

- اولویت‌بندی سناریوهای توسعه‌ی کم اثر به منظور مدیریت کیفیت رواناب شهری با استفاده از روش‌های
تصمیم‌گیری چندمعیاره در شهر گرگان
مہتاب فروتن، فاطمه شکرین، کریم سلیمانی، امیراحمد دهقانی ۲
- بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی آب‌کندهای استان خوزستان
فریدون سلیمانی، مهین کله‌هوئی، داور لطف‌اله‌زاده ۲۳
- تأثیر رسانه‌ها و عامل‌های مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران طرح‌های آبخیزداری در شهرستان‌های تکاب و شاهین‌دژ
استان آذربایجان غربی
علی‌اشرف حامدی‌اوغولبیک، محمدرضا قلعه‌نویی، فاطمه عزیزآبادی‌فراهانی ۴۲
- معرفی گونه‌های مرتعی مناسب در رویشگاه‌های مختلف در زمین‌های مارنی با شکل‌های مختلف فرسایش در
شهرستان سمیرم
فرزاد پارسادوست، حمیدرضا پیروان ۵۵
- تغییرات زمانی و مکانی فرساینده‌ی باران با اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در بخش ایرانی آبخیز دریای خزر
خدیدجه حاجی، عبدالواحد خالدی‌درویشان، رئوف مصطفی‌زاده ۷۰
- ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی آبخیز نیر، استان اردبیل
زینب حزباوی، ائلناز قابل‌نظام، الهام عزیزی، زهرا شریفی، سولماز فتح‌العلمی، محمدرضا نیکو ۹۰
- ارزیابی مدل‌های تعیین پاسخ آب‌شناختی در آبخیز آزمایشگاهی
محمد محمدی‌هاشمی، بهرام تقفیان، محمود ذاکری‌نیری، محسن نجارچی ۱۱۱
- مدل‌سازی ترکیبی فرسایش آبی و بادی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین
مهدی جلالی، حمید غلامی، مرضیه رضایی، ابراهیم امیدوار ۱۲۸



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

اولویت‌بندی سناریوهای توسعه‌ی کم اثر به‌منظور مدیریت کیفیت رواناب شهری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در شهر گرگان

مهتاب فروتن^۱، فاطمه شکریان^{۲*}، کریم سلیمانی^۳، امیراحمد دهقانی^۴

- ۱- دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۳- استاد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۴- دانشیار، دانشکده‌ی مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

در سال‌های اخیر، با رشد سریع جمعیت، توسعه‌ی روزافزون شهرنشینی و صنعتی شدن جوامع، آب‌شناسی (هیدرولوژی) آبخیزهای شهری، دچار تغییرات زیادی شده است. این تغییرات در طی زمان موجب بروز سیلاب و آبرفتگی معابر در نواحی شهری شده است و از سویی دیگر رخداد سیلاب در مناطق شهری به‌دلیل تراکم جمعیت و امکانات، می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیر و کاهش کیفیت رواناب را به‌همراه داشته باشد. برای مدیریت رواناب‌ها و جلوگیری از جاری شدن سیل و آلودگی آب‌ها رویکردهای نوینی پیشنهاد شده است، که توسعه‌ی کم اثر LID یکی از این رویکردها است. هدف استفاده از این روش، شبیه‌سازی شرایط آب‌شناختی (هیدرولوژیک) منطقه‌ی شهری، قبل از توسعه است. به این منظور در این پژوهش ارزیابی ویژگی‌های کیفیت (BOD, TP, TN) با استفاده از بهترین شیوه‌های مدیریت توسعه‌ی کم اثر (LID/BMPs) در شهر گرگان بررسی شد.

مواد و روش‌ها

ابتدا اطلاعات مربوط به منحنی‌های شدت-مدت-بارندگی، نقشه‌های کاربری شهری و زمین‌ها و نقشه‌های توسعه‌ی شهری آبخیز گرگان جمع‌آوری شد. برای ایجاد مدل آب‌شناختی در شهر گرگان و بررسی تأثیر LID بر رواناب از مدل EPA-SWMM استفاده شد. با توجه به توسعه‌ی شهری منطقه، شش گزینه‌ی پشت بام سبز، سامانه‌ی ماند زیست‌شناختی (بیولوژیکی)، جوی باغچه، شبکه‌ی باران، ترانشه‌ی نفوذ و روکش‌های نفوذپذیر، با رگبار ۶ ساعته، با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله برای تحلیل کیفی با استفاده از ویژگی‌های نترات، فسفات و BOD در نظر گرفته شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shokrian.f@gmail.com

استناد: فروتن، م، شکریان، ف، سلیمانی، ک، دهقانی، ا، ۱۴۰۲. اولویت‌بندی سناریوهای توسعه‌ی کم اثر به‌منظور مدیریت کیفیت رواناب شهری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در شهر گرگان. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۲۲-۲۰.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.359714.1488

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۰، پاییز ۱۴۰۲، صفحه‌های ۲ تا ۲۲



© نویسندگان

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

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از واسنجی و اعتبارسنجی مدل براساس سنجه‌ی ناش-ساتکلیف بیشتر از ۵/۰ نشان داد که برای شبیه‌سازی کیفیت رواناب شهری، مدل SWMM دقت لازم را دارد. نتایج نشان داد که به‌ترتیب سامانه‌ی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش‌های نفوذپذیر با کاهش آلاینده‌های رواناب سطحی در مقایسه با وضعیت موجود بهترین عملکرد را در بهبود کیفیت رواناب سطحی در منطقه داشتند. به کارگیری روش‌های توسعه‌ی کم اثر در منطقه به عامل‌های مختلفی مانند عامل‌های محیطی، اقتصادی و کارایی آن‌ها بستگی دارد. نتایج گویای آن است که همه‌ی سناریوهای LID انتخاب‌شده در پژوهش در بهبود کیفیت رواناب سطحی مؤثر بوده‌اند، اما هر یک از سناریوها عملکرد متفاوتی را نشان دادند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با وجود اینکه تمام سناریوهای LID بررسی‌شده در این پژوهش در مهار کردن رواناب سطحی و بهبود کیفیت آن مؤثر بوده‌اند، از آنجایی که با اجرای سناریوهای پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش‌های نفوذپذیر اندازه‌ی فسفات، نترات و BOD در مقایسه با وضعیت موجود و سایر سناریوها کاهش بیشتری داشت، در نتیجه تأثیر اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش نفوذپذیر بیشتر بوده است، و پیشنهاد می‌شود به‌منظور بهبود کمیت و کیفیت رواناب سطحی، این اقدام‌ها در اولویت‌های اجرایی باشند.

واژگان کلیدی: آب‌های سطحی، فسفات، گرگان، مدل EPA-SWMM، LID

مقدمه

مدیریتی تأکید دارد. مزایای این اقدام‌ها شامل کاهش و به تأخیر انداختن حجم رواناب و آب‌دهی اوج سیلاب‌ها، افزایش تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی، کاهش آلودگی سیلاب‌ها، افزایش تجزیه‌ی کربن، کاهش انرژی‌های گرم‌آه، بهبود کیفیت هوا، افزایش زیستگاه آبزیان، حیات وحش و تفرجگاه، بهبود سلامت انسان و افزایش ارزش زمین‌ها است (هوا و همکاران ۲۰۱۳، ژو و همکاران ۲۰۲۲، لیو و همکاران ۲۰۲۱، دارنسامکول و موزینگو ۲۰۲۱).

عینلو و همکاران (۲۰۱۶) اثر توسعه‌ی شهری بر تغییرات حجم رواناب را با استفاده از مدل بارش-رواناب SWMM در آبخیز شهر زنجان بررسی کردند. نتایج مدل نشان داد توسعه‌ی شهری و تبدیل زمین‌ها به سطوح نفوذناپذیر سبب افزایش حجم رواناب شده است به‌طوری که میانگین حجم رواناب در سال ۲۰۱۱ در مقایسه با سال ۲۰۰۰ و ۱۹۵۵ به‌ترتیب ۶۴/۴۵ و ۶۹۸/۵۸٪ و در سال ۲۰۰۰ در مقایسه با سال ۱۹۵۵، ۹۱/۳۷۶٪ افزایش داشته است. یار احمدی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل EPA-SWMM رگبارهای شش ساعته در دوره‌ی بازگشت‌های طراحی سیلاب ۲، ۵ و ۱۰ سال را برای منطقه‌ی ۶ شهرداری تهران شبیه‌سازی کردند. برای اعتبارسنجی مدل از آمار پنج رخداد بارندگی استفاده شد و سرعت رواناب برآورد شد. شاخص کارایی مدل نیز شامل ناش-ساتکلیف، ریشه‌ی مربع خطا و بایاس بود. نتایج واسنجی مدل مطابقت داده‌های مشاهداتی با شبیه‌سازی‌شده را نشان داد و مشخص شد که مدل برای این منطقه دقت زیاد داشت، به‌طوری که اندازه‌ی ضریب ناش-ساتکلیف

رعایت نکردن آمایش سرزمین در انتخاب کاربری‌ها و اجرای غیراصولی مانند جنگل‌زدایی منجر به افزایش سطح زمین‌های کشاورزی، افزایش توسعه‌ی شهری، آب‌دهی اوج، فراوانی رخداد سیلاب، فرسایش و رسوب شده است و در نتیجه پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی آن منفی است (سیلورا ۲۰۰۲). مدل SWMM شبیه‌سازی پویای بارش-رواناب (تک رخداد و پیوسته) با قابلیت احتساب پدیده‌های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ عمقی و جریان‌های زیرسطحی است. در این مدل برآورد سیلاب با روش موج نظام‌مند (سیستماتیک) و ترکیب اجزاء جریان‌های روزمینی و کنخلیه‌شده انجام می‌شود (ناصرپور و همکاران ۲۰۲۱، ثمین و همکاران ۲۰۲۲). کیفیت رواناب شهری تابعی از عامل‌های مختلف است و امکان احیای آن به نوع و اندازه‌ی این آلاینده‌ها بستگی دارد، که این آلاینده‌ها شامل موادمعلق و موادمغذی و ... است. موادمغذی مثل نترات و فسفات و BOD از جمله آلودگی‌های مشاهده‌شده در رواناب شهری است که با ورود به منابع آب مثل دریاچه‌ها، دریاها، آب‌های جاری و زیرزمینی باعث اختلال در چرخه‌ی غذایی این مکان‌ها می‌شود. این موادمغذی از راه‌های مختلفی مانند کودهای شیمیایی (برای رشد گیاهان استفاده می‌شوند)، فضولات حیوانات خانگی و سامانه‌ی تخلیه‌ی فاضلاب‌های انسانی وارد رواناب شهری می‌شوند (هچومی و همکاران ۲۰۲۱، وو و همکاران ۲۰۲۱، ژنگ و همکاران ۲۰۲۱). آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا در بررسی مشکلات رواناب شهری از مفهوم توسعه با اثرات کم استفاده می‌کند که بر لزوم استفاده از بهترین اقدام‌های

بررسی کردند. نتایج ارزیابی عملکرد BMP‌های انجام شده با شرایطی مقایسه شد که یک نوع BMP در منطقه اجرا شده باشد. نتایج نشان داد که با استفاده از این نوع BMP منفرد، اندازه‌ی TP، TSS و TN به‌ترتیب ۹۷٪، ۶۸٪ و ۷۲٪ کاهش یافت. بهترین روش مؤثر برای بهبود کیفیت آب روش نگهداری زیستی است. امیدی و همکاران (۲۰۲۰) رواناب شهری را با استفاده از مدل SWMM و روش TOPSIS شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی دقت خوبی دارد و در نتیجه تولید رواناب به‌دلیل تراکم زیاد مناطق مسکونی و تجاری، درصد مناطق نفوذناپذیر توسعه یافته و کمبود فضای سبز کافی، افزایش یافته است. مقایسه‌ی مدل SWMM و نتایج روش TOPSIS، در انتخاب آبخیزهای فرعی مهم ۸۰٪ انطباق را نشان داد. بنابراین، استفاده از دستورالعمل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند TOPSIS می‌تواند دقت مدل SWMM را در انتخاب و اولویت‌بندی آبخیزهای فرعی بحرانی افزایش دهد.

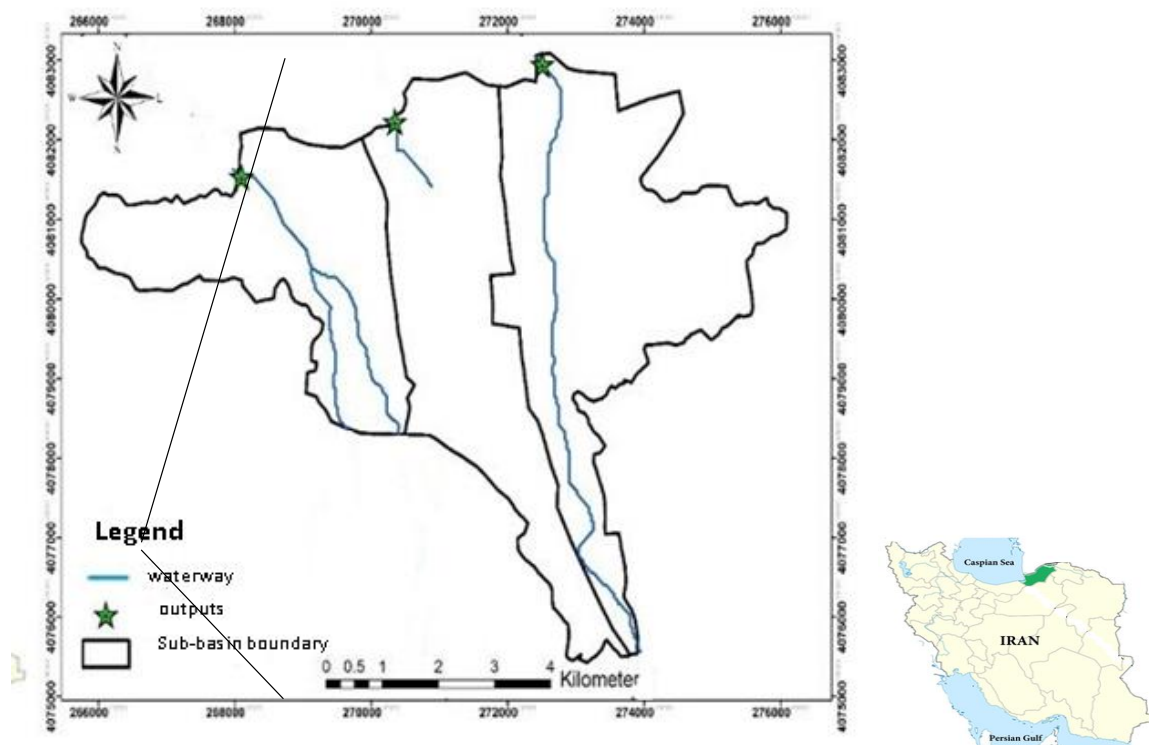
محدوده‌ی شهری گرگان به‌عنوان مرکز جغرافیایی استان گلستان، دارای مراکز توریستی، گردشگری فراوانی است. شوربختانه بروز سیلاب‌های شهری پس از رخداد‌های رگباری با شدت نسبتاً زیاد، باعث اختلال در رفت و آمد شده و بر چشم‌اندازهای شهری تأثیرهای منفی می‌گذارد. از طرف دیگر بی‌نظمی‌هایی که در شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی این منطقه وجود دارد، باعث تشدید این رخدادها شده است. یکی دیگر از مشکلات مناطق شهری آبگرفتگی در معابر عمومی و مختل شدن رفت و آمد و خسارت‌های ناشی از آن و کاهش کیفیت رواناب است که ناشی از نبود برنامه‌ریزی دقیق شهری است. مدیریت آبخیز شهری به‌منظور کاهش جریان سطحی و تأثیر بر تولید رواناب انجام می‌شود. به این منظور در این پژوهش ارزیابی ویژگی‌های کیفیت (BOD، TP، TN) با استفاده از بهترین شیوه‌های مدیریت توسعه‌ی کم اثر (LID/BMPs) در شهر گرگان بررسی شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مطالعه‌شده

در این پژوهش کل شهر گرگان به‌عنوان منطقه‌ی پژوهشی در نظر گرفته‌شد. شهر گرگان بین $22^{\circ}54'14''$ تا $54^{\circ}29'76''$ طول شرقی و $36^{\circ}47'52''$ تا $36^{\circ}51'95''$ عرض شمالی با بلندی ۱۵۵ متر از سطح آب‌های آزاد و مساحت $3632/85$ هکتار با جمعیت حدود ۲۷۰ هزار نفر در بخش جنوبی استان گلستان است. شهر گرگان به‌علت نزدیک بودن به دریای خزر از یک سو و وجود رشته کوه البرز در جنوب و جنوب شرقی آن از سوی دیگر، تحت تأثیر جابه‌جایی‌های آب و هوایی محدوده‌ی دریای خزر است (شکل ۱).

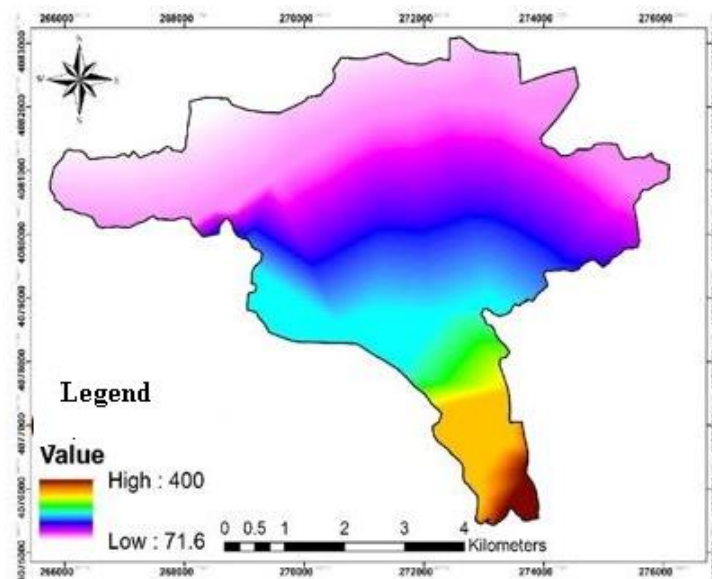
برای بارش‌ها به‌ترتیب ۰/۸۸، ۰/۷۱، ۰/۸۹، ۰/۷۴ و ۰/۷۷ بود. کرمی و همکاران (۲۰۱۶) مدیریت خطرپذیری آبگرفتگی و آلودگی ناشی از سیلاب شهری را با استفاده از راهکارهای بهینه‌ی متداول و نوین انجام دادند. هدف مدل بهینه‌سازی، به حداقل رساندن سه سنجه‌ی هزینه‌ی اقتصادی، خطرپذیری آبگرفتگی سیلاب و آلودگی آب‌های سطحی بود. نتایج گویای آن بود که برای دستیابی به بهترین جواب لازم است از ترکیب هر دو راهکار سنتی و نوین استفاده شود تا هر دو خطرپذیری آبگرفتگی و آلودگی به اندازه‌ی قابل قبولی کاهش یابند. طاهریون و همکاران (۲۰۱۶) کاربرد بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP) در بهبود کمیت و کیفیت رواناب شهری در منطقه‌ی وحیدیه در شمال شهر تهران را بررسی کردند. نتایج نشان داد به‌کارگیری بهترین راهکارهای مدیریتی با در نظر گرفتن دیدگاه‌های اقتصادی تأثیرهای مثبتی در بهبود کمیت و کیفیت رواناب شهری داشت. یانگ و همکاران (۲۰۲۰) مدل‌سازی رواناب ناشی از سطوح مختلف و کاربرد آن در اجرای برنامه‌های مدیریتی را انجام دادند. بررسی سناریوهای مختلف نشان داد که تنظیم سرعت رشد سطوح نفوذناپذیر می‌تواند بر کاهش آب‌دهی اوج رواناب و کاهش بار آلاینده‌ها تأثیر مثبتی داشته باشد. سونگ و همکاران (۲۰۲۰) کاهش بارهای آلاینده منبع غیر نقطه‌ای و جاری شدن سیل در آبخیزها را از روش مدیریت بارش باران-رواناب آبخیز شهری بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که به مدیریت کارآمد خطرهای ناشی از بلاهای طبیعی که ممکن است در آبخیزهای شهری رخ دهد، نیاز است. سعادت پور و همکاران (۲۰۲۰) در دو پژوهش جداگانه با استفاده از نرم افزار SWMM و دستورالعمل MOPSO، کمیت سیلاب شهرک گلستان در منطقه‌ی ۲۲ شهر تهران را بررسی کردند. براساس نتایج، به‌کارگیری LID-BMP‌ها در سطح آبخیز شهری بررسی‌شده، سبب کاهش ۲۰٪ در بار آلودگی در مقایسه با گزینه‌ی بدون به‌کارگیری این روش‌ها شد. ژو و همکاران (۲۰۲۲) در آبخیز شهری کروکدکریک در ایالات متحده، به‌منظور کاهش بار آلودگی و کاهش رواناب، اجرای بهینه BMP‌ها را با استفاده از دستورالعمل بهینه‌ساز AMALGAM بررسی کردند. نتایج نشان داد که با انتخاب BMP مناسب می‌توان اندازه‌ی بار آلاینده‌ها و حجم رواناب را با صرف هزینه‌های کم کاهش داد. جیا و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل SWMM بهترین روش‌های مدیریتی در مهارکردن رواناب شهری در منطقه‌ی تیانجین چین را بررسی کردند. نتایج بررسی نشان داد که با استفاده از LID-BMP اندازه‌ی حجم رواناب ۷۵٪، آب‌دهی اوج جریان ۲۲٪-۴۶٪ و اندازه‌ی آلودگی جریان ۳۲٪ کاهش یافت. تقی‌زاده و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل SWMM، دستورالعمل MOPSO و روش توسعه‌ی کم اثر کیفیت رواناب شهری در شمال غرب تهران را



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مطالعه‌شده.
Fig 1- Geographical location of the study area.

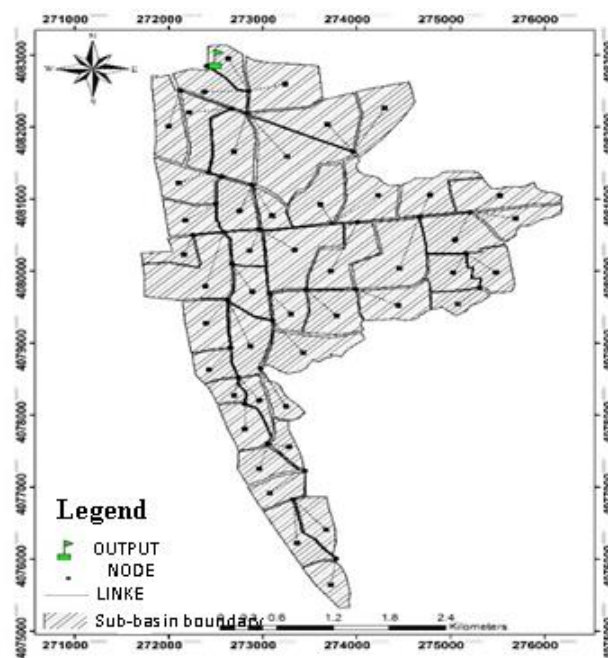
است. در این مدل هر آبخیز به آبخیز کوچک‌تر تقسیم شد و سطح هر زیرآبخیز به‌عنوان آبگیر غیرخطی عمل می‌نماید و جریان ورودی از بارش و زیرآبخیزهای بالادست نشأت می‌گیرد. به‌منظور اجرای مدل SWMM ابتدا منطقه‌ی مطالعه‌شده با توجه به نقشه‌ی شبکه‌ی زهکشی و نقشه‌ی کاربری زمین‌ها به تعدادی زیرآبخیز تفکیک شده است و سپس با استفاده از نقشه‌های پستی‌بلندی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مشخصات زیرآبخیزها که شامل مساحت، شیب، عرض، ذخیره‌ی چالابی برای سطوح نفوذپذیر و سطوح نفوذناپذیر، ضریب مانینگ برای سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر وارد مدل می‌شود.

برای ورود اطلاعات آب‌شناختی منطقه و دقت در برآورد مشخصه‌های مدل، زیرآبخیزهای آب‌شناختی و شهری گرگان معین و مشخصه‌های هر زیرآبخیز محاسبه شد. زیرآبخیزها با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) در محیط GIS مشخص شدند (شکل ۲). با توجه به اینکه زیرآبخیزهای شهری خط الرأس مشخصی ندارند، برای تعیین مرز این زیرآبخیزها از اصل کلی خط تقسیم آب با کمک نقشه‌های ارتفاع رقومی، نقشه‌های کاربری زمین‌ها و بازدیدهای میدانی استفاده شد. سرانجام منطقه‌ی مطالعه‌شده به سه زیرآبخیز بخش شرقی، مرکزی و غربی تقسیم شد (شکل ۳، ۴، ۵). در این پژوهش از مدل SWMM استفاده‌شده



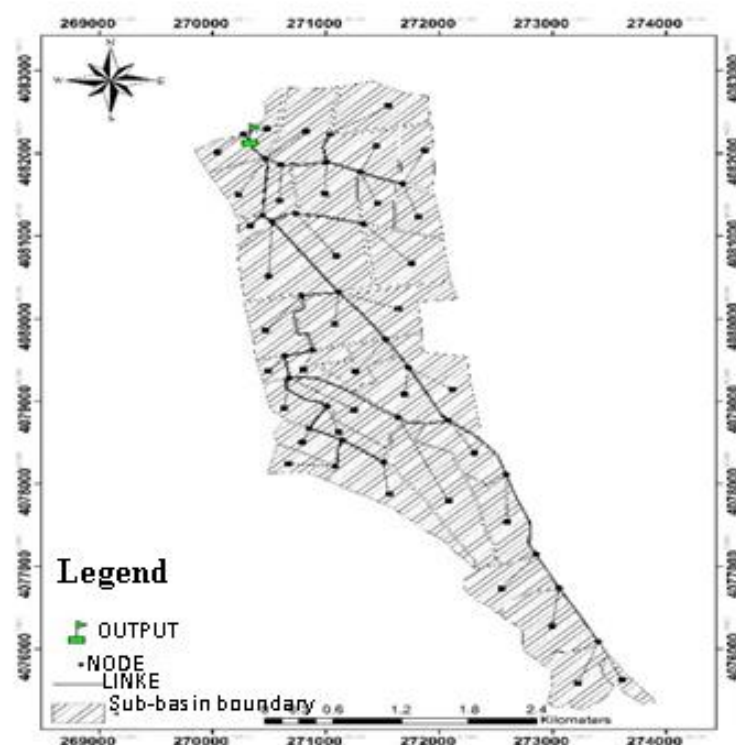
شکل ۲- نقشه‌ی طبقه‌های بلندی منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Fig 2- Altitude map of the studied area.



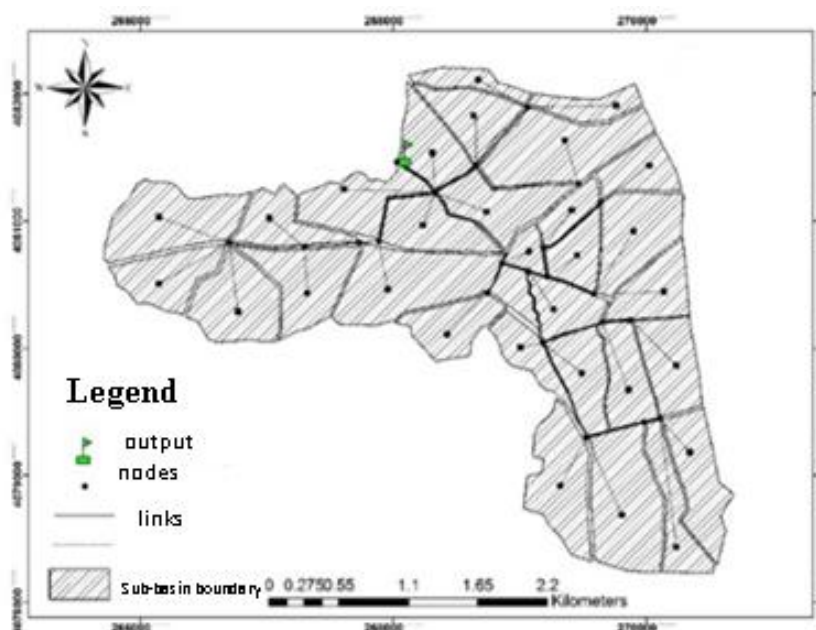
شکل ۳- نمای شماتیک از جانمایی زیرآبخیزهای منطقه‌ی شرقی در محیط مدل.

Fig 3- Schematic view of the placement of sub-catchments in the eastern sub- catchment in the model environment.



شکل ۴- نمای شماتیک از جانمایی زیرآبخیزهای منطقه‌ی مرکزی در محیط مدل.

Fig 4- Schematic representation of the location of the sub-basins of the central part of the basin in the model environment.



شکل ۵- نمای شماتیک از جانمایی زیرآبخیزهای منطقه‌ی غربی در محیط مدل.

Fig 5- Schematic representation of the location of the sub-basins of the western part of the basin in the model environment.

مدل SWMM

نرم‌افزار SWMM برای شبیه‌سازی و مدیریت رواناب و بارش در آب‌خیزها است. این مدل برای شبیه‌سازی پویای بارش - رواناب با قابلیت احتساب پدیده‌های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ عمقی و جریان‌های زیر سطحی است. آمار و اطلاعات اولیه‌ی لازم برای اجرای مدل عبارت است از: اطلاعات هواشناسی، آب‌سنجی و آب‌شناختی شامل اطلاعات بارش، آب‌نگار سیلاب، اطلاعات زمانی رویدادها است. همچنین اطلاعات مربوط به گی‌تاشناسی (فیزیوگرافی) و ریخت‌شناسی (مورفولوژی) زیرآب‌خیزها و نواحی شهری، شامل زمان تمرکز، زمان تأخیر، شماره‌ی منحنی، درصد نواحی نفوذپذیر و نفوذناپذیر، مساحت زیرآب‌خیز، مساحت هر یک از انواع کاربری زمین‌ها در منطقه‌ی شهری است. این اطلاعات از بانک‌های اطلاعات شهرداری، آب منطقه‌ای شهر،

سازمان هواشناسی، استفاده از GIS، انجام بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری تهیه شد.

اطلاعات مربوط به لینک‌ها و کانال‌های شبکه‌ی زهکشی با توجه به نقشه‌ی کاربری زمین‌ها و بازدید میدانی از منطقه، مشخصات کانال‌ها یادداشت‌برداری شد. این مشخصات شامل موقعیت کانال، گره بالادست و پایین‌دست کانال، طول کانال، گودی کانال، عرض کانال و شکل کانال بود. گره‌ها به‌عنوان بخش مرتبط‌کننده لینک‌ها به یکدیگرند و به‌شکل فیزیکی بیان‌گر نقطه‌ی الحاق مجراهای سطحی در طبیعت، منهول در شبکه‌ی فاضلاب و یا اتصالات لوله‌ها می‌باشند. اطلاعات مربوط به این گره‌ها با توجه به بازدید میدانی مشخص شد. تعداد گره‌ها و لینک‌های موجود در زیرآب‌خیزها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات زیرآب‌خیزها در مدل SWMM.

Table 1- Specifications of the sub-catchment in the SWMM model.

	Number of links	Number of nodes	The number of sub-areas
The eastern sub- areas	32	28	46
The central sub- areas	28	28	36
The western sub- areas	21	24	31

نمونه‌برداری و آزمایش‌ها

موقعیت نقطه‌های نمونه‌برداری

با توجه به اهداف پژوهش در مقایسه با مدل‌سازی کمی و کیفی رواناب سطحی شهر گرگان پس از رخداد‌های بارش، نمونه‌برداری از رواناب باید در خروجی آب‌خیز شهری انجام می‌شد. بنابراین پس از بررسی نقشه‌های تهیه‌شده، محدوده‌ی کلی تعیین، و با

بازدیدهای میدانی بهترین نقطه‌ها از لحاظ داشتن مقطع مناسب و سهولت دسترسی انتخاب شد. نمونه‌برداری از رواناب شهری به‌دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن رگبارها و همچنین استفاده نکردن از دستگاه‌های ثابت، کاری سخت و پرهزینه است. به این منظور در این پژوهش برای مدل‌سازی کمی و کیفی رواناب شهر گرگان، از شش رخداد بارش نمونه‌برداری شد (جدول ۲).

