماعی و اقتصادی دارد (گریو و همکاران ۲۰۱۶). در میانگین سالانه‌ی تعادل بلندمدت آب مقیاس آبخیز، چرخه‌ی آب‌شناختی و توازن انرژی با هم، پراکندگی میانگین بارش سالانه، تغییرات تبخیر-تعرق و رواناب را تحت تأثیر قرار می‌دهند (نصیری و همکاران ۲۰۲۰؛ جریس و همکاران ۲۰۰۹). بودیکو (۱۹۷۴) پیشنهاد کرد رابطه‌ی میان میانگین سالانه‌ی نسبت تبخیر به بارش سالانه (E/P) و تبخیر-تعرق بالقوه به میانگین شاخص بارندگی سالانه

فعالیت‌های انسانی پیوسته در حال تغییر سیمای زمین است و این فعالیت‌ها نیز به شکل مستقیم بر برداشت آب از رودها یا آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار است. آب و هوا، عامل‌های اصلی حاکم بر تعادل آب در بلندمدت در یک آبخیز هستند که می‌توانند الگوهای بارش و دما را تغییر دهند (ژانگ و همکاران ۲۰۱۹). از عامل‌های تأثیرگذار بر پاسخ آب‌شناختی یک آبخیز، تغییر اقلیم و مداخلات انسانی هستند (مصطفی‌زاده و همکاران ۲۰۲۲؛ شیخ و همکاران ۲۰۲۳). در مطالعه‌های آب‌شناختی و منابع آب فهم درست و درک دقیق از مبحث بیلان آب اهمیت بسیاری دارد. یکی از اصلی‌ترین و ابتدایی‌ترین اقدام‌ها در فرآیند مدیریت درست منابع آب، به‌ویژه در نواحی خشک، تدوین صحیح بیلان آبی است (امامی‌فر و همکاران ۲۰۱۸). تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در تغییرات رواناب، مدیریت منابع آب و توسعه‌ی پایدار جامعه اهمیت زیادی دارند (لی و همکاران ۲۰۱۹). تبخیر یک مؤلفه بسیار مهم در چرخه‌ی آب شناختی است و سبب پیوند تعادل آب و انرژی در یک آبخیز می‌شود (مانابادی و همکاران ۲۰۱۹). سامانه‌های اجتماعی عامل اصلی تغییر جریان در استفاده از آب و تنظیم آب هستند و ممکن است به شکل غیرمستقیم بر تغییرات

(PET/P) برای توصیف تعادل آب و انرژی در دوره‌های بلندمدت کاربرد دارد (فو و ونگ ۲۰۱۹). بودیکو بر اساس مشاهد‌هایی از سراسر جهان فرض کرد که E/P عمدتاً به‌وسیله‌ی PET/P مهار می‌شود. سپس برای اندازه‌گیری رابطه‌ی میان E/P و PET/P بسیاری از رابطه‌های فرضیه‌ی بودیکو گسترش داده شد (ونگ و تنگ ۲۰۱۴). منحنی بودیکو مشخص می‌کند که تبخیر-تعرق واقعی (ET) می‌تواند به‌عنوان تابعی از آب و انرژی موجود محاسبه شود. از زمان توسعه‌ی منحنی بودیکو، برای گسترش رویکرد بودیکو تلاش‌هایی شده است و عامل‌های تعیین‌کننده‌ی دیگری برای این منحنی به جز از اقلیم منطقه‌ای، پیشنهاد شده است (لی و همکاران ۲۰۲۳). فو (۱۹۸۱) معادله دیگری از منحنی بودیکو را پیشنهاد داد. در ابتدا، فرض بر این بود، که منحنی هیچ سنج‌های اضافی ندارد و برای آبخیزهای بزرگ و مقیاس بلندمدت مناسب است (نینگ و همکاران ۲۰۱۹). از مؤلفه‌های مهم معادله‌ی بیلان آب و انرژی در آبخیزها تبخیر-تعرق است که اندازه‌گیری آن به‌راحتی امکان‌پذیر نیست. با توجه به اهمیت اندازه‌های تبخیر در بررسی بیلان آب و مدل‌سازی آب‌شناسی (هیدرولوژی) در سطح آبخیز، معادله‌های تجربی و فیزیکی و مدل‌های آب‌شناسی مختلفی برای برآورد تبخیر واقعی به‌وسیله‌ی پژوهش‌گران پیشنهاد شده است (جریتمس و همکاران ۲۰۰۹). یکی از مدل‌های یکپارچه‌ی ساده که کاربرد آن در سطح جهان گسترش زیادی یافته، منحنی‌های بودیکو است. منحنی‌های بودیکو برای آبخیزهایی با شرایط پایدار که در آن‌ها تغییرات ذخیره‌ی آب ناچیز فرض می‌شود، قابل استفاده است (میان‌آبادی و همکاران ۲۰۱۶). منحنی بودیکو اغلب برای برآورد تبخیر واقعی به‌عنوان عملکرد شاخص خشکی در یک آبخیز استفاده می‌شود. معادله‌های تجربی گوناگونی برای توصیف این رابطه وجود دارد. با این حال، این معادله‌ها پس زمینه‌ی فیزیکی بسیار محدودی دارند. منحنی بودیکو تجربی می‌تواند بر اساس سنج‌های قابل اندازه‌گیری که نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی آستانه‌ی تبخیر و تعداد روزهای بارانی است، تهیه شود (ترانسکو و همکاران ۲۰۱۶). با توجه به فرضیه‌ی بودیکو، تغییرات در تبخیر-تعرق واقعی ممکن است به‌دلیل تغییر در بارش، تبخیر-تعرق بالقوه و عامل شکل منحنی بودیکو باشد (جولیا و همکاران ۲۰۱۲). منحنی بودیکو برای برآورد تبخیر و رواناب آبخیزها می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت در همه آبخیزهای کشور استفاده شود. همچنین می‌توان

از آن برای تعدیل پیامدهای ناخوشایند تغییر اقلیم، کاهش منابع آب و کاهش تنش‌های آبی میان سودبران استفاده کرد (میان‌آبادی و همکاران ۲۰۱۶). منحنی بودیکو به‌عنوان اولین برآورد از تبخیر سالانه می‌تواند به‌شکل تابعی از بارش سالانه و تبخیر بالقوه استفاده شود (میان‌آبادی و همکاران ۲۰۱۹). اگر انرژی برای تبخیر رطوبت موجود در خاک کافی باشد، آنگاه تبخیر می‌تواند از اندازه‌ی بارش سالانه نیز بیشتر شود که در این شرایط اندازه‌ی آب را با محدودیت مواجه خواهد کرد. کاربرد معادله‌ی بودیکو برای تقسیم‌بندی ساده اما مؤثر بارش به رواناب و تبخیر-تعرق، در آبخیزهای طبیعی پرشماری در سراسر جهان تأیید شده است (سنکراس برامنین و همکاران ۲۰۲۰؛ فتحی و همکاران ۲۰۱۹). منحنی بودیکو ابتدا برای برآورد تبخیر واقعی به‌عنوان تابعی از بارش و شاخص خشکی در شرایط پایدار ایجاد شد (بودیکو ۱۹۷۴). فرضیه‌ی بودیکو برآورد اولیه از رواناب (Q) و تبخیر-تعرق (ET) است (فنگ و همکاران ۲۰۱۶). منحنی بودیکو اغلب برای ارزیابی اولیه‌ی تغییرات آب‌دهی جریان استفاده می‌شود، زیرا یک مدل ساده است که فقط به داده‌های ورودی بارندگی و تبخیر بالقوه نیاز دارد. بسیاری از پژوهش‌گران تلاش کرده‌اند با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی آبخیز (مانند مساحت، پوشش گیاهی، ذخیره‌ی سطحی و نوع خاک)، معادله‌ی اصلی رویکرد بودیکو را بیش‌تر بهبود بخشند، که این کار منجر به تولید سنج‌های اضافی ناشناخته یا دشوار شده است (مانابادی و همکاران ۲۰۱۹).

در این راستا، جریتمس و همکاران (۲۰۰۹)، برای ۱۰ آبخیز با شرایط آب و هوایی گوناگون، تبخیر را مبتنی بر آستانه‌ی عبور و برانگیختگی ساده در ترکیب با سنج‌های قابل اندازه‌گیری (مانند پویایی بارش و اطلاعات در دسترس و ذخیره‌سازی شده‌ی سنجش از دور)، بررسی کردند. نتایج این پژوهش‌گران نشان داد که مجموع تبخیر برآورد شده به‌وسیله‌ی مدل Gerrits، همبستگی مناسبی با STEAM، Landflux-EVAL و GLEAM داشت. همچنین، داده‌های برآورد شده‌ی مدل Gerrits در مقایسه با STEAM کم‌تر از محدوده‌ی پیش‌بینی شده بر اساس منحنی بودیکو بود و در مقایسه با رویکرد بودیکو، این مدل عملکرد خوبی در برآورد کل تبخیر نشان داد. در ایالات متحده و کانادا، در ۳۵ آبخیز، جانس و همکاران (۲۰۱۲) فرآیندهای بوم‌نظام و تأثیرات انسانی را با استفاده از منحنی بودیکو بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که دمای هوا (با سابقه‌ی ۲۰

گرفتند که عامل اصلی کاهش آب‌دهی رودهای آبخیز حبله‌رود مداخلات انسانی بود و تغییر اقلیم در کاهش آب‌دهی رودهای آبخیز حبله‌رود سهم قابل ملاحظه‌ای نداشت. هم‌چنین، برپایه‌ی نتایج این پژوهشگران در زیرآبخیز دلیچای، مداخلات انسانی تأثیر شدیدتری بر کاهش آب‌دهی رودهای آبخیز حبله‌رود داشتند.

در اکثر آبخیزهای کشور یکی از مشکلات اساسی در معادله‌ی بیلان آب و انرژی، نبودن برآورد مناسب از تبخیر-تعرق واقعی است. از این رو، به‌نظر می‌رسد با توجه به سادگی منحنی بودیکو و نیاز به داده‌های کم، می‌توان از منحنی بودیکو برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی آبخیزها استفاده کرد (میان‌آبادی و همکاران ۲۰۱۶). برای آبخیزهایی که فاقد داده‌های کافی و مناسب برای اجرای مدل‌های پیچیده آب‌شناختی هستند، استفاده از منحنی بودیکو و یا دیگر مدل‌های مبتنی بر بودیکو با توجه به خصوصیات آبخیز می‌تواند، برآورد قابل قبولی از تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی پیشنهاد دهد (جریس و همکاران ۲۰۰۹؛ نینگ و همکاران ۲۰۱۹). هم‌چنین، در پژوهش‌های پرشماری، از منحنی بودیکو برای تعیین کمیت و تفکیک تأثیر تغییرات آب و هوا و فعالیت‌های انسانی بر رواناب آب‌های سطحی استفاده‌شده است. با بررسی بیلان آب در آبخیزهایی با حداقل دخالت‌های انسانی، می‌توان نقش عامل‌های اقلیمی بر مؤلفه‌های بیلان آب را دقیق‌تر ارزیابی کرد. منطقه‌ی مطالعه‌شده در دامنه‌ی کوهستان سبلان است و تغییر جریان رود مزبور در اثر استفاده‌های انسانی حداقل است. از این رو، در این پژوهش برای آبخیز نیر در استان اردبیل، از منحنی بودیکو به‌دلیل سادگی و نیاز کم به داده‌های بارش، تبخیر-تعرق بالقوه و تبخیر-تعرق واقعی استفاده شد. سپس منحنی بودیکو در مقیاس‌های زمانی سالانه (فصلی و ماهانه) محاسبه شد و برای تحلیل بیلان آبی در آبخیز مزبور استفاده شد.

روش پژوهش

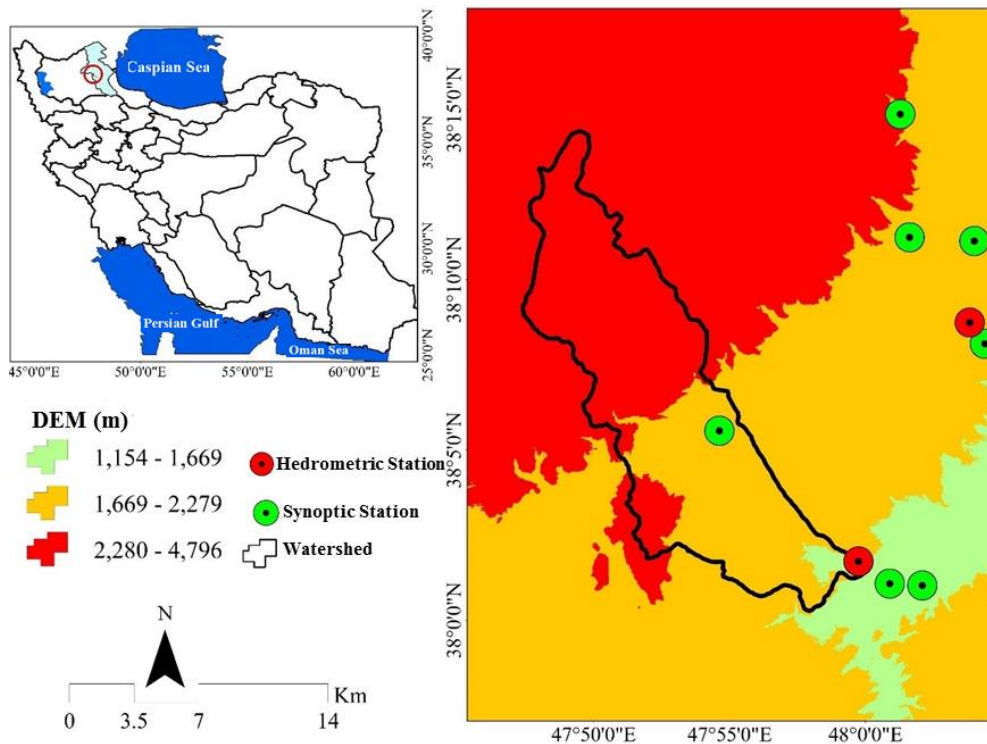
منطقه‌ی مطالعه‌شده

آبخیز نیر، با مساحت ۱۶۲۴۰ هکتار در قسمت شرقی شهرستان اردبیل است. مختصات جغرافیایی این آبخیز، $38^{\circ} 46'$ تا $48^{\circ} 00'$ طول شرقی و $38^{\circ} 01'$ تا $38^{\circ} 00'$ عرض شمالی است. آبخیز نیر از شمال به بلندی‌های سبلان، از جنوب به گردنه‌ی صائین و محدوده‌ی سرشاخه‌ی رود بالغلی‌چای، از غرب به استان آذربایجان شرقی و از شرق به آبخیز رود کمال‌آباد محدود می‌شود. میانگین بلندی از سطح دریا ۲۵۱۶ متر است. بلندترین نقطه‌ی آبخیز ۴۴۰۰ متر در مجاورت قله‌ی سبلان در قسمت شمالی آبخیز است. بیشترین، میانگین و حداقل بارش به‌ترتیب

تا ۶۰ ساله) در ۱۷ مکان از ۱۹ جایگاه به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است، اما روند جریان رود به‌طور مستقیم با روند تغییر اقلیم (از طریق تغییر در اندازه‌ی یخ و برف) فقط در ۷ جایگاه ارتباط داشت. هم‌چنین، اختلال‌های طبیعی و انسانی در زمان حال و گذشته، تغییر کاربری زمین‌ها و استفاده انسان از آب می‌تواند اثر تغییرات اقلیم را بر رواناب حتی در آبخیزهای مرجع، تشدید یا خنثی کند. در تایوان لی و همکاران (۲۰۲۳) بر اساس رویکرد بودیکو در ارزیابی در دسترس بودن منابع آب در آینده نتیجه گرفتند که در منطقه‌ی مطالعه‌شده متغیرهای بودیکو (مانند شاخص‌های تبخیر و خشکی، و سنجه‌ی ابریز) تنوع زیادی داشت که با تغییر در ویژگی‌های سیمای سرزمین یا فعالیت‌های انسانی تعدیل می‌شوند. گریو و همکاران (۲۰۱۶)، تابع بودیکو دو سنجه‌ای را در شرایطی که تبخیر-تعرق آن بیش از بارندگی است، بررسی کردند و نتیجه گرفتند که اگر منحنی بودیکو با شرایط پایدار محدود شود، اندازه‌ی تغییرات ذخیره در معادله‌ی بیلان ناچیز خواهد بود. برپایه‌ی نتایج این پژوهشگران رویکرد اصلاح‌شده‌ی بودیکو شرایطی را نشان داد که در مقیاس‌های زمانی گوناگون، تبخیر-تعرق ماهانه تا سالانه از بارش ماهانه تا سالانه بیش‌تر بود. در رود یانگ‌تسه، لی و همکاران (۲۰۱۹)، به‌منظور تعیین تغییرات رواناب براساس رویکرد بودیکو، از داده‌های ایستگاه‌های آب‌شناختی و هواشناسی (۲۰۱۳-۱۹۶۶) استفاده کردند. سپس روند تغییر بارش، بلندای رواناب و تبخیر و تعرق بالقوه را با استفاده از آزمون من‌کندال و ضریب همبستگی، تجزیه و تحلیل کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که بلندای رواناب، بارندگی، و تبخیر و تعرق بالقوه به‌شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. افزون بر این، نرخ مشارکت مشترک دیگر عامل‌ها کم‌تر از ۲/۵٪ بود. به‌طور کلی، نتایج آنها در این آبخیز نشان داد که بارندگی عامل اصلی تغییر رواناب‌های تاریخی بوده است. در ایران، در آبخیز نیشابور-رخ، میان‌آبادی و همکاران (۲۰۱۹)، با ایجاد یک مدل بودیکو جهانی، از داده‌های بارش، تبخیر بالقوه و تبخیر واقعی برای واسنجی مدل پیشنهادی استفاده کردند. سپس، با استفاده از مدل اقلیمی به‌دست آمده از طرح CORDEX، اندازه‌ی تبخیر برای دوره‌ی پایه و دوره‌ی آینده برآورد شد. نتایج بررسی تغییر اقلیم به‌وسیله‌ی این پژوهشگران نشان داد که اندازه‌ی بارش در دوره‌ی آینده ۴۸٪ کاهش یافت و دمای میانگین، تبخیر-تعرق بالقوه و تبخیر-تعرق واقعی به‌ترتیب ۱۱/۲۵، ۴/۶۶ و ۲/۱۱٪ افزایش یافت. شیخ و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از رویکرد تحلیل حساسیت آب‌شناختی مبتنی بر فرضیه‌ی بودیکو، سهم تغییر اقلیم و مداخلات انسانی در تغییرات آب‌دهی رود حبله‌رود را تعیین کردند و نتیجه

۷۰/۲۹ تن بر کیلومتر مربع در سال است (اسمعی و همکاران ۲۰۱۴).

۳۹۳/۵۰۳، ۷۸/۸۹ و ۳۴۰/۰۷ میلی‌متر گزارش شده است. میانگین دما 12°C است. در آبخیز نیر با استفاده از مدل MPSIAC اندازه‌ی میانگین رسوب ویژه‌ی برآورد شده



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مطالعه‌شده در ایران و استان اردبیل.

Figure 1- The location of the study area in Iran and Ardabil Province.

منحنی بودیکو

فرضیه‌ی بودیکو، بیان آب را به شکل تابعی از اندازه‌ی آب و انرژی موجود بیان می‌کند. با فرض ناچیز بودن تغییرات بلندمدت ذخیره‌ی آب آبخیز، در این پژوهش معادله‌ی بیان آب به شکل رابطه‌ی ۲ ارائه شد.

$$\bar{Q} = \bar{P} + \bar{E}_a \quad (2)$$

$\bar{Q}$: نشان‌دهنده‌ی میانگین بلندمدت رواناب (میلی‌متر)، $\bar{P}$: بارش (میلی‌متر) و $\bar{E}_a$: تبخیر-تعرق واقعی (میلی‌متر) است. برپایه‌ی فرضیه‌ی بودیکو، نسبت تبخیر-تعرق واقعی (E_a) به بارش، تابعی از درجه‌ی خشکی (ϕ) است (ژانگ و همکاران ۲۰۰۹).

$$E_a = P * F(\phi) \quad (3)$$

درجه یا شاخص خشکی یک مقیاس عددی برای تعیین اندازه‌ی خشکی یک منطقه است. در این پژوهش این شاخص به شکل نسبت تبخیر-تعرق بالقوه به بارش با استفاده از رابطه‌ی ۴ محاسبه شد (بودیکو ۱۹۷۴).

داده‌های استفاده‌شده

در این پژوهش، از داده‌های یک دوره‌ی آماری ۳۳ ساله‌ی ایستگاه باران‌سنجی و تبخیر-سنجی آبخیز نیز استفاده شد. سپس از این داده‌ها برای محاسبه‌ی میانگین بارش و تبخیر-تعرق بالقوه در آبخیز مزبور استفاده شد. با استفاده از رابطه‌ی میان بارش و دما با بلندی و با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی اندازه‌ی میانگین بارش، دما و تبخیر-تعرق بالقوه برای آبخیز نیز به دست آمد. تبخیر-تعرق بالقوه با استفاده از رابطه‌ی تورنوايت (رابطه‌ی ۱) محاسبه شد.

(۱)

$$ETP = 16.2 \left(\frac{10T_i}{I} \right)^{\alpha}$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514}$$

ETP: تبخیر-تعرق ماهانه (میلی‌متر)، T_i : دمای میانگین ماهانه (درجه‌ی سانتی‌گراد) و I : شاخص حرارتی سالانه (بدون واحد) است.

تبخیر-تعرق سالانه (میلی‌متر) با استفاده از رابطه‌ی ۷ محاسبه شد.

$$AET = P - Q \quad (۷)$$

P: اندازه‌ی بارش (میلی‌متر) و Q اندازه‌ی رواناب (میلی‌متر) است.

در این پژوهش، از معادله‌ی پیشنهادشده بر اساس رویکرد بودیکو استفاده شد و بر اساس این رویکرد اندازه‌ی نفوذ محاسبه شد و سرانجام به شکل جریان پایه در جریان رود ثبت شد.

منحنی بودیکو و محدودیت آب و انرژی در شکل ۲ نشان داده شده است. رویکرد بودیکو بر پایه‌ی جرم و انرژی است و برای مدل سازی و پیش‌بینی متغیر آب‌اقلیم‌شناختی واقعی بر اساس تقاضا و عرضه، استفاده می‌شود. اگر متغیر عرضه نامحدود باشد، اصطلاح تقاضا به عنوان کران بالای متغیر واقعی تعریف می‌شود. منطق استفاده از رویکرد بودیکو برای درک تغییرپذیری فضایی سطح زمین بر آبخیزهای طبیعی/تغییر یافته به وسیله‌ی انسان است و توانایی آن در نمایش دادن ابعاد مرتبط با اقلیم، عرضه و تقاضای آب نهفته است. اگر استفاده از رویکرد بودیکو بر پایه‌ی درک تعادل آب در بلندمدت باشد، چارچوب عرضه و تقاضا می‌تواند برای درک تغییرپذیری فضایی سطح زمین استفاده شود (سنکاراس برامنین و همکاران ۲۰۲۰).

$$\phi = \frac{E}{F} \quad (۴)$$

روشن است هر چه اندازه‌ی این شاخص بیش تر باشد، منطقه از دیدگاه اقلیمی، خشک تر خواهد بود. در این پژوهش شاخص خشکی از تابعی مبتنی بر فرضیه‌ی پیشنهادشده‌ی بودیکو (۱۹۷۴) تعیین شد (رابطه‌ی ۵).

$$F(\Phi) = \left[\phi \cdot \tanh\left(\frac{1}{\phi}\right) (1 - e^{\Phi}) \right]^{1/2} \quad (۵)$$

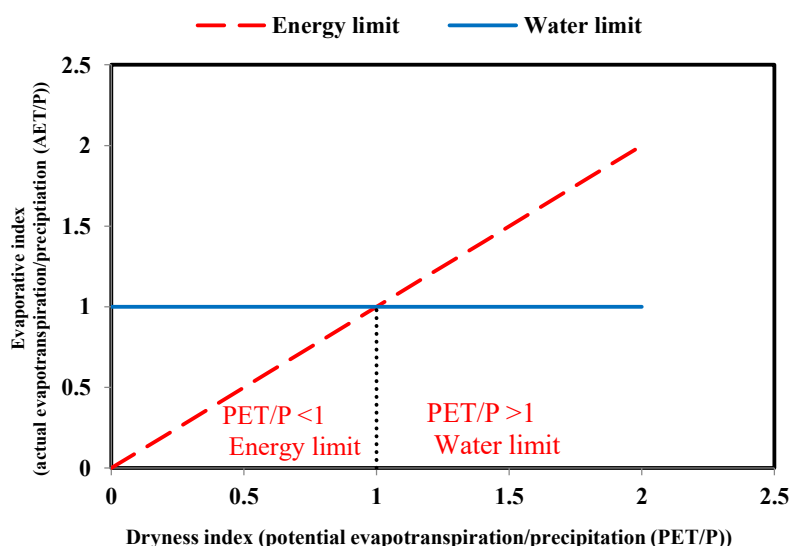
در حالت کلی، معادله‌ی بودیکو به شکل رابطه‌ی ۶ بیان می‌شود (بودیکو ۱۹۷۴).

(۶)

$$AET/P = \left[\phi \cdot \tanh\left(\frac{1}{\phi}\right) (1 - \exp(-\Phi)) \right]^{\alpha}$$

$$\alpha = 0.5, \phi = PET/P$$

منحنی بودیکو، یک رابطه‌ی غیرخطی است که با محدودیت‌های فیزیکی تقاضای آب جوی ($PET > ET$) و عرضه ($P > ET$) محدود می‌شود. شاخص خشکی در منحنی بودیکو تعادل بلندمدت آب را نشان می‌دهد (بودیکو ۱۹۷۴). از رویکرد بودیکو به دلیل سادگی در پژوهش‌های پرشماری در زمینه‌ی آب‌شناسی و بررسی بیلان آب در مناطق مختلف دنیا استفاده شده است (فتحی و همکاران ۲۰۱۹). در این پژوهش نیز



شکل ۲- منحنی بودیکو و محدودیت آب و انرژی.

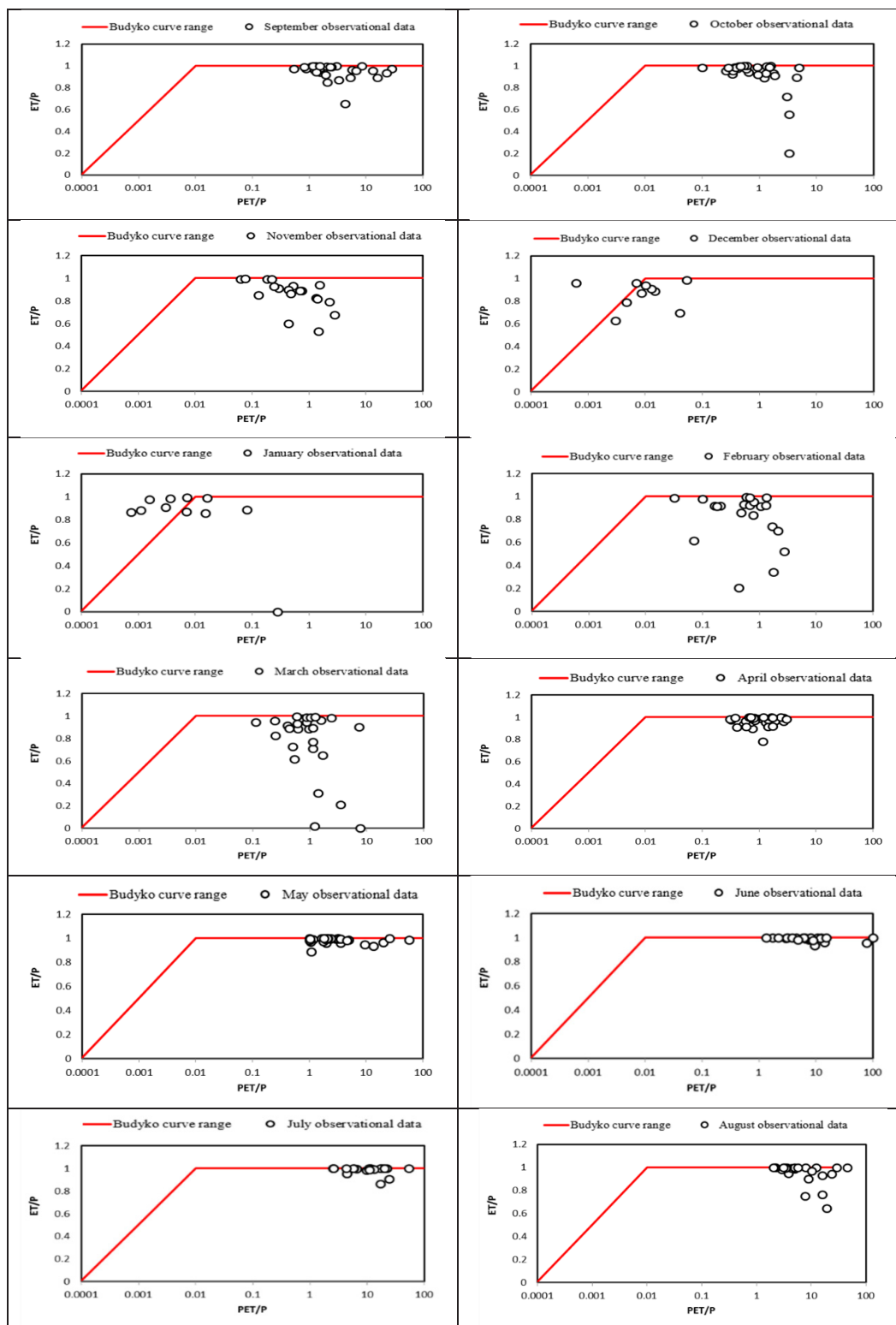
Figure 2- Budyko curve and water and energy limit.

رابطه‌های بیلان آب و انرژی متعادل در مقیاس ماهانه برپایه‌ی نتایج رابطه‌های بیلان انرژی و آب متعادل در مقیاس ماهانه، منحنی بودیکو نشان داد که شرایط مرجع برای دوره‌ی زمانی قبل از تغییرات اقلیمی بود که در عملکرد آب تشخیص داده شد. توزیع داده‌ها در منحنی بودیکو در سال‌های مطالعه‌شده نشان داد که اندازه‌ی مصرف آب در بوم‌نظام آبخیز نیز از محدوده‌ی پیش‌بینی شده بر اساس منحنی بودیکو، به انرژی و تعادل آب، دچار انحراف شده است (شکل ۳). بر اساس نتایج به‌دست آمده و با توجه به شکل ۳، محدودیت آب در مهرماه برخی از سال‌های بررسی شده، مشاهده شد. همچنین، در ماه‌های بهمن و دی هیچ‌گونه محدودیت آب و انرژی در این سال‌ها مشاهده نشد. در بیش‌تر ماه‌های سال $PET/P < 1$ بود و جهت منحنی به‌سوی خشکی و گرما بود. این حالت منعکس‌کننده‌ی تغییرات شرایط آب و هوایی (دما و بارندگی) بود. در منطقه‌ی مطالعه‌شده نتایج نشان داد که تبخیر-تعرق بیش‌تر از ذخیره‌ی آب بود. همچنین، ممکن است ساختار بوم نظام (ژرفای ریشه‌زایی، سطح برگ) و فرآیندهایی مانند سازگاری با کمبود آب، جریان کم‌تری در ماه‌های مرطوب و جریان بیش‌تری در ماه‌های خشک، نسبت به موازات موجود در انرژی و آب ایجاد کرده باشد.

در این پژوهش، ابتدا رابطه‌ی میان متغیرهای اقلیمی و جریان رود بر اساس رویکرد بودیکو بررسی شد. در شرایطی که توضیح رفتار جریان فقط با آب و هوا امکان‌پذیر نیست، از دیگر فرآیندهای آب‌شناختی و اثرات مختل‌کننده‌ی انسانی و طبیعی گذشته و حال بر بوم‌نظام، نیز استفاده می‌شوند (جانسن و همکاران ۲۰۱۲). منحنی بودیکو، با فرض ناچیز بودن تغییرات بلندمدت ذخیره‌ی آب در آبخیز، بیلان آب را به‌شکل تابعی از اندازه‌ی آب و انرژی بیان می‌کند (لی و همکاران ۲۰۱۹). برای کاهش منحنی بودیکو سه دلیل می‌توان در نظر گرفت. دلیل اول، نمایش ناکافی P و T ، دلیل دوم، نمایش نامناسب Q و ET و دلیل سوم نابودی طبیعی زمین‌ها و یا تغییر کاربری زمین‌ها باشد (جانسن و همکاران ۲۰۱۲).

نتایج

در این پژوهش، بیلان آب آبخیز نیز با استفاده از داده‌های بارش، تبخیر-تعرق بالقوه، تبخیر-تعرق واقعی و منحنی بودیکو در مقیاس‌های زمانی (سالانه، فصلی و ماهانه) محاسبه و تحلیل شد. تغییرات منحنی بودیکو در مقیاس ماهانه در شکل ۳ نشان داده شده است.

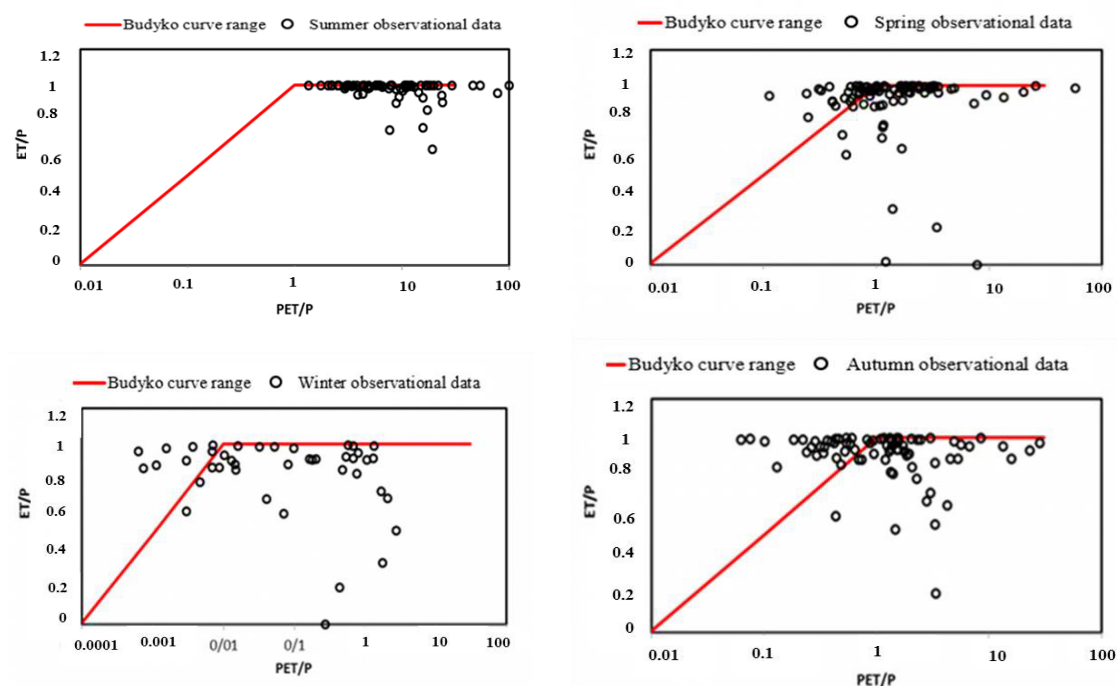


شکل ۳- منحنی بودیکو در ماه‌های مختلف سال در دوره‌ی آماری (۱۳۶۰-۹۳) در آبخیز نیر، اردبیل.

Figure 3- Budyko curve in different months of the year during the statistical period (1981-2014) in the Nir watershed, Ardabil.

محدودیت آب در سال‌های ۶۸، ۸۰، ۸۱، ۸۳، ۸۴، ۸۵ و ۸۸ به‌ترتیب ۲/۷۸، ۱/۷۰، ۱/۰۶، ۱/۷۸، ۲/۱۱ و ۱/۳۴ بود. در سال‌های مختلفی در فصل پاییز محدودیت آب مشاهده شد. بارش در این سال‌ها رخ داد اما، تبخیر-تعرق بیش از بارش بود. این موضوع می‌تواند، بیانگر آن باشد که پوشش گیاهی در فصل پاییز کاهش یافت. ویژگی‌های آمار توصیفی سنج‌ها در فصل‌های بررسی‌شده در جدول ۱ ارائه‌شده است.

رابطه‌های بیلان آب و انرژی متعادل در مقیاس فصلی توزیع اندازه‌های بیلان آب و انرژی متعادل در فصول مختلف سال در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده و برپایه‌ی شکل ۴، محدودیت آب در فصل تابستان به‌دلیل نبود بارش در تمام سال‌های بررسی‌شده مشاهده شد. در این فصل میانگین و انحراف معیار داده‌ها $10/59 \pm 15/59$ بود. همچنین، نتایج نشان داد که در هیچ یک از فصل‌های سال محدودیت انرژی وجود نداشت. نتایج فصل زمستان نشان داد که



شکل ۴- منحنی بودیکو در فصل‌های مختلف سال در دوره‌ی آماری (۱۳۶۰-۹۳) در آبخیز نیر، اردبیل.
Figure 4- Budyko curve in different seasons during the statistical period (1981-2014) in the Nir watershed, Ardabil.

همچنین بیشترین اندازه‌ی تبخیر-تعرق به میانگین شاخص بارندگی سالانه ET/P در تمام فصل‌ها به‌جز فصل زمستان برابر با ۱ بود. اندازه‌ی سنج‌های PET/P و ET/P در فصل‌های بررسی‌شده در آبخیز نیر در جدول ۲ ارائه‌شده است.

بیشترین اندازه‌ی PET (میلی‌متر) در فصل پاییز و کم‌ترین اندازه‌ی آن در فصل زمستان بود (جدول ۱). بیشترین اندازه‌ی تبخیر-تعرق بالقوه به میانگین شاخص بارندگی سالانه (PET/P) که برای توصیف تعادل آب و انرژی استفاده می‌شود، در فصل بهار بود.

جدول ۱- ویژگی‌های آمار توصیفی سنجه‌ها در فصل‌های بررسی شده.

Table 1- Descriptive statistics of metrics in the studied seasons.

Season	Statistics	Precipitation (mm)	PET (mm)	PET/P	ET/P
Spring	Mean $\pm$ SD	49.82 $\pm$ 38.14	2.27 $\pm$ 0.83	2.74 $\pm$ 6.80	0.89 $\pm$ 0.21
	Min - Max	1.50 - 254.00	0.00 - 3.69	0.00 - 15.59	0.00 - 1.00
Summer	Mean $\pm$ SD	14.13 $\pm$ 11.59	2.88 $\pm$ 0.66	10.59 $\pm$ 0.83	0.98 $\pm$ 0.06
	Min - Max	0.1 - 58.00	0.00 - 3.93	0.00 - 99.77	0.64 - 1.00
Autumn	Mean $\pm$ SD	33.23 $\pm$ 23.07	1.17 $\pm$ 0.80	2.07 $\pm$ 4.27	0.91 $\pm$ 0.12
	Min - Max	0.00 - 96.00	0.00 - 4.24	0.00 - 28.41	0.20 - 1.00
Winter	Mean $\pm$ SD	25.65 $\pm$ 14.87	0.33 $\pm$ 0.37	0.21 $\pm$ 0.51	0.78 $\pm$ 0.23
	Min - Max	0.5 - 86.00	0.00 - 1.48	0.00 - 2.78	0.00 - 0.99

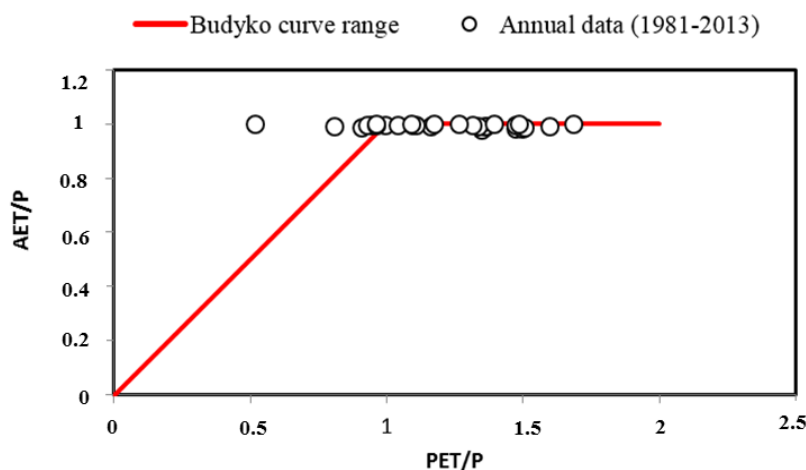
جدول ۲- اندازه‌های سنجه‌های PET/P و ET/P در فصل‌های بررسی شده.

Table 2- Values of PET/P and ET/P indices in the studied seasons.

Year	Spring		Summer		Autumn		Winter	
	PET/P	ET/P	PET/P	ET/P	PET/P	ET/P	PET/P	ET/P
1981	0.81	0.96	3.87	0.99	0.78	0.96	0.00	0.95
1982	1.02	0.60	10.05	0.91	2.30	0.53	0.00	0.47
1983	1.19	0.86	8.57	0.97	0.18	0.94	0.00	0.40
1984	1.82	0.73	7.35	0.98	3.13	0.78	0.15	0.07
1985	1.79	0.88	0.00	0.00	1.32	0.92	0.00	0.82
1986	1.02	0.96	9.08	0.59	1.72	0.76	0.00	0.70
1987	0.50	0.78	0.00	0.99	0.00	0.84	0.00	0.21
1988	0.00	0.65	0.00	1.00	0.00	0.96	0.00	0.62
1989	0.00	0.77	34.10	1.00	0.92	0.86	0.93	0.79
1990	5.54	0.87	21.89	1.00	0.59	0.88	2.78	0.70
1991	1.12	0.84	0.00	0.00	1.71	0.91	0.05	0.78
1992	0.65	0.84	6.14	0.99	0.99	0.93	0.00	0.55
1993	3.13	0.65	6.73	0.99	2.08	0.80	0.02	0.71
1994	1.32	0.96	3.00	1.00	1.99	0.91	0.00	0.79
1995	2.40	0.70	2.69	1.00	0.97	0.91	0.26	0.61
1996	0.55	0.90	9.98	0.88	0.52	0.83	0.16	0.88
1997	1.87	0.98	1.74	1.00	0.85	0.92	0.00	0.81
1999	7.24	0.97	4.57	1.00	2.39	0.89	0.28	0.61
2000	1.74	0.95	16.98	1.00	1.33	0.95	0.07	0.92
2001	2.30	0.99	11.37	1.00	0.54	0.95	1.70	0.78
2002	3.52	0.97	4.00	1.00	0.74	0.95	1.06	0.91
2003	0.92	0.92	10.87	1.00	3.33	1.00	1.30	0.90
2004	1.19	0.97	10.97	0.88	9.86	0.96	1.78	0.88
2005	1.49	0.97	7.25	0.96	0.64	0.95	2.11	0.73
2006	2.08	0.98	45.17	0.99	1.22	0.99	0.70	0.85
2007	2.29	0.95	18.77	1.00	0.59	0.96	0.03	0.99
2008	4.51	0.97	4.62	1.00	6.08	0.98	0.23	0.91
2009	1.55	1.00	8.99	1.00	1.43	0.97	0.48	0.95
2010	1.13	0.99	9.86	1.00	0.75	0.99	0.22	0.99
2011	1.28	0.99	9.60	1.00	9.14	0.87	0.01	0.33
2012	1.99	0.96	8.06	0.96	0.81	0.97	0.00	0.95
2013	2.38	0.99	14.46	0.97	2.82	0.98	0.27	0.97
2014	2.52	0.99	14.83	0.94	5/50	0.96	0.23	0.78

در شکل ۴ نشان داده شده است. تغییرات اندازه‌های AET در محدوده‌ی متفاوتی از انرژی و تعادل آب بود و این به دلیل تأثیر اهمیت فرآیندهای بوم‌نظام در جریان است (شکل ۴). بیش‌تر سال‌های مطالعه‌شده روی منحنی بودیکو بودند. در این محدوده اندازه‌ی مصرف آب مشاهده‌شده (AET/P) برابر با پیش‌بینی مصرف آب (PET/P) بود. برپایه‌ی شکل ۴ در دوره‌ی ۳۳ سال بررسی‌شده، تنها دو سال (۶۰ و ۷۳) محدودیت انرژی داشتند. در سال‌های بررسی‌شده بیش‌ترین، میانگین و حداقل ET به ترتیب ۸۷۶/۵۵، ۴۳۱/۸۵ و ۲۷۷/۸۸ میلی‌متر به دست آمد. هم‌چنین بیش‌ترین، میانگین و حداقل نسبت PET/P در دوره‌ی ۳۳ سال بررسی‌شده به ترتیب ۰/۰۷، ۰/۰۵ و ۰/۰۲ میلی‌متر بود.

رابطه‌های بیلان آب و انرژی متعادل در مقیاس سالانه توزیع اندازه‌های بیلان آب و انرژی سالانه در شکل ۵ نشان داده شده است. اندازه‌ی T ، P و Q بر اساس داده‌های مشاهده‌ای برای محاسبه PET و AET استفاده شدند (شکل ۵). PET سالانه بر اساس مجموعه‌ای از اندازه‌های ماهانه محاسبه شد. سپس، اندازه‌های محاسبه‌شده روی منحنی بودیکو رسم شد. رابطه‌ی میان اندازه‌ی PET و AET در شکل ۵ نشان داده شده است. هنگامی که اندازه‌ی سالانه T ، P و Q روی منحنی بودیکو رسم شد، تغییر AET نسبت به PET در میان سال‌های بررسی‌شده متفاوت بود. تغییرات در اندازه‌های AET/P در سال‌های (۶۰، ۶۲، ۶۸، ۷۳، ۸۶ و ۸۹) کم‌تر بود. مقایسه‌ی AET و PET بلندمدت با منحنی بودیکو در آبخیز مطالعه‌شده



شکل ۵- منحنی بودیکو سالانه در دوره‌ی آماری (۹۳-۱۳۶۰) در آبخیز نیر، اردبیل.

Figure 5- Annual Budyko curve during the statistical period (1981-2014) in the Neir Watershed, Ardabil.

اندازه‌گیری می‌شود. اطلاعات اقلیمی و آب‌شناسی جریان می‌تواند روی فرآیندها و واکنش آبخیز از دیدگاه تولید رواناب و رسوب تأثیرگذار باشد. بر اساس نتایج این پژوهش، بیش‌تر سال‌های مطالعه‌شده در محدوده بالای منحنی بودیکو بودند. در این محدوده اندازه‌ی مصرف آب مشاهده‌شده (AET/P) برابر با پیش‌بینی مصرف آب (PET/P) بود. جانس و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند که اگر تقسیم‌بندی میان ET و Q از منحنی بودیکو منحرف شود، می‌توان آن را به تغییرات اقلیمی انسان‌شناختی نسبت داد. یافته‌های این پژوهش با نتایج جانس و همکاران (۲۰۱۲) هم‌راستا است. بر اساس نتایج این پژوهش تغییرات AET/P در سال‌های ۶۰، ۶۲، ۶۸، ۷۳، ۸۶ و ۸۹ کم‌تر بود. فو و

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تعیین تغییرات بیلان آب و انرژی در مقیاس‌های گوناگون زمانی با استفاده از منحنی بودیکو در آبخیز نیر در استان اردبیل انجام شد. دانستن برآورد اولیه از اندازه‌ی تبخیر-تغرق در آبخیزها، افزون بر پیشنهاد راهکارهای مدیریتی در شرایط تغییر اقلیم، می‌تواند به بهبود عملکرد مدل‌های توزیعی، آب‌شناختی نیز کمک کند. ترکیب مدل‌های ساده‌ای همچون منحنی‌های بودیکو با مدل‌های توزیعی راهکار مفیدی برای افزایش دقت برآورد متغیرهای آب‌شناختی است. سنجه‌های رویکرد بودیکو در تحلیل بیلان آبی، بستگی به فعالیت‌های انسانی و تغییرات مؤلفه‌های آب و هوایی دارد که با ثبت آمار هواشناسی و تغییرات جریان رودها

در آبخیز مطالعه‌شده از اندازه‌ی بارش بیش‌تر بود. نتایج این پژوهش می‌تواند برای مدیریت منابع آب با در نظر گرفتن محدودیت‌های تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی به کار گرفته شود.

برآورد میانگین جریان و تبخیر-تعرق در مقیاس‌های مکانی کوچک‌تر مانند زیرآبخیزها امکان ارزیابی منابع آب در دسترس در این مکان‌ها را فراهم می‌آورد. این برآوردها را می‌توان با روش‌های آماری و استفاده از ویژگی‌های گیتاشناسی آبخیزها انجام داد. از آنجایی که تغییر در کاربری زمین‌ها می‌تواند به تغییر در واکنش آب‌شناختی و در نتیجه تغییر آب‌دهی آبخیز منجر شود، ارزیابی بیلان آب با رویکرد مزبور در سناریوهای مختلف تغییر کاربری زمین‌ها می‌تواند مفید باشد. هر دو عامل بارش و تبخیر-تعرق بر اندازه‌ی آب‌دهی جریان تأثیرگذارند ولی تأثیر آن‌ها هم‌راستا نیست. از این رو، ارزیابی تأثیر تغییر دو مؤلفه‌ی مزبور می‌تواند در قالب سناریوهای گوناگونی مبتنی بر تغییرات افزایشی و کاهش‌ی اقلیم در نظر گرفته شود و در ارزیابی تغییرات بیلان آب و در نتیجه مدیریت منابع آب استفاده شود.

ونگ (۲۰۱۹) تغییرات اندازه‌های PET/P و AET/P نسبت به منحنی بودیکو بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بوم‌نظام‌ها قادر به تنظیم AET بودند. این یافته با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. در آبخیز نیر، نتایج نشان داد که محدودیت آب با ویژگی‌های سطح زمین و فعالیت‌های انسانی تغییر کرد. هم‌چنین، با افزایش دما و کاهش بارش، اندازه‌ی تبخیر-تعرق واقعی سالانه‌ی آبخیز افزایش یافت. مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۲۲) با کاربرد شاخص هرست در تعیین حافظه‌ی طولانی‌مدت گروه‌های زمانی بارش و آب‌دهی ایستگاه‌های برگزیده‌ی استان اردبیل، نتیجه گرفتند که تغییرات شاخص هرست در اکثر مناطق تغییرات شاخص هرست در حد پایداری ضعیف بودند و بخش‌هایی از شمال‌شرقی و مرکزی این مناطق در حد پایداری نسبتاً قوی بودند. افزایش تبخیر-تعرق و کاهش بارش سبب کاهش رواناب آبخیز شد. کاهش رواناب و کاهش منابع آب پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی فراوانی دارد و نیازمند پیشنهاد راهکارهای مدیریتی و سازگار با اقلیم مناسب برای استفاده بهینه از منابع آب موجود است. بر اساس نتایج این پژوهش، اندازه‌ی تبخیر-تعرق

فهرست منابع

- Budyko, M. (1999). Climate catastrophes. *Global and Planetary Change*, 20(4), 281-288. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(98\)00062-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(98)00062-9)
- Emamifar S, Davari K, Ansari H, Ghahraman B, Hosseini SM, Naseri M. 2018. Evaluation of DWB model and its correction for estimation of water balance components in Annual - watershed scale (Case study: Neishaboor and Rokh watershed). *Iran-Water Resources Reserch*, 14(2):94-104. (In Persian).
- Esmali A, Ahmadi H, Tahmoures M. 2014. Quantity assessment of water erosion intensity using regional model of erosion and sediment yield (Case study: Nir watershed, Ardebil). *Journal of Range and Watershed Management*, 67(3):407-417. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jrwm.2014.52830>
- Fang K, Shen Ch, Fisher JB, Niu J. 2016. Improving Budyko curve-based estimates of long-term water partitioning using hydrologic signatures from GRACE. *Water Resources Research*, 52(7):1-18. <https://doi.org/10.1002/2016WR018748>
- Fathi MM, Awadallah AG, Abdelbaki AM, Haggag M. 2019. A new Budyko framework extension using time series SARI-MAX model. *Journal of Hydrology*, 570:827-838. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.037>
- Fu J, Wang W. 2019. On the lower bound of Budyko curve: The influence of precipitation seasonality. *Journal of Hydrology*, 570:292-303. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.062>
- Fu, BP. 1981. On the calculation of the evaporation from land surface. *Chin. Journal of the Atmospheric Sciences*, 5(1):23-31.
- Gerrits AMJ, Savenije HHG, Veling EJM, Pfister L. 2009. Analytical derivation of the Budyko curve based on rainfall characteristics and a simple evaporation model. *Water Resources Research*, 45(4):1-15. <https://doi.org/10.1029/2008WR007308>
- Gong DY, Shi PJ, Wang JA. 2004. Daily precipitation changes in the semi arid region over northern China. *Journal of Arid Environments*, 59(4):771-784. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.02.006>
- Greve P, Gudmundsson L, Orlowsky B, Seneviratne SI. 2016. A two-parameter Budyko function to represent conditions under which evapotranspiration exceeds precipitation. *Hydrological Earth System Sciences*, 20(6):2195-2205. <https://doi.org/10.5194/hess-20-2195-2016>
- Jones J, Creed IF, Hatcher K, Warren R, Adams M, Benson M, Boose M, Brown M, Campbe J, Williams MW. 2012. Ecosystem Processes and Human Influences Regulate Streamflow Response to Climate Change at Long-Term Ecological Research Sites. *Biological Sciences*, 62(4):390-404. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.4.10>
- Lee TY, Chiu CC, Chen CJ, Lin CY, Shiah FK. 2023. Assessing future availability of water resources in Taiwan based on the Budyko framework. *Ecological Indicators*, 146:109808. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109808>
- Liu J, Chen J, Xu J, Lin Y, Yuan Z, Zhou M. 2019. Attribution of RunoVariation in the Headwaters of the Yangtze River Based on the Budyko Hypothesis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(14):2506. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142506>
- Mianabadi A, Alizadeh A, Sanaeinejad SH, Ghahraman B, Davary K. 2016. Prediction of Annual Evaporation Change in Dry Regions Using the Budyko-type framework (Case Study of Neishaboor-RokhWatershed). *Journal of Irrigation and Drainage*,

- 10(3):398-411. (In Persian)
- Mianabadi A, Gerrits MC, Shirazi P, Ghahra-man B, Alizadeh A. 2019. 1 A global Budyko model to partition evaporation into interception and transpiration. *Journal Hydrological Earth System Sciences*, 23(12):4983–5000. <https://doi.org/10.5194/hess-23-4983-2019>
- Mostafazadeh R, Moradzadeh V, Alaei N, Haz-bavi Z. 2022. Determining long-term mem-ory using Hurst Index for precipitation and discharge time series of selected stations in Ardabil province. *Water and Soil Resources Conservation*, 11(2):113-131. (In Persian) <https://doi.org/10.30495/wsre.2021.19217>
- Mostafazadeh R, Nasiri Khiavi A, Ghabelne-zam E. (2023). Temporal changes and flow pattern analysis using Colwell indices in mountainous rivers. *Environment, Devel-opment and Sustainability*. pp. 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03033-2>
- Nasiri Khiavi A, Faraji A, Mostafazadeh R. 2020. Streamflow Response to Rainfall Changes Using the Climate Elasticity Index in Some Watersheds of Ardabil Province. *Hydrogeomorphology*, 6(21):1-22. (In Per-sian). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1398.6.21.1.6>
- Ning T, Zhou Sh, Chang F, Shen H, Li Z, Liu W. 2019. Interaction of vegetation, climate and topography on evapotranspiration modelling at different time scales within the Budyko framework. *Agricultural and Forest Meteo-rology*, 275:59–68. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.05.001>
- Sankarasubramanian A, Wang D, Archfield S, Reitz M, Vogel RM, Mazrooei A, Mukho-padhyay S. 2022. HESS Opinions: Beyond the long-term water balance: evolving Bu-dyko's supply–demand framework for the Anthropocene towards a global synthesis of land-surface fluxes under natural and human-altered watersheds. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(4):1975-1984. <https://doi.org/10.5194/hess-24-1975-2020>
- Sheikh V, Naderi M, Sadoddin A, Asadi Nali-van O, Keramatzadeh A, Abedi Tourani M, Nazari A. Quantifying the contributions of climate change and human interventions on streamflow alteration in the Hableroud Rba-sin using the hydrological sensitivity analysis approach based on the Budyko hypothesis. *Water and Soil Management and Model-ing*, 3(4), 241-259. (In Persian). <https://doi.org/10.22098/mmws.2023.12114.1205>
- Talebi Khiavi H, Mostafazadeh R. 2021. Land use change dynamics assessment in the Khiavchai region, the hillside of Sabalan mountainous area. *Arabian Journal of Geo-sciences*, 14:1-15. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08690-z>
- Trancoso R, Larsen JR, McAlpine C, McVic-ar TR, Phinn S. 2016. Linking the Budyko framework and the Dunne diagram. *Jour-nal of Hydrology*, 535:581–597. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.017>
- Wang D, Tang Y. 2014. A one-parameter Bu-dyko model for water balance captures emer-gent behavior in darwinian hydrologic mod-els. *Geophys. Res. Lett*, 41(13):4569–4577. <https://doi.org/10.1002/2014GL060509>
- Wang W, Fu J. 2018. Global assessment of predictability of water availability: a bivari-ate probabilistic Budyko analysis. *Journal of Hydrology*, 557:643–650. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.068>
- Zhang X, Dong Q, Costa V, Wang X. 2019. A hierarchical Bayesian model for decom-posing the impacts of human activities and climate change on water resources in China. *Science of the Total Environment*, 665:836-847. <https://doi.org/10.1016/j.sci-totenv.2019.02.189>
- Zheng H, Zhang L, Zhu R, Liu C, Sato Y, Fu-kushima Y. 2009. Responses of streamflow to climate and land surface change in the headwaters of the Yellow River Basin. *Wa-ter Resources Research*, 45(7):1–9. <https://doi.org/10.1029/2007WR006665>



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Determining Changes in Water and Energy Balance in Different Time Scales Using Budyko Curve in the Nir Watershed, Ardabil

Raouf Mostafazadeh^{*1}, Nazila Alaei², Fatemeh Kateb³

1- Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Member of Water Management Research Center,
University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Ph.D. Student, Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

3- Former M.Sc. Student, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

In hydrological and water resources studies, the understanding of water balance components and changes holds great significance. Climate changes and human activities affect runoff changes, water resources management and sustainable development of society. In this regard, the current research was conducted with the aim of determining and comparing water balance changes using Budyko curve in Nir watershed, Ardabil province.