جدول ۲- زمان‌های نمونه‌برداری از رواناب سطحی شهر گرگان.

Table 2- Sampling times of surface runoff in Gorgan city.

Row	Sampling times
1	1396.10.13
2	1396.10.26
3	1396.11.25
4	1396.12.27
5	1397.01.27
6	1397.02.04

داده‌های کیفی

در این پژوهش سه ویژگی فسفات، نیترات و BOD رواناب سطحی اندازه‌گیری شد. برای نمونه‌برداری باید استانداردهای ذیل رعایت می‌شد:

- جنس محفظه‌ی نمونه‌برداری باید شیشه یا پلاستیک باشد.
- حجم نمونه‌ی لازم برای آزمایش نیترات و فسفات ۱۰۰ میلی‌لیتر و برای آزمایش ۱۰۰۰ میلی‌لیتر BOD است (عسگری‌پور و همکاران ۲۰۱۳).

- نمونه‌برداری به روشی انجام شد که در قسمت بالای بطری هوایی وجود نداشته باشد. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شد.

شبیه‌سازی اثر اجرای سناریوهای توسعه‌ی کم اثر (LID) بر وضعیت کیفیت رواناب شهری

در این پژوهش بعد از رسم کامل شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی و تحلیل حساسیت، ۷ سناریو با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و

ویژگی‌های آب‌سنجی و آب‌شناختی رواناب شهری بدون وجود LID ها و با استفاده از نرم افزار SWMM انجام شد. شایان ذکر است این شش LID به‌شکل پیش فرض در مدل SWMM تعریف شده است، که کاربر ویژگی‌های این شش سناریو LID را برای منطقه‌ی پژوهشی خود تعریف می‌کند. مشخصات سناریوهای استفاده‌شده در منطقه‌ی مطالعه‌شده در جدول ۳ آورده شده است.

۱۰ ساله برای تحلیل در نظر گرفته شد. در این پژوهش با اعمال محدودیت‌هایی از قبیل امکان جانمایی ابزارها، محدودیت زمین، مالکیت زمین‌ها و محدودیت اجرا، درصدی از مساحت هر زیرآبخیز به ابزارهای توسعه‌ی کم اثر اختصاص داده شد. برای مقایسه‌ی بهتر LID ها درصدی از پوشش زیرآبخیزها برای راهکارهای ترانشه‌ی نفوذ، جوی باغچه، ماند بیولوژیک، پیاده‌رو نفوذپذیر، بشکه‌ی باران و بام سبز در نظر گرفته شد.

جدول ۳- مشخصات سناریوهای استفاده‌شده در منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Table 3- Specifications of scenarios used in the study area.

Scenario number	Explanation
1	Simulation without using LID
2	Simulation considering the biological retention system
3	Simulation considering the green roof
4	Simulation considering the penetration trench
5	Simulation considering permeable coatings
6	Simulation considering the rain barrel
7	Simulation considering the atmosphere of the garden

ترتیب، می‌توان وزن یا اهمیت نسبی سنجها و مرتبط‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی هر سنج را تعیین کرد. برای انجام مقایسه‌ی زوجی، از مقیاس‌های عددی ۱ تا ۹ که هر کدام نشان‌دهنده‌ی یک درجه اولویت شاخص‌ها در مقایسه با هم هستند، استفاده شد.

در این پژوهش به‌منظور وزن‌دهی سناریوهای شناسایی‌شده‌ی توسعه‌ی کم اثر (LID) جامعه‌ی آماری را کارشناسان، متخصصان و خبرگان منطقه‌ی مطالعه‌شده تشکیل دادند. در این پژوهش با استفاده از روش AHP به‌منظور وزن‌دهی شاخص‌های ارزیابی، از نظر ۲۵ نفر از خبرگان و کارشناسان استفاده شد. در ادامه به‌منظور اولویت‌بندی سناریوهای توسعه‌ی کم اثر (LID) از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW و TOPSIS استفاده شد. روش SAW یکی از قدیمی‌ترین روش‌های به‌کارگیری‌شده در MADM است.

در این پژوهش غلظت املاح در رواناب شهری در سه منطقه‌ی خروجی در طی شش رخداد بارش اندازه‌گیری شد. داده‌های به‌دست آمده در دو دسته میانگین‌های غلظت رخدادها و گروه غلظت‌های لحظه‌ای محاسبه و مرتب شد. پس از برازش داده‌ها، توابع توزیعی که براساس آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و اندرسون-دارلینگ در سطح معنی‌داری ۹۵٪ تأیید شدند، رتبه‌بندی و تابع برتر در هر نقطه خروجی مشخص شد. برای انتخاب تابع برتر مشترک در هر گروه داده، مجموع رتبه‌های توابع تأییدشده در هر سه نقطه خروجی محاسبه و مناسب‌ترین تابع توزیع تعیین شد. سرانجام با انتخاب توابع برتر، اندازه‌ی مشخصه‌های بهینه هر تابع براساس یکی از روش‌های گشتاورها، گشتاورهای خطی، بیشینه‌ی درست‌نمایی و برآورد کمینه‌ی مربعات محاسبه شد.

موازنه‌ی اثرات و اولویت‌بندی سناریوهای توسعه‌ی کم اثر (LID) با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)

اولویت‌بندی سناریوهای توسعه‌ی کم اثر (LID) با استفاده از روش‌های علمی انجام شد. برای این منظور ابتدا با استفاده از روش فرآیند سلسله‌مراتبی AHP درجه‌ی اهمیت هر یک از سناریوهای توسعه‌ی کم اثر (LID) در رابطه با مدیریت رواناب شهری تعیین شد. سپس به‌منظور وزن‌دهی سناریوهای شناسایی‌شده‌ی توسعه‌ی کم اثر (LID)، طراحی و توزیع پرسش‌نامه مقایسه‌های زوجی با استفاده از روش فرآیند سلسله‌مراتبی (AHP) انجام شد. برای این منظور، با استفاده از پرسش‌نامه از متخصصان درخواست شد که سنجها و شاخص‌های مربوطه را به‌شکل زوجی ارزیابی کنند. به این

نتایج و بحث

واسنجی مدل SWMM

در این پژوهش برای واسنجی مدل SWMM از شش ویژگی شامل عرض معادل، درصد نفوذناپذیری، ضریب زبری مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مناطق نفوذپذیر، ذخیره‌ی چالابی مناطق نفوذناپذیر و ذخیره‌ی چالابی مناطق نفوذپذیر استفاده شد. این ویژگی‌ها با استفاده از ابزارها و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) تعیین شدند. همچنین در این پژوهش برای ارزیابی کارایی مدل در مرحله‌ی واسنجی از سه شاخص استفاده شد، که اندازه‌ی آن‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی آبدهی در رخدادهای بررسی‌شده انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد و اندازه‌ی NS برای

افزایش می‌یابد. برای کاهش این خطا نیاز به طراحی دقیق‌تر شبکه است. استفاده از مدل‌های رایانه‌ای کمک شایانی به طراحی دقیق و به‌دست آوردن طرح اقتصادی می‌کند. با توجه به مشکل کم آبی بهتر است که از BMP هایی که قابلیت تغذیه سفره آب زیرزمینی را دارند، استفاده شود. این فرایند طبیعی در پایداری طولانی مدت منابع آب زیرزمینی تأثیرگذار است، چرا که سرعت برداشت از منابع آب زیرزمینی نباید از سرعت تغذیه آن تجاوز کند.

این رخدادها بیشتر از ۵٪ است. سامانه‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی ناشی از بارندگی از اجزاء مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری می‌باشند و هر گونه سهل‌انگاری در طراحی صحیح آن‌ها می‌تواند برای جامعه‌های بشری مشکل آفرین باشد. صرف نظر از تأثیرات اقتصادی و اجتماعی، مهندسین شهری همواره نیاز دارند در شرایط آب‌وهوایی مختلف از نحوه پاسخ سامانه‌ی زهکشی شهری اطلاع داشته باشند. در طراحی شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی با افزایش و وسیع‌تر شدن سطح شبکه اندازه‌ی خطاهای طراحی

جدول ۴- اندازه‌های شاخص‌های کارایی مدل در مرحله‌ی واسنجی مدل SWMM.

Table 4- Values of model performance indices in calibration phase of SWMM model.

Output number	The event	The level	NSE	R ²	RMSE
Output1	1396.10.13	calibration	0.75	0.83	0.0071
	1396.10.26	calibration	0.85	0.92	0.0016
	1396.11.25	calibration	0.81	0.90	0.0059
	1396.12.27	calibration	0.73	0.80	0.0047
Output2	1396.10.13	calibration	0.70	0.79	0.0045
	1396.10.26	calibration	0.79	0.83	0.0093
	1396.11.25	calibration	0.76	0.82	0.0088
	1396.12.27	calibration	0.69	0.76	0.0055
Output3	1396.10.13	calibration	0.83	0.78	0.0032
	1396.10.26	calibration	0.79	0.85	0.0096
	1396.11.25	calibration	0.77	0.84	0.0076
	1396.12.27	calibration	0.70	0.76	0.0039

نتایج اعتبارسنجی مدل SWMM کارایی و دقت مدل را با اندازه‌ی NS بیشتر از ۵٪ تایید کرد؛ که نشان‌دهنده‌ی نتایج قابل قبول مدل است و همچنین مشخص شد که مدل مزبور قابلیت شبیه‌سازی رواناب سطحی را دارد. این نتایج با یافته‌های بدیعی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵)، کرمی و همکاران (۲۰۱۶)، کریمی و همکاران (۲۰۱۸)، مطابقت دارد.

اعتبارسنجی مدل SWMM

پس از واسنجی مدل آب‌شناسی، به‌منظور اعتبارسنجی و ارزیابی مدل از دو رویداد در تاریخ‌های ۱۳۹۷/۰۱/۲۷ و ۱۳۹۷/۰۲/۰۴ که بلندی و سرعت رواناب متناظر آن‌ها برداشت‌شده بود، استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌های شاخص‌های کارایی مدل در مرحله‌ی اعتبارسنجی از دو رخداد اندازه‌گیری شده در جدول ۵ نشان داده شده است. همچنین

جدول ۵- اندازه‌های شاخص‌های کارایی مدل در مرحله‌ی اعتبارسنجی مدل SWMM.

Table 5- Values of model performance indices in the validation phase of SWMM model.

Output number	The event	The level	NSE	R ²	RMSE
Output1	1397.01.27	validation	0.72	0.85	0.0011
	1397.02.04	validation	0.76	0.89	0.0065
Output2	1397.01.27	validation	0.68	0.83	0.0056
	1397.02.04	validation	0.64	0.80	0.0096
Output3	1397.01.27	validation	0.78	0.90	0.0042
	1397.02.04	validation	0.75	0.88	0.0083

از اثرات این ویژگی‌ها کمک شایانی به تبیین راهکارهای مناسب در مدیریت رواناب خواهد کرد. در این پژوهش برای بررسی حساسیت متغیرهای ورودی مدل SWMM، از روش تحلیل حساسیت جزئی (مطلق) استفاده شد (آرمان و همکاران ۲۰۱۹). ابتدا از بین ویژگی‌های موجود نه ویژگی مؤثر نشان داده شده در جدول (۵) با توجه به دامنه‌ی تغییرات قابل

تحلیل حساسیت

برای سناریوسازی مناسب، ابتدا باید اندازه‌ی تأثیر ویژگی‌های مختلف در به‌کارگیری LID ها سنجیده شود. نتایج تحلیل حساسیت مهم‌ترین ویژگی‌ها موجب می‌شود تا مؤثرترین ویژگی‌ها در اندازه‌ی تغییرات آلاینده‌ی خروجی شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی مشخص شوند. فهم دقیق و درست

اولیه کاهش و افزایش داده شد و با تغییر اندازه‌ی هر ویژگی مدل اجرا شد و تأثیر آن‌ها بر آب‌دهی اوج سیلاب خروجی آبخیز اندازه‌گیری شد. از ویژگی‌های حساس و تأثیرگذار مشخص شده برای واسنجی مدل استفاده شد. شایان ذکر است نتایج تحلیل حساسیت ویژگی‌های بررسی شده نشان داد که درصد نفوذناپذیری در آب‌دهی اوج سیلاب خروجی بیشترین حساسیت را داشت.

قبول انتخاب شد. از بین نتایج مختلف مدل SWMM، آب‌دهی اوج سیلاب که مؤثرترین ویژگی برآورد سیلاب است، به‌عنوان متغیر وابسته برای بررسی در نظر گرفته شد. با توجه به دامنه‌ی تغییرات قابل قبول (جدول ۶) و همچنین با توجه به این که عکس‌العمل ویژگی‌های بررسی شده به تغییرات کم، بسیار ناچیز بود، هر کدام از نه ویژگی مطرح شده در تمام زیر آبخیزها به اندازه‌ی $5 \pm 10 \pm 15 \pm 30\%$ از اندازه‌ی

جدول ۶- نتایج به‌دست آمده از تحلیل حساسیت مدل SWMM.

Table 6 – Results of SWMM model sensitivity analysis.

Row	Parameter	The amount of changes in the output peak flow rate	Range of changes
1	Slope	No significant changes were observed.	5% increase
2	CN	6 %decrease	5% reduction
3	Coefficient of roughness	10% reduction	10% increase
4	Coefficient of roughness	12 %increase	10% reduction
5	Impenetrability	16% increase	10% increase
6	Impenetrability	15% reduction	10% reduction

خروجی نشان داد، داده‌های میانگین غلظت در نقاط خروجی بررسی شده و گروه غلظت‌های لحظه‌ای، از توزیع بهنجار تبعیت می‌کنند.

شبیه‌سازی آماری آلودگی نیترات

شاخص‌های آماری توصیفی آلودگی نیترات در رواناب شهر گرگان در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج بررسی شاخص‌های آماری توصیفی غلظت نیترات برای سه نقطه‌ی

جدول ۷- شاخص‌های آماری توصیفی آلودگی نیترات در رواناب شهر گرگان.

Table 7- Descriptive statistical indices of nitrate contamination in runoff the Gorgan City.

Data	Exit points	Elongation	Crookedness	Standard deviation	Middle	Average
Average concentration of events	1	0.97	1.07	1.88	6.96	7.82
	2	1.32	1.15	2.27	7.88	8.76
	3	1.03	1.1	1.92	7.64	8.38
The series of instantaneous concentrations	1	1.45	1.21	2.04	7.51	8.13
	2	0.87	1.01	1.72	8.23	9.04
	3	1.57	1.25	2.94	8.01	8.89

داده‌ها مثبت بود. نتایج بررسی شاخص‌های آماری توصیفی غلظت فسفات برای سه نقطه‌ی خروجی نشان داد، داده‌های میانگین غلظت در نقاط خروجی بررسی شده و گروه غلظت‌های لحظه‌ای، از توزیع بهنجار تبعیت می‌کنند.

شبیه‌سازی آماری آلودگی فسفات

شاخص‌های آماری توصیفی آلودگی فسفات در رواناب شهر گرگان در جدول ۸ نشان داده شده است. بررسی آماره‌های توصیفی اندازه‌های فسفات نشان داد، چولگی و کشیدگی همه‌ی

جدول ۸- شاخص‌های آماری توصیفی آلودگی فسفات در رواناب شهر گرگان.

Table 8- Descriptive statistical indices of phosphate pollution in runoff the Gorgan City.

Data	Exit points	Elongation	Crookedness	Standard deviation	Middle	Average
Average concentration of events	1	1.34	1.1	2.83	8.83	9/59
	2	1.4	1.15	3.12	9.55	10.48
	3	1.53	1.23	1.95	9.21	10.1
The series of instantaneous concentrations	1	0.98	1.07	2.77	8.87	9.93
	2	1.57	1.67	2.45	9.63	10.78
	3	1.66	1.83	2.96	9.31	10.39

توصیفی غلظت BOD نشان داد، چولگی داده‌ها در محدوده‌ی بهنجار و به سمت راست و کشیدگی داده‌ها نیز در محدوده‌ی بهنجار است.

شبیه‌سازی آماری آلودگی BOD

شاخص‌های آماری توصیفی غلظت BOD در رواناب شهر گرگان در جدول ۹ نشان داده شده است. نتایج بررسی شاخص‌های آماری

جدول ۹- شاخص‌های آماری توصیفی غلظت BOD در رواناب شهر گرگان.

Table 9- Descriptive statistical indices of BOD concentration in runoff the Gorgan City.

Data	Exit points	Elongation	Crookedness	Standard deviation	Middle	Average
Average concentration of events	1	1.3	1.02	2.11	22.19	23.27
	2	0.79	0.15	3.03	21.21	22.85
	3	1.63	1.17	2.34	22.51	23.10
The series of instantaneous concentrations	1	1.17	1.24	1.84	22.47	23.34
	2	0.98	0.74	2.98	21.56	23.02
	3	1.22	0.85	2.68	22.18	23.26

تعریف و شبیه‌سازی سناریوها

مینا است، که در منطقه‌ی مطالعه‌شده با بارندگی در دوره‌ی بازگشت‌های ۲ و ۵ و ۱۰ ساله بدون اعمال راه‌کارهای نوین مدیریتی، سیلاب تحلیل شد. در این مرحله گروه‌های زمانی بارش با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی مدل اعمال شد و نتایج به‌دست آمده از خروجی‌ها از نظر ویژگی‌های کیفی شامل فسفات، نیترات و BOD بررسی شدند و نتایج آن‌ها در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

در این پژوهش بعد از رسم کامل شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی و تحلیل حساسیت، ۷ سناریو با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله برای تحلیل در نظر گرفته شده است.

سناریوی اول: بدون به‌کارگیری LID

مدل به‌دست آمده از این سناریو به‌منظور پایلوت و حالت

جدول ۱۰- وضعیت بدون به‌کارگیری LID، برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 10- Unused LID Status for Different Outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	24.53	9.62	11.55
	2	24.11	10.56	12.44
	3	24.37	10.18	12.06
5 years old	1	23.9	8.87	10.8
	2	23.48	9.81	11.69
	3	23.74	9.43	11.31
10 years old	1	23.9	8.87	10.8
	2	23.48	9.81	11.69
	3	23.74	9.43	11.31

سناریوی دوم: سامانه‌ی ماند بیولوژیکی

در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کیفیت رواناب سطحی در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

سامانه‌ی ماند بیولوژیک با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی مدل اعمال شد. نتایج اثرات سناریوی سامانه‌ی ماند بیولوژیک

جدول ۱۱- اثرات سامانه‌ی ماند بیولوژیک برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 11- Effects of the biological retention system for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.35	8.85	10.76
	2	22.83	9.85	11.88
	3	23.18	9.5	11.45
5 years old	1	22.72	8.1	10.01
	2	22.2	9.1	11.13
	3	22.55	8.75	10.7
10 years old	1	22.33	7.46	9.37
	2	21.81	8.46	10.49
	3	22.16	8.11	10.06

سناریوی سوم: پشت بام سبز

از اعمال مشخصات بام سبز در دوره‌ی بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله در محدوده‌ی مطالعه‌شده انجام شد. نتایج اثرات سناریوی پشت بام سبز در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کمی و کیفی رواناب سطحی در جدول ۱۲ نشان داده شده است.

در این سناریو هدف، بررسی اثر بام سبز بر کیفیت رواناب حاصل از بارش در سطح منطقه‌ی مطالعاتی بود. با توجه به توابع آبشویی و تجمع آلاینده‌ی در این بخش، بررسی آبنگاری‌های خروجی و وضعیت کیفیت رواناب سطحی پس

جدول ۱۲- اثرات سناریوی پشت بام سبز برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 12- The effects of the green roof scenario for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.21	8.91	10.84
	2	22.74	9.75	11.8
	3	23.02	9.52	11.37
5 years old	1	22.58	8.16	10.09
	2	22.11	9	11.05
	3	22.39	8.77	10.62
10 years old	1	22.19	7.52	9.45
	2	21.72	8.36	10.41
	3	22	8.13	9.98

سناریوی چهارم: ترانشه‌ی نفوذ

در این سناریو هدف، بررسی اثر ترانشه‌ی نفوذ بر کیفیت رواناب حاصل از بارش در سطح منطقه‌ی مطالعاتی بود. با توجه به توابع آبخیزی و تجمع آلاینده‌ی در این بخش، بررسی آب‌نگارهای خروجی و وضعیت کیفیت رواناب سطحی پس از اعمال مشخصات ترانشه‌ی نفوذ در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله در محدوده‌ی مطالعه‌ی انجام شد. نتایج اثرات سناریوی ترانشه‌ی نفوذ در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کمی و کیفی رواناب سطحی در جدول ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱۳- اثرات سناریوی ترانشه‌ی نفوذ برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 13- The effects of the infiltration trench scenario for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.12	8.53	10.62
	2	22.67	9.65	11.69
	3	23.41	9.67	11.63
5 years old	1	22.49	7.78	9.87
	2	22.04	8.9	10.94
	3	22.78	8.92	10.88
10 years old	1	22.1	7.14	9.23
	2	21.65	8.27	10.3
	3	22.39	8.28	10.24

سناریوی پنجم: روکش‌های نفوذپذیر

در این سناریو هدف، بررسی اثر روکش‌های نفوذپذیر بر کیفیت رواناب حاصل از بارش در سطح منطقه‌ی مطالعاتی بود. در این مرحله گروه‌های زمانی بارش با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی مدل اعمال شد و نتایج به‌دست آمده از خروجی‌ها از نظر حجم رواناب، آب‌دهی اوج و ویژگی‌های کیفی شامل فسفات، نیترات و BOD بررسی شدند. نتایج اثرات سناریوی روکش‌های نفوذپذیر در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کمی و کیفی رواناب سطحی در جدول ۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۱۴- اثرات سناریوی روکش‌های نفوذپذیر برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 14- Scenario effects of permeable covers for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.66	8.72	10.73
	2	22.42	9.95	11.55
	3	23.11	9.74	11.29
5 years old	1	23.03	7.97	9.98
	2	21.79	9.2	10.8
	3	22.48	8.99	10.54
10 years old	1	22.64	7.33	9.34
	2	21.4	8.56	10.16
	3	22.09	8.35	9.9

سناریوی ششم: بشکه‌ی باران

از اعمال مشخصات بشکه‌ی باران در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله در محدوده‌ی مطالعه‌شده انجام شد. نتایج اثرات سناریوی بشکه‌ی باران در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کمی و کیفی رواناب سطحی در جدول ۱۵ نشان داده شده است.

در این سناریو هدف، بررسی اثر بشکه‌ی باران بر کیفیت رواناب حاصل از بارش در سطح منطقه‌ی مطالعاتی بود. با توجه به توابع آیشویی و تجمع آلاینده‌ی در این بخش، بررسی آبنگارهای خروجی و وضعیت کیفیت رواناب سطحی پس

جدول ۱۵- اثرات سناریوی بشکه‌ی باران برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 15- The effects of the rain barrel scenario for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.08	8.59	10.6
	2	22.91	9.68	11.68
	3	23.53	9.61	11.55
5 years old	1	22.45	7.84	9.85
	2	22.28	8.93	10.93
	3	22.9	8.86	10.8
10 years old	1	22.06	7.2	9.21
	2	21.89	8.29	10.29
	3	22.51	8.22	10.16

سناریوی هفتم: جوی باغچه

اعمال مشخصات جوی باغچه در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله در محدوده‌ی مطالعه‌شده انجام شد. نتایج اثرات سناریوی جوی باغچه در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کمی و کیفی رواناب سطحی در جدول ۱۶ نشان داده شده است.

در این سناریو هدف، بررسی اثر جوی باغچه بر کیفیت رواناب حاصل از بارش در سطح منطقه‌ی مطالعاتی بود. با توجه به توابع آیشویی و تجمع آلاینده‌ی در این بخش، بررسی آبنگارهای خروجی و وضعیت کیفیت رواناب سطحی پس از

جدول ۱۶- اثرات سناریوی جوی باغچه برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 16- The effects of the garden climate scenario for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.42	8.95	10.81
	2	22.96	9.79	11.52
	3	23.32	9.56	11.4
5 years old	1	22.79	8.2	10.06
	2	22.33	9.04	10.77
	3	22.69	8.81	10.65
10 years old	1	22.4	7.56	9.42
	2	21.94	8.4	10.13
	3	22.3	8.17	10.01

روی ویژگی‌های کیفی کمتر است. در دوره‌های بازگشت بیشتر از ۵۰ و ۱۰۰ ساله کاهش کارایی به‌مراتب بیشتر است. با افزایش دوره‌های بازگشت و به تناسب آن افزایش شدت بارش در زمان ثابت، حجم رواناب بیشتر و غلظت شسته‌شده ثابت است. بنابراین می‌توان گفت اجرای روش‌های توسعه‌ی کم اثر در دوره‌های کمتر بهتر جوابگو است که این اختلاف گرچه در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله کم است، اما در دوره‌ی بازگشت‌های بیشتر مثل ۵۰ و ۱۰۰ ساله کارایی LID ها در بحث ویژگی‌های کیفی رواناب به‌مراتب کمتر است. بنابراین با وجود اینکه تمام سناریوهای LID بررسی‌شده در این پژوهش

نتایج نشان داد به‌ترتیب سامانه‌ی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش‌های نفوذپذیر بهترین عملکرد را در بهبود کیفیت رواناب سطحی در منطقه‌ی مطالعه‌شده داشتند. در راستای شناخت رابطه‌ی بین شدت بارش و کارایی LID ها می‌توان گفت با افزایش دوره‌ی بازگشت، در اثر اعمال LID ها حجم رواناب بیشتر کاهش یافت. از این رو در بارش‌های یکنواخت هر چه شدت بارش بیشتر شود اندازه‌ی کاهش حجم رواناب در اثر استفاده از LID ها بیشتر خواهد بود. نتایج نشان داد با افزایش دوره‌ی بازگشت، تأثیرات LID ها کمتر شد زیرا با افزایش شدت بارش و افزایش حجم و آبدی اوج رواناب، تأثیرات این روش‌ها

ارزیابی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) محاسبه شد. وزن دهی سنجه های ارزیابی مختلف برای اولویت بندی سناریوهای LID با استفاده از روش مقایسه زوجی در جدول ۱۷ آورده شده است. با توجه به جدول ۷، سنجه های حجم رواناب (۰/۲۲۵) بیشترین وزن و سنجه های آبدهی بیشینه (۰/۱۶۷) کمترین وزن را داشتند.

در مهار کردن رواناب سطحی و بهبود کیفیت آن مؤثر بوده اند، اما تأثیر اقدام های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه های باران و روکش نفوذپذیر، بیشتر بوده است و پیشنهاد می شود به منظور بهبود کیفیت رواناب سطحی، این اقدام ها در اولویت های اجرایی باشند.

مقایسه سناریوهای LID

وزن دهی سنجه های ارزیابی

بعد از تعیین ساختار سلسله مراتبی پژوهش، وزن سنجه های

جدول ۱۷- اندازه ی وزن استخراج شده برای سنجه های ارزیابی با استفاده از روش AHP.

Table 17- Extracted weights for evaluation criteria using the AHP method.

Criteria	Runoff volume	BOD	Nitrate concentration	Phosphate concentration	Maximum flow rate	Standard weight
Runoff volume	1	1	2	2	2	0.225
BOD	1	1	1	2	2	0.212
Nitrate concentration	0.5	1	1	1	2	0.203
Phosphate concentration	0.5	0.5	1	1	1	0.193
Maximum flow rate	0.5	0.5	0.5	1	1	0.167

بام سبز، بشکه های باران و جوی باغچه به ترتیب اولویت های اول تا سوم را داشتند. همچنین در خروجی شماره ۳ نیز، اقدام های مدیریتی پشت بام سبز، روکش نفوذپذیر و بشکه های باران به ترتیب اولویت های اول تا سوم را داشتند. سرانجام برای کل منطقه ی مطالعه شده در دوره ی بازگشت ۲ ساله، اقدام های مدیریتی بشکه های باران، پشت بام سبز و روکش نفوذپذیر به ترتیب اولویت های اول تا سوم را داشتند (جدول ۱۸).

نتایج اولویت بندی سناریوهای LID

دوره ی بازگشت ۲ ساله

نتایج اولویت بندی سناریوهای LID برای سه زیرآبیز خروجی و کل منطقه ی مطالعه شده در دوره ی بازگشت ۲ ساله در جدول ۱۷ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱۷ در خروجی شماره ۱ اقدام های مدیریتی بشکه های باران، روکش نفوذپذیر و ترانشه ی نفوذ، به ترتیب اولویت اول تا سوم را داشتند. اما در خروجی شماره ۲ اقدام های مدیریتی پشت

جدول ۱۸- نتایج اولویت بندی سناریوهای LID برای خروجی های آبخیز مطالعه شده در دوره ی بازگشت ۲ ساله.

Table 18- The results of prioritizing LID scenarios for the outputs of the study area in the 2-years return period.

Output number	Scenario	SAW score	SAW priority	TOPSIS score	TOPSIS priority
number 1	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.764	5	0.637	6
	Simulation considering the green roof	0.771	4	0.779	4
	Simulation considering the penetration trench	0.840	3	0.848	3
	Simulation considering permeable coatings	0.855	2	0.863	2
	Simulation considering the rain barrel	0.947	1	0.955	1
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.629	6	0.772	5
number 2	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.771	5	0.780	4
	Simulation considering the green roof	0.880	1	0.887	1
	Simulation considering the penetration trench	0.757	6	0.764	6
	Simulation considering permeable coatings	0.773	4	0.778	5
	Simulation considering the rain barrel	0.825	2	0.832	2
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.786	3	0.793	3
number 3	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.804	4	0.771	5
	Simulation considering the green roof	0.898	1	0.905	1
	Simulation considering the penetration trench	0.569	6	0.576	6
	Simulation considering permeable coatings	0.850	2	0.857	2
	Simulation considering the rain barrel	0.824	3	0.831	3
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.764	5	0.811	4

۱۸ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱۸ در خروجی شماره ۱ اقدام های مدیریتی بشکه های باران، روکش نفوذپذیر و ترانشه ی نفوذ، به ترتیب اولویت اول تا سوم را داشتند. اما،

دوره ی بازگشت ۵ ساله

نتایج اولویت بندی سناریوهای LID برای سه زیرآبیز خروجی و کل منطقه ی مطالعه شده در دوره ی بازگشت ۵ ساله در جدول

در خروجی شماره‌ی ۲ اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و جوی باغچه به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. همچنین در خروجی شماره‌ی ۳ نیز، اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، روکش نفوذپذیر و ماند بیولوژیک به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند (جدول ۱۹).

جدول ۱۹- نتایج اولویت‌بندی سناریوهای LID برای خروجی‌های مطالعه‌شده در دوره‌ی بازگشت ۵ ساله.

Table 19- The results of prioritizing LID scenarios for the studied outputs in the 5-years return period.

Output number	Scenario	SAW score	SAW priority	TOPSIS score	TOPSIS priority
number 1	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.767	5	0.662	6
	Simulation considering the green roof	0.823	4	0.773	۵
	Simulation considering the penetration trench	0.843	3	0.849	3
	Simulation considering permeable coatings	0.855	2	0.861	2
	Simulation considering the rain barrel	0.966	1	0.972	1
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.656	6	0.829	4
number 2	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.763	5	0.759	6
	Simulation considering the green roof	0.880	1	0.888	1
	Simulation considering the penetration trench	0.751	6	0.771	5
	Simulation considering permeable coatings	0.773	4	0.781	4
	Simulation considering the rain barrel	0.820	2	0.828	2
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.777	3	0.785	3
number 3	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.843	3	0.850	3
	Simulation considering the green roof	0.937	1	0.944	1
	Simulation considering the penetration trench	0.604	6	0.611	6
	Simulation considering permeable coatings	0.852	2	0.859	2
	Simulation considering the rain barrel	0.824	4	0.768	5
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.761	5	0.831	4

اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. همچنین در خروجی شماره‌ی ۳ نیز، اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، روکش نفوذپذیر و ماند بیولوژیک به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. سرانجام برای کل منطقه‌ی مطالعه‌شده در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله، اقدام‌های مدیریتی بشکه‌ی باران، پشت بام سبز و روکش نفوذپذیر به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند.

دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله

نتایج اولویت‌بندی سناریوهای LID برای سه زیربخش خروجی و کل منطقه‌ی مطالعه‌شده در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله در جدول ۲۰ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۲۰ در خروجی شماره‌ی یک اقدام‌های مدیریتی بشکه‌ی باران، ترانشه‌ی نفوذ و روکش نفوذپذیر به‌ترتیب اولویت اول تا سوم را داشتند. اما در خروجی شماره‌ی ۲ اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش نفوذپذیر به‌ترتیب

جدول ۲۰- نتایج اولویت‌بندی سناریوهای LID برای خروجی شماره‌ی ۱ در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله.