Materials and Methods

The Budyko curve was calculated for the Nir watershed in monthly, seasonal and annual time scales. In this study, the data of the rain gauge and evapotranspiration station of the watershed were also used in a statistical period of 33-years to calculate the average precipitation and evapotranspiration potential in the watershed. In the Budyko curve, the non-linear relationship that is limited by the physical limits of atmospheric water demand ($PET > ET$) and supply ($P > ET$) and the aridity index in the Budyko curve show the long-term water balance.

Results and Discussion

The results showed that, the trend of flow changes is directly related to the trend of weather components in annual time scale. Meanwhile, contrary to expectation, only in some seasons does the flow change process follow the change in climatic components. In addition, the Budyko curve analysis indicated that the amount

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

Citation: Mostafazadeh, R., Alaei, N., Kateb, F. 2024. Determining Changes in Water and Energy Balance in Different Time Scales Using Budyko Curve in the Nir Watershed, Ardabil. Watershed Management Research. 37(2): 39-54.

DOI: 10.22092/wmrj.2023.362093.1538

Received: 26 April 2023, **Received in revised form:** 16 June 2023, **Accepted:** 21 September 2023

Published online: 21 June 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.2, Ser. No: 143, Summer 2024, pp. 39-54.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)



of water consumption in the studied watershed regularly deviated from its predicted dependence on energy and water balance. The maximum, average and minimum ET for the studied years were obtained as 876.55, 431.85 and 277.88, respectively. Also, the maximum, average and minimum ratio of PET/P was 0.07, 0.05 and 0.02 respectively. In most of the years studied, the observational data aligned with the water limit range on the Budyko curve, indicating that the observed water consumption (AET/P) matched the predicted water consumption (PET/P). According to the results, the changes in AET/P are less in the years (1981, 1983, 1989, 1994, and 2010). Based on the changes in the values of PET/P and AET/P in the Budyko curve, the watershed ability to regulate AET can be considerable.

Conclusions and Suggestions

The results of this study indicated that with increased temperature and decreased precipitation, the annual actual evapotranspiration of the watershed increased, leading to a reduction in runoff. The results can be the basis for providing management solutions and adapting to the climate change in order to optimally use the available water resources. In general, it can be said that the amount of potential evaporation in the studied watershed is more than the amount of precipitation. The study's findings can provide a basis for managing water resources under the limitations of climate change and human abstractions.

Keywords: Potential evapo-transpiration, river flow discharge, water resources management, water balance, climatic variables



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مآذان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

ارزیابی کارایی مدل‌های G2 و IntErO در برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب سالانه در آبخیز معرف کسلیان، استان مازندران

فائزه کمری یکدانگی^۱، عبدالواحد خالیدی درویشان^{۲*}، سهیلا آقابیکگی امین^۳

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲ - (نویسنده مسئول) دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۳ - استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

در سال‌های اخیر فرسایش خاک و تولید رسوب تهدیدی جدی برای امنیت غذایی به‌شمار می‌آید. در بسیاری از کشورها به منظور مدیریت و پیشگیری از فرسایش خاک و تولید رسوب پژوهش‌های پرشماری انجام شده است. با توجه به لزوم آگاهی از اندازه‌ی فرسایش و رسوب‌دهی در آبخیزها، این پژوهش با هدف برآورد اندازه‌ی فرسایش و رسوب آبخیز معرف کسلیان با استفاده از مدل‌های تجربی انجام شد. همچنین مدل‌های تجربی با داده‌های مشاهده‌ای، ارزیابی و مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

برای برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در آبخیز معرف کسلیان در استان مازندران از دو مدل G2 و IntErO استفاده شد. سپس با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و منحنی سنجی رسوب ایستگاه آب‌سنجی ولیک‌بن در خروجی آبخیز، تولید رسوب ویژه‌ی سالانه محاسبه شده و نتایج مدل‌ها ارزیابی شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.khaledi@modares.ac.ir

استناد: کمری یکدانگی، ف.، خالیدی درویشان، ع.، آقابیکگی امین، س. ۱۴۰۳. ارزیابی کارایی مدل‌های G2 و IntErO در برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب سالانه در آبخیز معرف کسلیان، استان مازندران. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۲): ۷۳-۵۵.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmrj.2023.362025.1539

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۴۳، تابستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۵۵ تا ۷۳

© نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



نتایج و بحث

در این آبخیز، نتایج مدل‌های G2 و IntErO اندازه‌ی فرسایش خاک را به ترتیب $1/30$ و $2/35$ تن بر هکتار در سال نشان داد. همچنین، رسوب ویژه‌ی سالانه با مدل‌های G2 و IntErO به ترتیب $0/44$ ، $0/84$ تن بر هکتار در سال برآورد شد و داده‌های مشاهده‌ای $0/16$ تن بر هکتار در سال به دست آمد. در این آبخیز نتایج مدل G2 نشان داد که عامل نگهداشت پوشش گیاهی در مقایسه با عامل فرساینده‌ی باران تأثیر بیشتری بر فرسایش داشت. بیشتر مناطق آبخیز به دلیل نوع پوشش گیاهی در طبقه‌ی فرسایشی خیلی کم بود. نتایج مدل IntErO نشان داد که کشیدگی و شیب تند دامنه‌های آبخیز سبب شد بیشینه‌ی جریان خروجی در دوره‌ی بازگشت ۲۰ سال $137/81$ مترمکعب بر ثانیه باشد. همچنین فرسایش غالب در این آبخیز از نوع فرسایش سطحی بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش مدل‌های تجربی بررسی شده نتایجی مشابهی را نشان دادند. بر پایه‌ی تغییرات کاربری در آبخیز معرف کسلیان اندازه‌های برآوردی فرسایش و تولید رسوب سالانه قابل قبول و منطقی بود، اما تفاوت نتایج با داده‌های مشاهده‌ای بسیار زیاد بود و این یافته نشان‌دهنده‌ی کارایی کم مدل‌ها بود. اما شایان ذکر است که در این آبخیز نامناسب بودن فاصله‌های زمانی نمونه‌برداری آب‌دهی و رسوب، دلیل بسیار مهمی برای کم بودن اندازه‌ی رسوب‌دهی سالانه مبتنی بر داده‌های مشاهده‌ای بود. به عبارت دیگر، فاصله‌های اندازه‌گیری روزانه در این آبخیز کوچک موجب شد تا داده‌های واقعی غلظت رسوب هم‌زمان با ساعات سیلابی یا آب‌دهی‌های اوج که بیشترین انتقال رسوب را داشتند، برداشت نشود. برای حل این مشکل در آبخیزهای کوچک پیشنهاد می‌شود نمونه‌برداری در فاصله‌های زمانی کوتاه‌تر (چندین بار در روز و یا حتی ساعتی) انجام شود تا غلظت‌های زیاد رسوب هم‌زمان با آب‌دهی‌های زیاد نمونه‌برداری شود و در محاسبه‌ی رسوب‌دهی لحاظ شود.

واژگان کلیدی: استان مازندران، رسوب‌دهی ویژه، فرسایش‌پذیری خاک، فرساینده‌ی باران، نسبت تحویل رسوب، هدررفت خاک

مقدمه

۲۰۱۹، ساگا و همکاران ۲۰۲۱، بیلی و اسپالویچ ۲۰۲۲، لنس و همکاران ۲۰۲۲). اثرهای منفی فرسایش در محل رخداد نه تنها در دامنه‌ها و زمین‌های زراعی به شکل کاهش مواد آلی و توان تولیدی، از دست دادن مواد مغذی (مستازو و همکاران ۲۰۲۳) و نابودی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پدیدار می‌شود، بلکه در محل خارج از رخداد نیز انباشت رسوب روی زمین‌های مرغوب کشاورزی، مراتع، منابع ذخیره آب و نه‌های آبیاری و ایجاد آلودگی با رسوبات، فلزات سنگین و مواد شیمیایی همراه آن امروزه بیش از هر زمان دیگری قابل مشاهده است (کاریداس و پاناگوس ۲۰۱۸) و می‌تواند پایداری کشاورزی و امنیت غذایی نسل کنونی و آینده را به خطر بیندازد (توارس و همکاران ۲۰۲۱). در سراسر جهان، آگاهی داشتن از فرسایش و حفاظت خاک، به منظور تصمیم‌گیری و طرح‌ریزی امور زیست محیطی (مستازو و همکاران ۲۰۲۳) به شکل چشمگیری گسترش یافته است (بارفورد و همکاران ۲۰۰۱، لال و همکاران ۲۰۰۳). لازمه‌ی ارائه راهکارها و برنامه‌های مناسب برای مهار فرسایش و حفاظت خاک، اطلاعات پایه‌ای برای شناسایی و درک دقیق عامل‌های موثر بر نابودی منابع خاک و آب است (صادقی ۲۰۱۱). از طرف دیگر، در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران،

در جهان رخداد بیابان‌زایی و نابودی خاک با چالش‌های بوم‌شناختی، اجتماعی-اقتصادی، سیاسی و فرهنگی در دو مقیاس منطقه‌ای و محلی همراه است (استریچکر ۲۰۰۵، هلمینگ و همکاران ۲۰۱۱، دراگانیک و همکاران ۲۰۱۶). از عامل‌های اصلی تشدید آن می‌توان به افزایش جمعیت، استفاده بیش از حد از زمین (انصاری‌لاری و انصاری ۲۰۱۷، بالویی ۲۰۲۱)، افزایش دخالت انسان در بوم‌سازگان‌های طبیعی (فتح‌الله‌زاده و ثروتی ۲۰۱۲) و افزایش تقاضای محصولات کشاورزی و در نهایت تغییر کاربری زمین اشاره کرد (محمدی و همکاران ۲۰۲۱). در سطح جهان و ایران فرسایش خاک یک مشکل رو به افزایش و جدی است (دراگانیک و همکاران ۲۰۱۶) و خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر بوم‌سازگان‌ها و شرایط مدیریتی حاکم بر آن وارد می‌کند (نور و عرب‌خدری ۲۰۲۰). در ایران برای اندازه‌ی فرسایش برآوردهای گوناگونی وجود دارد، اما تاکنون در این باره به توافق جمعی نرسیده‌اند؛ اما پژوهشگران درباره‌ی افزایش بیش از حد مجاز اندازه‌ی فرسایش هم‌عقیده هستند (عرب‌خدری ۲۰۱۴، نور و همکاران ۲۰۲۳). در این زمینه فرسایش آبی اهمیت بیشتری دارد. فرسایش خاک به وسیله‌ی آب یک نگرانی اولیه در نابودی خاک شناخته شده است (چالیس و همکاران

(SSY) (SDR) ۰/۲۶ و میانگین سالانه رسوب ویژه (SSY) ۳/۳۲ تن بر هکتار در سال بود. در کل ایران محمدی و همکاران (۲۰۲۱) پایش مکانی-زمانی فرسایش خاک را انجام دادند. در استان ایلام، بالویی (۲۰۲۱) اندازه‌ی فرسایش خاک را با استفاده از مدل G2 برآورد کرد. در آبخیز شیرین‌دره، خالدی‌درویشان و همکاران (۲۰۱۹) فرسایش خاک، رسوب بازده و بیشینه خروجی، با استفاده از مدل IntErO را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه‌ی فرسایش، متوسط و از نوع سطحی بود و اوج آب‌دهی ۱۳/۵۱ مترمکعب بر ثانیه با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰ ساله بود. در پژوهشی خالدی‌درویشان و همکاران (۲۰۱۸) در آبخیز خامسان برای پیش‌بینی اندازه‌ی فرسایش خاک و اندازه‌ی رسوب از مدل IntErO استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که طبقه‌ی فرسایش، متوسط بود. همچنین این پژوهشگران داده‌های پیش‌بینی‌شده‌ی رسوب را با اندازه‌های مشاهده‌ای آن مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مدل به واقعیت زمینی نزدیک بود و این یافته نشان‌دهنده‌ی عملکرد صحیح مدل بود. در پژوهشی کله‌هوئی و همکاران (۲۰۲۰) فرسایش خاک در آبخیز شازند را به‌وسیله‌ی مدل IntErO ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که ضریب ذاتی فرسایش در آبخیز ۰/۵۵ بود که بیان‌گر فرسایش شدید در این آبخیز بود. آرمین و همکاران (۲۰۲۱) در دو آبخیز دشت‌روم (منطقه‌ی بویراحمد) و کره (منطقه‌ی دنا) برای تعیین اندازه‌ی فرسایش و جریان خروجی، از بسته‌ی نرم‌افزاری مدل تحلیلی IntErO استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که در آبخیز دشت‌روم اندازه‌ی فرسایش کم و فرسایش غالب، از نوع عمیق بود. همچنین، در آبخیز کره، اندازه فرسایش متوسط و فرسایش غالب از نوع سطحی بود. آبخیز دشت‌روم به‌دلیل نسبت کمتر تحویل رسوب در مقایسه با آبخیز کره تولید رسوب کمتری نیز داشت. برپایه‌ی نتایج پژوهش‌های پیشین، در ایران برآورد رسوب با استفاده از مدل G2sed بررسی و مستند نشده‌است. از آنجایی که آگاهی از اندازه‌ی فرسایش و تولید رسوب در آبخیزها به‌منظور برآورد حجم و هزینه‌ی عملیات آبخیزداری، مبحث بسیار مهم و ضروری است، استفاده از امکانات و فناوری‌های نوین برای جمع‌آوری اطلاعات در این راستا نیز اجتناب‌ناپذیر است. از این رو، این پژوهش در آبخیز معرف کسلیان استان مازندران، با هدف برآورد اندازه‌ی فرسایش و تولید رسوب با استفاده از مدل G2 و IntErO انجام شد. سپس، نتایج به‌دست آمده با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه و سنجش شدند.

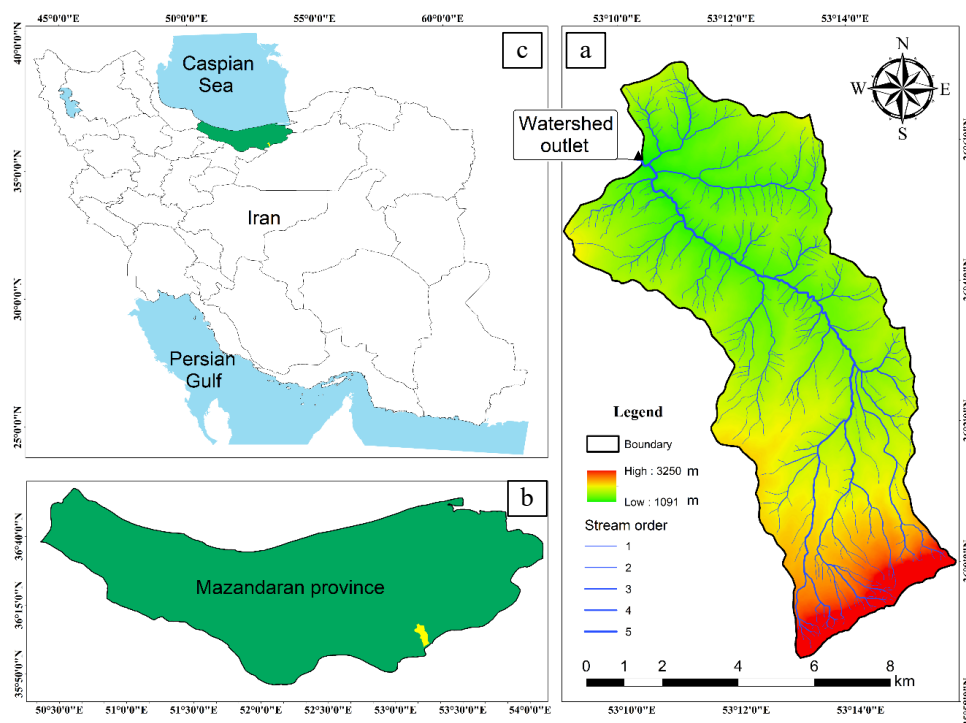
مهم‌ترین مشکل برای مطالعه و برآورد اندازه‌ی فرسایش و تولید رسوب، کمبود آمار و اطلاعات مناسب و نبودن ایستگاه‌های اندازه‌گیری است (آرمین و همکاران ۲۰۲۱). روش‌های سنتی با هزینه و وقت‌گیر است (البرادیا و همکاران ۲۰۱۱). از این رو، مدل‌های تجربی برای برآورد فرسایش و رسوب به‌کار برده شده است. در دهه‌های اخیر، مدل‌ها برای افزایش دانش و درجه‌ی تاب‌آوری در حل مشکلات مزبور توسعه یافته‌اند (تانیاس و همکاران ۲۰۱۵). یکی از این مدل‌های توسعه‌یافته مدل G2 بود. این مدل بر اساس معادله‌ی جهانی اصلاح‌شده هدررفت خاک (RUSLE) برای فرسایش خاک پیشنهاد شد. همچنین، روش فرسایش بالقوه (EPM) برای تولید رسوب و برای حل مشکلات مدل‌های مزبور ارائه شد (کله و وادسولا ۲۰۱۲). مدل توسعه‌یافته‌ی دیگر مدل IntErO بود که برای پیش‌بینی اندازه‌ی فرسایش خاک، رسوب ویژه‌ی سالانه و بیشینه‌ی جریان خروجی از آبخیز به‌کار برده شد (صبری و همکاران ۲۰۱۹، کله‌هوئی و همکاران ۲۰۲۰). این مدل نیز بر پایه‌ی روش فرسایش بالقوه خاک بود (اسپالویچ ۲۰۱۹) که نسخه‌ی کامل و نسل دوم برنامه‌ی اندازه‌گیری فاصله و سطح (اسپالویچ و همکاران ۱۹۹۹) و برنامه‌ی آبخیز (اسپالویچ و همکاران ۲۰۰۰) بود. در راستای استفاده از مدل‌های تجربی مزبور پژوهش‌های پرشماری در داخل و خارج از کشور انجام شده است. در جنوب استرالیا جینیو و همکاران (۲۰۲۱) نقشه‌ی تغییرات مکانی و زمانی فرسایش خاک را با استفاده از مدل G2 برای بازه‌ی زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۱ تهیه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه میانگین فرسایش سالانه در دوره‌ی مطالعه‌شده نسبتاً کم بود، اما، فرسایش در بخش‌هایی از منطقه بیشترین تأثیر را گذاشته بود. پولووینا و همکاران (۲۰۲۱) در منطقه‌ی شهری بلگراد صربستان، فرسایش خاک را با مدل G2 برآورد و ارزیابی کردند. افزایش میانگین فرسایش خاک در مناطق طبیعی و نیمه‌طبیعی در دوره‌ی مطالعه‌شده به‌وسیله‌ی این پژوهشگران، به‌ترتیب ۱۶/۱۴٪ و ۴۳/۲۹٪ بود. کاریداس و همکاران (۲۰۲۰) در آبخیز رود کاندلارو نقشه‌ی زمانی و مکانی فرسایش خاک را با استفاده از مدل G2 و تصویرهای ماهواره‌ی سنتینل ۲ در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه تهیه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین سالانه‌ی فرسایش خاک ۰/۸۷ تن بر هکتار بود. در قبرس، کاریداس و پاناگوس (۲۰۱۶) فرسایش خاک و تولید رسوب ماهانه را مدل‌سازی کردند. در این پژوهش نتایج به‌دست آمده از مدل G2 نشان داد که میانگین نسبت تحویل رسوب

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی پژوهش

میروزاد و گلرود و از غرب به کوه گوتجا محدود می‌شود (درخشان ۲۰۱۱). در این آبخیز کمینه و بیشینه‌ی بلندی به ترتیب ۱۰۹۱ و ۳۲۵۰ متر از سطح دریا است. میانگین بارندگی در این آبخیز ۷۹۱ میلی‌متر است (جانی‌زاده و وفاخواه ۲۰۲۱). این آبخیز بر اساس طبقه‌بندی دومارتن اقلیم نیمه‌مرطوب تا بسیار مرطوب دارد (صادقی و همکاران ۲۰۰۷). موقعیت منطقه‌ی مطالعه‌شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

آبخیز معرف کسلیان یکی از سرشاخه‌های رود تالار است و در بلندی‌های ناحیه‌ی مرکزی سلسله کوه‌های البرز در استان مازندران است. این آبخیز در محدوده‌ی جغرافیایی $36^{\circ}07'$ تا $35^{\circ}58'$ طول شرقی و $53^{\circ}15'$ تا $53^{\circ}08'$ عرض شمالی با وسعت $68/747$ کیلومتر مربع است (سعادت و همکاران ۲۰۰۶) که از شمال به کوه‌های ستیک و چهارتب، از شرق به کوه چهارتب، از جنوب به کوه‌های



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز معرف کسلیان (a) در استان مازندران (b) و ایران (c).
Figure 1- Geographical location of Kasilian representative watershed (a) in Mazandaran province (b), Iran (c).

است (کاریداس و پاناگوس ۲۰۱۸). از مزایای مدل G2 می‌توان به داشتن ترکیبی از قابلیت‌های دو مدل EPM و RUSLE. معرفی یک متغیر اصلاحی برای اثر پستی‌بلندی و در نظر گرفتن سنجه‌های مؤثر کاربری زمین اشاره کرد. افزون بر این، پایه‌ریزی اولیه و ساختار مدل برای استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) و به‌ویژه کاربرد گسترده‌ی تصویرهای ماهواره‌ای و سنجش از دور برای تهیه ورودی‌های لازم برای مدل سبب‌شده که بتوان از آن برای سال‌های متوالی و در مناطق وسیع استفاده کرد (محمدامینی و همکاران ۲۰۱۶). بنابراین، این مدل در زمینه‌ی برآورد اندازه‌ی فرسایش و رسوب در مقیاس‌های گوناگون زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه) یکی از مدل‌های کارآمد شناخته شده‌است (پاناگوس و همکاران

روش پژوهش

در این پژوهش به‌منظور برآورد اندازه‌ی فرسایش و تولید رسوب از دو مدل G2 و IntErO که از مدل‌های توسعه‌یافته و نوین هستند، استفاده شد. اندازه‌ی فرسایش و رسوب سالانه‌ی آبخیز معرف کسلیان در سال ۲۰۲۱ برآورد شد. سپس با استفاده از داده‌های رسوب اندازه‌گیری‌شده در خروجی آبخیز در ایستگاه آب‌سنجی ولیک‌بن، تولید رسوب سالانه‌ی آبخیز محاسبه شد. سرانجام، نتایج دو مدل ارزیابی و مقایسه شدند.

مدل G2loss

مدل G2 یک مدل تجربی با دو بخش مجزا برای برآورد فرسایش خاک (G2loss) و برآورد بار رسوب (G2sed)

۲۰۱۴). در مدل G2loss پنج عامل ورودی در یک معادله جبری (رابطه ۱) ترکیب و اندازه‌ی فرسایش کمی برآورد می‌شود.

$$E = \left(\frac{R}{V}\right) \cdot S \cdot \left(\frac{T}{I}\right) \quad (1)$$

E: اندازه‌ی خاک برداشت‌شده از یک سطح مشخص در طول یک دوره‌ی زمانی معین (تن بر هکتار)، R: عامل فرسایش‌دگی باران برای یک دوره‌ی زمانی خاص (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت)، V: عامل نگهداشت پوشش گیاهی (بدون بعد)، S: عامل فرسایش‌پذیری خاک (تن هکتار ساعت بر هکتار مگاژول میلی‌متر)، T: عامل پستی‌بلندی (بدون بعد) و I: عامل تضعیف شیب که تصحیح‌کننده‌ی عامل T است (بدون بعد).

عامل فرسایش‌دگی باران

فرسایش‌دگی باران شاخصی است که در بسیاری از مناطق جهان با هدر رفت خاک بیشترین ارتباط را دارد (بالویی ۲۰۲۱). در این پژوهش با استفاده از داده‌های میانگین سالانه‌ی بارندگی ۱۱ ایستگاه داخل و محدوده پیرامون آبخیز، نقشه رقومی ارتفاعی با دقت مکانی ۱۲/۵ متر تهیه شد. سپس، با استفاده از رابطه‌ی ۲ عامل فرسایش‌دگی

باران محاسبه شد.

$$R = 0.38 \cdot P + 81.5 \quad (2)$$

عامل نگهداشت پوشش گیاهی

نگهداشت پوشش گیاهی با استفاده از شاخص بهنجار شده‌ی پوشش گیاهی (NDVI) به‌دست آمده از تصویر MODIS از روش Google Earth Engine محاسبه می‌شود. در این پژوهش، بیشینه‌ی اندازه‌ی NDVI فصلی از تصویرها به‌دست آمد. سپس میانگین NDVI چهار فصل به‌عنوان NDVI سالانه محاسبه شد و با استفاده از آن پوشش جزء گیاهی به‌دست آمد که به‌عنوان شاخص نهایی برای محاسبات استفاده شد. همچنین، براساس طبقه‌بندی پوشش گیاهی (پاناگوس و همکاران ۲۰۱۴) برای کاربری زمین متغیر تجربی (LU) در نظر گرفته شد. سرانجام، نقشه‌ی عامل نگهداشت پوشش گیاهی با ابعاد پیکسل ۲۵ متر به‌دست آمد. معادله‌ی نگهداشت پوشش گیاهی به شکل رابطه‌ی ۳ است.

$$V = e^{(LU \cdot Fcover)} \quad (3)$$

اندازه‌های متغیر تجربی کاربری زمین در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- اندازه‌های متغیر تجربی LU در آبخیز معرف کسلیان.

Table 1- LU empirical variable in Kasilian representative watershed.

Landuse	LU Parameter
Agriculture	6
Forest	9
Rangeland	6
Residential area	9
Rock	1

عامل فرسایش‌پذیری خاک

در این پژوهش نقشه‌ی خاک با استفاده از نتایج آزمایشات آب‌سنجی، ماده‌ی آلی ۳۷ نمونه خاک برداشت‌شده از آبخیز و روش درون‌یابی عکس فاصله‌ی وزنی (IDW) تهیه شد. عامل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از رابطه‌ی ۴ برآورد شد (کاریداس و پاناگوس ۲۰۱۶).

(۴)

$$S = 0.1317 \cdot \left\{ \frac{[2.1 \cdot 10^{-4} \cdot M^{1.14} \cdot (12 - OM) + 3.25 \cdot (s - 2) + 2.5 \cdot (P - 3)]}{100} \right\}$$

S: عامل فرسایش‌پذیری خاک، M: عامل بافت خاک

(مجموع سیلت و شن ریز بر حسب درصد)، OM: محتوای ماده‌ی آلی (بر حسب درصد)، S: وضعیت ساختمان خاک و P وضعیت نفوذپذیری است.

عامل پستی‌بلندی

برای محاسبه این عامل ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با دقت مکانی ۱۲/۵ متر لایه‌های جهت جریان و سپس تجمع جریان تهیه شد. سپس، لایه‌ی شیب نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه شد. در این پژوهش معادله‌ی نهایی محاسبه‌ی عامل پستی‌بلندی به‌شکل رابطه‌ی ۵ به‌دست آمد.

آبخیز از بسته‌ی برنامه‌ی IntErO که یک مدل کامپیوتری-گرافیکی است، استفاده می‌شود (صبری و همکاران ۲۰۱۹). این مدل به عامل‌های مؤثر بر فرسایش در مقیاس یک آبخیز مانند دما، میانگین بارندگی سالانه، کاربری خاک، ویژگی‌های زمین‌شناسی و ... بستگی دارد (خالدی‌رویشان و همکاران ۲۰۱۷، صبری و همکاران ۲۰۲۲). ویژگی اساسی این مدل سادگی کاربرد آن در ارزیابی تعداد زیادی از داده‌های ورودی است (آرمین و همکاران ۲۰۲۰). کارایی مدل IntErO برای پیش‌بینی اوج خروجی، فرسایش خاک و عملکرد رسوب نیز ارزیابی‌شده است. نتایج این ارزیابی نشان داد که مدل IntErO می‌تواند در آبخیزهای با اندازه‌های گوناگون و با کاربری‌های گوناگون استفاده شود (اسپالویچ ۲۰۱۱، صبری و همکاران ۲۰۱۹).

در ابتدا این مدل برای اجرا نیازمند ۲۶ داده ورودی شامل ویژگی‌های هندسی، پستی‌بلندی، بیشینه‌ی جریان خروجی، آب‌شناسی، هواشناسی و اندازه‌ی فرسایش هماهنگ با استانداردهای لازم است. نخست به‌منظور برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل IntErO، ویژگی‌های هندسی و آب‌شناختی آبخیز از لایه‌ی وکتوری مرز و آبراهه‌های آبخیز تعیین شد. سپس، خطوط پستی‌بلندی از نقشه‌ی DEM با دقت ۱۲/۵ متر به‌دست آمد. ورودی‌های عامل پستی‌بلندی تهیه شد. همچنین، ویژگی‌های نفوذپذیری آبخیز با استفاده از نقشه‌ی خاک منطقه تعیین شد. کاربری زمین نیز با استفاده از روش سنجش از دور (RS) و تصویر لندست ۸ در نرم‌افزار ENVI ۵.۶ با مدل شبکه‌ی عصبی^۱ تعیین شد. میانگین دمای سالانه با شیب دمایی موجود در بررسی‌های اجرایی منطقه با استفاده از نرم‌افزار ArcMap10.8 و نقشه‌ی DEM محاسبه شد. بلندای بارندگی سیل‌آسا از داده‌های بیشینه‌ی بارش ۲۴ ساعته ایستگاه هواشناسی محاسبه شد و سرانجام داده‌های نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی فرسایش خاک با اطلاعات موجود و دیدگاه کارشناسان جمع‌آوری و کامل شد.

از مزیت‌های این مدل می‌توان به قابل استخراج بودن اکثر ورودی‌ها برای اغلب آبخیزهای کشور، قابل فهم بودن تمام متغیرهای به‌کاربرده شده، در دسترس بودن نرم‌افزاری با همین نام برای کاربرد ساده‌تر و بهتر آن و هشدار دادن در هنگام ورود اطلاعات اشتباه در محاسبات اشاره کرد (حزبای و همکاران ۲۰۱۹، محمدی و همکاران ۲۰۲۱).

$$T = \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^{0.4} * \left(\frac{\sin B}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (5)$$

T: عامل پستی‌بلندی و اندازه‌ی آن بزرگتر یا مساوی یک است (بدون بعد). AS: تجمع جریان برحسب متر و شیب برحسب رادیان است.

عامل تعدیل شیب

لایه‌ی I، با استفاده از یک فیلتر سوپل (فیلتر شناسایی لبه بدون جهت) از تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ با وضوح ۱۰ متر تهیه شد. لایه‌ی SF، حاصل میانگین دو لایه‌ی سوپل عمودی و سوپل افقی است.

$$I = 1 + \sqrt{\frac{S_F}{DN_{Max}}} \quad (6)$$

SF: اندازه‌ی فیلتر سوپل تصویر در محدوده‌ی 0-DNmax است.

مدل G2sed

بخش دوم مدل، مربوط به برآورد بار رسوب است، در این بخش، از مفهوم و معادله‌ی نسبت تحویل رسوب در روش فرسایش بالقوه (EPM) استفاده شده است (کاریداس و پاناگوس ۲۰۱۸). در این پژوهش تولید رسوب ویژه با استفاده از رابطه‌ی ۷ محاسبه شد.

$$SSY = SDR \cdot E \quad (7)$$

SDR: نسبت تحویل رسوب و E: اندازه‌ی هدررفت خاک در دوره‌ی زمانی معین برحسب تن بر هکتار است. معادله‌ی اصلی محاسبه‌ی نسبت تحویل رسوب یک آبخیز به‌شکل رابطه‌ی ۸ ارائه شد.

$$SDR = \frac{\sqrt{P \cdot Z} \cdot (L_p + L_s)}{(L_p + 10)A} \quad (8)$$

P: محیط (کیلومتر)، Z: کمینه‌ی تفاوت بلندی از میانگین بلندی (کیلومتر)، Lp و Ls: به‌ترتیب طول کل بخش‌های جریان اولیه و ثانویه (کیلومتر) و A: مساحت سطح‌های برجسته (کیلومتر مربع) است.

مدل IntErO

اولین بار اسپالویچ از مدل IntErO استفاده کرد (اسپالویچ و همکاران ۲۰۱۳). برای برآورد اندازه فرسایش خاک و بیشینه‌ی جریان خروجی در مقیاس

داده های مشاهده ای

از آمار و اطلاعات سال های ۱۴۰۰-۱۳۸۰ مربوط به آبدهی روزانه و رسوب اندازه گیری شده در ایستگاه آب سنجی ولیک بن (بخش خروجی آبخیز)، برای رسم منحنی و استخراج معادله ی سنجه ی رسوب استفاده شد. سپس، با معادله ی خطی به دست آمده و داده های آبدهی روزانه ی ایستگاه آب سنجی، اندازه ی رسوب روزانه محاسبه شد. سرانجام، کل رسوب تولیدی سالانه ی آبخیز معرف کسلیان به دست آمد و برای سنجش کارایی مدل های مزبور با رسوب تولیدی سال ۲۰۲۱ مقایسه شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش نقشه ها و داده های ورودی لازم برای مدل های بررسی شده تهیه شد. فرسایش و رسوب در آبخیز معرف کسلیان به دست آمد و اندازه ی برآوردی هر دو مدل با داده های مشاهده ای و مطالعات پیشین مقایسه شد.

نتایج مدل G2

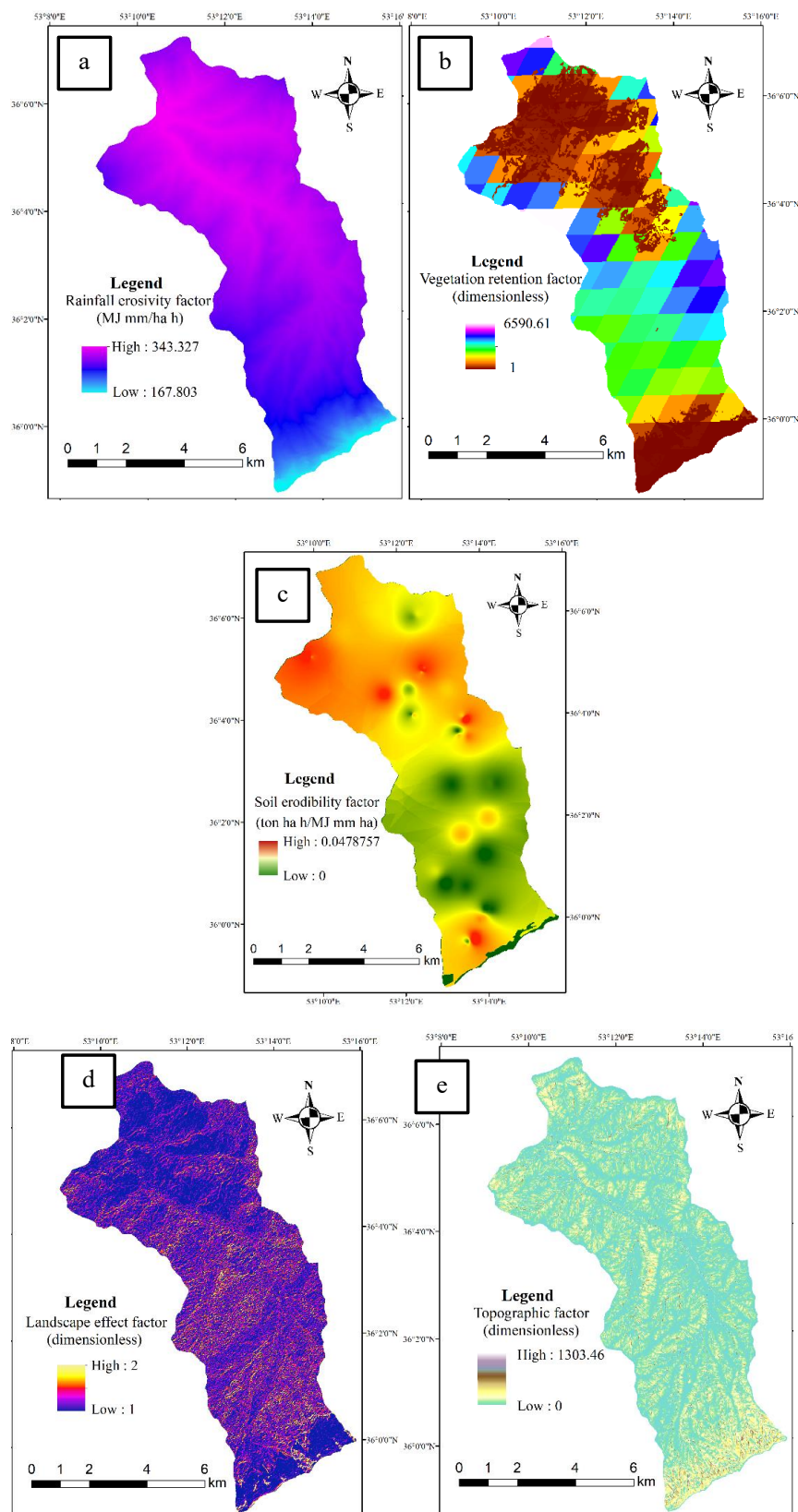
به منظور برآورد اندازه ی فرسایش و رسوب در آبخیز معرف کسلیان، با استفاده از مدل G2 نقشه های فرسایشی باران، نگهداشت پوشش گیاهی، فرسایش پذیری خاک،

پستی بلندی و عامل تعدیل شیب در مقیاس زمانی سالانه تهیه شد. عامل فرسایشی باران از ۱۶۷/۸ تا ۳۴۳/۳ مگاژول میلی متر بر هکتار سال متغیر بود. بیشترین اندازه ی این عامل در مناطق خروجی آبخیز و کمترین اندازه ی آن به دلیل نوع بارش در مناطق بالادست آبخیز بود. رابطه ی عامل نگهداشت پوشش گیاهی با فرسایش منفی بود. بیشینه ی اندازه ی این عامل در بخش های جنگلی با فرسایش کم بود. نقشه ی فرسایش پذیری خاک نیز با نتایج تجزیه ی ۳۷ نمونه خاک و با استفاده از نرم افزار ArcMap با روش های گوناگون درونیابی تهیه شد. در این راستا، با توجه به میانگین مربعات خطا (RMSE) و تطابق چشمی با کاربری های منطقه، روش IDW به عنوان مناسب ترین روش درونیابی، انتخاب شد (جدول ۲). تغییرات متفاوت عامل پستی بلندی که با استفاده از لایه ی شیب به دست آمد در بخش های گوناگون آبخیز از صفر تا ۱۳۰۳/۵ بود. در مدل G2 رابطه ی عامل تعدیل شیب همچون عامل نگهداشت پوشش گیاهی با اندازه ی فرسایش منفی بود. کمینه و بیشینه ی اندازه ی عامل تعدیل شیب به ترتیب ۱ و ۲ بود. نقشه های ورودی های مدل G2 در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج روش های گوناگون درونیابی برای تهیه ی نقشه ی فرسایش پذیری خاک در آبخیز معرف کسلیان.

Table 4- Results of different interpolation methods for soil erodibility mapping in Kasilian representative watershed.

No.	Method	RMSE
1	CoKriging	0.0124
2	Kriging	0.0119
3	IDW	0.0123

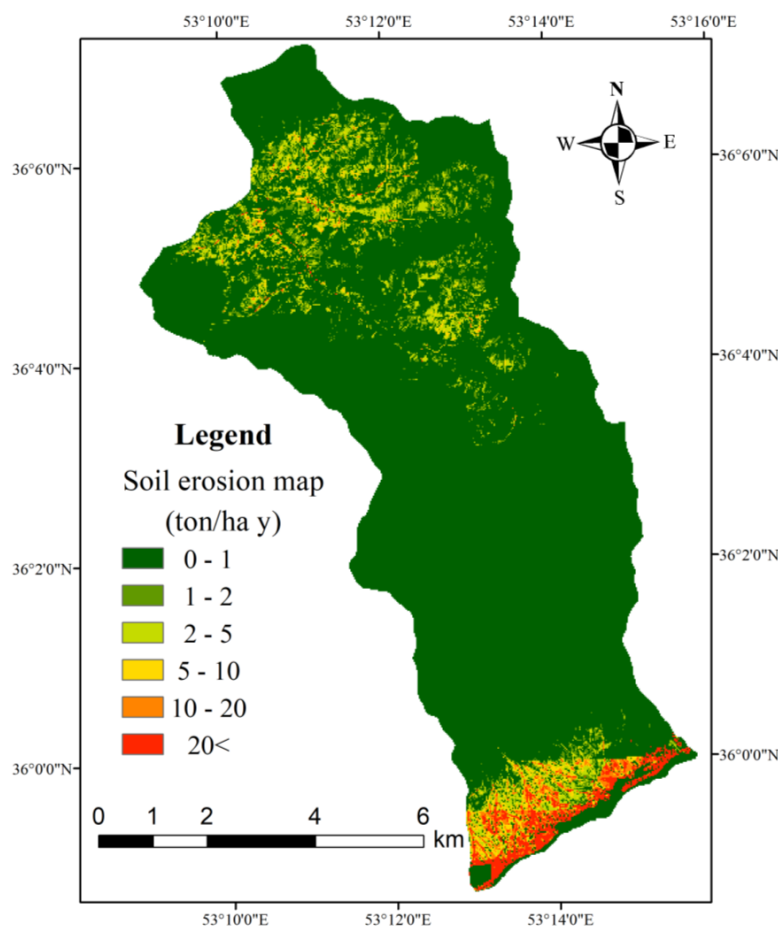


شکل ۳- نقشه‌های ورودی‌های مدل $G2_{loss}$ در آبخیز معرف کسلیان: (a) عامل فرساینده باران، (b) عامل نگهداشت پوشش گیاهی، (c) عامل فرسایش‌پذیری خاک، (d) عامل پستی‌بلندی و (e) عامل تعدیل شیب.

Figure 3- Input maps of the $G2_{loss}$ Model in Kasilian representative watershed; a) Rainfall erosion factor, b) Vegetation retention factor, c) Soil erodibility factor, d) Topographic factor, and e) Slope intercept factor.

همراه با پستی‌بلندی خشن و پوشش گیاهی ضعیف مشاهده شد. از این رو، در بخش‌های پایین‌دست آبخیز به دلیل دخالت‌های انسانی لکه‌هایی با فرسایش بیش‌تر از ۱۰ تن بر هکتار در سال مشاهده شد. بر اساس نتایج این مدل، میانگین فرسایش در آبخیز مطالعه‌شده ۱/۳۰ تن بر هکتار در سال برآورد شد. با استفاده از مدل G2sed نیز، نسبت تحویل رسوب سالانه ۰/۳۴ محاسبه شد. سپس تولید سالانه‌ی رسوب ویژه ۰/۴۴ تن بر هکتار برآورد شد.

سرانجام مدل G2loss با استفاده از نقشه‌های پنج عامل مزبور اجرا شد و نقشه‌ی طبقه‌بندی فرسایش خاک در آبخیز بررسی شده به‌دست آمد (شکل ۴). بر پایه‌ی شکل ۴، فرسایش بخش‌های جنگلی آبخیز در کمترین طبقه ۰-۱ تن بر هکتار در سال بود، زیرا نوع کاربری و نبودن دخالت‌های انسانی بر دیگر عامل‌ها از جمله پستی‌بلندی، نوع بارش، دما، سازند و ... غالب بود. بیش‌ترین فرسایش نیز در بخش بالادست آبخیز (بلندی‌های جنوبی آبخیز)



شکل ۴- نقشه‌ی طبقه‌بندی فرسایش خاک (تن بر هکتار در سال) در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 4- Soil erosion classification map ($\text{ton ha}^{-1}\text{y}^{-1}$) in Kasilian representative watershed.

طبقه‌ی IV بود. در آبخیز مطالعه‌شده با استفاده از مدل IntErO اندازه‌ی فرسایش کم به‌دست آمد. فرسایش غالب نیز از نوع سطحی بود. اندازه‌ی فرسایش سالانه‌ی خاک در آبخیز مطالعه‌شده ۲/۳۵ تن بر هکتار بود. همچنین، رسوب ویژه سالانه ۰/۸۴ تن بر هکتار در سال و نسبت تحویل رسوب ۰/۳۶ محاسبه شد. سرانجام، بر اساس طبقه‌بندی گاوریلوویچ، آبخیز معرف کسلیان با فرسایش بسیار ضعیف در طبقه‌ی V قرار گرفت.

نتایج مدل IntErO

ورودی‌ها و خروجی‌های لازم برای مدل IntErO در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه‌شده است. خروجی‌های مدل نشان‌دهنده‌ی کشیدگی شکل آبخیز و شیب تند آن بود. همچنین، در این آبخیز آب‌دهی اوج ۱۳۷/۸۱ مترمکعب بر ثانیه با دوره‌ی بازگشت ۲۰ ساله بود. ضریب فرسایش آبخیز ۰/۱۶۵ به‌دست آمد. اندازه‌ی این ضریب نشان‌دهنده‌ی قدرت نابودی و معادل با طبقه بندی روش EPM (عابدینی ۲۰۲۲) در

جدول ۳- متغیرهای ورودی مدل IntErO در آبخیز معرف کسلیان.

Table 4- Input variables for the IntErO Model in Kasilian representative watershed.

Input	Symbol	Value	Input	Symbol	Value
River basin area (km ²)	F	68.747	Natural length of the main watercourse (km)	Lv	17.433
The length of the watershed (km)	O	45.658	The area of the bigger river basin part (km ²)	Fv	41.11
River basin length measured by a series of parallel lines (km)	Lb	13.72	The area of the smaller river basin part (km ²)	Fm	27.64
		0.70			0.028
		16.89			2.987
Contour line length (km)	Liz	.	The area between the two neighboring contour lines (km ²)	Fiz	.
		.			.
		3.11			0.214
		0.77			0.037
Altitude of the first contour line (m)	h ₀	1100	The lowest river basin elevation (m)	Hmin	1091
Equidistance (m)	Δh	100	The highest river basin elevation (m)	Hmax	3250
A part of the river basin with very permeable rocks (%)	fp	74.24	A part of the river basin under forests (%)	fs	71.66
A part of the basin area consisted of medium permeable rocks (%)	fpp	1.004	A part of the basin under grass, meadows, pastures and orchards (%)	ft	15.20
A part of the basin consisted of poor water permeability rocks (%)	fo	24.74	A part of the basin under plough-land and without grass (%)	fg	13.14
The total length of the watercourse with tributaries of I&II classes (km)	ΣL	184.44	The shortest distance between the fountainhead and mouth (km)	Lm	7.187
The volume of the torrent rain (mm)	hb	104	Types of soil products and related types	Y	-
			River basin planning, coefficient of the river basin planning	Xa	-
Average annual air temperature (°C)	T ₀	9.32			
Average annual precipitation (mm)	hgod	733.3	Numerical equivalents of clearly exposed erosion process	φ	-

نتایج داده‌های مشاهده‌ای رسوب معلق

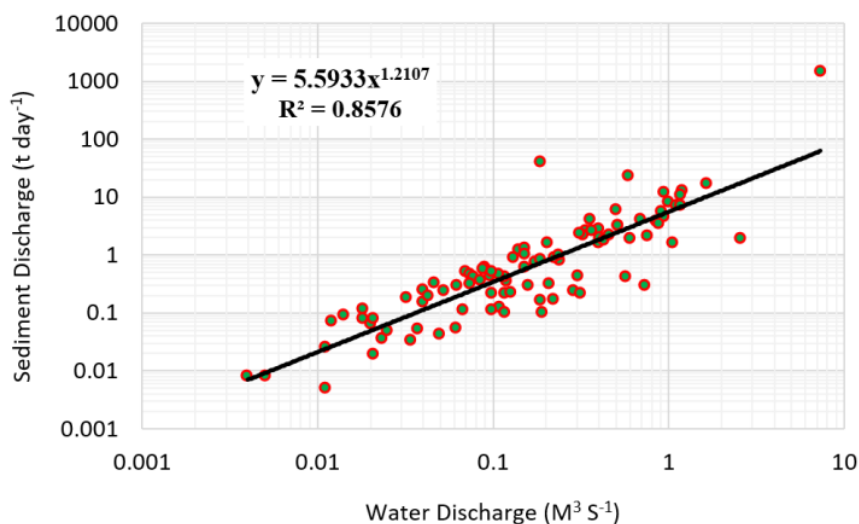
در این پژوهش به منظور ارزیابی کارایی مدل‌های G2 و IntErO از آمار رسوب معلق اندازه‌گیری شده در ایستگاه ولیک‌بن در ۲۰ سال گذشته استفاده شد. در این راستا، ابتدا منحنی سنجی رسوب بر اساس ۱۰۰ داده متناظر آب‌دهی و رسوب در دوره‌ی آماری ۱۳۸۵-۱۴۰۰ رسم شد. ضریب تبیین این منحنی ۰/۸۵ بود. منحنی سنجی رسوب ایستگاه ولیک‌بن در

شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس معادله‌ی به‌دست آمده، رسوب تولیدی روزانه در سال ۲۰۲۱ برآورد شد و رسوب ویژه‌ی سالانه آبخیز معرف کسلیان ۰/۱۶۳ تن بر هکتار در سال محاسبه شد. شایان ذکر است که داده‌های مشاهده‌ای در طول بازه‌ی مزبور بسیار کم و در فاصله‌های زمانی نامنظم برداشت شده بودند. این موضوع منبع خطای به‌وجود آمده بود.

جدول ۴- نتایج خروجی مدل IntErO در آبخیز معرف کسلیان.

Table 4- Output results of the IntErO Model in Kasilian representative watershed.

Output	Symbol	Value	Output	Symbol	Value
Coefficient of the river basin form	A	0.51	Coefficient of the region's permeability	S ₁	0.55
Coefficient of the watershed development	m	0.59	Coefficient of the vegetation cover	S ₂	0.7
Average river basin width (km)	B	5.01	Analytical presentation of the water retention in inflow (m)	W	0.8511
symmetry of the river basin	a	0.39	Energetic potential of water flow during torrent rains (m km s ⁻¹)	2Gdf ^{1/2}	843.32
Density of the river network of the basin	G	2.68	Maximal outflow from the river basin (m ³ s ⁻¹)	Q _{max}	137.81
Coefficient of the river basin tortuousness	K	2.43	Temperature coefficient of the region	T	1.02
Average river basin altitude (m)	Hsr	1618.27	Coefficient of the river basin erosion	Z	0.165
Average elevation difference of the river basin (m)	D	527.27	Production of erosion material in the river basin (m ³ yr ⁻¹)	Wgod	10787.07
Average river basin decline (%)	Isr	33.89	Coefficient of the deposit retention	Ru	0.358
The height of the local erosion base of the river basin (m)	Hleb	2159	Real soil losses (m ³ yr ⁻¹)	Ggod	3858.64
Coefficient of the erosion energy of the river basin's relief	Er	238.67	Real soil losses per km ² (m ³ km ² yr ⁻¹)	Ggod/km ²	56.13



شکل ۵- منحنی سنجی رسوب ایستگاه آب‌سنجی ولیک‌بن.

Figure 5- Sediment rating curve of the Valikbon hydrometric station.

جدول ۵- مقایسه‌ی نتایج اندازه‌ی فرسایش و رسوب برآوردی با روش‌های گوناگون در آبخیز معرف کسلیان.
Table 5- Comparing the results of estimated erosion and sediment yield using different methods in Kasilian representative watershed.

No.	Reference	Method	Erosion (ton ha ⁻¹ y ⁻¹)		Sediment (ton ha ⁻¹ y ⁻¹)
1	Ahmadian et al (2014)	Erosion plot	Agriculture	0.75	-
			Rangeland	0.29	
			Forest	0.11	
2	Esmaili Gholzem et al (2021)	ICONA	Agriculture	Moderate	-
			Rangeland	Very high	
			Forest	Low	
3	Mohseni and Razzagian (2014)	MPSIAC		25.42	6.35
4	current study	G2	Agriculture	1.31	0.44
			Rangeland	8.9	
			Forest	0.57	
5	current study	IntErO		2.35	0.84
6	current study	Sediment observation data		-	0.16

به‌عنوان منابع مهم تفاوت برآورد فرسایش خاک کاربری جنگل در مدل G2 در مقایسه با کرت‌های فرسایش بود. در این راستا، اسمعیلی‌قلزم و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با استفاده از مدل ICONA خطر فرسایش در کاربری‌های کشاورزی را با اندازه‌ی متوسط، مرتع را با اندازه‌ی خیلی زیاد و جنگل را با اندازه‌ی کم برآورد کردند. تفاوت نتایج هر سه روش (کرت‌های فرسایش، مدل G2 و مدل ICONA) کم بود و این یافته نشان‌دهنده‌ی فرسایش بیشتر در کاربری مرتع در مقایسه با دیگر کاربری‌ها در آبخیز معرف کسلیان بود. همچنین، اندازه‌های به‌دست آمده از مدل G2 به اندازه‌های کرت‌های فرسایشی نزدیک‌تر بود.

در این پژوهش با در نظر گرفتن نتایج اندازه‌گیری‌شده‌ی فرسایش خاک در کاربری‌های گوناگون در کرت‌های فرسایشی و با در نظر گرفتن نسبت بسیار کم تحویل رسوب، اندازه‌ی رسوب خروجی آبخیز مطالعه‌شده بیش‌تر از اندازه‌ای بود که داده‌های مشاهده‌ای نشان دادند. در خروجی آبخیز معرف کسلیان، فاصله‌های زمانی برداشت داده‌های آب‌دهی، روزانه بود، در شرایطی که مساحت و شرایط فیزیکی به‌ویژه شیب زمین در این آبخیز نشان داد که سرعت تخلیه‌ی کامل رواناب و یا آبنگار به‌دست آمده از بارندگی می‌تواند کمتر از یک روز باشد. به عبارت دیگر آب‌دهی‌های اوج در بسیاری از آبنگارها میان دو زمان برداشت آب‌دهی اتفاق افتاد و حجم قابل توجهی از رواناب و قاعدتاً رسوب بدون آنکه اندازه‌گیری شود در فاصله‌ی زمانی دو برداشت آب‌دهی از آبخیز خارج شد. از این رو، داده‌های مشاهده‌ای رسوب کم‌تر از واقعیت بود. بنابراین، نتایج برآورد فرسایش و رسوب در مدل‌های تجربی بر اساس داده‌های مشاهده‌ای رسوب قابل صحت‌سنجی نیست و باید بر اساس

احمدیان و همکاران (۲۰۱۴) در آبخیز معرف کسلیان با استفاده از کرت‌های فرسایش، اندازه‌ی فرسایش را در کاربری‌های گوناگون در ۵ سال محاسبه کردند و گزارش کردند که اندازه‌ی فرسایش در کاربری‌های دیم، دیم‌زارهای رهاشده، مرتع و جنگل به‌ترتیب ۰/۴۷، ۰/۷۵، ۰/۲۹ و ۰/۱۱ تن بر هکتار در سال بود. در حالی که در این پژوهش با استفاده از مدل G2 اندازه‌ی فرسایش کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل به‌ترتیب ۱/۳۱، ۸/۹ و ۰/۵۷ تن بر هکتار در سال برآورد شد (جدول ۵). به‌دلیل رخداد هم‌زمان شرایط اوج جامعه^۲ در زمین‌های دیم و دیم‌زارهای رهاشده و انعکاس طیفی نزدیک به هم در تصویر، امکان جداسازی کاربری‌های مزبور از یکدیگر در تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری زمین برای اجرا مدل G2، وجود نداشت و فقط به‌شکل کاربری کشاورزی و مرتع تفکیک شدند (کم‌ری‌یکدانگی و همکاران ۲۰۲۳). اندازه فرسایش خاک برآوردشده‌ی کاربری مرتع در مدل G2 بسیار بیشتر از اندازه فرسایش خاک اندازه‌گیری‌شده در کرت‌های فرسایش بود. بسیاری از این تفاوت‌ها ناشی از جانمایی خاص کرت‌ها در مکان‌های خاصی از مرتع در مقایسه با کل محدوده‌ی کاربری مرتع بود، که در مدل لحاظ شده بود. می‌توان گفت مدل می‌تواند اندازه‌ی میانگین فرسایش در کل کاربری مرتع را برآورد کند در حالی که کرت در نقطه‌ی خاصی از مرتع با شرایط پوشش گیاهی و شیب همان نقطه احداث و آماربرداری شده باشد. دلیل دیگر تأثیر تفاوت شرایط محیطی (به‌ویژه بارندگی و پوشش گیاهی) در سال‌های آماربرداری کرت‌ها و سال اجرای مدل G2 (۲۰۲۱) بود.

تفاوت مقیاس مکانی و محل قرارگیری کرت‌های فرسایش در مقایسه با کل محدوده‌ی کاربری و تفاوت شرایط بارندگی و پوشش گیاهی در زمان‌های گوناگون

داده‌های اندازه‌گیری فرسایش در کرت‌ها تحلیل شود. در این میان اندازه‌ی رسوب برآوردی مدل G2 در مقایسه با دیگر مدل‌ها به واقعیت نزدیک‌تر بود و در برآورد رسوب عملکرد بهتری داشت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش به‌دلیل ضرورت برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در مدیریت آبخیزها و اولویت‌بندی شرایط بحرانی، با هدف ارزیابی و مقایسه‌ی برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب با دو روش تجربی و یک روش مشاهده‌ای در آبخیز معرف کسلیان انجام شد. بر پایه‌ی نتایج این پژوهش با استفاده از مدل G2 با توجه به پوشش جنگلی و حفاظت‌شده‌ی منطقه، بخش بزرگی از آبخیز در طبقه‌های فرسایش‌پذیری کم بودند. میانگین فرسایش و رسوب ویژه‌ی سالانه به‌ترتیب $1/30$ و $0/44$ تن بر هکتار در سال برآورد شد. بیشتر فرسایش‌های منطقه به‌دلیل پستی‌بلندی خشن و عامل نگهداشت پوشش گیاهی ضعیف در بلندی‌های آبخیز (بالادست آبخیز) رخ داد. در این بخش‌ها به‌دلیل نوع نزولات تأثیر عامل فرساینده‌ی باران کم بود و عامل نگهداشت پوشش گیاهی و پستی‌بلندی تأثیر بیشتری داشتند. نتایج مدل IntErO نشان داد که اندازه‌ی فرسایش سالانه با در نظر گرفتن جرم مخصوص ظاهری $1/5$ گرم بر سانتی‌متر مکعب برابر با $2/35$ تن بر هکتار در سال بود و رسوب ویژه‌ی سالانه $0/84$ تن بر هکتار در سال بود. ضریب فرسایش حوزه آبخیز (عامل Z) نشان داد که اندازه فرسایش کم و فرسایش غالب منطقه از نوع فرسایش سطحی بود. تفاوت نسبی مدل‌های تجربی G2 و IntErO با یکدیگر در برآورد میانگین فرسایش و تولید رسوب سالانه و نسبت تحویل رسوب آبخیز به‌ترتیب $0/44$ ، $0/47$ و $0/05$ ٪ بود. با در نظر گرفتن تغییرات کاربری مراتع به کشاورزی و

همچنین زمین‌های رهاشده به‌دلیل استفاده نادرست و در نظر نگرفتن استعداد زمین، نوع پستی‌بلندی و اندازه‌ی بارندگی و دیدگاه کارشناسان اندازه‌ی فرسایش و تولید رسوب برآوردی قابل قبول و منطقی بود. اما، نمی‌توان آن را کاملاً قطعی و بدون هرگونه خطایی دانست. زیرا، گروهی از عامل‌های ناشناخته و پیش‌بینی‌نشده از جمله ضریب برف نیز ممکن است در مدل لحاظ نشده باشد. در سال ۲۰۲۱ با استفاده از منحنی سنجی رسوب و آب‌دهی روزانه در ایستگاه آب‌سنجی ولیک‌بن (خروجی آبخیز)، رسوب مشاهده‌ای آبخیز $1118/54$ تن برابر با $0/16$ تن بر هکتار در سال برآورد شد که بسیار کم‌برآورد بود. اما نتایج برآورد رسوب مشاهده‌ای همانند نتایج مدل‌های تجربی نشان داد که حجم رسوب برآوردی در این آبخیز کم بود. در آبخیزهای کوچک فاصله‌ی زمانی نمونه‌برداری آب‌دهی و رسوب نباید زیاد باشد. زیرا، ممکن است آب‌دهی اوج در یک ساعت خاص رخ دهد و تخلیه شود، اما در آن ساعت زمان نمونه‌برداری نباشد. به این دلیل در روزهای سیلابی و آب‌دهی اوج، داده‌های مهم و تأثیرگذار که نشان‌دهنده‌ی بخش مهمی از رسوب خروجی از آبخیز در همان ساعات رخداد هستند، از دست خواهد رفت و این امر باعث می‌شود داده‌های مشاهده‌ای بسیار کم برآورد باشد و در بیشتر اوقات منطبق بر واقعیت نیستند. برای حل این مشکل پیشنهاد می‌شود در آبخیزهای کوچک نمونه‌برداری رسوب در فاصله‌های زمانی کوتاه‌تر از روز (چندین بار در روز و یا حتی به‌شکل ساعتی) انجام شود، تا داده‌های اصلی و مهم که نشان‌دهنده رخداد آب‌دهی اوج در مدت زمان کم و سپس تخلیه‌ی آن است، برداشت شود. بنابراین، این داده‌ها نمایان‌گر نتایج نزدیک به واقعیت خواهند بود، که می‌توان از آنها برای اعتبارسنجی استفاده کرد.

- Abedini M, Abolfathi D, Raeesi M. 2022. The ranking of Razan basin erosion by using the fuzzy logic, EPM and BLM Model in GIS environment. *Journal of Geography and Development*, 20(68):62-86. (In Persian).
- Ahmadian SH, Safai M, Jafari B. 2014. Comparison of soil erosion in dryland, abandoned dryland, pasture and forest areas of Kesilian-Mazandaran Watershed. *National Erosion and Sedimentation Conference*, Iran, 1-4. (In Persian).
- Albaradeyia I, Hani A, Shahrour I. 2011. WEPP and ANN Models for simulating soil loss and runoff in a semi-arid Mediterranean region. *Environmental Monitoring and Assessment*, 180(1-4):537-556. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-010-1804-x>
- Ansarilari A, Ansari M. 2017. Examining the usage of GIS in estimating soil erosion and sediment yield using RUSLE Model (Case study: Ghale Chay Basin, Iran). *Journal of Geography and Regional Development*, 14(2):155-173. (In Persian).
- Arabkhedri M. 2014. A review on major water erosion factors in Iran. *Land Management*, 2(1):17-26. (In Persian).
- Armin M, Velayatinejad SAS, Ghorbannia Khyberi V, Taatpour F, Behzadfar M. 2021. Estimation of runoff and sediment yield using IntErO Model in two watersheds in Kohgiluyeh and Boyerahmad Province. *Journal of Range and Watershed Management*, 74(2):287-301. (In Persian).
- Balouei F. 2021. Simulation of soil erosion in Ilam province using G2 Model. *Third International Conference on Biology and Earth Sciences*, pp. 1-9. (In Persian).
- Barford CC, Wofsy SC, Goulden ML, Munger JW, Pyle EH, Urbanski SP, 2001. Factors controlling long- and short-term sequestration of atmospheric CO₂ in a mid-latitude forest. *Science*, 294(5547):1688-1691. <https://doi.org/10.1126/science.1062962>
- Billi P, Spalevic V. 2022. Suspended sediment yield in Italian rivers. *Catena*, 212:106-119. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106119>
- Chalise D, Kumar L, Spalevic V, Skataric G. 2019. Estimation of sediment yield and maximum outflow using the IntErO Model in the Sarada River Basin of Nepal. *Water*. 11(5):1-15. <https://doi.org/10.3390/w11050952>
- Derakhshan Sh. 2011. Studying the flood potential of the Kasilian Watershed using geographic information system. *Applied Research Journal of Geographical Sciences*, 13(16):51-63. (In Persian).
- Draganic J, Drobnjak B, Campar J, Bulajic B, Zajovic V, Behzadfar M, Spalevic V. 2016. Calculation of sediment yield using the IntErO Model in the S1-3 watershed of the Shirindareh River Basin, Iran. *Radovi Sumarskog Fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, 21(1):243-254.
- Esmaili Gholzam H, Ahmadi H, Moini A, Motademoziri B. 2021. Erosion risk assessment of Kesilian Watershed with Icon Model and RS and GIS technologie. *Earth Science Research*, 12(3):144-163.
- Fethullahzadeh T, Servati MR. 2012. Study and qualitative estimation of erosion in geomorphological outcrops using FAO method in Navroud watershed. *Quarterly Geographical Journal*, 9(34):65-74. (In Persian).
- Helming K, Diehl T, Kuhlman T, Jansson PH, Verburg M, Bakker M, PerezSoba L. 2011. Ex ante impact assessment of poli-

- cies affecting land use, part B: application of the analytical framework. *Ecology and Society*, 16(1):29-38.
- Hizbavi Z, Azizi A, Sharifi Z, Alaei N, Mostafazade R, Behzadfar M, Spalevic V. 2020. Comprehensive estimation of erosion and sedimentation components using IntErO Model in Kozetparaghi Watershed, Ardabil Province. *Journal of Environmental Erosion Research*. 10(1):92-110.
- Janizadeh S, Vafakhah M. 2021. Flood hydrograph modeling using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system based on rainfall components. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(5):1-14
- Jeanneau A, Herrmann T, Ostendorf B. 2021. Mapping the spatio-temporal variability of hillslope erosion with the G2 Model and GIS: A case-study of the South Australian agricultural zone. *Geoderma*, -402: 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115350>
- Kale GD, Vadsola SN. 2012. Modelling of soil erosion by non-conventional methods World Acad. *Journal of Engineering Science and Technology*, 6(3):139-145.
- Kalehhouei M, Zabihi Silabi M, Sadehghi PS, Khaledi Darvishan A, Spalevic V, Sadeghi SHR. 2020. Application of IntErO Model in soil erosion assessment of Shazand Watershed, Markazi Province. 15th National Conference in Watershed Management Science and Engineering, Sari, Iran. pp. 1-16.
- Kamari Yekdangi F, Sarone F, Mosavi V, Aghabeigi amin S, Khaledi Darvishan A. 2023. Assessing the accuracy of the land use map using two methods of remote sensing and visual interpretation (Case study: Kasilian representative watershed). 17th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran (Watershed Management & Sustainable Food Security), Iran. pp. 1-12.
- Karydas CG, Bouarour O, Zdruli P. 2020. Mapping spatio-temporal soil erosion patterns in the Candelaro river basin, Italy, using the G2 Model with sentinel 2 imagery. *Geosciences*, 10(89):1-22.
- Karydas CG, Panagos P. 2016. Modelling monthly soil losses and sediment yields in Cyprus. *International Journal of Digital Earth*, 9(8):766-787.
- Karydas CG, Panagos P. 2018. The G2 erosion model: An algorithm for month-time step assessments. *Environmental Research*, 161:256-267. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.010>
- Khaledi Darvishan A, Behzadfar M, Spalevic V, Kalonde P, Ouallali A, Sabri E. 2017. Calculation of sediment yield in the S2-1 watershed of the Shirindareh river basin, Iran. *Agriculture and Forestry*, 63(3):23-32.
- Khaledi Darvishan A, Derikvandi M, Aliramaee R, Khorsand M, Spalevic V, Gholami L, Vujacic D. 2018. Efficiency of IntErO Model to predict soil erosion intensity and sediment yield in Kham-san representative Watershed (West of Iran). *Agrofor*, 3(2):22-31.
- Khaledi Darvishan A, Mohammadi M, Skataric G, Popović SG, Behzadfar M, Sakuno NRR, Spalevic V. 2019. Assessment of soil erosion, sediment yield and maximum outflow, using IntErO Model (Case study: S8-IntA Shirindarreh Watershed, Iran). *Agriculture and Forestry*, 65(4):203-210.
- Lal R. 2003. Soils and the global carbon budget. *Environment International*, 29(4):437-450.
- Lense GHE, Servidoni LE, Parreiras TC, Santana DB, Bolleli TM, Ayer JEB, Spalevic V, Mincato RL. 2022. Modeling of soil loss by water erosion in the Tietê River hydrographic basin, São Paulo, Brazil. *Semina: Ciênc. Agrár. Londrina*, 43(4):1403-

1421. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n4p1403>
- Mohammadamini H, Khaledi Darvishan A, Katebi Kord A. 2016. Introducing the G2 Model with the ability to provide spatial and temporal soil loss map as the main tool for watershed management. *Journal of Extension and Development of Watershed Management*, 3(11):23-27. (In Persian).
- Mohammadi M, Khaledi Darvishan A, Spalevic V, Dudic B, Billi P. 2021. Analysis of the Impact of Land Use Changes on Soil Erosion Intensity and Sediment Yield Using the IntErO Model in the Talar Watershed of Iran. *Water*, 13(6):1-15. <https://doi.org/10.3390/w13060881>
- Mohammadi S, Balouei F, Haji Kh, Khaledi Darvishan A, Karydas CG. 2021. Country-scale spatio-temporal monitoring of soil erosion in Iran using the G2 Model. *International Journal of Digital Earth*, 14(8):1019-1039.
- Mohseni B, Razzagian H. 2014. Estimation of soil erosion and sediment production in Kasilian Basin using geomorphology method based on MPSIAC Model in GIS environment. *Scientific Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran*. 4(2):49-57.
- Mostazo P, Asensio-Amador C, Asensio C. 2023 Soil erosion modeling and monitoring. *Agriculture*, 13(2):1-4. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020447>
- Noor H, Arabkhedri M, Dastranj A. 2023. Evaluation of the effect of range exclosure on soil erosion at plots scale (Case study: Sanganeh soil conservation research site). *Water and Soil Management and Modelling*, 3(2):66-77. (In Persian).
- Noor H, Arabkhedri M. 2020. The influence of hillslope length and direction on runoff and soil loss under natural rainfall in an arid region. *Journal of Watershed Management Research*, 11(22):254-262. (In Persian).
- Panagos P, Karydas CG, Cristiano B, Ioannis G. 2014. Seasonal monitoring of soil erosion at regional scale: An application of the G2 Model in Crete focusing on agricultural land uses. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 27(PARTB):147-155.
- Polovina S, Radić B, Ristić R, Kovačević J, Milčanović V, Živanović N. 2021. Soil erosion assessment and prediction in urban landscapes: A new G2 Model approach. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(9):1-20. <https://doi.org/10.3390/app11094154>
- Saadati H, Gholami S, Sharifi F, Ayubzadeh SA. 2006. An investigation of the effects of land use change on simulating surface runoff using SWAT Mathematical Model (Case study: Kasilian Catchment Area). *Iranian Journal of Natural Resources*, 59(2):301-313. (In Persian).
- Saberi E, Boukdir A, Karaoui I, Skataric G, Nacka M., Khaledi Darvishan A, Spalevic V. 2019. Modelling of soil erosion processes and runoff for sustainable watershed management: Case study Oued el Abid Watershed, Morocco. *Agriculture and Forestry*, 65(4):241-250.
- Sabri E, Spalevic V, Boukdir A, Karaoui I, Ouallali A, Mincato RL, Seštras P. 2022. Estimation of soil losses and reservoir sedimentation: A case study in Tillouguite Subbasin (High Atlas-Morocco). *Agriculture and Forestry*, 68(2):207-220.
- Sadeghi SHR, Mazin M, Moradi HR. 2007. Development of hydrograph using different rainfall components in Kasilian Watershed. *Iranian Journal of Natural Resources*, 60(1):33-43. (In Persian).
- Sadeghi SHR. 2011. Study and measurement of water erosion. Tarbiat Modares University Press. 412 p. (In Persian).
- Saggau P, Kuhwald M, Hamer W, Duttmann R. 2021. Are compacted tramlines underestimated features in soil erosion modelling?

- A catchment scale analysis using a process based soil erosion model. *Land Degradation and Development*, 33(3):452-469.
- Spalević V, Djurović N, Mijović S, Vukelić-Šutoska M, Ćurović M. 2013. Soil erosion intensity and Runoff on the Djuricka river basin (North of Montenegro). *Malaysian Journal of Soil Science*, 17(4):49-68.
- Spalevic V, Dlabac A, Jovovic Z, Rakocovic J, Radunovic M, Spalevic B, Fuštic B. 1999. An area and distance measuring program. *Acta Agriculture Serbica*, 4(8):63-1.
- Spalevic V, Dlabac A, Spalevic B, Fuštic B, Popovic V. 2000. Application of computer-graphic methods in studying the discharge and soil erosion intensity - i programme "Drainage basins". *Agriculture and Forestry*, 46(1-2):19-36.
- Spalevic V. 2011. Impact of land use on runoff and soil erosion in Polimlje. Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture. University of Belgrade, Serbia, 260 p.
- Spalevic V. 2019. Assessment of soil erosion processes by using the IntErO Model: case study of the Duboki Potok, Montenegro. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(2):657-665.
- Strijker D. 2005. Marginal lands in Europe causes of decline. *Basic and Applied Ecology*, 6(2):99-106. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2005.01.001>
- Tanyaş H, Kolat Ç, Süzen ML. 2015. A new approach to estimate cover-management factor of RUSLE and validation of RUSLE Model in the watershed of Kartalkaya Dam. *Journal of Hydrology*, 528:584-598. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.048>
- Tavares AS, Uagoda RES, Spalevic V, Mincato RL. 2021. Analysis of the erosion potential and sediment yield using the IntErO Model in an experimental watershed dominated by karst in Brazil. *Poljoprivreda i Sumarstvo*, 67(2):153-162. <http://dx.doi.org/10.17707/AgricultForest.67.2.11>



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Efficiency Assessment of G2 and IntErO Models for Annual Soil Erosion and Sediment Yield Prediction in the Kasilian Representative Watershed, Mazandaran Province

Faezeh Kamari Yekdangi¹, Abdulvahed Khaledi Darvishan^{2*}, Soheila Aghabeigi Amin³

1- Former MS.C. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2- Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

3- Assistant Professor, Department of Natural resources, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

In recent years, soil erosion and sediment yield have posed a significant threat to food security. Many countries have conducted extensive research studies to manage and prevent soil erosion and sedimentation. Considering the need to know the rate of erosion and sediment yield, the current research was conducted using empirical models with the aim of estimating the rate of erosion and sediment yield in the Kasilian representative watershed. Also, empirical models were evaluating and comparing with observational data.

Materials and Methods

The Kasilian representative watershed in Mazandaran province had its soil erosion and sediment yield estimated using the G2 and IntErO Models. Then, using the observational data and the sediment rating curve of Valikbon hydrometry station at the outlet of the watershed, the annual specific sediment yield was calculated and the results of the models were evaluated.

Results and Discussion

The results of the G2 and IntErO Models showed the rate of soil erosion at 1.30 and 2.35 t ha⁻¹ yr⁻¹

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: a.khaledi@modares.ac.ir

Citation: Kamari Yekdangi, F., Khaledi Darvishan, A., Aghabeigi Amin, S .2024. Efficiency Assessment of G2 and IntErO Models for Annual Soil Erosion and Sediment Yield Prediction in the Kasilian Representative Watershed, Mazandaran Province. Watershed Management Research. 37(2): 55-73.

DOI: 10.22092/wmrj.2023.362025.1539

Received: 10 May 2023, **Received in revised form:** 12 June 2023, **Accepted:** 21 September 2023

Published online: 21 June 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.2, Ser. No: 143, Summer 2024, pp. 55-73.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center © Author(s)



for this watershed, respectively. Also, the annual specific sediment yield estimated by the G2 and IntErO Models were 0.44 and 0.84 t ha⁻¹ yr⁻¹, respectively, and observational data was obtained as 0.16 t ha⁻¹ yr⁻¹. In this watershed, the G2 Model results revealed that vegetation cover had more significant impact on erosion than rainfall intensity. Due to the type of vegetation cover, most areas in the watershed had low erosion rates. The IntErO Model results showed that the steep slopes of the watershed led to a peak discharge of 137.81 m³ s⁻¹ with 20-year return period. In addition, the surface erosion was the dominant erosion type in this watershed.

Conclusion and Suggestions

The investigated empirical models had similar results. Although, taking into account the changes in land use in the Kasilian representative watershed, the estimated values of annual erosion and sediment yield are acceptable and reasonable, the differences with the observational data were very high and apparently indicated the low efficiency of the models. However, it is necessary to mention that the inappropriateness of the sampling intervals of runoff and sediment in this watershed has been a very important reason for the low intensity of annual sediment yield based on observational data. In other words, the daily measurement intervals for this small watershed have caused the real data of sediment concentration to be collected at the same time as flood hours or peak discharges that have the most sediment transport. To solve this problem, it is suggested to do sampling in small watersheds at shorter time intervals (several times a day or even hourly) so that high concentrations of sediments are collected at the same time as high flows and are included in the calculation of sediment yield.

Keywords: Mazandaran province, Rainfall erosivity, Sediment delivery ratio, Soil erodibility, Soil loss, Specific sediment yield



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



معاونت تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

بررسی تغییرات کاربری زمین و شاخص‌های حدی هوا-آب‌شناسی در آبخیز رود میناب

مریم عباس‌زاده^۱، ام‌البنین بذرافشان^{۲*}

- ۱ - دانش‌آموخته‌ی دکتری گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
۲ - استاد گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

در سه دهه‌ی اخیر کاربری زمین در آبخیز رود میناب تغییرات محسوسی داشته است و این تغییرات به‌همراه تغییر اقلیم در آبخیز می‌تواند روی روند شاخص‌های هوا-آب‌شناسی تأثیرگذار باشد. از این رو، به‌دلیل تغییرات اقلیم و کاربری زمین‌های آبخیز رود میناب در دهه‌های گذشته تاکنون، بررسی روندها و تغییرات در شاخص‌های حدی بارش، دما و آب‌دهی جریان اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات کاربری زمین و متغیرهای هوا-آب‌شناسی در آبخیز مزبور انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، اطلاعات ایستگاه‌های آب‌سنجی، باران‌سنجی و تبخیرسنجی آبخیز میناب برای تعیین شاخص‌های حدی بر اساس استاندارد ETCCDI شامل بارش، دما و جریان رود بررسی شد. برای تحلیل روند از آزمون غیرسنج‌های (ناپارامتریک) من‌کندال استفاده شد. همچنین تغییرات کاربری زمین با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ی لندست سری TM در سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۹ به‌ترتیب از سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI تعیین شد و صحت تصویرهای به‌دست آمده با آماره‌ی کاپا تأیید شد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد، روند تمام شاخص‌های حدی دمایی شامل شب‌های حاره‌ای، روزهای گرم، شب‌های

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

استناد: عباس‌زاده، م.، بذرافشان، ا. ۱۴۰۳. بررسی تغییرات کاربری زمین و شاخص‌های حدی هوا-آب‌شناسی در آبخیز رود میناب. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۲): ۹۲-۷۴.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmrj.2023.362493.1543

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۴۳، تابستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۷۴ تا ۹۲

© نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



گرم و دامنه‌ی دمای شبانه‌روزی افزایشی بود. در برخی ایستگاه‌ها، روند شاخص‌های حدی بارش، بارش سنگین (۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌متر) روند افزایشی بود، اما روند بارش میانگین سالانه، افزایشی بود. روند تعداد روزهای تر (روزهای بارانی) و روزهای خشک (خشکسالی) به‌ترتیب کاهشی و افزایشی بود. بررسی تغییرات وضعیت بارش منطقه نشان داد، شدت بارش در زمان تداوم‌های ۱۵ و ۴۵ دقیقه‌ای افزایش یافت. با توجه به تغییرات رخ داده، تغییر وضعیت بارش در منطقه حتمی است. بررسی تغییرات کاربری زمین در سه دهه‌ی گذشته نشان داد، ۱۱٪ از سطح زمین‌های مرتعی کاهش یافته است و زمین‌های کشاورزی و مسکونی به‌ترتیب ۲۲۰ و ۲۸۰٪ افزایش داشته‌اند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های این پژوهش نشان داد به‌رغم افزایش میانگین سالانه‌ی باران (۱۶ میلی‌متر در سال)، و دیگر شاخص‌های بارش که فاقد روند معنی‌دار بودند، روند شدت بارش ۱۵ و ۴۵ دقیقه‌ای افزایشی و معنی‌دار بود. برخلاف روند بارش که نمی‌توان آن را با اطمینان زیاد اثبات کرد، روند افزایشی همه شاخص‌های دمایی (به‌طور میانگین 0.9°C در سال)، تغییرات اقلیمی در آبخیز میناب را تأیید کرد. از طرف دیگر، روند شاخص‌های جریان کمینه و بیشینه و بیشینه‌ی لحظه‌ای نیز در آبخیز افزایشی بود و می‌تواند یکی از دلایل‌های آن تغییرات وضعیت بارش، احداث سد و تغییرات کاربری از زمین‌های مرتعی و جنگی به کشاورزی و مسکونی باشد. بر پایه‌ی نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود، اثر تغییرات آینده‌ی اقلیم بر متغیرهای هوا-آب‌شناسی بررسی و یافته‌های آن در مدیریت منابع طبیعی به‌کار گرفته شود.

واژگان کلیدی: آزمون من-کندال، بارش‌های حدی، تغییر اقلیم، شاخص‌های جریان رود

مقدمه

و همکاران ۲۰۱۱). به‌نظر می‌رسد تغییرات کاربری زمین، اقلیم و تعادل منابع آبی می‌تواند سبب تغییر وضعیت بارش شود و چالش‌هایی در فعالیتهای کشاورزی، تولید انرژی و تقاضای ساکنان منطقه برای دسترسی به آب شیرین به‌وجود آورد.

ایران کشوری در حال توسعه است و به‌شکل طبیعی تغییر سنج‌های اقلیمی مانند دما، رطوبت و بارش می‌تواند پیامد رشد شهرنشینی، افزایش جمعیت، تغییرات کاربری زمین، آلودگی‌ها و گرمایش سطحی در شهرها باشد (عزیزی و شمسی پور ۲۰۰۹). همچنین اقلیم ایران می‌تواند متأثر از پدیده‌های جوی و الگوهای تغییر فشار باشد. برپایه‌ی نتایج یک پژوهش، افزایش دما از یک سو و کاهش احتمالی بارش از سوی دیگر باعث به‌وجود آمدن شرایط پیچیده‌ی اقلیمی در ایران به‌ویژه در مناطق گرم و خشک خواهد شد (علیزاده و همکاران ۲۰۱۰).

توالی‌های زمانی آب‌شناختی در بازه‌های زمانی مختلف اغلب تغییرات ناگهانی و یا روندهای گوناگون و گاهی فاقد معناداری نشان می‌دهند که به‌دلیل تغییراتی است که در سیستم‌های آب و هوایی در سال‌ها و یا دهه‌های مختلف رخ می‌دهد. این تغییرات گاهی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی نیز تشدید می‌شود. به‌دلیل نبودن این قطعیت‌ها بسیاری از پژوهشگران از آزمون‌های سنج‌های و غیرسنج‌های در بررسی روندها استفاده کرده‌اند (پیل و مک ماهون ۲۰۰۶). پژوهش‌های پرشماری در ایران مبتنی بر

گرم شدن جهانی در طولانی مدت منجر به تغییراتی در متغیرهای اقلیمی شده است که می‌تواند تأثیر مهمی در شاخص‌های حدی آب‌شناختی، منابع آبی، فعالیتهای کشاورزی، چرخه‌های بوم‌شناختی و زندگی انسان‌ها داشته باشد. عامل‌های طبیعی و انسانی دلیل‌های اصلی تغییرات پدیده‌های حدی اقلیمی هستند که باعث رخداد پدیده‌های حدی آب‌شناختی می‌شوند (آی‌پی‌سی‌سی ۲۰۱۳). بررسی روند شاخص‌های اقلیمی و آب‌شناختی به‌ویژه شاخص‌هایی که از بارش، دما و جریان به‌دست می‌آیند برای ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی و آب‌شناختی در مقیاس آبخیز بسیار ضروری است. در آبخیزها بررسی روندهای هوا-آب‌شناختی به‌منظور ارزیابی اندازه‌ی آب در دسترس، کاهش خطرات و سازگاری با سیل و مدیریت و برنامه‌ریزی برای منابع آبی انجام می‌شود و از بحث‌های بسیار مهم در آب‌شناسی و هواشناسی است (مرسا و همکاران ۲۰۱۰؛ ویلسون و همکاران ۲۰۱۷). اثرات توأم تغییرات کاربری زمین و اقلیم می‌تواند تغییراتی در تعادل میان آب و انرژی به‌وجود آورد. کاهش پوشش گیاهی باعث کاهش تبخیر-تعرق و افزایش تبادل گرمایی میان سطح زمین و اتمسفر می‌شود و در پی آن باعث کاهش رطوبت، تشکیل ابر و کاهش بارش می‌شود (رایت و همکاران ۲۰۱۷). پژوهش‌های بسیاری نشان داده است که تغییر کاربری زمین موجب افزایش رواناب می‌شود. این موضوع در آبخیزهای کوچک چشم‌گیرتر است (هایهو

فرسایش و رسوب بسیار بود. چن و همکاران (۲۰۲۰) اثر تغییرات کاربری بر تغییرات اقلیمی را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد تغییرات کاربری می‌تواند سبب افزایش دما، کاهش بارش و افزایش حجم سیلاب شود.

در جنوب ایران، در آبخیز رود میناب فعالیت‌های کشاورزی به شکل چشم‌گیری انجام می‌شود و این منطقه قطب برخی از محصولات کشاورزی و صیفی‌جات است. همچنین، سد استقلال در خروجی آبخیز است و آب لازم برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت در شهرستان بندرعباس و قسمت‌هایی از شهرستان میناب را تأمین می‌کند. پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد وسعت زمین‌های کشاورزی و مسکونی در این منطقه در حال افزایش است در حالی که وسعت مراتع کاهش یافته است و اقلیم این آبخیز دستخوش تغییراتی شده است (برخورداری و خسروشاهی ۲۰۰۷؛ عظیمی‌سردری و همکاران ۲۰۲۰). از این رو، به دلیل تغییرات اقلیم و کاربری زمین‌های آبخیز رود میناب در دهه‌های گذشته تاکنون، بررسی روندها و تغییرات در شاخص‌های حدی بارش، دما و آب‌دهی جریان اهمیت ویژه‌ای دارد. بررسی روند تغییرات در هوا-آب‌شناسی آبخیز برای ارزیابی اثرات توأم فعالیت‌های انسانی و تغییر اقلیم جهانی لازم است. همچنین، بررسی چگونگی تأثیر این تغییرات بر منابع آب شیرین و گسترش زمین‌های کشاورزی در زمان کنونی و آینده اهمیت بسیاری دارد. بنابراین این پژوهش در آبخیز میناب در جنوب ایران با هدف بررسی تغییرات کاربری زمین در سه دهه‌ی گذشته و بررسی تغییرات متغیرهای حدی هوا-آب‌شناسی انجام شد.

مواد و روش منطقه‌ی مطالعه‌شده

مساحت آبخیز رود میناب ۹۹۲۰ کیلومتر مربع است. این آبخیز منطقه در بالادست سد استقلال در جنوب ایران میان عرض جغرافیایی $27^{\circ}11'$ تا $28^{\circ}32'$ شمالی و $56^{\circ}52'$ تا $57^{\circ}59'$ شرقی است (شکل ۱). در این منطقه فعالیت‌های کشاورزی رونق خوبی دارد و این منطقه از لحاظ کشت صیفی‌جات حائز اهمیت می‌باشد. در این آبخیز مساحت زمین‌های کشاورزی در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱ از $5/4$ به $12/1$ ٪ افزایش یافته است که این موضوع نشان‌دهنده‌ی افزایش چشم‌گیر فعالیت‌های کشاورزی در منطقه است (بهاری‌میمنی و همکاران ۲۰۲۳). در این آبخیز دامنه‌ی تغییرات بلندی ۲۲ تا ۲۷۰۸ متر است. اقلیم آبخیز رود میناب فراخشک گرم است و میانگین دمای سالانه 28°C می‌باشد. میانگین

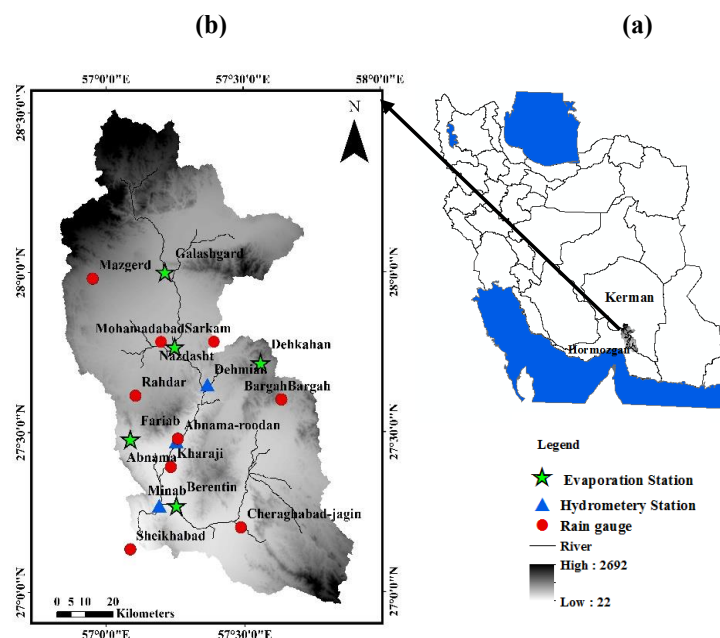
تحلیل روند متغیرهای هوا-آب‌شناسی انجام شده است. نتایج پژوهش مرادی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی روند متغیرهای هوا-آب‌شناسی در آبخیز خلیج فارس و دریای عمان، نشان داد، در بیش از ۵۰٪ آبخیزها رواناب، بارش و تداوم بارش کاهش یافت و دما و شدت بارش افزایش یافت. جاوری و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از روش تحلیل روند من-کندال دریافتند که مجموع روند دمایی تمام ایستگاه‌های جنوب ایران، افزایشی بود. نتایج پژوهش‌های محمدی و همکاران (۲۰۱۷) و حلبیان و کیخسروی (۲۰۲۰) در بررسی شاخص‌های حدی مرتبط با بارش نشان داد، روند تعداد روزهای خشک متوالی افزایشی بود. مرادی و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که روند شدت بارش ۱۵ دقیقه‌ای افزایشی بود. ایران‌نژاد و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی ایستگاه‌های نواحی جنوبی و مرکزی ایران گزارش کردند، روند تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در بیشتر این ایستگاه‌ها، افزایشی بود. در ایران ورشلاویان و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند روند اندازه‌های حدی دمای کمینه، بیشینه و میانگین روزانه در تمامی ایستگاه‌های بررسی‌شده افزایشی معنی‌دار بود.

بلواسی و همکاران (۲۰۲۰)، در بررسی نقش تغییرات کاربری زمین بر ویژگی‌های رواناب و سیل‌خیزی نشان دادند، مساحت زمین جنگلی و مرتعی کاهش داشته است و زمین دیم و آبی افزایش یافته‌اند. آنها گزارش کردند که اندازه‌ی شماره‌ی منحنی از ۶۴ به ۷۶ افزایش یافت و آب‌دهی اوج و حجم رواناب به ترتیب ۱۵ و ۱۹٪ افزایش یافت. نتایج پژوهش محمدی و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از مدل SWAT نشان داد، تبدیل $3/9$ ٪ از زمین جنگل به زمین دیم، سبب افزایش 85 ٪ آب‌دهی اوج سیل و $83/1$ ٪ حجم سیل شد. حسینی و همکاران (۲۰۱۹) و یاری و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند، افزایش شماره‌ی منحنی آبخیز، نشان‌دهنده‌ی کاهش کیفیت مراتع و تغییر کاربری مراتع به زمین‌های کشاورزی و افزایش دوره‌ی بازگشت سیل‌ها است.

در دنیا نیز پژوهش‌های پرشماری روی روند متغیرهای هوا-آب‌شناسی انجام شده است. در آبخیزهای کشورهای نروژ و لهستان مرسا و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از آزمون من‌کندال روند متغیرهای هوا-آب‌شناسی و احتمال سیل‌خیزی را بررسی کردند و مشاهده کردند که روند بارش و جریان افزایشی بود. بای و همکاران (۲۰۱۹) خدمات بوم‌نظام همراه با تغییرات کاربری زمین-اقلیم را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد، تغییرات اقلیم به تغییرات کاربری زمین بسیار حساس بود، چونکه تأثیر تغییرات کاربری زمین در حفاظت خاک در برابر

رخ می‌دهد. مشخصات ایستگاه‌های بررسی‌شده در جدول ۱ ارائه شده است (عظیمی‌سردری و همکاران ۲۰۱۹).

سالانه‌ی بارش منطقه ۲۰۰ میلی‌متر است و میانگین سالانه‌ی تبخیر-تعرق بالقوه ۲۴۰۰ میلی‌متر است. بیشتر بارش‌های منطقه (۸۰٪) از اوایل آذر تا اواخر اسفندماه



شکل ۱- موقعیت آبخیز بررسی‌شده در ایران (الف) و موقعیت ایستگاه‌های هوا-آب‌شناسی منطقه‌ی بررسی‌شده (ب).
Figure 1- Map of the study area in the south of Iran (a), Hydro climatic stations of the study area (b).

جدول ۱- خصوصیات ایستگاه‌های بررسی‌شده.

Table 1- Characteristics of the stations in this study.

Variable name	Station Names	Longitude (degrees, minutes, seconds)	Latitude (degrees, minutes, seconds)	Observation Period
Rain gauge/Rain	Abnama-Roodan	57-15-13	27-28-23	1998-2020
	Bargah	57-39-59	27-36-12	1982-2015
	Cheraghabad	57-28-53	27-12-15	1995-2020
	Kharaji	57-14-01	27-23-36	1979-2020
	Sheikhabad	57-06-31	27-37-07	1966-2020
	Mazgerd	57-05-06	27-08-18	2000-2020
	Mohamadabad	56-57-46	27-59-25	1986-2002
	Nazdasht	57-11-57	27-45-51	2001-2020
Hydrometric/Discharge	Abnama	57-15-13	27-28-23	1994-2017
	Dehmian	57-22-00	27-39-00	1982-2018
	Minab	57-11-29	27-16-18	1982-2018
	Berentin	57-11-29	27-16-18	1962-2020
Temperature	Dehkahan	57-33-34	27-43-02	1992-2015
	Sarkam	57-14-53	27-46-06	2002-2020
	Fariab	57-05-15	27-28-47	1967-2020
	Galashgard	57-12-49	28-00-09	1974-2015

شاخص‌های حدی بررسی‌شده در پژوهش

پدیده‌های حدی می‌توانند بر اساس شدت یا فراوانی رخداد و یا آستانه‌ای مشخص، انتخاب شوند. استفاده از شاخص‌ها برای بررسی تغییرات روندهای آب‌شناختی و هواشناسی آبخیز مهم است. انتخاب شاخص بستگی به هدف پژوهش و نوع اقدامات مدیریتی آینده دارد. شاخص‌های ETCCDMI^۱ برای بررسی روندها و پدیده‌های حدی اقلیمی در مناطق گوناگون استفاده شده است (سرو و همکاران ۲۰۱۶). در این پژوهش بر اساس شرایط اقلیمی منطقه، تعدادی شاخص از میان ۱۷

شاخص حدی دمایی و ۱۳ شاخص حدی بارش انتخاب شدند. همچنین، برای بررسی شدت‌های اقلیمی از شاخص‌های شدت باران در مدت کمتر از یک ساعت (۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۴۵ دقیقه و ۹۰ دقیقه) استفاده شد. همچنین، برای بررسی دقیق‌تر منابع آبی آبخیز برخی از شاخص‌های آب‌شناختی ارزیابی شد. سپس داده‌های دریافت‌شده از ایستگاه‌های آبخیز، از نظر کیفیت و همگنی بررسی شدند. سرانجام در این پژوهش، ۱۵ شاخص بارش، دما و رواناب تعیین شد. توصیف این شاخص‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- تعریف شاخص‌های حدی هوا-آب‌شناسی استفاده‌شده در منطقه‌ی پژوهش.

Table 2- List of the extreme hydroclimatic indices used in the study area.

Indices	Description	Unit
Extreme Precipitation		
P total	Average annual rainfall	Mm
R10 mm	Annual count of days when PRCP $\geq$ 10mm	Day
R20mm	Annual count of days when PRCP $\geq$ 20mm	Day
R30mm	Annual count of days when PRCP $\geq$ 30mm	Day
CDD	maximum number of consecutive days with PRCP $<$ 1mm	Day
CWD	maximum number of consecutive days with PRCP $\geq$ 1mm	Day
I15	The intensity of rainfall during 15 minutes	mm /h
I30	The intensity of rainfall during 30 minutes	mm /h
I45	The intensity of rainfall during 45 minutes	mm /h
I90	The intensity of rainfall during 90 minutes	mm /h
Temperature		
TR25	Summer nights: the number of days of the year when the minimum temperature is more than 25 degrees Celsius	Day
TX90P	Hot days: the percentage of days when the maximum temperature is higher than the 90th percentile	Day
TN90P	Hot nights: the percentage of days when the minimum temperature is higher than the 90th percentile	Day
DTR	Diurnal temperature range: the monthly average difference between daily and nightly temperatures	°C
Streamflow		
Qmean	Average annual discharge	m ³ /s
Q10	Minimum flow: the number of days when the flow rate is less than the 10th percentile of the station flow rates	Day
Q90	Maximum flow: the number of days when the discharge value is greater than the 90th percentile of the station discharges	Day
Qpeak	Instantaneous maximum discharge (the highest instantaneous discharge during a year)	m ³ /s

آزمون روند من- کندال و پتیت

در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل و تعیین اندازه‌ی روند در شاخص‌های حدی از آزمون غیرسنجه‌ای من‌کندال استفاده شد (من ۱۹۴۵، کندال ۱۹۷۵). این آزمون در تعیین وجود روندهای آماری معنی‌دار در سطح‌های گوناگون کاربردی است (سازمان هواشناسی جهانی ۱۹۸۸). در این پژوهش، برای طبقه‌بندی اندازه‌ی معنی‌داری روندهای مثبت و منفی، سطح‌های اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ به‌عنوان آستانه‌ها در نظر گرفته شد. اندازه‌ی های p-value بزرگتر از ۰/۰۵ باشد، روند تغییرات معنی‌دار نیست و اگر میان ۰/۰۵ تا ۰/۰۱ باشد، روند تغییرات در سطح اطمینان ۵٪ معنی‌دار است و اگر p-value کمتر از ۰/۰۱ باشد، روند تغییرات در سطح اطمینان ۱٪ معنی‌دار است. در این آزمون، اگر $X_1, X_2, \dots, X_n$ مشاهده‌های مد نظر باشند، خواهیم داشت:

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (۱)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

از طرف دیگر، در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان به جای استفاده از اندازه‌های واقعی داده‌ها، از مرتبه‌ی داده‌ها در مجموعه‌ی توالی زمانی استفاده کرد و مرتبه‌ها را با همین روش مقایسه کرد. در این پژوهش با فرض اینکه داده‌ها مستقل بودند و توزیع یکنواخت داشتند، میانگین و پراکندگی S با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ به‌دست آمد.

$$E(S) = 0 \quad (۳)$$

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (۴)$$

$$P_{OA} = 2 \exp \left\{ \frac{-6(K^+)^2}{(T^3 + T^2)} \right\}; \quad T \rightarrow \infty \quad (8)$$

P_{OA} : احتمالی از تشخیص نقطه‌ی تغییر است. اگر ارزش عددی P_{OA} کمتر از ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده‌ی تغییر قابل توجه در سری زمانی در سطح معنی‌داری ۵٪ است.

روش شناسی استخراج کاربری زمین

در این پژوهش از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.6 و ENVI 4.8 استفاده شد. از نرم‌افزار ArcGIS 10.6 برای آماده‌سازی اولیه‌ی داده‌ها و از نرم‌افزار ENVI 4.8 برای انجام تصحیح رادیومتریک و جوی، طبقه‌بندی تصاویرها و عملیات پیش‌پردازش استفاده شد. تصاویرهای لازم برای تعیین طبقه‌های کاربری زمین، از تصاویرهای ماهواره‌ای گروه لندست در سه دوره‌ی زمانی ۱۳۶۸، ۱۳۸۳، ۱۳۹۹ به‌ترتیب از سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI تهیه شد که مربوط به پایگاه رسمی سازمان زمین‌شناسی آمریکا بودند. قبل از استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در تجزیه و تحلیل رقومی، کیفیت آن‌ها از نظر وجود خطای هندسی، پرتوسنجی مانند زیر هم قرار نگرفتن خطوط اسکن، راه‌شدگی، پیکسل‌های تکراری، خطاهای جوی مانند وجود لکه‌های ابر، بررسی شدند (جواهری و همکاران ۲۰۲۰). با توجه به اهداف پژوهش، کاربری‌های موجود در منطقه شناسایی شد. برای روش طبقه‌بندی از دستورالعمل بیش‌ترین شباهت در محیط نرم‌افزار ENVI 4.8 استفاده شد. در این روش با استفاده از میانگین و ماتریس کوواریانس تحلیل ساده‌تر است (محمدي و همکاران ۲۰۱۰). برای ارزیابی دقت تصاویرهای طبقه‌بندی‌شده از ماتریس خطا و ضریب کاپا استفاده شد. برای محاسبه‌ی ماتریس خطا، واقعیت زمینی و یا پایگاه Google Earth با تصویر طبقه‌بندی‌شده مقایسه می‌شود. در این ماتریس، درآیه‌های روی قطر اصلی، نشان‌دهنده‌ی تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده است و درآیه‌های خارج از قطر اصلی، تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی نشده است. ضریب کاپا یکی دیگر از معیارهای دقت است که از ماتریس خطا محاسبه می‌شود. این ضریب اندازه‌ی دقت طبقه‌بندی را در مقایسه با یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. در این پژوهش، ضریب کاپا (K) معیاری برای ارزیابی توافق میان پیش‌بینی مدل و واقعیت است که با استفاده از رابطه‌ی ۹ محاسبه شد.

n: تعداد داده، m: تعداد گره‌ها و t: تعداد داده‌ها در هر گره است.

گره یعنی اگر از یک اندازه داده، بیش‌تر از یکی موجود باشد، این اندازه‌های مساوی، یک گره را تشکیل می‌دهند و تعداد این اندازه‌های مساوی در گره m برابر t است. در این پژوهش، آماره‌ی این آزمون (Z) توزیع بهنجار داشت و با استفاده از رابطه‌ی ۵ به‌دست آمد.

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

آزمون من‌کنندال، یک آزمون دو طرفه است. از این رو، در شرایطی که $|z| \leq Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در شرایط رد فرض صفر (وجود روند)، اگر $s > 0$ باشد، توالی زمانی روند مثبت (صعودی) دارد و اگر $s < 0$ باشد، توالی زمانی روند منفی (نزولی) دارد (سازمان هواشناسی جهانی ۱۹۸۸).

آزمون پتیت (۱۹۷۹) برای بررسی سال جهش یا تغییرات در توالی زمانی استفاده می‌شود. در این آزمون فرض بهنجار بودن توالی زمانی وجود ندارد. این آزمون در تعیین زمان تغییر در توالی‌های زمانی اقلیمی و آب‌شناختی در سراسر جهان به‌شکل گسترده استفاده شده است و یکی از مهمترین روش‌های آماری در تشخیص یک جهش ناگهانی در توالی زمانی است. اگر دنباله‌هایی از متغیرهای تصادفی هوا-آب‌شناسی X_i باشد، آنگاه $(i=1, \dots, \tau)$ است. زمانی در آزمون پتیت تغییر در نقطه τ معنی‌دار خواهد بود که X_t برای $(i=1, \dots, \tau)$ تابع توزیع $F_1(x)$ داشته باشد و X_t برای $(t=\tau+1, \tau+2, \dots, T)$ تابع توزیع $F_2(x)$ داشته باشد و $F_1(x) \neq F_2(x)$ باشد. این آزمون دو فرض $H_0: \tau = T$ برای نبودن تغییر و $H_1: \tau \neq T$ برای وجود روند را مقابل هم قرار می‌دهد و آماره‌ی KT را برای تست دو نمونه $(X_1, \dots, X_{\tau})$ و $(X_{\tau+1}, \dots, X_T)$ از یک جامعه در نظر می‌گیرد:

$$K_T = \max |U_{t,T}|, 1 \leq t < T \quad (6)$$

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (7)$$

احتمال اهمیت تقریبی K_T با P_{OA} تعیین می‌شود و در این پژوهش به‌شکل رابطه‌ی ۸ محاسبه شد.

(۹)

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij} - \sum_{i=1}^N (x_i + x + j)}{N^2 - \sum_{i=1}^N (x_i + x + j)}$$

N: تعداد کل پیکسل‌ها در ماتریس خطا، X_{ij} : مجموع قطر اصلی ماتریس خطا، X_i : مجموع ردیف j ، X_j : مجموع ستون متناظر j ماتریس خطا است (کانگلتون ۱۹۹۱).

پس از اجرای مرحله‌های پی در پی روی تصویرهای به‌دست آمده از طبقه‌بندی که ساختار رستری داشتند، این تصویرها به ساختار وکتوری تبدیل شدند. سپس، هر کدام از طبقه‌های کاربری و پوشش زمین تبدیل به چندضلعی‌هایی می‌شوند که در محیط نرم‌افزار Arc Map می‌توان آنها را از لحاظ گرافیکی در پایگاه داده ویرایش کرد.

نتایج و بحث

روند شاخص‌های حدی دمایی

در این پژوهش، در تمام ایستگاه‌های بررسی‌شده، روند شاخص‌های حدی دما مانند تفاوت دمای شبانه‌روزی (DTR)، تعداد شب‌های گرم (TN90P)، تعداد روزهای گرم (TX90P) و تعداد شب‌های حاره‌ای (TR25) افزایشی بود، اما در ایستگاه‌های جنوبی‌تر (فاریاب و برنطین) افزایش دما شدت بیشتری داشت و از نظر آماری در سطح ۰/۹۹ و ۰/۹۵ معنی‌دار بود. پراکنش مکانی شاخص‌های دمایی در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین، نتایج چهار شاخص حدی دمایی برای بررسی روند تغییرات دمایی آبخیز مشابه بود. اندازه‌های آماری من-کندال و آماری پتیت برای تشخیص زمان تغییر شاخص‌های حدی دما در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج مطالعه‌ی جاوری و همکاران (۲۰۱۶) و مرادی و همکاران

(۲۰۱۸) نیز نشان‌دهنده‌ی افزایش روند شاخص‌های حدی دمایی در استان هرمزگان است. روند شاخص‌های حدی دما در پژوهش‌های پرشماری از جمله در شمال و غرب ایران (نساجی‌زواره و قرمزچشمه ۲۰۲۳)، در سیستان و بلوچستان (علوی‌نیا و زارعی ۲۰۲۰)، در شمال غرب ایران (خورشیددوست و همکاران ۲۰۱۸)، در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران (پاباگی و همکاران ۲۰۲۳)، در جنوب شرق ایران (انصاری و همکاران ۲۰۱۶)، در جنوب غرب ایران (برنا و آیین ۲۰۱۵) و در بخش‌های مرکزی ایران (شکیبا و پیشداد ۲۰۱۰)، گزارش شده است. از این رو، در اغلب نقاط ایران از جمله منطقه‌ی مطالعه‌شده، افزایش میانگین دما، فراوانی نمایه‌های حدی گرمایش و کاهش نمایه‌های سرمایش، افزایش شب‌های گرم، طولانی شدن دوره‌ی گرم، افزایش تفاوت دمای شبانه‌روزی، افزایش شب‌های حاره‌ای و شب‌های گرم در طول دوره‌ی آماری رخ داده است. در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده در چین (داس و همکاران ۲۰۲۳)، در اروپا (گلاردو و همکاران ۲۰۲۳) و در نیمکره‌ی شمالی (کائو و همکاران ۲۰۲۳) گرم شدن جهانی و تغییر اقلیم و افزایش دمایی حدی نیز گزارش شده است.

بر اساس نتایج این پژوهش، آماری پتیت در ایستگاه برنطین (نزدیک سد استقلال) معنی‌دار بود و بیشتر نقاط تغییر مربوط به سال ۱۳۶۲ به بعد بود. این آماری در ایستگاه‌های نزدیک سد معنی‌دار بود و با افزایش فاصله، اندازه‌ی آن کاهش یافت. در اکثر ایستگاه‌ها سال تغییر در اندازه‌های آماری، ۱۳۶۲ به بعد معرفی شد. طرح‌های سدسازی از مهم‌ترین عامل‌های تغییر اقلیم است که سبب تغییر وضعیت بارش و آب‌شناسی منطقه می‌شود (آراز ۲۰۱۸؛ کوی و همکاران ۲۰۲۰؛ کی و همکاران، ۲۰۲۰ و شمس‌قهفرخی و مرادیان ۲۰۲۳).

جدول ۳- آماری من-کندال و آماری پتیت شاخص‌های حدی دما در منطقه‌ی پژوهش.

Table 3- Mann-Kendall and Petit statistics for temperature extreme indices used in the study area

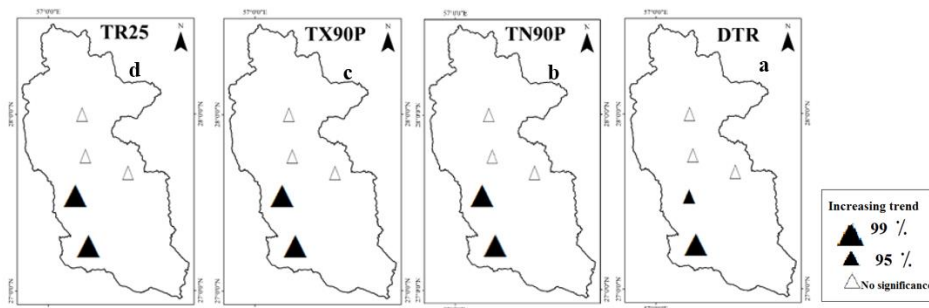
Trend statistics	Station Name	TR25	TX90P	TN90P	DTR
Z Mann-Kendall	Sarkam	0.46	1.64	1.63	1.55
	Fariab	0.78	1.22	1.94	1.45
	Galashgard	1.22	0.96	1.35	1.65
	Dehkahan	3.15**	3.25**	2.78**	2.1*
	Berentin	2.99**	3.01**	2.88**	2.98**
U-Petit/Brocken point (year)	Sarkam	42/1386	56/1386	55/1383	21/1384
	Fariab	56/1370	48/1369	23/1365	50/1382
	Galashgard	71/1363*	51/1380	51/1365	42/1385
	Dehkahan	75/1378	49/1376	78/136*	56/1381
	Berentin	83/1364**	78/1362*	79/1364*	81/1365*

* Significant at 95%

** Significant at 99%

* معنی‌دار در سطح ۰/۹۵

** معنی‌دار در سطح ۰/۹۹



شکل ۲- پراکنش مکانی روند شاخص‌های حدی دمايي: a: تفاوت دمای شبانه‌روزی (DTR); b: تعداد شب‌های گرم (TN90P); c: تعداد روزهای گرم (TX90P); d: تعداد شب‌های حاره‌ای (TR25).

Figure 2- Spatial distribution of trends of temperature indices: A) Daily temperature range (DTR) B) Number of warm nights (TN90P) C) number of warm days (TX90P) D) Number of tropical nights (TR25).

از جمله مهمترین ویژگی‌های بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا، شدت زیاد رگبار در زمان ابتدای بارش یا زمان تداوم پائین است (محمود و همکاران ۲۰۲۰). نتایج پژوهش مرادی و همکاران (۲۰۱۸) نیز تأییدکننده‌ی افزایش شدت بارش و کاهش زمان تداوم بارش در آبخیز میناب و ۵۰٪ از آبخیزهای جنوبی کشور است. همچنین، در پژوهشی حلبیان و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که در ایران روند شدت بارش‌های روزانه افزایشی است اما روند تعداد فراوانی رخداد بارش کاهشی است. آماری پتیت و من-کندال برآوردشده برای شدت بارش در تداوم‌های گوناگون در جدول ۴ ارائه‌شده است. در این پژوهش، براساس نتایج پتیت، تغییرات اکثر ایستگاه‌ها از سال ۱۳۶۲ به بعد ناگهانی بود، اما این تغییرات در ایستگاه‌های بالادست مانند برنطین میناب و رودان از نظر آماری معنی‌دار بود.

روند شاخص‌های حدی بارش

در این پژوهش، شاخص‌های حدی بارش شامل دو بخش اندازه‌ی بارش و شدت بارش بود. شدت بارش در طول مدت بارش (زمان تداوم بارش) تغییر می‌کند. تغییرات اندازه‌ی بارش در طول یک رخداد در چگونگی شکل‌گیری سیلاب، شدت سیلاب و زمان تداوم آن مؤثر است. شناخت و تعیین تغییرات زمانی بارش در طول مدت رگبار، نمایان‌گر الگوی بارش منطقه یا وضعیت بارش است (قاسمی کرکانی و همکاران ۲۰۲۲). در آبخیز میناب فقط سه ایستگاه شیخ آباد، آب‌نما و رهدار، تغییرات شدت رگبار را ثبت می‌کنند. نتایج تغییرات شدت رگبار در تداوم‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۹۰ دقیقه‌ای در شکل ۳ ارائه‌شده است. بر اساس نتایج، روند شدت بارش‌های با تداوم ۱۵ و ۴۵ دقیقه در آبخیز افزایشی بود و شدت بارش‌های با تداوم ۳۰ و ۹۰ دقیقه کاهشی بود.

جدول ۴- آماری من-کندال و پتیت شدت بارش در منطقه‌ی پژوهش.

Table 3- Mann-Kendall and Petit statistics for rainfall intensity used in the study area.