Table 20- The results of prioritizing LID scenarios for outlet number 1 in the 10-year return period.

Output number	Scenario	SAW score	SAW priority	TOPSIS score	TOPSIS priority
number 1	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.772	5	0.778	5
	Simulation considering the green roof	0.850	4	0.714	6
	Simulation considering the penetration trench	0.854	2	0.860	2
	Simulation considering permeable coatings	0.853	3	0.859	3
	Simulation considering the rain barrel	0.962	1	0.968	1
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.708	6	0.856	4
number 2	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.771	4	0.779	4
	Simulation considering the green roof	0.882	1	0.890	1
	Simulation considering the penetration trench	0.751	5	0.740	6
	Simulation considering permeable coatings	0.814	3	0.822	3
	Simulation considering the rain barrel	0.857	2	0.865	2
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.732	6	0.759	5
number 3	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.870	3	0.877	3
	Simulation considering the green roof	0.921	1	0.928	1
	Simulation considering the penetration trench	0.628	6	0.804	5
	Simulation considering permeable coatings	0.875	2	0.882	2
	Simulation considering the rain barrel	0.824	4	0.831	4
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.797	5	0.635	6

LID بررسی‌شده در این پژوهش در مهار کردن رواناب سطحی و بهبود کیفیت آن مؤثر بوده‌اند، اما تأثیر اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشک‌های باران و روکش نفوذپذیر بیشتر بوده است و پیشنهاد می‌شود به‌منظور بهبود کمیت و کیفیت رواناب سطحی، این اقدام‌ها در اولویت‌های اجرایی باشند.

نتیجه‌گیری

در دنیای امروز و در بحث مدیریت رواناب شهری تلاش بر آن است سطوح نفوذپذیر در مقایسه با سطوح نفوذناپذیر افزایش یابد تا رواناب‌های تولیدی در سطح شهر به اندازه‌ی بیشتری در داخل خاک و سفره‌های زیرزمینی نفوذ کند. رواناب شهری هم‌چون منبعی ارزشمند در کنار آب خام و پساب‌ها در نظر گرفته می‌شوند و به این منظور سعی در نگهداری آن‌ها حتی به‌شکل کوتاه‌مدت برای بهبود کیفیت و نفوذ بخشی از آن به داخل سفره‌های زیرزمینی و رهاسازی تدریجی آن است تا ضمن تغذیه‌ی مؤثر آبخوان‌ها از بروز سیلاب جلوگیری شود. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی آب‌دهی در رخداد‌های بررسی‌شده انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی داشت، که اندازه‌ی NS برای رخداد‌های بیشتر از ۰/۵ بود. بنابراین از این مدل می‌توان برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه‌ی زهکشی رواناب شهری در منطقه‌ی مطالعه‌شده استفاده کرد. با انجام تحلیل حساسیت مدل مشخص شد از بین ویژگی‌های استفاده‌شده، درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را روی اندازه‌ی آب‌دهی اوج داشت و ویژگی ضریب زبری مانینگ و شیب به‌ترتیب در رتبه‌ی بعدی بودند. در روش LID با استفاده از ویژگی‌ها و ریخت‌شناسی

پس از وزن‌دهی سنج‌های ارزیابی، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW و TOPSIS سناریوهای LID اولویت‌بندی شد. نتایج به‌دست آمده از اولویت‌بندی سناریوهای LID برای منطقه‌ی شماره یک نشان داد، در هر سه دور بازگشت بررسی‌شده اقدام‌های مدیریتی بشک‌های باران، روکش نفوذپذیر و ترانشه‌ی نفوذ به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. بنابراین در منطقه‌ی شماره یک، اقدام‌های مدیریتی بشک‌های باران، روکش نفوذپذیر و ترانشه‌ی نفوذ به‌عنوان اقدام‌های مدیریتی برتر معرفی شده و پیشنهاد می‌شود این اقدام‌ها در اولویت اجرایی باشند. اما نتایج به‌دست آمده از اولویت‌بندی سناریوهای LID در هر سه دور بازگشت بررسی‌شده برای منطقه‌ی شماره‌ی دو نشان داد، اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشک‌های باران و جوی باغچه به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. همچنین نتایج به‌دست آمده از اولویت‌بندی سناریوهای LID برای منطقه‌ی شماره‌ی سه نشان داد، در هر سه دور بازگشت بررسی‌شده اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، روکش نفوذپذیر و ماند بیولوژیک به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. بنابراین در منطقه‌ی شماره‌ی سه اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، روکش نفوذپذیر و ماند بیولوژیک بیشترین تأثیر و اولویت را در بهبود کمیت و کیفیت رواناب سطحی منطقه داشته‌اند. شایان ذکر است، نتایج به‌دست آمده از اولویت‌بندی سناریوهای LID برای کل منطقه‌ی مطالعه‌شده نشان داد، در هر سه دور بازگشت بررسی‌شده اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشک‌های باران و روکش نفوذپذیر به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. بنابراین سرانجام با وجود اینکه تمام سناریوهای

طبیعی و ایجاد سازه‌های مطرح در سطح آبخیز، اقدام‌هایی برای کاهش حجم و آب‌دهی اوج رواناب، تصفیه آلودگی رواناب و همچنین افزایش نفوذ و تغذیه‌ی سفره‌های آب زیرزمینی انجام می‌شود. توسعه‌ی کم اثر مزیت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی بسیاری دارد که می‌تواند به تغییرات اندک در مناطق در حال توسعه، حفظ ویژگی‌های محیط‌زیستی و اقتصادی بودن آن در مقایسه با سامانه‌های قدیمی مدیریت رواناب اشاره کرد.

نتایج این پژوهش نشان داد به‌ترتیب سامانه‌ی پشت بام سبز، شبکه‌ی باران و روکش‌های نفوذپذیر با کاهش اندازه‌های فسفات، نیترات و BOD در مقایسه با سناریوی وضعیت موجود در منطقه‌ی پژوهشی سبب بهبود کیفیت رواناب سطحی شده‌اند. همچنین نتایج نشان داد که در تمام راهکارهای بررسی‌شده با افزایش دوره‌ی بازگشت، درصد کاهش حجم رواناب نیز افزایش یافت. بنابراین با وجود اینکه تمام سناریوهای LID بررسی‌شده در این پژوهش در مهارکردن رواناب سطحی و بهبود کیفیت آن مؤثر بوده‌اند، و از آنجایی که با اجرای سناریوهای پشت بام سبز، شبکه‌ی باران و روکش‌های نفوذپذیر اندازه‌های فسفات، نیترات و BOD در مقایسه با وضعیت موجود و سایر سناریوها کاهش بیشتری داشته‌اند، می‌توان نتیجه گرفت تأثیر اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، شبکه‌ی باران و روکش نفوذپذیر بیشتر بوده است، و پیشنهاد می‌شود به‌منظور بهبود کمیت

و کیفیت رواناب سطحی، این اقدام‌ها در اولویت‌های اجرایی باشند. اجرای پشت بام سبز هر چند موجب ایجاد هزینه‌هایی برای مالکین ساختمان‌ها می‌شود، ولی مزیت‌هایی همچون کاهش هزینه‌های تهویه‌ی مطبوع، سرمایش و گرمایش، ایجاد زیبایی و طول عمر بیشتر در مقایسه با پوشش‌های معمولی سقف‌ها دارد. اجرای پیاده‌روی نفوذپذیر در حاشیه‌ی خیابان‌های اصلی به جای پیاده‌روی معمولی روش پیشنهادی مناسبی است که لفزون بر کاهش هزینه‌های عمومی (دولتی و شهرداری‌ها)، برای مالکین نیز هزینه‌ای ندارد و باعث کاهش مجموع رواناب خروجی، آبدهی و آلودگی در منطقه می‌شود. جوی باغچه‌ها نیز، کانال‌هایی عریض، کم عمق و با پوشش گیاهی هستند که برای کم شدن سرعت رواناب، جذب بیشتر و فیلتر کردن و ته نشین شدن آلودگی‌ها می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

در پایان می‌توان گفت به‌کارگیری مناسب روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر در منطقه به عامل‌های مختلفی از جمله عامل‌های محیطی، اقتصادی و کارایی آن‌ها بستگی دارد. همچنین نتایج این پژوهش نشان‌دهنده‌ی این است که تمام سناریوهای LID انتخاب‌شده در بهبود کمیت و کیفیت رواناب سطحی شهر گرگان مؤثر بوده‌اند، اما هر یک از سناریوها عملکرد متفاوتی را از خود نشان داده‌اند. بنابراین ترکیبی از سناریوها نیز در شرایط منطقی بودن هزینه‌های اجرایی، قابل توصیه است.

فهرست منابع

- Arman N, Shahbazi A, Faraji M, Dehdari S. 2019. Effect of urban development on runoff generation by SWMM, case study: Khuzestan Province, Izeh. *Watershed Engineering and Management*. 11(3): 750-758. (In Persian). 10.22092/ijwmse.2018.115272.1353
- Asgaripour N, Zaree H, AkhoundAli, AM. 2013. Investigating the Performance of the Sewage Collection System in Relation to the Inflow of Surface Runoff Using the SWMM Model (Case study: Zaytoun, an Employee of Ahvaz City). *The First National Conference on Geography, Urban Planning and Sustainable Development*. pp. 1-9. (In Persian).
- Badiezadeh-S, bahremand-A, dehghani A. 2015. Urban Flood Management by Simulation of Surface Runoff Using SWMM Model in Gorgan City, Golestan Province-Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*. 22 (4): 155-170. (In Persian). doi: 20.1001.1.23222069.1394.22.4.9.7
- Darnthamrongkul W, Mozingo LA. 2021. Toward Sustainable Stormwater Management: Understanding Public Appreciation and Recognition of Urban Low Impact Development (LID) in the San Francisco Bay Area. *Journal of Environmental Management*. 300(4):113716. doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113716
- Einloo F, Salajegheh A, Malekian A, Ahadnejad M. 2016. Evaluation of urbanization effect on runoff volume by using Stormwater Management Model (Case Study: Zanjan City Watershed). *Iran-Watershed Management Science and Engineering* 10(33):37-46.
- Hachoumi I, Pucher B, De Vito-Francesco E, Prenner F, Ertl T, Langergraber G, Furrhacker M, Allabashi R. 2021. Impact of Green Roofs and Vertical Greenery Systems on Surface Runoff Quality. *Water*. 13(19):1-34. doi.org/10.3390/w13192609
- Hua PQ, Zhuo XL, Guangtao F. 2013. The Effects of Low Impact Development on Urban Flooding Under Different Rainfall Characteristics. *Journal of Environmental Management*. 129: 577-58. doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.026
- Jia H, Iu Y, Yu S, Chu Y. 2017. Planning of LID-BMPs for Urban Runoff Control: The Case of Beijing Olympic village. *Journal of Separation and Purification Technology*. 84:112-119. doi.org/10.1016/j.seppur.2011.04.026
- Joksimovic D, Alam Z. 2014. Cost Efficiency of Low Impact Development (LID) Stormwater Management Practices. 16th Conference on Water Distribution System Analysis, *Procedia Engineering*. 89: 734-741. doi:10.1016/j.proeng.2014.11.501
- Karami M, Ardeshtir A, Behzadian K. 2016. Hazard Management of Inundation and Pollutants in Urban Floods Using Optimal Conventional and Novel Strategies. *Iran Water Resources Research*. 11(3): 100-112. (In Persian).
- Karimi-S, Ghazanfarpour H, Alimoradipour N. 2018. Comparison and Geographical Analysis of Runoff Risk in Urban Crossings (Case study: Four-Regions of Kerman City). *Environmental Hazards*. 5(1):17-34. (In Persian). 10.22059/JH-SCI.2018.249506.317
- Liu T, Lawluy Y, Shi Y, Yap PS. 2021. Low Impact Development (LID) Practices: A Review on Recent Developments, Challenges and Prospects. *Water Air and Soil Pollution*. 232(9):1-36. doi.org/10.1007/s11270-021-05262-5
- Nasehpour M, Khozaymehnezhad H, Forootan E. 2021. Evaluation of Urban Develop-

- ment Impacts on Runoff Using SWMM Model (Case Study: Qom Province). *Journal of Environmental Science and Technology*. 22(12): 79-89. (In Persian). doi: 10.22034/JEST.2019.45067.4713
- Noori H, Farzin S, Karami H. 2018. Performance Development of Modern Methods Using Multi-Objective Optimization in Urban Runoff Control. *Iran Water Resources Research*. 14(3): 57-70. (In Persian).
- Rahimi D. 2009. The Effect of Single Thunders on Flood's Management (Case Study: Farsan Basin). *Geography and Environmental Planning*. 20(3): 85-100. (In Persian). doi:20.1001.1.20085362.1388.20.3.4.5
- Saadatpour M, Delkhosh F, Afshar A, Sandoval Solis S. 2020. Developing a Simulation-Optimization Approach to Allocate Low Impact Development Practices for Managing Hydrological Alterations in Urban Watershed. *Journal of Sustainable Cities and Society*. 61:1-36. doi.org/10.1016/j.scs.2020.102334
- Samim S, Hajian F, Moazami D. 2022. Flood Management in the Eighth District of Herat City Using Low Impact Development and Their Evaluation with EPA-SWMM Model. *Journal of Water and Sustainable Development*. 8(4):111-118. (In Persian). doi:10.22067/JWSD.V8I4.2108.1076
- Silveira ALL. 2002. Problems of Modern Urban Drainage in Developing Countries. *Water Science & Technology*. 45(7): 31-40. doi:10.2166/wst.2002.0114
- Song Y, Lee J, Lee E. 2020. Developing a Reliability Index of Low Impact Development for Urban Areas. *Water*. 12: 29-61.
- Taghizadeh S, Salar Kh, Rajaei T. 2021. Hybrid SWMM and Particle Swarm Optimization Model for Urban Runoff Water Quality Control by Using Green Infrastructures (LID-BMPs). *Journal of Urban Forestry and Urban Greening*. 60: 35-57. doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127032
- Taheriyoun M, Falahi A, Asadollahfardi Gh. 2016. Identification of Appropriate Scenario of Best Management Practices (BMPs) to Improve the Quantity and Quality of Urban Runoff, Considering Economic Issues. *Iranian Water Researches Journal*. 10(21): 85-96. (In Persian).
- Wu J, Larm T, Wahlsten A, Marsalek J, Viklander M. 2021. Uncertainty Inherent to a Conceptual Model Storm Tac Web Simulating Urban Runoff Quantity, Quality and Control. *Urban Water Journal*. 18(5): 300-309. doi.org/10.1080/1573062X.2021.1878240
- Xu C, Shi X, Jia M, Han Y, Zhang R, Ahmad S, Jia H. 2022. China Sponge City Database Development and Urban Runoff Source Control Facility Configuration Comparison Between China and the US. *Journal of Environmental Management*. 304(7): 114241. doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114241
- Xu T, Jia H, Wang Zh, Mao X, Xu Ch. 2019. SWMM-Based Methodology for Block-Scale LID-BMPs Planning Based on Site-Scale Multi-Objective Optimization: A Case Study in Tianjin. *Journal of Environmental Science and Engineering*. 11(1): 32-49. doi.org/10.1007/s11783-017-0934-6
- young C, Dong B, Lee K. 2020. Effects of Low-Impact Development Practices for Flood Events at the Catchment Scale in a Highly Developed Urban Area. *Journal of Disaster Risk Reduction*. 44: 50-74. doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101412
- Zeng Zh, Yuan X, Liang J, Li Y. 2021. Designing and Implementing an SWMM-Based Web Service Framework to Provide Decision Support for Real-Time Urban Storm Water Management. *Journal of Environmental Modelling and Software*. 135:10-39. doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104887



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Prioritization of Low-Impact Development Methods for Quality Management of Urban Surface Runoff, Using the TOPSIS and SAW Method in Gorgan City

Mahtab Forotan¹, Fatemeh Shokrian^{*2}, Karim Solaimani³, Amir Ahmad Dehghani⁴

1- Ph.D. in Sciences and Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Assistant Professor, Department of Sciences and Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3- Professor, Department of Sciences and Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

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

Extended Abstract

Introduction and Objective

In recent years, due to the rapid growth of the population, the increasing development of urbanization and the industrialization of societies, as a result, the hydrology of urban watersheds has been accompanied by many changes. These changes over time have caused floods and inundation of roads in urban areas, and on the other hand, flooding in these areas due to the density of population and facilities can cause severe damages and reduce the quality of runoff. New approaches have been proposed to manage runoff and prevent flooding and water pollution, and in this case, the development of low-impact LID is one of these approaches. The purpose of using this technique is to simulate the hydrological conditions of the urban area before development. For this purpose, in this research, the

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: shokrian.f@gmail.com

Citation: Forotan, M., Shokrian, F., Solaimani, K., Dehghani, A.A. 2023. Prioritization of Low-Impact Development Methods for Quality Management of Urban Surface Runoff, Using the TOPSIS and SAW Method in Gorgan Town. Watershed Management Research. 36(3): 2-22.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.359714.1488

Received: 27 August 2022, **Received in revised form:** 18 October 2022, **Accepted:** 21 December 2022,

Published online: 23 September 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.3, Ser. No: 140, Autumn 2023, pp. 2-22.

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



evaluation of quality parameters (BOD, TP, TN) was investigated using the best low-impact development management practices (LID/BMPs) in Gorgan city.

Materials and Methods

In the first stage, information related to intensity-duration-rainfall curves, urban and land use maps, and urban development maps were collected for Gorgan urban watershed. EPA-SWMM model was used to create a hydrological model in Gorgan city and investigate the effect of LID on runoff. According to the urban development of the region, six options of green roof, biological system, garden waterway, rain, infiltration trench and permeable covers, with a 6-hour rainstorm were considered with a return period of 2, 5 and 10 years for qualitative analysis using parameters Nitrate, phosphate and BOD.

Results and Discussion

The results of the calibration and validation of the model based on the Nash-Sutcliffe criterion more than 0.5 showed that the SWMM model has the required accuracy for simulating the quality of urban runoff. The results showed that, respectively, the green roof system, rain barrel and permeable covers have the best performance in improving the quality of surface runoff in the region by reducing surface runoff pollutants compared to the existing situation. The use of low-impact development methods in the region depends on various factors, including environmental, economic and efficiency factors. The results indicate that all the LID scenarios selected in the research were effective in improving the quality of surface runoff, but each of the scenarios showed different capabilities.

Conclusion and Suggestions

Even though all the LID scenarios examined in this research were effective in controlling surface runoff and improving its quality, but with the implementation of the green roof, rain barrel and permeable covers, the amounts of phosphate, nitrate and BOD compared to the existing situation and other scenarios has decreased further. As a result, the impact of green roof management measures, rain barrel and permeable cover has been greater. Finally, it is suggested that in order to improve the quantity and quality of surface runoff, these methods should be considered in the implementation priorities.

Keywords: EPA-SWMM models, Gorgan, low Impact Development, Phosphate, Surface Water



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبکندهای استان خوزستان

فریدون سلیمانی^{۱*}، مهین کله‌هوئی^۲، دادور لطف‌اله‌زاده^۳

۱ - استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران

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

۳ - عضو هیأت علمی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری (بازنشسته)، تهران، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

امروزه نابودی منابع طبیعی یکی از مهم‌ترین چالش‌های فرا راه برنامه‌های توسعه است. فرسایش خاک یکی از فرآیندهایی است که منابع خاک و آب کشور ما را به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم شدیداً تهدید می‌کند. فرسایش آبی با شکل‌های مختلفی روی زمین نمایان می‌شود که یکی از شکل‌های پیشرفته آن آبکندها است. فرسایش آبکندها از فرآیندهای مهم نابودی خاک است که در اقلیم‌های مختلف سبب از بین رفتن قابل‌ملاحظه‌ی خاک و تولید رسوب فراوان می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبکندهای استان خوزستان و نقش عامل‌های تأثیرگذار آن بر گسترش مناطق آبکندها است.

مواد و روش‌ها

نخست، با جمع‌آوری داده‌های موجود و انطباق آن‌ها با داده‌های تصویرهای ماهواره‌ای و سایر داده‌ها، مناطق آبکندها استان رسم شد. بازدید اولیه‌ی میدانی برای صحت و سقم این مناطق و تصحیح مرزهای آبکندها انجام شد. از کل مساحت استان خوزستان ۶۳۵۰۱۷۹ هکتار در اقلیم خشک بیابانی و بیش از ۳۳۸۶۲ هکتار آن تحت تأثیر فرسایش آبکندها است. اقلیم گرم نیمه‌خشک نیز حدود ۱۲/۱٪ استان را فرا گرفته است و ۱۶۱۱۶ هکتار آن تحت تأثیر فرسایش آبکندها است. پس از تعیین مساحت آبکندها و تفکیک مساحت‌های بیشتر و کمتر از ۵۰۰ هکتار، به‌دلیل اختلاف در شکل ظاهری، پستی‌بلندی و پوشش گیاهی، از اقلیم گرم و خشک بیابانی و گرم و نیمه‌خشک به‌ترتیب دو و یک منطقه معرف و از هر معرف دو تکرار انتخاب

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: سلیمانی، ف.، کله‌هوئی، م.، لطف‌اله‌زاده، د. ۱۴۰۲. بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبکندهای استان خوزستان.

پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۴۱-۲۳.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.360375.1497

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۰، پاییز ۱۴۰۲، صفحه‌های ۲۳ تا ۴۱.

© نویسندگان

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



شد. نیمرخ‌های عرضی و طولی آبکندهای معرف و تکرار، رسم شد و پس از نمونه‌برداری خاک، کلیه ویژگی‌های شکل‌شناسی آبکندها اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج، آبکندهای استان بیشتر در دشت‌های با شیب کم با خاک عمیق و بافت شنی لومی، سیلت و یا سیلت لومی با زمین‌های مرتعی و گاهی زراعی و سطح مقطع U شکل به وجود آمده است. آبکندهای درخزینه و روستای شریف، با اندازه‌های ۱۲۶۰ و ۹۱۲ سانتی‌متر و آبکند درخزینه با اندازه‌ی ۴۲۰ سانتی‌متر بیش‌ترین عرض بالا و پایین را داشتند و عمق در مقطع طولی ۷۵٪ بود. هم‌چنین آبکندهای چغازنبیل، درخزینه و چغازنبیل با اندازه‌های ۳۰ سانتی‌متر کم‌ترین عمق و عرض بالا و پایین را داشتند و عمق در مقطع طولی ۷۵٪ بود. نیمرخ عمومی پنجه‌ای و از نظر عمقی در رده‌ی آبکندهای با عمق متوسط و رأس عمودی بودند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

می‌توان نتیجه گرفت ویژگی‌های ذاتی خاک، سازند و جنس زمین‌شناسی، اقلیم، شدت بارندگی به‌عنوان عامل‌های طبیعی و نابودی پوشش گیاهی، تغییر کاربری زمین‌ها و نبودن مدیریت صحیح، عملیات غیراصولی جاده و پل‌سازی، احداث و نصب تأسیسات نفتی و حتی تیرهای برق به‌عنوان عامل‌های انسانی در روند گسترش آبکندها نقش دارند؛ اما تنوع و تغییر تعداد و اندازه‌ی تأثیر عامل‌های مختلف از نقطه‌ای به نقطه دیگر و متفاوت بودن سهم مشارکت آن‌ها در شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها در تبعیت از شرایط زمین‌محیطی است. این شرایط ایجاد می‌کند که پژوهش‌های بیشتری برای شناسایی هر چه بهتر عامل‌های مؤثر در رخداد فرسایش خندقی و اندازه‌ی مشارکت آن‌ها در شکل‌گیری و گسترش این پدیده در نقاط مختلف و با شرایط زمین‌محیطی متفاوت اجرا شود.

واژگان کلیدی: چغازنبیل، ریخت‌شناسی اقلیمی، فرسایش خاک، کاربری زمین، نیمرخ عمومی

مقدمه

نابودی ساختار خاک می‌شود (خو و همکاران ۲۰۱۶؛ وان‌مایرک و همکاران ۲۰۲۱؛ کله‌هوئی و همکاران ۲۰۲۰). فرسایش آبکندی یک پدیده‌ی آستانه‌ای است که عامل‌های پرشماری در بروز و تشدید آن نقش دارند. عامل‌های طبیعی، نتیجه‌ی تأثیر سال‌های طولانی است که به‌صورت تدریجی اثرگذار بوده‌اند ولی عامل‌های انسانی به‌صورت تشدید سبب بروز این پدیده شده‌اند. برای مهارکردن انواع فرسایش، باید در نظر داشت که اساساً نمی‌توان عامل مشخص و معینی را به‌عنوان عامل اصلی فرسایش آبی در یک منطقه معرفی کرد، بلکه شرایط فرسایش موجود در یک منطقه را باید معلول تأثیرهای متقابل مجموعه عامل‌های مؤثر شامل: پستی‌بلندی، خاک، پوشش گیاهی، کاربری زمین‌ها و تغییرات آن و شرایط اقلیمی در ایجاد فرسایش دانست (پوسن و همکاران ۲۰۰۳؛ احمدپور و همکاران ۲۰۲۱؛ رفاهی ۲۰۰۶؛ انتظاری و همکاران ۲۰۱۵؛ سلیمانی و همکاران ۲۰۱۷؛ شهبازی و همکاران ۱۴۰۰). فرسایش آبکندی در کشور ما بیش‌تر در زمین‌های کشاورزی به وجود می‌آید و هر ساله باعث می‌شود مقدار زیادی از زمین‌های کشاورزی حاصلخیز از بین برود و برای زمین‌ها محدودیت ایجاد می‌کند (کو و همکاران ۲۰۱۶). فرسایش آبکندی می‌تواند خطر جدی برای راه‌ها، حصارها و سازه‌های مختلف باشد. با این حال، پژوهش‌های فرسایش خاک عمدتاً

خاک یکی از منابع ارزشمند هر کشوری است (زارعی و همکاران ۲۰۱۷)، که از آغاز زراعت به‌وسیله‌ی باد و آب فرسایش یافته است. فرسایش آبکندی^۱، نابودگرترین نوع فرسایش آبی است که معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک رخ می‌دهد و خاک را به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم تهدید می‌کند (لیو و همکاران ۲۰۲۱؛ محمدابراهیمی ۲۰۱۷). هر چند قسمتی از این پدیده‌ها طبیعی است و جلوگیری از آن‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد ولی کاهش سرعت یا شدت آن‌ها امری ممکن است، اما این هدف جز با شناخت فنی این فرآیند و برخورد کمی با پدیده‌ها به‌دست نخواهد آمد (مورگان ۲۰۰۵). آبکندها به‌عنوان کانال‌های فرسایشی ناشی از جریان متمرکز زمینی تعریف می‌شوند که رواناب را در فرورفتگی‌های پستی‌بلندی جمع می‌کند (بلانکو و لال ۲۰۰۸). فرسایش آبکندی از فرآیندهای مهم نابودی خاک است که در اقلیم‌های مختلف سبب هدررفت قابل‌ملاحظه‌ی خاک و تولید رسوب فراوان می‌شود (کاستیلو و گومز، ۲۰۱۶)، براساس پژوهش‌های انجام‌شده سهم تولید رسوب آن چند صد برابر فرسایش پاشمان و سطحی است (مورگان ۲۰۰۵). فرسایش آبکندی یک فرآیند تدریجی است که در آن خاک سطحی غنی از مواد مغذی به‌تدریج با نزدیک شدن به سمت آبکند کاهش می‌یابد (سان و همکاران ۲۰۲۲). فرسایش بلندمدت آبکندی سبب انتقال رسوب، کاهش حاصلخیزی و

می‌تواند استفاده شود و برای طبقه‌بندی آن‌ها نیز مفید باشد. در همین راستا، این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی آبکندهای استان خوزستان انجام شده است. با نتایج این پژوهش می‌توان در مرحله‌ی اول، تمرکز آبکندها را برحسب اقلیم، سازند، بلندی، بهره‌برداری و کاربری زمین‌ها مشخص کرد. در مرحله‌ی دوم می‌توان با استفاده از ریخت‌شناسی آبکندها، علل ایجاد و نحوه‌ی گسترش آن‌ها را مشخص کرد تا با اقدام‌های مدیریتی لازم از گسترش آن‌ها جلوگیری شود.

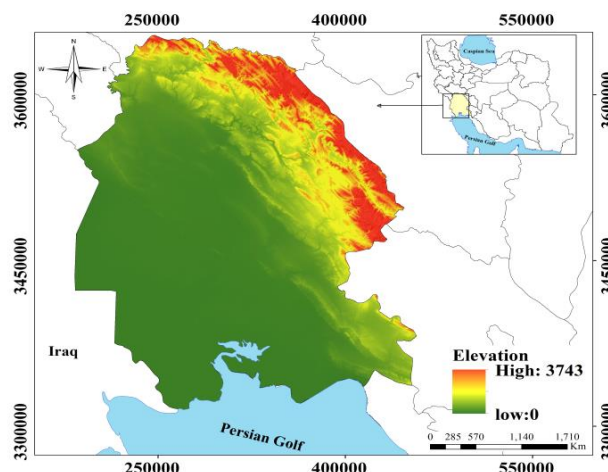
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحت حدود ۶۴۰۰۰ کیلومتر مربع، از مناطق کوهستانی شمالی و شرقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک در جنوب‌غربی ایران است. افزون بر آن، از شمال با استان‌های لرستان و ایلام، از جنوب به خلیج فارس و استان بوشهر، از شرق به استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال بختیاری و از غرب با کشور عراق هم‌جوار است (شکل ۱). شمال و شرق استان خوزستان را سلسله کوه‌های زاگرس محصور کرده است. از لحاظ پستی‌بلندی استان را می‌توان به دو منطقه‌ی کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم کرد، که منطقه‌ی کوهستانی عمدتاً در شمال و شرق استان است و حدود دویستم مساحت کل استان را شامل می‌شود. منطقه‌ی جلگه‌ای که شامل جنوب و جنوب‌غربی استان است، تقریباً دارای شیب کم و سه‌پنجم مساحت کل استان را شامل می‌شود. میانگین بارندگی سالانه ۲۶۶ میلی‌متر و دوره‌ی بارندگی معمولاً بین مهرماه تا اردیبهشت‌ماه است. اندازه‌ی میانگین و بیشینه‌ی دما در دوره‌ی گرما به ترتیب ۳۱/۲ و بیش از ۵۰ درجه سانتی‌گراد است. استان خوزستان از نظر تقسیم بندی دوارتن گسترده شش اقلیم مهم فرا سرد نیمه‌خشک، معتدل مدیترانه‌ای، معتدل خشک بیابانی، گرم نیمه‌خشک، گرم خشک بیابانی و گرم فرا خشک دارد. مهم‌ترین اقلیم استان گرم خشک بیابانی و سپس اقلیم‌های گرم خشک و گرم نیمه‌خشک است. مناطق آبکندی بیشتر در اقلیم گروه خشک بیابانی با مساحت ۳۳۸۶۳ کیلومتر مربع و سپس در اقلیم گرم نیمه‌خشک با مساحت ۱۶۱۱۶ کیلومتر مربع است.

بر فرسایش سطحی و شیباری متمرکز شده است و از اهمیت فرسایش آبکندی غافل شده‌ایم. با توجه به اهمیت موضوع پژوهش‌هایی در زمینه‌ی بررسی عامل‌های مؤثر در گسترش فرسایش آبکندی انجام شده است (سلمون‌احیز و اووموگبو ۲۰۱۳؛ سلکیمکی و گونزالس-اولاباریا ۲۰۱۷؛ ذبیحی و همکاران ۲۰۱۸؛ موداک و همکاران ۲۰۲۲). ون و همکاران (۲۰۲۱)، تاریخچه و اندازه‌ی فرسایش آبکندی در شمال شرقی چین در دوره‌ی طولانی مدت ۱۹۶۸ تا ۲۰۱۸ را بررسی کردند. نتایج بیان‌گر آن بود که در دهه‌ی ۱۹۵۰ با تبدیل کاربری زمین‌ها از جنگل و علف‌زار به کشت‌زار، فرسایش آبکندی شروع شده است و در سال ۱۹۶۷ در شیب‌های تند و در امتداد جاده‌های خاکی گسترش آن بیش‌تر شده است، به طوری که در سال ۲۰۱۸ آبکندها از لحاظ فرآیند و ابعاد پیچیده‌تر و وسیع‌تر شدند. تراکم آبکندها از ۱/۲ به ۳/۲ کیلومتر در پیشانی با سرعت ۱/۵ تا ۲/۵ متر در سال افزایش یافته است. نظری‌سامانی و همکاران (۲۰۰۹)، شرایط تشکیل ۹۷ آبکند را در آبخیز سمل در استان بوشهر را به صورت صحرائی و آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج نشان داد که آبکندهای این آبخیز متأثر از تونلی‌شدن، لغزش و رواناب سطحی است و کاربری زمین و ویژگی‌های خاک نقش مؤثری در تونلی‌شدن داشته است. شیب زیاد، سازند حساس، وجود لایه‌ی ماسه در نیم‌رخ خاک سبب لغزش شده است. همچنین زمین‌های مرتعی نقش مؤثری در تولید رواناب سطحی دارند. شهبازی و همکاران (۱۴۰۰)، آبکندهای استان کرمانشاه را با روش تحلیل تشابه نسبی با متغیرهای کمکی زمین‌ریخت‌سنجی طبقه‌بندی کردند. نتایج نشان داد که تفاوت‌هایی در ویژگی‌های مهم زمین‌ریخت‌سنجی و آستانه‌ی پستی‌بلندی در مناطق آبکندی با اقلیم‌های مختلف وجود داشت. براساس روش طبقه‌بندی آبکندها نتایج نشان داد که با سطح تشابه ۹۷/۵٪، سه طبقه‌ی کلی برای مناطق آبکندی قابل‌شناسایی بود. آبکندهای فعال استان عمدتاً در انواع زمین، تپه و دشت دامنه‌ای بودند.

با توجه به لزوم و اهمیت خاک در زمینه‌ی تأمین و امنیت غذایی جامعه‌ی بشری، نگرش جامع حفظ این منبع ارزشمند برای تمام احاد جامعه به‌ویژه متصدیان و کارشناسان کشاورزی ضروری است. به همین دلیل شناسایی آبکندها از لحاظ اصول و معیارهای فنی و علمی در ایجاد یک بانک اطلاعاتی ارزشمند



شکل ۱- نمایی از موقعیت استان خوزستان در ایران.

Figure 1. A view of the location of Khuzestan Province and Iran.

استان تهیه شد. در این مرحله تا حد امکان از تمامی مناطق استان بازدید شد و مناطق آبکندی با مساحت‌های بیش از ۵۰۰ هکتار و کمتر از آن روی نقشه علامت‌گذاری شد. نقاط برداشت‌شده، به‌وسیله GPS ثبت شد تا در مرحله بعد، از مساحت‌های بیش از ۵۰۰ هکتار (با توجه به روش پژوهش) آبکندهای معرف انتخاب شود و مساحت‌های کمتر از ۵۰۰ هکتار به‌عنوان نقاط آبکندی روی نقشه خروجی در کنار این آبکندها به‌عنوان نقاط آبکندی استان، به‌وسیله برنامه‌ریزان استفاده شود.

بازدید میدانی و طبقه‌بندی آبکندها

در این بخش از پژوهش مطابق مراحل زیر شناسایی و طبقه‌بندی آبکندها انجام شده است.

الف- موقعیت مکانی در آبخیز (روی شیب یا دشت)
ب- دوره‌ی تکاملی (پیوسته یا مسن-ناپیوسته یا جوان)
ج- براساس شکل نیم‌رخ عمومی آبکند (پنجه‌ای خطی موازی حبابی و مرکب)
د- براساس عمق متوسط آبکند که در میانه‌ی آن اندازه‌گیری شد (کم‌عمق = کوچک‌تر از یک متر عمق، با عمق متوسط = بین یک تا ۱۰ متر عمق).

انتخاب آبکند معرف

با توجه به مساحت و اقلیم مناطق آبکندی از هر اقلیم دو منطقه که مساحتی بیش از ۵۰۰ هکتار داشتند جهت برداشت‌های میدانی انتخاب شد. از هر منطقه یک آبکند که از نظر طول، عرض، عمق، کاربری زمین‌ها، نیم‌رخ عمومی و رأس نماینده‌ی بیشتر آبکندهای منطقه بود، به‌عنوان آبکند معرف انتخاب شد و همچنین دو آبکند به‌عنوان تکرار انتخاب شد.

روش پژوهش جمع‌آوری اطلاعات

در این پژوهش، ابتدا اطلاعات اولیه از مناطق تقریبی آبکندهای موجود در استان که شامل طول و عرض جغرافیایی بود از ادارات، سازمان‌ها و اطلاعات موجود از افراد محلی گرفته شد. محل آن‌ها روی نقشه‌های پستی‌بلندی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ علامت‌گذاری شد. سپس جمع‌آوری اطلاعات زمین‌شناسی و خاکشناسی استان و ایستگاه‌های هواشناسی مجاور مناطق آبکندی انجام شد.

تعیین محدوده‌ی مناطق آبکندی

با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده و اطلاعات موجود در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان و همچنین بررسی اجمالی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث^۱، مناطق تقریبی آبکندهای استان روی نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ علامت‌گذاری شد. پس از تهیه‌ی تصاویر ماهواره‌ای، مرز استان رقومی شد و افزون بر این از لایه‌های اطلاعاتی مانند شبکه‌ی آبراهه، شهرها و روستاها استفاده شد. بررسی اولیه نشان داد که بیش‌ترین آبکندهای استان در نزدیکی شهرهای اندیمشک، شوشتر، اهواز و کناره‌های رودخانه کارون است.

سپس با بازدید میدانی و با استفاده از GPS مختصات نقاط اطراف منطقه‌ی آبکندها برداشت شد و این نقاط روی نقشه‌ی پستی‌بلندی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ مشخص شد. از به هم وصل کردن آن‌ها محدوده‌ی آبکندهای هر منطقه مشخص شد. محدوده‌های مشخص شده رقومی شد و در محیط Ilwis وارد کامپیوتر شد و نقشه‌ی رقومی (خطی) محدوده‌ی آبکندهای

برای آبکند معرف انتخاب شد. در نهایت مناطق چغازنبیل، درختینه (ملائانی) و روستای شریف، به‌عنوان آبکندهای معرف استان انتخاب شدند که بررسی ویژگی‌ها، خسارت‌های واردشده و علل آبکندها به شرح زیر است.

آبکند چغازنبیل (منطقه‌ی عمومی چغازنبیل)

آبکند معرف اول در منطقه‌ی عمومی چغازنبیل است. افزون بر آن در این منطقه رود فصلی شریر جریان دارد. مساحت منطقه‌ی آبکندی بیش از ۵۰۰ هکتار است و این منطقه به‌دلیل تاریخی‌بودن و ثبت جهانی چغازنبیل به‌عنوان اثر ملی و جهانی، ویژه و مهم است. پوشش گیاهی غالب منطقه کهورک، خارستر و نوعی گیاه چند ساله‌ی محلی است که به نام چیپ‌چاپ معروف است و به‌علت پستی‌بلندی شیب‌دار و تپه ماهوری‌بودن، کاربری مرتعی دارد ولی در هنگام برداشت‌های میدانی به‌صورت رها شده‌اند و بایر به‌نظر می‌رسد. از سوی دیگر به‌دلیل فرسایش زیاد، منطقه شکل ظاهری خود را از دست داده و به‌صورت تپه‌ماهوری با پستی‌وبلندی‌هایی که نتیجه‌ی فرسایش آبکندی است به نظر می‌رسد. با توجه به بازدیدهای میدانی، مشخص شد که با رها شدن این منطقه، پوشش طبیعی آن به حالت اولیه، بازگشته است. گیاه کهورک با استقرار روی آبکندها تا حدودی به تثبیت آبکند کمک کرده است. کاربری زمین‌های مرتعی موجود بسیار ضعیف و گه‌گاه رها شده است و بخش بزرگی از آن برای چرای بز استفاده می‌شود، طبق اطلاعات به‌دست آمده از کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان‌های منطقه و مصاحبه‌ی حضوری با بومی‌های منطقه، کاربری مهم این‌گونه مناطق در گذشته کشت جالیز است که با گذشت زمان در اثر استفاده از زمین‌ها و نبودن خاک‌ورزی مناسب بایر شده است.

ویژگی‌های خاک، زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌سنجی چغازنبیل نمونه‌های خاک از مقاطع مختلف آبکند معرف (رأس، ۲۵، ۵۰، ۷۵٪ طول شاخه‌ی اصلی از پیشانی آبکند) برداشت شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. ویژگی‌های به‌دست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس نتایج آزمایشگاهی، بافت خاک این محدوده در سطح شنی لومی و در بخش تحتانی عمدتاً لومی‌شنی و لومی‌سیلتی بود و درصد رس، سیلت و شن خاک این منطقه به‌ترتیب ۵، ۱۸ تا ۲۴ و ۶۷ تا ۷۷٪ متغیر بود. درصد سدیم قابل تبادل نیز کم‌تر از ۰/۵٪ بود.

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده‌ی آبکند معرف

اندازه‌گیری طول و عمق در سر آبکند، ۲۵، ۵۰، ۷۵٪ فاصله از سر آبکند، عرض بالا و پایین در اندازه‌گیری عمق، برداشت نیم‌رخ رأس و نیم‌رخ طولی آبکند معرف، اندازه‌گیری شیب زمین در بالادست و کناره‌های آبکند با استفاده از شیب‌سنج و برداشت نمونه خاک از لایه‌های مختلف خاک از سر آبکند، ۲۵، ۵۰، ۷۵٪ فاصله از رأس انجام شد. افزون بر آن تعیین کاربری زمین با استفاده از عکس‌های هوایی یا اطلاعات محلی نیز انجام شد. سپس عکسی که بیان‌گر کاربری زمین‌های منطقه باشد، تهیه شد.

بررسی علل و تعیین نوع و اندازه‌ی خسارت

نوع و اندازه‌ی خسارت‌های زیرساختی شامل جاده، منازل مسکونی، پل، مزارع و ... نتیجه‌ی ایجاد و گسترش آبکندها براساس طول (متر)، تعداد، مترائ و هزینه‌ی ساخت برآورد شده است. برای ایجاد آبکند دلیل‌های پرشماری مانند زمین‌های دیم در اطراف آبکند و موازی‌بودن شخم در جهت حرکت روان آب سطحی، نابودی مراتع به‌صورت قطع پوشش برای ایجاد زمین‌های دیم و چرای مفراط در کنار وجود آثار میکرو تراس‌ها در اطراف آبکندها، نابودی سطحی به‌دلیل خاک‌برداری از بخشی از مراتع برای ایجاد خاک‌ریز، رخداد بارندگی یا سیل نادر در منطقه (بررسی آمار بارندگی سیل، مصاحبه با اهالی محلی و بومی، تهیه‌ی عکس و نشان دادن پدیده‌های باقی‌مانده و آثار سیل و نابودی از پدیده‌های نادر) وجود دارند.

نیم‌رخ عمومی، طولی و عرضی آبکند معرف

نیم‌رخ عمومی آبکند (پلان عمومی آبکند) معرف منطقه، برداشت شد و در محیط برنامه‌ی Auto CAD نقشه‌ی آن رسم شد. در این نقشه افزون بر مشخص کردن آبراهه‌ی اصلی و فرعی، نقاط پنج‌مارک نصب‌شده در اطراف پیشانی آبکند (در چهار طرف) برای اندازه‌گیری پیشروی آبکند در آینده نیز مشخص شده است. هم‌چنین با تعیین شاخه‌ی اصلی آبکند معرف که بلندترین آبراهه هر آبکند است، نیم‌رخ طولی این آبراهه با استفاده از داده‌های نقشه‌برداری رسم شد.

نتایج

در این پژوهش دو منطقه با آبکندهای بیش از ۵۰۰ هکتار در استان خوزستان تشخیص داده شد و سه نقطه از دو اقلیم

جدول ۱- ویژگی‌های مقطع طول، عرض و عمق آبکند معرف و تکرار آن‌ها (چغازنبیل).

Table 1- Cross-sectional soil characteristics of the length, width and depth of the representative gully and their repetition (ChoghaZanbil)

Gully	Sections	Width (cm)		Depth (cm)
		Up	Down	
Representative	Vertex (%)	100	90	225
	25	530	150	280
	50	700	280	310
	75	680	430	260
Repeat 1	Vertex (%)	120	80	70
	25	110	30	75
	50	520	140	260
	75	840	240	300
Repeat 2	Vertex (%)	110	90	140
	25	410	250	200
	50	330	210	45
	75	640	270	30

است. در تکرار آبکند دوم معرف اول نیز از نظر وضعیت ظاهری خاک و رنگ شباهت‌هایی وجود داشت. به لحاظ اهمیت پایداری و مقاومت خاکدانه‌ها در ایجاد و گسترش آبکندها، آزمایش پایداری خاکدانه با دو روش مختلف (حالت مرطوب، در آب مقطر و در محلول CaCl_2) انجام شد. نتایج پایداری خاکدانه‌ها در آب مقطر و محلول CaCl_2 به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. براساس این نتایج، اندازه‌ی پخش‌شدگی در هر دو حالت مزبور زیاد بود و مقاومت خاکدانه به‌شدت در مقابل آب ضعیف بوده است.

تکرار آبکند اول از نظر وضعیت ظاهری خاک شبیه معرف اول با پوشش گیاهی کهورک و گز بود. پوشش گیاهی اطراف و بالادست آبکند ضعیف، ولی داخل آبکند پوشش مناسب بود. آبکند روی دامنه و منطبق بر امتداد زهکش طبیعی با نیم‌رخ عمومی پنجه‌ای و رأس مدور و شکل غار مانند بود. شکل مقطع آبکند U شکل بود. از عامل‌های مؤثر بر ایجاد آبکند می‌توان فرسایش‌پذیری خاک‌ها، شدت بارندگی، شیب نام برد، ولی نمی‌توان جریان رود را نادیده گرفت. همچنین، تغییرات کاربری، شیب، شدت چرا نیز از دیگر عامل‌های ایجاد و گسترش آبکندها

جدول ۲- نتایج پایداری خاکدانه‌ها در آب مقطر.

Table 2- Results of stability of soil aggregate in distilled water.

Soil sample	Wet				Dry			
	Observed mode	Spread (%)	Class	Time (min)	Observed mode	Spread (%)	Class	Time (min)
1	Some were broadcast	More than 80	3	5	A number	More than 90	2	5
2	Some were broadcast	60	3	5	Corrosion	-	7	-
3	Some were broadcast	80	3	5	A number	More than 90	2	5

جدول ۳- نتایج پایداری خاکدانه‌ها در محلول CaCl_2 .

Table 3- Results of stability of soil aggregate in CaCl_2 solution.

Soil sample	Wet	Dry	Class
1	All the of soil agregate were distributed	The cap cracked but did not resolve. It was divided into 5 pieces by twisting beaker.	1
2	The lumps were not spread and due to the significant amount of lime (TNV) it is placed in class 4.	Only a few were broadcast	4
3	Some clumps remained in the form of coarse particles	They were completely broadcast	3

خاک، سازند زمین‌شناسی را نام برد. از عامل‌های انسانی نیز می‌توان نابودی پوشش گیاهی و نبودن مدیریت صحیح زمین‌ها، عملیات عمرانی (جاده‌سازی، حفر و لوله‌ی گازی برای مصارف نفت و گاز) را نام برد که در ایجاد آبکندها نقش مؤثری داشته‌اند.

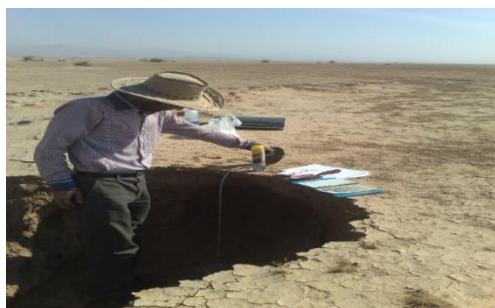
علل ایجاد آبکند در منطقه‌ی چغازنبیل
دو دسته از عامل‌های طبیعی و انسانی در به وجود آمدن آبکندها در این منطقه مؤثر می‌باشند. از عامل‌های طبیعی می‌توان بارندگی با شدت زیاد، املاح زیاد در خاک، ویژگی‌های ذاتی

نمی‌توان تعیین کرد. همچنین برخی از شاخه‌های این آبکند به دیواره‌های شهر باستانی و تاریخی شوش و شوشتر نیز رسیده است. منطقه‌ی کشت و صنعت هفت‌تپه نیز در این منطقه است. به‌همین منظور جاده‌های دسترسی زیادی احداث شده است. همچنین خط راه‌آهن نیز در این منطقه برای ارتباط به هفت‌تپه نیشکر احداث شده است.

روش‌های استفاده‌شده در مهارکردن آبکندهای چغازنبیل
در این ناحیه هیچ‌گونه عملیات مهارکردن آبکند از جانب سازمان‌های دولتی انجام نگرفته است. بیش‌تر زمین‌ها دیگر قابل بهره‌برداری نبوده و رها شده‌اند. نمایی از وضعیت، خسارت و نیم‌رخ آبکند چغازنبیل در شکل ۲ نشان داده شده است.

خسارت‌های وارده در اثر ایجاد آبکند در چغازنبیل

در این منطقه خسارت‌های وارده در اثر ایجاد و گسترش آبکندها شامل نابودی مزارع اطراف جاده‌های دسترسی و صدمات زیاد به پایه‌های لوله‌های نفت و گاز است که سالانه هزینه‌های هنگفتی برای جابه‌جایی لوله‌های نفت بر شرکت مربوطه تحمیل می‌شود. افزون بر آن تعداد زیاد جاده‌های فرعی برای بازدیدهای دوره‌ای و احتمالاً تعمیرات لوله‌های نفت روند پیشروی و ایجاد آبکندها را زیاد می‌کند. براساس مصاحبه با شورای محل روستای خماط، ارزش زمین‌های این منطقه بستگی مستقیم به آب و در دسترس بودن آن دارد. اندازه‌ی خسارت مادی پیشروی آبکندها به سمت بناهای تاریخی چغازنبیل و تهدید جدی این مکان تاریخی و جهانی، را



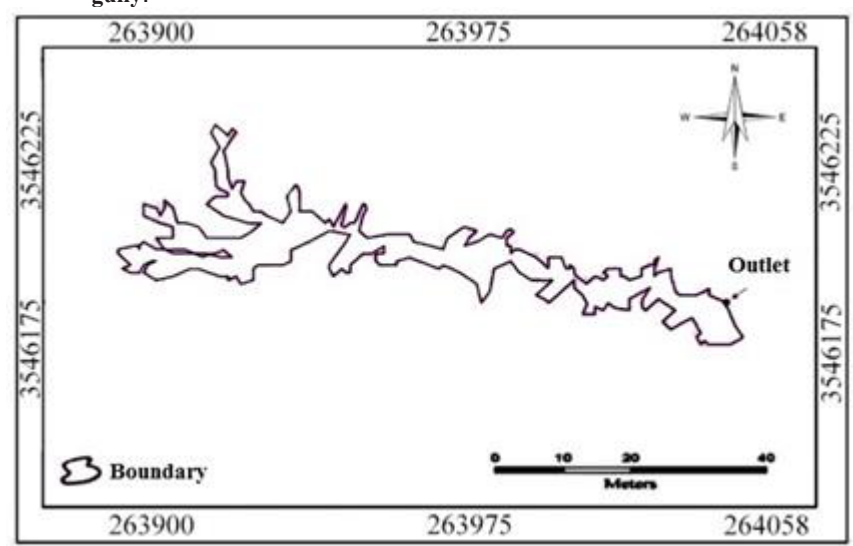
رأس آبکند چغار زنبیل در یکی از شاخه‌های فرعی.

The headwaters of Choghazanbil in one of the gully.



خسارت‌های پیشروی و گسترش آبکند بر لوله‌های آب.

Advance damage and spread of gully on water pipes.



نیم‌رخ عمومی آبکند معرف چغازنبیل.

General profile of the representative Chaghazanbil Watershed.

شکل ۲- نمایی از وضعیت آبکندهای چغازنبیل.

Figure 2- A view of the state of Choghazanbil gullies.

آبکند در خزینه (ملائانی)

این محل به‌عنوان منطقه‌ی ۲ از یک اقلیم انتخاب شد و در ۱۵ کیلومتر ۱۵ شهر ملائانی در شمال اهواز است. روستاهای هدام و شجرات جزء مهم‌ترین مناطق آبکندی استان محسوب می‌شوند. منطقه‌ی مزبور به‌شدت تحت تأثیر آبکند است، به‌طوری‌که در بعضی نقاط بلندی رأس با کف آبکند به بیش از ۱۰ متر می‌رسد. در بعضی نقاط در کف آبکند گندم و ذرت کشت می‌شود. رود گرگر در این منطقه است و در زمان کم‌آبی به‌شدت شور و تجمع نمک در مسیر رود قابل مشاهده است. تمام ویژگی‌های زمین‌شناسی و ویژگی‌های آبخیز در این معرف نیز قابل تعمیم است ولی با توجه به تفاوت در زمین‌ریخت‌شناسی، شیب و پوشش گیاهی، این منطقه به‌عنوان معرف دوم انتخاب شد. افزون بر آن، رخنمون‌هایی از سازندهای دوران دوم تا چهارم زمین‌شناسی دیده می‌شود. در این منطقه حد پایینی دوران دوم با واحدهای سنگی سازند گورپی (کرتاسه بالایی) مشخص شده است. کاربری‌های زمین‌های آبکندی شامل: مراتع بسیار فقیر و رها شده و گه‌گاه در حال چرا است و زمین‌های کشاورزی دیم و آبی برای کشت گندم، ذرت و جالیز استفاده می‌شود. ولی بیشتر آبکندها در زمین‌های مراتع منابع طبیعی و یا زمین‌های رها شده‌اند.

ویژگی‌های خاک و زمین‌ریخت‌سنجی در خزینه

نمونه‌های خاک از مقاطع مختلف آبکند معرف (رأس، ۲۵، ۵۰، ۷۵٪ طول شاخه‌ی اصلی از پیشانی آبکند) برداشت شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. ویژگی‌های به‌دست آمده در جدول ۴ نشان داده شده است. براساس نتایج آزمایشگاهی، بافت خاک این محدوده در سطح شنی-لومی و لومی است. به‌ترتیب درصد رس، سیلت و شن این منطقه ۱۰ تا ۱۱، ۳۱ تا ۴۰ و ۴۱ تا ۵۹٪ است. هم‌چنین درصد سدیم قابل تبادل و SAR به‌ترتیب ۵ تا ۱۷٪ و ۲۶ تا ۱۰۰ متغیر است. EC خاک ۲۴ تا ۷۷ ds/m است. آبکند روی دامنه و زمین‌های شیب‌دار است. آبکند معرف در جوار زمین‌های کشاورزی است و زهکش بالادست این زمین‌ها سرعت فرایند آبکندی‌شدن را زیاد می‌کند. شاخه‌های فرعی این معرف در برخی جاها حدود ۵۰ سانتی‌متر به شاخه‌ی اصلی وصل شده و به‌صورت پنجه‌ای است و آثار شوری-قلیایی در دیواره‌ها و کف آبکند قابل مشاهده است. دوره‌ی تکامل آبکند پیوسته و طول آن ۱۶۰ متر است. نیم‌رخ عمومی آبکند پنجه‌ای و شبیه شاخه‌درختی و در رأس نیم‌رخ نسبتاً دایره‌ای شکل است. شکل مقطع آبکند U شکل است و پوشش گیاهی کف و کناره از گیاهان یک‌ساله و چندساله (عمدتاً به‌صورت درخت اکالیپتوس) است. در اکثر مناطق با پیشروی و گسترش آبکند این پوشش گیاهی از ریشه کنده شده است. در این منطقه براساس بازدهی‌های دقیق میدانی کاشت این درختان و عملیات

جدول ۴- ویژگی‌های مقطع طولی، عرض و عمق آبکند معرف و تکرار آن‌ها (در خزینه).

Table 4- Cross-sectional characteristics of the length, width and depth of the representative gully and their repetition (Darkhazine).

Gully	Sections	Width (cm)		Depth (cm)
		Up	Down	
Representative	Vertex (/)	30	53	63
	25	494	210	250
	50	490	205	260
	75	126	500	420
Repeat 1	Vertex (/)	85	50	110
	25	270	516	300
	50	1160	410	300
	75	510	610	60
Repeat 2	Vertex (/)	40	60	36
	25	660	140	290
	50	1220	310	490
	75	1840	610	490

جدول‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. براساس این نتایج، خاک آبکند معرف به‌علت وجود املاح حل‌شونده، شور بود و تفاوت زیاد در پخش‌شدگی مربوط به همین خاصیت ذاتی خاک است.

آبخیزداری (مانند چپر و گابیون) تأثیرگذار نبوده است. آزمایش پایداری خاکدانه‌ها با دو روش مختلف (حالت مرطوب، در آب مقطر و در محلول CaCl_2) انجام شد. نتایج پایداری خاکدانه‌ها در آب مقطر و محلول CaCl_2 به‌ترتیب در

جدول ۵- نتایج پایداری خاکدانه‌ها در آب مقطر.

Table 5- Results of stability of soil aggregate in distilled water.

Soil sample	Wet				Dry			
	Observed mode	Spread (%)	Class	Time (min)	Observed mode	Spread (%)	Class	Time (min)
4	They were completely spread	100	3	5	They were completely spread	100	1	5
5	They were completely spread	100	3	5	They were completely spread	100	1	5
6	They were completely spread	100	3	5	They were completely spread	100	1	5

جدول ۶- نتایج پایداری خاکدانه‌ها در محلول CaCl_2 .

Table 6- Results of stability of soil aggregate in CaCl_2 solution.

Soil sample	Wet	Dry	Class	Wet
4	They were completely spread	3	Some of the crack was removed and spread, (30%) the rest became swollen.	2
5	They were completely spread	3	They were completely spread	1
6	They were completely spread	3	They were completely spread	1

از راه کنش خاک و انتقال آن به پشت سدها، رودها و دریاها برجای گذاشته می‌شود غیرقابل تصور خواهد بود. در این منطقه نیز خسارت وارد شده در اثر ایجاد و گسترش آبکندها شامل نابودی مزارع اطراف جاده‌های دسترسی و صدمات زیاد به پایه‌های لوله‌های نفت و گاز است. خسارت به شبکه‌های برق و مخابرات نیز بسیار زیاد بوده است.

روش‌های استفاده‌شده در مهارکردن آبکندهای درختینه
در آبخیز درختینه عملیات زیادی برای مهارکردن آبکندها، انجام شده است. این عملیات شامل: کاشت درختان گز، اکالیپتوس در سطح وسیع، همراه با عملیات آبخیزداری (ایجاد چپر و گابیون) است. ولی متأسفانه در اکثر مناطق، گسترش و کنش آبکند به حدی بوده است که اکثر درختان را از ریشه کنده و تقریباً تمام بندهای چپری یا گابیون آسیب‌دیده است. وضعیت، خسارت و نیم‌رخ آبکند درختینه در شکل ۳ نشان داده شده است.

علل ایجاد آبکند در منطقه‌ی درختینه

دو دسته از عامل‌های طبیعی و انسانی در به وجود آمدن آبکندها در این منطقه مؤثر می‌باشند. از عامل‌های طبیعی می‌توان بارندگی با شدت زیاد، املاح زیاد در خاک، ویژگی‌های ذاتی خاک، سازند زمین‌شناسی را نام برد. از عامل‌های انسانی نیز می‌توان نابودی پوشش گیاهی و نبودن مدیریت صحیح زمین‌ها، عملیات عمرانی (جاده‌سازی، حفر و لوله‌ی گازی برای مصارف نفت و گاز) را نام برد که نقش بسزایی در گسترش آبکندها داشته‌اند.

خسارت‌های وارده در اثر ایجاد آبکند در درختینه

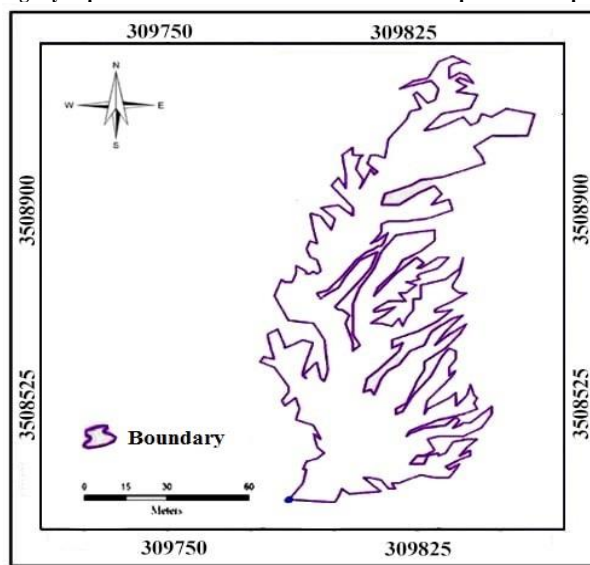
در این منطقه خسارت‌های مهم آبکندها به زمین‌های کشاورزی، تأسیسات شرکت نفت و گاز، راه‌ها و پل‌های ارتباطی، پرشدن آبگیرها و سدها است. گرچه نمی‌توان برای برخی از اجزای صدمه‌دیده منابع طبیعی ارزش‌گذاری کرد ولی خسارت‌هایی که



نبودن مدیریت صحیح و خاک ورزی مناسب و گسترش آبکند.
Lack of proper management and proper tillage and gully expansion.



تجمع نمک در انتهای آبکند معرف ۲.
Accumulation of salt at the end of the representative pond 2.



نیم رخ عمومی آبکند معرف در خزینه.
General profile of the representative gully in the Darkhazine.
شکل ۳- نمایی از وضعیت آبکندهای در خزینه.

Figure 3- A view of the state of Darkhazine gullies.

ویژگی های خاک و زمین ریخت سنجی آبکند روستای شریف

نمونه های خاک از مقاطع مختلف آبکند معرف (رأس، ۲۵، ۵۰، ۷۵٪ طول شاخه ی اصلی از پیشانی آبکند) برداشت شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. ویژگی های به دست آمده در جدول ۷ نشان داده شده است. براساس نتایج آزمایشگاهی، بافت خاک این محدوده در سطح سیلتی- لومی و لومی است. به ترتیب درصد رس، سیلت و شن این منطقه از ۱۴ تا ۲۱، ۵۰ تا ۵۷ و ۲۷ تا ۳۵٪ متغیر است. درصد سدیم قابل تبادل، SAR و EC به ترتیب بین ۰/۶۳۷ تا ۴/۴۹٪، ۳ تا ۲۱ و ۴ تا ۱۲ ds/m متغیر بوده است. پایداری خاکدانه ها با دو روش مختلف (حالت مرطوب، در آب مقطر و در محلول CaCl_2) انجام شد. نتایج پایداری خاکدانه ها در آب مقطر و محلول CaCl_2 به ترتیب در جدول های ۸ و ۹ نشان داده شده است

آبکند روستای شریف

از نظر تقسیم بندی اقلیمی این معرف در اقلیم گرم و نیمه خشک است. شهرهای هفتگل، مسجد سلیمان و نفت سفید در این اقلیم با مساحت ۷۷۱۳۴۶ هکتار است و از این پهنه ۱۶۱۱۶ هکتار تحت تأثیر آبکند است. آبکندها در یک شیب ملایم (کمتر از ۴٪) است و شروع آن ها از مسیر اهواز به رامهرمز و هفتگل است و به سمت مسجد سلیمان کشیده شده است. در این مسیر تأسیسات نفتی زیادی است و از فرآورده های نفتی به عنوان مالچ برای مهار کردن فرسایش بادی در منطقه استفاده شده است. در بالادست سازند آغاجاری و در پائین دست سازند مارنی و میشان است. دلیل اصلی گسترش فرسایش آبکندی این مناطق، حساسیت خاک و رواناب می باشد، همچنین بیشترین پوشش گیاهی منطقه گز، خارشتر و آترپلکس است.

جدول ۷- ویژگی‌های مقطع طولی، عرض و عمق آبکند معرف و تکرار آن‌ها (روستای شریف).

Table 7- Cross-sectional characteristics of the length, width and depth of the representative gully and their repetition (Sharif village).

Gully	Sections	Width (cm)		Depth (cm)
		Up	Down	
Representative	Vertex (/.)	131	40	90
	25	390	230	110
	50	760	400	153
	75	570	400	150
	Vertex (/.)	194	160	45
Repeat 1	25	490	390	130
	50	670	550	109
	75	1155	912	200
	Vertex (/.)	184	180	100
Repeat 2	25	436	320	150
	50	1090	990	170
	75	720	590	100

جدول ۸- نتایج پایداری خاکدانه‌ها در آب مقطر.