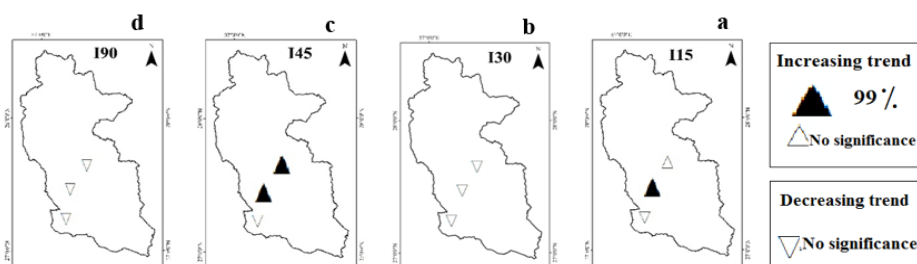
Trend statistics	Station Name	I15	I30	I45	I90
Z Mann-Kendall	Estiglal Dam	-0.52	-1.22	-0.23	-0.23
	Berentin Roodan	2.01*	-1.65	2.25*	-1.02
	Berentin Minab	1.22	-0.98	2.36*	-0.78
U-Petit/Brocken point (yaer)	Estiglal Dam	45/1366	42/1363	21/1380	12/1368
	Berentin Roodan	62/1362*	45/1366	65/1362*	15/1383
	Berentin Minab	58/1362	27/1366	72/1362*	45/1363

* Significant at 95%

** Significant at 99%

* معنی‌دار در سطح ۹۵٪

** معنی‌دار در سطح ۹۹٪



شکل ۳- پراکنش مکانی روندهای شدت بارش (a: شدت ۱۵ دقیقه: (I15); b: شدت ۳۰ دقیقه (I30); c: شدت ۴۵ دقیقه (I45); d: شدت ۹۰ دقیقه (I90)).

Figure 3- Spatial distribution of trends of the rainfall intensity for different durations: a) rainfall intensity for 15 minutes b) rainfall intensity for 30 minutes c) rainfall intensity for 45 minutes d) rainfall intensity for 90 minutes.

(۲۰۱۷)، حلبیان و همکاران (۲۰۲۰)، علوی‌نیا و همکاران (۲۰۲۰) و پاباگی و همکاران (۲۰۲۲) هم‌راستا است. از این رو، می‌توان گفت، تعداد روزهای بارانی در میناب رو به کاهش و تعداد روهای خشک رو به افزایش است.

آماره‌ی پتیت برای شناسایی نقطه‌ی تغییر و آماره‌ی تحلیل روند من-کندال در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول ۵، نقطه‌ی تغییر در ایستگاه‌های پائین‌دست (محمدآباد و شیخ‌آباد) جهش معنی‌دار داشت که اکثراً این جهش از سال ۱۳۶۳ به بعد رخ داده است. بر اساس نتایج بهاری و همکاران (۲۰۲۳) در دشت میناب بعد از احداث سد، به دلیل افزایش زمین کشاورزی (۲۲۰٪) و زمین‌شهری (۲۸۰٪)، اندازه‌ی تبخیر- تعرق و دما افزایش یافت و زمین مرتعی کاهش قابل توجهی داشت. در این راستا، نتایج پژوهش‌های حسین (۲۰۱۰)، اولیویرا و همکاران (۲۰۲۱)، داکلین و همکاران (۲۰۲۳)، وانگ و لال (۲۰۲۳)، نیز نشان داد که بعد از احداث سدها، متغیرهای بارش‌های حدی افزایش قابل توجهی داشتند. اما، روند زمین کشاورزی و زمین شهری به شکل چشم‌گیری افزایشی بود و مساحت زمین کشاورزی از ۵۵۸/۰۳۴ به ۱۲۴۲/۳۷۴ کیلومتر مربع (۲۲۰٪) و مساحت زمین شهری از ۱۷/۰۷۳ به ۴۹/۱۰۸ کیلومتر مربع (۲۸۰٪) افزایش یافته است.

بارش از نظر سه شاخص بارش سنگین، روزهای تر و خشک و بارش سالانه بررسی شد. در همه‌ی ایستگاه‌ها روند شاخص بارش سالانه (P_{total}) افزایشی (بی‌معنی از نظر آماری) بود و فقط در ایستگاه مازگرد این روند معنی‌دار بود (شکل ۴ f). روند شاخص‌های بارش‌های سنگین در ایستگاه‌های گوناگون مشابه و معنی‌دار نبود و نمی‌توان از روند این شاخص‌ها یک نتیجه کلی گرفت (شکل ۴ a، b، c). برخلاف شاخص‌های مربوط به بارش‌های سنگین، روند شاخص مربوط به روزهای خشک متوالی (CDD) در همه ایستگاه‌ها افزایشی بود (شکل ۴ d) و روند شاخص مربوط به روزهای مرطوب متوالی (CWD) کاهش‌ی بود (شکل ۴ e) و در اکثر این ایستگاه‌ها روندها از نظر آماری معنی‌دار نبودند. شاید یکی از مهم‌ترین دلیل‌های بی‌معنی بودن آماری روند در این ایستگاه‌ها کوتاه بودن طول دوره‌ی آمار باشد. از آنجایی که، در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضریب تغییرات بارش زیاد است (گوپتا و همکاران ۲۰۱۷) باید طول دوره‌ی آماری حداقل ۵۰ سال باشد، تا بتوان تغییرات بارش را به‌درستی نشان داد.

نتایج این پژوهش در ارتباط با روند کاهشی روزهای مرطوب متوالی (CWD) و روند افزایشی روزهای خشک متوالی (CDD) با یافته‌های پرشماری از پژوهشگران در جنوب ایران مانند محمدی و همکاران

جدول ۵- آماره‌ی من-کندال و پتیت شاخص‌های حدی بارش در منطقه مطالعه‌شده.

Table 5- Mann-Kendall and Petit statistics for precipitation extreme indices used in the study area.

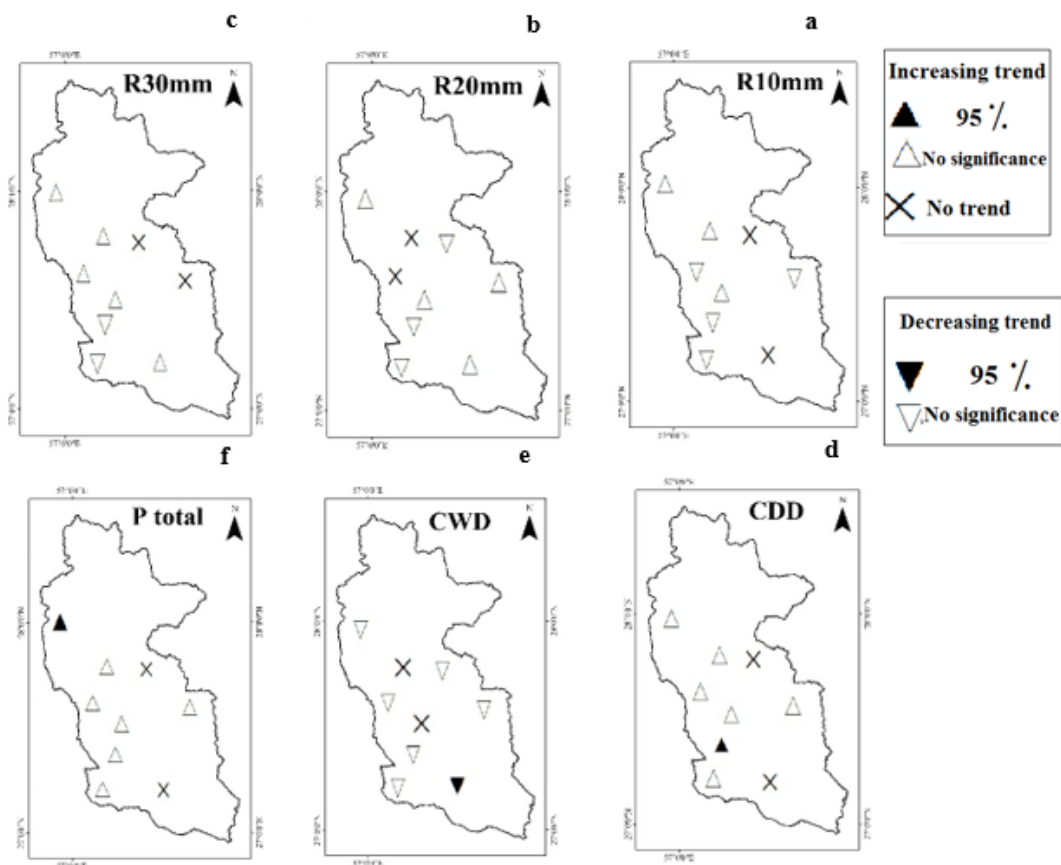
Trend statistics	Station Name	P total	R10 mm	R20mm	R30mm	CDD	CWD
Z Mann-Kendall	Abnama-Roodan	0.99	-0.46	-1.1	0.99	0.15	0.52
	Bargah	0.56	0.25	-1.12	-0.5	0.2	-1.19
	Cheraghabad	-0.23	-1.35	0.2	-0.75	0.98	0.17
	Kharaji	1.1	0.33	-0.86	1.19	1.73	-1.87
	Sheikhabad	1.25	-1.1	-0.65	0.2	1.62	-1.05
	Mazgerd	1.99*	1.33	1.44	0.15	1.44	-1.99*
	Mohamadabad	1.1	1.62	1.23	1.44	1.99*	-1.12
U-Petit/Brocken point (yaer)	Abnama-Roodan	44/1381	32/1381	41/1381	23/1384	12/1384	41/1380
	Bargah	25/1364	28/1363	25/1363	19/1380	32/1365	21/1365
	Cheraghabad	32/1376	54/1377	23/1380	44/1376	33/1380	36/1383
	Kharaji	22/1363	12/1380	17/1383	36/1363	25/1363	22/1363
	Sheikhabad	52/1362	19/1382	79/1362*	63/1363*	56/1363	54/1363
	Mazgerd	12/1380	25/1380	36/1383	19/1383	15/1383	42/1388
	Mohamadabad	65/1363*	81/1363*	64/1363	52/1363	13/1381	25/1366

* Significant at 95%

** Significant at 99%,

* معنی دار در سطح ۹۵٪

** معنی دار در سطح ۹۹٪



شکل ۴- پراکنش مکانی روندهای شاخص‌های بارش در آبخیز رودمیناب: (a) تعداد روزهای با بارش مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر (R10 mm); (b) تعداد روزهای با بارش مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی‌متر (R20 mm); (c) تعداد روزهای با بارش مساوی یا بیشتر از ۳۰ میلی‌متر (R30 mm); (d) تعداد روزهای تر متوالی (CDD); (e) تعداد روزهای خشک متوالی (CWD); (f) مجموع کل بارش سالانه (P total).

Figure 4- Spatial distribution of trends of the rainfall indices: a) Days with rainfall greater than 10 mm; b) Days with rainfall greater than 20 mm; c) Days with rainfall greater than 30 mm; d) Consecutive wet days; e) Consecutive Dry Days; f) Average annual rainfall.

اساس این یافته احتمال بروز خشک‌سالی‌های آب‌شناختی و رخداد‌های سیلابی در منطقه افزایش خواهد یافت. در دیگر رودهای ایران نیز گزارش‌های مبتنی بر کاهش جریان وجود دارد. نادری و همکاران (۲۰۲۲) در خانه بنکوه حبله‌رود گزارش کردند، هم روند فراوانی و هم روند طول دوره‌ی تغییرات جریان کمینه کاهش بود، اما روند فراوانی و هم روند طول دوره‌ی تغییرات جریان بیشینه افزایش بود. آنها نتیجه گرفتند که به این دلیل، روند فراوانی و بزرگی رخداد‌های حدی زیاد مثل سیل‌های متوسط و بزرگ کاهش بود. همچنین، رضایی و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی ۲۴ متغیر آب‌شناختی رود جاجرود گزارش کردند که میانگین، بیشینه و کمینه‌ی جریان در همه‌ی ماه‌های سال به ترتیب، ۹۴۵۷ و ۲۱٪ کاهش یافت. در میان همه‌ی متغیرها جریان پایه و میانگین بیشترین تغییر و جریان بیشینه، کمترین تغییر را نشان دادند. آماره‌ی پتیت در بررسی نقطه‌ی تغییر متغیرهای

روند شاخص‌های حدی آب‌شناختی

روند تغییرات شاخص‌های جریان در شکل ۵ و جدول ۶ نشان‌داده شده است. روند جریان کمینه یا Q10 فقط در ایستگاه دهمیان کاهشی بود و در دیگر ایستگاه‌های آب‌سنجی فاقد روند بود. در تمام ایستگاه‌ها روند جریان بیشینه یا Q90 افزایشی بود، اما فقط در ایستگاه دهمیان این روند در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار بود. می‌توان گفت جریان پایه در رود میناب رو به کاهش و جریان‌های سیلابی رو به افزایش است. در تمام ایستگاه‌ها نتایج بررسی روند میانگین سالانه‌ی آب‌دهی (Qmean) کاهشی و معنی‌داری بود و روند بیشترین آب‌دهی لحظه‌ای افزایشی بود. نتایج مرادی و همکاران (۲۰۱۵) در آبخیزهای رتبه‌بندی سه وزارت نیرو در خلیج فارس و دریای عمان بیان‌گر کاهش میانگین سالانه‌ی آب‌دهی در بیش از ۶۰٪ آنها بود. همچنین، نتایج این پژوهشگران نشان داد که روند آب‌دهی اوج لحظه‌ای افزایشی بود که بر

بزرگی که در پشت سدهای آبیگر به‌وجود می‌آیند، سطح تبخیر بزرگی ایجاد می‌کنند که می‌توانند تغییرات مشخصی را در خرداقلیم منطقه پیرامون دریاچه‌ی سد به‌وجود آورند که سبب ایجاد اقلیمی با رطوبت بیشتر شود. از طرف دیگر، حجم آب اضافه‌شده به‌جود شرایط تأمین دیگر عامل‌های لازم می‌تواند بر توزیع زمانی و مکانی بارش، وضعیت بارش، و در نتیجه شاخص‌های حدى هوا آب‌شناسی نیز تأثیرگذار باشد.

آب‌شناختی در جدول ۶ ارائه‌شده است. بر اساس نتایج این جدول، آب‌دهی اوج، میانگین آب‌دهی و آب‌دهی کمینه نقطه‌ی تغییرات معنی‌داری داشتند که در سال‌های ۱۳۶۲ و ۱۳۶۳ رخ داده بود. دلیل مهم تغییرات وضعیت آب‌شناختی (آب و رسوب) در منطقه احداث سد است که به‌وسیله‌ی پژوهشگران پرشماری مانند هو و همکاران (۲۰۰۸)، هوانگ و همکاران (۲۰۱۸)، قوش و مانوز-آریولا (۲۰۲۳)، کومار و همکاران (۲۰۲۳) اثبات شده است. براساس نتایج این پژوهشگران، دریاچه‌های

جدول ۶- آماره‌ی من-کندال و پتیت شاخص‌های حدى جریان رود در منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Table 5- Mann-Kendall and Petit statistics for streamflow indices used in the study area.

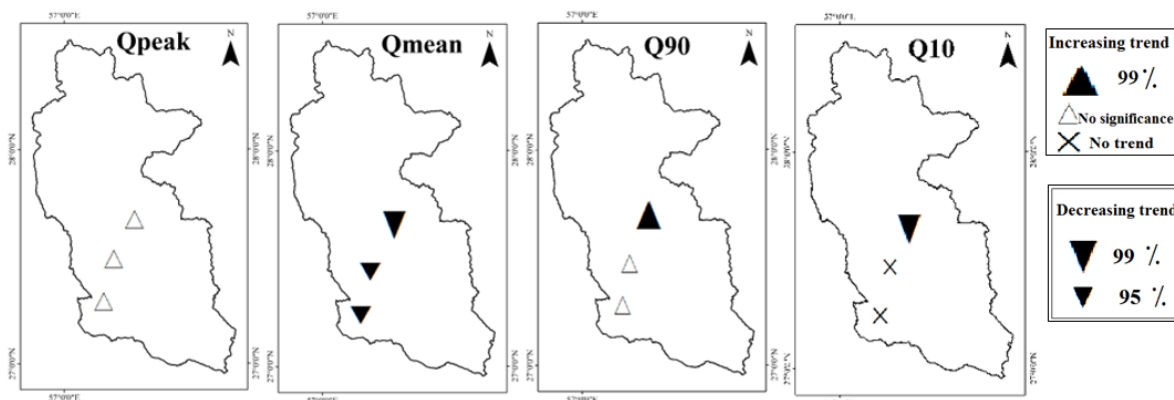
Trend statistics	Station Name	Q _{Peak}	Q _{mean}	Q ₉₀	Q ₁₀
Z Mann- Kendall	Abnama	1.23	-1.23	2.03*	-2.46*
	Dehmian	1.66	-1.44	1.91	0.2
	Minab	1.49	-1.69	1.46	0.1
U- Petit/Brocken point (year)	Abnama	65/1381	52/1383	43/1383	25/1381
	Dehmian	66/1364	46/1362	24/1366	39/1364
	Minab	71/1362*	83/1363*	69/1363	76/1362*

* Significant at 95%

** Significant at 99%,

* معنی دار در سطح ۹۵٪

** معنی دار در سطح ۹۹٪



شکل ۵- پراکنش مکانی روند شاخص‌های آب‌شناختی.

Figure 5- Spatial distribution of trends of the hydrological indices.

(۱۱٪) و مساحت آن از ۱۷۰/۳۶۴ به ۵۴۵۳/۳۷۵ کیلومتر مربع کاهش یافت. اما، روند زمین کشاورزی و زمین شهری به‌شکل چشم‌گیری افزایشی و مساحت زمین کشاورزی از ۵۵۸/۰۳۴ به ۱۲۴۲/۳۷۴ کیلومتر مربع (۲۲۰٪) و مساحت زمین شهری از ۱۷/۰۷۳ به ۴۹/۱۰۸ کیلومتر مربع (۲۸۰٪) افزایش یافت. پژوهش‌های پرشماری در ایران نشان داده است که سرعت تغییرات کاربری زمین در سه دهه‌ی گذشته بسیار زیاد و سبب تشدید پدیده‌ی تغییر اقلیم، تغییر وضعیت هوا-آب‌شناسی و افزایش پیاپی سیل در آبخیز شده است. محمدی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند در آبخیز جعفرآباد گرگان، حجم سیل ۸۴٪ افزایش یافت که این افزایش ناشی از تغییر زمین جنگلی به دیم

نتایج تغییرات کاربری زمین در سه دوره نقشه‌های کاربری زمین با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ی لندست در سه دوره‌ی زمانی ۱۳۶۸، ۱۳۸۳، ۱۳۹۹ تهیه شد (شکل ۶). در این پژوهش، ابتدا نقشه‌های تهیه‌شده به‌وسیله‌ی ضریب کاپا، ارزیابی شدند. سپس، با مقایسه‌ی متناظر نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با نقشه‌ی واقعیت زمینی تهیه‌شده از تصویرهای ماهواره‌ای در نرم‌افزار Google Earth، صحت آنها ارزیابی شد. نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده در جدول ۷ نشان‌دهنده شده است. در منطقه‌ی آبخیز میناب مساحت کاربری‌های گوناگون، برآورد شد (شکل ۷). نتایج این برآورد بیانگر آن بود که در سه دوره‌ی زمانی بررسی‌شده، روند زمین مرتعی کاهشی

رطوبت کاهش و در نتیجه پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. در شرایط ترسالی یا زیاد بودن رطوبت خاک، به دلیل نقش خنک‌کنندگی تبخیر، دما کاهش می‌یابد و پوشش گیاهی مطلوب است. در نتیجه وابستگی مشخصی میان مؤلفه‌های گوناگون است اما نقش دما بر پوشش گیاهی پررنگ‌تر است. از این رو، نابودی زمین به هر شکل سبب افزایش دما، کاهش تبخیر-تعرق واقعی، افزایش تبخیر-تعرق بالقوه و کاهش بارش خواهد شد (زینالی و همکاران، ۲۰۲۲؛ تیروپاتها و شاشیده‌ها، ۲۰۲۰).

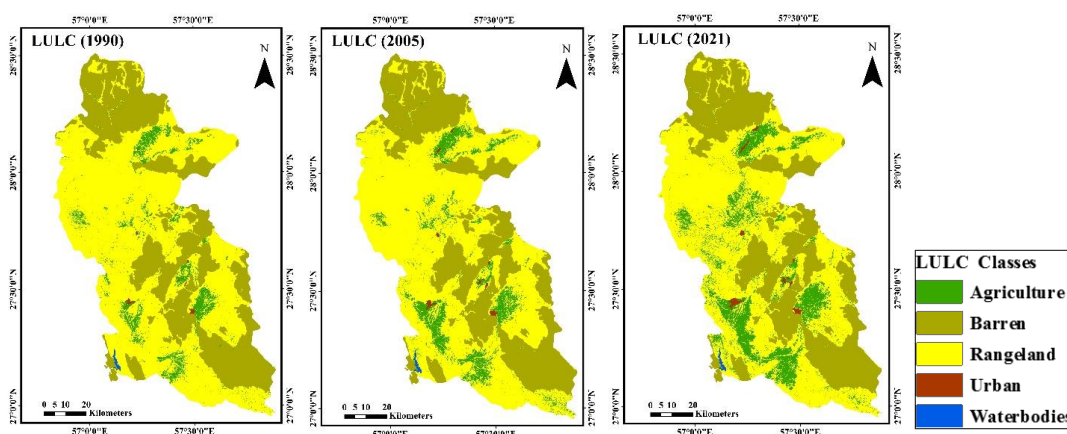
بود. همچنین بلوایی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند اوج و حجم سیلاب در آبخیز دواب ۲۰٪ افزایش یافت و این افزایش ناشی از نابودی جنگل و افزایش شماره‌ی منحنی بود.

تغییرات کاربری زمین به‌ویژه افزایش زمین کشاورزی و مسکونی و از طرف دیگر، نابودی مراتع، می‌توانند پدیده‌ی افزایش دما در منطقه را تشدید کنند. مؤلفه‌های اقلیمی از یکدیگر و رطوبت خاک و پوشش گیاهی نیز از این مؤلفه‌ها تأثیرپذیر هستند. زمانی که دما افزایش یابد،

جدول ۷- دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره در سه دوره‌ی زمانی.

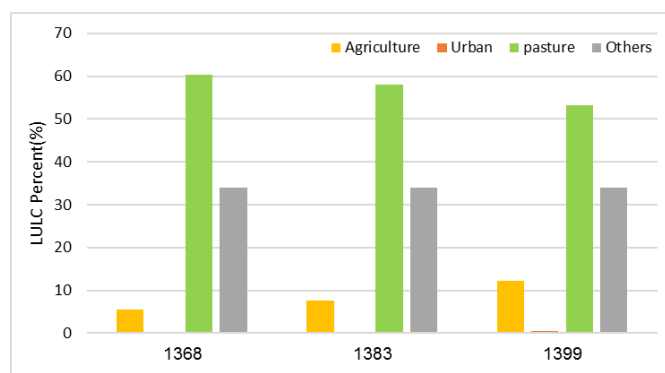
Table 7- The accuracy of satellite image classification in three time periods.

Year	1990	2005	2021
Kappa coefficient	86	74	89
The overall accuracy percentage	78	90	75



شکل ۶- نقشه‌های کاربری زمین در آبخیز رود میناب در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۶۸ و ۱۳۹۹.

Figure 6- The land use/land cover maps of Minab river basin, in 1990, 2005 and 2021.



شکل ۷- تغییرات کاربری زمین در آبخیز رود میناب از سال ۱۳۶۸-۹۹.

Figure 7- Land use changes in Minab river basin from 1990 – 2021.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روند متغیرهای اقلیمی و جریان در آبخیز رود میناب، با استفاده از شاخص‌های ETCCDIM بررسی و تعیین شد (جدول ۲). آزمون تعیین روند من‌کندال در سطح‌های مختلف آماری انجام شد و نتایج آن برای تجزیه و تحلیل نقشه‌های کاربری زمین استفاده شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد به‌رغم افزایش میانگین سالانه‌ی باران، روند تعداد روزهای مرطوب کاهش‌ی بود و روند تعداد روزهای خشک افزایش‌ی بود. همچنین، روند شدت باران در اوایل و اواسط بارش افزایش‌ی بود. در برخی ایستگاه‌ها در طول دوره‌ی آماری، افزایش میانگین سالانه‌ی بارش و به‌دنبال آن افزایش روند بارش‌های سنگین (شدت زیاد و زمان تداوم کم) مشاهده شد. برخلاف روند بارش که با سطح اطمینان زیاد قابل اثبات نبود، ولی روند همه شاخص‌های دمایی افزایش‌ی بود و تغییرات اقلیمی در آبخیز میناب تأیید شد. از طرف دیگر، روند شاخص‌های جریان کمینه و بیشینه و حداکثر لحظه‌ای در آبخیز افزایش‌ی بود که یکی از دلایل مهم آن تغییرات وضعیت بارش و تغییرات کاربری زمین از مرتع و جنگل به کشاورزی و مسکونی بود.

نقطه‌ی تغییر اکثر شاخص‌های بررسی‌شده از سال احداث سد به بعد مشاهده شد. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد، یکی دیگر از دلایل مهم تغییر اقلیم رخ داده، احداث سد است که با ایجاد یک ریزاقلیم و تغییر حجم تبخیر-تعرق و رطوبت جو، سبب تغییر وضعیت هوا-آب‌شناسی منطقه شد. شاید بتوان یکی از مهم‌ترین دلایل تغییرات کاربری زمین از مرتع به گسترش زمین فاریاب و زمین مسکونی، وجود آب ذخیره‌شده در پشت سد دانست که دسترسی آسان به آب (۲۰۰٪) را در اقلیم فراخشک آبخیز میناب، میسر کرده است.

هرچند که دوره‌ی آماری کوتاه برای تجزیه و تحلیل

رخدادهای حدی گاهی با مشکلاتی روبه‌رو است، اما در این پژوهش، تلاش شد به‌منظور مدیریت بهتر منابع آبی، روند شاخص‌های هوا-آب‌شناسی گوناگونی در آبخیز رود میناب تجزیه و تحلیل شود. در آبخیز میناب دلیل مهم تغییرات وضعیت بارش، به‌دلیل افزایش شدت بارش در تداوم‌های ۱۵ و ۴۵ دقیقه‌ای بود. یعنی شدت بارش در ابتدا و اواسط بارش زیاد بود. یکی از چالش‌های سیل‌خیزی در یک منطقه، زیاد بودن شدت بارش در ابتدا و اواسط بارش است. چونکه، زیاد بودن شدت در اوایل بارش سبب اشباع خاک در دقایق اول می‌شود، و با افزایش شدت در اواسط بارش، به‌دلیل اشباع خاک تقریباً تمام ریزش‌ها به رواناب و سیل تبدیل می‌شود. این پدیده سبب ایجاد آب‌نگار سیل بایومودال یا دوکوهانه می‌شود. در این پژوهش نیز، آب‌نگار سیل دی‌ماه ۱۴۰۱ میناب دوکوهانه بود.

سرانجام، بر اساس نتایج بررسی تغییرات روند متغیرهای هوا-آب‌شناسی و کاربری زمین می‌توان گفت، در منطقه‌ی پژوهش در سه‌دهه‌ی گذشته تغییر اقلیم رخ داده است. همچنین، تغییرات کاربری زمین و احداث سد را می‌توان از مهم‌ترین عامل‌های ایجادکننده و یا تشدیدکننده‌ی آن دانست و این یافته هشدار برای متولیان در زمینه‌ی تغییر اقلیم، مدیریت منابع آب و کشاورزی و مدیران احیا و حفاظت منابع طبیعی در منطقه‌ی بررسی‌شده است.

سپاس‌گذاری

این پژوهش برگرفته از طرح دانشجویی با شماره‌ی قرارداد ۳۲۹۵۶/۲۸/۱۹۰/۱۴۰۰ با شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان هرمزگان است. به این وسیله از حمایت‌های بی‌دریغ مدیر عامل و کارشناسان آن شرکت جناب آقای مهندس محمدرضا ایدون، سرکار خانم دکتر مریم زراع و دیگر کارشناسان در اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

- Alavinia S, Zarei M. 2022. Climate change trends analysis using by extreme indices of long-term rainfall and temperature in South East of Iran. *Journal of Rgional Planning*, 11(44), 119-134. (In Persian).
- Alizadeh A, Sayari N, Hesami Kermani M, Banayan Aval M, Hoseini A. 2010. Investigating the potential effects of climate change on agricultural water sources and uses (Case study: Kashf Roud River Catchment) *Journal of Water and Soil*, 24(4), 835-815. (In Persian).
- Ansari M, Noori GH, Fotoohi S. 2017. Investigation of temperature precipitation and flow trend using nonparametric mankendall (Case study: Kaju River in Sistan and Baluchestan). *Journal of Watershed Management Research*, 7(14), 158-152. (In Persian).
- Aras E. (2018). Effects of multiple dam projects on river ecology and climate change: Çoruh River Basin, Turkey.-*Advances in Environmental Research*, 7(2):121-138.
- Azimi Sardari M, Bazrafshan O, Panagopolus T, Rafiee Sardoe E. 2020. Land use change modeling using artificial neural network and markov chain (Case study: Minab Esteqlal Dam Basin). *Journal of Natural Environment*, 73(1), 103-114. (In Persian).
- Azizi GH, Shamsipour A, Yarahmadi D. 2009. Detection climate change using multivariable statistical analysis in west of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 66(40), 19-36. (In Persian).
- Bai J, Cui Q, Zhang W, Meng L. 2019. An Approach for downscaling SMAP soil moisture by combining sentinel-1 SAR and MODIS data. *Remote Sensing*, 11(23)1-20.
- Bahari Meimandi J, Bazrafshan O, Esmaelpour Y, Shekari M, Zamani H. 2023. Study the effect of natural and anthropogenic factors on the ground water falling in The Minab Plain. *Desert Management*, 11(1):1-18.
- Barkhordary J, Khosroshahi M. 2008. Investigation of effects of land cover and climate change on river flow (Case study: Minab Basin). *Pajouhesh and Sazandegi*, 77(2), 191-199. (In Persian).
- Belvasi I, Saraskanrod S, Esfandiari Dorabad F, Zeinali B. 2020. The role of land use changes on run-off and flood properties in the Doab Catchment. *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 7(2), 331-344. (In Persian).
- BornaR, Jahan A. 2015. Trend analysis of extreme climate changes index's in precipitation and temperature in Bushehr Province. *Natural Geography Journal*, 8(28), 43-64. (In Persian).
- Cao C, Guan X, Sun W, Guo S, Chen B. 2023. Changes of extreme high temperature by global warming in the northern hemisphere. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 62(1):21-29.
- Chen Q, Chen H Zhang J, Hou Y, Shen M, Chen J, Xu C. 2020. Impacts of climate change and LULC change on runoff in the Jinsha River Basin. *Journal of Geographical Sciences*, 30(1):85-102.
- Congalton RG. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37:35-46.
- Cui T, Tian F, Yang T, Wen J, Khan MYA. 2020. Development of a comprehensive framework for assessing the impacts of climate change and dam construction on flow regimes. *Journal of Hydrology*, 590(12):53-68.
- Dalcin AP, Brêda JPLF, Marques GF, Tilmant A, de Paiva RCD, Kubota PY. 2023. The role of reservoir reoperation to mitigate climate change impacts on hydropower and environmental water demands. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 149(4): 1495-1516.

- Das P, Zhang Z, Ghosh S, Lu J, Ayugi B, Ojara MA, Guo X. 2023. Historical and projected changes in extreme high temperature events over East Africa and associated with meteorological conditions using CMIP6 models. *Global and Planetary Change*, 222(3):105-121.
- Gallardo V, Sánchez-Gómez E, Riber E, Boé J, Terray L. 2023. Evolution of high-temperature extremes over the main Euro-Mediterranean airports. *Climate Dynamics*. 3(4):1717-1744.
- Ghasemi Karakani E, Fattahi E, Salehi Pak L, Ghaemi H. 2023. Simulation of rainfall temporal distribution pattern using WRF Model (Case study of Parsian Dam Basin). *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 23(69):259-275. (In Persian).
- Ghosh K, Muñoz-Arriola F. 2023. Hysteresis and streamflow-sediment relations across the pre-to-post dam construction continuum in a highly regulated transboundary Himalayan River Basin. *Journal of Hydrology*, 624(12):85-98.
- Gupta A, Kamble T, Machiwal D. 2017. Comparison of ordinary and Bayesian kriging techniques in depicting rainfall variability in arid and semi-arid regions of north-west India. *Environmental Earth Sciences*, 76(2):1-16.
- Halabian A, Keikhosravi Kiany M. 2020. Evaluation of variations in extreme precipitation indices in Iran. *Spatial Planning*, 10(4),24-45. (In Persian).
- Hayhoe SJ, Neill C, Porder S et al. 2011. Conversion to soy on the Amazonian agricultural frontier increases streamflow without affecting stormflow dynamics. *Glob Change Biol*, 17(2):1821-1833. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02392.x>
- Hoseini Y, Ramezani Moghaddam J, Abdolalizadeh Z. 2020. Evaluating the impact of land use changes on flooding and flood runoff in Amuqin Drainage Basin. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(22), 145-163. (In Persian).
- Hossain F. 2010. Empirical relationship between large dams and the alteration in extreme precipitation. *Natural Hazards Review*, 11(3):97-101.
- Huang XR, Gao LY, Yang PP, Xi YY. 2018. Cumulative impact of dam constructions on streamflow and sediment regime in lower reaches of the Jinsha River, China. *Journal of Mountain Science*, 15(12):2752-2765.
- Hu WW, Wang GX, Deng W, Li SN. 2008. An influence of dams on ecohydrological conditions in the Huaihe River Basin, China. *Ecological Engineering*, 33(3-4):233-241.
- IPCC. 2013: Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker Qin T.F. D, Plattner G-K, Tignor M, Allen S.K, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V and Midgley P.M (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 942-987.
- Irannejad P, Katiraei Boroujerdi P, Hajjam S. 2010. Spatial distribution of the annual precipitation trend in Iran in the period 1960-2001. *Journal of the Earth and Space Physics*, 33(1), 67-83. (In Persian).
- Javaheri S, Torahi A, Tavakoli sabour S. 2020. Ability to prepare methods land use maps using satellite images (Case study: Kamyaran City). *Journal of GIS and RS Application in Planning*, 10(4), 90-106. (In Persian).
- Kendall MG. 1975. Rank Correlation Methods. Griffin. 4th Edition. London, pp. 110-142.
- Khorshiddoust A, Rasouli A, Zangeneh S. 2018. Modeling of trends of temperature and precipitation extreme indices in Urmia Lake Basin. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(16), 175-194. (In Persian).
- Kumar A, Tripathi VK, Kumar P, Rakshit A.

2023. Assessment of hydrologic impact on flow regime due to dam inception using IHA framework. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(13):37821-37844.
- Mann HB. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(1): 245-249. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Meresa HK, Romanowicz RJ, Napiorkowski JJ. 2017. Understanding changes and trends in projected hydroclimatic indices in selected Norwegian and Polish catchments. *Acta Geophys*. 65(2):829-848. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0062-5>
- Mahmoud MT, Mohammed SA, Hamouda MA, Mohamed MM. 2020. Impact of topography and rainfall intensity on the accuracy of imerg precipitation estimates in an arid region. *Remote Sensing*, 13(1):13-29.
- Mohammadi H, Azizi GH, Khoshahklagh F, Ranjbar F. 2017. Analysis of Daily Precipitation Extreme Indices Trend in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 49(1), 21-37. (In Persian).
- Mohammadi A, Musivand A, Shayan S. 2010. Prediction of land use and land cover changes using satellite images and Markov Chain model. *Human Sciences MODARES*, 14(3):117-130. (In Persian).
- Mohammadi M. 2016. Modeling the effects of land use changes on flood hydrograph (A case study: Ja'farabad Basin, Golestan Province). *Water and Soil Conservation*, 22(5), 171-185. (In Persian).
- Moradi M, Bazrafshan O, Bahreman A, Esmaelpour Y. 2018. Assessment of the relations between the trends of climatic factors and river flow in southern Coastal Basins, Iran. *Basin Management Research Journal*, 31(2):79-92.
- Naderi M, Vahedberdi SH, Bahrehmand A, Bayram Komaki CH. 2023. Analysis of river flow regime changes using the indicators of hydrologic alteration (Case study: Hableroud basin). *Water and soil management and modeling*, 3(3), 1-19. (In Persian).
- Nassaji Zavareh M, Ghermezcheshmeh B. 2023. Assessment of spatial and temporal variability of extreme temperature by ETCCDI Indices (North and West of Iran). *Environment and Water Engineering*, 9(1):95-108.
- Oliveira WL, Medeiros MB, Moser P, Simon MF. 2021. Mega-dams and extreme rainfall: Disentangling the drivers of extensive impacts of a large flooding event on Amazon Forests. *Plos one*, 16(2):24-59.
- Pabaghi Z, Bazrafshan O, Zamani H, Shekari M, Singh VP. 2023. Bivariate analysis of extreme precipitation using copula functions in arid and semi-arid regions. *Atmosphere*, 14(2):275-288.
- Peel MC, McMahon TA. 2006. Continental runoff: A quality controlled global runoff data set. *Nature* 444(E14): 835-838. [doi:10.1038/nature05480](https://doi.org/10.1038/nature05480)
- Qi P, Xu YJ, Wang G. 2020. Quantifying the individual contributions of climate change, dam construction, and land use/land cover change to hydrological drought in a marshy river. *Sustainability*, 12(9):37-45.
- Rezaei M, Yasi M, Farhoudi J. 2023. Investigating the impact of dam construction on the eco-hydrological parameters of rivers (Jajrud River - downstream of Latian Dam). *Ecohydrology*, 9(4), 797-814. (In Persian).
- Shams Ghahfarokhi M, Moradian S. 2023. Investigating the causes of Lake Urmia shrinkage: climate change or anthropogenic factors?. *Journal of Arid Land*, 15(4):424-438.
- Sharma PJ, Patel PL, Jothiprakash V. 2019. Impact of rainfall variability and anthropogenic activities on streamflow changes and water stress conditions across Tapi Basin in India. *Science of total environment*. 687(3):885-897. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.097>
- Soro GE, Noufe D, Goula BTA, Srohourou B. 2016. Trend analysis for extreme rainfall at sub-daily and daily time scales in Côte d'Ivoire. *Climate*, 4(3): 37-49. <https://doi.org/10.3390/cli4030037>
- Tirupathi C, Shashidhar T. 2020. Investigating

- the impact of climate and land-use land cover changes on hydrological predictions over the Krishna River Basin under present and future scenarios, *Science of the Total Environment*, 721(13):36-54. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137736>.
- Turgay P, Ercan K. 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Process*, 20(2):2011–2026.
- Varshavian V, Khalili A, Ghahreman N, Hajjam S. 2011. Trend analysis of minimum, maximum, and mean daily temperature extremes in several climatic regions of Iran. *Journal of the Earth and Space Pyisics*, 37(1), 169-179. (In Persian).
- Wagner PD, Kumar S, Schneider K. 2013. An assessment of land use change impacts on the water resources of the Mula and Mutha Rivers catchment upstream of Pune, India. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(6): 2233-2246. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2233-2013>
- Wilson D, Hisdal H, Lawrence D. 2010. Has streamflow changed in the Nordic countries? Recent trends and comparisons to hydrological projections. *Journal of Hydrology*, 394: 334–346.
- Wright JS, Fu R, Worden JR, et al. 2017. Rainforest-initiated wet season onset over the southern Amazon. *Environmental Sciences* 114(3):81-84. <https://doi.org/10.1073/pnas.1621516114>
- Yari M, Soltani-Gerdefaramarzi S, Ghasemi M. 2019. Investigation of the effect of to land use changes on flood hydrograph and fluctuations of groundwater level in part of Ghareh Souh Basin. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8(3):41-58. (In Persian).
- Zeinali B, Mollanoori E, Safari SH. 2023. Investigation of land use changes and climatic components in Meshginshahr City. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 12(3): 15-31. (In Persian).



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Investigating Changes of Land Use and Hydroclimatic Extreme Indices in Minab River Basin

Maryam Abbaszadeh¹, Ommolbanin Bazrafshan^{*2}

1- Ph.D. Graduated, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural Science and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2- Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural Science and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

In the last three decades, land use in the Minab river basin has undergone significant changes and these changes along with climate change in the basin can affect the trend of hydroclimatic variables. Due to the changes that have occurred in the climate and land use of the Minab River Basin in the past decades until now, the investigation of trends and changes in the threshold indicators of precipitation, temperature and flow rate becomes particularly important. Therefore, the aim of the current research is to investigate the trend of land use changes and hydroclimatic variables in the Minab basin.

Materials and Methods

In the current research, the data of hydrometric, rain gauge and evapotranspiration stations in the Minab watershed were analyzed to extract threshold indices based on the ETCCDI standard including precipitation, temperature and river flow. Trend analysis was done using a non-parametric Mann-Kendall test. Also, land use changes were extracted using TM series Landsat satellite images in 1989, 2004, and 2020 from TM, ETM+, and OLI sensors, respectively, and the accuracy of the extracted images was confirmed with Kappa statistics.

Results and Discussion

The finding showed that all the temperature limit indices, including tropical nights, hot days, hot nights and the range of day and night temperature, have an increasing trend. The extreme precipitation indices, heavy precipitation of 10, 20, and 30 mm in some stations has an increasing trend, but the annual average precipitation has an increasing trend. The number of wet days is decreasing and the number of dry days is increasing. The investigation of the changes in the rainfall regime of the region

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

Citation: Abbaszadeh, M., Bazrafshan O. 2024. Investigating Changes of Land Use and Hydro climatic Extreme Indices in Minab River Basin. *Watershed Management Research*. 37(2): 74-92.

DOI: 10.22092/wmrj.2023.362493.1543

Received: 19 June 2023, **Received in revised form:** 28 July 2023, **Accepted:** 21 September 2023

Published online: 21 June 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.2, Ser. No: 143, Summer 2024, pp.74-92.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Author(s)



showed that the intensity of the rainfall is increasing in the duration of 15 and 45 minutes. According to the changes that have occurred, the change in the precipitation situation in the region is inevitable. The survey of land use changes over the past three decades showed that 22% of the pasture land area has decreased, and residential and agricultural land has increased by 280 and 220%, respectively.

Conclusion and Suggestion

The findings of this research showed that despite the increase in the average annual rainfall (16 mm per year), and other rainfall indicators that had no significant trend, the trend of 15 and 45 minute rainfall intensity was increasing and significant. Contrary to the trend of precipitation, which cannot be proven with great certainty, the increasing trend of all temperature indices (on average 0.9°C per year) confirmed the climatic changes in the Minab watershed. On the other hand, the trend of minimum and maximum stream flow and maximum discharge was also increasing in the watershed, and it can be one of the reasons for the changes in rainfall, construction of dams, and changes in land use from pasture and war lands to agriculture and residential. Based on the results of this research, it is suggested to investigate the effect of future climate changes on meteorological and hydrological variables and use its findings in natural resources management.

Keywords: Climate changes, Mann-Kendall test, precipitation extreme, stream flow indicators



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مآخذ تحقیقات، آموزش و پژوهش کشاورزی

تأثیر اقدام‌های آبخیزداری بر متغیرهای آب‌شناختی با استفاده از مدل SWAT در آبخیز کن

محمدحسین قویمی پناه^۱، لیلا غلامی^۲، عطااله کاویان^۳، سیدحمیدرضا صادقی^۴

- ۱ - دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۲ - دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۳ - استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۴ - استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

در کشور اجرای اقدام‌های آبخیزداری، ارزیابی و بررسی تأثیرات فعالیت‌های انجام‌شده‌ی این طرح‌ها بر فرآیندهای حاکم بر آبخیز، ضروری است. حال آن که اساساً ارزیابی عملکرد اقدام‌های آبخیزداری به اندازه‌ی کافی در کشور انجام نشده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان تهران در آبخیز کن با هدف شبیه‌سازی تأثیر اقدام‌های آبخیزداری بر متغیرهای آب‌شناختی، با استفاده از مدل SWAT انجام شد. از این رو، ابتدا اجرای اولیه مدل انجام شد و سپس واسنجی و اعتبارسنجی شد. در این پژوهش برای بهره‌گیری از دستورالعمل‌ها و توابع گوناگون هدف و نیز برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل از نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد. به‌منظور تعیین و مقایسه‌ی شرایط شبیه‌سازی با شرایط حاکم بر آبخیز از معیارهای ارزیابی مانند ضریب تبیین و ضریب کارایی استفاده شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: l.gholami@sanru.ac.ir

استناد: قویمی پناه، م.ج.، غلامی، ل.، کاویان، ع.، صادقی، س.ح.ر. ۱۴۰۳. تأثیر اقدام‌های آبخیزداری بر متغیرهای آب‌شناختی با استفاده از مدل SWAT در آبخیز کن. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۲): ۹۳-۱۰۹.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmrj.2023.362356.1542

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۴۳، تابستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۹۳ تا ۱۰۹.

©نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



نتایج و بحث

نتایج پژوهش نشان داد که کارایی مدل SWAT برای شبیه‌سازی آب‌شناختی آب‌خیز مطالعه‌شده قابل قبول بود. بنابراین مقدار ضریب تبیین در مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/۶۹ و ۰/۸۶ بود. همچنین، مقدار شاخص نش-ساتکلیف در مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۹۳ به‌دست آمد. سپس اقدام‌های آب‌خیزداری در سطح آب‌خیز مطالعه‌شده شبیه‌سازی شد. نتایج این شبیه‌سازی نشان داد که رواناب سطحی در عملیات آب‌خیزداری به‌شکل بند توری‌سنگی، سنگی ملاتی، بانکت‌بندی و خشکه‌چین به‌ترتیب ۲۵، ۲۳، ۲۱ و ۱۱٪ کاهش یافت. همچنین، اندازه‌ی آب در دسترس در عملیات آب‌خیزداری به‌شکل بند توری‌سنگی، سنگی ملاتی، بانکت‌بندی و خشکه‌چین به‌ترتیب در مقایسه با شرایط اجرا نشدن این عملیات‌ها در سطح آب‌خیز ۱۹، ۲۱/۳، ۲۰/۵ و ۱۰/۷۵٪ بیشتر بود. بیش‌ترین اندازه‌ی تغییر جریان جانبی نیز در شرایط اجرای عملیات سنگی ملاتی بود. همچنین اندازه‌ی تبخیر و تعرق با اجرای عملیات آب‌خیزداری بند توری‌سنگی، سنگی ملاتی، بانکت‌بندی و خشکه‌چین به‌ترتیب ۲۰/۱۹، ۲۰/۸۶، ۱۹ و ۱۰/۸۷٪ افزایش یافت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر پایه‌ی نتایج این پژوهش در آب‌خیز کن می‌توان با اجرای اقدام‌های آب‌خیزداری مزبور، برنامه‌های مدیریتی و زیستی احتمال رخداد سیل و خسارت‌های ناشی از آن را تا حد زیادی کاهش داد.

واژگان کلیدی: اقدام‌های آب‌خیزداری، شبیه‌سازی آب‌شناختی، فرسایش خاک، مدل مفهومی ارزیابی آب و خاک، مدل آب-شناختی

مقدمه

آب یک امر پیچیده، زمان‌بر و پرهزینه است. از این رو، استفاده از مدل‌ها برای شبیه‌سازی و ارزیابی اثربخشی اقدام‌های آب‌خیزداری یکی از راه‌کارهای کم‌هزینه و سریع است. مدل مفهومی ارزیابی آب و خاک (SWAT)^۱ یکی از انواع این مدل‌ها است که یک مدل آب‌شناختی نیمه توزیعی برای شبیه‌سازی پیوسته‌ی فرآیندهای گوناگون آب‌شناختی است (آرنولد و همکاران ۱۹۹۸). در این راستا، می‌توان به پژوهش‌های گوناگون قورابا ۲۰۱۵؛ ژانگ و همکاران ۲۰۲۰؛ متیبا و آسانو ۲۰۲۲؛ ابوهی و همکاران ۲۰۲۳؛ آنتنه و همکاران ۲۰۲۳، اشاره کرد. این پژوهشگران کارایی مدل SWAT در برآورد رواناب تحت شرایط تغییرات آب‌خیز بررسی کردند و تأیید کردند که کارایی این مدل زیاد بود. در هفت زیرآب‌خیز کشور سوئد بکاریس و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از مدل SWAT نشان دادند که شبیه‌سازی رواناب سطحی با استفاده از گام‌های زمانی ماهانه در مقایسه با گام‌های زمانی روزانه دقت بیش‌تری داشت. وانگ و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی تأثیر تغییر کاربری زمین بر رواناب سطحی با استفاده از مدل SWAT نشان دادند که تغییر کاربری زمین از مرتع به جنگل سبب افزایش رواناب سطحی شد. در آب‌خیزی در شمال‌شرق سوئیس عباسپور و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که برای شبیه‌سازی و تحلیل سناریوهای

در مطالعات محیطی، آب به عنوان مهم‌ترین عامل در برنامه‌ریزی مدیریت صحیح بهره‌وری از زمین‌ها مطرح است. در این باره، کمیت آب، اندازه‌های حد، رژیم جریان و اندازه‌ی آب در دوره بازگشت‌های گوناگون مطالعه شده‌اند (سانچز و همکاران ۲۰۱۵؛ ژینگ و همکاران ۲۰۱۷). امروزه عقیده بر این است که فرسایش خاک ناشی از رواناب‌های سطحی یکی از عامل‌های اصلی و مهم تغییر سیمای زمین، نابودی منابع محیط‌زیستی و محدودکننده‌ی مواد غذایی و آب در جهان است (اولدماریان و همکاران ۲۰۱۸). این عامل‌ها و خسارت‌های محسوس و نامحسوس ناشی از نابودی منابع طبیعی بر اثر فرسایش سبب شده، به اقدام‌های آب‌خیزداری به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر مدیریت کمی و کیفی منابع آب و خاک در آب‌خیز توجه بیش‌تری شود (نیوکلاس و همکاران ۲۰۱۹). این اقدام‌ها که به روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند، با توجه به نوع و محل اجرا منجر به کاهش مشکلات ناشی از رواناب سطحی و سیلاب‌ها می‌شوند. با توجه به پیشینه‌ی طولانی اجرای اقدام‌های حفاظت خاک و آب در کشور، ارزیابی و بررسی تأثیرات فعالیت‌های انجام‌شده‌ی این طرح‌ها بر فرآیندهای حاکم بر آب‌خیز، ضروری است. این در حالی است که ارزیابی اثربخشی اقدام‌های حفاظت خاک و

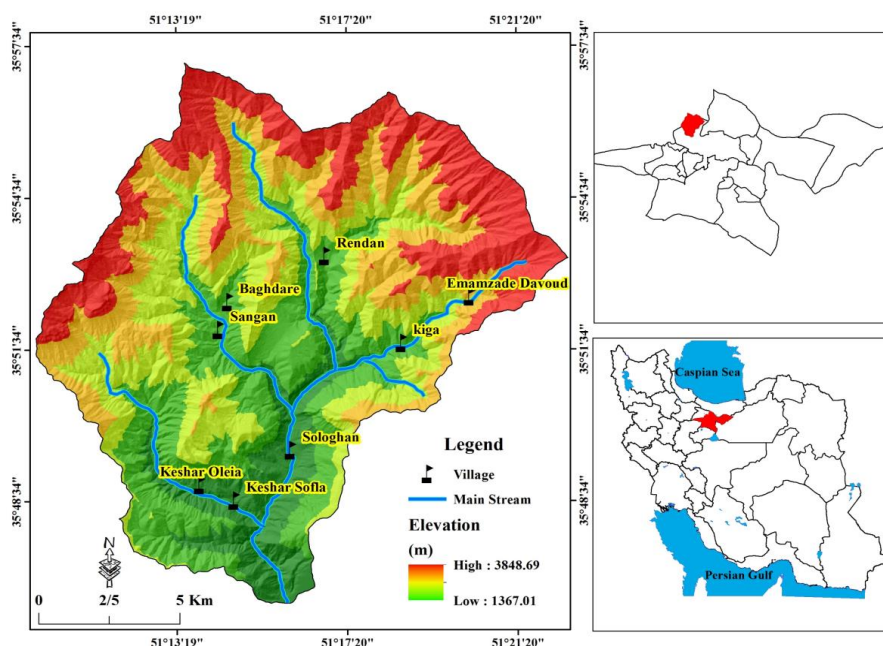
تعیین کردند. نتایج این پژوهش نشان داد از کل جریان سطحی ایجادشده ۵۴٪ رواناب سطحی، ۳۰٪ نفوذ عمیق و بقیه‌ی آن سبب تغییرات و ذخیره‌ی رطوبت در خاک شد. در استان مازندران زارعی قورخودی و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر آب‌بندان‌ها بر دو متغیر رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT در آبخیز رود تجن را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که سازه‌های اجرا شده اندازه‌های رواناب و رسوب را به ترتیب ۱۷ و ۲۷٪ کاهش دادند. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت تاکنون پژوهشی در زمینه‌ی ارزیابی تأثیر اقدام‌های آبخیزداری بر فرآیند آب‌شناختی آبخیز کن انجام‌نشده است. هم‌چنین با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، استفاده از مدل SWAT برای شبیه‌سازی اقدام‌های آبخیزداری در آبخیزها می‌تواند روش مؤثر و کم هزینه‌ای برای ارزیابی تأثیر اقدام‌های آبخیزداری بر فرآیند آب‌شناختی آبخیزها باشد. بر این اساس در این پژوهش تأثیر اقدام‌های آبخیزداری در آبخیز کن شبیه‌سازی شد و با استفاده از مدل SWAT تأثیر این اقدام‌ها بر متغیرهای آب‌شناختی آبخیز مزبور ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مطالعه‌شده

آبخیز کن با مساحت ۲۰۵۷۱ هکتار است که از جنوب به شهر تهران، از شرق به آبخیز درکه، از شمال به آبخیز جاجرود و از غرب به آبخیز رود کرج ارتباط دارد. موقعیت این آبخیز نسبت به کشور و استان تهران در شکل ۱ نشان‌داده شده است.

مدیریتی مدل SWAT کارایی زیادی داشت. در آبخیز فیروزآباد استان فارس دولت‌آبادی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از SWAT شدت جریان رود را شبیه‌سازی کردند. بر پایه‌ی نتایج این پژوهشگران یکی از دلایل ضعف مدل استفاده از رابطه‌ی SCS برای برآورد جریان بود و این موضوع سبب شد مدل در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف کارایی زیادی نداشته باشد. در پژوهشی احمدآبادی و همکاران (۲۰۱۷) از مدل SWAT برای شبیه‌سازی عملیات آبخیزداری ارس استفاده کردند. بر پایه‌ی یافته‌های این پژوهشگران اجرای عملیات آبخیزداری رسوب ویژه‌ی آبخیز را به اندازه‌ی ۱۹ تن در هکتار کاهش داد. در ایرلند در فرآیند آب‌شناختی آبخیز رود دودر در جنوب دوبلین، باسو و همکاران (۲۰۲۲) اهمیت تغییر پوشش زمین را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که در شبیه‌سازی فرآیند آب‌شناختی در منطقه‌ی بررسی‌شده مدل دقت زیاد بود. در هند سینگ و همکاران (۲۰۲۳) اثرات کاربری زمین و تغییرات پستی‌بلندی بر رواناب سطحی در آبخیز جامونیا در جاکندا را شبیه‌سازی کردند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده‌ی افزایش قابل توجهی در رواناب سطحی در دوره‌ی شبیه‌سازی بود. گلزاری و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی اقدام‌های آبخیزداری و کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب دریافتند که اجرای عملیات بندهای اصلاحی، خطوط تراز و مالچ‌پاشی در کل آبخیز، رواناب سطحی را به اندازه‌ی ۶/۰۳٪ کاهش داد. در پژوهشی مه‌ری و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از مدل SWAT رواناب در بالادست سد قشلاق را شبیه‌سازی و مؤلفه‌ها را



شکل ۱- موقعیت آبخیز کن در ایران و استان تهران.

Figure 1- General view of Kan Watershed, Tehran Province, Iran.

داده‌های پژوهش

در این پژوهش به منظور بررسی بلندی منطقه خطوط منحنی تراز در نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ راقومی وارد سامانه‌ی GIS شد. سپس مدل رقومی ارتفاع محدوده با پیکسل‌های ۱۰×۱۰ متر تهیه شد. همچنین نقشه‌ی کاربری زمین‌های آب‌خیز با استفاده از نقشه‌های سازمان نقشه‌برداری کشور با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به شکل اولیه تهیه شد. سپس با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای گوگل ارث (Maxar) و مشاهده‌های میدانی از آب‌خیز، نقشه‌ی نهایی کاربری زمین‌ها با دقت زیاد تدقیق و تهیه شد. در این پژوهش برای اجرای مدل SWAT و تهیه‌ی گروه

آب‌شناختی خاک بر اساس ضریب آلبیدو (با استفاده از نقشه‌های خاک فائو و درصد مواد آلی موجود در خاک، درصد سیلت، درصد رس، درصد شن، بافت خاک، درصد تخلخل، ضریب هدایت آبی) از گزارش تفصیلی اجرایی آب‌خیز کن استفاده شد (محمدی و همکاران ۲۰۱۷). در این پژوهش برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی آب‌خیز از داده‌های روزانه‌ی بارش و دمای کمینه و بیشینه‌ی سال (۲۰۱۸-۱۹۹۸) در ایستگاه همدید چیتگر و شمال غرب تهران استفاده شد. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی استفاده‌شده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- اطلاعات ایستگاه هواشناسی منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Table 1- Meteorological station information of the study area.

Station Type	Elevation	Y	X	Station	Num
Synoptic	1350	35.44	51.10	Chitgar	1
Rain Gauge	1322	35.75	51.27	Shomal gharb Tehran	2

ضریب کارآیی استفاده شد.