Table 8- Results of stability of soil aggregate in distilled water.

Soil sample	Wet				Dry			
	Observed mode	Spread (%)	Class	Time (min)	Observed mode	Spread (%)	Class	Time (min)
7	They were completely spread	90	3	5	A number	90	2	5
8	A number	More than 30	3	5	A number	100	1	5
9	A number	60	3	5	A number	100	1	5
10	A number	60	3	5	Complete	100	1	5

جدول ۹- پایداری خاکدانه‌ها در محلول CaCl_2 .

Table 9- Results of stability of soil aggregate in CaCl_2 solution.

Soil sample	Wet	Dry	Class	Wet
7	They were completely spread	3	They were completely spread	1
8	Some of the lumps spread (60%)	3	Some were broadcast (50 %)	2
9	They were broadcast in 5 min	-	They were completely spread	1
10	In the wet state, it started to dissolve in 90 s	-	After 3 min, they were completely spread	

علل ایجاد آبکند در منطقه‌ی روستای شریف

با توجه به بازدیدهای انجام‌شده و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، علل ایجاد آبکند این مناطق را می‌توان به دو دسته کلی عامل‌های طبیعی و انسانی تقسیم کرد. از عامل‌های طبیعی می‌توان به عامل‌های ذاتی خاک اشاره کرد که شامل EC و بافت خاک است. در این منطقه EC زیاد (به‌ویژه در مقاطع رأس و ۲۵٪ فاصله از سر آبکند) و بافت سیلتی لومی است. براساس آزمایش‌های پایداری، خاکدانه‌های این مناطق مقاومت بسیار کمی دارند و عرصه‌ی مزبور در مسیر سرشاخه‌های رودخانه گرگر با آب بسیار شور، خاک را

آماده هرگونه فرسایش کرده است. همچنین رها شدن این عرصه‌ها بدون عملیات حفاظتی، چرای بیش از حد و از بین بردن پوشش گیاهی به عنوان عامل‌های انسانی سطح خاک را بسیار فرسوده کرده است. افزون بر این عملیات عمرانی، جاده‌سازی‌های غیراصولی شرایط را برای فرسایش خاک مساعد کرده است.

خسارت‌های وارده در اثر ایجاد آبکند در روستای شریف

با توجه به شباهت این منطقه از نظر کاربری‌های مختلف، تقریباً خسارت‌های وارده نیز مانند دو مورد قبلی است، چون که استان

از عامل‌های طبیعی نباشد کم‌تر هم نخواهد بود. بنابراین اگر احداث راه‌ها، احداث تأسیسات زیربنایی و غیره، بدون لحاظ کردن نظرهای دقیق کارشناسی‌شده انجام شود، نه تنها بخش منابع خاکی متضرر خواهد شد، بلکه رفاه عمومی مردم نیز به خطر خواهد افتاد. نمایی از وضعیت، خسارت و نیم‌رخ طولی آبکند روستای شریف در شکل ۴ نشان داده شده است.

خوزستان منطقه‌ی صنعتی و نفت‌خیز است و از سوی دیگر در صورت وجود آب، خاک‌های حاصلخیزی دارد. بنابراین برای ارتباط بین عامل‌های فوق نیاز به احداث راه‌های دسترسی و مخابراتی است که این موضوع مربوط به وزارت نیرو است. بنابراین زمانی که بحث علت‌های به وجود آمدن آبکنده‌های این منطقه می‌شود (عامل‌های طبیعی و انسانی)، باید توجه داشت که نقش عامل‌های انسانی در ایجاد آبکنده‌ها اگر بیش‌تر



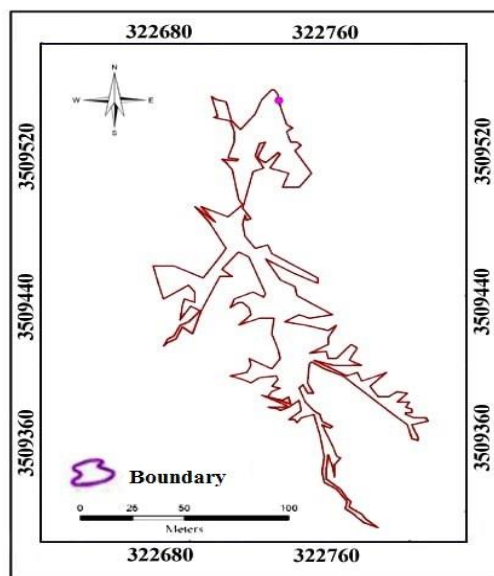
گسترش آبکنده‌ها به سوی بلندی‌ها.

The expansion of gullies towards the heights.



خسارت‌های ناشی از آبکند در منطقه‌ی معرف شریف.

Damages caused by flooding in gully Sharif village.



نیم‌رخ عمومی آبکند معرف روستای شریف.

General profile of the representative gully in the Sharif village.

شکل ۴- نمایی از وضعیت آبکنده‌های روستای شریف.

Figure 4- A view of the state of Sharif village gullies.

بحث و نتیجه‌گیری

خشک و هم در حالت تر است. همه نمونه‌های آزمایشگاهی کم‌تر از یک درصد موادآلی داشتند و این به معنای فقر شدید خاک از جنبه‌های حاصلخیزی و تشکیل نشدن خاکدانه‌ی مناسب و سرانجام چسبندگی و مقاومت کم خاک در برابر عامل‌های فرسایش است. البته نباید فراموش کرد که سازندهای زمین‌شناسی مانند سازند آغاچاری، میشان و مارن‌های گچی

براساس نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق آبکندی استان خوزستان و نتایج بازدیدهای پی‌درپی از این مناطق علت‌های رخداد آن‌ها بررسی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد چند دلیل مهم برای ایجاد آبکنده‌های این منطقه وجود دارد. مهم‌ترین عامل ویژگی‌های ذاتی خاک است. بافت خاک بیشتر آبکنده‌ها شنی لومی، سیلتی لوم و یا لوم با پایداری بسیار کم هم در حالت

بر آن زهکشی ناقص و تجمع نمک در سطح خاک نیز باعث ایجاد دانه‌بندی نامناسب خاک و حالت پخشیدگی می‌شود، و در نهایت شرایط برای بروز فرسایش فراهم شده است.

در این استان آبکندها بیشتر در زمین‌های مرتعی با پوشش گیاهی بسیار ضعیف و رها شده وجود دارند و نقش چرای بیش‌ازحد دام از این مراتع را نباید فراموش کرد. این نتایج با نتایج پژوهش‌های چپل و همکاران ۲۰۱۳؛ سان و همکاران ۲۰۲۲ نیز مطابقت دارد. جوکارسرهنگی و خلخالی (۱۳۹۸)، دمی‌زاده و شادفر (۱۴۰۰)، گزارش کردند که پوشش ضعیف مراتع در آبخیزهای نامرستاق و کندوان استان هرمزگان می‌تواند بیش‌ترین نقش را در ایجاد فرسایش آبکندی داشته باشد. چنان‌چه منطقه پوشش گیاهی داشته باشد، ریشه‌ی گیاه به‌عنوان یک مهارکننده‌ی رشد فرسایش آبکندی می‌تواند عمل کند (گیسل و همکاران ۲۰۰۵). اجرای عملیات عمرانی و توجه نداشتن به مسائل فنی سبب ایجاد آبکندهای فراوان خواهد شد. در این راستا تغییر کاربری، جاده‌سازی‌های نامناسب، احداث پل‌های ارتباطی و نبودن زهکش‌های مناسب باعث به وجود آمدن مشکلات پرشماری شده است. در پژوهش‌های انجام شده ارتباط تغییرات کاربری زمین با افزایش فرآیندهای آبکندی نشان داده شده است (وان‌والقم و همکاران ۲۰۰۳؛ لشن و همکاران ۲۰۰۷؛ زنجانی‌جم و همکاران ۱۳۹۲). خاک‌ها و سازندهای مقاوم و سخت تر در برابر فرسایش، به آستانه‌ی پستی‌بلندی بیش‌تری برای ایجاد فرسایش آبکندی نیاز دارند (والنتین و همکاران ۲۰۰۵)، به طوری‌که شهبازی و همکاران (۱۳۹۹)، گزارش کردند که تبدیل مرتع‌ها با پوشش گیاهی متوسط به مرتع‌ها با پوشش گیاهی فقیر افزون بر کاهش پوشش گیاهی، سبب کاهش آستانه‌ی فرسایش آبکندی و گسترش ابعاد آن‌ها نیز شده است.

افزون بر آن جاده‌های مختلفی در مناطق آبکندی و غیر آبکندی وجود دارد (سلکیمای و گونزالس-اولاباربا ۲۰۱۷). با توجه به صنعتی بودن و نفت‌خیز بودن استان، نصب و لوله‌گذاری و احداث تأسیسات مرتبط، روند آبکندی شدن این مناطق را تسریع کرده است. در هر سه منطقه آبکندهای جانبی منطبق با دره در امتداد زهکشی طبیعی تشکیل شده‌اند و از نظر تکاملی به صورت ناپیوسته است. جاده‌های آسفالتی بیشتر در مناطق ریزدانه احداث شده‌اند و با توجه به نفوذناپذیری آن‌ها در زمان بارش‌های شدید و رگباری با تمرکز سریع رواناب در سطح جاده، فرسایش خطی و گسترش آبکندها می‌تواند رخ دهد (شادفر ۲۰۱۰). آبکندهای استان، با شکل‌های شاخه‌ای و پنجه‌ای در امتداد چندین دیواره‌ی بالارونده یا دیواره‌ی عمودی و در مسیرهای شاخه‌ای ایجاد شده‌اند. گسترش آن‌ها در امتداد چندین پیشانی و با شکل کلی شاخه‌ای است. این‌گونه آبکندها در

و نمکی در به وجود آمدن این ویژگی‌ها نقش مهم دارند. به‌عنوان مثال سازند مارنی آغاچاری در منطقه‌ی بررسی شده ظرفیت زیادی از نظر انحلال و در نتیجه تشکیل آبکند دارد. اسیدپته نمونه‌های خاک در منطقه‌ی آبکندی ۷ تا ۸ متغیر بود. بر این اساس می‌توان گفت تأثیری در آبکندی شدن مناطق ندارد ولی اندازه‌ی مواد خنثی‌شونده مانند آهک بیش از ۵۰٪ است و تأثیر مهم در آبکندی شدن دارد. این نتایج با یافته‌های سایر پژوهش‌گران هماهنگی دارد (سلیمان‌پور و همکاران ۲۰۱۰؛ یثربی و همکاران ۲۰۱۲؛ محمدابراهیمی و همکاران ۲۰۱۷). نتایج پژوهش‌های سیگونگا و همکاران (۲۰۱۱)، در شرق کنیا، یمانی و اکبریان (۲۰۱۳) در آبخیز مکران‌جاسک و شهبازی و همکاران (۲۰۲۰)، در استان کرمانشاه نشان داد که اسیدپته نقش مهمی در فرسایش آبکندی دارد، درحالی‌که جهان تیغ و تابع (۲۰۱۷)، نیز گزارش کردند که اسیدپته نقشی در آبکندی شدن مناطق ندارد. با توجه به گسترش گسل در مرکز استان (خط مستقیم از شوش به سوی بهبهان) و همچنین گسترش آبکندها در این مسیر، اختلاف بلندی به‌شکل کوه و تپه نمایان شده است و از سوی دیگر به علت باد غالب از سوی مرز اندیمشک و انتقال ریزدانه‌ها از سوی کشور عراق به سوی استان و ته‌نشین شدن این ذرات (سیلت و شن) سبب شده است خاک منطقه در برابر باران و سایر فرسایش‌ها مقاومت نداشته باشد و سریع‌تر فرسایش یابد. نتایج آزمایش پایداری خاکدانه‌ها نیز گویای این موضوع است که خاک مناطق آبکندی عمیق تا خیلی عمیق با بافت سیلتی و املاح زیاد است.

از دیگر عامل‌های طبیعی اقلیم است که در گسترش آبکندها نقش مهمی دارد. بیش‌ترین وسعت فرسایش آبکندی در منطقه‌ی گرم خشک بیابانی و سپس گرم نیمه‌خشک است. در جنوب شرق نیجریه در پژوهشی ایگوه (۲۰۱۲)، گزارش کرد اقلیم نقش قابل‌توجهی در پیدایش فرسایش آبکندی دارد. مناطق آبکندی در اقلیم گرم خشک بیابانی در شیب‌های کم‌تر از ۸٪ و در اقلیم گرم نیمه‌خشک، در شیب ۱۰ تا ۲۰٪ به‌وجود آمده‌اند. رود دز و سرشاخه‌های آن به‌ویژه در زمان‌های طغیان در به وجود آمدن آبکندها نقش مؤثری داشته است. از دیگر عامل‌های گسترش آبکند در استان بارندگی شدید در زمان کوتاه است. با توجه به سیل‌گیر بودن آبکندهای چغازنبیل، درختینه و روستای شریف، رواناب زیادی از بلندی‌های اطراف در مدت‌زمان کوتاهی سرازیر این مناطق شده و چون خاک از رسوبات دانه‌ریز با بافت سیلتی و سست با املاح زیاد است حساسیت زیادی در برابر فرسایش و انحلال دارد. در مناطق بدلدی گاربتامدینپورهندشیت و همکاران (۲۰۱۳)، گزارش کردند که اندازه‌ی شیب، توزیع بارندگی و رواناب رابطه‌ی قوی با فرسایش آبکندی دارد. دما باعث افزایش تبخیر و تعرق از سطح خاک می‌شود. افزون

شده است. بیش‌تر آبکنده‌های جانبی در کناره‌های آبراهه‌ها و رودها در اثر برخورد سیلاب به کناره‌ی آن‌ها و یا ریزش رواناب از زمین‌های اطراف به درون کانال آن‌ها به وجود آمده است. سرانجام با بازدیدهای میدانی به ویژه در منطقه‌ی ملاثانی و آبخیز درخزینه ضرورت انجام عملیات آبخیزداری پرشماری برای مهارکردن و کاهش اندازه‌ی آبکندی شدن این مناطق مشخص شد.

سازنده‌های رسی، مارنی و در قسمت پایین‌دست و مسطح دامنه‌های مارنی ایجادشده است. آبکنده‌ها بیشتر در دشت‌ها وجود دارند و مقطع U شکل دارند و به‌وسیله فرآیندهای زیرسطحی به وجود آمده‌اند. این آبکنده‌ها در رده‌ی آبکنده‌های با عمق متوسط (یک تا ۱۰ متر)، با رأس عمودی و نیم‌رخ عمودی- پنجه‌ای در مسیر زهکش طبیعی است و بیش‌تر از روش تونلی‌شدن، نشست و ریزش حجم زیادی از خاک ایجاد

فهرست منابع

- Ahmadpour H, Bazrafshan O, Rafiei-Sardooi E, Zamani H, Panagopoulos T. 2021. Gully Erosion Susceptibility Assessment in the Kondoran Watershed Using Machine Learning Algorithms and the Boruta Feature Selection. *Sustainability*, 13(18):10110.
- Blanco H, Lal R. 2008. Principles of Soil Conservation and Management (Vol. 167169). New York: Springer.
- Castillo C., Gómez J. A. 2016. A Century of Gully Erosion Research: Urgency, Complexity and Study Approaches. *Earth-Science Reviews*, 160:300-319.
- Chappell A, Webb NP, Butler HJ, Strong CL, McTainsh GH, Leys JF, Viscarra Rossel RA. 2013. Soil Organic Carbon Dust Emission: An Omitted Global Source of Atmospheric CO₂. *Global Change Biology*, 19(10):3238-3244.
- Damizadeh M, ShadFar S. 2021. Assessment of Long-Term Changes of Gully Eroiosn Growth in Kondouran Catchment, Hormozgan Province. *E.E.R.*, 11(3):140-159.
- Entezari M, Maleki A, Moradi K, Olfati S. 2015. The Study of Gully Erosion in Dyereh Catchment Using the Method of Weightal Modulation and Stream Power Index. *Geographical Researches*, 30(3):297-312. (In Persian)
- Igwe CA. 2012. Gully Erosion in Southeastern Nigeria, Role of Soil Properties and Environmental Factors. 10, 51020.
- Jahantigh M, Tabe M. 2017. Comparing Soil Physico-Chemical Characteristics and Trapezoidal and V-Shaped Gully Morphology with Different Land Uses in Dry Areas, Case Study: Hossinzahi and Nalint Regions of Chabahar. *Watershed Engineering Management*, 9(3):308-317.
- Jokar Sarhangi E, Khalkhali N. 2019. Evaluation and Zonation the Gully Erosion Hazard Using Bivariate Statistical Methods (Case Study: Nemarestagh Watershed). *Journal of Natural Environmental Hazards*, -8(19):195-208.
- Gyssels G, Poesen J, Bochet E, Li Y. 2005. Impact of Plant Roots on the Resistance of Soils to Erosion by Water: A Review. *Progress in Physical Geography*, 29(2):189-217.
- Kalehhouie M, Kavian A, Gholami L, Jafarian Z. 2020. Influence of Start Time and Coefficient of Runoff to Application of Organic Mulch under Small Laboratory Plots. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13(47):9-17. (In Persian)
- Kou M, Jiao J, Yin Q, Wang N, Wang Z, Li Y, Yu W, Wei Y, Yan F, Cao B. 2016. Successional Trajectory over 10 Years of Vegetation Restoration of Abandoned Slope Croplands in the Hill-Gully Region of the Loess Plateau. *Land Degradation & Development*, 27(4):919-932.
- Lesschen JP, Kok K, Verburg PH, Cammeraat LH. 2007. Identification of Vulnerable Areas for Gully Erosion under Different Scenarios of Land Abandonment in Southeast Spain. *Catena*, 71(1):110-121.
- Liu G, Zheng F, Wilson GV, Xu X, Liu C. 2021. Three Decades of Ephemeral Gully Erosion Studies. *Soil and Tillage Research*, 212p, 105046.
- Modak P, Mandal M, Mandi S, Ghosh B. 2022. Gully Erosion Vulnerability Modelling, Estimation of Soil Loss and Assessment of Gully Morphology: A Study from Cratonic Part of Eastern India. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-32.
- Mohamadebrahimi M. 2017. Identification of Causes of the Occurrence of Gully Erosion with Emphasis on Soil-Related Factors (Case Study: Agh Imam Watershed). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, -7(2):1-14. (In Persian)

- Morgan, RPC. (2005). Soil Erosion and Conservation, Third Edition. Lack well Publishing. 316 p.40- Geomorphology 93:482-492.
- Nazari Samani A, Ahmadi H, Jafari M, Boggs G, Ghoddousi J, Malekian A. 2009. Geomorphic Threshold Conditions for Gully Erosion in Southwestern Iran (Boushehr-Samal watershed). Journal of Asian Earth Sciences, 35(2):180-189. (In Persian)
- Poesen J, Nachtergaele J, Verstraeten G, Valentin, C. 2003. Gully Erosion and Environmental Change: Importance and Research Needs. Catena, 50(2-4):91-133.
- Refahi HQ. 2006. Water Erosion and its Control. Tehran University Press, 4th edition, 671 p. (In Persian)
- Selkämäki M, González-Olabarria JR. 2017. Assessing Gully Erosion Occurrence in Forest Lands in Catalonia (Spain). Land Degradation and Development, 28(2):616-627.
- Sigunga DO, Hoshino M, Onyango JC, Asanuma S, Kimura M. 2011. Pedological Perspective of Gully Erosion Sites within Kendu Escarpment-Sondu Miriu Region, West Kenya. African Journal of Environmental Science and Technology, 5(12):1050-1059.
- Shadfar S. 2010. An introduction to Gully erosion. Publication of Entekhab. 142pp (In Persian)
- Shahbazi K, Khosrowshahi M, Heshmati M, Ghiatury M. 2020. Effects of Geological and Topographical Factors on Determining Gully Erosion Thresholds. Journal of Watershed Management Research, 11(21):259-268. (In Persian)
- Shahbazi K, Parvizi Y, Kalehhouei M. 2021. Gully Erosion Classification in Kermanshah Province using Relative Similarity Analysis with Morphometric and Soil Auxiliary Variables. Journal of Watershed Management Research, 12(24):298-307. (In Persian)
- Shit PK, Bhunia GS, Maiti R. 2013. Assessment of Factors Affecting Ephemeral Gully Development in Badland Topography: A Case Study at Garbheta Badland (Pashchim Medinipur). International Journal of Geosciences, 4(02):461.
- Soleimani F, Soufi M, Arsham A. 2017. Determination of Effective Factors in Gullies Development in Modares Watershed of Shushtar. Water and Soil, 31(5):1432-1446. (In Persian)
- Soleimanpour SM, Soufi M, Ahmadi H. 2010. A Study on the Topographic Threshold and Effective Factors on Sediment Production and Gully Development in Neyriz, Fars Province. Journal of Range and Watershed Management, 63(1):41-52. (In Persian)
- Solomon Ehiz O, Omougbo UN. 2013. Evaluating Factors Responsible for Gully Development at the University of Benin. Journal of Emerging Trend in Engineering and Applied Science 4:707-713.
- Sun L, Liu YF, Wang X, Liu Y, Wu GL. 2022. Soil Nutrient Loss by Gully Erosion on Sloping Alpine Steppe in the Northern Qinghai-Tibetan Plateau. Catena, 208p, 105763.
- Valentin C, Poesen J, Li G. 2005. Gully Erosion: Impacts, Factors and Control. Catena, 63:132-153.
- Vanwalleghe T, Van Den Eeckhaut M, Poesen J, Deckers J, Nachtergaele J, Van Oost K, Slenters C. 2003. Characteristics and Controlling Factors of Old Gullies under Forest in a Temperate Humid Climate: A Case Study From the Meerdaal Forest (Central Belgium). Geomorphology, 56(1-2):15-29.
- Vanmaercke M, Panagos P, Vanwalleghe T, Hayas A, Foerster S, Borrelli P, Rossi M, Torri D, Casali J, Borselli L, Vigiak O, Maerker M, Haregeweyn N, De Geeter S, Zgłobicki W, Biëlders C, Cerdà A, Conoscenti C, de Figueiredo T, Evans B, Golosov V, Ionita I, Karydas C, Kertész A, Krása J, Le Bouteiller C, Radoane M, Ristić R, Rousseva S, Stankoviansky M, Stolte J, Stolz C, Bartley R, Wilkinson S, Jarihani B, Poesen J. 2021. Measuring, Modelling and Managing Gully Erosion at Large Scales: A State of the art. Earth-Science Reviews, 218, 103637.

- 39



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Study of the Morphological Characteristics of Gullies in Khuzestan Province

Freidoon Soleimani^{1*}, Mahin Kalehhouei², Dadvar Lotfollazadeh³

- 1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran
2- Former Ph.D. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University
3- Scientific Member of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (Retired), Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction and Objective

Today, the destruction of natural resources is one of the most important and serious challenges facing development programs. Soil erosion is among the processes that directly and indirectly threaten our country's soil and water resources. Water erosion appears on the earth in different forms, one of the advanced forms of which is the gullies. Gully erosion is one of the important processes of soil destruction, which in different climates causes significant soil losses and the production of large amounts of sediment. The purpose of the present research is to investigate the morphological characteristics of the gullies of Khuzestan province and the role of its influencing factors in the expansion of the gully areas.

Materials and Methods

First, by collecting available data and comparing it to satellite image and other data, the province's gullies have been defined. The first field visit focused on verifying the integrity of these areas and correcting the gullies boundaries. The total area of Khuzestan province approximately is 64000 km² in the dry desert climate, and more than 33,862 ha of it is under the influence of gully erosion. The hot semi-arid climate also covers approximately 12,1% of the province and 16,116 ha have experienced gullies erosion. After determining the area of gullies and dividing the areas above and below 500 ha, due to the difference in appearance, topography, and vegetation, 2 and 1

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: frsolaamani@gmail.com

Citation: Soleimani, F., Kalehhouei, M., Lotfollazadeh, D. 2023. Study of the Morphological Characteristics of Gullies in Khuzestan Province. Watershed Management Research. 36(3): 23-41.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360375.1497

Received: 25 October 2022, **Received in revised form:** 23 November 2022, **Accepted:** 21 December 2022,

Published online: 23 September 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.3, Ser. No: 140, Autumn 2023, pp. 23-41.

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



representative areas were selected from the hot-dry desert and hot-semi-arid climates, respectively, and 2 replicates were selected from each representative. Longitudinal and cross-sectional profiles of representative and replicated gullies were drawn and after soil sampling, all morphological features of the gullies were measured.

Results and Discussion

According to the results, most of the gullies of the province have been created in the plains with a low slope with deep soil and loamy sand texture, silt or silt loam with pasture, and sometimes agricultural land and U-shaped cross-section. Darkhazine and Sharif gullies, with 1260 and 912 cm, and Darkhazine gullies with 420 cm value have the maximum width of top, bottom and depth in the cross-section of 75%. Also, the gullies of Choghazanbil, Darkhazine and Choghazanbil with values of 30 cm have the lowest depth, top and bottom width in the cross-section area of 75%. The overall profile is scratched, and in terms of depth class, they are in the category of medium-deep gullies with a vertical top.

Conclusion and Suggestions

Intrinsic characteristics of soil, formation and geological type, climate, intensity of rainfall as natural factors, and destruction of vegetation, land use change and the lack of proper management, unprincipled road and bridge construction operations, construction and installation of oil facilities and electricity bars as human factors have played a role in the process of gully expansion. However, the diversity and change of the number and degree of influence of different factors from one point to another and the difference in their participation in the formation and expansion of the gully are based on the environmental conditions of the land. These conditions require that more research be carried out to identify as many factors as possible in the phenomenon of gully erosion and their participation in the formation and expansion of this phenomenon in different places and with different environmental conditions.

Keywords: ChoghaZanbil, general profile, land use, morphoclimatic, soil erosion



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تأثیر رسانه‌ها و عامل‌های مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران طرح‌های آبخیزداری در شهرستان‌های تکاب و شاهین‌دژ استان آذربایجان غربی

علی‌اشرف حامدی‌اوغولیک^{۱*}، محمدرضا قلعه‌نویی^۲، فاطمه عزیزآبادی‌فراهانی^۳

۱ - دکتری، دفتر ارتباطات علمی و همکاری‌های بین‌المللی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲ - دکتری، عضو هیأت علمی سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳ - دکتری، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات تهران، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

عامل اصلی نابودی، فرسایش و تغییر منابع طبیعی، آگاهی نداشتن بهره‌برداران از اهمیت این منابع است. بنابراین باید برنامه‌های توسعه‌ی روستایی را برای حفظ و احیاء منابع طبیعی، از تولید محوری به‌سوی مدیریت مشارکتی روستاییان سوق داد. برای اصلاح و تغییر رفتاری یکی از عامل‌های اصلی، تغییر باور جامعه‌ی روستایی است، زیرا بیشتر آحاد مردم بر این باورند که حفظ و مراقبت از منابع طبیعی کشور جزو وظایف و اختیارات حاکمیتی است. در حالی که بررسی‌ها نشان داده است که افزون بر اینکه برخی از مداخله‌های حاکمیتی در این راستا کارآمد نبوده، بلکه پاره‌ای از اقدام‌ها در جهت نابودی این منابع بوده است. از آنجایی که توسعه‌ی منابع انسانی از اصل‌های اولیه‌ی مدیریت مشارکتی به‌شمار می‌رود، و مدیریت مشارکتی در جامعه‌های روستایی در سطح مطلوب و اثر گذار زمانی اجرا می‌شود که بتوان با توسعه‌ی آموزش، شکاف بین نسل گذشته و جوان روستایی را در زمینه‌ی داشتن آگاهی و رفتار مناسب با منابع طبیعی و نحوه‌ی اجرای مدیریت مشارکتی از بین برد. اولین گام، توسعه و ارتقاء آگاهی و دانش منابع انسانی از روش آموزش با هدف تغییر در رفتار، بینش و مهارت‌های فردی است. از این رو با توجه به محدودیت‌های موجود در زیرساخت‌های روستایی و دسترسی اندک روستاها به امکانات آموزشی و ارتباطی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ahamedi87@yahoo.com

استناد: حامدی‌اوغولیک، ع، ا، قلعه‌نویی، م، ر، عزیزآبادی‌فراهانی، ف. ۱۴۰۲. تأثیر رسانه‌ها و عامل‌های مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران طرح‌های آبخیزداری در شهرستان‌های تکاب و شاهین‌دژ استان آذربایجان غربی. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۵۴-۴۲.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.342186.1323

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۰۷/۰۴، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۹/۳۰، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۰، پاییز ۱۴۰۲، صفحه‌های ۴۲ تا ۵۴.



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

روز، انتقال اطلاعات، دانش و مهارت به روستاییان با استفاده از رسانه‌ها به‌ویژه رسانه‌های آموزشی- ترویجی، یکی از مهم‌ترین اقدام‌های توسعه‌ای در این زمینه است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از روش پیمایشی و اسنادی اندازه‌ی مشارکت ساکنان آبخیزهای استان آذربایجان غربی (تکاب و شاهین‌دژ) در طرح‌های آبخیزداری بررسی شد و مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار بر آن مشخص شد. نمونه‌ها با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای انتخاب شد و ابزار اصلی جمع‌آوری داده‌ها، پرسش‌نامه بود. روایی صوری پرسش‌نامه به‌وسیله‌ی متخصصان ترویج و آموزش کشاورزی و کارشناسان آبخیزداری تأیید شد و پایایی آن با استفاده از آلفای کرون باخ ۰/۸۲ برآورد شد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل وایازی (رگرسیون) چند متغیره با روش توأم نشان داد که درآمد، تحصیلات و اندازه‌ی استفاده از رسانه‌ها، مهم‌ترین عامل‌های اثرگذار در مشارکت مردمی بود. همچنین تأثیر رسانه‌ها با اندازه‌ی مشارکت فعال بهره‌برداران در طرح‌های آبخیزداری رابطه‌ی مثبت و معنی‌داری داشت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

براساس نتایج این پژوهش، استفاده از جوانان تحصیل کرده روستایی برای تولید، نشر یا استفاده از رسانه‌ها می‌تواند کمک قابل توجهی به افزایش مشارکت روستاییان در طرح‌های آبخیزداری داشته باشد.

واژگان کلیدی: آذربایجان غربی، رسانه، طرح‌های آبخیزداری، عامل‌های مؤثر، مشارکت

مقدمه

طرح‌های آبخیزداری، به‌منظور رعایت منافع محلی کلیه بهره‌برداران باید یک کار ترویجی ساده انجام داد که با استفاده از رسانه‌های آموزشی و ترویجی به‌راحتی قابل اجرا است (قاسمی ۲۰۰۶). پژوهش‌ها نشان داده است که شناسایی و آموزش شغل‌های جدید، یکی از راهکارهای مهم در رویکردهای مدیریت مشارکتی در طرح‌های آبخیزداری است (شیخ و همکاران ۲۰۱۹).

با توجه به بحران کم‌آبی و خشک‌سالی‌های پیوسته در کشور، فعالیت‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری در کاهش پیامدهای ناشی از این دشواری‌ها نقش مؤثری دارد. آبخیزداری، علمی است که ضمن توجه به مسائل اقتصادی- اجتماعی منطقه، استفاده صحیح از زمین‌های آبخیز مربوطه را برای کاهش فرسایش خاک، تنظیم سیلاب‌ها و رسوب‌گذاری آن‌ها و اصلاح پوشش گیاهی منطقه، طرح‌ریزی می‌کند (پلاستر ۲۰۰۲). آب، خاک و هوا بستر حیات و عامل‌های اصلی توسعه‌ی پایدار است. مدیریت صحیح و حفاظت از این منابع، در سایه‌ی ایجاد امنیت بوم‌شناختی می‌تواند دولت را در دستیابی به اهداف مهم و بلندمدت اقتصادی و اجتماعی هم چون جلوگیری از مهاجرت روستاییان، استفاده صحیح از آب در تولید محصولات کشاورزی، پیشگیری از حادثه‌ها و بحران‌های طبیعی، افزایش فضای سبز، رفع اثرات گازهای گلخانه‌ای و تغییرهای اقلیمی ناشی از آن و... یاری کند. در این مسیر رسانه‌ها می‌توانند افکار عمومی را به‌سوی آنچه نیاز کنونی جامعه است، هدایت

توجه به دانش بومی آبخیزداری و دیدگاه‌های افراد محلی، راهکار گره‌گشای مشارکت جامعه‌های محلی در طرح‌های آبخیزداری است. با توجه به وسعت منابع طبیعی، محدودیت منابع انسانی و مالی، مدیریت عرصه‌های ملی کشور بدون مشارکت مردم به نحو مطلوب انجام نخواهد شد (نور و همکاران ۲۰۱۷). مردم، منابع و مشارکت، سه رکن توسعه‌ی پایدار انسانی است که در این میان مشارکت هم هدف توسعه و هم وسیله‌ای برای دستیابی به هدف و حلقه‌ی اتصالی میان دیگر منابع است (سلیمان‌پور و همکاران، ۲۰۱۸). از این رو برای جلب حداکثر مشارکت مردم در صیانت از منابع ملی کشور، نقش رسانه‌ها بسیار اهمیت دارد. اگر چه اکثر افراد، حفاظت از منابع طبیعی را وظیفه‌ی دولت می‌دانند اما باید پذیرفت که دولت به‌دلیل داشتن وظایف حاکمیتی پرشمار و مدیریت ناکارآمد در این زمینه، بدون همکاری و جلب مشارکت مردمی، موفقیت چشم‌گیری در حفاظت از خاک و آبخیزداری نخواهد داشت. وابستگی زیاد روستاییان به دولت سبب شده که مشارکت بهره‌برداران بیش‌تر در بیان دیدگاه‌ها باشد و یا مشارکت آنها در اجرا حداقل باشد (کریمی و دانش‌مهر ۲۰۱۸). آشکار است ارتقاء دانش و انگیزه‌ی روستاییان برای حداکثر مشارکت، قبل از انجام هر اقدامی، نیازمند گسترش فعالیت‌های فرهنگی، اطلاع‌رسانی و آگاهی‌دادن به آنها در این زمینه است (اسدی و همکاران ۲۰۱۶). برای رسیدن به یک مدیریت مشارکتی در پیاده‌سازی و اجرای

کرده و به تدریج بستر لازم برای مشارکت‌های مردمی را با این شعار که «حفظ منابع طبیعی وظیفه تمام افراد است» فراهم کنند (آشوری ۲۰۰۵).

همگی از نقش‌آفرینی رسانه‌ها در حفظ و حراست از مراتع جنگلی و دیگر عرصه‌های ملی منابع طبیعی آگاهی داریم. در سال‌های اخیر نیز شکل‌گیری پوشش‌های مردمی با همکاری رسانه‌های مجازی و اجتماعی در میان دوست‌داران و فعالان طبیعت دیده شده است اما آیا این اندازه از مشارکت کافی است؟ آیا اطلاع‌رسانی مجازی کمکی به اجرای مشارکت فعال بهره‌برداران می‌کند؟ آیا این اطلاعات منجر به ارتقاء آگاهی مخاطبان شده است؟ بررسی‌ها و آمارهای رسمی نشان می‌دهد برای دستیابی به مدیریت مشارکتی در آبخیزها همچنان همراهی بهره‌برداران نیاز است.

مطالعه‌ها و پژوهش‌های انجام‌شده در کشور نیز افزون بر تأکید برای به‌کارگیری مدیریت مشارکتی به عامل‌های مؤثر بر مشارکت روستاییان اشاره می‌کنند که بخشی از آن شامل ویژگی‌های فردی است و به‌طور تقریبی در همه آبخیزها یکسان گزارش شده است و بخش دیگر ویژگی‌های اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی است و متأثر از عامل‌های مربوطه در هر زمینه متفاوت گزارش شده است.

شمس‌الدینی و همکاران (۲۰۱۸) با تحلیل عامل‌های مؤثر بر مشارکت روستاییان در فعالیتهای آبخیزداری بروجن، نشان دادند که بین متغیر سن و تجربه با مشارکت مردمی رابطه معکوس و اثر منفی بود و میان همبستگی اجتماعی، پایگاه اقتصادی-اجتماعی، عضویت در نهادهای عمومی و استفاده از منابع اطلاعاتی با اندازه‌ی مشارکت آن‌ها رابطه مثبت بود. این پژوهشگران بیشترین نقش در مشارکت مردمی را متغیر آگاهی از اهداف و خصوصیت طرح‌ها گزارش کردند. صالح‌پورجم و همکاران (۲۰۱۸) عامل‌های مؤثر بر مشارکت نداشتن بهره‌برداران در طرح‌های آبخیزداری در آبخیزهای مشرف به شهر تهران را بررسی کردند و گزارش کردند که اندازه‌ی درآمد، وضعیت اقتصادی و سطح پائین انگیزه‌ی اقتصادی و سواد و آگاهی بهره‌برداران به‌ترتیب در اندازه‌ی مشارکت مردمی مؤثر بودند. الیاسی و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی عامل‌های مؤثر بر تمایل آبخیزنشینان به مشارکت در طرح‌های آبخیزداری در کرمانشاه نشان دادند که اندازه‌ی مشارکت با سطح تحصیلات، تعداد دام و مساحت زمین آبخیزنشینان رابطه‌ی مثبت داشت و با سن آنها رابطه‌ی منفی داشت. این پژوهشگران عامل‌های اجتماعی، ارتباطی و اطلاعاتی را با کمترین اثر بر مشارکت بهره‌برداران گزارش کردند. باقریان و همکاران (۲۰۱۴) ابعاد مشارکت مردم در طرح‌های آبخیزداری را

در آبخیز حبله رود بررسی و نشان دادند اندازه‌ی مشارکت مردم متوسط بود و ابعاد اجتماعی، میدانی و اقتصادی طرح‌ها به‌ترتیب در اندازه‌ی مشارکت مردم اثرگذار است. محمدی‌گلرنگ و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه‌ی عامل‌های مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران در طرح‌های مرتع و آبخیزداری خراسان رضوی نشان دادند که سه متغیر دانش، نگرش و انتظار، یک‌سوم از تغییرات مشارکت را داشتند و اندازه‌ی مشارکت را متوسط برآورد کردند. پرهیزکاری و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی عامل‌های مؤثر بر مشارکت کشاورزان قزوین در به‌کارگیری اقدام‌های حفاظت آب و خاک دریافتند که متغیرهای تحصیلات، شیب زمین‌ها، آگاهی از عملیات حفاظتی، درآمد ناخالص سالانه، دریافت کمک‌های رایگان و برگزاری کلاس‌های ترویجی اثر مثبت و متغیرهای سن و اشتغال در بخش غیر کشاورزی اثر منفی داشتند. زارعی و همکاران (۲۰۱۳) از بررسی عامل‌های تعیین‌کننده‌ی مشارکت نداشتن بهره‌برداران در طرح‌های آبخیزداری برنجستانک دریافتند که سن بهره‌برداران با اندازه‌ی مشارکت آن‌ها رابطه‌ی معکوس و اثر منفی داشت. محبوبی و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه‌ی عامل‌های انگیزشی مؤثر بر مشارکت کشاورزان در گلستان معتقدند که مهم‌ترین انگیزه‌ی کشاورزان برای مشارکت در اجرای عملیات کشت پلکانی، همکاری گروهی با سایر کشاورزان به‌ویژه همسایگان مجاور مزرعه آن‌ها است. مقدسی و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی کیفی طرح‌های آبخیزداری استان گلستان نشان دادند که رضایتمندی از اجرای طرح‌ها و اندازه‌ی مشارکت عمومی و منافع مردم عامل اصلی در مشارکت فعال بهره‌برداران بود. اسلامی‌پریخانی و کویان (۲۰۱۴) با مطالعه‌ی عامل‌های مؤثر در مشارکت روستاییان در طرح‌های آبخیزداری اردبیل دریافتند که رابطه‌ی اندازه‌ی مشارکت مردم در مرحله‌های مختلف اجرای طرح آبخیزداری با عامل‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی مثبت و معنی‌دار بود. باقریان و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی عامل‌های مؤثر بر مشارکت مردم در آبخیز استان تهران نشان دادند که متغیرهای اندازه‌ی رضایت‌مندی مردم از طرح‌های اجرا شده‌ی قبلی، اندازه‌ی دانش و آگاهی از عملیات آبخیزداری، جنسیت، وضعیت تأهل، درآمد ماهانه از شغل دوم با اندازه‌ی مشارکت آنها رابطه‌ی مستقیم داشت. حیدریان (۲۰۱۴) الگوهای مشارکت محلی در مدیریت جامع آبخیز طالقان را بررسی کردند و معتقدند شاخص‌های اندازه‌ی آگاهی جامعه‌ی محلی از آبخیزداری و اندازه‌ی رابطه‌ی آنها با منابع آبخیز، سطح زمین‌ها، تعداد دام در مشارکت جامعه‌ی محلی در مدیریت آبخیزها بسیار اثرگذار بود. محمدی‌گلرنگ و همکاران (۲۰۱۷) رابطه‌ی بین آگاهی از

رابطه‌ی معنی‌داری دارند، پژوهش‌گر را به این فرضیه‌ی فرعی رهنمون می‌کند که ویژگی‌های فردی و اجتماعی (سن، جنس، شغل، درآمد، تحصیلات) بهره‌برداران با مشارکت آنها در طرح‌های آبخیزداری رابطه‌ی معنی‌دار دارند.

رسانه‌های استفاده شده در این پژوهش شامل انواع فیلم، اسلاید، عکس، مجله، پوستر، برنامه‌های رادیویی و تلویزیونی، نشریه‌های ترویجی و برشور بود که با روش‌های گوناگون در اختیار بهره‌برداران بخش کشاورزی این منطقه (کشاورزان، باغداران، دامداران، زنبورداران و سایر مشاغل روستایی و محلی) در سطح خرد و کلان قرار گرفت. رسانه‌های ترویجی در راستای طبقه‌بندی و دادن اطلاعات و خدمات مناسب برای استفاده‌ی بهره‌برداران اکثراً در قالب آثار زیر تهیه و منتشر شد:

- برنامه‌های رادیویی و تلویزیونی ترویجی، دربرگیرنده‌ی مجموعه اطلاعات و پیام‌های عمومی و تخصصی در زمینه‌ی علوم و فنون کشاورزی و محیط‌زیست روستایی بود که با استفاده از شیوه‌ها و فندهای تولید برنامه‌های تلویزیونی (داستان، مستند) در اختیار مخاطبان و علاقه‌مندان قرار گرفت.

- نشریه‌ی ترویجی که اطلاعات جدید و کاربردی برگرفته شده از نتایج پژوهش‌ها و یافته‌های علمی را به زبان ساده و قابل درک در اختیار مخاطبان قرار داد. این نشریه‌ها هم به شکل چاپ شده و هم به شکل پرونده‌های الکترونیکی قابل دسترسی از طریق تلفن همراه و اینترنت در اختیار مخاطبان قرار گرفت.

- بروشورها نیز اطلاعات لازم را از طریق پیام‌های کوتاه و خبری در موضوعی خاص به شکل گسترده در اختیار مخاطبان قرار داد. این رسانه‌های نوشتاری در زمینه‌ها و زمان‌های خاصی، به طور غیرمستقیم بین فرستنده و گیرنده‌ی پیام، ارتباط برقرار کرد.

- اسلایدهای آموزشی با استفاده از تصویری که روی یک صفحه‌ی شفاف ثبت شده و در اثر عبور نور از آن روی پرده قابل مشاهده بود یک پیام، مطلب، ایده و ... را به بیننده انتقال می‌داد یا از طریق مطلب‌ها و تصویرهای علمی و کاربردی آموزشی برای درک بهتر موضوع به وسیله‌ی مخاطب نشان داده شد. (عباسی ۱۹۹۵).

رسانه در این پژوهش به عنوان متغیر مستقل و مشارکت بهره‌برداران در طرح‌های آبخیزداری به عنوان متغیر وابسته انتخاب شد. گویه‌های متغیر وابسته در این پژوهش عبارت است از:

- آگاهی از طرح‌های آبخیزداری.
- همکاری در طرح‌ریزی طرح‌های آبخیزداری.
- همکاری در اجرای طرح آبخیزداری.

عملیات آبخیزداری و سطح مشارکت مردمی در توسعه‌ی روستایی در خراسان رضوی را بررسی کردند و نشان دادند که بیشتر کشاورزان با دانش عملیات آبخیزداری آشنایی داشتند و با توجه به مشارکت متوسط مردم، رابطه‌ی بین آگاهی و دانش کشاورزان با مشارکت اقتصادی آنها در عملیات آبخیزداری مثبت بود. مشرقی و همکاران (۲۰۱۲) عامل‌های مؤثر بر اندازه‌ی مشارکت روستاییان در طرح‌های آبخیزداری شهرستان اهواز را بررسی کردند و نشان دادند که رابطه‌ی بین اندازه‌ی مشارکت روستاییان با عضویت در نهادهای عمومی، مروجان، سطح تحصیلات، اندازه‌ی رضایتمندی، سابقه‌ی فعالیت کشاورزی، اندازه‌ی درآمد فعالیت‌های کشاورزی، سطح زمین کشاورزی و فعالیت‌های شورای اسلامی روستا معنی‌دار و مثبت بود. سی‌سای (۲۰۱۵) در بررسی زمینه‌ی نگرش نسبت به برنامه‌های مدیریت آبخیز و سطح مشارکت (تجزیه و تحلیل ارتباط در جنوب اتیوپی) نشان داد که افزایش ظرفیت یادگیری در جامعه‌های محلی، اهمیت ویژه‌ای در دستیابی به مدیریت آبخیزداری مشارکتی پایدار داشت. سوامی و همکاران (۲۰۱۲) روش مدیریت مشارکتی در آبخیزهای شرق آسیا را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که برای افزایش مشارکت مردم در مدیریت مشارکتی، دولت باید ضمن پاسخ‌گویی و شفافیت در کارها با تجدید نظر در روش‌های بلندمدت با دیدگاه مناسب محلی و اقتصادی، بستر آگاه‌سازی و مشارکت مردمی را ایجاد کند.

نتایج پژوهش‌ها بیان‌گر آن است که پایداری و اثر بخشی فعالیت‌های آبخیزداری بستگی به مشارکت فعال جامعه‌های محلی بهره‌برداران منابع طبیعی در مرحله‌های مختلف انجام آن‌ها دارد. از این رو بررسی مدیریت مشارکتی طرح‌های آبخیزداری با توجه به شرایط فرهنگی خاص هر منطقه و عامل‌های مؤثر بر آن، یکی از پیش‌نیازهای اساسی هرگونه اقدام در آبخیزها است.

از آنجایی که تاکنون استان آذربایجان غربی بررسی نشده است و یکی از آبخیزهای شمال غرب کشور به شمار می‌آید، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر رسانه‌ها در اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران در طرح‌های آبخیزداری استان آذربایجان غربی انجام می‌شود و عامل‌های مؤثر بر مشارکت مردم محلی و اندازه‌ی بهره‌مندی آنها از رسانه‌های ترویجی تعیین می‌شود. بنابراین سؤال اصلی این است که آیا رسانه‌های ترویجی در مشارکت بهره‌برداران طرح‌های آبخیزداری آذربایجان غربی اثرگذار است؟ و سؤال فرعی این است که کدام یک از ویژگی‌های فردی بهره‌برداران بر این مشارکت اثرگذار است؟

مطالعه برای تأیید یا رد این فرضیه که رسانه‌های ترویجی با اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران طرح‌های آبخیزداری

- اندازه‌ی رضایتمندی و ارزشیابی از طرح‌های آبخیزداری اجرا شده.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی است. با روش پیمایشی گردآوری داده‌های این پژوهش انجام شد. تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از رابطه‌ی علی انجام شد. در این پژوهش جامعه‌ی آماری شامل ۱۲۶۷۸ نفر از سرپرست خانوارهای بهره‌بردار روستایی ساکن در آبخیزهای استان آذربایجان غربی که در آن‌ها فعالیت‌های آبخیزداری اجرا شده است، بود. حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران ۲۸۵ نفر تعیین شد و نمونه‌گیری با روش طبقه‌ای تصادفی از بین شهرستان‌های استان انجام شد. پرسش‌نامه و مصاحبه ابزارهای این پژوهش بودند که روایی آن با استفاده از نظرهای متخصصان در زمینه‌ی آموزش، ترویج و آبخیزداری صورتی بود و پایایی آن بر مبنای آزمون آلفای کرون باخ ۰/۸۲ (مطلوب) محاسبه شد.

در این پژوهش روش آماری استفاده شده شامل آمارهای توصیفی (فراوانی، درصد فراوانی، نما (مد)، کمینه، بیشینه، میانگین، میانه و انحراف معیار) و تحلیلی (تحلیل همبستگی و وایازی چند متغیره) بود و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج

نتایج داده‌پردازی و عملیات آماری در دو بخش توصیفی و تحلیلی تهیه شد. در بخش آمارهای توصیفی، ویژگی‌های فردی بهره‌برداران شامل جنسیت، سن، سواد، شغل، درآمد ماهیانه و اندازه‌ی زمین در اختیار، بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که ۴۸ نفر (۱۶/۸٪) از پاسخگویان زنان و ۲۳۷ نفر (۸۳/۲٪) دیگر مردان بودند. آمار به‌دست آمده از سن پاسخگویان (بیشینه ۸۴، میانگین ۴۲/۸۶، کمینه ۱۹، میانه ۴۲، نما (مد) ۴۲) بیان‌گر آن بود که میانگین سنی بهره‌برداران ۴۲/۸۶ سال و دامنه‌ی تغییرات آن ۸۴-۱۹ سال بود (جدول ۱).

جدول ۱- توزیع فراوانی پاسخگویان براساس سن.

Table 1- Frequency distribution of respondents based on age.

Age	Abundance	Percent	The cumulative percentage
25 years and younger	64	22.5	22.5
Between 26 and 45	56	19.6	42.2
Between 46 and 55	59	20.7	63
Between 56 and 66	53	18.6	81.7
66 years and older	52	18.2	100
sum	284	99.6	-
No answer	1	4	-

اکثر بهره‌برداران (۴۸٪) در سطح ابتدایی تحصیلات داشتند و یا بی‌سواد بودند. ۷٪ پاسخگویان، تحصیلات دانشگاهی و بقیه به ترتیب ۲۴/۹٪ مدرک راهنمایی و ۱۱/۸٪ مدرک متوسطه یا دیپلم داشتند (جدول ۲).

جدول ۲- توزیع فراوانی پاسخگویان براساس سطح سواد.

Table 2- Frequency distribution of respondents based on literacy level.

Education level	Abundance	Percent	The cumulative percentage
Illiterate	48	16.8	16.8
Elementary	104	36.5	53.1
Middle school	71	24.9	78
High school or diploma	33	11.8	89.8
Academic	21	7.4	100
sum	277	97.1	-
No answer	8	2.8	-

براساس داده‌های جدول ۳ شغل ۵۵٪ از بهره‌برداران زراعت و ۲۱٪ باغداری و دامداری است.

جدول ۳- توزیع فراوانی پاسخگویان براساس شغل اصلی.

Table 3- Frequency distribution of respondents based on main job.

Main job	Abundance	Percent	The cumulative percentage
Agriculture	159	55.8	55.8
Gardening	37	13	68.8
animal husbandry	52	18.2	85
Other cases	37	13	100
sum	282	98.9	-
No answer	3	1.1	-

براساس داده‌های جدول ۴ (بیشینه ۵۳، میانگین ۳/۹۲، کمینه صفر، انحراف معیار ۵/۴۶) بیان‌گر آن است که هر یک از پاسخگویان به‌طور متوسط ۴ هکتار زمین کشاورزی در اختیار داشته است و ۷۵٪ از پاسخگویان کمتر از ۵ هکتار و ۳۴/۷٪ از آن‌ها فاقد زمین کشاورزی بوده‌اند.

جدول ۴- توزیع فراوانی پاسخگویان براساس اندازه‌ی زمین کشاورزی.

Table 4- Frequency distribution of respondents based on the amount of agricultural land.

Agricultural land (hectares)	Abundance	Percent	The cumulative percentage
Under 4 hectares	214	75	75
4 to 10 hectares	50	17.5	95
11 to 15 hectares	20	7	99
16 to 20 hectares	2	0.7	99.7
Upper 20 hectares	2	0.7	100
Without land	-	-	-
No answer	4	1.4	-

براساس داده‌های جدول ۵ میانگین درآمد ماهانه حدود ۳۰۴۰۰۰ تومان بوده است. میانه برابر با ۲۸۰۰۰۰ و نما برابر با ۳۰۰۰۰۰ تومان است. حداقل درآمد ماهیانه ۱۰۰۰۰۰ تومان و حداکثر آن ۹۰۰۰۰۰ تومان در ماه است (آمار ۱۳۹۸).

جدول ۵- توزیع فراوانی پاسخگویان براساس درآمد ماهانه.

Table 5- Frequency distribution of respondents based on monthly income.

Monthly income (Tomans)	Abundance	Percent	The cumulative percentage
200,000 and less	54	26	27.2
Between 200,000 and 300,000	120	49.1	78.7
Between 301,000 and 400,000	52	11.2	90.5
Between 301,000 and 500,000	44	7.4	98.2
Between 601,000 and 700,000	3	1.1	99.3
Above 700,000	2	0.7	100
Without land	272	95.4	-
No answer	10	4.6	-

برای بررسی اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران در سطح‌های چهارگانه آگاهی، طرح‌ریزی، اجرا و رضایت‌مندی از گویه‌های ۵ گزینه‌ای لیکرت (خیلی کم-خیلی زیاد) استفاده شد. فراوانی پاسخگویان در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶- اندازه‌ی مشارکت پاسخگویان در سطح‌های مختلف مشارکتی.

Table 6- The amount of respondents' participation in different levels of participation.

Participation levels	Very little	Low	Average	Much	Too Much	None	No answer
Consciousness	52	40	46	62	60	47	20
Decision	40	49	61	21	15	88	11
Performance	51	36	60	30	18	89	7
persuasion	10	14	52	72	98	21	18

خدماتی و نیروی انسانی مورد نیاز، مشارکت متوسط و کم‌تر داشتند. یافته‌ها بیان‌گر آن است که ۳۵/۲٪ از پاسخگویان (بیشترین فراوانی، ۹۹ نفر) هیچ مشارکتی نداشتند.

از اجرای فعالیت‌های آبخیزداری و مفیدبودن و تأثیرگذاری مثبت آن‌ها بر زندگی افراد بیش از دوسوم بهره‌برداران احساس رضایت و خشنودی داشتند. یعنی ۶۸/۴٪ از بهره‌برداران به اندازه‌ی زیاد و خیلی‌زیاد از اجرای طرح‌های آبخیزداری راضی بودند.

از جمع‌بندی امتیازهای سطح‌های چهارگانه‌ی مشارکت در فعالیت‌های آبخیزداری، مشارکت کل به‌دست آمد (جدول ۷).

براساس داده‌های جدول ۶ سطح مشارکتی پاسخگویان که بیان‌گر تجربه‌های دیداری افراد و آگاهی آن‌ها در ویژگی‌های فعالیت‌های اجرا شده است در بیش از نیمی از بهره‌برداران (۵۲٪) زیاد و خیلی‌زیاد بود و ۱۳/۷٪ آن‌ها (۳۹ نفر) هیچ‌گونه مشارکتی نداشتند.

۳۴/۴٪ از بهره‌برداران (بیشترین فراوانی، ۹۸ نفر) هیچ مشارکتی در طرح‌ریزی فعالیت‌های آبخیزداری اجراشده، نداشتند. یعنی هیچ سهمی در تدوین این فعالیت‌ها نداشتند. در مجموع ۵۸/۷٪ بهره‌برداران مشارکت خیلی‌کم و کم داشتند.

نزدیک به نیمی از پاسخگویان (۴۹/۱٪) در اجرای طرح‌های آبخیزداری، از راه کمک‌های مالی، ابزاری،

جدول ۷- توزیع فراوانی بهره‌برداران براساس اندازه‌ی مشارکت آنان در طرح‌های آبخیزداری.

Table 7- Frequency distribution of users based on their participation in watershed management projects.

Participation rate	Abundance	Percent	The cumulative percentage
None	15	5.3	5.4
Very little	24	8.4	14
Low	29	10.2	24.4
Average	122	42.8	68.3
Much	69	24.2	93.1
Too Much	19	6.7	100

مستقل از آزمون کای اسکور و ضریب اسپیرمن استفاده شد (جدول ۸).

۳۱/۶٪ از بهره‌برداران مشارکت فعال (زیاد و خیلی‌زیاد) و ۵/۴٪ هیچ مشارکتی نداشتند. در بخش آمار تحلیلی پژوهش برای بررسی رابطه‌ی بین متغیر وابسته و

جدول ۸- جدول همبستگی بین متغیرهای تأثیرگذار بر مشارکت و اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران.

Table 8- Correlation table between the variables affecting participation and the participation rate of users

Variable	scale of measurement	The correlation coefficient	Sig	The correlation coefficient
The amount of media use	sequential	Spearman	0.000	0.287**
Income	sequential	Spearman	0.001	0.189**
Age	spatial	Spearman	0.798	0.0.015
Level of Education	sequential	Spearman	0.024	0.141*
main job	nominal	Chi-square	0.464	Chi-2.38

* Significant at the 1% level

** Significant at the 5% level

*: معنی‌دار در سطح یک درصد.

**: معنی‌دار در سطح پنج درصد.

۵٪ بود. همچنین رابطه‌ی بین متغیر اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران و متغیرهای شغل و سن آنها معنی‌دار نبود. معادله‌ی وایازی چند متغیره رابطه‌ی معنی‌دار بین متغیرهای مستقل و وابسته را نشان داد (جدول ۹).

نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که رابطه‌ی بین اندازه‌ی مشارکت پاسخگویان در طرح‌های آبخیزداری با متغیر رسانه‌ها و درآمد مثبت و معنی‌دار در سطح ۱٪ بود و با متغیر سطح تحصیلات مثبت و معنی‌دار در سطح

جدول ۹- وایازی چند متغیره برای متغیر وابسته‌ی اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران در طرح‌های آبخیزداری.

Table 9- Multivariate regression for the dependent variable of users' participation in watershed projects.

Variable	B	β	T	Significance level
Use of media	0.79	0.131	2.009	0.051
Level of education	0.008	0.044	0.844	0.5
The income of the beneficiaries	0.785	0.059	3.013	0.004

دیداری و شنیداری ترویجی است. برای دستیابی به این هدف، شناسایی رسانه‌های برتر و اندازه‌ی تأثیر آنها، کمک زیادی به ارائه راه کارهای کاربردی و برنامه‌های آموزشی و ترویجی در آبخیزهای سراسر کشور می‌کند. بنابراین در این پژوهش برای رسیدن به هدف مزبور، هم گام با سایر پژوهش‌های انجام شده در دیگر مناطق، عامل‌های مؤثر بر اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران در استان آذربایجان غربی بررسی شد و در نهایت سنجش همبستگی این عامل‌ها با اندازه‌ی اثرات رسانه‌ها بر اندازه‌ی مشارکت آنها انجام شد.

یافته‌های پژوهش بیان‌گر آن بود که از میان گویه‌های مربوط به ویژگی‌های فردی و اجتماعی برگزیده در این پژوهش، ۳ گویه رابطه‌ی معنی‌دار داشتند و بقیه گویه‌ها با متغیر اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران در طرح‌های آبخیزداری رابطه و همبستگی نداشتند. نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که رابطه‌ی بین اندازه‌ی مشارکت پاسخگویان با گویه‌های استفاده از رسانه‌های آموزشی و ترویجی و درآمد مثبت و معنی‌دار در سطح ۱٪ بود و با متغیر سطح تحصیلات مثبت و معنی‌دار در سطح ۵٪ بود. از سوی دیگر رابطه‌ی بین متغیر اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران و گویه‌های شغل اصلی، سن و اندازه‌ی زمین معنی‌دار نبود. در معادله‌ی وایازی چند متغیره توأم، گویه‌های اندازه‌ی استفاده از رسانه، درآمد بهره‌برداران و تحصیلات تأثیر مثبت داشتند و بقیه متغیرها تأثیر منفی یا بدون تأثیر بودند. این نتایج نشان داد که فرضیه‌ی پژوهش تایید شده است و رابطه‌ی بین استفاده از رسانه‌ها و اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران طرح‌های آبخیزداری معنی‌دار بود. همچنین از میان گویه‌های مطالعه شده رابطه‌ی سن، شغل اصلی و اندازه‌ی زمین در اختیار با اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران معنی‌دار نبود. نتایج این پژوهش در راستای تأثیر نداشتن سن با نتایج پژوهش‌های پیشین انجام شده به‌وسیله‌ی شمس‌الدینی و همکاران (۲۰۱۸)، الیاسی و همکاران (۲۰۱۷)،

براساس نتایج جدول ۹ سطح معنی‌داری هرچه کمتر از ۵/۰ باشد، رابطه معنی‌دارتر است. بنابراین متغیرهای درآمد، اندازه‌ی استفاده از رسانه‌ها و اندازه‌ی تحصیلات بهره‌برداران به ترتیب بیشترین رابطه‌ی معنی‌دار را مشارکت در طرح‌های آبخیزداری داشتند. ضریب همبستگی برابر ۳/۰۱۳ بود که نشان داد ۳/۰۱۳٪ از تغییرات اندازه‌ی مشارکت بهره‌برداران به درآمد بهره‌برداران و بقیه به عامل‌های دیگر بستگی داشت. در پیش‌گویی معادله‌ی وایازی هرچه اندازه‌ی ضریب‌های استاندارد شده‌ی متغیرها (بتا) بزرگ‌تر باشد، اهمیت نسبی و تأثیر آن در متغیر وابسته بیشتر است. بر این اساس متغیر اندازه‌ی استفاده از رسانه‌ها بیشترین اثرگذاری را مشارکت مردمی داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی‌ها و پژوهش‌های انجام شده نشان داد که برای بهره‌مندی از مشارکت همگانی و سرمایه‌ی اجتماعی روستاییان و بهره‌برداران آبخیزهای سراسر کشور و دستیابی به اهداف حفاظت و توسعه‌ی پایدار منابع کشاورزی و طبیعی، ارتقاء آگاهی منابع انسانی تأثیر مهمی در پایداری فعالیت‌های توسعه‌ای و اجرایی طرح‌های آبخیزداری دارد. بنابراین نقش سازمان‌های دولتی به‌عنوان متولی امور کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و... در ارائه فعالیت‌های هم‌راستا با منافع ملی و رعایت حقوق و شرایط خاص اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی در هر زمینه بسیار اهمیت دارد. از سوی دیگر باید توجه داشت که اجرای هرگونه فعالیت هماهنگ و هم‌سو با اصل‌ها و اهداف ملی، نیازمند اطلاع‌رسانی و آگاهی‌بخشی به بهره‌برداران و روستاییان است تا بتوان توانمندی‌های بالقوه آنان را به مشارکت بالفعل تبدیل کرد. بهترین ابزار در انجام بهینه‌ی این برنامه با توجه به شرایط، امکانات و محدودیت‌های زیرساختی موجود در روستاها، استفاده از منابع رسانه‌ای به‌ویژه رسانه‌های

و انسانی و نیز تسهیل‌گران ترویجی، کمک مؤثری به انتخاب موضوع و برنامه‌های طرح‌ریزی شده است. همچنین با به‌کارگیری افراد تحصیل‌کرده‌ی خانوارهای روستایی به‌عنوان تسهیل‌گر و یا همکار در اجرای طرح‌های آبخیزداری افزون بر اشتغال‌زایی می‌توان با ترغیب جوانان به خلاقیت و کار در زمین‌های آبا و اجدادی از مهاجرت روستاییان به شهرها جلوگیری کرد. همچنین استفاده از زبان ترکی و گویش‌های بومی با رعایت حقوق و منافع روستاییان می‌تواند تأثیرگذاری بیشتری در مشارکت روستاییان داشته باشد.

محدودیت‌های فراوانی در اجرای این پژوهش بود که می‌توان به نبودن امکان دسترسی به کلیه روستاهای آبخیز به‌دلیل گستردگی منطقه، تمایل نداشتن روستاییان به پاسخگویی، محدودیت زمانی و مکانی، راه‌های ارتباطی و ... اشاره کرد. اما به نظر می‌رسد برای طرح‌ریزی برنامه‌های جامع ملی، با استفاده از پیشنهاد‌های مزبور می‌توان این محدودیت‌ها را رفع کرد یا کاهش داد و داده‌های به‌دست‌آمده را در کلیه مناطق بررسی کرد.