معیارهای ارزیابی مدل ضریب تبیین (R^2)

ضریب تبیین، تعیین می‌کند که محاسبات انجام‌شده به‌وسیله‌ی مدل تا چه اندازه‌ی می‌تواند داده‌های مشاهده‌ی را پوشش دهد. زمانی این ضریب مناسب است که اختلاف میان خروجی واقعی و خروجی برآوردشده حداقل باشد. روش محاسبه‌ی ضریب تبیین به شکل رابطه‌ی ۱ است.

$$R^2 = n (\sum \text{obs sim}^2) - (\sum \text{obs}) (\sum \text{sim}) / \sqrt{[n \sum \text{obs}^2 - (\sum \text{obs})^2][n \sum \text{sim}^2 - (\sum \text{sim})^2]}$$

obs: اندازه‌ی مشاهده‌ی، sim: اندازه‌ی برآوردشده‌ی مدل و R^2 : ضریب تبیین است.

ضریب تبیین معیاری بدون بعد است. بهترین اندازه‌ی آن یک است (صداقت‌کردار و فتاحی ۲۰۰۸). هر چه اندازه‌ی این ضریب بیشتر باشد به این معنا است که اختلاف کمتری میان خروجی برآوردشده و خروجی واقعی وجود دارد.

شاخص نش - ساتکلیف (NSE)

در این پژوهش کارآیی یا عملکرد مدل با استفاده از ضریب نش - ساتکلیف ارزیابی شد. ضریب نش - ساتکلیف با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه شد.

(۲)

$$NSE = 1 - (\sum (\text{obs} - \text{sim})^2 / \sum (\text{obs} - \text{obz})^2)$$

اجرا، واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

نخست اطلاعات مدل آماده‌سازی شد و سپس برای اجرای مدل، سه سال نخستین بازه‌ی آماری (۲۰۰۰-۱۹۹۸) برای گرم کردن^۲ شرایط محیطی مدل استفاده شد. پس از این بازه، در محل ایستگاه سولقان شبیه‌سازی رواناب و دیگر متغیرهای آب شناختی به‌وسیله‌ی مدل برای سپتامبر سال ۱۹۹۸ میلادی تا دسامبر سال ۲۰۱۸ میلادی انجام شد. در این پژوهش برای بهره‌گیری از دستورالعمل‌ها و توابع گوناگون هدف در واسنجی و اعتبارسنجی از نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد. پس از اتمام مدل‌سازی با استفاده از SWAT، خروجی‌های مدل در مقیاس میانگین ماهانه در مدل ذخیره شد. برای انجام مراحل تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل، به داده‌های مشاهده‌ی آب‌دهی نیاز بود. در این پژوهش از اطلاعات موجود در ایستگاه سولقان استفاده شد. پس از دریافت آمار و اطلاعات ایستگاه‌های آب‌سنجی و آماده‌سازی داده‌های مشاهده‌ی، نتایج به‌دست آمده وارد نرم‌افزار SWAT-CUP شد. بر پایه‌ی نتایج پژوهش‌های پیشین در زمینه‌ی واسنجی مدل، تعدادی از متغیرهایی که در راستای هدف این پژوهش بودند از میان متغیرهای مدل انتخاب شدند (کاویان و همکاران ۲۰۱۸). سپس با استفاده از دستورالعمل 2-SUFI که نخستین بار به‌وسیله‌ی عباس‌پور و همکاران (۱۹۹۷) ارائه شده بود اما در سال ۲۰۰۷ به آن اشاره کرده‌اند، عملیات تحلیل حساسیت انجام شد. در این پژوهش به منظور تعیین و مقایسه‌ی شرایط شبیه‌سازی با شرایط حاکم بر آب‌خیز از معیارهای ارزیابی ضریب تبیین و

شبیه‌سازی‌شده را در مقایسه با پراکندگی داده‌های مشاهده‌ای نشان می‌دهد (گودرزی و همکاران ۲۰۱۷).

سناریوهای اقدام‌های حفاظت آب و خاک

در این پژوهش پس از واسنجی مدل و اطمینان از صحت و دقت مناسب نتایج مدل، به‌منظور ارزیابی اثرات اقدام‌های آبخیزداری در آبخیز کن، سناریوهای گوناگونی متناسب با شرایط فیزیکی آبخیز شبیه‌سازی شد. مشخصات و موقعیت اقدام‌های آبخیزداری منطقه‌ی مطالعه‌شده به‌ترتیب در جدول ۲ و شکل ۲ آورده‌شده است.

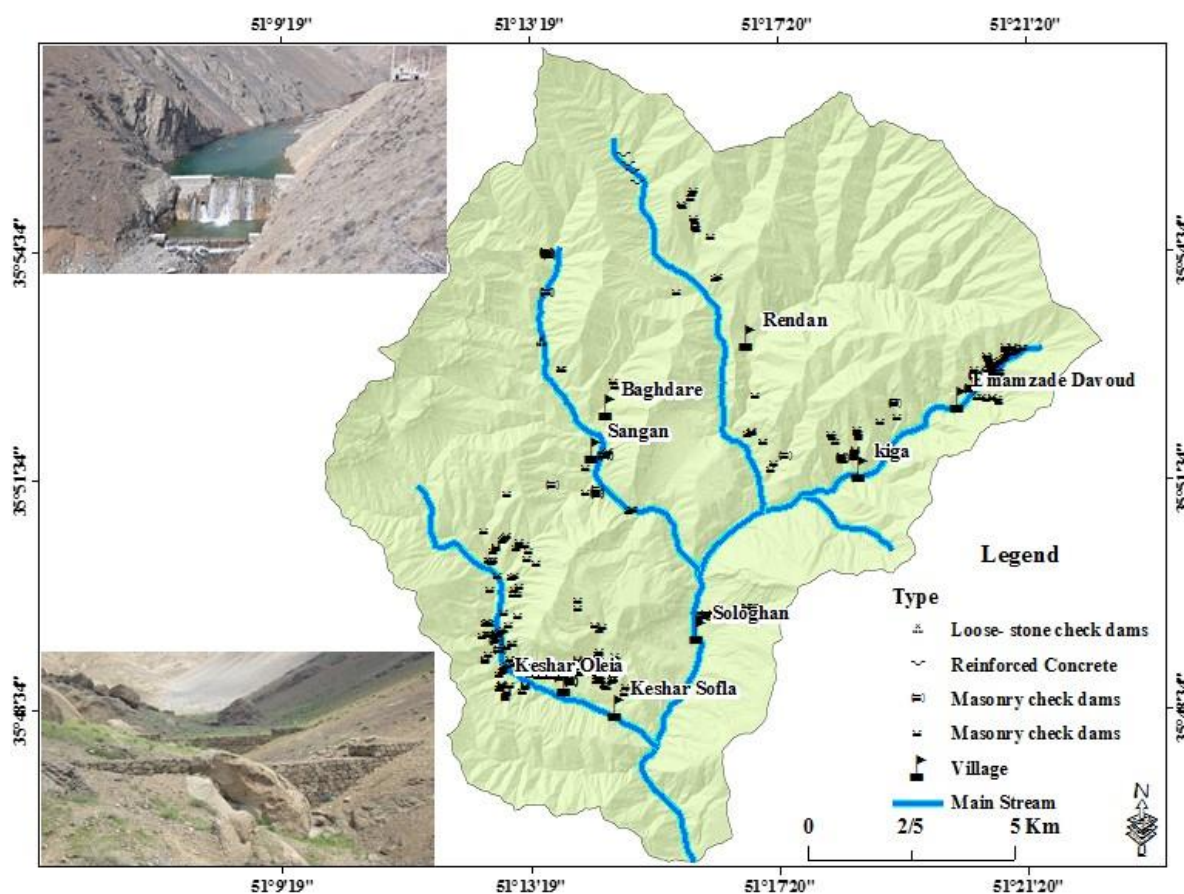
obs: اندازه‌ی مشاهده‌ای، obz: میانگین مشاهده‌ای، sim: اندازه‌ی برآوردشده‌ی مدل و NSE: کارایی مدل است. اندازه‌ی این ضریب می‌تواند از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر باشد.

در شرایطی که اندازه‌ی NSE آن صفر یا کمتر از آن باشد، بیان‌گر این است که میانگین آب‌دهی مشاهده‌ای بهتر از اندازه‌های آب‌دهی شبیه‌سازی‌شده به‌وسیله‌ی مدل است. اگر $NSE=1$ یعنی تطابق میان اندازه‌های آب‌دهی مشاهده‌ای و آب‌دهی شبیه‌سازی‌شده کامل است (محمدی‌وند و همکاران ۲۰۱۹). در حقیقت رابطه‌ی نش-ساتکلیف اهمیت نسبی پراکندگی اندازه‌های

جدول ۲- ویژگی‌های اقدام‌های آبخیزداری اجراشده در آبخیز کن.

Table 2- Characteristics of watershed measures implemented in Kan Watershed.

Number	Type	Item No.	Number	Type	Item No.
339	Gabion check dams	5	200	loose- stone check dams	1
6	Gabion and Masonry check dams	6	4	Reinforced Concrete	2
11	Gabion with mortar coating	7	10	loose- stone	3
		8	56	Masonry check dams	4



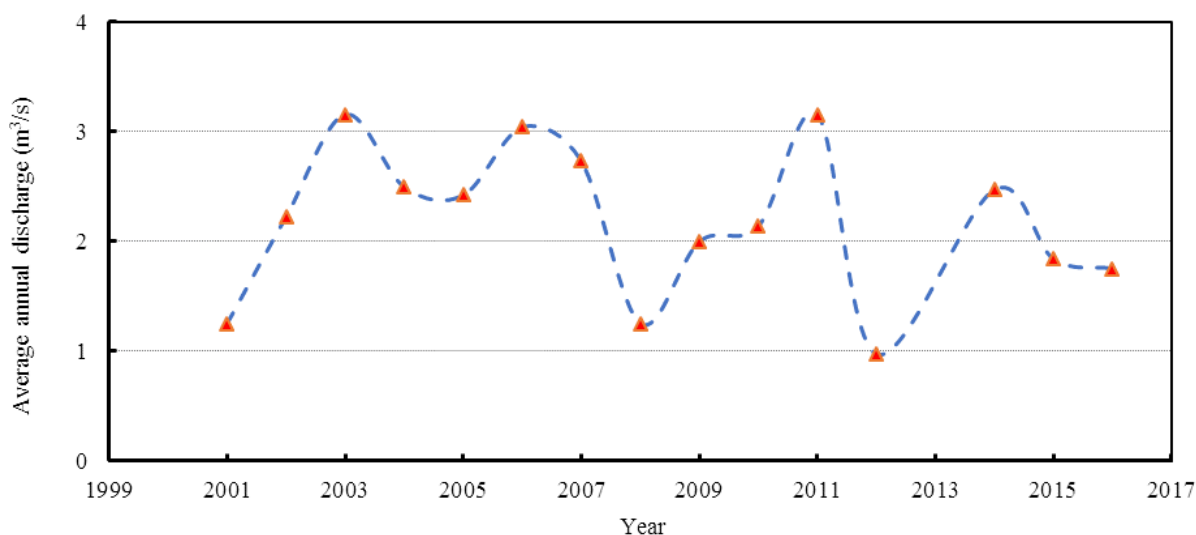
شکل ۲- نقشه‌ی موقعیت عملیات آبخیزداری اجراشده در آبخیز کن.

Figure 2- Location map of watershed measures implemented in the Kan Watershed.

نتایج و بحث

اصلی است. میانگین سالانه‌ی آب‌دهی ایستگاه آب‌سنجی سولقان در دوره‌ی آماری (۲۰۰۱-۲۰۱۷) در شکل ۳ نشان داده شده است.

در این پژوهش، برای تهیه و بررسی عامل‌های لازم از ایستگاه سولقان به دلیل داشتن آمار کافی استفاده شد. این ایستگاه در بخش انتهایی آبخیز کن و روی شاخه‌ی

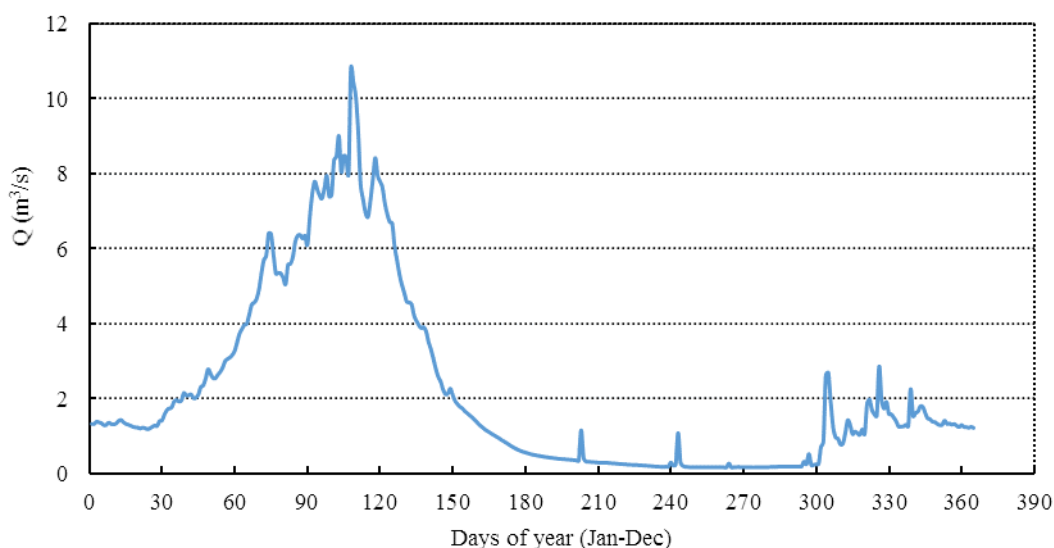


شکل ۳- میانگین سالانه‌ی آب‌دهی ایستگاه آب‌سنجی سولقان.

Figure 3- Average annual discharge of Soleghan hydrometric station.

بر ثانیه به ثبت رسیده است. میانگین کل دوره‌ی آب‌نگار آبخیز کن (شکل ۰۴) بیانگر آن است که اندازه‌های اوج در ماه‌های مارس و آوریل (فروردین و اردیبهشت) است.

بیش‌ترین اندازه‌ی میانگین سالانه‌ی آب‌دهی در منطقه‌ی مطالعه‌شده که در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۱ رخ داده است، ۳/۲ مترمکعب بر ثانیه بود (شکل ۳). همچنین کمترین اندازه در سال ۲۰۱۲ با آب‌دهی یک مترمکعب



شکل ۴- آب‌نگار ایستگاه سولقان در کل دوره‌ی بررسی‌شده.

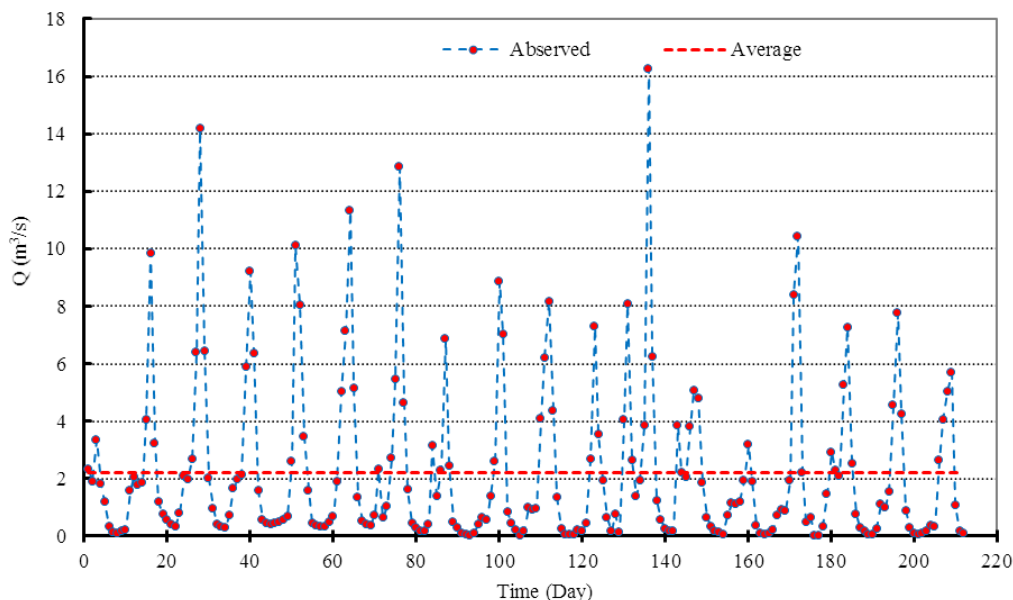
Figure 4- Monthly hydrograph of Soleghan Station in the study years 2001-2016.

آب‌دهی در دوره‌زمانی اسفند تا خردادماه بود. از اواسط اسفندماه شکل نزولات از برف به باران تغییر پیدا کرد.

بر پایه‌ی نتایج به‌دست آمده از آب‌نگار آب‌دهی شاخه‌ی اصلی رود کن در ایستگاه سولقان، بیش‌ترین اندازه‌ی

رواناب نشان داد که اطلاعات همگن بودند و روند تغییرات از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود (شکل ۵).

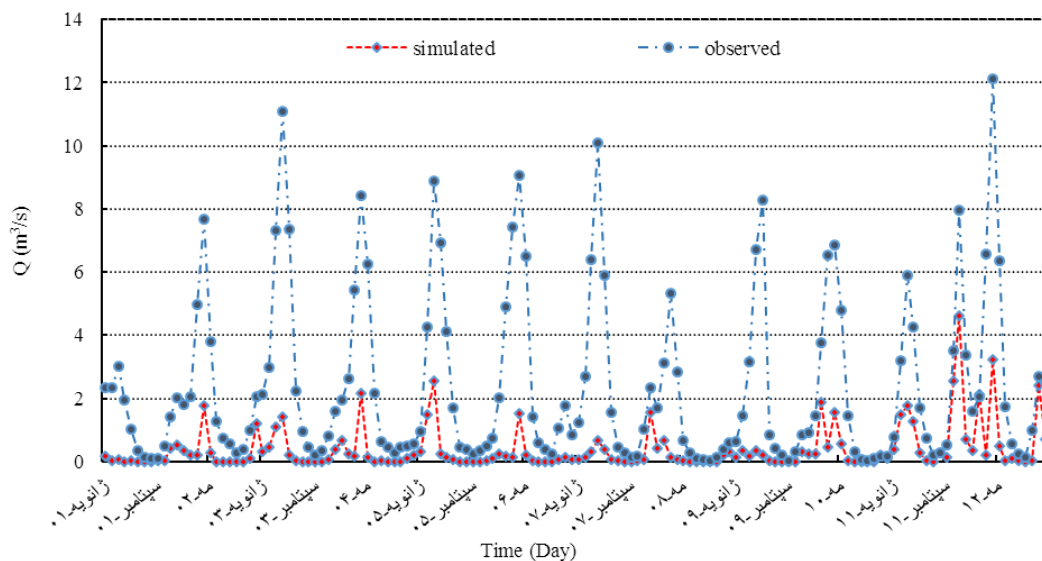
همچنین، رخداد باران‌های شدید به شکل مستقیم روی آب‌دهی رود تأثیرگذار بود. تحلیل روند آب‌شناختی با استفاده از آزمون پتیت روی اطلاعات آب‌دهی



شکل ۵- نمودار آزمون پتیت روی اطلاعات آب‌دهی رواناب.
Figure 5- Chart of Petit's test on runoff discharge data.

مشاهده‌ای آب‌دهی ماهانه و اجرای اولیه‌ی مدل نشان داد که آب‌دهی‌های اوج تا حدود زیادی هم‌زمان با ماه‌های پرباران رخ داده است. نتایج مقایسه‌ی اندازه‌ی مشاهده‌ای و نتیجه‌ی اجرای اولیه برای آب‌دهی جریان در شکل ۶ نشان داده شده است.

روند آب‌دهی جریان بهنجار بود و میانگین آب‌دهی در دوره‌ی آماری بررسی‌شده ۲/۲۰ مترمکعب بر ثانیه بود (شکل ۵). پس از انجام تحلیل روند آب‌شناختی با استفاده از آزمون‌های آماری، آب‌دهی جریان به‌طور مقدماتی شبیه‌سازی شد. مقایسه‌ی میان اندازه‌های



شکل ۶- مقایسه‌ی اندازه‌ی مشاهده‌ای و نتیجه‌ی اجرای اولیه برای آب‌دهی جریان.
Figure 6- Comparison of the observed and simulated.

فراسنجه‌های لازم برای اجرای مدل انتخاب شد. سپس عملیات تحلیل حساسیت انجام شد. هدف اصلی از تحلیل حساسیت، تعیین ورودی‌هایی است که تأثیر بیش‌تری در تغییر خروجی‌ها دارند و اینکه کدام متغیر همبستگی بیش‌تری با خروجی دارد و به این ترتیب می‌توان فراسنجه‌های مهم و حساس را شناخت و با تمرکز روی آن‌ها واسنجی مدل را سریع‌تر انجام داد. در این پژوهش مجموعه فراسنجه‌های انتخابی همراه با اندازه‌ی t -stat و p value در مرحله‌ی تحلیل حساسیت مدل در جدول ۳ ارائه شده است.

ارزیابی عملکرد مدل، بیانگر اختلاف زیاد میان اندازه‌ی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده بود (شکل ۶). در این پژوهش ضریب تبیین و شاخص نش-ساتکلیف به‌دست آمده از این شبیه‌سازی به‌ترتیب ۰/۳۹ و ۰/۲۶ بودند. در حالی که اندازه‌های R^2 می‌تواند میان صفر و یک باشد و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد قابل‌قبول‌تر است. به عبارت دیگر، شاخص نش-ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد نشان‌دهنده‌ی این است که مدل مناسب است، و اگر میان ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد مدل رضایت‌بخش است و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد مدل غیرقابل‌قبول است. از این رو، برای واسنجی رواناب، فراسنجه‌های پرشماری از میان

جدول ۳- فراسنجه‌های انتخاب‌شده در مرحله‌ی تحلیل حساسیت مدل.

Table 3- Variables selected in the model sensitivity analysis stage.

Variable	Method	t-Stat	P-Value	Variable	Method	t-Stat	P-Value
SLSUBBSN.hru	R	3.69	0.00	GW_REVAP.gw	V	0.30	0.76
OV_N.hru	V	3.25	0.00	ESCO.hru	V	0.14	0.89
SHALLST.gw	V	2.49	0.02	SOL_AWC(..).sol	R	-0.07	0.94
CANMX.hru	V	2.47	0.02	TMPINC(..).sub	V	-0.15	0.88
HRU_SLP.hru	V	2.05	0.04	ALPHA_BF.gw	R	-0.28	0.78
CN2.mgt	R	1.58	0.12	RFINC(..).sub	V	-0.42	0.68
SOL_AWC(..).sol	R	0.88	0.38	CN2.mgt	R	-0.44	0.66
LAT_TTIME.hru	V	0.82	0.42	BIOMIX.mgt	V	-0.59	0.56
HRU_SLP.hru	R	0.77	0.44	GW_DELAY.gw	A	-0.79	0.43
SOL_K(..).sol	R	0.82	0.41	USLE_P.mgt	V	-0.93	0.36
CH_K2.rte	A	0.77	0.45	CH_N2.rte	V	-1.02	0.31
EPCO.hru	A	0.73	0.47	SLSOIL.hru	V	-1.04	0.30
RFINC(..).sub	V	0.64	0.53	USLE_K(..).sol	V	-1.37	0.18
TMPINC(..).sub	V	0.49	0.63	ELEV_B_FR(..).sub	V	-1.41	0.16
SURLAG.hru	V	0.38	0.70	SOL_ALB(..).sol	R	-1.59	0.12
SNOEB(..).sub	V	0.37	0.71	REVAPMN.gw	V	-1.61	0.11
SNO_SUB.sub	V	0.36	0.72	SOL_Z(..).sol	R	-1.70	0.09
SOL_CRK.sol	R	0.32	0.75	GWSOLP.gw	V	-2.00	0.05

انتخاب شدند که در واسنجی مدل از آن‌ها استفاده شد. هم-چنین، این فراسنجه‌ها در پژوهش‌های دووان و همکاران (۲۰۰۹)، ویلایسانه و همکاران (۲۰۱۵) و ریاک و همکاران (۲۰۱۶) نیز به عنوان فراسنجه‌های حساس شناخته شده است. نتایج مقایسه‌ی اندازه‌ی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی در شکل ۷ نشان داده شده است.

از میان فراسنجه‌های بررسی‌شده، فراسنجه‌های با بیش‌ترین آماره‌ی t و کمترین سطح معنی‌داری به‌عنوان حساس‌ترین فراسنجه‌ها برای واسنجی شناسایی شدند. از این رو، فراسنجه‌های میانگین طول شیب^۳، ضریب مانینگ برای جریان سطحی^۴، حداکثر ذخیره‌سازی پوشش^۵، متوسط شیب^۶، وضعیت پوشش زمین^۷، ظرفیت آب قابل در دسترس خاک^۸ و زمان حرکت جریان آبراهه فرعی^۹ حساس‌ترین فراسنجه‌ها در این پژوهش

3 - SLSUBBSN.hru

4 - OV_N.hru

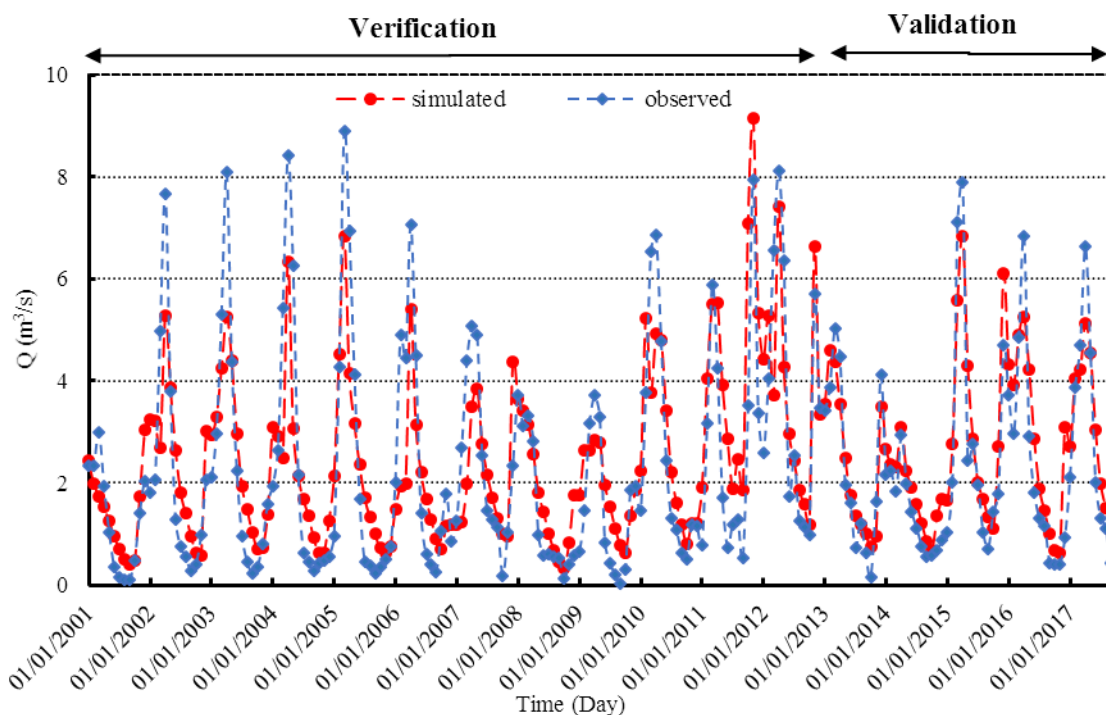
5 - CANMX.hru

6 - HRU_SLP.hru

7 - IGRO.mgt

8 - SOL_AWC(..).sol

9 - LAT_TTIME.hru



شکل ۷- مقایسه‌ی اندازه‌ی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی مدل.

Figure 7- Comparison of observational value and simulation in the verification and validation stage of the model.

یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های تشاگر و همکاران (۲۰۱۶)، محضری و همکاران (۲۰۱۶) و ریاک و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر اندازه‌های آماره‌های مزبور هم‌راستا است. بر اساس دقت زیاد مدل در شبیه‌سازی آب‌شناختی رواناب آبخیز بررسی‌شده در گام بعدی اقدام به اعمال عملیات آبخیزداری در مدل شد که شیوه‌ی اعمال این عملیات در مدل SWAT در جدول ۴ ارائه شده است.

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی نشان داد که برای شبیه‌سازی آب‌شناختی آبخیز کن کارایی مدل SWAT قابل قبول بود (شکل ۷). در این پژوهش، بر پایه‌ی نتایج به‌دست آمده، اندازه‌ی ضریب تبیین در مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/۶۹ و ۰/۸۶ بود. همچنین اندازه‌ی شاخص نش-ساتکلیف برای مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۹۳ بود. این

جدول ۴- شیوه‌ی اعمال تغییرات بخش عملیات آبخیزداری در مدل SWAT.

Table 4- How to apply changes in the watershed operation section in the SWAT Model.

Method	Variable				watershed operation
Terracing	USLE-P 0.18	Slope-SUB 10	Slope-HRU -20%	CN -6	Counter trench
Terracing	Ch-S2 -75%	Sol-K +10.8%	USLE-P 0.6	CN -6	Gabion check dams
Terracing	Esco +0.6	Filter-w +0.5		CN -2	loose- stone check dams

USLE-P=عامل مدیریت زمین در معادله‌ی جهانی فرسایش خاک، Slope-SUB=میانگین شیب زیرآبخیز، Slope-HRU=میانگین شیب واحدهای آب‌شناختی، CN=شماره‌ی منحنی، Sol-K=هدایت آبی در منطقه‌ی اشباع، Esco=ضریب جبران تبخیر خاک، Ch-S2=شیب آبراهه.

مهم بر این پیشنهاد بود. سرانجام با اعمال سناریوهای گوناگون عملیات آبخیزداری، سهم جریان جانبی^{۱۰} و تبخیر و تعرق از سطح آبخیز شاهد افزایش یافت. همچنین، اندازه‌ی آب در دسترس^{۱۱} و رواناب سطحی

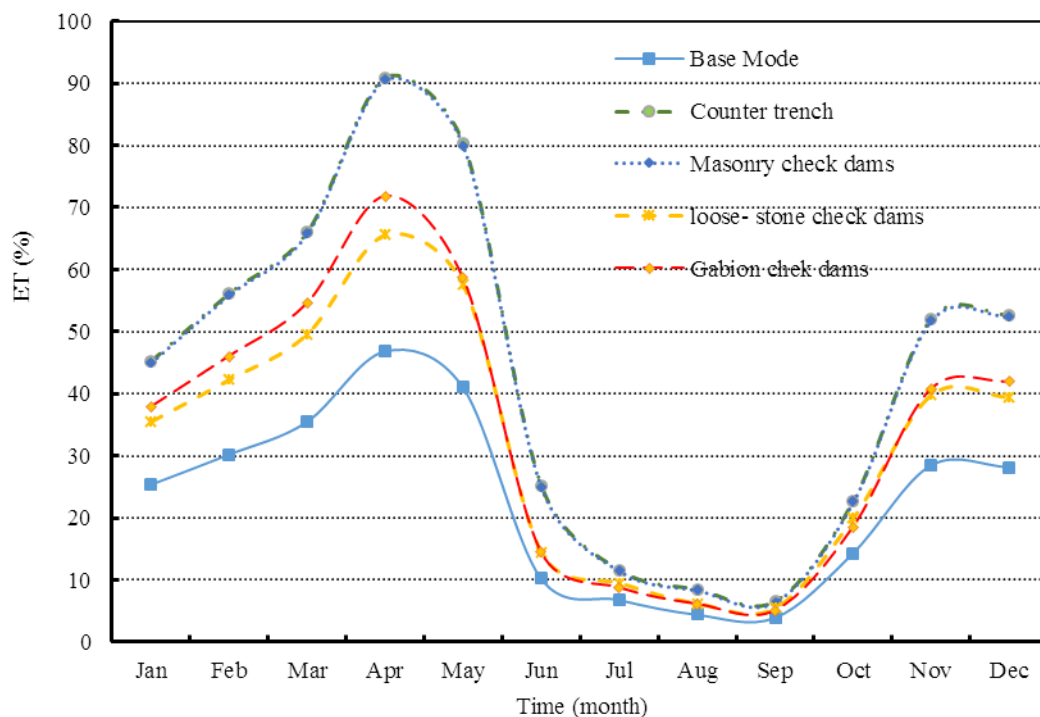
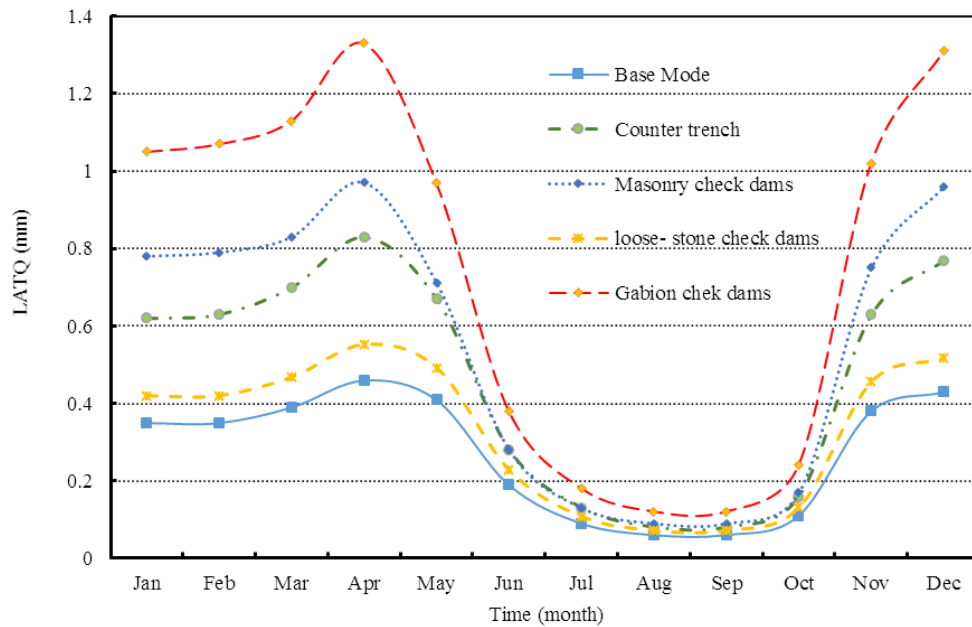
از آنجایی که مهار رسوب و سیل، کاهش آب‌دهی اوج و ذخیره نزولات هدف پیشنهاد سازه‌های توری‌سنگی، سنگی ملاتی و خشکه‌چین بود، اندازه‌ی ذخیره‌ی نزولات و حجم رسوبات قابل تجمع در بالادست سازه‌ها، یک دلیل

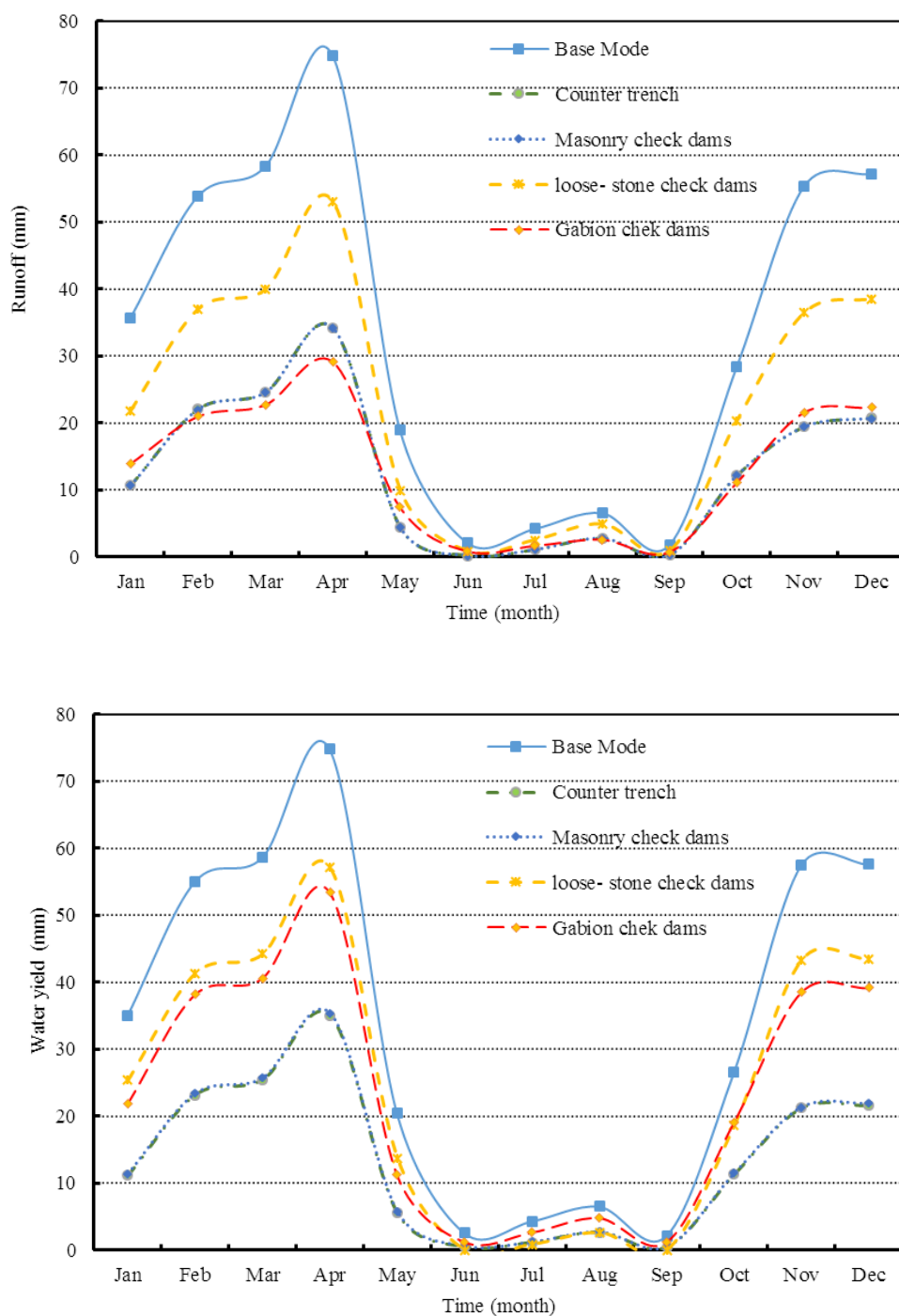
10 -LATQ (Lateral flow contribution to streamflow during timestep)

11- Water yield. The net amount of water that leaves the subbasin and contributes to streamflow in the reach during the time step.

گونه‌گون بر متغیرهای آب‌شناختی آبخیز بررسی شده در شکل ۸ نشان داده شده است.

نیز کاهش یافت. نتایج این پژوهش با یافته‌های جنگ و همکاران (۲۰۱۷) و پیو و همکاران (۲۰۱۷) هم‌راستا است. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی سناریوهای





شکل ۸- نتایج شبیه‌سازی سناریوها بر متغیرهای آب‌شناختی آبخیز مطالعه‌شده.

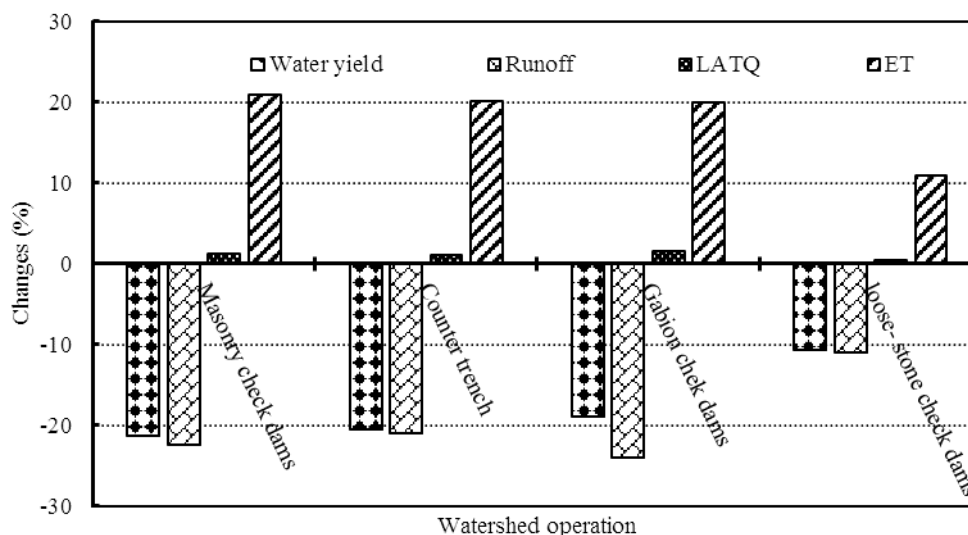
Figure 8- The results of the simulation of scenarios on the hydrological variables of the study area.

شبیه‌سازی، آب در دسترس، کاهش یافت. همچنین با توجه به اینکه در تمامی اقدام‌های حفاظتی در مقایسه با شرایط بدون عملیات آبخیزداری آب در دسترس کاهش یافت، نتایج نشان داد که در سازه‌های سنگی ملاتی و بانکت‌بندی، آب در دسترس، کمترین مقدار را داشت. در ادامه باید بیان نمود که جریان جانبی در اقدام‌های

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که عملیات آبخیزداری سبب نفوذ آب به درون خاک شده و با انجام فرآیند نفوذ موجب ورود جریان به آب‌های زیرزمینی می‌شود و یا اینکه رواناب سطحی از راه تبخیر و تعرق به چرخه‌ی آب باز می‌گردد. از این رو، بر پایه‌ی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، در تمام اقدام‌های حفاظتی انجام‌شده در فرآیند

بر اساس تمام سناریوهای عملیات آب‌خیزداری، جریان سطحی در مقایسه با دوره‌ی پایه کاهش یافت. در آب‌خیز کن بیش‌ترین اندازه‌ی رواناب (اردیبهشت‌ماه) ۷۵ میلی‌متر بود. در شرایط اجرای عملیات بندهای توری‌سنگی اندازه‌ی رواناب در همان ماه به ۳۰ میلی‌متر کاهش یافت. بیش‌ترین کاهش جریان سطحی در عملیات آب‌خیزداری بندهای توری‌سنگی و بانکت‌بندی و بندهای سنگی ملات بود. عملیات خشکه‌چین نیز در مقایسه با دیگر عملیات‌های آب‌خیزداری کمترین تأثیر را بر کاهش رواناب‌های سطحی داشت. درصد تغییرات متغیرهای بررسی‌شده در شرایط اعمال هر کدام از سناریوهای اقدام‌های آب‌خیزداری در شکل ۹ نشان‌داده شده است.

حفاظتی افزایش یافت. همچنین، عملیات آب‌خیزداری به‌ویژه عملیات‌های سازه‌ای با تعدیل شیب آبراهه و کاهش سرعت آب یا ذخیره‌ی آب در آبگیر بندهای اصلاحی، سبب افزایش زمان تمرکز آب‌خیز شدند. این موضوع موجب افزایش مقدار تبخیر و تعرق در سطح آب‌خیز نیز شد. در این پژوهش بر اساس نتایج شبیه‌سازی سناریوهای گوناگون عملیات آب‌خیزداری، مشخص شد که در این عملیات‌ها، میزان تبخیر و تعرق از سطح آب‌خیز کن افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار تبخیر و تعرق در اجرای عملیات بند سنگی ملاتی و بانکت‌بندی رخ داد و کمترین مقدار تبخیر و تعرق نیز در شرایط بدون عملیات آب‌خیزداری بود. این نتایج با یافته‌های پژوهش زارعی‌قورخودی و همکاران (۲۰۲۲) هم‌راستا است.



شکل ۹- درصد تغییرات متغیرهای بررسی‌شده در شرایط اجرای عملیات آب‌خیزداری در آب‌خیز کن.
Figure 9- The percentage of changes of the studied variables in the case of implementing watershed operations in the Kan watershed.

اجرای عملیات بندهای سنگی ملاتی بیش‌ترین افزایش تبخیر تعرق ۲۰/۸۶٪ و کمترین تغییر در شرایط احداث خشکه‌چین ۱۰/۸۷٪ در مقایسه با شرایط شاهد بود. در آب‌خیز کن تبخیر و تعرق در شرایط عملیات بانکت‌بندی و بند توری‌سنگی به‌ترتیب ۲۰/۱۹ و ۱۹٪ در مقایسه با شرایط شاهد افزایش یافت. نتایج این پژوهش با یافته‌های گلزاری و همکاران (۲۰۲۰) و مهری و همکاران (۲۰۲۳) هم‌راستا است.

نتیجه‌گیری

در آب‌خیزها نقش اقدام‌های آب‌خیزداری به‌شکل احداث سازه‌ها در کاهش اندازه‌ی رواناب سطحی و اثرگذاری آن بر متغیرهای آب‌شناختی، شیب، زمان تمرکز و

بر اساس نتایج این پژوهش در آب‌خیز بررسی‌شده در شرایط اجرای عملیات آب‌خیزداری به‌شکل بند توری‌سنگی، سنگی ملاتی، بانکت‌بندی و خشکه‌چین در مقایسه با اجرا نشدن عملیات‌های مزبور (شرایط شاهد)، رواناب سطحی به‌ترتیب ۲۵، ۲۳، ۲۱ و ۱۱٪ کاهش یافت. همچنین، بر اساس نتایج شبیه‌سازی سناریوها، در شرایط اجرای عملیات آب‌خیزداری به‌شکل بند توری سنگی، سنگی ملاتی، بانکت‌بندی و خشکه‌چین در مقایسه با شرایط شاهد، آب در دسترس به‌ترتیب ۱۹، ۲۱/۳، ۲۰/۵ و ۱۰/۷۵٪ کاهش یافت. در شرایط اجرای عملیات سنگی ملاتی جریان جانبی بیش‌ترین اندازه‌ی تغییر را داشت. در حالی‌که اثر نوع عملیات‌ها روی تغییر جریان جانبی معنی‌داری نبود. همچنین، در شرایط

شماره‌ی منحنی آبخیز موضوعی غیرقابل انکار است. از این رو، بررسی اندازه‌ی تأثیر این اقدام‌ها نیز بر فرآیندهای آب‌شناختی آبخیز اجتناب‌ناپذیر است. یکی از آبخیزهای مهم استان تهران آبخیز کن است به دلیل موقعیت خاص، رواناب آن به شکل مستقیم به شهر تهران وارد می‌شود. بر این اساس، در این پژوهش با استفاده مدل SWAT اقدام‌های آبخیزداری در آبخیز کن شبیه‌سازی شد و تأثیر این اقدام‌ها بر رواناب سطحی و متغیرهای آب‌شناختی بررسی و ارزیابی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تأثیر این اقدام‌ها در سطح آبخیز مزبور قابل قبول بود. بر پایه‌ی این نتایج، به دلیل اجرای عملیات آبخیزداری به شکل بند توری‌سنگی، سنگی ملاتی، بانکت‌بندی و خشکه‌چین در مقایسه با شرایط پایه (اجرا نشدن عملیات آبخیزداری) رواناب سطحی کاهش یافت. داده‌های برآوردشده‌ی اندازه‌های

سیلاب در ایستگاه سولقان، بیانگر رخداد سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله در شاخه‌ی اصلی رود کن بود. بر اساس نتایج بررسی نقش اقدام‌های آبخیزداری می‌توان گفت با اجرای این نوع طرح‌ها و همچنین برنامه‌های مدیریتی و زیستی احتمال رخداد سیل و خسارت‌های آن تا حد زیادی کاهش خواهد یافت. بر پایه‌ی قابلیت‌های مدل SWAT پیشنهاد می‌شود تأثیر دیگر عامل‌ها مانند پوشش گیاهی، کاربری زمین، تغییر اقلیم و تغییرات ناشی از تأثیر نیروی انسانی بر آبخیز و فرآیندهای آب‌شناختی بررسی شود. همچنین مدیران و سازمان‌های اجرایی می‌توانند بر اساس امکان کمی‌سازی زمانی-مکانی اثرات گوناگون اقدام‌های مدیریتی آبخیزداری در مدل SWAT، از آن برای تصمیم‌گیری استفاده کنند.

فهرست منابع

- Abbaspour K, Yang CJ, Maximov I, Siber R, Bogner K, Mieleitner J, Zobrist J, Srinivasan R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333 (2-4):413-430.
- Abuhay W, Gashaw T, Tsegaye L. 2023. Assessing impacts of land use/land cover changes on the hydrology of Upper Gilgel Abbay watershed using the SWAT model. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12:100-535.
- Ahmadaabadi E, Ghafarpour P. 2017. Evaluation of the effects of watershed management on the hydrogeomorphological characteristics of the Anbar basin by using the semi-distributed SWAT. *Space Planning and Design*, 21(2):35-55.
- Anteneh Y, Alamirew T, Zeleke G, Kassawmar T. 2023. Modeling runoff-sediment influx responses to alternative BMP interventions in the Gojeb watershed, Ethiopia, using the SWAT hydrological model. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(9):22816-22834.
- Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment, part I: model development. *Journal of the American Water Resources Associate*, 34(1):73-89.
- Basu AS, Gill LW, Pilla F, Basu B. 2022. Assessment of variations in runoff due to land-cover changes using the SWAT model in an Urban River in Dublin, Ireland. *Sustainability*, 14(1):534.
- Bekiaris IG, Panagopoulos IN, Mimikou NA. 2005. Application of the SWAT model in the Ronnea catchment of Sweden. *Global Journal*, 3: 252-257.
- Briak H, Moussadek R, Aboumaria K, Mrabet R. 2016. Assessing sediment yield in Kalaya gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3):177-185.
- Dolatabadi S, Mohamadian ME. 2013. Hydrological simulation of Firoozabad basin using SWAT model. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 14(29):48-38.
- Duan Z, Song X, Liu J. 2009. Application of SWAT for sediment yield estimation in a mountainous agricultural basin. In *Geoinformatics, 2009 17th International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.
- Ghoraba SM. 2015. Hydrological modeling of the Simly Dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model. *Alexandria Engineering Journal*, 54(3):583-594.
- Golzari S, zareabyaneh H, delavar M, Mobar-gaei Dinan N. 2020. Performance of SWAT Model in Quantitative and Qualitative Simulation of Runoff and Watershed Protective Measures in Zarrinehrood Basin. *Journal of Watershed Management Research*, 11(22):111-120. (In Persian).
- Goodarzi M, Motamed Vaziri B, Mir hoseini M. 2017. Assessment of IHACRES model in surface run-off simulation in climate change status: A case study Kan Basin. *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 11(38):83-94. (In Persian).
- Jang SS, Ahn SR, Kim SJ. 2017. Evaluation of executable best management practices in Haeon highland agricultural catchment of South Korea using SWAT. *Agricultural Water Management*, 180: 224-234.
- Kavian A, Mohammadi M, Gholami L, Rodrigo-comino J. 2018. Assessment of the spatiotemporal effects of land use changes on runoff and nitrate loads in the Talar River. *Water*, 10(445):1-19.
- Mahzari S, Kiani F, Azimi M, Khormali F. 2016. Using SWAT Model to Determine Runoff, Sediment Yield and Nitrate Loss in Gorganrood Watershed, Iran. *ECOPERSIA*, 4(2):1359-1377.

- Mehri S, Moradi HR, Mostafazadeh R. 2023. Simulation and determination of hydrological balance components in the upstream of Gheshlagh dam using SWAT model. *Environment and Water Engineering*, 9(4):485-495. (In Persian).
- Mohammadivand MR, Araghinejad S, Ebrahimi K, Modaresi F. 2019. Performance evaluation of AWBM, Sacramento and SimHyd models in runoff simulation of the Amameh Watershed using automatic calibration optimization method of genetic algorithm. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(7):1759-1769. (In Persian).
- Mtibaa S, Asano S. 2022. Hydrological evaluation of radar and satellite gauge-merged precipitation datasets using the SWAT model: Case of the Terauchi catchment in Japan. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 42:101-134.
- Nikolic G, Spalević V, Curovic M, Khaledi Darvishan A, Skataric G, Pajic M, Kavian A, Tanaskovik V. 2019. Variability of soil erosion intensity due to vegetation cover changes: Case study of Orahovacka Rijeka, Montenegro. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1):237-248.
- Pyo J, Baek SS, Kim M, Park S, Lee H, Ra JS, Cho KH. 2017. Optimizing agricultural best management practices in a Lake Erie Watershed. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 53(6):1281-1292.
- Sanchez GM, Nejadhashemi AP, Zhang Z, Marquart-Pyatt S, Habron G, Shortridge A. 2015. Linking watershed-scale stream health and socioeconomic indicators with spatial clustering and structural equation modeling. *Environmental Modelling and Software*, 70:113-127.
- Sedaghat Kerdar A, Fatahi E. 2008. Drought early warning methods over Iran. *Geography and Development*, 6(11): 59-76. (In Persian).
- Singh V, Karan SK, Singh C, Samadder SR. 2023. Assessment of the capability of SWAT model to predict surface runoff in open cast coal mining areas. *Environmental Science and Pollution Research*, pp. 1-11.
- Teshager AD, Gassman PW, Secchi S, Schoof JT, Misgna G. 2016. Modeling agricultural watersheds with the soil and water assessment tool (SWAT): Calibration and validation with a novel procedure for spatially explicit hrus. *Environmental management*, 57(4):894-911.
- Vilaysane B, Takara K, Luo P, Akkharath I, Duan W. 2015. Hydrological stream flow modelling for calibration and uncertainty analysis using SWAT model in the Xedone river basin, Lao PDR. *Procedia Environmental Sciences*, 28:380-390.
- Wang X, Melesse AM. 2005. Evaluation of the SWAT model's snowmelt hydrology in a northwestern Minnesota watershed. *Transactions of the ASAE*, 48(4):1-18.
- Woldemariam G, Iguala A, Tekalign S, Reddy R. 2018. Spatial modeling of soil erosion risk and its implication for conservation planning: The case of the Gobeles Watershed, East Hararghe Zone, Ethiopia. *Land*, 7(1):25.
- Xing Z, Wang Y, Ji Y, Fu Q, Li H, Qu R. 2018. Health assessment and spatial variability analysis of the Naolihe Basin using a water-based system. *Ecological Indicators*, 92:181-188.
- Zarei ghorkhodi A, Shahnazari A, Mohammadi F. 2022. Evaluation of the effect of dams on runoff and sediment parameters using SWAT model (Case study: Tajan River Watershed, Mazandaran). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 16(2):294-307. (In Persian).
- Zhang H, Wang B, Li Liu D, Zhang M, Leslie LM, Yu Q. 2020. Using an improved SWAT model to simulate hydrological responses to land use change: A case study of a catchment in tropical Australia. *Journal of Hydrology*, 585:124822.



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Effect of Watershed Practices on Hydrological Variables using SWAT Model in Kan Watershed

Mohammad Hossein Ghavimipناه¹, Leila Gholami^{*2}, Ataollah Kavian³, Seyed Hamid Reza Sadeghi⁴

- 1- Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3- Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

The implementation of watershed management practices in the country and the evaluation the conducted activities and effects investigation of these projects are essential on the governing processes at watershed. However, such an important approach has to be adequately considered.

Materials and Methods

Accordingly, the present study was planned with the simulation aim of the impact of watershed management practices on hydrological parameters using the SWAT model in the Kan Watershed in Tehran Province, Iran. Therefore, the first of the initial implementation of the model was carried out, and then it was calibrated and validated. In this research, SWAT-CUP software was used to usage of various instructions and objective functions and also to test and the model calibration and validation. In order to determination and comparison of the simulation conditions with the governing conditions on watershed applied the evaluation criteria such as the coefficient of explanation and the coefficient of efficiency.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** l.gholami@sanru.ac.ir

Citation: Ghavimipناه, M.H., Gholami, L., Kavian, A., Sadeghi, S.H.R. 2024. Effect of Watershed Practices on Hydrological Variables using SWAT Model in Kan Watershed. Watershed Management Research. 37(2): 93-109.

DOI: 10.22092/wmrj.2023.362356.1542

Received: 11 June 2023, **Received in revised form:** 03 July 2023, **Accepted:** 21 September 2023

Published online: 21 June 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.2, Ser. No: 143, Summer 2024, pp. 93-109.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center © Author(s)



Results and Discussion

The research results showed that the model efficiency was acceptable for the hydrological simulation of the studied watershed. So, the explanation coefficient for calibration and validation was with rates of 0.69 and 0.86 respectively. Also, the Nash-Sutcliffe index for the calibration and validation obtained with rates of 0.85 and 0.93, respectively. Then, watershed management practices simulated at the level of studied watershed. The simulated results showed that the surface runoff decreased with the practices of watershed management in the form of gabion, masonry check dam, counter trench and loose- stone check dam with the values of 25, 23, 21, and 11 percent, respectively. Also, the available water was more after the practices of watershed management in the form of gabion, masonry check dam, counter trench and loose- stone check dam with rates of 19.0, 21.3, 20.5 and 10.75 percent, respectively, compared to the absence conditions of these practices at the watershed level. Also, the maximum amount of flow changes observed in the practices conditions of masonry check dams. In addition, the evapotranspiration increased with implementation of gabion. masonry check dams, counter trench and loose- stone check dams with rates of 20.19, 20.86, 19.0 and 10.87 percent, respectively.

Conclusion and Suggestions

Based on the results of this research in the Kan watershed, the flood possibility and the flood damages can be reduced by practices of the watershed management, management and biological programs.