پرهیزکاری و همکاران (۲۰۱۶) و زارعی و همکاران (۲۰۱۳) همسویی دارد. نتایج این پژوهش در راستای معنی‌دار بودن رابطه‌ی بین افزایش آگاهی و دانش ناشی از تأثیر رسانه‌ها با نتایج پژوهش‌های محمدی‌گلرنگ و همکاران (۲۰۱۳، ۲۰۱۷)، باقریان و همکاران (۲۰۱۴)، سی‌سای (۲۰۱۵) صالح‌پورجم و همکاران (۲۰۱۸) و شمس‌الدینی و همکاران (۲۰۱۸) هماهنگی دارد. ولی نتایج این پژوهش در راستای نبودن رابطه بین اندازه‌ی زمین در اختیار با نتایج الیاسی و همکاران (۲۰۱۷) مشابهتی ندارد.

از این رو براساس نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود با توجه به سطح تحصیلات اندک بهره‌برداران، از رسانه‌های دیداری و شنیداری بیشتر از سایر رسانه‌ها در اطلاع‌رسانی و آگاهی بخشی به روستاییان استفاده شود. با توجه به بودجه‌ی لازم برای تهیه و تولید برنامه‌های رسانه‌ای، بررسی دقیق شرایط اقتصادی و فرهنگی آبخیزهای انتخاب شده برای اجرای طرح‌های آبخیزداری گزینه‌ی مهمی است. استفاده از متخصصان ارتباطات، مهارت‌های توسعه‌ی فردی در علوم اجتماعی

فهرست منابع

- Achouri A. 2005. Preparing the next generation of the watershed management program. FAQ Kathamandau. pp. 88-93. (In Persian).
- Asadi Z, Easapour R, Moolaie H. 2016. The role of participation in the rural development of the dry part of Bijard in Rasht City. Space Economy and Rural Development Quarterly. 5(15): 61-82. (In Persian).
- Bagherian R, Goodarzi M, Bagherian Kalat A, Soltani MJ. 2014. Factors influencing people's participation in watershed management programs. Extension and Development of Watershed Management. 2(7): 21-29. (In Persian).
- Bagherian R, Goodarzi M, Sanaei Torghabe M, Bagherian Kalat A. 2017. Investigation on dimensions of people's participation in watershed management programs: Using factor analysis. Iran- Watershed Management Science and Engineering. 11(36): 69-76. (In Persian).
- Elyasi A, Shahedi K, Raftgar Sh. 2017. Effective factors on stakeholders, willingness to participate at watershed management projects in hezarkhani watershed. Journal of Watershed Management Research. 8(16): 259-270. (In Persian).
- Eslami Parikhani H, Kaviani A. 2014. Analyzing effective factors in the participation of villagers in the watershed management projects (Case study: Meshkin Chay Watershed Ardabil Province). Extension and Development of Watershed Management. 2(4): 7-15. (In Persian).
- Haydarian SA. 2014. Investigation of local participation in comprehensive watershed management (Case study: Taleghan area). Tehran: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 4-29- 29-91124. (In Persian).
- Karimi AR, Danesh Mehr H. 2018. Analysis of factors affecting the social and economic participation of villagers in the operation of the irrigation network of Dasht Araiz in Shush city. Quarterly Journal of Space Economics and Rural Development. 7(2):184-165. (In Persian).
- Mahboobi MR, Najd Abbasi N, Tousi O. 2015. Effective factors on farmers' participation in the agricultural operation in the Chehelchai Watershed of Golestan Province. Journal of Watershed Management Research. 6(12): 88-97. (In Persian).
- Mashreghi N, Golichenari M, Moghasemi M, Hajivand Sh. 2012. Investigation of effective factors on rural participation in Ahwaz Watershed Plan. Third National Conference on Water Resources, Sari University of Agriculture and Natural Resources. (In Persian).
- Mehrdooft Kh, Shams A, Karami Dehkordi E. 2013. Effective factors on rural participation levels in watershed projects (Case study: Dorood Faraman and Lal Abad Basins in Kermanshah). Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research. 44(3): 399-409. (In Persian).
- Mireku OD, Acheampong PK, Mariwah S, Adu- Boahen K, Mensah AK. 2015. Institutionalizing community participation in watershed management: A study of the Inchan watershed in the western region of Ghana. International Journal of Scientific and Research Publications. 5(5): 1-9.
- Moghaddasi N, Sheikh WB, Najafineghad A. 2015. Qualitative evaluation of watershed management projects using descriptive-correlation method (Case study: Boostan Dam Watershed). Journal of Water and Soil Conservation. 22(2): 205-218. (In Persian).
- Mohammadi Golrang B, Memariani H, Food See L, Bagherian R, Mashayekhi M. 2013. The relationship between watershed man-

- agement operation informs and rural participation in rural development. 9th National Conference on Sciences and Iran Watershed, Yazd University. pp. 24-27. (In Persian).
- Mohammadi Golrang B, Food See L, Sadeghi HR. 2017. Evaluation of variables affecting people's participation in soil pasture and watershed management projects (Case study: Kouskabab Watershed in Khorasan Razavi). *Journal of Research and Rural Planning*. 6(1): 49-68. (In Persian).
- Noor H, Bagherian R, Sedigh R. 2017. Assessing attitudes of the rural populations of Khorasan Razavi Province to watershed management programs. *Watershed Research Quarterly*. 31(2):17-26.
- Parhizkari A, Mozafari MM, Hoseini Khodadadi M, Parhizkari R. 2016. Investigation of effective factors on rural participation in Shahrood Watershed (Ghazvin Province) in applying of water and soil with logit pattern. *Journal of Watershed Management Research*. 7(13): 241-253. (In Persian).
- Qasemi M. 2005. Investigating socio-economic factors affecting rural participation in development plans: A case study of central district of Kashan. *Journal of Rural and Development*. 2 :8-11 (In Persian).
- Salehpour Jam A, Sarreshtedari A, Tabatabaei MR. 2018. Prioritizing preventing factors affecting stakeholders' participation in watershed plans based on experts' ideas, case study: The watershed area surrounding the city of Tehran. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 9(4): 441-450. (In Persian).
- Shams al-Dini S, Emami SN, Bahmani S. 2018. Analysis of factors affecting the participation of villagers in water conservation activities, Case study: Chasmeh Zenil Watershed, Borujen City. *Journal of Abkhizdari Science and Engineering of Iran*. 13(46): 102-11. (In Persian).
- Sheikh V, Zare Garizi A, Alwandi A, Asadi Nilavan A, Khosravi G, Saaduddin A, Ong M. (2019). Participatory location of proposed solutions to manage Hable Rood Basin. *Watershed Research Quarterly*. 32(4):2-18.
- Sisay M. 2015. Attitude toward watershed management programs and level of participation: Liasion analysis in southern Ethiopia. *International Journal of Current Research*. 7 (10):20984-20992.
- Solaimanpour SM, Salehpour Jam A, Nowrozi A, Khalili N, Agriculture H. (2018). The opinion of experts in prioritizing factors affecting the lack of sustainable participation of rural communities in watershed management projects in Moradabad Maimand Watershed, Fars Province. *Watershed Research Quarterly*. 32(3):53-62.
- Swami V.A, Kulkami S.S, Kumbhar S, Kumbhar V. 2012. Participatory watershed management in south Asia: A comparative evaluation with special references to India. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. 3(3): 1-9.
- Zarei M, Azmodeh A, Amirnejad H, Pirnia A. 2013. Determinants of the lack of participation by stakeholders in watershed management projects (Case study: Watershed Berenjestanak). *Natural Resource Economics Journal*. 2(2): 67-63. (In Persian).



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

The Influence of the Media and Effective Factors on the Participation of Users of Watershed Management Projects in Tekab and Shahindej Cities of West Azarbaijan Province

Aliashraf Hamedi Ogholbeyk^{*1}, Mohammad Reza Galenoei², Fatemeh Aziz Abadi Farahani³

1-PhD. Academic Relations and International Affairs, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

2-Ph.D., Faculty Member of Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

3-Ph.D., faculty Member of Tehran Islamic Azad University of Science and Research

Extended Abstract

Introduction and Objective

Lack of awareness of rural people is the main factor in the destruction, erosion, and change of natural resources. Therefore, rural development programs should be pushed towards participatory management to preserve and restore natural resources. Modification and change of behavior is done when the beliefs of the rural community change. Most people believe that preserving natural resources is one of the duties and powers of governments. But the fact is that sometimes these interventions have been destructive. Since the development of human resources is one of the basic principles in participatory management, And participatory management in rural communities is implemented at an optimal and effective level when the gap between the past generation and the rural youth can be resolved by developing education in the field of awareness regarding the correct handling of natural resources. the first step is to develop and improve the awareness and knowledge of human resources through a change in behavior, attitude, and individual skills. The infrastructural limitations of villages and their limited access to education and communication facilities make educational and promotion media one of the most important means of transferring information, knowledge, and skills to rural people.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: ahamedi87@yahoo.com

Citation: Hamedi Ogholbeyk, A.A., Galenoei, M.R., Aziz Abadi Farahani, F. 2023 The effect of media and effective factors on the participation of watershed management project users in Takab and Shahindej cities of West Azerbaijan province. Watershed Management Research. 36(3):42-54.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.342186.1323

Received: 02 July 2022, **Received in revised form:** 26 September 2022, **Accepted:** 21 December 2022, **Published online:** 23 September 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.3, Ser. No: 140, Autumn 2023, pp. 42-54.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)



Materials and Methods

This research, using the survey and documentation method, try to investigate the participation of residents of watersheds in West Azerbaijan province (Takab, and Shahindej) in watershed management projects and identify the most important influencing factors. The samples were selected using stratified random sampling and the data collection tool was a questionnaire. The face validity of the questionnaire was confirmed by agricultural extension and education experts and watershed experts, and its reliability was estimated to be 82% using Cronbach's alpha.

Results and Discussion

Multivariate regression analysis with the combined method showed that income, education, and the amount of media use are the most important influencing factors in public participation. Also, there is a positive and significant relationship between the influence of the media and the active participation of the village people in watershed projects.

Conclusion and Suggestions

Therefore we conclude that, the use of educated rural youth to produce, publish or use the media can significantly contribute to increasing the participation of villagers in watershed management projects.

Keywords: Effective factors, Influencing factors, Media, Participation, Watershed projects, West Azerbaijan



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۳۸-۲۰۳۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

معرفی گونه‌های مرتعی مناسب در رویشگاه‌های مختلف در زمین‌های مارنی با شکل‌های مختلف فرسایش در شهرستان سمیرم

فرزاد پارسادوست^{۱*}، حمیدرضا پیروان^۲

۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان

اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهران، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

زمین‌های مارنی در مناطق خشک و بیابانی نسبت به فرسایش بسیار حساس است و از جمله منابع مهم تولید رسوب به شمار می‌روند. پژوهش‌ها نشان داده‌است که ارتباطی بین ویژگی‌های خاکشناسی مارن‌ها و شکل‌های مختلف فرسایش وجود دارد. در برخی از رخنمون‌های مارنی، گونه‌های مرتعی ویژه‌ای به‌طور چشم‌گیری رشد و نمو یافته‌اند که سبب مهار کردن فرسایش و پایداری خاک می‌شود. برای درک بهتر وضعیت این زیست‌بوم‌ها، این پژوهش با هدف شناسایی گونه‌های گیاهی استقرار یافته و بررسی ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌های منطقه سمیرم در سه نوع فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه سمیرم از جمله مناطق مارنی است که در طرح طبقه‌بندی و تعیین شاخص‌های فرسایش‌پذیری مارن‌های استان اصفهان، برای انجام این پژوهش انتخاب شد. برای ارزیابی وضعیت فرسایش در سه شکل فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه‌ای در واحدهای یکسان مارنی و مناطق فاقد پوشش، فرم BLM تکمیل شد. در مرحله‌ی بعد در واحدهای یکسان مارنی با سه نوع فرسایش، سه نمونه خاک از عمق ۲۰ - ۰ سانتی‌متر در سه تکرار برداشت شد.

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: پارسادوست، ف.، پیروان، ح.ر. ۱۴۰۲. معرفی گونه‌های مرتعی مناسب در رویشگاه‌های مختلف در زمین‌های مارنی با شکل‌های مختلف فرسایش در شهرستان سمیرم. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۵۵-۶۹.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.358305.1467

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۰، پاییز ۱۴۰۲، صفحه‌های ۵۵ تا ۶۹



©نویسندگان

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

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت، EC، N، P، K، SAR، OC، CEC، CaSO_4 ، pH، T.N.V و CaCO_3 اندازه‌گیری شد. برای بررسی پوشش گیاهی در منطقه‌ی پژوهش پس از تهیه‌ی فهرست گونه‌های گیاهی منطقه، ویژگی‌های پوشش گیاهی شامل درصد تاج‌پوشش و تراکم به تفکیک گونه‌های گیاهی و همچنین درصد سنگریزه و لاشبرگ اندازه‌گیری و یادداشت شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر پایه‌ی آزمون LSD انجام شد. تحلیل همبستگی بین ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی نیز به‌وسیله‌ی نرم‌افزار آماری R انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد فرسایش‌پذیری زمین‌های مارنی با پوشش گیاهی در مقایسه با مناطق فاقد پوشش گیاهی وضعیت بهتری داشت. خاک تثبیت‌شده در عرصه فرسایش آبراهه‌ای، نیتروژن، فسفر و موادآلی بیشتری داشت و در مقایسه با دو نوع فرسایش دیگر، پوشش گیاهی نیز بهتر بود. نتایج همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و پوشش گیاهی نشان داد که عامل تاج‌پوشش گیاهی با ۹۵٪ گچ و ۸۶٪ شن همبستگی داشت. گونه‌ی گیاهی غالب در فرسایش سطحی، گونه‌ی *Astragalus cephalantus* Dc. در فرسایش شیاری، گونه‌ی *Cousinia cylindracea* Bioss. و در فرسایش آبراهه‌ای گونه‌ی *Elumus gentry* Melderis. به ترتیب ۳۴/۲، ۳۳/۳ و ۲۲/۰۵ بیشترین ترکیب تراکم تاج‌پوشش گیاهی را در منطقه داشتند. شکل رویشی پهن برگان علفی در هر سه نوع فرسایش بیشترین درصد تراکم و تاج پوشش را داشتند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش در راستای استقرار گونه‌های مناسب در آبرفت‌های مارنی با شرایط اقلیمی مشابه می‌تواند به‌عنوان دستاوردی نوین برای جلوگیری از فرسایش خاک مدنظر قرار گیرد.

واژگان کلیدی: حفاظت خاک، روش BLM، سازندهای مارنی، گونه‌های مرتعی

مقدمه

مارن به مخلوطی از رس و آهک گفته می‌شود که اندازه‌ی کربنات کلسیم آن ۳۵ تا ۶۵٪ است. اندازه‌ی ذرات و کانی‌های موجود در مارن‌ها در اندازه‌ی رس، لای و شن است و به این ترتیب مارن‌ها براساس نوع کانی‌ها، بافت و درصد ذرات تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها به گروه‌های متفاوتی تقسیم‌بندی می‌شوند که هرکدام ویژگی فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و فرسایشی متفاوتی دارند (النسو و همکاران ۲۰۱۵ و الرست و همکاران ۲۰۱۸).

به‌دلیل ویژگی‌های کانی‌شناختی مارن‌ها و تمرکز کانی‌های رسی نفوذناپذیر در پیکره این نوع سنگ‌ها و رسوب‌های تولیدشده، معمولاً استقرار و رویش پوشش گیاهی روی زمین‌های مارنی پدیده‌ای دشوار به‌نظر می‌رسد (کانتون و همکاران ۲۰۱۱ و کاریر و همکاران ۲۰۲۰). با این حال در برخی مناطق به‌طرز شگفت‌انگیزی می‌توان پوششی متراکم از گونه‌های مرتعی را مشاهده کرد که سبب پایداری خاک و مهارکردن سرعت رسوب‌زایی زمین‌های مارنی شده‌اند. مارن‌ها نسبت به فرسایش بسیار حساس بوده و موجب کاهش عمر

خاک مهم‌ترین منبع تجدیدشونده در زیست‌بوم و زیربنای حیات روی کره زمین است (لعل ۲۰۱۵). خاک به‌عنوان عامل مؤثر در رشد و نمو گیاهان و تولید محصولات کشاورزی، مهم‌ترین منبع طبیعی هر کشور است و در بهبود اقتصاد و معیشت ساکنان زمین نقش بسزایی دارد (الیتور و همکاران ۲۰۱۱ و حسینی ۲۰۱۴). پدیده‌ی فرسایش و رسوب یکی از مشکل‌های اساسی است که بسیاری از کشورها دچار آن می‌باشند. فرسایش خاک موجب شستشوی عناصر غذایی خاک سطحی شده و درنهایت کاهش حاصلخیزی خاک را در پی خواهد داشت (احمدپور ۲۰۱۴ و سکوتی و همکاران ۲۰۱۵). کاهش حاصلخیزی و به دنبال آن، کاهش پوشش گیاهی موجب افزایش وسعت مناطق فرسایش یافته می‌شود. یکی از مؤثرترین و مناسب‌ترین راه‌های جلوگیری از فرسایش خاک، ایجاد پوشش گیاهی پایدار است (فیض‌نیا ۲۰۰۳ و مارتینز و همکاران ۲۰۱۳).

شایان‌ذکر است که بخش بزرگی از رسوب‌های تولیدشده در آبخیز به‌دلیل وجود رخنمون‌های مارنی است. واژه‌ی

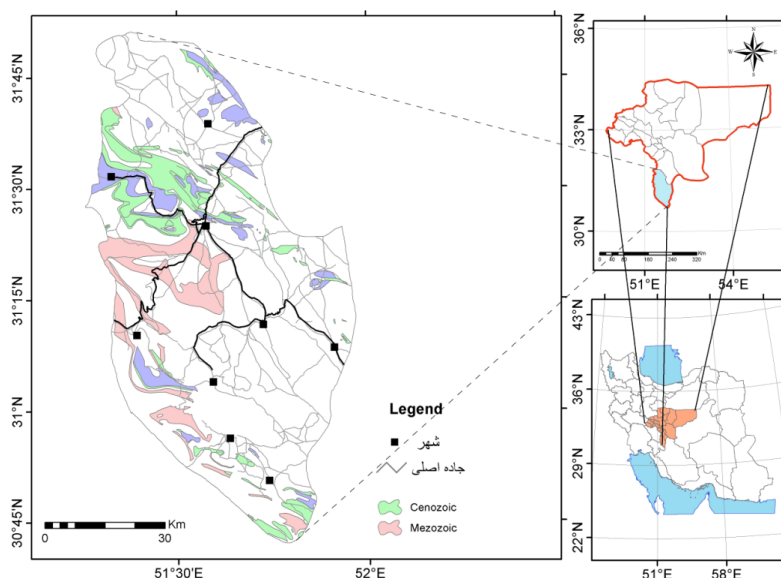
مواد و روش ها

معرفی منطقه مطالعه شده

استان اصفهان در مناطق شرق، شمال و جنوب رخنمون های مارنی فراوان مربوط به دوران دوم و سوم زمین شناسی دارد. منطقه ی سمیرم در طرح طبقه بندی و تعیین شاخص های فرسایش پذیری مارن های استان اصفهان، یکی از مناطق انتخاب شده ی مارنی است که برای انجام این پژوهش برگزیده شد (بهروجی و همکاران ۲۰۲۰). در این منطقه، سازندهای گورپی از مارن، آهک و شیل تشکیل شده اند که از سازندهای دوران دوم و سوم زمین شناسی زاگرس بوده و متعلق به دوره های کرتاسه بالایی تا پالئوسن است. بیشترین رخنمون سازندها در منطقه ی بررسی شده مربوط به مخروط افکنه ها و تراس های آبرفتی جدید است و کمترین رخنمون مربوط به سازند پابده با سنگ شناسی تناوب مارن و آهک مارنی است. سیمای زمین ریخت شناسی منطقه به واحدهای کوهستان، دشت سر پوشیده، دشت سر انتهای و دشت سر فرسایشی تقسیم می شود. بخش بزرگی از آبخیز از واحد کوهستان تشکیل یافته و کمترین قسمت گستره شامل واحد دشت سر فرسایشی است. عامل های ساختاری نقش مؤثری در تکوین زمین ریخت شناسی منطقه دارد (بهروجی و همکاران ۲۰۲۰). پدیده های یخزدگی، ذوب مجدد و کارستی شدن باعث هوازگی واحدهای سنگی منطقه شده است (شکل ۱).

مفید سدها، افزایش هزینه های تصفیه آب آشامیدنی، و کاهش چشم گیری در نفوذ پذیری عرصه های پخش سیلاب به دلیل رسوب کردن کلوئیدهای رسی در این مناطق می شوند (درویش زاده ۱۹۹۱ و کاردوسا و همکاران ۲۰۰۹). به دلیل فقدان پوشش گیاهی فرآیند فرسایش پاشمانی در مارن ها سبب کاهش نفوذ پذیری در خاک شده که در نتیجه انواع مختلف فرسایش مانند فرسایش هزاردره به طور آشکار در مناطق مارنی رخ می دهد (کانتون و همکاران ۲۰۱۱ و گالرت و همکاران ۲۰۱۳).

گونه های مرتعی ویژه ای روی سازندهای مارنی مشاهده شده است که نقش بسیار مؤثری در مهار کردن فرسایش و حفاظت خاک دارند (ویت و همکاران ۲۰۰۴ و زانگ و همکاران ۲۰۱۰). در این پژوهش شناسایی و بررسی نقش گونه های مرتعی بر مهار کردن فرسایش در سازندهای مارنی انتخاب شده در منطقه مارنی شهرستان سمیرم (روستای خفر) انجام شد. در این پژوهش ارتباط بین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مارنی و نوع پوشش گونه های گیاهی در سه نوع مختلف فرسایش (سطحی، شیاری و آبراهه ای) بررسی شد و در نهایت گونه های غالب در سه نوع فرسایش مزبور در این منطقه معرفی شد.



شکل ۱- رخنمون سازندهای مارنی منطقه سمیرم.

Figure 1- Marl formations of Semirum region.

سرد و با روش دومارتن، نیمه‌خشک است (صبحانی و همکاران ۲۰۱۹). نمایی از منطقه‌ی مطالعه‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

متوسط بارندگی سالانه‌ی منطقه ۴۰۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه 18°C ، متوسط دمای بیشینه 18°C و اقلیم منطقه‌ی بررسی‌شده با روش آمبرژه، نیمه‌خشک



شکل ۲- نمایی از مناطق نمونه‌برداری در منطقه سمیرم (روستای خفر).
Figure 2- A view of the sampling areas in Semiram (Khafr village).

خندقی است. این روش در نهایت وضعیت فرسایش را به پنج دسته براساس جمع نمره‌های به‌دست آمده از عامل‌های هفت‌گانه به جزئی، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی می‌کند (نوجوان و همکاران ۲۰۱۲). شناسایی گونه‌های گیاهی در منطقه‌ی بررسی‌شده، با بازدیدهای میدانی انجام شد. با توجه به ترکیب پوشش و مساحت هر یک از گونه‌های گیاهی غالب، تعداد قطعه با روش آماری و اندازه‌ی قطعه با توجه به بزرگ‌ترین سطح تاج‌پوشش گونه‌های گیاهی با روش تصادفی نظام‌مند (سیستماتیک) مشخص شد. بررسی پوشش گیاهی منطقه، با یادداشت‌برداری‌های میدانی در فصل رویش انجام شد و نمونه‌های گیاهی با روش مرسوم مطالعه‌های نظام‌مند جمع‌آوری شدند. هم‌زمان با جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی، یادداشت‌های مربوط به وضعیت بوم‌شناختی و شکل زیستی هر یک از گونه‌های گیاهی به‌صورت مستقیم روی زمین انجام شد. در این پژوهش تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS در قالب طرح کاملاً تصادفی و مقایسه‌ی میانگین‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر پایه‌ی آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شد. همبستگی بین تمام عامل‌های فیزیکی و شیمیایی و تاج‌پوشش گیاهی نیز به‌وسیله‌ی نرم‌افزار آماری R انجام شد. مختصات مناطق نمونه‌برداری در سه نوع فرسایش بررسی‌شده در جدول ۱ آورده شده است.

روش پژوهش

واحدهای یکسان مارنی (از نظر ویژگی‌های درصد شیب، جهت شیب، بلندی و اندازه‌ی پوشش گیاهی) با سه شکل فرسایشی (سطحی، شیاری و آبراهه‌ای) انتخاب شد. از هر نوع فرسایش، سه نمونه خاک از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر در سه تکرار برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌برداری شد. بافت خاک شامل درصد رس، لای و ماسه با روش چگالی‌سنجی (هیدرومتری)، اسیدیته خاک با استفاده از pH متر، هدایت الکتریکی خاک با دستگاه هدایت‌سنج، کلسیم و منیزیم با روش کمپلکسومتری، غلظت سدیم و پتاسیم با روش شعله‌سنجی (فلیم فتومتری)، اندازه‌ی سولفات کلسیم (گچ) با روش استون و درصد کربنات کلسیم (آهک) با استفاده از روش کلسیمتری محاسبه شد. برای ارزیابی وضعیت فرسایش در سه شکل فرسایشی (سطحی، شیاری و آبراهه‌ای) و واحدهای یکسان مارنی و مناطق فاقد پوشش مجاور آن‌ها (شاهد)، فرم BLM تکمیل شد. مدل BLM، که به‌وسیله‌ی دفتر مدیریت زمین‌های آمریکا ابداع شده است، وضعیت فرسایش را برحسب جمع نمره‌های عامل‌های هفت‌گانه ارزیابی می‌کند. این عامل‌ها شامل فرسایش سطحی، لاشبرگ سطحی، پوشش سنگی سطح زمین، آثار نابودی در سطح زمین، فرسایش شیاری سطحی، آثار رسوب‌گذاری تولیدشده از جریان و توسعه‌ی فرسایش

جدول ۱- مشخصات منطقه‌ی انتخاب‌شده‌ی مارنی سمیرم (روستای خفر).

Table 1- Characteristics of the selected marl area of Semiram (Khafr village).

Row	Selected marl area	Location	Longitude	Latitude
1	Semirom	Khafr village, surface erosion	51° 31' 50.6"	31° 02' 5.7"
		Khafr village, rill erosion	51° 31' 50.5"	31° 02' 5.6"
		Khafr village, gully erosion	51° 31' 49.8"	31° 02' 5.5"

نتایج

در این مرحله اطلاعات، سندها و مدرک‌های لازم در زمینه‌ی پوشش گیاهی منطقه‌ی سمیرم با استفاده از طرح شناخت مناطق بوم‌شناختی کشور، گونه‌های گیاهی غالب استان اصفهان، که در سال ۱۳۹۲ انتشار یافته بود، مشخص شد (فیضی و همکاران ۲۰۱۷). گونه‌های گیاهی غالب شناسایی‌شده در منطقه‌ی مارنی انتخاب‌شده در روستای خفر از توابع شهرستان سمیرم *Cousinia cylindracea-Gundelia tournefortii-Astaragalus cephalanthus* بود که با نشان Co.cy-Gu.to-As.ce روی نقشه‌ی پوشش گیاهی استان اصفهان نشان داده شده است. این گونه‌های گیاهی غالب با مساحت ۷۷۳ هکتار، معادل ۰/۰۰۹٪ از گونه‌های گیاهی غالب و ۰/۰۰۷٪ از کل استان اصفهان بین خفر و خینه از توابع شهرستان سمیرم را در بر می‌گیرد. عرصه‌ی گسترش این گونه‌های گیاهی غالب در دامنه‌ی بلندی‌های ۲۰۰۰ تا ۲۳۰۰ متری از سطح دریا، اقلیم مدیترانه‌ای سرد با میانگین بارندگی سالانه ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر با میانگین دمای سالانه ۹ تا ۱۰°C است.

(مرادی و همکاران ۲۰۱۸). این گونه‌های گیاهی غالب

بیشتر روی انواع زمین‌های تپه‌ای، فلاتی و تراس‌های فوقانی دیده می‌شود. بیشترین شیب این زمین‌ها مربوط به طبقه شیب ۵ تا بیش از ۶۰٪ است.

وضعیت فرسایش‌پذیری با روش BLM در منطقه‌ی انتخاب‌شده‌ی مارنی شهرستان سمیرم

برای بررسی فرسایش‌پذیری مناطق مارنی انتخاب‌شده در این پژوهش از روش BLM که یک روش کیفی در ارزیابی اندازه‌ی فرسایش‌پذیری خاک است، استفاده شد. در بازدید از هر مکان و با بررسی عامل‌ها، امتیازدهی به آن‌ها انجام شد و جمع امتیازها به‌عنوان اندازه‌ی فرسایش‌پذیری، مشخص شد. در روش BLM، با بازدید کارشناسی و براساس شرایط منطقه، در سه منطقه‌ی مارنی و با سه شکل فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه‌ای اندازه‌ی فرسایش بررسی شد و با منطقه‌ی شاهد (فاقد پوشش گیاهی) مقایسه شد. وضعیت فرسایش‌پذیری زمین‌های مارنی در شهرستان سمیرم در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- وضعیت فرسایش‌پذیری زمین‌های مارنی در شهرستان سمیرم (روستای خفر) در مکان فرسایش سطحی، شیبی و آبراهه‌ای با روش BLM.

Table 2- Erodibility condition of marl lands in Semiram city (Khafr village) in surface, rill and gully erosion using BLM method.

Description	Score Surface erosion	Description	Score Control (no vegetation)
Movement of soil particles	11	Movement of soil particles	13
Surface litter	10	Surface litter	12
Surface gravel	9	Surface gravel	11
Pedestal erosion	8	Pedestal erosion	13
Rills	6	Rills	7
Flow effects	7	Flow effects	9
Gullies	3	Gullies	8
Total score	54 Moderate	Total score	73 Severe
Description	Score Rill erosion	Description	Score Control (no vegetation)
Movement of soil particles	9	Movement of soil particles	13
Surface litter	6	Surface litter	8
Surface gravel	11	Surface gravel	16
Pedestal erosion	7	Pedestal erosion	11
Rills	9	Rills	17
Flow effects	12	Flow effects	13
Gullies	1	Gullies	2
Total score	55 Moderate	Total score	80 Severe
Description	Score Gully erosion	Description	Score Control (no vegetation)
Movement of soil particles	13	Movement of soil particles	16
Surface litter	9	Surface litter	10
Surface gravel	7	Surface gravel	8
Pedestal erosion	11	Pedestal erosion	12
Rills	7	Rills	9
Flow effects	5	Flow effects	11
Gullies	3	Gullies	4
Total score	59 Moderate	Total score	70 Severe

فرسایش‌پذیری زیاد است. اندازه‌ی فرسایش سطحی، شیبی و آبراهه‌ای در مناطق مارنی با پوشش گیاهی به‌ترتیب ۵۴، ۵۵ و ۵۹ امتیاز با روش کیفی BLM به‌دست آمد.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در سه نوع فرسایش نمونه‌برداری خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری در سه نوع فرسایش سطحی، شیبی و آبراهه‌ای انجام شد و متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک به‌صورت طرح کامل تصادفی با سه تکرار تجزیه و تحلیل شد. نتایج تجزیه‌ی

با توجه به نتایج جدول ۲ زمین‌های مارنی در این سه منطقه‌ی فرسایشی (سطحی، شیبی و آبراهه‌ای) فرسایش‌پذیری زیادی داشتند به طوری که مناطق با پوشش گیاهی وضعیت بهتری در مقایسه با مناطق فاقد پوشش گیاهی داشتند. یعنی در هر سه شکل فرسایش سطحی، شیبی و آبراهه‌ای اندازه‌ی فرسایش‌پذیری در مناطق شاهد (فاقد هر گونه پوشش گیاهی) زیاد بود. امتیاز فرسایش‌پذیری در این سه منطقه‌ی فرسایشی بیش از ۶۰ امتیاز به‌دست آمد که نشان‌دهنده‌ی

احتمالاً آبشویی زمین‌های بالادست و تجمع نمک در نیم‌رخ خاک و فعالیت‌های زیاد ریزوسفر گیاهی باعث شوری بیشتر خاک این زمین‌ها شده است. در خصوص نیتروژن، فسفر و مواد آلی در فرسایش آبراهه‌ای شرایط بهتری برای رشد گیاه وجود داشت و تجمع بقایای گیاهی در این منطقه باعث افزایش مواد آلی خاک شده است. به دلیل رابطه‌ی مستقیم اندازه‌ی مواد آلی خاک با اندازه‌ی کربن آلی، نیتروژن و فسفر خاک، در نهایت باعث افزایش کربن آلی، نیتروژن و فسفر خاک در این منطقه شده است. با نتایج بررسی‌های پوشش گیاهی نیز این یافته تأیید شد و در مقایسه با دو فرسایش دیگر از نظر پوشش گیاهی وضعیت بهتری مشاهده شد (جدول ۴).