Keywords: Watershed Practices, Hydrologic Simulation, Soil Erosion, Soil and Water Assessment Tool, Hydrological Model



مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

رفتارسنجی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بُعد فراکتال آبخیز بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب

علی طالبی^{۱*}، محمد ملک‌شاهی^۲، حسین خورشیدی^۳، مهین کله‌هوئی^۴، سید هادی ابطحی^۵

۱ - استاد، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه یزد

۲ - دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه یزد

۳ - استادیار، دانشکده‌ی ریاضی دانشگاه یزد

۴ - دانش‌آموخته‌ی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۵ - دکترای مهندسی آب از دانشگاه ارومیه

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

شناخت نقش و عامل‌های مؤثر بر فرسایش خاک زمینه‌ی مناسبی را برای مدیریت خوب و شناسایی مناطق فرسایش‌پذیر فراهم می‌کند. مدیریت آبخیز، یکی از حساس‌ترین و پیچیده‌ترین انواع مدیریت منابع و تولید است. بُعد فراکتالی، ابزار بررسی اندازه‌ی پیچیدگی میان داده‌ها و ساده‌سازی پدیده‌های پیچیده‌ی طبیعت است. با این ابزار می‌توان رفتارسنجی و توان ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبخیز را با ایجاد الگوهای فراکتالی بررسی کرد. از این رو، در این پژوهش ارتباط و تعامل میان ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبخیز و بُعد فراکتال در تولید رواناب و رسوب بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های لازم از آمار کشور در ایستگاه‌های آب‌سنجی و همدید آبخیز، دریافت شد. ویژگی‌های آبخیز، بر اساس نقشه‌های پایه تهیه شد. ویژگی‌های فراکتالی مطالعه‌شده با استفاده از روش شمارش جعبه‌ای در نرم‌افزار Fractalyse 2.4 محاسبه شد. با روش تحلیل عاملی ۸۵ ویژگی مرتبط با آبخیز شناسایی شد. در این پژوهش برای انجام تحلیل‌های بیشتر، اندازه‌ی رواناب و رسوب سالانه با دوره‌های بازگشت گوناگون بررسی شد؛ بنابراین، پنج سناریوی مختلف بر اساس همگن بودن آبخیز، ویژگی‌های اقلیمی، ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌شناسی آبخیز، ویژگی‌های فیزیکی و اقلیمی به‌شکل هم‌زمان و ویژگی‌های فراکتالی آبخیز در نظر گرفته شد. هم‌بستگی میان اندازه‌ی آب‌دهی و رسوب برآورده (با دوره‌های بازگشت گوناگون) و ویژگی‌های مختلف ریخت‌شناسی نیز انجام شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: talebisf@yazdac.ir

استناد: طالبی، ع.، ملک‌شاهی، م.، خورشیدی، ح.، کله‌هوئی، م.، ابطحی، س. ۱۴۰۳. رفتارسنجی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بُعد فراکتال آبخیز بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۲): ۱۱۰-۱۳۲.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmrj.2023.362706.1546

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۴۳، تابستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۱۱۰ تا ۱۳۲.

نویسندگان ©

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



نتایج و بحث

نتایج روش تحلیل عاملی نشان داد که از میان ۸۵ ویژگی آبخیز، ۱۸ ویژگی مؤثر شامل مساحت، مساحت شیب ۱۲-۸ و ۲۰-۱۲٪، مساحت جهت شیب شرق در نه‌جهته، طول خطوط تراز ۱۰۰ متری، طول کل آبراهه، زمان تمرکز با روش کریچ، اختلاف بلندی، فراکتال خطوط تراز ۲۰۰ متری، انحراف از معیار رطوبت، اختلاف دما، میانگین شیب، شیب خالص آبراهه‌ی اصلی، میانگین دما، میانگین رطوبت، میانگین بارش، ضریب کشیدگی و فراکتال محیط آبخیز بودند. همچنین، ویژگی بُعد فراکتالی خطوط تراز ۲۰۰ متری و بُعد فراکتالی محیط آبخیز، توانستند به شکل قابل توجهی اندازه‌ی تغییرات کلی آب‌دهی و رسوب را تبیین کنند. این یافته نقش ویژگی‌های فراکتالی در روابط آب‌دهی و رسوب را به خوبی بیان کرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر پایه‌ی نتایج این پژوهش مشخص شد تقریباً تمام عامل‌های مؤثر در برآورد آب‌دهی و رسوب در آبخیزهای بزرگ، در مساحت و فراکتال محیط آبخیز خلاصه شده است و این دو ویژگی بیش‌ترین تغییرات آب‌دهی و رسوب را توجیه می‌کنند. از این رو، با کاهش مساحت آبخیزها نقش دیگر عامل‌ها از جمله جهت شیب، شیب خالص آبراهه و غیره در تبیین تغییرات بیشتر مشهود است و می‌توان گفت برای مهار کردن فرسایش و رواناب آبخیزها، تقسیم آبخیزهای بزرگ به آبخیزهای کوچک‌تر، بهترین اقدام است. گام بعدی انجام اقدام‌های آبخیزداری در این زیرآبخیزهای کوچک است. کاهش مساحت آبخیزها در بیشتر روابط به تنهایی توانست تا ۷۰٪ تغییرات رسوب را توجیه کند. پیشنهاد می‌شود که بهره‌وران و سودبران از یافته‌های این پژوهش در اجرای برنامه‌های توسعه و مدیریت آبخیزها استفاده کنند.

واژگان کلیدی: آبخیزهای همگن، بُعد فراکتال، خود تشابهی، فرسایش

مقدمه

سردا و همکاران (۲۰۲۱). کمی کردن فرسایش خاک در تمام بخش‌های گوناگون طرح‌های آبی، آب‌شناختی و به‌ویژه طرح‌های مدیریت جامع منابع آب و خاک و توسعه آبخیز، ضروری به نظر می‌رسد (ضیائی ۲۰۰۱). ویژگی‌های آبخیز را می‌توان در چهار گروه خصوصیت‌های اقلیم و رواناب، زمین‌شناسی و خاکشناسی، پستی‌بلندی (ژئومتری) و پوشش گیاهی و کاربری زمین طبقه‌بندی کرد. تولید رسوب انعکاسی از اهمیت و اندازه‌ی فرآیندهای فرسایشی و منابع رسوب در بخش‌های بالادست آبخیز است و چگونگی انتقال و ذخیره‌ی رسوب از لحظه حرکت مواد فرسایشی از نقطه‌ی جدایی تا خروجی آبخیز را نشان می‌دهد (هدلی و همکاران ۱۹۸۵). تحلیل پژوهش‌های ریخت‌شناسی، توصیف کمی ویژگی‌های هندسی آبخیز را به منظور درک بهتر شرایط ریخت‌شناسی فراهم می‌کند. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های ریخت‌شناسی از جمله شکل آبخیز، مساحت و محیط آبخیز، طول آبراهه اصلی، شیب و بلندی آبخیز تفسیر جامعی در زمینه‌ی پاسخ‌های آب‌شناختی مانند تولید رواناب، ظرفیت نفوذ، ظرفیت آب زیرزمینی و مؤلفه‌های فرسایش خاک ارائه می‌دهد (لینگ و وانگ ۲۰۰۶؛ نصرتی و همکاران ۲۰۱۷؛ سینگ و همکاران ۲۰۲۱). افزون بر

فرسایش خاک^۱ فرآیندی طبیعی و پیوسته است، که شدت آن با دخالت‌های غیراصولی از حد طبیعی فراتر می‌رود. در شرایط طبیعی اندازه‌ی هدررفت خاک در بوم‌سازگان دست‌نخورده، با اندازه‌ی تولید آن برابر است؛ اما شوربختانه امروزه به دلیل دخالت‌های بشر و فقدان مدیریت فعالیت‌های انسانی و بهره‌برداری بی‌رویه، این نظم به هم خورده است (صادقی ۲۰۱۰). بحث‌های فرسایش خاک به عنوان یکی از بحث‌های مهم در مدیریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست، منابع آب و طبعاً مدیریت جامع آبخیزها به شمار می‌رود (محمودزاده ۲۰۰۴) و در سال‌های اخیر، به یکی از نگرانی‌های کشورها به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، تبدیل شده است. از آنجایی که اهمیت آب و بحران کمیت و کیفیت آن از زمان گذشته وجود داشته است، حفظ و حراست از منابع آبی موجود یک ضرورت انکارناپذیر است (سولار و همکاران ۲۰۰۷؛ کارابلو و همکاران ۲۰۱۶؛ ریچاردز و همکاران ۲۰۲۱)، که این خود جزء یکی از عامل‌های مهم توسعه‌ی پایدار بوم‌سازگان است. کمی کردن فرسایش خاک، یکی از بزرگ‌ترین بحث‌های اساسی در مدیریت و حفاظت خاک و طبعاً پژوهش‌های منابع طبیعی و طرح‌های محیط‌زیست است (صادقی ۲۰۰۸؛

این، اطلاعات به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل ویژگی‌های ریخت‌شناسی می‌تواند به‌عنوان ابزار تعیین‌کننده‌ای در مدیریت منابع آب، حفاظت از فرسایش خاک، پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش، ارزیابی ظرفیت آب زیرزمینی و اولویت‌بندی آبخیزها، تجزیه و تحلیل فراوانی سیلاب و سرانجام مهار فرسایش به کار گرفته شود (توکورا و همکاران ۲۰۲۱؛ سالوی و همکاران ۲۰۱۷). روش‌های سنتی تعیین ویژگی‌های ریخت‌شناسی زمان‌بر، پرهزینه و نیازمند نیروی کار زیادی است. هم‌چنین متغیرهای فراوانی در رخداد پدیده و فرآیندهای موجود در آبخیز نقش دارند که برقراری تعامل میان آن‌ها با استفاده از روش‌های معمول ریاضی به‌سادگی میسر نیست. درک این مطلب که بسیاری از پدیده‌های موجود در عین بی‌نظمی، منظم هستند، می‌تواند هر جزء از بوم‌سازگان را به‌شکل یک عدد کمی هندسه‌ی فراکتال^۲ متصور کند (محمودی‌خوشوئی و اختصاصی ۲۰۱۹). یکی از ویژگی‌های اساسی فراکتال‌ها، که پایه و اساس تجزیه و تحلیل‌های فراکتالی است، خود تشابهی آماری^۳ است که بیان‌کننده‌ی تشابه ظاهری در یک یا تمام جهتها و مقیاس‌ها است (مندل بورت ۱۹۸۲). به‌عبارت‌دیگر، خود تشابهی آماری بیان‌کننده‌ی حالتی است که الگوی تغییرات مدنظر در یک مقیاس معین در دیگر مقیاس‌ها نیز تکرار می‌شود (بروگ ۱۹۸۳). میان بُعد فراکتال و بی‌نظمی شکل‌ها، ارتباط مستقیمی وجود دارد، به‌گونه‌ای که هر چه این بی‌نظمی بیش‌تر باشد، بُعد فراکتال آن بزرگ‌تر خواهد شد (طهماسبی و همکاران ۲۰۱۵). اخیراً اهمیت کاربرد هندسه‌ی فراکتال، سبب‌شده تا پژوهشگران با استفاده از شاخص‌هایی، تعامل و تبیین ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبخیز را تحلیل و بررسی کنند (مندلبروت ۱۹۸۳؛ چین و همکاران ۲۰۲۳). روش شمارش جعبه‌ای^۴ یکی از مهم‌ترین روش‌های محاسبه‌ی بُعد فراکتال است که می‌تواند بُعد فراکتالی تمام عناصرها، ابعاد و شکل‌های گوناگون را محاسبه کند و در مقایسه با دیگر روش‌ها سرعت بیش‌تری دارد. در زمینه‌ی کاربرد بُعد فراکتال در شناسایی ارتباط میان پدیده‌ها، پژوهش‌های پرشماری انجام‌شده است (شهزاد و همکاران ۲۰۱۰؛ خان‌بابایی و همکاران ۲۰۱۳؛ ایباز و همکاران ۲۰۱۴؛ ژانگ و همکاران ۲۰۱۵؛ دیاکونو و همکاران ۲۰۱۷؛ هو و همکاران ۲۰۲۰؛ ریل و همکاران ۲۰۲۱؛ کابویه و همکاران ۲۰۲۱). بُعد فراکتال در زمینه‌ی تحلیل فراکتالی در تولید رواناب (اسلام و سیواکومار ۲۰۰۲؛ گارسیا سرانا و همکاران ۲۰۱۸)، بارش ماهانه (مین و

همکاران ۲۰۰۴)، آب‌دهی جریان رود (موحد و هرمنیس ۲۰۰۸)، منشاء‌یابی رسوب (شانگ و کامای ۲۰۰۵؛ کائو و ژانگ ۲۰۲۳)، تغییر کاربری زمین (دیاکونو ۲۰۱۶) و مهندسی رودها و الگوی زهکش (دیمری و همکاران ۲۰۰۹) نیز اهمیت زیادی دارد. خسروی و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی نشان دادند که در آبخیزهای دامنه‌ی شمال بینالود، میان بُعد فراکتال نسبت انشعاب با مساحت آبخیزهای مطالعه‌شده، رابطه‌ی معکوس و منفی داشت. هم‌چنین، میان بُعد فراکتال انشعاب رود و شکل آبخیز نیز بیش‌ترین ضریب همبستگی وجود داشت. در استان ایلام، علمیرادی و همکاران (۲۰۱۸)، دریافتند که رابطه‌ی میان بُعد فراکتال و حساسیت سازندها معنی‌دار است، به‌شکلی که با افزایش حساسیت سنگ‌شناسی و به دنبال آن تراکم زهکشی، بر اندازه‌ی عدد فراکتال افزوده شد. در استان یزد در آبخیز تفت، بزرگری‌دهج و همکاران (۲۰۲۰)، کارایی روش تراکم شبکه زهکش را با روش بُعد فراکتال شبکه‌ی زهکش مقایسه کردند. این پژوهشگران گزارش کردند که ارزیابی کارایی روش تراکم شبکه‌ی زهکش در شناسایی و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی بررسی‌شده بسیار خوب بود.

سرانجام، آبخیز به‌عنوان یک واحد مدیریتی، پدیده‌ای فراکتالی است که بررسی الگوهای موجود آن برای دستیابی به مدیریت جامع ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، این پژوهش با اهداف بررسی ارتباط میان خصوصیات فیزیکی آبخیزها و اندازه‌ی رواناب و رسوب تولیدی آن‌ها انجام شد. هم‌چنین، ارتباط میان بُعد فراکتال آبخیز با اندازه‌ی تولید رواناب، فرسایش و رسوب نیز بررسی شد. با آگاهی از رفتارهای آب‌شناختی گوناگون آبخیزهای مختلف بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی، شناسایی آبخیزهای بحرانی گامی ضروری در برنامه‌های آبخیزداری به شمار می‌آید. ازاین‌رو، شناسایی این عامل‌ها برای تصمیم‌گیرندگان و مدیران آبخیز امری ضروری است و باید از ویژگی‌ها و فرآیندهای رخ‌داده آگاه باشند.

مواد و روش‌ها

معرفی ایستگاه‌های آب‌سنجی بررسی‌شده

در این پژوهش، نخست آمار آب‌دهی روزانه‌ی طولانی‌مدت و رسوب ۱۱۳ ایستگاه‌های آب‌سنجی انتخاب شد. سپس بررسی‌های اولیه در مورد تعداد سال آماری و مشکلات جانمایی ایستگاه انجام شد. سرانجام، ۹۳ ایستگاه آب‌سنجی در هفت استان تهران،

2 - Fractal

3 - Statistical Self-Similarity

4 -Box- counting Method

زیاد را داشته باشد، تهیه شد. نام و اختصار ۴۸ ویژگی به‌دست‌آمده از این مدل در جدول ۱ نشان‌داده شده است. روش‌های تجربی پرشماری برای محاسبه‌ی زمان تمرکز پیشنهادشده است که هرکدام به‌نوبه‌ی خود قابل‌اعتماد و کاربردی است. ولی با توجه به اینکه رابطه‌های تجربی معمولاً در شرایط خاصی به‌دست‌آمده‌اند، انتخاب روش مناسب برای هر آبخیز با در نظر گرفتن شرایط فیزیکی، ریخت‌شناسی، پوشش گیاهی، وضعیت آبراهه‌ها، و تفسیر و تحلیل کارشناس مجرب امکان‌پذیر است. در این پژوهش، از چند روش برای محاسبه‌ی زمان تمرکز استفاده شد (جدول ۲). ویژگی‌های شبکه‌ی جریان آبخیز در جدول ۳ نشان‌داده شده است.

خراسان رضوی، گرگان، مازندران، کردستان، لرستان و چهارمحال بختیاری انتخاب نهایی شد. با استفاده از نرم‌افزار HEC-DSSVue^۵ داده‌های روزانه آبدهی به داده‌های توالی زمانی تبدیل شد. همگنی و بهنجار بودن داده‌های میانگین آبدهی و بیشینه‌ی سالانه بررسی شد. همچنین آمار بارندگی، میانگین دما و میانگین رطوبت سالانه ۱۸۰ ایستگاه همدید کشور استفاده شد. با استفاده از مدل SWAT (الحاقی تحت ArcGIS۹,۳) آبخیزهای زهکشی در ایستگاه‌های آب‌سنجی تهیه شد. سپس، با استفاده از قابلیت مدل نویسی در نرم‌افزار ArcGIS مدلی که توانایی انجام محاسبات ریخت‌شناسی آبخیز به‌شکل خودکار و با دقت

جدول ۱- ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبخیز.

Table 1- Parameters related to the morphology of the watershed.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
Km ²	S0-2	The slope area is 0-2%	25	Km ²	A	Area	1
Km ²	S2-5	The slope area is 2-5%	26	km	P	Perimeter	2
Km ²	S5-8	The slope area is 5-8%	27	km	Le	Basin length	3
Km ²	S8-12	The slope area is 8-12%	28	-	FF	Horton coefficient	4
Km ²	S12-20	The slope area is 12-20%	29	-	Cg	Gravel's coefficient	5
Km ²	S20-30	The slope area is 20-30%	30	-	Rc	Miller's roundness coefficient	6
Km ²	S30-60	The slope area is 30-60%	31	-	Re	Slenderness ratio	7
Km ²	S>60	The slope area is more than 60%	32	km	Rw	The width of the equivalent rectangle	8
Km ²	As5p	The area of the flat slope direction	33	km	Rl	The length of the equivalent rectangle	9
Km ²	As5n	The area of the north slope in 5 directions	34	km	D	The diameter of a coplanar circle	10
Km ²	As5e	The area of the east slope in 5 directions	35	Km ²	A3d	Basin surface area	11
Km ²	As5s	The area of the south slope in 5 directions	36	Km ³	V	The volume of the basin	12
Km ²	As5w	The area of the west slope in 5 directions	37	m	Hmin	Minimum elevation	13
Km ²	As9n	The area of the north slope in 9 directions	38	m	Hmax	Maximum elevation	14
Km ²	As9ne	The area of the northeast slope in 9 directions	39	m	Hmea	Mean elevation	15
Km ²	As9e	The area of the east slope in 9 directions	40	m	Hsd	Deviation from the elevation	16
Km ²	As9se	The area of the south-east slope in 9 directions	41	m	Hmed	Middle elevation	17
Km ²	As9s	The area of the south slope in 9 directions	42	m	Hran	Elevation difference	18
Km ²	As9sw	The area of the south-west slope in 9 directions	43	m	Hstr	Straight elevation	19
Km ²	As9w	The area of the west slope in 9 directions	44	%	Smin	Minimum slope	21
Km ²	As9nw	The area of the north-west slope in 9 directions	45	%	Smax	Maximum slope	21
km	C50	The length of the alignment lines is 50 m in the basin	46	%	Smea	Mean slope	22
km	C100	The length of the alignment lines is 100 m in the basin	47	%	Ssd	Deviation from the slope	23
km	C200	The length of the alignment lines is 200 m in the basin	48	%	Sran	Slope difference	24

جدول ۲- روش‌های تجربی محاسبه‌ی زمان تمرکز.

Table 2- Experimental methods for estimation time of concentration.							
Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
hr	Tj	Johnston-Cross	5	hr	Tke	Kerpich method	1
hr	Tkar	Carter	6	hr	Tw	Williams method	2
hr	Te	Spy	7	hr	Tc	Chow method	3
hr	Tsc	SCS empirical relation	8	hr	Tkal	California	4

جدول ۳- ویژگی‌های شبکه‌ی جریان آبخیز.

Table 3- Parameters related to the watershed flow network.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
m	Shmim	The starting elevation of the main stream	5	-	So	Main stream category	1
m	Shmax	The elevation of the end of the main stream	6	km	Sls	Total length of stream	2
%	Shnet	The elevation of the end of the main stream	7	km.km ²	Sd	Stream density	3
%	Shgro	The gross slope of the main stream	8	km	Slm	The length of the main stream	4

بارش، میانگین سالانه‌ی دما و میانگین سالانه‌ی رطوبت به‌منظور تجزیه و تحلیل‌های منطقه‌ای آب‌دهی و رسوب برای هر آبخیز از ایستگاه‌های هم‌دید و هواشناسی تهیه شد (جدول ۴).

ویژگی‌های اقلیمی

ازجمله پژوهش‌های مهم در طرح‌های آبخیزداری و به‌طور کلی پژوهش‌های آب‌و‌خاک، بررسی‌های هوا و اقلیم‌شناسی است و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آن اهمیت زیادی دارد. ویژگی‌های میانگین سالانه‌ی

جدول ۴- ویژگی‌های اقلیمی بررسی‌شده به همراه اختصار آن‌ها.

Table 4- Climatic parameters studied with their codes.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
%	Humea	Mean moisture	9	mm	Rmin	The least rainfall	1
%	Husd	Deviation from the moisture standard	10	mm	Rmax	The most rainfall	2
C	Tmin	The lowest mean temperature	11	mm	Rrang	Rainfall difference	3
C	Tmax	Maximum mean temperature	12	mm	Rmean	Rainfall mean	4
C	Trang	Temperature difference	13	mm	Rsd	Rainfall deviation	5
C	Tmean	Mean temperature	14	%	Humin	The lowest moisture	6
C	Tsd	deviation from the temperature standard	15	%	Humax	Maximum moisture	7
				%	Hurang	Moisture difference	8

۴ i قطعه با این طول تشکیل شده است (پاون و همکاران ۲۰۲۳)، بنابراین، بُعد فراکتالی منحنی کُخ با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود.

(۲)

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log[4^n]}{\log(\frac{1}{\varepsilon})^n} = \frac{\log 4}{\log 3} = 1.2618595$$

بر پایه‌ی این مثال، بُعد فراکتالی عموماً ناصحیح است، یعنی منحنی کُخ باوجود یک‌بُعدی بودن توانایی پر کردن صفحه را دارد و یک‌خم فضاپرکن است؛ بنابراین، بُعد فراکتالی آن عددی میان بُعد ۱ (بُعد خط راست) و بُعد ۲ (بُعد صفحه) است.

ویژگی‌های فراکتالی

برای محاسبه‌ی ویژگی‌های شکل (مساحت، محیط آبخیز،

روش‌های محاسبه‌ی بُعد فراکتالی

تعیین بُعد فراکتالی با روش‌های گوناگونی انجام می‌شود و روش شمارش جعبه‌ای، یکی از پرکاربردترین روش‌ها است (لیم و همکاران ۲۰۲۳). برای تعیین بُعد فراکتالی یک شبکه‌ی آبراهه، شبکه‌هایی با اندازه‌ی واحد شبکه‌ی متغیر روی شبکه‌ی آبراهه قرار می‌گیرند و با استفاده از رابطه‌ی ۱، بُعد فراکتالی شبکه‌ی زهکشی به‌دست می‌آید.

(۱)

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log[N(\varepsilon)]}{\log(\frac{1}{\varepsilon})}$$

E: اندازه‌ی واحد شبکه و N(ε): حداقل تعداد خانه‌هایی از شبکه است که به‌طور کامل منحنی را پوشش می‌دهند. از آنجایی که در مرحله‌ی i از ساخت منحنی کُخ، طول هر قطعه از منحنی کُخ i(1.3) L و منحنی در هر مرحله از

شماره‌ای روی هر کدام از شکل‌ها انجام شد و سرانجام بعد فراکتال محاسبه شد (جدول ۵).

خطوط تراز ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متری) و شبکه‌ای آبراهه از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Fractalyse 2.4، محاسبات روش جعبه‌ای

جدول ۵- ویژگی‌های فراکتالی آبخیز.

Table 5- Fractal parameters of the watershed.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
-	FC100	Fractal lines of 100 m	4	-	Fa	Fractal basin area	1
-	FC200	Fractal lines of 200 m	5	-	Fp	Fractal of the basin perimeter	2
-	Fst	Fractal stream network	6	-	FC50	Fractal lines of 50 m	3

و میانگین سالانه رسوب خروجی، برای هر آبخیز میانگین آب‌دهی و میانگین سالانه پیشینه‌ی آب‌دهی با دوره‌های بازگشت گوناگون برآورد شد. برای ویژگی‌های رواناب و رسوب کدی در نظر گرفته شد که به ترتیب در روابط تحلیل منطقه‌ای رواناب و رسوب استفاده شد (جدول ۷).

ویژگی‌های رواناب و رسوب

میانگین سالانه‌ی رواناب و میانگین سالانه‌ی پیشینه‌ی رواناب ایستگاه‌های آب‌سنجی با دوره‌های بازگشت گوناگون، محاسبه شد (جدول ۶). با استفاده از روابط متقابل آب‌دهی و رسوب آبخیزها و قرار دادن عدد میانگین سالانه‌ی آب‌دهی و میانگین سالانه‌ی پیشینه

جدول ۶- ویژگی‌های رواناب آبخیز.

Table 6- Parameters related to watershed runoff.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
m ³ .s	P2Mean	Maximum discharge of 2 years	6	m ³ .s	P2MAX	Maximum discharge of 2 years	1
m ³ .s	P10Mean	Maximum discharge of 10 years	7	m ³ .s	P10MAX	Maximum discharge of 10 years	2
m ³ .s	P25Mean	Maximum discharge of 25 years	8	m ³ .s	P25MAX	Maximum discharge of 25 years	3
m ³ .s	P50Mean	Maximum discharge of 25 years	9	m ³ .s	P50MAX	Maximum discharge of 25 years	4
m ³ .s	P100Mean	Maximum discharge of 100 years	10	m ³ .s	P100MAX	Maximum discharge of 100 years	5

جدول ۷- ویژگی‌های رسوب آبخیز.

Table 7- Parameters related to sedimentation of watersheds.

Unit	Code	Parameter	No	Unit	Code	Parameter	No
ton.da y	S2Mean	Maximum sediment of 2 years	6	ton.da y	S2MAX	Maximum sediment of 2 years	1
ton.da y	S10Mean	Maximum sediment of 10 years	7	ton.da y	S10MAX	Maximum sediment of 10 years	2
ton.da y	S25Mean	Maximum sediment of 25 years	8	ton.da y	S25MAX	Maximum sediment of 25 years	3
ton.da y	S50Mean	Maximum sediment of 50 years	9	ton.da y	S50MAX	Maximum sediment of 50 years	4
ton.da y	S100Mean	Maximum sediment of 100 years	10	ton.da y	S100MAX	Maximum sediment of 100 years	5

علامت آن بیانگر جهت این رابطه است.

در بسیاری از بررسی‌های آب‌شناختی، بیش از دو ویژگی می‌تواند برای یک ناحیه اندازه‌گیری شود. چنانچه در بررسی هم‌بستگی متغیرها، طبیعت روابط میان متغیرهای مستقل و وابسته به‌دقت شناخته‌نشده باشند، مشکلاتی را پدید می‌آورند. وجود ضریب هم‌بستگی معنی‌دار میان دو متغیر، دلیل بر وجود رابطه‌ی ژنتیکی میان آن‌ها نیست. در زمینه‌ی تأثیر متقابل متغیرهای مستقل-وابسته، ضریب هم‌بستگی احتمالاً دلیل بر وجود پیوستگی ژنتیکی میان آن‌ها است، یا این‌که هر دو متغیر با روش مشابه، به متغیر مستقل ناشناخته‌ی سومی وابسته می‌باشند. در شرایطی که

روابط هم‌بستگی

در این پژوهش، ضریب هم‌بستگی برای تعیین اندازه‌ی تغییرات یک متغیر در نتیجه‌ی تغییر متغیر دیگر، استفاده شد. هم‌چنین، در ایستگاه‌های آب‌سنجی، برای تعیین بهترین رابطه‌ی میان آب‌دهی و رسوب معلق از روابط هم‌بستگی استفاده شد. ضریب r اندازه‌ی هم‌بستگی میان آب‌دهی و رسوب را نشان می‌دهد که اندازه‌ی آن میان $+1$ و -1 متغیر است. چنانچه اندازه‌ها به سمت مثبت میل کنند، نشان‌دهنده‌ی هم‌بستگی مثبت و اگر به سمت منفی میل کنند، نشان‌دهنده‌ی هم‌بستگی منفی است. اندازه‌ی r شدت رابطه‌ی خطی میان آب‌دهی و رسوب را نشان می‌دهد و

20 As9e، C100، Sls، Hran، Smea، Sh-net و Re)، ویژگی‌های ریخت‌شناسی و اقلیمی A، S8-12، S12-20، As9e، C100، Sls، Hran) Smea، Shnet، Husd، Trang، TMean، Hu-Fp و FC200) در تحلیل عاملی بررسی شدند و وارد نرم‌افزار SPSS شدند. آزمون بهنجار بودن داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کلموگروف - اسمیرنوف انجام شد. با استفاده از تابع تشخیص اعتباریابی انجام شد و گروه‌ها ارزیابی شدند.

نتایج و بحث

نتایج ضریب همبستگی ویژگی‌های گوناگون

نتایج بررسی ضریب همبستگی در این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین همبستگی میان ویژگی‌های یکسان و برخی ویژگی‌های جفتی بود. همچنین، بیش‌ترین همبستگی مثبت میان ویژگی‌های مساحت با قطر دایره‌ی هم‌سطح، محیط با طول مستطیل معادل، ضریب هورتن با ضریب کشیدگی، طول خطوط تراز ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متری با یکدیگر، بود و فقط در ضریب گراولوس و ضریب گردی میلر بیش‌ترین ضریب همبستگی منفی مشاهده شد. نتایج داده‌های میانگین حسابی، انحراف از معیار، چولگی و کشیدگی تجزیه و تحلیل‌های ریخت‌شناسی، اقلیمی و آب‌شناسی آبخیزها در جدول ۸ ارائه شده است. ضریب همبستگی پیرسون برای تعیین ارتباط میان دو متغیر با اندازه‌ی متفاوت است. این ضریب در میان ویژگی‌های فیزیکی به شکل ماتریسی در جدول ۹ نشان داده شده است. همبستگی‌های کم‌تر از ۰/۶ و متغیرهایی که در هیچ‌جا همبستگی معنی‌داری نداشتند در جدول مزبور آورده نشده است.

تأثیر بیش از یک متغیر مستقل بر متغیرهای وابسته‌ای مشخص شود، تعیین تأثیر یک متغیر با کمک مهار تأثیر دیگر متغیرها، سودمند خواهد بود. این روش مهار کردن را می‌توان با روش همبستگی جزئی انجام داد. برای بررسی مجموعه‌ی بزرگی از داده‌ها، روش مؤثرتر و پیچیده‌ای تحت عنوان تحلیل عاملی وجود دارد که با کمک این روش می‌توان حجم زیادی از اطلاعات عددی را کاهش داد و به شکل معنی‌داری آن‌ها را مرتب کرد.

تجزیه و تحلیل‌های عاملی

در تجزیه و تحلیل وایازی چندگانه، رابطه‌ی عددی بیش از دو متغیر در یک‌زمان، بررسی می‌شود. تحلیل عاملی معمولاً در چهار مرحله: تولید ماتریسی از ضریب‌های همبستگی، استخراج عامل‌های اصلی از ماتریس ضریب‌ها، ایجاد ارتباط میان متغیرها و بعضی از عامل‌ها انجام می‌شود و سرانجام هر یک از عامل‌ها امتیازبندی می‌شود. برای تحلیل عاملی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

تعیین همگنی آب‌شناختی آبخیزها

برای انجام تحلیل‌های بیش‌تر در آبخیز و به‌دست آوردن مدلی برای محاسبه‌ی اندازه‌ی رواناب و رسوب سالانه با دوره‌های بازگشت گوناگون، پنج سناریوی مختلف را بر اساس همگن بودن آبخیز، ویژگی‌های اقلیمی، ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌شناسی آبخیز، ویژگی‌های فیزیکی و اقلیمی به شکل هم‌زمان و ویژگی‌های فراکتالی آبخیز در نظر گرفته شد. ویژگی‌های اقلیمی (RMean، Husd، Trang، TMean، Humea) و ویژگی‌های ریخت‌شناسی (S8-12، S12-) A

جدول ۸- چکیده‌ی آماری ویژگی‌های آبخیزهای بررسی‌شده.

Table 8- Statistical summary of the parameters of the studied watersheds.

Skewness	Kurtosis	Deviation from the standard	Max	Min	Average	Parameters	Skewness	Kurtosis	Deviation from the standard	Max	Min	Average	Parameters
5.12	28.04	525.3	3353.8	0	170.6	S0-2	3.64	16.76	2545.6	16771.4	16.9	1407.3	A
4.79	27.99	515.7	3730	0	214.9	S2-5	1.79	3.67	203.2	1065.2	23.6	213.8	P
4.47	27.27	299.9	2230	0	148.9	S5-8	2.08	5.86	46.5	273.2	7	50.3	Le
4.16	23.02	279.2	1990	0.1	145.7	S8-12	0.06	-0.21	0.1	0.61	0.12	0.35	FF
3.47	13.97	381.5	2290	0.5	209.5	S12-20	0.86	0.81	0.29	2.94	1.47	1.98	Cg
3.09	10.28	327.4	1740	1.4	188.7	S20-30	0.15	-0.5	0.07	0.46	0.11	0.27	Rc
2.73	7.34	457.2	2180	2.3	275.3	S30-60	-0.39	0.06	0.1	0.88	0.39	0.66	Re
3.8	16.75	110.5	710.5	0	53.6	S-60	1.7	3.28	6.77	33.89	1.58	8.53	Rw
4.77	26.8	1305.9	9151.4	0.3	535.3	As5p	1.82	3.79	94.71	494.96	10.02	97.62	RI
2.97	9.33	395.1	2000	0.1	231.6	As5n	3.64	16.76	1621.4	10682.4	10.8	896.3	D
3.5	15.33	324.7	2100	6.1	192.2	As5e	4	20.93	2440.5	17043.7	18.4	1347.3	A3d
2.85	8.79	404.1	2180	4.1	244.8	As5s	3.74	16.38	2450.1	15666.7	11.1	1152.8	V
2.83	8.62	337	1740	3	203.3	As5w	-0.92	-0.02	523.4	2245	31	1336.3	Hmin
2.89	8.69	197.8	987	0	116.2	As9n	0.3	0.96	638.2	5594	1914	3286.8	Hmax
3.26	11.62	228.2	1220	0.2	129.2	As9ne	-0.39	-0.07	493.8	3267.2	755.3	2063.1	Hmea
3.85	19.32	155.5	1071.6	2.9	90.6	As9e	0.2	0.3	133.6	739	81	364	Hsd
2.92	10.02	141.8	829.9	2.2	88.7	As9se	-0.42	0.04	512.2	3278	648	2026.6	Hmed
2.75	7.98	200.9	1060	1.6	123.2	As9s	1.2	4.36	709.6	5230	527	1950.4	Hran
3.18	11.58	246.3	1440	0.4	139.7	As9sw	-0.59	-0.14	463.4	3295.5	1135	2311.6	Hstr
2.82	8.72	157.9	850.7	0.7	96	As9w	4.21	22.16	0.8	5.7	0	0.4	Smin
3.05	10.44	150.3	834.4	0.2	88.9	As9nw	1.86	6.12	53.2	381.7	51.8	131.5	Smax
2.72	7.4	9524.8	45490.8	175.9	5827.3	C50	0.3	-1.11	12.9	52.7	7.5	27.6	Smea
2.72	7.37	4763.6	22752.2	86.1	2916.8	C100	-0.2	0.09	3.5	24.3	7.7	15.8	Ssd
2.72	7.41	2382.6	11389.5	42.7	1463.6	C200	9.27	86	439547.9	4076331	51.6	47528.8	Sran

جدول ۹- ضریب هم‌بستگی پیرسون میان ویژگی‌های فیزیکی.

Table 9- Pearson correlation coefficient between physical parameters.

Log Hstr	Log Hran	Log Hmed	Hsd	Log Hmea	Log Hmax	Hmin	Log V	Log A3d	Log D	Log Rl	Log Rw	Log Re	Log Rc	Log Cg	Log FF	Log Le	Log P	Log A	parameters
							0.95	0.98	1	0.98	0.98					0.98	0.99	1	Log A
							0.94	0.97	0.99	1	0.94		-	0.66		0.99	1	0.99	Log P
							0.93	0.96	0.98	0.99	0.93		0.66	0.68		1	0.99	0.98	Log Le
												1	0.68	-0.68	1				Log FF
										0.67		-	-1	1	-	0.68	0.66		Log Cg
										-		0.68	1	-1	0.68	-	-0.66		Log Rc
										0.67						0.68			Log Re
							0.93	0.97	0.98	0.94	1		0.68	-0.68	1	0.93	0.94	0.98	Log Rw
							0.93	0.97	0.98	1	0.94		-	0.67		0.99	1	0.98	Log Rl
												0.67							
							0.95	0.98	1	0.98	0.98					0.98	0.99	1	Log D
							0.94	1	0.98	0.97	0.97					0.96	0.978	0.98	Log A3d
							1	0.94	0.95	0.93	0.93					0.93	0.942	0.95	Log V
0.73		0.74		0.76		1													Hmin
0.83	0.684	0.65		0.68	1														Log Hmax
0.92		0.99		1	0.68	0.76													Log Hmea
	0.85		1																Hsd
0.89		1		0.99	0.65	0.74													Log Hmed
	1		0.85		0.68														Log Hran
1		0.89		0.92	0.83	0.73													Log Hstr
								-0.7	-	-	-					-	-0.7	-	Log Smin
									0.71	0.69	0.65					0.72		0.71	
	0.7						0.66												Log Smax
								-0.6	-0.6								-0.6	-0.6	Log Smea
	0.64		0.61																Log Ssd
-0.72			0.68																Sran
							-												
							0.64												
							0.78	0.9	0.91	0.91	0.88					0.9	0.91	0.91	Log S0-2
							0.79	0.91	0.92	0.92	0.89					0.91	0.92	0.92	Log S2-5
							0.81	0.91	0.93	0.93	0.9					0.92	0.93	0.93	Log S5-8
							0.84	0.92	0.94	0.94	0.91					0.93	0.94	0.94	Log S8-12
							0.88	0.94	0.95	0.95	0.92					0.94	0.95	0.95	Log S12-20
							0.93	0.94	0.95	0.95	0.92					0.94	0.95	0.95	Log S20-30
	0.71						0.94	0.85	0.86	0.86	0.84					0.85	0.86	0.86	Log S30-60
	0.84		0.6				0.67												Log S>60
							0.81	0.92	0.93	0.93	0.91					0.92	0.93	0.93	Log AsSp
							0.92	0.92	0.93	0.92	0.91					0.92	0.93	0.93	Log As5n
							0.95	0.95	0.96	0.95	0.93					0.95	0.96	0.96	Log As5e
							0.95	0.94	0.95	0.94	0.93					0.93	0.95	0.95	Log As5s
							0.94	0.95	0.96	0.96	0.94					0.94	0.96	0.96	Log As5w
							0.88	0.88	0.89	0.89	0.87					0.88	0.89	0.89	Log As9n
							0.93	0.93	0.94	0.93	0.92					0.93	0.94	0.94	Log As9ne
							0.94	0.94	0.95	0.95	0.93					0.95	0.95	0.95	Log As9e
							0.96	0.94	0.95	0.95	0.93					0.94	0.95	0.95	Log As9se
							0.94	0.93	0.95	0.93	0.93					0.92	0.94	0.95	Log As9s
							0.89	0.91	0.92	0.91	0.91					0.89	0.91	0.92	Log As9sw
							0.92	0.94	0.95	0.94	0.93					0.93	0.95	0.95	Log As9nw
							0.93	0.93	0.94	0.94	0.91					0.93	0.94	0.94	Log C50
							0.98	0.95	0.96	0.95	0.94					0.94	0.95	0.96	Log C100
							0.98	0.95	0.96	0.95	0.94					0.94	0.95	0.96	Log C200

ادامه جدول ۹- ضریب هم‌بستگی پیرسون میان ویژگی‌های فیزیکی.

Table 9- Pearson correlation coefficient between physical parameters

Log As5w	Log As5s	Log As5e	Log As5n	Log As5p	Log S>60	Log S30- 60	Log S20- 30	Log S12- 20	Log S8- 12	Log S5- 8	Log S2- 5	Log S0- 2	Sran	Log Ssd	Log Smea	Log Smax	Log Smin	parameters
96	95	96	93	93		86	95	95	94	93	92	91			-0.60		-0.71	Log A
96	95	96	93	93		86	95	95	94	93	92	91			-0.60		-0.71	Log P
94	93	95	92	92		85	94	94	93	92	91	90					-0.72	Log Le
94	93	93	91	91		84	92	92	91	90	89	89					-0.65	Log Rw
96	94	95	92	93		86	95	95	94	93	92	91					-0.69	Log Rl
96	95	96	93	93		86	95	95	94	93	92	91			-0.60		-0.71	Log D
95	94	95	92	92		85	94	94	92	91	91	90			-0.60		-0.70	Log A3d
94	95	95	92	81	67	94	93	8	84	81	79	78	-			66		Log V
					60								0.64					Hsd
					84	71							-	68	61			Log Hmed
													0.72	64		70		Log Hran
		-	-0.74	-0.83			-	-	-	-	-	-			60		1	Log Smin
61	0.65	0.68			84	76	0.72	0.83	0.84	0.85	0.79	0.83	-	64		1		Log Smax
													0.92					Log Smea
				-0.82				-	-	-	-	-		67	1		60	Log Smea
					0.65			0.67	0.76	0.81	0.82	0.80	-	1	0.67	0.64		Log Ssd
					-0.83	-							0.62					Sran
	0.62					0.73							1	0.62		-0.92		
0.83	0.81	0.83	0.81	0.98		0.65	0.86	0.92	0.95	0.97	0.98	1			-0.8		-0.83	Log S0-2
0.84	0.82	0.85	0.83	0.99		0.64	0.87	0.94	0.97	0.99	1	0.98			-0.82		-0.79	Log S2-5
0.85	0.84	0.87	0.86	0.99		0.67	0.9	0.96	0.99	1	0.99	0.97			-0.81		-0.85	Log S5-8
0.88	0.87	0.89	0.88	0.97		0.71	0.93	0.98	1	0.99	0.97	0.95			-0.76		-0.84	Log S8-12
0.92	0.91	0.93	0.92	0.94		0.78	0.97	1	0.98	0.96	0.94	0.92			-0.67		-0.83	Log S12-20
0.95	0.94	0.95	0.92	0.88		0.87	1	0.97	0.93	0.9	0.87	0.86					-0.72	Log S20-30
0.89	0.91	0.89	0.88	0.67	0.82	1	0.87	0.78	0.71	0.67	0.64	0.65	-			0.76		Log S30-60
0.61	0.65				1	0.82							0.73					Log S>60
													-	0.65		0.84		
0.86	0.84	0.86	0.84	1		0.67	0.88	0.94	0.97	0.99	0.99	0.98			-0.82		-0.83	Log As5p
0.9	0.89	0.93	1	0.84		0.88	0.92	0.92	0.88	0.86	0.83	0.81					-0.74	Log As5n
0.94	0.93	1	0.93	0.86		0.89	0.95	0.93	0.89	0.87	0.85	0.83					-0.68	Log As5e
0.96	1	0.93	0.89	0.84	0.65	0.91	0.94	0.91	0.87	0.84	0.82	0.81	-			0.651		Log As5s
													0.62					
1	0.96	0.94	0.9	0.86	0.61	0.89	0.95	0.92	0.88	0.85	0.84	0.83				0.616		Log As5w
0.85	0.85	0.88	0.98	0.81		0.84	0.9	0.9	0.87	0.84	0.83	0.81					-0.75	Log As9n
0.9	0.9	0.96	0.95	0.85		0.87	0.93	0.91	0.88	0.86	0.84	0.83					-0.67	Log As9ne
0.93	0.92	0.99	0.91	0.85		0.88	0.94	0.92	0.88	0.86	0.84	0.83					-0.67	Log As9e
0.94	0.96	0.97	0.91	0.84		0.9	0.95	0.92	0.88	0.85	0.83	0.81					-0.61	Log As9se
0.94	0.99	0.92	0.89	0.83	0.66	0.91	0.93	0.9	0.85	0.83	0.81	0.8	-			0.65		Log As9s
													0.63					
0.95	0.97	0.87	0.83	0.82	0.62	0.85	0.91	0.88	0.84	0.82	0.81	0.8	-			0.64		Log As9sw
													0.62					
0.99	0.94	0.92	0.88	0.84		0.87	0.93	0.9	0.86	0.84	0.83	0.82				0.6		Log As9w
0.94	0.9	0.93	0.96	0.84		0.89	0.93	0.92	0.87	0.85	0.82	0.81					-0.66	Log As9nw
0.96	0.97	0.96	0.92	0.81	0.71	0.96	0.94	0.88	0.83	0.81	0.79	0.79	-			0.7		Log C50
													0.68					
0.96	0.97	0.96	0.92	0.81	0.71	0.96	0.94	0.88	0.83	0.81	0.79	0.79	-			0.7		Log C100
													0.68					
0.96	0.97	0.96	0.92	0.81	0.71	0.96	0.94	0.89	0.84	0.81	0.79	0.79	-			0.7		Log C200
													0.67					

ادامه‌ی جدول ۹- ضریب هم‌بستگی پیرسون میان ویژگی‌های فیزیکی.

Table 9- Pearson correlation coefficient between physical parameters.

Log C200	Log C100	Log C50	Log As9nw	Log As9w	Log As9sw	Log As9s	Log As9sc	Log As9e	Log As9ne	Log As9n	parameters
0.96	0.96	0.96	0.94	0.95	0.92	0.95	0.95	0.95	0.94	0.89	Log A
0.95	0.95	0.95	0.94	0.95	0.91	0.94	0.95	0.95	0.94	0.89	Log P
0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.89	0.92	0.94	0.95	0.93	0.88	Log Le
0.94	0.94	0.94	0.91	0.93	0.91	0.93	0.93	0.93	0.92	0.87	Log Rw
0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.91	0.93	0.95	0.95	0.93	0.89	Log Rl
0.96	0.96	0.96	0.94	0.95	0.92	0.95	0.95	0.95	0.94	0.89	Log D
0.95	0.95	0.95	0.93	0.94	0.91	0.93	0.94	0.94	0.93	0.88	Log A3d
0.98	0.98	0.98	0.93	0.92	0.89	0.94	0.96	0.94	0.93	0.88	Log V
			-0.66				-0.61	-0.67	-0.67	-0.75	Log Smin
0.7	0.7	0.7		0.6	0.64	0.65					Log Smax
-0.67	-0.68	-0.68			-0.62	-0.63					Sran
0.79	0.79	0.79	0.81	0.82	0.8	0.8	0.81	0.83	0.83	0.81	Log S0-2
0.79	0.79	0.79	0.82	0.83	0.81	0.81	0.83	0.84	0.84	0.83	Log S2-5
0.81	0.81	0.81	0.85	0.84	0.82	0.83	0.85	0.86	0.86	0.84	Log S5-8
0.84	0.83	0.83	0.87	0.86	0.84	0.85	0.88	0.88	0.88	0.87	Log S8-12
0.89	0.88	0.88	0.92	0.9	0.88	0.9	0.92	0.92	0.91	0.9	Log S12-20
0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.91	0.93	0.95	0.94	0.93	0.9	Log S20-30
0.96	0.96	0.96	0.89	0.87	0.85	0.91	0.9	0.88	0.87	0.84	Log S30-60
0.71	0.71	0.71			0.62	0.66					Log S>60
0.81	0.81	0.81	0.84	0.84	0.82	0.83	0.84	0.85	0.85	0.81	Log As5p
0.92	0.92	0.92	0.96	0.88	0.83	0.89	0.91	0.91	0.95	0.98	Log As5n
0.96	0.96	0.96	0.93	0.92	0.87	0.92	0.97	0.99	0.96	0.88	Log As5c
0.97	0.97	0.97	0.9	0.94	0.97	0.99	0.96	0.92	0.9	0.85	Log As5s
0.96	0.96	0.96	0.94	0.99	0.95	0.94	0.94	0.93	0.9	0.85	Log As5w
0.88	0.88	0.88	0.93	0.83	0.79	0.85	0.87	0.87	0.92	1	Log As9n
0.93	0.93	0.93	0.91	0.88	0.85	0.9	0.91	0.95	1	0.9	Log As9ne
0.95	0.95	0.95	0.93	0.92	0.85	0.91	0.97	1	0.95	0.87	Log As9e
0.96	0.96	0.96	0.93	0.93	0.9	0.95	1	0.97	0.91	0.87	Log As9sc
0.96	0.96	0.96	0.89	0.93	0.96	1	0.95	0.91	0.9	0.85	Log As9s
0.92	0.92	0.92	0.84	0.94	1	0.96	0.9	0.85	0.85	0.79	Log As9sw
0.95	0.95	0.95	0.93	1	0.94	0.93	0.93	0.92	0.88	0.83	Log As9w
0.94	0.94	0.94	1	0.93	0.84	0.89	0.93	0.93	0.91	0.93	Log As9nw
1	1	1	0.94	0.95	0.92	0.96	0.96	0.95	0.93	0.88	Log C50
1	1	1	0.94	0.95	0.92	0.96	0.96	0.95	0.93	0.88	Log C100
1	1	1	0.94	0.95	0.92	0.96	0.96	0.95	0.93	0.88	Log C200

آبراهه‌ها، قطر دایره‌ی هم‌سطح و طول کل آبراهه‌ها بود. همچنین، بیشترین هم‌بستگی مثبت میان کمترین بلندی و بلندی شروع آبراهه اصلی بود.

نتایج ضریب همبستگی میان ویژگی‌های فیزیکی و شبکه‌ی جریان به‌شکل ماتریسی در جدول ۱۰ نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۱۰ مشخص شد که بیشترین همبستگی مثبت میان مساحت و طول کل

جدول ۱۰- ضریب همبستگی پیرسون میان ویژگی‌های فیزیکی و شبکه‌ی جریان.

Table 10- Pearson correlation coefficient between physical parameters and flow network.

Log Shgro	Log Shnet	Log Shmax	Log Shmim	Log Slm	Log Sd	Log Sls	So	parameters
-0.9	-0.8			0.98		1	0.96	Log A
-0.91	-0.8			0.99		0.99	0.95	Log P
-0.91	-0.79			0.99		0.98	0.93	Log Le
-0.62				0.66				Log Cg
0.62				-0.66				Log Rc
-0.86	-0.78			0.93		0.98	0.95	Log Rw
-0.91	-0.8			0.99		0.99	0.94	Log Rl
-0.9	-0.8			0.98		1	0.96	Log D
-0.88	-0.79			0.96		0.99	0.95	Log A3d
-0.78	-0.63			0.95		0.94	0.91	Log V
			1					Hmin
		0.83						Log Hmax
		0.76	0.76					Log Hmea
		0.72	0.75					Log Hmed
		0.8	0.73					Log Hstr
0.74	0.72			-0.66		-0.75	-0.65	Log Smin
0.78	0.88	0.64			-0.81	-0.65	-0.6	Log Smea
-0.93	-0.92			0.89	0.69	0.93	0.89	Log S0-2
-0.95	-0.92			0.9	0.69	0.94	0.89	Log S2-5
-0.95	-0.9			0.91	0.68	0.94	0.9	Log S5-8
-0.94	-0.88			0.92	0.64	0.95	0.91	Log S8-12
-0.93	-0.84			0.95		0.96	0.93	Log S12-20
-0.87	-0.74			0.96		0.95	0.92	Log S20-30
-0.65				0.87		0.85	0.82	Log S30-60
-0.95	-0.92			0.91	0.7	0.95	0.91	Log As5p
-0.83	-0.71			0.93		0.92	0.9	Log As5n
-0.85	-0.71			0.96		0.95	0.91	Log As5e
-0.82	-0.68			0.94		0.95	0.91	Log As5s
-0.84	-0.7			0.95		0.96	0.94	Log As5w
-0.8	-0.7			0.89		0.89	0.86	Log As9n
-0.85	-0.71			0.93		0.93	0.9	Log As9ne
-0.85	-0.7			0.95		0.95	0.91	Log As9e
-0.83	-0.69			0.96		0.95	0.9	Log As9se
-0.81	-0.67			0.93		0.94	0.9	Log As9s
-0.81	-0.68			0.9		0.92	0.89	Log As9sw
-0.83	-0.69			0.93		0.94	0.93	Log As9w
-0.82	-0.7			0.94		0.93	0.91	Log As9nw
-0.79	-0.63			0.95		0.95	0.91	Log C50
-0.79	-0.63			0.95		0.95	0.91	Log C100
-0.79	-0.64			0.95		0.95	0.91	Log C200

۱۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۱۱ همبستگی میان متغیرهای مزبور متفاوت بود.

نتایج تجزیه و تحلیل ضریب‌های همبستگی میان متغیرهای فیزیکی، شبکه‌ی جریان و زمان تمرکز آبخیزهای بررسی شده به شکل ماتریسی در جدول

جدول ۱۱- ضریب همبستگی پیرسون میان ویژگی‌ها (فیزیکی و شبکه‌ی جریان) و زمان تمرکز.

Table 11- Pearson correlation coefficient between parameters (physical and flow network) and time of concentration.

Log Tsc	Log Te	Log Tkar	Log Tj	Log Tkal	Log Tc	Log Tw	Log Tke	Log Fst	parameters
0.97	0.97	0.97	0.95	0.97	0.97	0.8	0.97	0.94	Log A
0.98	0.98	0.98	0.96	0.98	0.98	0.82	0.98	0.92	Log P
0.98	0.98	0.98	0.95	0.98	0.98	0.82	0.98	0.91	Log Le
0.66	0.64	0.64	0.62	0.66	0.66	0.61	0.66		Log Cg
-0.66	-0.64	-0.64	-0.62	-0.66	-0.66	-0.61	-0.66		Log Rc
0.92	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92	0.75	0.92	0.94	Log Rw
0.98	0.98	0.98	0.96	0.98	0.98	0.83	0.98	0.92	Log Rl
0.97	0.97	0.97	0.95	0.97	0.97	0.8	0.97	0.94	Log D
0.95	0.96	0.96	0.94	0.95	0.95	0.79	0.95	0.93	Log A3d
0.91	0.9	0.9	0.86	0.91	0.91	0.66	0.91	0.87	Log V
-0.74	-0.74	-0.74	-0.77	-0.74	-0.74	-0.65	-0.74	-0.66	Log Smin
-0.65	-0.68	-0.68	-0.74	-0.65	-0.65	-0.82	-0.65	-0.65	Log Smea
0.92	0.94	0.94	0.96	0.92	0.92	0.9	0.92	0.89	Log S0-2
0.93	0.95	0.95	0.96	0.93	0.93	0.9	0.93	0.9	Log S2-5
0.94	0.95	0.95	0.96	0.94	0.94	0.9	0.94	0.9	Log S5-8
0.95	0.96	0.96	0.96	0.95	0.95	0.88	0.95	0.91	Log S8-12
0.96	0.96	0.96	0.95	0.96	0.96	0.85	0.96	0.91	Log S12-20
0.95	0.94	0.94	0.92	0.95	0.95	0.77	0.95	0.9	Log S20-30
0.81	0.8	0.8	0.74	0.81	0.81		0.81	0.77	Log S30-60
0.94	0.96	0.96	0.97	0.94	0.94	0.9	0.94	0.91	Log As5p
0.91	0.91	0.91	0.88	0.91	0.91	0.73	0.91	0.84	Log As5n
0.94	0.93	0.93	0.9	0.94	0.94	0.74	0.94	0.89	Log As5e
0.92	0.91	0.91	0.88	0.92	0.92	0.7	0.92	0.89	Log As5s
0.93	0.92	0.92	0.89	0.93	0.93	0.72	0.93	0.91	Log As5w
0.88	0.87	0.87	0.85	0.88	0.88	0.72	0.88	0.8	Log As9n
0.92	0.92	0.92	0.89	0.92	0.92	0.73	0.92	0.86	Log As9ne
0.94	0.93	0.93	0.9	0.94	0.94	0.74	0.94	0.89	Log As9e
0.93	0.93	0.93	0.89	0.93	0.93	0.73	0.93	0.88	Log As9se
0.91	0.9	0.9	0.87	0.91	0.91	0.69	0.91	0.88	Log As9s
0.89	0.88	0.88	0.85	0.89	0.89	0.68	0.89	0.89	Log As9sw
0.92	0.91	0.91	0.88	0.92	0.92	0.7	0.92	0.91	Log As9w
0.92	0.92	0.92	0.89	0.92	0.92	0.73	0.92	0.86	Log As9nw
0.92	0.9	0.9	0.86	0.91	0.91	0.66	0.91	0.88	Log C50
0.91	0.9	0.9	0.86	0.91	0.91	0.66	0.91	0.88	Log C100
0.92	0.91	0.91	0.86	0.92	0.92	0.66	0.92	0.88	Log C200
0.92	0.92	0.92	0.91	0.92	0.92	0.76	0.92	0.92	So
0.97	0.97	0.98	0.96	0.97	0.97	0.82	0.97	0.95	Log Sls
			0.62			0.66			Log Sd
0.99	0.98	0.98	0.96	0.99	0.99	0.83	0.99	0.9	Log Slm
						-0.63			Log Shmax
-0.84	-0.87	-0.88	-0.92	-0.84	-0.84	-0.96	-0.84	-0.79	Log Shnet
-0.96	-0.96	-0.96	-0.97	-0.96	-0.96	-0.94	-0.96	-0.87	Log Shgro

جدول ۱۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۱۲ همبستگی میان ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبخیز و اقلیم متفاوت بود.

نتایج تجزیه و تحلیل ضریب‌های همبستگی میان متغیرهای فیزیکی، شبکه‌ی جریان، زمان تمرکز و اقلیم آبخیزهای بررسی‌شده به‌شکل ماتریسی در

جدول ۱۲- پیرسون میان ویژگی‌ها (فیزیکی، شبکه‌ی جریان و زمان تمرکز) و اقلیم.

Table 12- Pearson between parameters (physical, flow network and time of concentration) and climate.

Log Tsd	Log Trang	Log Husd	Log Hurang	Log Rsd	Log Rrang	parameters	Log Tsd	Log Trang	Log Husd	Log Hurang	Log Rsd	Log Rrang	parameters
	0.61			0.64	0.67	Log As9ne	0.63	0.65	0.63	0.66	0.64	0.67	Log A
0.61	0.62		0.61	0.63	0.66	Log As9e	0.63	0.64	0.61	0.64	0.66	0.68	Log P
0.64	0.65	0.65	0.68	0.64	0.66	Log As9se	0.62	0.63		0.62	0.63	0.66	Log Le
0.71	0.72	0.70	0.73	0.70	0.72	Log As9s	0.61	0.63	0.64	0.67	0.61	0.64	Log Rw
0.72	0.74	0.69	0.71	0.69	0.71	Log As9sw	0.63	0.64	0.60	0.63	0.66	0.68	Log Rl
0.66	0.68	0.63	0.66	0.68	0.70	Log As9w	0.63	0.65	0.63	0.66	0.64	0.67	Log D
			0.61	0.62	0.64	Log As9nw	0.62	0.64	0.63	0.65	0.64	0.67	Log A3d
0.70	0.72	0.67	0.70	0.70	0.72	Log C50	0.65	0.67	0.67	0.70	0.65	0.67	Log V
0.70	0.72	0.67	0.70	0.70	0.72	Log C100	0.65	0.65			0.61	0.62	Log Smax
0.71	0.72	0.67	0.70	0.70	0.72	Log C200	0.60	-0.62					Sran
0.60	0.62	0.60	0.63	0.60	0.63	So						0.62	Log S12-20
0.61	0.63	0.62	0.65	0.63	0.65	Log Sls	0.61	0.62	0.62	0.65	0.65	0.67	Log S20-30
0.62	0.63	0.61	0.64	0.63	0.65	Log Slm	0.70	0.70	0.62	0.65	0.68	0.70	Log S30-60
			0.60	0.61	0.63	Log Tke	0.62	0.62					Log S-60
			0.60	0.61	0.63	Log Tc					0.61	0.63	Log As5n
			0.60	0.61	0.63	Log Tkal	0.63	0.64	0.60	0.63	0.65	0.67	Log As5e
			0.60		0.61	Log Tkar	0.71	0.72	0.70	0.72	0.70	0.72	Log As5s
			0.60		0.61	Log Te	0.67	0.69	0.64	0.67	0.68	0.71	Log As5w
			0.61	0.61	0.63	Log Tsc							

شده است. بر اساس نتایج جدول ۱۳ همبستگی میان ویژگی‌های مزبور متفاوت بود.

نتایج تجزیه و تحلیل ضریب‌های همبستگی میان متغیرهای ریخت‌شناسی، اقلیم و بُعد فراکتال آبخیزهای بررسی‌شده به‌شکل ماتریسی در جدول ۱۳ نشان‌داده

جدول ۱۳- ضریب همبستگی پیرسون میان ویژگی‌ها (فیزیکی، شبکه‌ی جریان، زمان تمرکز، اقلیم) و بُعد فراکتال.

Table 13- Pearson correlation coefficient between parameters (physical, flow network, time of concentration, climate) and fractal dimension.

Log Fst	Log FC200	Log FC100	Log FC50	parameters	Log Fst	Log FC200	Log FC100	Log FC50	parameters
0.89	0.79	0.78	0.68	Log As9e	0.94	0.77	0.75	0.65	Log A
0.88	0.82	0.81	0.73	Log As9se	0.92	0.76	0.73	0.63	Log P
0.88	0.84	0.83	0.76	Log As9s	0.91	0.75	0.71	0.6	Log Le
0.89	0.78	0.79	0.71	Log As9sw	0.94	0.77	0.75	0.67	Log Rw
0.91	0.8	0.8	0.7	Log As9w	0.92	0.76	0.72	0.62	Log Rl
0.86	0.8	0.77	0.69	Log As9nw	0.94	0.77	0.75	0.65	Log D
0.88	0.89	0.89	0.8	Log C50	0.93	0.76	0.74	0.65	Log A3d
0.88	0.89	0.89	0.8	Log C100	0.87	0.86	0.85	0.78	Log V
0.88	0.89	0.88	0.8	Log C200		0.75	0.78	0.78	Log Hran
0.92	0.72	0.71	0.62	So	-0.66				Log Smin
0.95	0.74	0.71	0.61	Log Sls		0.73	0.8	0.74	Log Smax
0.9	0.76	0.74	0.64	Log Slm	-0.65				Log Smea
-0.79				Log Shnet					Log Ssd
-0.87				Log Shgro		-0.71	-0.79	-0.74	Sran
0.91	0.69	0.66		Log Tke	0.89				Log S0-2
0.77				Log Tw	0.9				Log S2-5
0.91	0.69	0.66		Log Tc	0.9				Log S5-8
0.91	0.7	0.66		Log Tkal	0.91				Log S8-12
0.91	0.62			Log Tj	0.91	0.67	0.64		Log S12-20
0.91	0.68	0.64		Log Tkar	0.9	0.78	0.77	0.67	Log S20-30
0.91	0.68	0.64		Log Te	0.77	0.91	0.93	0.86	Log S30-60
0.91	0.7	0.66		Log Tsc		0.82	0.86	0.83	Log S-60
	0.74	0.67	0.64	Log Rrang	0.91				Log As5p
	0.73	0.66	0.63	Log Rsd	0.84	0.78	0.76	0.69	Log As5n
	0.72	0.66	0.66	Log Hurang	0.89	0.8	0.79	0.69	Log As5e
	0.7	0.63	0.64	Log Husd	0.89	0.83	0.83	0.76	Log As5s
	0.74	0.71	0.67	Log Trang	0.91	0.82	0.81	0.71	Log As5w
	0.73	0.71	0.67	Log Tsd	0.8	0.73	0.72	0.65	Log As9n
					0.86	0.78	0.77	0.69	Log As9ne

بررسی‌شده به‌شکل ماتریسی در جدول ۱۴ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۱۴ همبستگی میان متغیرهای مزبور متفاوت بود.

نتایج تجزیه و تحلیل ضریب‌های همبستگی میان متغیرهای بررسی‌شده و دو اندازه‌ی میانگین سالانه‌ی بیشترین آبدهی و میانگین سالانه‌ی آب دهی آبخیزهای

جدول ۱۴- ضریب همبستگی پیرسون میان ویژگی ها و آبدهی جریان با دوره های بازگشت گوناگون.

Table 14- Pearson correlation coefficient between parameters and discharge with different return periods.

Log P100 Mean	Log P50 Mean	Log P25 Mean	Log P10 Mean	Log P2 Mean	Log P100 MAX	Log P50 MAX	Log P25 MAX	Log P10 MAX	Log P2 MAX	parameters
0.73	0.71	0.69	0.66		0.78	0.8	0.81	0.81	0.75	Log A
0.73	0.71	0.69	0.66		0.78	0.8	0.81	0.81	0.75	Log P
0.71	0.69	0.67	0.65		0.78	0.79	0.8	0.8	0.74	Log Le
0.71	0.69	0.67	0.64		0.76	0.78	0.79	0.79	0.73	Log Rw
0.72	0.71	0.69	0.66		0.78	0.8	0.81	0.8	0.75	Log RI
0.73	0.71	0.69	0.66		0.78	0.8	0.81	0.81	0.75	Log D
0.72	0.7	0.68	0.65		0.77	0.79	0.8	0.79	0.73	Log A3d
0.77	0.75	0.74	0.71	0.65	0.77	0.8	0.81	0.81	0.77	Log V
0.61	0.61	0.61	0.61	0.62						Log Hran
0.74	0.74	0.73	0.73	0.72		0.6	0.63	0.67	0.72	Log Smax
-0.71	-0.71	-0.7	-0.69	-0.67		-0.6	-0.63	-0.65	-0.67	Sran
					0.69	0.7	0.7	0.68	0.6	Log S0-2
					0.69	0.69	0.69	0.68	0.6	Log S2-5
					0.71	0.72	0.72	0.7	0.61	Log S5-8
					0.73	0.74	0.74	0.72	0.63	Log S8-12
					0.76	0.78	0.78	0.77	0.69	Log S12-20
0.64	0.63	0.61	0.66	0.61	0.79	0.81	0.82	0.82	0.76	Log S20-30
0.72	0.71	0.69	0.78	0.75	0.74	0.77	0.79	0.81	0.8	Log S30-60
0.82	0.81	0.8	0.67	0.67					0.63	Log S>60
0.68	0.68	0.67			0.7	0.71	0.71	0.69	0.61	Log As5p
0.73	0.72	0.7	0.68	0.62	0.76	0.78	0.78	0.78	0.73	Log As5n
0.73	0.72	0.7	0.68	0.62	0.75	0.77	0.79	0.79	0.75	Log As5e
0.78	0.76	0.74	0.72	0.66	0.79	0.82	0.83	0.84	0.8	Log As5s
0.76	0.74	0.72	0.7	0.64	0.79	0.81	0.83	0.83	0.79	Log As5w
0.7	0.69	0.67	0.65		0.72	0.74	0.75	0.74	0.68	Log As9n
0.75	0.74	0.72	0.7	0.64	0.75	0.78	0.79	0.8	0.76	Log As9ne
0.72	0.7	0.68	0.66	0.6	0.73	0.76	0.77	0.78	0.74	Log As9e
0.73	0.72	0.7	0.67	0.62	0.76	0.78	0.79	0.79	0.74	Log As9se
0.78	0.76	0.74	0.72	0.66	0.79	0.81	0.82	0.83	0.79	Log As9s
0.75	0.74	0.72	0.69	0.63	0.79	0.81	0.83	0.83	0.79	Log As9sw
0.75	0.73	0.71	0.68	0.62	0.77	0.8	0.81	0.82	0.78	Log As9w
0.71	0.7	0.68	0.66	0.6	0.75	0.77	0.78	0.77	0.72	Log As9nw
0.81	0.8	0.78	0.76	0.71	0.78	0.81	0.83	0.84	0.82	Log C50
0.81	0.8	0.78	0.76	0.71	0.78	0.81	0.83	0.84	0.82	Log C100
0.81	0.8	0.78	0.76	0.71	0.79	0.81	0.83	0.84	0.82	Log C200
0.67	0.65	0.63	0.6		0.74	0.76	0.77	0.77	0.71	So
0.7	0.68	0.66	0.63		0.77	0.79	0.8	0.8	0.73	Log Sls
0.71	0.69	0.67	0.65		0.79	0.8	0.81	0.8	0.74	Log Slm
					-0.69	-0.7	-0.7	-0.69	-0.61	Log Shgro
0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.64	0.66	0.68	0.7	0.72	Log FC50
0.79	0.79	0.78	0.77	0.76	0.67	0.7	0.73	0.75	0.77	Log FC100
0.82	0.81	0.81	0.8	0.78	0.73	0.76	0.79	0.81	0.81	Log FC200
0.62	0.6				0.7	0.72	0.72	0.72	0.67	Log Fst
0.67	0.65	0.63	0.6		0.77	0.78	0.79	0.78	0.71	Log Tke
0.67	0.65	0.63	0.6		0.77	0.78	0.79	0.78	0.71	Log Tc
0.67	0.65	0.63	0.6		0.77	0.78	0.79	0.78	0.71	Log Tkal
					0.72	0.73	0.73	0.71	0.62	Log Tj
0.64	0.62				0.75	0.76	0.77	0.75	0.67	Log Tkar
0.64	0.62				0.75	0.76	0.77	0.75	0.67	Log Te
0.67	0.65	0.63	0.6		0.77	0.78	0.79	0.78	0.71	Log Tsc
Log P100 Mean	Log P50 Mean	Log P25 Mean	Log P10 Mean	Log P2 Mean	Log P100 MAX	Log P50 MAX	Log P25 MAX	Log P10 MAX	Log P2 MAX	parameters
0.75	0.76	0.76	0.78	0.79				0.61	0.71	Log Rmax
0.84	0.84	0.84	0.83	0.82	0.68	0.72	0.74	0.77	0.8	Log Rrang
0.6	0.61	0.62	0.64	0.67						Log RMean
0.83	0.83	0.83	0.82	0.81	0.67	0.7	0.73	0.76	0.79	Log Rsd
0.61	0.6				0.62	0.63	0.64	0.64	0.62	Log Hurang
						0.61	0.61	0.61	0.6	Log Husd
0.76	0.76	0.76	0.76	0.74		0.64	0.67	0.71	0.78	Log Trang
0.76	0.76	0.76	0.76	0.74		0.63	0.67	0.71	0.77	Log Tsd

نتایج تجزیه و تحلیل ضریب‌های هم‌بستگی میان متغیرهای بررسی‌شده و میانگین سالانه‌ی بیشترین رسوب و میانگین سالانه‌ی رسوب آبخیزهای بررسی‌شده به شکل ماتریسی در جدول ۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۱۵- ضریب هم‌بستگی پیرسون میان ویژگی‌ها و آبدهی جریان با دوره‌های بازگشت گوناگون.

Table 15- Pearson correlation coefficient between parameters and discharge with different return periods.

Log S100 Mean	Log S50 Mean	Log S25 Mean	Log S10 Mean	Log S2 Mean	Log S100 MAX	Log S50 MAX	Log S25 MAX	Log S10 MAX	Log S2 MAX	parameters
0.84	0.84	0.83	0.81	0.74	0.61	0.66	0.69	0.74	0.8	Log A
0.84	0.83	0.82	0.8	0.73	0.61	0.65	0.69	0.73	0.79	Log P
0.83	0.83	0.82	0.8	0.73	0.61	0.65	0.69	0.73	0.79	Log Le
0.83	0.83	0.82	0.8	0.72	0.61	0.65	0.68	0.73	0.78	Log Rw
0.83	0.83	0.82	0.8	0.73	0.61	0.65	0.68	0.72	0.79	Log Rl
0.84	0.84	0.83	0.81	0.74	0.61	0.66	0.69	0.74	0.8	Log D
0.84	0.84	0.83	0.8	0.72	0.61	0.65	0.69	0.73	0.78	Log A3d
0.86	0.86	0.86	0.85	0.78	0.63	0.67	0.7	0.75	0.81	Log V
							-0.62	-0.65	-0.67	Hmin
	0.61	0.62	0.64	0.63						Log Smax
			-0.61							Sran
0.67	0.66	0.65	0.62					0.61	0.64	Log S0-2
0.69	0.68	0.67	0.64					0.62	0.65	Log S2-5
0.73	0.72	0.71	0.68				0.62	0.66	0.69	Log S5-8
0.76	0.76	0.74	0.72	0.64		0.62	0.65	0.69	0.72	Log S8-12
0.81	0.81	0.8	0.78	0.71		0.64	0.68	0.72	0.77	Log S12-20
0.86	0.86	0.85	0.84	0.78	0.6	0.65	0.69	0.74	0.82	Log S20-30
0.84	0.85	0.86	0.85	0.82		0.63	0.67	0.72	0.8	Log S30-60
0.71	0.71	0.69	0.66				0.61	0.64	0.68	Log As5p
0.83	0.84	0.83	0.82	0.77	0.62	0.66	0.69	0.73	0.78	Log As5n
0.85	0.85	0.85	0.83	0.77		0.64	0.68	0.73	0.8	Log As5e
0.84	0.84	0.83	0.82	0.76		0.63	0.67	0.72	0.8	Log As5s
0.86	0.86	0.85	0.84	0.79		0.63	0.68	0.73	0.81	Log As5w
0.8	0.8	0.8	0.79	0.73	0.6	0.64	0.67	0.7	0.74	Log As9n
0.82	0.83	0.82	0.81	0.75		0.64	0.68	0.72	0.79	Log As9ne
0.84	0.84	0.84	0.82	0.77		0.63	0.67	0.72	0.79	Log As9e
0.85	0.85	0.84	0.83	0.78		0.63	0.67	0.72	0.79	Log As9se
0.82	0.83	0.82	0.81	0.75		0.62	0.66	0.7	0.78	Log As9s
0.81	0.81	0.8	0.79	0.73		0.61	0.65	0.7	0.78	Log As9sw
0.84	0.84	0.84	0.83	0.77		0.61	0.66	0.71	0.8	Log As9w
0.85	0.85	0.85	0.84	0.78		0.63	0.67	0.71	0.78	Log As9nw
0.86	0.87	0.87	0.86	0.8	0.6	0.64	0.69	0.73	0.82	Log C50
0.86	0.87	0.87	0.86	0.8	0.6	0.64	0.69	0.73	0.82	Log C100
0.86	0.87	0.87	0.86	0.8	0.6	0.64	0.69	0.73	0.82	Log C200
0.82	0.82	0.82	0.8	0.73		0.62	0.66	0.71	0.78	So
0.83	0.83	0.82	0.79	0.71	0.61	0.65	0.69	0.73	0.78	Log Sls
0.83	0.83	0.82	0.8	0.74	0.63	0.66	0.7	0.74	0.8	Log Slm
							-0.61	-0.64	-0.67	Log Shmim
-0.68	-0.68	-0.66	-0.64					-0.62	-0.66	Log Shgro
0.66	0.67	0.69	0.71	0.72					0.64	Log FC50
0.75	0.76	0.77	0.79	0.78				0.61	0.71	Log FC100
0.73	0.74	0.75	0.77	0.76				0.63	0.71	Log FC200
Log S100 Mean	Log S50 Mean	Log S25 Mean	Log S10 Mean	Log S2 Mean	Log S100 MAX	Log S50 MAX	Log S25 MAX	Log S10 MAX	Log S2 MAX	parameters
0.77	0.77	0.76	0.73	0.65			0.63	0.67	0.74	Log Fst
0.8	0.8	0.78	0.76	0.69	0.6	0.64	0.67	0.71	0.77	Log Tke
0.8	0.79	0.78	0.76	0.69	0.6	0.64	0.67	0.71	0.77	Log Tc
0.8	0.8	0.78	0.76	0.69	0.6	0.64	0.67	0.71	0.77	Log Tkal
0.75	0.75	0.73	0.71	0.62		0.62	0.65	0.68	0.72	Log Tj
0.79	0.79	0.77	0.75	0.67	0.6	0.64	0.68	0.71	0.76	Log Tkar
0.79	0.79	0.77	0.75	0.67	0.6	0.64	0.68	0.71	0.76	Log Te
0.8	0.8	0.78	0.76	0.69	0.6	0.64	0.68	0.71	0.77	Log Tsc
		0.61	0.64	0.68						Log Rrang
		0.6	0.63	0.67						Log Rsd
			0.61	0.6						Log Hurang
	0.61	0.63	0.66	0.66						Log Trang
	0.6	0.63	0.66	0.66						Log Tsd

نتایج تحلیل عامل و آبخیزهای همگن

با استفاده از روش تحلیل عاملی از میان ۸۵ ویژگی آبخیز، ۱۸ ویژگی مؤثر شامل مساحت (A)، مساحت شیب ۱۲-۸٪ (S۸-۱۲)، مساحت شیب ۲۰-۱۲٪ (S۱۲-۲۰)، مساحت جهت شیب شرق در نه جهته (As۹e)، طول خطوط تراز ۱۰۰ متری (C۱۰۰)، طول کل آبراهه (SlS)، زمان تمرکز با روش کریپچ (Tke)، اختلاف بلندی (Hran)، فراکتال خطوط تراز ۲۰۰ متری (FC۲۰۰)، انحراف از معیار رطوبت (Husd)، اختلاف دما (Trang)، میانگین شیب (Smea)، شیب خالص آبراهه‌ی اصلی (Shnet)، میانگین دما (TMean)، میانگین رطوبت (Humea)، میانگین بارش (RMean)، ضریب کشیدگی (Re) و فراکتال محیط آبخیز (Fp) انتخاب شدند. بر پایه‌ی نتایج تحلیل ویژگی‌های اقلیمی، آبخیزها به چهار گروه همگن تقسیم شدند. بر پایه‌ی نتایج تجزیه و تحلیل، ۹۷/۷٪ گروه‌های همگن به‌درستی تفکیک شدند، و کم‌ترین دقت مربوط به گروه سه با ۹۰/۹٪ دقت بود که این اندازه دقت هم قابل قبول بود. تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌شناسی آبخیزها نشان داد که نتایج شامل سه گروه همگن بود. همچنین، ۹۷/۷٪ گروه‌های همگن به‌درستی تفکیک شدند، و کم‌ترین دقت مربوط به گروه دو با ۹۴/۴٪ دقت بود که این اندازه دقت هم قابل قبول بود. تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و اقلیمی آبخیزها نشان داد که نتایج شامل سه گروه همگن بود. بر پایه‌ی این نتایج ۹۸/۸٪ گروه‌های همگن به‌درستی تفکیک شدند، و کم‌ترین دقت مربوط به گروه سه با ۸۸/۲٪ دقت بود که این اندازه دقت هم قابل قبول بود. سرانجام، بر اساس نتایج تحلیل بُعد فراکتال، آبخیزها به سه گروه همگن تقسیم شدند. بر پایه‌ی نتایج این تحلیل ۹۶/۵٪ گروه‌های همگن به‌درستی تفکیک شدند، و کم‌ترین دقت مربوط به گروه یک با ۹۴/۵٪ دقت بود که این اندازه دقت هم قابل قبول بود. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که تقریباً تمام عامل‌های مؤثر در برآورد آب‌دهی و رسوب در آبخیزهای بزرگ، در مساحت و فراکتال محیط آبخیز خلاصه‌شده و این دو ویژگی بیش‌ترین تغییرات آب‌دهی و رسوب را توجیه می‌کنند.

از این رو، با کاهش مساحت آبخیزها، نقش دیگر عامل‌ها از جمله جهت شیب، شیب خالص آبراهه و غیره در تبیین تغییرات بیشتر مشهود است و می‌توان گفت برای مهار فرسایش و رواناب آبخیزها، تقسیم آبخیزهای بزرگ به آبخیزهای کوچک‌تر، بهترین اقدام است. گام بعدی انجام اقدام‌های آبخیزداری در این زیرآبخیزهای کوچک است. کاهش مساحت آبخیزها در اکثر روابط به‌تنهایی توانست تا ۷۰٪ تغییرات رسوب را توجیه کند. نتایج این پژوهش

در زمینه‌ی نقش مساحت در تولید رسوب با یافته‌های پژوهش‌های هیرپا و همکاران (۲۰۱۰)، ایزدبخش و همکاران (۲۰۰۱)، معتمدی و همکاران (۲۰۱۸) و سعیدیان و همکاران (۲۰۲۱) هم‌راستا است.

نقش بُعد فراکتال خطوط تراز ۲۰۰ متری در روابط میانگین سالانه‌ی بیش‌ترین آب‌دهی به همراه ویژگی میانگین سالانه‌ی دمای سالانه، به‌خوبی مشهود بود. این دو ویژگی روی هم توانستند بیش از ۷۰٪ تغییرات آب‌دهی را نشان دهند (موخوپادهای و همکاران ۲۰۱۹؛ محمودی‌نیا و همکاران ۲۰۲۱).

اختلاف بلندی در آبخیز در اکثر روابط میانگین سالانه‌ی آب‌دهی و در تمام روابط رسوب نقش بارزی داشت. نقش جهت شیب شرقی در روابط میانگین سالانه‌ی بیش‌ترین رسوب به همراه ویژگی اختلاف بلندی در آبخیز قابل توجه بود و بیش از ۷۰٪ تغییرات پراکندگی رسوب را تبیین کرد. در روابط میانگین سالانه‌ی بیش‌ترین رسوب، دو ویژگی اختلاف بلندی در آبخیز و بُعد فراکتال محیط آبخیز، توانستند بیش از ۴۷٪ تغییرات رسوب را توجیه کنند. همچنین، در این روابط عامل میانگین شیب آبخیز بیش از ۷۵٪ تغییرات رسوب را توجیه کرد. ضریب منفی عامل میانگین شیب آبخیز نشان‌دهنده‌ی این است که با افزایش میانگین شیب آبخیزها، میانگین رسوب کم‌تر خواهد شد. بر اساس نتایج این پژوهش، چهار ویژگی مساحت، اختلاف بلندی، شیب ۲۰-۱۲٪، مجموع طول آبراهه‌ها و میانگین سالانه‌ی بارندگی از عامل‌های مؤثر بر میانگین سالانه‌ی آب‌دهی شناخته شدند که توانستند بیش از ۹۰٪ تغییرات آب‌دهی را توجیه کنند (کاسکو و همکاران ۲۰۲۰)، دای و همکاران (۲۰۲۱). در حالی که روابط آب‌دهی و ویژگی بُعد فراکتال خطوط تراز ۲۰۰ متری در بیش‌تر شرایط حضور فعالی داشت و به‌خوبی نمایانگر رابطه‌ی ویژگی‌های هندسی آبخیزهای بررسی‌شده با اندازه‌ی آب‌دهی با دوره‌های بازگشت گوناگون در آبخیزها بود. در آبخیز دشت یزد-اردکان محمدی و همکاران (۲۰۲۰)، نشان دادند که رابطه‌ی میان ابعاد فراکتال شبکه‌ی زهکشی و شاخص‌های ریخت‌شناسی معنی‌دار بود.

در این پژوهش نتایج همبستگی پیرسون میان ویژگی‌های گوناگون نشان داد که رابطه‌ی میان ویژگی‌های فیزیکی و اندازه‌ی تولید رواناب و رسوب در آبخیزها معنی‌دار بود. افزون بر این، رابطه میان بُعد فراکتال آبخیز با اندازه‌ی تولید رواناب و فرسایش و رسوب نیز معنی‌دار بود که با یافته‌های علیم‌رادی و همکاران (۲۰۲۱)، وانگ و همکاران (۲۰۲۲) هم‌راستا است. همچنین با استفاده از روش تحلیل عاملی وجود دو ویژگی مرتبط با بُعد فراکتال در آبخیزها، یعنی Fp (بُعد فراکتالی محیط آبخیز) و FC200 (بُعد

فراکتالی خطوط تراز ۲۰۰ متری) در میان ۱۸ ویژگی مؤثر انتخاب‌شده محرز شد که این موضوع دلیل محکمی بر وجود ارتباط میان بُعد فراکتال آبخیز با اندازه‌ی تولید رواناب، فرسایش و رسوب است. در برخی شرایط نیز دو ویژگی بُعد فراکتالی خطوط تراز ۲۰۰ متری و بُعد فراکتالی محیط آبخیز توانستند به‌شکل قابل‌توجهی اندازه‌ی تغییرات کلی آب‌دهی و رسوب را تبیین کنند. بنابراین می‌توان با استفاده از بُعد فراکتال، اندازه‌ی تولید رواناب و رسوب را در آبخیزهای فاقد آمار با دقت زیاد، برآورد کرد. بر اساس اهداف

این پژوهش و جدول‌های همبستگی پیرسون تشکیل و مشخص شد که بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی بررسی شده در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند و این یافته نشان‌دهنده‌ی وجود رابطه‌ی معنی‌دار میان ویژگی‌های فیزیکی و اندازه‌ی رواناب و رسوب در آبخیزها بود. مدیریت آبخیز، یکی از حساس‌ترین و پیچیده‌ترین انواع مدیریت منابع و تولید است. فهم مدیریت آبخیز می‌تواند راهکاری مناسب برای مهار یا کاهش جریان سطحی و تولید رواناب باشد.

فهرست منابع

- Alimoradi M, Ekhtesasi M, Tazeh M, Karimi H. 2021. The relation of fractal dimension with discharge and sediment indices in Ilam Watershed. *Quantitative Geomorphological Research*, 10(3):19-39. (In Persion). doi.org/10.22059/JPH-GR.2018.234333.1007060.
- Alimoradi M, Ekhtesasi MR, Tazeh M. Karimi H. 2018. Calculation of fractal dimension of the geological formations and their relationship to the formation sensibility. *Physical Geography Research Quarterly*, 50(2):241- 253. (In Persion).
- Barzegari V, Zare M, Ekhtasasi M. 2020. Comparison of dimensionless drainage network density and fractal dimensions in separating of lithological units (Case study: Taft Watershed, Yazd). *Quantitative Geomorphological Research*, 8(3):80-96. (In Persion).
- Burrough PA. 1983. Multiscale sources of spatial variation in soil I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. *Journal of Soil Science*, 34(3):577-597. (In Persion).
- Cao M, Zhang H. 2023. Fractal characteristics of particle groups and mechanochemical effects of Yellow River sediment after mechanical grinding. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, pp. 1-12. doi.org/10.1080/21650373.2023.2218841.
- Caraballo MA, Macías F, Nieto JM, Ayora C. 2016. Long term fluctuations of groundwater mine pollution in a sulfide mining district with dry Mediterranean climate: implications for water resources management and remediation. *Science of the Total Environment*, 539:427-435. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.156.
- Cerdà A, Novara A, Moradi E. 2021. Long-term non-sustainable soil erosion rates and soil compaction in drip-irrigated citrus plantation in Eastern Iberian Peninsula. *Science of the Total Environment*, 787:147549. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147549.
- Chen C, Zhao G, Zhang Y, Bai Y, Tian P, Mu X, Tian X. 2023. Linkages between soil erosion and long-term changes of landscape pattern in a small watershed on the Chinese Loess Plateau. *Catena*, 220:106659. doi.org/10.1016/j.catena.2022.106659.
- Cosco C, Gómez M, Russo B, Tellez-Alvarez J, Macchione F, Costabile P, Costanzo C. 2020. Discharge coefficients for specific grated inlets. Influence of the Froude number. *Urban Water Journal*, 17(7):656-668. doi.org/10.1080/1573062X.2020.1811881.
- Dai J, Zhang J, Zhang Z, Jia L, Xu H, Wang Y. 2021. Effects of water discharge rate and slope gradient on runoff and sediment yield related to tillage erosion. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(6):849-861. doi.org/10.1080/03650340.2020.1766676.
- Diaconu D, Drăghici CC, Pintilii RD, Pep-tenatu D, Grecu A. 2016. Management of the protection forest areas in region affected by aridity in Oltenia Southwestern development region (Romania), 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, Vienna, Austria, pp. 477-483.
- Diaconu DC, Andronache I, Ahammer H, Ciobotaru AM, Zelenakova M, Dinescu R, VasilieviciPozdnyakov A, Chupikova S. A. 2017. Fractal drainage modele a new approach to determinate the complexity of watershed. *Acta Montanistica Slovaca*, 22(1):12-21.
- Dimri VP, Ravi Prakash M, Chamoli A. 2009. Seismicity of doon valley, north west Himalaya, India: A Fractal Approach. *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 11p.

- García-Serrana M, Gulliver JS, Nieber JL. 2018. Description of soil micro-topography and fractional wetted area under runoff using fractal dimensions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(13):2685-2697. doi.org/10.1002/esp.4424.
- Hadley RF, Lal R, Onstad CA, Walling DE, Yair A. 1985. Recent developments in erosion and sediment yield studies, UNESCO, Paris, 127 p.
- Hirpa FA, Gebremichael M, Over TM. 2010. River flow fluctuation analysis: Effect of watershed area. *Water Resources Research*, 46(12): 1-15. doi.org/10.1029/2009WR009000.
- Ibanez DM, de Miranda FP, Riccomini C. 2014. Geomorphometric pattern recognition of SRTM data applied to the tectonic interpretation of the Amazonian landscape. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87:192-204. doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.10.014.
- Islam MN, Sivakumar B. 2002. Characterization and prediction of runoff dynamics: A nonlinear dynamical view.-*Advances in Water Resources*, 25(2):179-190. doi.org/10.1016/S0309-1708(01)00053-7.
- Izadbakhsh M, Eslamian S, Mosavi S. 2001. Maximum-daily mean-discharge predicting models using physiographic characteristics of catchments in some western Iran watersheds. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 5(2):1-13. (In Persian).
- Kabo-Bah KJ, Guoan T, Yang X. Na, J, Xiong L. 2021. Erosion potential mapping using analytical hierarchy process (AHP) and fractal dimension. *Heliyon*, 7(6):e07125. doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07125.
- Khanbabaei Z, Karam A, Roostamizad G. 2013. Studying relationships between the fractal dimension of the drainage basins and some of their geomorphological characteristics. *International Journal of Geosciences*, 4(3):1-18. (In Persian). doi:10.4236/ijg.2013.43058
- Khosravi A, Sepehr A, Abdollahzadeh Z. 2017. Fractal behavior and its relationship with hydromorphometric characteristics over catchments of Binaloud northern hills lores. *Hydrogeomorphology*, 3(9):1-20. (In Persian).
- Lim M, Kartiwa A, Napitupulu H. 2023. Estimation of citarum watershed boundary's length based on Fractal's power law by the modified Box-Counting dimension algorithm. *Mathematics*, 11(2):384-395. doi.org/10.3390/math11020384.
- Lin GF, Wang ChM. 2006. Performing cluster analysis and discrimination analysis of hydrological factors in one step. *Advances in Water Resources*, 29(11):1573-1585. doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.11.008.
- Mahmoudinia I, Soleimanimehr H, Maghsoudpour A, Etemadi Haghighi S. 2021. Fractal-based analysis of the influence of current intensity on surface hardness and surface roughness of Steel workpiece in Electrical Discharge process. *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*, 7(11):21-33.
- Mahmoudzadeh A. 2004. Research methods in soil erosion, Urmia University Press. (In Persian).
- Mandelbrot B. B. 1982. The Fractal geometry of nature. W. H. Freeman, San Francisco. USA. 1:25-74.
- Mandelbrot BB. 1983. The fractal geometry of nature. Revised and enlarged edition, New York, WH Free.Co, 495, 1.
- Men B, Xiejing Z, Liang C. 2004. Chaotic analysis on monthly precipitation on hills region in middle Sichuan of China. *Nature and Science*, 2(2):45-51.
- Mohammadi Khoshoui M, Ekhtesasi MR. 2019. Comparison of fractal dimension and geomorphologic characteristics in the management of Aqda Basin. *Environmental Erosion Research Journal*, 9(1):62-84. (In Persian). doi.org/20.1001.1.22517812.1398.9.1.6.0.

- Mohammadi M, Ekhtesasi MR, Talebi A, Hosseini Z. 2020. Investigation of the relationship between fractal dimensions of the drainage networks and their morphometric properties (Case study, Yazd-Ardakan Basin). *Journal of Arid Biome*, 9(2):1-16. (In Persian). doi.org/20.1001.1.2008790.1398.9.2.1.7
- Motamedi R, Azari M. 2018. The relationship between geomorphic characteristics and watershed sediment yield: A case of selected subwatersheds of Khorasan Razavi. *Environmental Erosion Research Journal*, 7(4):82-101. (In Persian). doi.org/20.1001.1.22517812.1396.7.4.5.1
- Movahed MS, Hermanis E. 2008. Fractal analysis of river flow fluctuations. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(4):915-932. (In Persian).
- Mukhopadhyay A, Barman TK, Sahoo P, Davim JP. 2019. Modeling and optimization of fractal dimension in wire electrical discharge machining of EN 31 steel using the ANN-GA approach. *Materials*, 12(3):454. doi.org/10.3390/ma12030454.
- Nosrati K, Hoseinzadeh MM, Imeni S. 2017. Application of principal component analysis in determination of effective factors on runoff generating. *Geographical Planning of Space*, 7(24):61-71. (In Persian).
- Paun MA, Nichita MV, Paun VA, Paun VP. 2023. Fifth-generation fractal antenna design based on the Koch S nowflake geometry. A fractal theory application. *Expert Systems*, e13242. doi.org/10.1111/exsy.13242.
- Real LSC, Crestana S, Ferreira RRM, Sígolo JB, Rodrigues VGS. 2020. Proposition for a new classification of gully erosion using multifractal and lacunarity analysis: A complex of gullies in the Palmital stream watershed, Minas Gerais (Brazil). *Catena*, 186, 104377. doi.org/10.1016/j.catena.2019.104377.
- Richards S, Rao L, Connelly S, Raj A, Raveendran L, Shirin S, Jamwal P, Helliwell R. 2021. Sustainable water resources through harvesting rainwater and the effectiveness of a low-cost water treatment. *Journal of Environmental Management*, 286:112223.
- Sadeghi SHR, Yathribi B. 2008. Soil and water protection in forest watersheds, Rah-e Sobhan Publications commissioned by the Iranian Watershed Management Association, National Commission for UNESCO in Iran, first edition, 107 p. (In Persian).
- Sadeghi SHR. 2010. Study and measurement of water erosion, Tarbiat Modares University Press, first edition, 200 p. (In Persian).
- Saeediyan H, Moradi HR, Feiznia S, Bahramifar N. 2021. The role of slope aspect in runoff and sediment production of Ghachsaran and Aghajari formations. *Physical Geography Research Quarterly*, 53(2). (In Persian). doi.org/10.22059/JPH-GR.2021.313859.1007576.
- Salvi SS, Mukhopadhyay SD, Ranade AR, Rajagopalan A. 2017. Morphometric analysis of river drainage basin watershed using GIS and RS: a review. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 5:503-508.
- Shahzad F, Mahmood SA, Gloaguen R. 2010. Nonlinear analysis of drainage systems to examine surface deformation: an example from Potwar Plateau (Northern Pakistan). *Nonlinear Processes in Geophysics*, 17(2): 137-147. (In Persian).
- Shang P, Kamae S. 2005. Fractal nature of time series in the sediment transport phenomenon. *Chaos, Solitons and Fractals*, 26(3): 997-1007.
- Singh WR, Barman S, Tirkey G. 2021. Morphometric analysis and watershed prioritization in relation to soil erosion in Dudhnai Watershed. *Applied Water Science*, 11(9):1-12.
- Soler M, Latron J, Gallart F. 2007. Relationships between suspended sediment concentrations and discharge in two small research basins in a mountainous, Mediterranean area (Vallcebre, Eastern Pyrenees). *Geomorphology*-02336: 10 p.

- Tahmasebi Z, Zal F, Ahmani-khalaji A. 2015. Morphology of tourmaline in the Mashhad granites (g2) with using fractal analysis and Diffusion-Limited Aggregation. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 3: 417-428.
- Tukura NG, Akalu MM, Hussein M, Befekadu A. 2021. Morphometric analysis and sub-watershed prioritization of Welmal watershed, Ganale-Dawa River Basin, Ethiopia: Implications for sediment erosion. Journal of Sedimentary Environments, 6(1): 121-130.
- Wang Y, He Y, Zhan J, Li Z. 2022. Identification of soil particle size distribution in different sedimentary environments at river basin scale by fractal dimension. Scientific Reports, 12(1): 10960-10973.
- Zhang S, Guo Y, Wang Z. 2015. Correlation between flood frequency and geomorphologic complexity of rivers network—a case study of Hangzhou China. Journal of Hydrology, 527: 113-118. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.060.
- Ziaee HA. 2001. Principles of watershed management engineering, Imam Reza University, First Edition, 542 p. (In Persian).



Behavior Measurement of Morphological and Fractal Parameters of Watershed on Runoff and Sediment Components

Ali Talebi^{*1}, Mohammad Malehshahi², Hossien Khorshidy³, Mahin Kalehhouie⁴, Sayyed Hadi Abtahi⁵

1- Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

2- Graduated in Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

3- Assistant Prof., Faculty of Mathematic, Yazd University, Yazd, Iran

4- Former Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources,
Tarbiat Modares University

5- Ph.D. in Water Sciences and Engineering, Urmia University

Extended Abstract

Introduction and Goal

Understanding the role and influencing factors of soil erosion is crucial for effective management and recognition of erodible land areas. Watershed management is one of the most sensitive and complex types of resource and production management. The fractal dimension can be used to examine the complexity of data and simplify complex natural phenomena. This tool enables generating fractal patterns to assess the morphological behavior and power of watersheds. This research focused on the connection and interplay between the morphological characteristics of the watershed and the fractal dimension in the creation of runoff and sediment.

Materials and Methods

In this research, the necessary data were obtained from the statistics of the country in the water measuring and observation stations of the watershed. The base maps were utilized to determine the watershed characteristics. The calculation of the fractal characteristics was done in Fractalyse 2.4 software by utilizing the box counting method. The factor analysis method was used to identify 85

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: talebisf@yazd.ac.ir

Citation: Talebi, A., Malehshahi, M., Khorshidy, H., Kalehhouie, M., Abtahi, S.H. 2024. Behavior Measurement of Morphological and Fractal Parameters of Watershed on Runoff and Sediment Components. Watershed Management Research. 37(2): 110-132.

DOI: 10.22092/wmrj.2023.362706.1546

Received: 02 July 2023, **Received in revised form:** 25 July 2023, **Accepted:** 21 September 2023

Published online: 21 June 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.2, Ser. No: 143, Summer 2024, pp. 110-132.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)



features related to watershed. In this research, for further analysis, the size of annual runoff and sediment was investigated using different return periods. Therefore, 5 different scenarios were considered based on the homogeneity of the watershed, climatic characteristics, physical and morphological characteristics of the watershed, physical and climatic characteristics simultaneously, and fractal characteristics of the watershed. The correlation between estimated irrigation and sediment size (with different return periods) and different morphological features was also carried out.

Results and Discussion

The results of the factor analysis technique showed that among the 85 parameters related to the watershed, 18 are the effective parameters of the area, the slope area is 8-12 and 12-20%, the area of the east slope in 9 directions, the length of the 100-m level lines in the watershed, the total length of the stream, the concentration time base Kirpich method, elevation difference, fractal of 200-m level lines, deviation from the moisture standard, temperature difference, average slope, net slope of the main stream, average temperature, average moisture, average precipitation, elongation coefficient and fractal of the basin environment. Also, the fractal dimension of the 200-m horizontal lines and the fractal dimension of the watershed environment were able to significantly explain the overall changes in discharge and sedimentation. This finding explained well the role of fractal characteristics in the relationship between irrigation and sedimentation.

Conclusions and Suggestion

Based on the results of this research, it was found that almost all the effective factors in estimating discharge and sedimentation in large watersheds are summarized in the area and fractal of the watershed environment, and these two features justify the most changes in discharge and sedimentation. Therefore, with the reduction of the area of watersheds, the role of other factors such as the direction of the slope, the net slope of the waterway, etc., is more evident in explaining the changes, and it can be said that dividing large watersheds into smaller watersheds is the best measure to control the erosion and runoff of watersheds. Implementing watershed management measures in these small sub-watersheds is the next step. The reduction of watershed area in most relationships is sufficient to justify up to 70% of sediment changes. This research findings should be utilized by users and beneficiaries to implement watershed development and management programs.

Keywords: Erosion, fractal dimension, homogenous watersheds, runoff, self-similarity



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

ارزیابی کارایی مدل‌های یادگیری ماشین در تهیه نقشه‌ی خطر زمین لغزش در آبخیز بار نیشابور

علی دسترنج^{۱*}، ابراهیم کریمی سنگچینی^۲، حمزه نور^۳

- ۱ و ۳- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
- ۲- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

پهنه‌بندی حساسیت رخداد زمین لغزش با استفاده از روش‌های گوناگون، یکی از راهکارهای مدیریت زمین لغزش است. هدف از این پژوهش، مدل سازی مکانی حساسیت رخداد زمین لغزش با استفاده از سه روش مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی (RF)، بیشینه‌ی آنتروپی (ME) و مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) بود. افزون بر این، کارایی این مدل‌ها در پهنه‌بندی حساسیت رخداد زمین لغزش در آبخیز بار نیشابور، استان خراسان رضوی مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، لایه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌های آبخیز بار با ۷۳ نقطه‌ی ثبت شده، تهیه شد. این نقاط به شکل تصادفی به دو دسته برای آموزش مدل (۷۰٪) و اعتبارسنجی مدل (۳۰٪) تقسیم شدند. همچنین، با توجه به بررسی منابع گسترده، ۱۶ عامل مؤثر بر رخداد زمین لغزش در منطقه‌ی مطالعه‌ی شناسایی شد و لایه‌های رقومی در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. سپس نقشه‌ی خطر (استعداد) زمین لغزش بر اساس سه روش مزبور تهیه شد. سرانجام، برای ارزیابی صحت مدل سازی و مقایسه‌ی کارایی مدل‌ها از شاخص جمع کیفیت (QS) استفاده شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Dastranj66@gmail.com

استناد: دسترنج، ع.، کریمی سنگچینی، ا.، نور، ح. ۱۴۰۳. ارزیابی کارایی مدل‌های یادگیری ماشین در تهیه نقشه‌ی خطر زمین لغزش در آبخیز بار نیشابور. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۲): ۱۴۷-۱۳۳.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.361650.1531

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۳/۲۹، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۴۳، تابستان ۱۴۰۳، صفحه‌های ۱۳۳ تا ۱۴۷.

© نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که روش مدل جنگل تصادفی (RF) به عنوان مدل برتر ($Q_s = 0/018$) برای آبخیز برگزیده شد. مدل‌های بردار پشتیبان (SVM) با Q_s برابر با $0/014$ و مدل بیشینه‌ی آنتروپی (ME) با Q_s برابر با $0/013$ به ترتیب اولویت‌های بعدی بودند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج این پژوهش مدل جنگل تصادفی هم نتایج بهتر و هم کاربردی‌تر ارائه داد. تطبیق نتایج به‌دست آمده از این مدل با شرایط واقعی موجود با بازدیدهای میدانی انجام شد. افزون بر این میان نتایج نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل جنگل تصادفی و شرایط واقعی موجود در منطقه‌ی مطالعه‌شده تطبیق بسیار زیادی وجود داشت. سرانجام مشخص شد که با فرض تمرکز عملیات مدیریتی در طبقه‌های با حساسیت زیاد و انتخاب مدل جنگل تصادفی به عنوان مدل برتر، $75/5\%$ از مساحت منطقه از روند مدیریتی خارج شده است. بنابراین، برای مدیریت این بخش به زمان کم‌تر و تخصیص منابع مالی نیاز است.

واژگان کلیدی: آبخیز بار، استان خراسان رضوی، زمین‌لغزش، مدل جنگل تصادفی

مقدمه

یادگیری ماشین شامل: شبکه‌ی عصبی مصنوعی (یائو و همکاران ۲۰۲۲ و هاموزی و همکاران ۲۰۱۹)، وایزی لجستیک (عابدینی و همکاران ۲۰۱۷) و هماسینگ و همکاران ۲۰۱۸)، ماشین بردار پشتیبان (هانگ و همکاران ۲۰۱۷) و جنگل تصادفی (سوگن و همکاران ۲۰۱۹ و سان و همکاران ۲۰۲۱) به دلیل داشتن قابلیت زیاد پردازش اطلاعات با دقت زیاد برای تهیه نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش استفاده شده‌اند. مدل جنگل تصادفی یکی روش‌های یادگیری ماشین و مدل‌سازی درخت تصمیم است که با تلفیق نتیجه‌های به‌دست‌آمده از درخت‌های گوناگون، ارتباط میان رخداد زمین‌لغزش و سنجه‌های محیطی را برآورد می‌کند (حیدری و همکاران ۲۰۲۰). پژوهشگران پرشماری از جمله ژو و همکاران (۲۰۲۱)، سوگن و همکاران (۲۰۱۹)، سان و همکاران (۲۰۲۱) و ژائو و همکاران (۲۰۲۰)، در بررسی‌های خود به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش از مدل جنگل تصادفی استفاده کرده‌اند. یافته‌های این پژوهشگران بیان‌گر آن بود که مدل جنگل تصادفی دقت خوبی در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش داشت. در سال‌های اخیر یکی دیگر از روش‌های یادگیری ماشین، مدل بیشینه‌ی آنتروپی (ME) است که به شکل گسترده‌ای استفاده شده است. تیموری و همکاران (۲۰۱۹)، رجب‌زاده و همکاران (۲۰۱۸)، کرکس و همکاران (۲۰۱۸)، کرنژادی و همکاران (۲۰۱۷) و پانسی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش‌های خود از روش بیشینه‌ی آنتروپی در ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش استفاده کرده‌اند. یافته‌های این پژوهشگران کارایی مدل بیشینه‌ی آنتروپی (ME) در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش را تأیید کرد. یکی دیگر از روش‌های

زمین‌لغزش طبیعتاً شکل زمین را به‌طور ناگهانی برهم می‌زند و خسارت‌های فراوانی به مناطق مسکونی، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی وارد می‌کند (محمدنیا و همکاران ۲۰۲۰ و حلاجی و همکاران ۲۰۱۸). رخداد زمین‌لغزش موجب نابودی پوشش گیاهی، باغ‌ها، زمین‌های زراعی و حتی تلفات انسانی می‌شود. کشور ایران به دلیل مساعد بودن شرایط جغرافیایی، ضعف مدیریت جامع و رعایت نکردن آستانه‌های محیطی، به عنوان یک کشور پرمخاطره به‌شمار می‌آید (پاراحمدی و همکاران ۲۰۱۵). ایران از نظر بلاهای طبیعی جزء ده کشور اول دنیا است و هر ساله رخداد زمین‌لغزش‌ها در مناطق مختلف کوهستانی آن خسارت‌ها و صدمات جبران‌ناپذیری به بار می‌آورد (حجازی و رنجبریان شادباد ۲۰۱۴). با توجه به طیف گسترده‌ی رخداد زمین‌لغزش روش واحدی برای شناسایی و تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی برای ارزیابی خطر وجود ندارد. با به کارگیری روش‌های علمی، مجموعه‌ای از ابزارهای دقیق برای آماده‌سازی و استفاده‌ی بهینه از نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش و همچنین استفاده از مدل‌های پیش‌بینی لغزش فراهم می‌آید که مشکل شناسایی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را کاهش می‌دهد. نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش سنگ بنایی برای تصمیم‌گیران به منظور پیشنهاد اقدامات فنی، نظارتی و یا ترکیبی است (میتن ۲۰۱۵). همچنین، این نقشه‌ها ابزار مهمی برای مهندسان، دانشمندان علوم زمین، برنامه‌ریزان و مدیران برای انتخاب مکان‌های مناسب برای کشاورزی، ساخت‌وساز و دیگر فعالیت‌های توسعه‌ای به‌شمار می‌آید (کرنژادی و همکاران ۲۰۲۰ و ارکانگلو و همکاران ۲۰۰۲). در سال‌های اخیر روش‌های داده‌کاوی مانند روش‌های

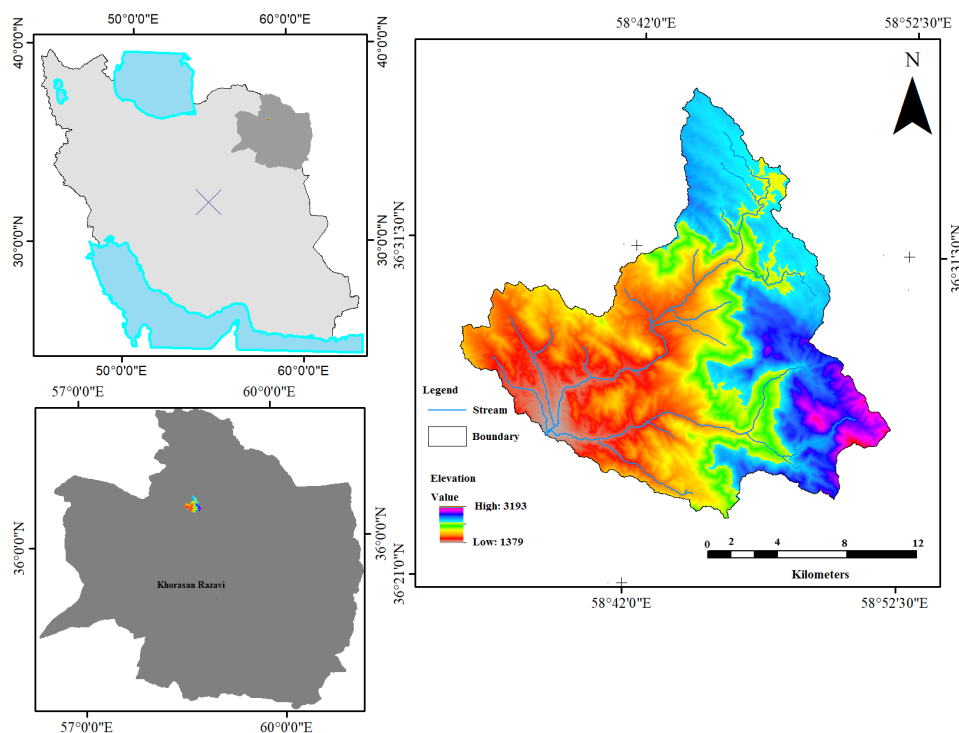
زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها در معرض خطر زمین‌لغزش هستند. از این رو، ضرورت شناسایی مناطق مستعد رخداد زمین‌لغزش در این آبخیز می‌تواند اثرات مثبتی بر زندگی و اقتصاد مردم منطقه داشته باشد. در این راستا، در این پژوهش از سه روش یادگیری ماشین شامل مدل جنگل تصادفی (RF)، بیشینه‌ی آنتروپی (ME) و مدل بردار پشتیبان (SVM) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در آبخیز بار نیشابور در استان خراسان رضوی استفاده شد. سپس به منظور ارزیابی صحت مدل‌ها از شاخص جمع کیفیت (QS) استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مطالعه‌شده

آبخیز بار در محدوده‌ی طول جغرافیایی $58^{\circ} 35' 23''$ تا $58^{\circ} 52' 4''$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 28' 9''$ تا $36^{\circ} 26' 7''$ شمالی و در دامنه‌های جنوبی بینالود است. آبخیز مزبور یکی از زیر آبخیزهای رود بار است که در شمال شهرستان نیشابور است. موقعیت منطقه‌ی مطالعه‌شده در شکل ۱ نشان‌داده شده است. آبخیز بار بخشی از ساختار زمین‌شناسی بینالود-آلاداغ است که در نتیجه‌ی تحولات زمین‌ساختی، انواع واحدهای سنگی و رسوبی دوران دوم و سوم زمین‌شناسی روی آن گسترش یافته است. شیب میانگین آبخیز $18/98$ درجه است و کمترین و بیشترین بلندی به ترتیب 1379 و 3193 متر از سطح دریا است.

یادگیری ماشین، مدل بردار پشتیبان (SVM) است که در این پژوهش از این مدل برای پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش استفاده شد. اسفندیاری درآباد (۲۰۲۰)، کرنژادی و همکاران (۲۰۱۹)، غلامی و همکاران (۲۰۱۹) و فام و همکاران (۲۰۱۶) نیز در پژوهش‌های خود با استفاده از مدل بردار پشتیبان، پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش را انجام دادند. این پژوهشگران کارایی مدل بردار پشتیبان در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را تأیید کردند. انتخاب مدل مناسب با صحت و دقت زیاد، می‌تواند در پیش‌بینی و مدیریت زمین‌لغزش در متن برنامه آمایش سرزمین کاربرد گسترده و مؤثری داشته باشد. در این پژوهش تلاش شد از بیشترین سنجه‌های مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش و همچنین از روش‌های جدید یادگیری ماشین در منطقه‌ی مطالعه‌شده، استفاده شود. آبخیز بار در شمال‌غربی شهر نیشابور است. به دلیل استقرار روستاهای پرشمار و شهر بار، مهم‌ترین فعالیت‌ها کشاورزی، باغداری و دامداری است، که نقش مهمی در تولیدات باغی و کشاورزی و تولیدات دامی در استان خراسان رضوی دارد. همچنین، این آبخیز با چشم‌اندازهای بسیار زیبا، یکی از قطب‌های گردشگری استان خراسان رضوی به‌شمار می‌آید. در این آبخیز به دلیل شرایط زمین‌شناسی، اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، ظرفیت رخداد زمین‌لغزش وجود دارد. همچنین، مسیرهای ارتباطی و جاده‌های موجود، خطوط انتقال برق، لوله‌های انتقال آب، خطوط انتقال گاز، مناطق مسکونی و



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز بار استان خراسان رضوی.

Figure 1- Geographical location of Bar Watershed in Khorasan Razavi Province.

روش تحقیق

تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش

یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی خطر زمین لغزش، شناسایی و تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌های آبخیز است. از این رو، ابتدا با استفاده از نقشه زمین لغزش‌های منطقه مطالعه‌شده که به‌وسیله اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی که با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ در سال ۱۳۸۲، تهیه شده بود، نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه استخراج شد. سپس، این نقشه با بازدید میدانی از آبخیز و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، اصلاح و به‌روزرسانی شد. در ادامه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تهیه شد. سرانجام ۷۳ نقطه زمین لغزش در منطقه مطالعه‌شده شناسایی شد، که از این تعداد ۵۲ زمین لغزش برای آموزش مدل و ۲۱ زمین لغزش دیگر به‌منظور اعتبارسنجی مدل استفاده شد.

تهیه لایه‌ی عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین لغزش

اولین مرحله مطالعه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، شناخت و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به عامل‌هایی است که در رخداد زمین لغزش‌ها نقش مؤثری دارند. در این پژوهش، از میان این عامل‌ها، آن دسته از عامل‌ها که بر پایه پژوهش‌های انجام‌شده در مناطق دیگر و بر پایه نظر کارشناسی تأثیر زیادی در رخداد لغزش داشتند، انتخاب شدند. سرانجام، مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر زمین لغزش‌های منطقه شامل شیب، جهت شیب، طبقه‌بندی بلندی، زمین‌شناسی، شبکه‌ی زهکشی (فاصله از رود)، جاده (فاصله از جاده)، گسل (فاصله از گسل)، شاخص‌های پستی‌بلندی (شاخص توان رود (SPI)، شاخص رطوبت پستی‌بلندی (TWI) و شاخص طول شیب (LS))، شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی (شاخص موقعیت پستی‌بلندی (TPI)، شاخص ناهمواری پستی‌بلندی (TRI) و شاخص انحنای سطح (Curvature Index)، کاربری زمین، شاخص بهنجار شده‌ی تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و خطوط هم بارش برای بررسی مناطق حساس به زمین لغزش انتخاب شدند.

نقشه‌ی کاربری منطقه مطالعه‌شده با استفاده از نقشه‌ی کاربری زمین استان خراسان رضوی که از اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه شده بود، استخراج شد. سپس این نقشه با بازدید میدانی و به‌ویژه بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، اصلاح شد. لایه‌های شیب، جهت شیب و طبقه‌بندی بلندی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک زمینی ۱۲/۵ متر و نرم‌افزار Arc GIS 10.8 تهیه شد. برای

تهیه لایه‌های زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه مطالعه‌شده از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نیشابور و اخمد با شماره‌ی صفحه ۷۷۶۲ و ۷۷۶۳ (تهیه‌شده به‌وسیله سازمان زمین‌شناسی)، استفاده شد. از تابع فاصله‌ی اقلیدسی برای تهیه و آماده‌سازی فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.8، استفاده شد. نقشه‌ی بارش با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی که در درون و نزدیک منطقه مطالعه‌شده بودند، استخراج شد. شاخص NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ در سال ۲۰۱۹ و در فصل رشد در محیط Google Earth engine، تهیه شد. نقشه‌ی جاده‌های منطقه مطالعه‌شده با استفاده از نقشه‌ی جاده‌های استان که به‌وسیله اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی تهیه شده بود، استخراج شد و با انجام بازدیدهای میدانی و تصاویر ماهواره‌ی Google Earth، اصلاح شد. شاخص توان آبراهه (SPI) با استفاده از رابطه‌ی ۱ و بر پایه‌ی دستور Raster Calculator در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.8 محاسبه شد (عظیم‌پور مقدم ۲۰۱۵).

$$SPI = A_s \tan \beta \quad (1)$$

AS: مساحت آبخیز و $\tan \beta$: اندازه‌ی شیب منطقه در هر پیکسل است.

شاخص رطوبت پستی‌بلندی (TWI) با استفاده از رابطه‌ی ۲ در محیط نرم‌افزار SAGA GIS، تعیین شد.

$$TWI = \ln \alpha / \tan \beta \quad (2)$$

α : مساحت بالاست در واحد طول و β : شیب منطقه‌ای است.

شاخص موقعیت پستی‌بلندی (TPI) با استفاده از رابطه‌ی ۳ به‌دست آمد.

$$TPI = Z_0 - \sum_{n=1} Z_{n/n} \quad (3)$$

Z_0 : بلندی نقطه‌ی مدل تحت ارزیابی، Z_n : بلندی از شبکه و n : تعداد کل نقاط پیرامون در نظر گرفته‌شده در ارزیابی است.

شاخص ناهمواری پستی‌بلندی (TRI) با استفاده از رابطه‌ی ۴ محاسبه شد.

$$TRI = \sqrt{\sum_{p=1}^8 Z_{Md}} \quad (4)$$

P: تعداد پیکسل پیرامون، ZMd: میانگین تفاضل ۸ پیکسل پیرامون هر پیکسل است.

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل جنگل تصادفی (RF)

پس از تعیین عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین لغزش، تهیه‌ی لایه‌های این عامل‌ها، تهیه‌ی لایه‌ی زمین لغزش‌های منطقه‌ی مطالعه‌شده و تهیه‌ی بانک اطلاعاتی، نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل جنگل تصادفی (RF) در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار آماری R، تهیه شد. مدل جنگل تصادفی یکی از روش‌های ماشین یادگیری برای مدل‌سازی درخت تصمیم است. در این مدل، نمونه‌گیری تصادفی از اطلاعات و متغیرها، به‌شکل خودکار و تکرارشونده برای تولید انبوهی از درختان وایازی انجام می‌شود. در این پژوهش، به‌منظور به‌کارگیری مدل جنگل تصادفی در ارزیابی استعداد زمین لغزش از نرم‌افزار R و بسته RandomForest استفاده شد. سرانجام، نقشه‌ی نهایی حساسیت زمین لغزش بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در پنج طبقه‌ی استعداد (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) پهنه‌بندی شد (کرنازادی و همکاران ۲۰۱۹).

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل پیش‌بینی آنروپی (ME)

روش پیش‌بینی آنروپی یکی از روش‌های یادگیری ماشینی است که قابلیت زیادی در پیش‌بینی مکانی پدیده‌های گوناگون محیطی دارد (پارک ۲۰۱۵). مدل پیش‌بینی آنروپی از ابتدا سعی در یافتن رابطه‌های متغیرهای مستقل و وابسته دارد تا بر اساس آن پیش‌بینی مبتنی بر واقعیت را ارائه دهد. برای استفاده از این مدل برای پیش‌بینی رفتار یک‌گونه یا پدیده نیاز به نقاط بدون حضور آن‌گونه یا پدیده نیست؛ بلکه از یک گروه عامل‌های تأثیرگذار (عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین لغزش) و همچنین نقاط حضور آن پدیده (نقاط لغزشی برای مدل‌سازی) استفاده می‌کند. در این پژوهش، به‌منظور پهنه‌بندی حساسیت رخداد زمین لغزش از مدل پیش‌بینی آنروپی در نرم‌افزار MaxEnt استفاده شد. به‌منظور استفاده از این مدل ابتدا متغیرهای مستقل (عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین لغزش) و متغیرهای وابسته (نقاط رخداد زمین لغزش)، به‌شکل مد نظر تبدیل شدند و وارد محیط نرم‌افزار MaxEnt شدند. این مدل بر اساس اصل آنروپی، شبکه‌ی ارتباط میان

متغیرهای مستقل و وابسته را تشکیل می‌دهد. سرانجام، نقشه‌ی نهایی حساسیت زمین لغزش بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در پنج طبقه‌ی استعداد (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) پهنه‌بندی شد (کرنازادی و همکاران ۲۰۱۵).

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)

این مدل یکی از مدل‌های یادگیری ماشین نظارت‌شده است که به‌منظور طبقه‌بندی و تفکیک داده‌ها به‌کار می‌رود. به بیان دیگر، پس از مشخص شدن داده‌های ورودی مدل (متغیرهای مستقل) و داده‌های هدف (متغیرهای وابسته)، مدل ماشین بردار پشتیبان پس از تجزیه و تحلیل میان متغیرهای مستقل و وابسته (واسنجی)، داده‌ها را به گروه‌های متمایزی تقسیم می‌کند. در مدل SVM، هر نمونه داده به‌عنوان یک نقطه در فضای n بعدی روی نمودار پراکندگی داده‌ها رسم می‌شود (n تعداد ویژگی‌هایی است که یک نمونه داده دارد) و اندازه‌ی هر ویژگی از داده‌ها، یکی از مؤلفه‌های مختصات نقطه روی نمودار را مشخص می‌کند. ایده‌ی اصلی این مدل به‌شکل یک طبقه‌بندی دوتایی با استفاده از نقاط آموزشی است که فضای ورودی اصلی را به یک فضای با ابعاد بیشتر، برای یافتن یک ابر صفحه مطلوب تبدیل می‌کند. نقاط آموزشی که نزدیک به صفحه‌ی مطلوب است، پشتیبان بردار نامیده می‌شود. هنگامی که سطح تصمیم به‌دست آمد، می‌توان از آن برای برآورد داده‌های جدید استفاده کرد (رابط و همکاران ۲۰۲۰). در این پژوهش، به‌منظور استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان از نرم‌افزار modEco و مدل SVR استفاده شد.

ارزیابی کارایی مدل‌ها

در این پژوهش، از شاخص نسبت تراکم^۱ برای ارزیابی توانایی مدل‌ها در تفکیک طبقه‌های حساسیت به زمین لغزش استفاده شد. هر چه تفکیک بین طبقه‌های خطر بیشتر باشد مدل توانایی بیشتری دارد. همچنین از شاخص جمع کیفیت (Quality Sum) برای مقایسه‌ی کارایی مدل‌ها استفاده شد. هر چه اندازه‌ی QS به‌دست آمده بیشتر باشد آن مدل برای منطقه‌ی مطالعه‌شده مناسب‌تر است (کریمی سنگچینی و همکاران ۲۰۱۲). در این پژوهش، شاخص نسبت تراکم با استفاده از رابطه‌ی ۵ تعیین شد.

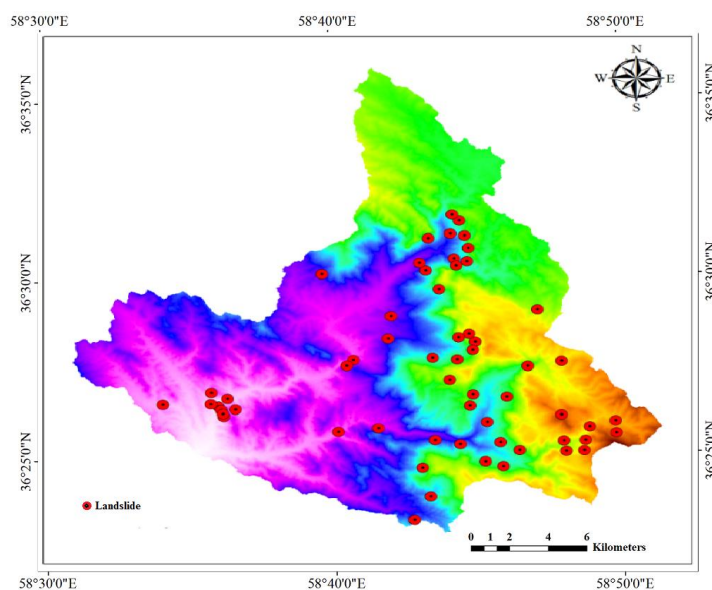
Qs: شاخص جمع مطلوبیت، Dr: تراکم لغزش در هر طبقه خطر، S: نسبت مساحت هر طبقه خطر به مساحت کل آبخیز و n: تعداد طبقه خطر است.

$$Dr = \frac{Si/Ai}{\sum_1^n Si / \sum_1^n Ai} \quad (5)$$

Dr: تراکم لغزش در هر طبقه خطر، Ai: مساحت هر طبقه خطر، Si: مساحت زمین لغزش در هر طبقه خطر و n: تعداد طبقه‌های خطر است.

$$Qs = \sum_{i=1}^n [(Dr - 1)^2 \times S] \quad (6)$$

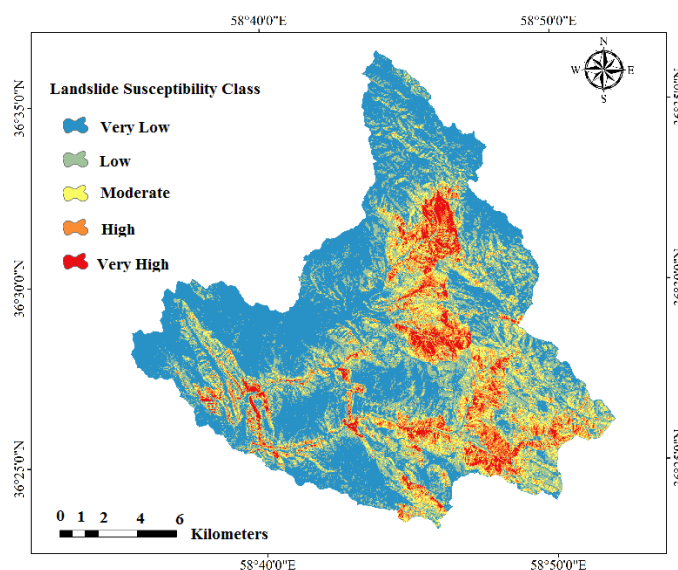
نتایج
نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌های منطقه‌ی مطالعه‌شده
نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش آبخیز بار با ۷۳ نقطه‌ی ثبت‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش در منطقه‌ی مطالعه‌شده.
Figure 2- Landslide distribution map in the studied area.

استفاده از نقاط عطف (شکست طبیعی) منحنی تجمعی فراوانی پیکسل‌ها به پنج طبقه (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تقسیم شد (شکل ۳).

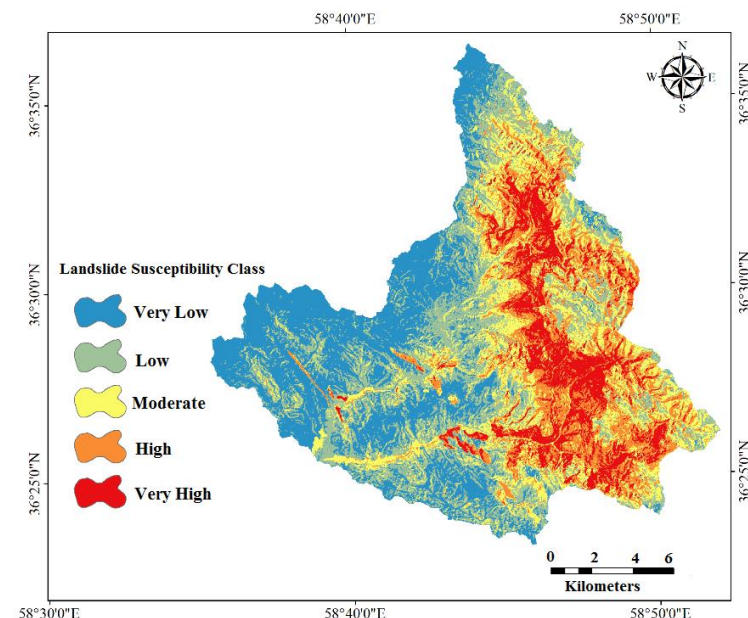
شدت خطر زمین لغزش آبخیز بار با مدل بیشینه‌ی آنتروپی نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش آبخیز بار با استفاده از مدل بیشینه‌ی آنتروپی تهیه شد. سپس این نقشه با



شکل ۳- نقشه‌ی حساسیت رخداد زمین لغزش آبخیز بار با مدل بیشینه‌ی آنتروپی.
Figure 3- Landslide sensitivity map with Maximum Entropy Model of Bar Watershed.

با استفاده از نقاط عطف (شکست طبیعی) منحنی تجمعی فراوانی پیکسل‌ها به پنج طبقه (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تقسیم شد (شکل ۴).

شدت خطر زمین لغزش آبخیز بار با مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)
نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش آبخیز بار با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان تهیه شد. سپس این نقشه

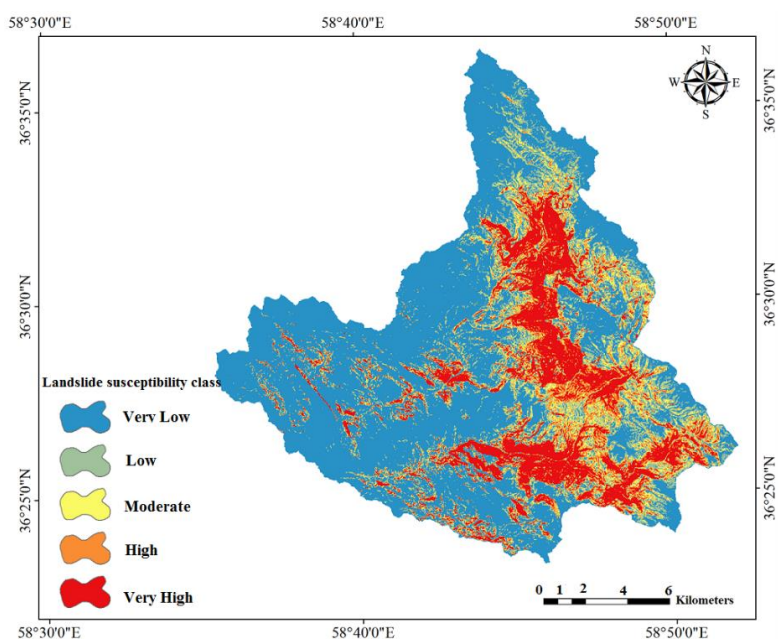


شکل ۴- نقشه‌ی شدت خطر زمین لغزش آبخیز بار با مدل ماشین بردار پشتیبان.

Figure 4- Landslide risk intensity map with support Vector Machine Model of Bar Watershed.

نقاط عطف (شکست طبیعی) منحنی تجمعی فراوانی پیکسل‌ها به پنج طبقه (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تقسیم شد (شکل ۵).

شدت خطر زمین لغزش آبخیز بار با مدل جنگل تصادفی (RF)
نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش آبخیز بار با استفاده از مدل جنگل تصادفی تهیه شد. سپس این نقشه با استفاده از



شکل ۵- نقشه‌ی شدت خطر زمین لغزش آبخیز بار با مدل جنگل تصادفی.

Figure 5- Landslide risk intensity map with Random Forest Model of Bar Watershed

زمین لغزش‌های منطقه، انطباق داده شدند. سپس، شاخص‌های Q_s و Dr برای ارزیابی کارایی مدل‌ها و تعیین طبقه‌های خطر، محاسبه شدند (جدول ۱).

ارزیابی کارایی مدل‌ها با استفاده از شاخص Q_s و Dr در این پژوهش، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمده از مدل‌ها با نقشه‌ی پراکنش

جدول ۱- تعیین شاخص Q_s و Dr برای مدل‌های استفاده شده.Table 1- Determination of Dr and Q_s index for the used models.

Zoning method	Class	Area(ha)	Landslide area in each class (ha)	Area ratio	Dr	Q_s	Rank
ME method	Very Low	7301	5	0.0007	0.01	0.013	3
	Low	7004	9	0.0013	0.02		
	Moderate	5396	13	0.0024	0.04		
	High	4237	19	0.0045	0.08		
	Very High	3704	27	0.0073	0.13		
SVM method	Very Low	761	2	0.003	0.05	0.014	2
	Low	7039	8	0.001	0.02		
	Moderate	5343	11	0.002	0.04		
	High	4407	22	0.005	0.09		
	Very High	4340	30	0.007	0.13		
RF method	Very Low	15294	4	0.0003	0.005	0.018	1
	Low	3446	11	0.0032	0.058		
	Moderate	2311	9	0.0039	0.071		
	High	2170	22	0.01	0.185		
	Very High	4420	27	0.0061	0.11		

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور ارزیابی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در آبخیز بار در استان خراسان رضوی ابتدا با انجام بررسی‌های کتابخانه‌ای و بازدیدهای میدانی، عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین لغزش تعیین و جمع‌آوری شد. سپس، لایه‌های اطلاعاتی شامل شیب، جهت شیب، طبقه‌های بلندی، زمین‌شناسی، شبکه‌ی زهکشی (فاصله از رود)، جاده (فاصله از جاده)، گسل (فاصله از گسل)، شاخص‌های پستی‌بلندی (شاخص توان رود (SPI)، شاخص رطوبت پستی‌بلندی (TWI) و شاخص طول شیب (LS)، شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی (شاخص موقعیت پستی‌بلندی (TPI)، شاخص ناهمواری پستی‌بلندی (TRI) و شاخص انحنا سطح، کاربری زمین، شاخص بهنجار شده‌ی تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و بارش در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تهیه شد. در این پژوهش، از میان این عامل‌ها، آن دسته از عامل‌ها که بر پایه‌ی پژوهش‌های انجام شده در مناطق دیگر و بر پایه‌ی نظر کارشناسی تأثیر زیادی در رخداد لغزش داشتند، انتخاب شدند. در این راستا، سنجه‌های درجه‌ی شیب، جهت شیب، بلندی از سطح دریا، شکل شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، بارندگی، سنگ‌شناسی و کاربری زمین بر پایه‌ی نتایج پژوهش‌های عیفی و همکاران (۲۰۲۱) به عنوان عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین لغزش انتخاب شدند. سنجه‌های درجه‌ی شیب،

جهت شیب، انحنا سطح، انحنا سطح، جهت شیب، بلندی، شاخص رطوبت پستی‌بلندی، شاخص وضعیت پستی‌بلندی، بارش، کاربری زمین، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از شبکه‌ی آبراهه، فاصله از جاده بر پایه‌ی نتایج پژوهش‌های عمادالدین و همکاران (۲۰۲۱) به عنوان عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین لغزش انتخاب شدند. سنجه‌های سنگ‌شناسی، شرایط آب زیرزمینی، فاصله از گسل، سنجه‌های زمین‌ریخت‌سنجی (شیب، جهت و انحنا)، کاربری زمین و بارش، بر پایه‌ی نتایج پژوهش‌های شان و همکاران (۲۰۲۱) انتخاب شدند. سنجه‌های داده‌های زمین لرزه، بارش، DEM، SPI، TWI، شبکه‌ی زهکشی، شیب، جهت شیب و آبگیرها بر پایه‌ی نتایج پژوهش‌های تیانجی و همکاران (۲۰۲۱) به عنوان عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین لغزش انتخاب شدند.

شرایط طبیعی آبخیز بار نیشابور مانند زمین‌شناسی، شرایط ناهمواری‌ها، زمین‌ریخت‌شناسی و زمین‌ساخت (تکتونیک) و عامل‌های تشدیدکننده‌ی انسانی مانند تغییر کاربری و راه‌های روستایی سبب شده تا بستر مناسبی برای رخداد زمین لغزش به وجود آید. در این پژوهش، لایه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌های آبخیز بار با ۷۳ نقطه‌ی ثبت شده، تهیه شد. این نقاط به شکل تصادفی به دو دسته برای آموزش مدل (۷۰٪) و اعتبارسنجی مدل (۳۰٪) تقسیم شدند. سپس با کمک سه مدل یادگیری ماشین شامل، بیشینه‌ی آنتروپی

حساسیت زمین لغزش در پژوهش های پرشماری (حلاجی و همکاران ۲۰۲۰)، اسفندیاری در آباد و همکاران (۲۰۲۰)، پنگ و همکاران (۲۰۱۴)، هانگ و همکاران (۲۰۱۵)، لی و همکاران (۲۰۱۷) و (فام و همکاران ۲۰۱۶) از مدل SVM استفاده شده است. در این پژوهش، بر اساس نتایج به دست آمده از این مدل ۵۲/۹٪ مساحت سطح آبخیز بار در طبقه های حساسیت خیلی کم و کم، ۱۹/۳٪ در طبقه های حساسیت متوسط و ۲۷/۶٪ در طبقه های حساسیت زیاد و خیلی زیاد، بود. اندازه ی مساحت سطح زیر نمودار شاخص ROC در مرحله ی اعتبارسنجی ۰/۸۵ به دست آمد که بیانگر قابلیت خیلی خوب مدل در پهنه بندی و تعیین مناطق مستعد خطر زمین لغزش در آبخیز بار بود. سرانجام به منظور مقایسه ی عملکرد این سه مدل از شاخص مجموع کیفیت (QS)، استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که روش مدل جنگل تصادفی (RF) به عنوان مدل برتر (QS= ۰/۰۱۸) برای آبخیز برگزیده شد. مدل های بردار پشتیبان (SVM) با QS برابر با ۰/۰۱۴ و مدل پیشینه ی آنتروپی (ME) با QS برابر با ۰/۰۱۳ به ترتیب اولویت های بعدی بودند. نتایج این پژوهش در زمینه ی برتری و دقت مدل جنگل تصادفی در مقایسه با دیگر مدل ها، با یافته های کرنژادی و همکاران (۲۰۲۰)، حیدری و همکاران (۲۰۲۰)، شیرانی و همکاران (۲۰۲۲)، چن و همکاران (۲۰۱۷)، رحمتی و همکاران (۲۰۱۸) و پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۸) هم راستا است. مدل جنگل تصادفی هم نتایج بهتر و هم کاربردی تر ارائه داد. تطبیق نتایج به دست آمده از این مدل با شرایط واقعی موجود با بازدیدهای میدانی انجام شد. افزون بر این میان نتایج نقشه ی پهنه بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل جنگل تصادفی و شرایط واقعی موجود در منطقه ی مطالعه شده تطبیق بسیار زیادی وجود داشت. سرانجام مشخص شد که با فرض تمرکز عملیات مدیریتی در طبقه های با حساسیت زیاد و انتخاب مدل جنگل تصادفی به عنوان مدل برتر، ۷۵/۵٪ از مساحت منطقه از روند مدیریتی خارج شده است. بنابراین، برای مدیریت این بخش به زمان کم تر و تخصیص منابع مالی نیاز است.

(ME)، جنگل تصادفی (RF) و مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)، نقشه ی حساسیت رخداد زمین لغزش تهیه شد. در دهه ی گذشته، به مدل پیشینه ی آنتروپی به عنوان یکی از روش های کمی تعیین حساسیت، توجه زیادی شده و پژوهشگران در نقاط مختلف دنیا از آن استفاده کرده اند. از جمله در پژوهش های کوه پیمای (۲۰۱۷) و کرنژادی (۲۰۱۸) در ایران، کانورتینو و همکاران (۲۰۱۳) در ایتالیا و کیم و همکاران (۲۰۱۵) در کره ی جنوبی از روش پیشینه ی آنتروپی استفاده شده است. در این پژوهش، بر اساس نتایج به دست آمده از این مدل، ۵۱/۸٪ مساحت سطح آبخیز بار در طبقه های حساسیت خیلی کم و کم، ۱۹/۵٪ در طبقه های حساسیت متوسط و ۲۸/۶٪ در طبقه های حساسیت زیاد و خیلی زیاد، بود. همچنین، اندازه ی مساحت سطح زیر نمودار شاخص ROC در مرحله ی اعتبارسنجی ۰/۸۵۴ به دست آمد که بیانگر قابلیت خیلی خوب مدل در پهنه بندی و تعیین مناطق مستعد خطر زمین لغزش در آبخیز بار بود. مدل جنگل تصادفی (RF) با تشکیل انبوهی از درخت های تصمیم، درگیر کردن عامل های زمینه ساز مؤثر و شواهد رخداد زمین لغزش در فرایند مدل سازی و با تکرار زیاد، در پیش بینی الگوی حساسیت زمین لغزش قدرت بسیار زیادی داشت. به منظور ارزیابی خطر زمین لغزش در پژوهش های پرشماری (کرنژادی ۲۰۱۸)، (محمدی و پورقاسمی ۲۰۱۷)، (طالبی و همکاران ۲۰۱۸)، (چن و همکاران ۲۰۱۷)، (رحمتی و همکاران ۲۰۱۸) و (پورقاسمی و همکاران ۲۰۱۸) از این مدل استفاده شده است. در این پژوهش، بر اساس نتایج به دست آمده از این مدل ۶۷/۷٪ مساحت آبخیز بار در طبقه های حساسیت خیلی کم و کم، ۷/۸٪ در طبقه های حساسیت متوسط و ۲۳/۷٪ در طبقه های حساسیت زیاد و خیلی زیاد، بود. همچنین، اندازه ی مساحت سطح زیر نمودار شاخص ROC در مرحله ی اعتبارسنجی ۰/۸۷ به دست آمد که بیانگر قابلیت خیلی خوب مدل در پهنه بندی و تعیین مناطق مستعد خطر زمین لغزش در آبخیز بار بود. مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) یکی از مدل های یادگیری ماشین نظارت شده است که به منظور طبقه بندی و تفکیک داده ها به کار می رود. به منظور پهنه بندی

فهرست منابع

- Abedini M, Ghasemyan B, Rezaei Mogaddam M.H. 2017. Landslide susceptibility mapping in Bijar city, Kurdistan Province, Iran: a comparative study by logistic regression and AHP models. *Environmental Earth Sciences*, 76(8): 1-14.
- Afifi M. 2021. Spatial analysis of landslide risk with emphasis on geomorphological factors using stochastic forest model (Case study: Larestan City in Fars Province), *Journal of Physical Geography*, 14(51): 39-53. (In Persian). 20.1001.1.20085656.1400.14.51.3.0
- Azimpour Moghadam V. 2014. Landslide risk zoning using Bayesian and Dempster-Schiffer theory (Case study: A part of Babelrud Watershed). Master's Thesis. Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources. University of Sari. pp. 1-135. (In Persian).
- Convertino M, Troccoli A, Catani F. 2013. Detecting fingerprints of landslide drivers: A MaxEnt model. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118(3): 1367-1386. <https://doi.org/10.1002/jgrf.20099>
- Emadodin S, Taheri V, Mohammad Ghasemi M, Nazari Z. 2021. Landslide susceptibility zonation applying frequency ratio models and statistical index in in Oghan Watershed, *Quantitative Geomorphological Researches*, 9(4): 75-95. (In Persian). DOI:10.1007/s00254-001-0454-2
- Ercanoglu M, Gokceoglu C. 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41(6): 720-730. DOI:10.1007/s00254-001-0454-2
- Esfandiary Darabad F, Rahimi M, Navidfar A, Mehrvarz A. 2020. Assessment of landslide sensitivity by neural network method and Vector machine algorithm (Case study: Heyran Road -Ardebil Province), *Quantitative Geomorphological Researches*, 9(3): 18-33. (In Persian). DOI:10.1016/j.job.2019.100853
- Gholami M, Ghanavati E, Ahmadabadi A. 2019. Landslide susceptibility mapping of Kan using index of Entropy and LSM, *Quantitative Geomorphological Researches*, 8(1): 16-33. (In Persian). DOI:10.1016/j.catena.2012.05.005
- Hallaji M, Asadi M, Amirahmadi A. 2020. An assessment of the landslide susceptibility prediction models in the Bar Watershed- Neyshabur, *Watershed Management Research*, 33(127): 20-30. (In Persian). -10.22092/WMEJ.2019.126950.1241
- Harmouzi H, Nefeslioglu, H. A, Rouai M, Sezer E. A, Dekayir A, Gokceoglu C. 2019. Landslide susceptibility mapping of the Mediterranean coastal zone of Morocco between Oued Laou and El Jebha using artificial neural networks (ANN). *Arabian Journal of Geosciences*, 12(22): 1-18.
- Hemasinghe H, Rangali R. S, Deshapriya N. L, Samarakoon L. 2018. Landslide susceptibility mapping using logistic regression model (a case study in Badulla District, Sri Lanka). *Procedia Engineering*, 212(2): 1046-1053. <https://doi.org/10.1016/j.pro-eng.2018.01.135>
- Heydari N, Habibnejad M, Kavian A, Pourghasemi H. 2020. Landslide susceptibility modelling using the Random Forest Machine Learning algorithm in the Watershed of Rais-Ali Delvari Reservoir, *Watershed Management Research*, 33(126): 2-13. (In Persian). 10.22092/WMEJ.2019.126288.1219
- Hijazi A, Ranjbarian Shadbad M. 2013. Identification of effective factors and zoning of landslide risk in the western part of Serand Chai watershed, *Quantitative Geomorphology Researches*, 313(1): 114-129. (In Per-

- sian).
- Hong H, Pradhan B, Xu C, Bui D. 2015. Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang area (China) using two-class kernel logistic regression, alternating decision tree and support vector machines. *Catena*, 133(2): 266-281. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.019>Get rights and content
- Karimi Sangchini E, Ownegh M, Saddodin A. 2012. Comparing applicability of 4 quantitative and semi-quantitative models in landslide hazard zonation in Chehel-Chay watershed, Golestan province, Water and Soil Conservation, pp. 19-32. (In Persian). 20.10.01.1.23222069.1391.19.1.11.2
- Kerekes A, Poszet S, Andrea GÁL. 2018. Landslide susceptibility assessment using the maximum entropy model in a sector of the Cluj-Napoca Municipality, Romania. *Revista de Geomorfologie*, 20(1): 130-146. DOI:-<https://doi.org/10.21094/rg.2018.039>
- Kim H.G, Lee D.K, Park C, Kil S., Son Y, and Park, J.H. 2015. Evaluating landslide hazards using RCP 4.5 and 8.5 scenarios. *Environmental Earth Sciences*, 73(3): 1385-1400.
- Koohpayma A. 2016. Susceptibility zoning, landslide risk assessment and management (Case study: Lethyan Watershed). Ph.D. Thesis. Tehran University, Agriculture and Natural Resources Campus, Faculty of Natural Resources. Tehran Iran. pp. 1-189. (In Persian).
- Kornejady A, Ownegh M, Pourghasemi H, Bahremand A, Motamedi M. 2020. Landslide susceptibility prediction using the coupled Mahalanobis distance and machine learning models (Case study: Owghan Watershed, Golestan Province), *Journal of Earth Science Researches*, 11(42): 1-18. (In Persian). 10.52547/ESRJ.11.2.1
- Kornejady A, Pourghasemi H. (2019). Landslide susceptibility assessment using data mining models, A case study: Chehel-Chai Basin, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(1): 28-42. (In Persian). -<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.118436>
- Kornejady A. 2017. Assessing potential, danger, risk and preparation of landslide strategic management plan for Oghan watershed, Golestan province, Iran. Ph.D. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Pasture and Watershed Management. Gorgan, Iran. pp. 1-154. (In Persian).
- Kornejady A, Pourghasemi H.R, Afzali, S.F. 2019. Presentation of RFFR new ensemble model for landslide susceptibility assessment in Iran. In *Landslides: Theory, Practice and Modelling* .pp. 123-143.
- Lee S, Hong S.M, Jung, H.S. 2017. A support vector machine for landslide susceptibility mapping in Gangwon Province, Korea. *Sustainability*, 9(1): 48-55. <https://doi.org/10.3390/su9010048>
- Meten M, PrakashBhandary N, Yatabe, R. 2015. Effect of landslide factor combinations on the prediction accuracy of landslide susceptibility maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 2(1): 1-17.
- Mohammadnia M, Fallah GH. 2018. Landslides susceptibility mapping using fuzzy logic and AHP, *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 18(48): 115-130. (In Persian). 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3
- Mohammady M, Pourghasemi H. 2017. Prioritization of landslide-conditioning factors and its landslide susceptibility mapping using Random Forest New Algorithm (Case study: A Part of Golestan Province), *Journal of Watershed Management Research*, 8(15): 161-170. (In Persian). doi:10.29252/jwmr.8.15.161
- Pandey V.K. Pourghasemi, H.R, Sharma, M.C. 2020. Landslide susceptibility map-

- ping using maximum entropy and support vector machine models along the Highway Corridor, Garhwal Himalaya. *Geocarto International*, 35(2): 168-187. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1510038>
- Peng L, Niu R, Huang B, Wu X, Zhao Y, Ye R. 2014. Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area, China. *Geomorphology*, 204: 287-301. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.013>
- Pham B.T, Pradhan B, Bui, D.T, Prakash I, Dholakia M.B. 2016. A comparative study of different machine learning methods for landslide susceptibility assessment: A case study of Uttarakhand area (India). *Environmental Modelling and Software*, 84(1): 240-250. DOI:10.1016/j.envsoft.2016.07.005
- Pourghasemi H.R, Rahmati O. 2018. Prediction of the landslide susceptibility: Which algorithm, which precision? *Catena*, 162(3): 177-192. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.11.022>
- Rabet A, Dastranj A, Asadi S, Asadi Nalivan O. 2020. Determination of groundwater potential using artificial neural network, Random Forest, Support Vector Machine and Linear Regression models (Case study: Lake Urmia Watershed), *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 7(4): 1047-1060. (In Persian).
- Rahmati O, Kornejady A, Samadi M, Nobre A.D, and Melesse A.M. 2018. Development of an automated GIS tool for reproducing the HAND terrain model. *Environmental Modelling and Software*, 102(2): 1-12. :10.1016/j.envsoft.2018.01.004
- Rajabzadeh F, ghiasi S, Rahmati O. 2019. The performance of the maximum entropy algorithm and geographic information system in shallow landslide susceptibility assessment, *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 8(2): 57-74. (In Persian). 10.22069/JWSC.2022.19292.3478
- Sevgen E, Kocaman S, Nefeslioglu H.A, Gokceoglu C. 2019. A novel performance assessment approach using photogrammetric techniques for landslide susceptibility mapping with logistic regression, ANN and random forest. *Sensors*, 19(18): 3940, 1-19. <https://doi.org/10.3390/s19183940>
- Shano L, Raghuvanshi T. K, Meten, M. 2021. Landslide hazard zonation using Logistic Regression Model: The Case of Shafe and Baso Catchments, Gamo Highland, Southern Ethiopia. *Geotechnical and Geological Engineering*, pp. 1-19.
- Shirani K, Naderi Samani R. 2022. Determination of effective factors and assessment of landslide susceptibility using random forest and artificial neural network in Doab Samsami Region, Chaharmahal va Bakhtiari Province, Watershed Management Research, 35(134): 40-60. (In Persian). 10.22092/WMRJ.2021.354962.1421
- Sun D, Xu J, Wen H, Wang D. 2021. Assessment of landslide susceptibility mapping based on Bayesian hyperparameter optimization: A comparison between logistic regression and random forest. *Engineering Geology*, 281: 59-72. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105972>
- Talebi T, Goudarzi S, Pourghasemi H. 2018. Investigation of the possibility of landslide hazard mapping using the Random Forest algorithm (Case study: Sardarabad Watershed, Lorestan Province), *Journal of Natural Environment Hazards*, 7(16): 45-64. (In Persian).
- Teimouri M, Asadi Nalivan O. 2020. Susceptibility zoning and prioritization of the factors affecting landslide using MaxEnt, geographic information system and remote sensing models (Case study: Lorestan Province), *Hydrogeomorphology*, 6(21): 155-179. (In Persian). 20.1001.1.23833254.1398.6.21.8.3

- Tyagi A, Tiwari R.K, and James N. 2021. GIS-based landslide hazard zonation and risk studies using MCDM. In Local Site Effects and Ground Failures, Springer, Singapore. pp. 251-266.
- Yao J, Qin S, Qiao S, Liu X, Zhang, Chen, J. 2022. Application of a two-step sampling strategy based on deep neural network for landslide susceptibility mapping. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 81(4): 1-20.
- Yarahmadi J, Raushit Sh, Sharifikia M, Raushit. 2014. Identification and monitoring of domain instability by differential interferometric method, Case study: Garimi Chai Mi-
ane Watershed, Quantitative Geomorphology Researches, 3(4): 59- 44. (In Persian). 20.1001.1.22519424.1394.3.4.4.0
- Zhao L, Wu X, Niu R, Wang Y Zhang K. 2020. Using the rotation and random forest models of ensemble learning to predict landslide susceptibility. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 11(1): 1542-1564. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1803421>
- Zhou X, Wen H, Zhang Y, Xu J, Zhang W. 2021. Landslide susceptibility mapping using hybrid random forest with GeoDetector and RFE for factor optimization. Geoscience Frontiers, 12(5): 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101211>



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Evaluating the Effectiveness of Machine Learning Models in Preparing a Landslide Risk Map in the Bar Neyshabur Watershed

Ali Dastranj^{*1}, Ebrahim Karimi Sangchini², Hamzeh Noor³

1 and 3- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

2- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Landslide susceptibility zoning using different methods is one of the solutions for landslide management. The aim of the upcoming study is to model the sensitivity of landslide occurrence using three methods of machine learning algorithm, random forest (RF), maximum entropy (ME) and support vector machine (SVM) algorithm. Then, the efficiency of these models is compared in zoning the sensitivity of landslides in the Bar Neyshabur watershed, Razavi Khorasan province.

Materials and Methods

In this research, the landslide distribution map layer of Bar watershed with 73 recorded points was prepared. These points were randomly divided into two groups for model training (70%) and model validation (30%). Also, 16 factors affecting the occurrence of landslides in the studied area were identified according to the review of extensive sources and digital layers were prepared in the geographic information system. Then, the landslide hazard map was prepared based on the three mentioned methods. Next, in order to evaluate the accuracy of modeling and compare the efficiency of the models, the total quality index (Qs) was used.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: Dastranj66@gmail.com

Citation: Dastranj, A., Karimi Sangchini, E., Noor, H. 2024. Evaluating the Effectiveness of Machine Learning Models in Preparing a Landslide Risk Map in the Bar Neyshabur Watershed. Watershed Management Research. 37(2): 133-147.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.361650.1531

Received: 01 March 2023, **Received in revised form:** 19 June 2023, **Accepted:** 21 september 2023

Published online: 21 June 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.2, Ser. No: 143, Summer 2024, pp. 133-147.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)



Results and Discussion:

The results showed that the random forest algorithm method (RF) with $Q_s = 0.018$ was chosen as the best model for the basin. Support vector models (SVM) with $Q_s = 0.014$ and maximum entropy (ME) model with $Q_s = 0.013$ are in the next priority, respectively.

Conclusion and Suggestions

Based on the results of this research, the random forest model provided better results. The comparison of the results obtained from this model with the existing real conditions was done with field visits. In addition, the results of the landslide susceptibility zoning map using the random forest model and the actual conditions in the studied area were very compatible. Finally, it was determined that assuming the concentration of management operations in high-sensitivity classes and choosing the random forest model as the superior model, 75.5% of the region's area has been left out of the management process. Therefore, less time and financial resources are needed to manage this sector.

Keywords: Bar watershed, Random Forest, Razavi Khorasan Province, Landslide

نام‌های داورانی که در این شماره با نشریه همکاری کردند:
(به ترتیب حروف الفبا)

بیات، رضا
پاک‌پرور، مجتبی
جهانتاب، اسفندیار
چوبین، بهرام
حزباوی، زینب
حق‌آبی، امیرحمزه
خلیلی، داور
دسترنج، علی
دستورانی، محمد تقی
رحمتی، امید
رستمی‌خلج، محمد
رستمی‌زاد، قباد
زارع، محمد
سلیمان‌پور، سید مسعود
شیدایی‌کرکج، اسماعیل
صوفی، مجید
عرفانی‌فرد، سید یوسف
کاویان، عطاالله
کوثر، سید آهنگ
کیانی‌هرچگانی، محبوبه
مصطفی‌زاده، رئوف
نبی‌بی‌لشکریان، سعید
یوسفی، صالح

راهنمای نگارش مقاله برای نشریه‌ی پژوهش‌های آبخیزداری

توصیه می شود در وارد کردن ترتیب و جایگاه نویسندگان (نویسندگان) دقت زیادی به کار برده شود. در هیچ حالتی به جز موانع قانونی، امکان جابه جایی (حذف یا اضافه شدن نویسندگان، تغییر یا جابه جایی نویسنده ی مسئول، یا تغییر در خود مقاله) پس از ثبت اولیه در تارنمای نشریه نیست، و پس از پذیرفته شدن، مقاله با مشخصه هایی که در تارنما ثبت شده است جاب خواهد شد.

ساختار مقاله‌ها

۱- نام و نام خانوادگی، عنوان (جایگاه) سازمانی، نشانی، شماره‌ی تلفن و رایانامه‌ی نویسنده یا نویسندگان باید در صفحه‌ی جدا به‌همراه عنوان مقاله به فارسی و انگلیسی آورده شود. این صفحه باید در پرونده‌ی مستقل با نام «مشخصه‌های نویسندگان» در نرم‌افزار Word ذخیره و در صفحه‌خانه‌ی نشریه بارگذاری شود.

لطفاً توجه شود که این مشخصه‌ها در تارنمای نشریه نیز به‌درستی ثبت شود، زیرا مبنای چاپ، مشخصه‌های نوشته‌شده در تارنمای نشریه است.

۲- مقاله‌ها باید اجزای اصلی مقاله‌های پژوهشی (به ترتیب عنوان، چکیده فارسی، چکیده انگلیسی، واژه‌های کلیدی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها) کاربردی، و منابع) را داشته باشد.

۳. مقاله‌ها در نرم افزار ورد ۲۰۰۳ (یا تازه‌تر) به شکل تک‌ستونی نوشته شود.

اندازه‌ی صفحه: ۲۱۰ در ۲۹۷ میلی، متر (A۴)

حاشیه: راست و چپ ۱/۵ سانتی متر، حاشیه ی بالا و پایین ۲ سانتی متر

فاصلہ ہی سطر ہا: تک فاصلہ (Single)

قلم ها:

متن فارسی اصل و چکیده‌ی مقاله: ۱۲ B Nazanin
عنوان فارسی مقاله: ۱۵ B Nazanin Bold (وسط چین)
عنوان انگلیسی مقاله: ۱۴ Times New Roman Bold
(وسط چین)
نام‌های نویسندگان در فارسی: ۱۱ B Nazanin Bold
(وسط چین)

Times New Roman: نام‌های نویسندگان در انگلیسی

نشریه‌ی علمی «پژوهش‌های آبخیزداری» استادان و متخصصان رشته‌های آبخیزداری و علوم مرتبط را به چاپ مقاله‌های ارزشمند خود دعوت می‌کند. هدف از انتشار این نشریه، فراهم نمودن جایگاهی برای انتشار یافته‌های پژوهش‌های علمی و فنی، و تبادل اطلاعات و نتیجه‌ی آنان میان استادان، دانشمندان و مهندسان ایرانی و جامعه‌ی علمی و حرفه‌ی ملی و بین‌المللی است.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به این نشریه مجوز علمی داده است.

گستردہ، مقالہ‌ها

۱- مقاله‌های پژوهشی و اصیل به زبان فارسی نتیجه‌ی پژوهش‌های نویسنده یا نویسندگان، که در نشریه‌ی دیگری در داخل و خارج از کشور چاپ نشده باشد (پیشینه تا ۱۵ صفحه‌ی A۴).

۲- گزارش فنی به زبان فارسی، (پیشینه تا ۵ صفحه‌ی A۴).

۳- نقد و بررسی مقاله‌های چاپ شده.

هزینه‌ی چاپ

هزینه‌ی چاپ مقاله در این نشریه چهار میلیون ریال است که بر اساس آیین نامه وزارت علوم تحقیقات و فناوری به شماره ۱۶۰۴۲ مورخ اول اردیبهشت ۱۴۰۰، در دو مرحله (پس از داوری و تأیید داوران مبنی بر قابلیت پذیرش، مبلغ دو میلیون ریال، و در هنگام چاپ مقاله، مبلغ دو میلیون ریال) دریافت می‌شود.

اگر قالب نگارش مقاله به‌درستی رعایت نشده باشد، مقاله بی‌آن‌که بررسی شود به نویسنده برگردانده می‌شود. بنابراین توصیه می‌شود برای سرعت‌دادن به داوری و چاپ شدن مقاله‌تان، حتماً قالب آن‌را به‌دستور کار گفته‌شده تنظیم کنید.

شماره حساب: ۴۰۰۱۰۳۸۲۰۳۰۱۴۱۲۲ با شناسه‌ی واریز:
۳۹۳۰۳۸۲۵۸۱۴۰۱۰۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰

شبا: ۰۳۰۱۰۰۰۰۴۰۰۱۰۳۸۲۰۳۰۱۴۱۲۲ IR به نام: درآمد
 اختصاصی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، نزد
 بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (قابل پرداخت در همه
 بانکها)

تذکرہ:

۱۰ (وسط‌چین)

واژه‌های کلیدی فارسی: ۱۱ B Nazanin

متن چکیده‌ی انگلیسی: ۱۱ Times New Roman

واژه‌های کلیدی انگلیسی: ۱۰ Times New Roman

عنوان بخش‌های مختلف مقاله: ۱۲ B Nazanin Bold

کلمه Abstract و Keywords در چکیده انگلیسی: Times

۱۱ New Roman Bold

عنوان جدول‌ها و شکل‌ها: ۱۱ B Nazanin Bold (وسط‌چین)

واژه‌ها و عددهای درون جدول‌ها و شکل‌ها: ۱۰ B Nazanin

منابع: ۱۰ Times New Roman

و پیشنهادهای کاربردی، سپاس‌گزاری (اختیاری)، و منابع.

چکیده

خلاصه‌یی از هدف و روش اصلی پژوهش و نتایج کلی به‌دست آمده از آن در بیشینه ۲۰۰ واژه به فارسی و انگلیسی. متن چکیده انگلیسی باید کاملاً با چکیده فارسی یکسان باشد.

واژه‌های کلیدی

سه تا شش واژه‌ی کلیدی به زبان فارسی و انگلیسی (به ترتیب حروف الفبای فارسی و انگلیسی) در انتهای چکیده آورده شود.

مقدمه

این بخش برای نشان دادن ارزش و اهمیت پژوهش و سمت‌وسو دادن به ذهن خواننده، به معرفی موضوع پژوهش، بررسی تحلیلی نوشته‌های پژوهشی مرتبط، و مروری بر کارهای انجام شده‌ی پژوهشگران دیگر در آن زمینه همراه با ارجاع‌های لازم، می‌پردازد. در انتهای مقدمه لازم است هدف (هدف‌های) انجام تحقیق، به‌روشنی بازگو شوند.

مواد و روش‌ها

شرح کامل روش پژوهش و شیوه انجام آزمایش‌ها همراه با جدول‌ها و شکل‌ها و توضیح‌های مربوط به آن‌ها در این بخش می‌آیند. مراحل مختلف انجام تحقیق باید پشت‌سرهم و سلسله‌مراتبی آورده شوند.

در صورت نیاز می‌توان در آغاز بخش مواد و روش‌ها در زیرعنوان «منطقه‌ی پژوهش» یا «جایگاه پژوهش» محل جغرافیایی انجام پژوهش را معرفی کرد، و سپس شرح کامل روش‌ها را در زیرعنوان «روش پژوهش» آورد.

نتایج

در این بخش نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های انجام شده در پژوهش، با تأکید بر یافته‌های جدید آورده می‌شوند.

بحث و نتیجه‌گیری

تفسیر و بحث درباره‌ی نتایج به‌دست آمده و نتیجه‌گیری و جمع‌بندی یافته‌ها با تأکید بر مقایسه با پژوهش‌های مشابه، و تحلیل علمی نتایج به‌دست آمده و دادن پیشنهادها کاربردی.

سپاس‌گزاری

نویسنده (نویسندگان) می‌توانند (در صورت تمایل) در این قسمت از سازمان‌ها، دانشگاه‌ها، و یا افرادی که در انجام این پژوهش او (ایشان) را یاری کرده‌اند تشکر و قدردانی نمایند.

۴- شکل‌ها و جدول‌ها باید به‌ترتیبی که در متن به آن‌ها اشاره شده است شماره‌گذاری و جا داده شود. عنوان جدول‌ها در بالای آن‌ها، و عنوان شکل‌ها در زیر آن‌ها وسط‌چین نوشته شود. همه‌ی نوشتار روی شکل‌ها و جدول‌ها باید به فارسی باشد.

۵- همه‌ی رابطه‌های ریاضی باید در سامانه‌ی رابطه‌نویسی Word: Microsoft Equation نگاشته و به‌ترتیب شماره گذاری شود. رابطه‌های ریاضی از سوی چپ سطر نوشته و در سوی راست سطر شماره‌گذاری شود.

نمونه:

$$e=MC^2 \quad ۱$$

۶- خط چهارچوب اطراف نمودارها برداشته شود.

۷- در جدول‌ها تنها خط‌های افقی بالا و پایین ردیف اول و خط افقی پایین ردیف آخر آورده شود.

نمونه:

ردیف	سنجه‌ی الف	سنجه‌ی ب	سنجه‌ی پ
یکم	۱	۱۱	۲۱
دوم	۲	۱۲	۲۲
سوم	۳	۱۳	۲۳

۸- واژگان کلیدی فارسی و انگلیسی به ترتیب حروف الفبای فارسی و انگلیسی باشد.

۹- زیرنویس به‌کار نبرید. اگر لازم است شکل کامل واژه‌ی انگلیسی را در زیرنویس بیاورید، زیرنویس‌ها باید از آغاز تا پایان متن پیوسته (continuous) شماره زده باشد. نام نویسندگان خارجی را در زیرنویس نیاورید.

بخش‌های مقاله

به‌ترتیب: عنوان فارسی، چکیده‌ی فارسی، واژه‌های کلیدی فارسی، عنوان انگلیسی، چکیده انگلیسی، واژه‌های کلیدی انگلیسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری

منابع

همه منابع مورد استفاده باید در متن مقاله با نام نویسنده(گان)، به زبان فارسی، و با ذکر تاریخ منبع مورد استفاده، در داخل علامت دو کمان () نوشته شوند. مانند: کوثر (۲۰۱۵)، و یا تامسون و همکاران (۲۰۱۷). اگر منبع استفاده شده در پایان جمله آورده می‌شود، نام نویسنده و تاریخ باید درون دو کمان () نوشته شود. مانند: (احمدی، ۲۰۱۴)، و (برادفورد و همکاران، ۲۰۱۵).
فهرست منابع در پایان مقاله به ترتیب حروف الفبا آورده شود، و هیچ منبعی در زیرنویس آورده نشود.

تذکرات مهم

همه‌ی منابع مورد استفاده در متن مقاله (فارسی و انگلیسی) باید با الفبای انگلیسی و با دستورکار نشریه آورده شود:
۱. پس از نام خانوادگی تنها حرف اول نام کوچک نویسنده‌ها می‌آید و این حرف‌ها با نقطه یا فاصله از هم جدا نمی‌شود. حرف اول تنها در اولین واژه‌ی عنوان مقاله با حروف بزرگ نوشته می‌شود.
۲. پس از نام نویسنده سال انتشار می‌آید. سپس یک نقطه، عنوان مقاله، نام مجله، یک نقطه، شماره‌ی مجلد نشریه، شماره‌ی انتشار در داخل دو کمان ()، یک نشانه‌ی دوقطه (:)، و صفحه‌های مقاله آورده می‌شود. برای نوشتن شماره‌ی صفحه، همه‌ی شماره‌ها را بیاورید: (۱۰۴۵-۱۰۳۷، نه ۴۵-۱۰۳۷). برای فاصله‌ی میان دو شماره‌ی صفحه از فاصله‌ی متوسط (خطِ ان) - به جای خط تیره - استفاده کنید (نادرست: ۲۳۵-۲۵۰، درست: ۲۵۰-۲۳۵).

نمونه‌هایی از منابع ارجاع شده

مقاله انگلیسی با یک نویسنده

Rahimikhoob A. 2008. Comparative study of Hargreaves's and artificial neural network's methodologies in estimating reference evapotranspiration in a semiarid environment. *Irrigation Science*, 26(3): 253-259.

مقاله انگلیسی با دو نویسنده و بیشتر

Berengena J, Gavilan P. 2005. Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. *Irrigation and Drainage Engineering*, 131(2):147-163.

مقاله فارسی دارای چکیده‌ی انگلیسی

Naderi N, MohseniSaravi M, Malekian A, Ghasemian D. 2011. Analytical Hierarchy Process technique for deciding watersheds.

ارجاع در متن:

روش این نشریه بر اساس توصیه‌های شورای ویراستاران علمی (سی‌اس‌ای)،

(<http://www.councilscienceeditors.org>)

در ویراست هفتم کتاب مرجع آنان به نام روش و قالب علمی: دستورکار سی‌اس‌ای برای نویسندگان، ویراستاران و ناشران (۲۰۰۶) و با انتخاب روش نام-سال سی‌اس‌ای است.

۱. ارجاع به منبع را با آوردن نام(های) نویسنده(گان) و پس از آن سال انتشار نوشته انجام دهید. در هر ارجاع برای جدا کردن نام و تاریخ از دو کمان () استفاده کنید. پس از نام یک فاصله‌ی خالی بگذارید، اما ویرگول نگذارید:
تازه‌ترین پژوهش بر شدت بارندگی در این منطقه (سیپیون، ۲۰۱۵) نشان می‌دهد که ...

۲. اگر نام نویسنده بخشی از جمله است، تنها تاریخ را در دو کمان () بگذارید:

هاگیهارا و اینو (۲۰۱۴) دریافتند که ...

۳. کار انجام شده بیش از دو نویسنده: نام نویسنده‌ی اصلی، سپس عبارت "و همکاران" و بعد تاریخ را بنویسید.
(هاگیهارا و همکاران، ۲۰۱۳)

۴. بیش از دو کار انجام شده یک نویسنده: نام نویسنده و سپس تاریخ‌ها را به ترتیب زمانی بیاورید. برای جدا کردن تاریخ‌ها یک ویرگول و یک فاصله بگذارید:

وایل (۱۹۷۸، ۱۹۸۰، ۱۹۸۳) مدل‌های مختلف برآورد سیلاب را شرح داده است.

۵. بیش از دو کار انجام شده یک نویسنده در یک سال: برای تمایز میان منابع چاپ شده از یک نویسنده در یک سال از حروف الفبا (الف، ب، و مانند آن‌ها) استفاده کنید. این ترتیب را هنگام فهرست کردن آن‌ها در بخش منابع نیز حفظ کنید.
راش (۲۰۰۰الف، ۲۰۰۰ب) پذیرفت که ...

۶. کارهایی که یک سازمان به جای نویسنده منتشر کرده است: نام سازمان یا گروه را پیش از تاریخ چاپ بنویسید.
اندازه‌های دقیق مصرف آب در ایالت‌های مختلف به تازگی منتشر شده است (خدمات ملی آمار کشاورزی، ۲۰۰۰).

USDA–National Agricultural Statistics Service. 2000. Published estimates data base (PEDB) [Online]. Available at <http://www.nass.usda.gov/81/ipedb/> (accessed 15 May 2001; verified 24 Aug. 2001. USDA–NASS, Washington, DC. USA.

پایان نامه

Ghorbani M. 2012. The role of social networks in operation mechanisms of rangeland (Case Study: Taleghan area). Ph.D. Dissertation. Faculty of Natural Resources. Tehran University, 430 pages. (In Persian)

Journal of Environment and Development, 4(2): 41–50. (In Persian).

کتاب انگلیسی

Subramanya K. 1994. Engineering Hydrology. Tata McGraw–Hill Education.

فصلی از کتاب ویراسته

Castejon M, Romero–Munoz F, Garcia L. 1987. Phenology and control of Orobanche cernua in sunflower with glyphosate. In: Weber HC, Forstreuter W, Editors. Parasitic flowering plants. Marburg, F.R.G., pp. 121–126.

صفحه اینترنتی