واریانس ویژگی‌های مزبور در جدول ۳ آورده شده است. بین ویژگی‌های شوری، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، درصد سدیم تبادلی، مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، گچ، آهک و بافت خاک در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار است و بین اسیدیته خاک در سه شکل فرسایش بررسی‌شده در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار است. (جدول ۳). مقایسه‌ی میانگین‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نشان داد که در فرسایش آبراهه‌ای به دلیل وجود آهک بیشتر در خاک این مناطق اسیدیته‌ی خاک، در مقایسه با دو فرسایش دیگر اندازه‌ی بیشتری داشت و در دامنه‌ی خاک‌های آهکی با اندازه‌ی نسبتاً زیاد آهک می‌باشند. از نظر شوری خاک فرسایش آبراهه‌ای نسبت به دو فرسایش دیگر اندازه‌ی بیشتری را نشان داد که

جدول ۲- نتایج تجزیه‌ی واریانس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در سه نوع فرسایش سطحی، شیار و آبراهه‌ای.

Table 3- The results of variance analysis of soil physical and chemical parameters in three types of surface, rill and gully erosion.

Mean squares														
S.O.V	df	pH	ECe(dS/m)	% N	P(mg/kg)	K(mg/kg)	SAR	% OC	CEC	% CaSO ₄	% T.N.V	% Sand	% Silt	% Clay
Repetition	2	0.006 ns	0.33 **	0.007 **	4.56 **	2446 **	0.02 *	0.006 **	۶/۳ **	0.001 **	68.05 **	3.63 **	68.10 **	51.25 **
Erosion	2	0.25 *	0.79 **	0.003 **	19.00 **	4051 **	0.90 **	0.03 **	1.52 **	0.001 **	3.50 **	84.00 **	28.00 **	16.00 **
Error	4	0.024	0.002	0.0001	0.06	13.5	0.003	0.001	0.005	0.0001	0.011	0.28	0.09	0.053
CV		1.73	10.07	10.13	10.10	10.00	11.60	10.17	10.00	10.30	10.00	10.70	10.00	10.01

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

**Significant at 1 percent probability level

جدول ۴- مقایسه‌ی میانگین‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر پایه‌ی آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد.

Table 4- Mean comparison of soil physical and chemical parameters based on LSD test at 1% probability level.

Type of erosion	pH	ECe (dS/m)	% N	(mg/kg) P	(mg/kg) K	SAR	%OC	CEC(Cmol/kg)	% CaSO ₄	% T.N.V	% Sand	% Silt	% Clay
Surface	7.54 b	3.20 b	0.04 c	10.00 c	315.00 a	1.55 a	0.35 c	13.71 c	0.02 a	46.40 b	13.00 b	47.00 b	44.00 b
Rill	7.30 b	2.90 c	0.05 b	12.00 b	310.00 a	0.83 b	0.48 b	15.11 a	0.01 b	46.06 b	5.00 c	51.00 a	40.00 a
Gully	8.11 a	3.90 a	0.06 a	15.00 a	249.00 b	0.45 c	0.56 a	14.62 b	0.02 a	48.40 a	15.00 a	45.00 c	40.00 a

حرف‌های مشابه در یک ستون، نشان‌دهنده‌ی معنی‌دار نبودن تفاوت‌ها با آزمون LSD در سطح یک درصد است.

The same letters in a column indicate that the differences are not significant with the LSD test at 1% level.

یکدیگر بودند. رابطه‌ی همبستگی با توجه به گونه‌های گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها متفاوت است. همچنین شوری خاک، درصد سدیم تبادلی با عامل تاج‌پوشش گیاهی همبستگی مثبت و متوسطی داشت ولی با آهک خاک همبستگی ضعیفی (۰/۲۹٪) را نشان داد. کمترین همبستگی ضعیف و منفی با عامل تاج‌پوشش گیاهی در لای و رس به ترتیب با ۰/۱۵ و ۰/۱۸٪ مشاهده شد (جدول ۵).

همبستگی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها و درصد تاج‌پوشش گیاهی

برای بررسی اثرات متقابل عامل‌های خاکی و پوشش گیاهی از روش همبستگی استفاده شد (جدول ۵). اثرات متقابل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها و عامل تاج‌پوشش گیاهی در سه نوع فرسایش سطحی، شیار و آبراهه‌ای نشان داد که عامل تاج‌پوشش گیاهی با درصد گچ و درصد شن به ترتیب ۸۶ و ۸۸٪ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ همبستگی مثبت داشت و تحت تأثیر

جدول ۵- ضریب‌های همبستگی پیرسون بین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها با عامل پوشش گیاهی.

Table 5- Pearson's correlation coefficients between some physical and chemical characteristics of marls with vegetation factor.

	Canopy Cover	EC	SAR	CaSO ₄	CaCO ₃	Sand	Silt	Clay
Canopy Cover	1							
EC	0.63**	1						
SAR	0.63**	-0.35*	1					
CaSO ₄	0.86**	0.74**	-0.23 ^{ns}	1				
CaCO ₃	0.29*	0.38*	0.36*	-0.2 ^{ns}	1			
Sand	0.88**	0.81**	0.03 ^{ns}	0.88**	0.08 ^{ns}	1		
Silt	-0.15 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.22 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	0.80**	*-0.36*	1	
Clay	-0.18 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.08 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	0.88**	-0.29 ^{ns}	0.88**	

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ و ۹۹٪، ns: نبودن تفاوت معنی‌دار.

* and **: Significant at 95 and 99 percent probability level respectively, ns: no significant.

گونه‌های گیاهی در شکل‌های مختلف فرسایش سمیرم-روستای خفر، فهرست گونه‌های گیاهی در سه با بازدیدهای میدانی و بررسی پوشش گیاهی با روش تصادفی-نظاممند در منطقه‌ی آبرفت زمین‌های مارنی (جدول ۶).

جدول ۶- گونه‌های گیاهی منطقه‌ی انتخاب‌شده‌ی مارنی سمیرم (روستای خفر).

Table 6- Plant species of selected marl area in Semirom (Khafr village).

Type of erosion	Plant species	Plant family
Surface	<i>Cousinia cylindracea</i>	Asteraceae
	<i>Astragalus cephalanthus</i>	Fabaceae
	<i>Gundelia tournefortii</i>	Asteraceae
	<i>Heliotropium europaeum</i>	Boraginaceae
	<i>Centaurea virgata</i>	Asteraceae
	<i>Euphorbia sp.</i>	Euphorbiaceae
Rill	<i>Astragalus cephalanthus</i>	Fabaceae
	<i>Ephedra sp</i>	Ephedraceae
	<i>Heliotropium europaeum</i>	Boraginaceae
	<i>Cousinia cylindracea</i>	Asteraceae
	<i>stachys lavandulifolia</i>	Lamiaceae
	<i>phlomis persica</i>	Lamiaceae
Gully	<i>Gundelia tournefortii</i>	Asteraceae
	<i>Centaurea virgata</i>	Asteraceae
	<i>Bothriochloa ischaemum</i>	Poaceae
	<i>Elymus gentryi</i>	Poaceae
	<i>Ephedra sp</i>	Ephedraceae
	<i>Gundelia tournefortii</i>	Asteraceae
	<i>Cousinia cylindracea</i>	Asteraceae
	<i>Cousinia bachtiarica</i>	Asteraceae
	<i>Scabiosa flavida</i>	Caprifoliaceae
	<i>Poa bulbosa</i>	Poaceae

داشت به‌طوری‌که بیشترین و کمترین درصد لاشبرگ به- ترتیب در فرسایش آبراهه‌ای (۶/۴۵٪) و فرسایش شیاری (۱/۶۵٪) به‌دست آمد. نتایج بررسی شکل رویشی گیاهان مطالعه شده نشان داد که در مجموع، پهن‌برگان علفی و در رتبه بعدی شکل رویشی بوته‌ای بیشترین تراکم را داشتند. در بازدیدهای میدانی همین وضعیت دیده شد. البته از نظر ترکیب تراکم و تاج‌پوشش گیاهی اختلافاتی بین شکل‌های مختلف فرسایش در منطقه مشاهده شد.

نتایج داده‌های پوشش گیاهی منطقه با روش تصادفی-نظاممند از نظر تراکم، تاج‌پوشش، لاشبرگ و سنگریزه در سه نوع فرسایش نشان داد که بیشترین و کمترین تراکم پوشش گیاهی در این منطقه به‌ترتیب مربوط به فرسایش آبراهه‌ای و شیاری بوده است (جدول ۵). بیشترین و کمترین درصد تاج‌پوشش گیاهان منطقه به‌ترتیب در فرسایش سطحی و شیاری دیده شد. پوشش لاشبرگ نیز در وضعیت‌های مختلف فرسایشی تفاوت‌هایی

نوع گونه‌ی گیاهان منطقه نشان داد که در فرسایش سطحی گونه‌ی *Astragalus cephalantus* در فرسایش شیب‌اری گونه‌ی *Cousinia cylindracea* و در فرسایش آبراه‌های گونه‌ی *Elymus gentry* به ترتیب ۳۴/۲، ۳۳/۳ و ۲۲/۰۵ بیشترین درصد ترکیب پوشش گیاهی را داشتند (جدول ۷).

به‌طوری‌که در فرسایش آبراه‌های پهن‌برگان علفی بیشترین تراکم (۷۸/۹٪) و بیشترین درصد از کل تاج پوشش (۴۵/۶٪) را داشتند. در حالی که در فرسایش سطحی این نسبت‌ها به‌ترتیب، ۷۵/۵ و ۳۶/۹٪ بود و در فرسایش شیب‌اری به‌ترتیب ۴۴/۶ و ۶۵/۸٪ بود. شکل رویشی بوته‌ای در فرسایش‌های سطحی و شیب‌اری کمترین درصد ترکیب تراکم و تاج پوشش را داشت. نتایج بررسی

جدول ۷- ویژگی‌های پوشش گیاهی به تفکیک شکل رویشی و نوع فرسایش در منطقه‌ی سمیرم.

Table 7- Vegetation characteristics by growth form and type of erosion in Semirom region.

Type of erosion	Density composition (%)			Mean density (/m ²)	Canopy cover composition (%)				Mean canopy cover (%)	Litter (%)	Gravel (%)
	Grass	Forb	Shrub		Grass	Forb	Shrub	Annulas			
Surface	0	75.50	27.30	0.73	0	36.90	34.20	27.00	2.22	2.06	42.80
Rill	0	44.60	34.00	0.47	0	65.80	19.10	13.80	1.20	1.65	3.40
Gully	16.80	78.90	0	3.33	30.0	45.6	0	16.90	1.95	6.45	26.20

متر دیده می‌شود. این گیاه مقاومت نسبتاً زیادی نسبت به سرما و دوره‌ی نسبتاً خشک دارد و به‌دلیل ساختار ریشه‌ای گسترده، عمیق و یقه نسبتاً فشرده، افزون بر تحمل چرای سنگین در مهار کردن فرسایش و حفاظت خاک به‌ویژه در شیب‌های تند بسیار مؤثر است (شکل ۳).

گونه‌ی گیاهی *Elymus gentry* گیاهی علفی، چندساله، دسته‌ای کم و بیش انبوه بدون ساقه‌های زیرزمینی و با ساقه‌های ماشوره‌ای به بلندی ۹۰ سانتی‌متر بدون کرک در بخش پایینی است. زمان گل‌دهی این گیاه در خرداد و پاییز و زمان بذردهی آن در مرداد یا شهریور است. این گیاه در دامنه‌های کوهستانی و در بلندی ۲۳۰۰ تا ۲۷۰۰



Elymus gentry
Gully erosion



Cousinia cylindracea
Rill erosion



Astragalus cephalantus
Surface erosion

شکل ۳- گونه‌های گیاهی غالب در سه نوع فرسایش در منطقه‌ی انتخاب‌شده‌ی مارنی سمیرم.

Figure 3- Dominant plant species in three types of erosion in the selected marl area of Semirom.

ساقه‌های کوتاه و درهم است (مظفریان ۲۰۱۲). مرحله‌های پدیده‌شناسی گونه‌های گیاهی انتخاب‌شده (*Astragalus cephalantus*) در فرسایش سطحی به این صورت است: شروع رشد از اوایل فروردین، رشد رویشی از اواسط فروردین تا اوایل خرداد، گل‌دهی از اوایل خرداد تا اواسط خرداد، میوه‌دهی از اواسط خرداد و رسیدن میوه از اواخر خرداد تا اوایل تیر، خواب تابستانه در اواخر تیر و خواب زمستانه در اواخر آبان. مرحله‌های پدیده‌شناسی گونه‌های گیاهی انتخاب‌شده

گونه‌ی گیاهی *Cousinia cylindracea* گیاهی چندساله، ساقه به بلندی ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر، از قاعده با شاخه‌های فراوان، دیهیمی واگرا، پرکپه، با برگ‌های انبوه است. این گیاه متعلق به خانواده‌ی *Asteraceae* با حدود ۳۰۰۰ گونه و ۱۷۰ جنس است. گیاهان این خانواده عموماً علفی و به‌ندرت چوبی است (شکل ۴). گونه‌ی گیاهی *Astragalus cephalantus* گیاهی چندساله، بوته‌ای، بالشتکی، خارپشتی، اغلب به بلندی ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، با انشعاب‌های بسیار متراکم،

غذایی بیشتری را موجب شده است (اعظمی و همکاران ۲۰۱۸). همچنین تأثیر تهویه‌ی زیاد خاک در توسعه‌ی پوشش گیاهی از رابطه‌ی مثبت و زیاد درصد پوشش گیاهی با درصد شن آشکار است (ابراهیمی و همکاران ۲۰۱۴). در هر سه نوع فرسایش بررسی شده، فرسایش در مناطق با پوشش گیاهی کمتر مشاهده شد. با روش کیفی ارزیابی فرسایش و با استفاده از روش BLM، اندازه‌ی فرسایش در مناطق با پوشش گیاهی در سه نوع فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه‌ای به ترتیب ۵۴، ۵۵، و ۵۹ به دست آمد. این داده‌ها نشان‌دهنده‌ی نقش پوشش گیاهی در کاهش هر سه نوع فرسایش خاک است که با نتایج نوجوان و همکاران (۲۰۲۰) و وانوپن و همکاران (۲۰۱۷) هماهنگی دارد. وانوپن و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود، نقش پوشش گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را در کاهش فرسایش‌پذیری خاک به خوبی نشان دادند. استقرار پوشش گیاهی سازگار با این مناطق مهم‌ترین عامل در کاهش هدررفت خاک است که موجب تثبیت زمین‌های مارنی خواهد شد (عسگری و همکاران ۲۰۲۲). در مجموع از نظر شکل روشی بررسی شده در این سه نوع فرسایش پهن‌برگان علفی بیشترین تراکم را داشتند و سپس گیاهان بوته‌ای در مرتبه‌ی بعدی قرار گرفتند که همین وضعیت در بررسی درصد پوشش گیاهی نیز مشاهده شد. البته باید توجه داشت که در بین شکل‌های مختلف فرسایش اختلافاتی نیز وجود دارد. به‌طوری‌که در فرسایش آبراهه‌ای به‌علت تثبیت شدن آبراهه و افزایش مواد مغذی در این مناطق پهن‌برگان علفی بیشترین تراکم (۷۸/۹٪) را داشتند. همچنین به‌منظور توسعه‌ی پایدار و حفاظت خاک در زمین‌های مارنی با رطوبت کم و نفوذپذیری ناچیز، شناخت و معرفی چنین گونه‌هایی برای تثبیت زیستی با توجه به اقلیم و ویژگی‌های خاکشناسی اهمیت زیادی دارد تا افزون بر حفاظت خاک، فرصت زادآوری و حفظ این گونه‌ها نیز فراهم آید.

سیاسگزاری

این مقاله بخشی از نتایج طرح شناسایی و بررسی نقش گونه‌های مرتعی بر مهارکردن فرسایش در سازندهای مارنی انتخاب شده در استان اصفهان است که در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان و در بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شد. به این وسیله از تمامی همکارانی که ما را در اجرای این طرح یاری کردند تقدیر و تشکر می‌کنیم.

Cousinia cylindracea) در فرسایش شیاری به این صورت است: شروع رشد از اوایل فروردین، رشد رویشی از اواسط فروردین تا اواسط خرداد، گلدهی از اواخر خرداد تا اوایل تیر، میوه دهی از اواسط تیر و رسیدن میوه در مرداد و خواب زمستانه در اواخر آبان. مرحله‌های پدیده‌شناسی گونه‌های گیاهی انتخاب شده (*Elymus gentryi*) در فرسایش آبراهه‌ای به این صورت است: شروع رشد از اوایل فروردین، رشد رویشی از اواسط فروردین تا اواسط خرداد، گل‌دهی از اواخر خرداد تا اوایل تیر، میوه‌دهی از اواسط تیر و رسیدن میوه در مرداد، خواب تابستانه در اواخر مرداد، رشد مجدد در شرایط وجود باران از اوایل پاییز و اواخر آبان.

بحث و نتیجه‌گیری

حساس‌ترین زمین‌ها در برابر فرسایش زمین‌های مارنی است و آثار نابودی شدیدی از خود نشان می‌دهند. این زمین‌ها نقش مهمی در تولید رسوب داشته‌اند و همواره در آبخیز کشور مشکلات زیادی را ایجاد می‌کنند. یکی از روش‌های مؤثر برای مهارکردن فرسایش در این زمین‌ها احیای خاک‌های نابودشده با استقرار پوشش گیاهی و یا با شیوه‌ی زیستی است (سلیمان‌پور و همکاران، ۲۰۲۰). به‌طور شگفت‌انگیزی در برخی از مناطق مارنی پوشش گیاهی را می‌توان مشاهده کرد که سبب پایداری خاک و مهارکردن سرعت رسوب‌زایی شده است. نتایج همبستگی عامل‌های خاکی فیزیکی و شیمیایی با تاج-پوشش گیاهی در آبرفت زمین‌های مارن‌های منطقه‌ی سمیرم در سه نوع فرسایش سطحی، شیاری و آبراهه‌ای نشان داد که عامل تاج‌پوشش گیاهی با ۸۶٪ گج در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ همبستگی داشت که با نتایج باقریان و همکاران (۲۰۰۹)، سکوتی و همکاران (۲۰۱۹)، هماهنگی دارد. همچنین می‌توان گفت که پوشش گیاهی با شوری خاک، درصد سدیم تبادلی، گج، آهک و شن خاک همبستگی مثبت داشت ولی با رس و لای خاک همبستگی ضعیف و منفی داشت. اندازه‌ی همبستگی با توجه به گونه‌های گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها متفاوت است. گالرت و همکاران (۲۰۱۳)، یو و همکاران (۲۰۱۷) و زنگرو و همکاران (۲۰۱۲) نیز در پژوهش‌های خود این یافته را گزارش دادند. همبستگی زیاد پوشش گیاهی با اندازه‌ی SAR خاک احتمالاً بیان‌گر سدیم دوستی این گیاهان است. از آنجایی که اندازه‌ی شوری این خاک‌ها زیاد نیست همبستگی زیاد پوشش گیاهی با اندازه‌ی EC خاک نیز احتمالاً به‌علت تجمع مواد غذایی بیشتر در خاک‌هایی با EC زیادتر است که در نهایت تأمین مواد

فهرست منابع

- Aazami F, Heydari M. 2018. Response of Vegetation Composition and Diversity to Degradation to Soil Physical, Chemical and Biological Properties, Zagros Forest Ecosystems. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 31(2): 221-234. (In Persian). <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1397.31.2.2.0>.
- Ahmadvpour M. 2014. Effect of Some Native Grass Species on Soil Conservation of Marl Lands of Loshan. Ms Thesis. Faculty of Natural Resources, University of Guilan. 155 p. (In Persian).
- Alatorre LC, Beguería S, Vicente-Serrano S. 2011. Evolution of Vegetation Activity on Vegetated, Eroded, and Erosion Risk Areas in the Central Spanish Pyrenees, Using Multitemporal Landsat Imagery. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(3): 309-319. -<https://doi.org/10.1002/esp.2038>.
- Alonso E, Pinyol NM. 2015. Slope Stability in Slightly Fissured Clay Stones and Marls. *Landslides*, 12(4): 643-656. <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0526-5>.
- Asgari S, peravan HR, Shadfar S, Mohamadpoor M, Tahmasebi M. 2022. The Effect of Pasture Vegetation on Marl Formations in the Ilam city Limits. *Applied Research in Geographical Sciences*, 22 (67):137-151. (In Persian). <https://doi.org/10.52547/jgs.22.67.137>.
- Bagheriankalat A. 2009. Investigation of the Relationship Between Physical And Chemical Properties of Soil and Vegetation on Marl Formations in Sabzevar Region. Final Report of the Research Project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 105 p. (In Persian).
- Bahrouji F, Peyrowan HR. 2020. An Accurate and Practical Analysis for Neogene Marls in Central Regions of Iran. *Indian Journal of Science and Technology*, 13(43): 4417-4433. (In Persian). <https://doi.org/10.17485/IJST/v13i43.1146>.
- Bierba P, Wüdsch M, Michalzik B. 2014. The Impact of Vegetation on the Stability of Dispersive Material Forming biancane Badlands in Val d'Orcia, Tuscany, Central Italy. *Catena*, 113: 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.08.003>.
- Cantón Y, Solé-Benet A, Vente J, Boix-Fayos C, Calvo-Cases A, Asensio C, Puigdefàbregas J. 2011. A Review of Run-off Generation and Soil Erosion Across Scales in Semiarid South-Eastern Spain. *Journal of Arid Environments*, 75(12): 1254-1261. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.03.004>.
- Cardoso R, Alonso E. 2009. Degradation of Compacted Marls. A Micro Structural Investigation. *Soils and Foundations*, 49(3): 315-328. <https://doi.org/10.3208/sandf.49.315>.
- Carriere A, Le Bouteiller C, Tucker GE, Klotz S, Naaim M. 2020. Impact of Vegetation on Erosion: Insights from the Calibration and Test of a Landscape Evolution Model in Alpine Badland Catchments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(5): 1085-1099. -<https://doi.org/10.1002/esp.4741>.
- Darvishzadeh A. 1991. *Geology of Iran*. Danesh Emrooz Publishing, Tehran. 274 p. (In Persian).
- Ebrahim-Zadeh S.A, Aliasgharzad N, and Najafi N.A. 2014. Impressionability of Some Soil Ecophysiological Indices by Land Use Changes in Suldoz Plain (Naqadeh, West Azarbaijan). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 23(4):41-56. (In Persian).

- Elert K, Azañón JM, Nieto F. 2018. Smectite Formation Upon Lime Stabilization of Expansive Marls. *Applied Clay Science*, 158: 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.03.014>.
- Feizi M, Alijani V, Jaberalansar Z, Khodaghali M, Shirani K. 2017. Ecological Regions of Iran, Vegetatin Types of Esfahan Province. Institute of Forest and Rangelands. 289 p. (In Persian).
- Feiznia S, Sharifi F. 2003. Sensitivity of Geology Formation to Erosion in Chandabe Basin of Varamin Pajouhesh and Sazandegi, 16(4): 33-38. (In Persian).
- Foroumadi M, Vaezi AR. 2017. Physical Degradation and Particle Detachment Capacity of Rill in Relation to Rainfall Intensity and Raindrop Impact in a Marl Soil. *Journal of Water and-Soil Science*, 21(2): 263-277. (In Persian). <https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.21.2.263>.
- Gallart F, Marignani M, Pérez-Gallego N, Santi E, and Maccherini S. 2013. Thirty Years of Studies on Badlands, from Physical to Vegetational Approaches. A Succinct Review. *Catena*, 106, pp.4-11. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.02.008>.
- Hosseini M. 2014. Effect of Selected Rangeland Plant Species and Parent Materials on Vertical Distribution of Major Soil Physical, Chemical, and Clay Mineralogical Properties in Kuhrang Area. Ms Thesis. Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology. 122 p. (In Persian).
- Lal R. 2015. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7(5): 5875-5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>.
- Martínez-Murillo JF, Nadal-Romero E, Regüés D, Cerdà A, Poesen J. 2013. Soil Erosion and Hydrology of the Western Mediterranean Badlands Throughout Rainfall Simulation Experiments: A review. *Catena*, 106: 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.06.001>.
- Moradi E, Heshmati G, Dehghani A. 2018. Analysis of Plants Patches Spatial Pattern and Dynamics in Three Forage Capacities (Case study: Semirom Mountain Rangelands). *Rangeland*, 12(2): 154-168. (In Persian). <https://doi.org/20.1001.1.20080891.1397.12.2.3.9>.
- Mozaffarian V. 2012. Identification of Medicinal and Aromatic Plants of Iran. Farhang Moasevr Press, Tehran.1444p. (In Persian).
- Nojavan M, Mohamad A, Gholami V. 2012. Determination of Erosion Intensity Using Fargas and BLM Models Case: Bandar Watershed. *Geography and Development*, 29(10):119-130. (In Persian).
- Sakoti R. 2019. Investigation of the Role of Rangeland Species Located on Marl Formations in Erosion Control, A Case Study of Khoy City. Final Report of the Research Project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 112 p. (In Persian).
- Sobhani B, Ahmadyan M, Jahanbakhsh AS. 2019. The Impacts of Climate Change on Growth Period and Water Requirement of the Apple Tree (Case Study: Semirom and Urmia, Iran). *Physical Geography Research Quarterly*, 51(3): 529-544. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/JPH-GR.2019.273067.1007327>.
- Sokouti O, Peyrvan HR, Nikkami D, Mahdian M. 2015. Investigation on Erodibility and Soil Loss of Marly Derived Soils in West Azerbaijan Province, Iran. *Watershed Engineering and Management*, 7(4): 379-388. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2015.103084>.
- Soleimanpoor M, Peyrovn MR, Hosseini M, Ghahari G, Hatami A, Keshavarzi H. 2020. Establishment and Study of Vegetation

- Scan of Marl Formations to Determine their Conservation Role in the West of Maharloo Watershed. Final Report of the Research Project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 120 p. (In Persian).
- Vannoppen W, De Baets S, Keeble J, Dong Y, Poesen J. 2017. How do Root and Soil Characteristics Affect the Erosion-Reducing Potential of Plant Species. *Ecological Engineering*, 109: 186-195. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.001>.
- Whit D, Hood CS. 2004. Vegetation Patterns and Environmental Gradients in Tropical Dry Forests of the Northern Yucatan Peninsula. *Vegetation Science*, 15(2):151-160. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02250.x>.
- Yue G, Zhao L, Wang Z, Zhang L, Zou D, Niu L, Zhao Y, and Qiao Y. 2017. Spatial Variation in Biomass and Its Relationships to Soil Properties in the Permafrost Regions Along the Qinghai-Tibet Railway. *Environmental Engineering Science*, 34(2), pp.130-137. <https://doi.org/10.1089/ees.2014.0504>.
- Zengru W, Guojing Y, Shuhua Y, Zhen W, Jinyue G, Xiaobo H, and Baisheng Y. 2012. Different Response of Vegetation to Permafrost Change in Semi-Arid and Semi-Humid Regions in Qinghai-Tibetan Plateau. *Environmental Earth Sciences*. 66(3):985-991. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1405-1>.
- Zhang j, Dong TY. 2010. Factors Affecting Species Diversity of Plant Communities and the Restoration Process in the Loess Area of China. *Ecological Engineering*, 36(3):345-350. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.04.001>.



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Introduction of Suitable Rangeland Species in Habitat Soil Diversity and Different Forms of Marl Land Erosion in Semirom City

Farzad Parsadoust^{*1}, Hamid Reza Peyrowan²

1-Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

2- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction and Objective

Marl lands are very sensitive to erosion in arid and semi-arid regions and are one of the most important sources of sediment production. Research has shown that there is a relationship between the geological characteristics of marls and different forms of erosion. In some marl formations, rangeland plant species have grown and stabilized which causes erosion control and soil stability. In order to better understand the status of these ecosystems, this study was conducted to identify the established plant species on marl lands and investigate the relationship between vegetation and physical and chemical properties of marl soil in three types of surface, rill and gully erosion in Semirom region.

Materials and Methods

Semirom is one of the marl regions that was selected for the current study in the classification and determination of marl erodibility indices of Isfahan province. In order to evaluate the erosion condition in three forms of surface, rill and gully erosion, BLM (Bureau of Land Management) form was completed in the same marl units and areas without vegetation cover. In the next step, three soil samples were collected from 0-20 cm depth in three repetitions in marl units including three forms of erosion. Physical and chemical soil properties including texture, EC, N, P, K, SAR, OC, CEC, CaSO₄, pH, T.N.V and CaCO₃ were measured. For vegetation studies in the study area, after preparing the floristic

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: farzadeparsa@gmail.com

Citation: Parsadoust, F., Peyrowan, H.R. 2023. Introduction of Suitable Rangeland Species in Habitat Soil Diversity and Different Forms of Marl Land Erosion in Semirom City. Watershed Management Research. 36(3): 55-69.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.358305.1467

Received: 07 May 2022, **Received in revised form:** 03 October 2022, **Accepted:** 21 December 2022,

Published online: 23 September 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.3, Ser. No: 140, Autumn 2023, pp. 55-69.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)



list of plant species, vegetation characteristics including canopy cover percentage and density per plant species, as well as the percentage of gravel and litter were measured and recorded. The statistical analysis of the data was done as a completely random design using SAS software and the averages of soil properties were compared according to the Least Significant Difference (LSD). Correlation analysis between soil and vegetation characteristics was also done by R statistical software.

Results and Discussion

The results showed that in terms of erodibility, Marl lands with vegetation cover, had a better condition than without vegetation. The soil in the gully erosion was in better conditions in terms of nitrogen, phosphorus and organic matter and had better vegetation than the other two types of erosion. The results of correlation between physical and chemical soil properties and vegetation showed that the canopy cover factor was 95% and 86% correlated with the percentage of gypsum and the percentage of sand, respectively. The dominant species which showed the most protection capacity against erosion in surface, Rill and Gully erosions were *Astragalus cephalantus*, *Cousinia cylindracea* and *Elymus gentry* with 34.2, 33.3 and 22.05 percent of the highest combination of density and canopy cover, respectively. In terms of growth form, in all three types of erosion, forbs had the highest percentage of density and canopy cover.

Conclusion and Suggestions

The results of current research could be considered as a novel achievement in order to prevent soil erosion through establish appropriate species in marl lands with similar climatic conditions.

Keywords: BLM method, marl, rangeland plant species, soil conservation



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آب‌خیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مركز تحقيقات، آموزش و ترويج كشاورزي

تغییرات زمانی و مکانی فرساینده‌گی باران با اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در بخش ایرانی آب‌خیز دریای خزر

خدیدجه حاجی^۱، عبدالواحد خالدی درویشان^{۲*}، رئوف مصطفی زاده^۳

۱ - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب‌خیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲ - دانشیار گروه مهندسی آب‌خیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۳ - دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده‌ی مدیریت آب، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

آگاهی از الگوی تغییرات مکانی و زمانی فرساینده‌گی باران برای بهبود برآوردهای فرسایش خاک به‌ویژه با در نظر گرفتن پوشش برف در ماه‌های مختلف ضروری است. در آب‌خیز دریای خزر به‌دلیل فاصله‌ی کم بین مناطق کوهستانی و جلگه‌ی پرباران، برآورد عامل فرساینده‌گی باران بدون اعمال ضریب‌های اصلاحی پوشش برف صحت و دقت لازم را ندارد. بر این اساس این پژوهش با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی عامل فرساینده‌گی باران با اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در بخش ایرانی بزرگ آب‌خیز دریای خزر برنامه‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

برای تعیین عامل فرساینده‌گی باران ماهانه، فصلی و سالانه، داده‌های بارندگی ماهانه‌ی ۵۶ ایستگاه همدید (سینوپتیک) بزرگ آب‌خیز دریای خزر از سازمان هواشناسی کشور و سال‌نامه‌های آماری با دوره‌ی مشترک آماری ۲۵-۲۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۹) جمع‌آوری شد. در نتیجه لایه‌ی فرساینده‌گی باران در پایه‌های زمانی مختلف با استفاده از روش زمین آماری کوکریجینگ با متغیر کمکی بلندی از سطح دریا با ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر به‌عنوان معمول‌ترین شاخص ارزیابی و انتخاب روش بهینه استفاده شد. سپس لایه‌ی پوشش برف ماهانه از محصول MOD10CM تهیه و نقشه‌ی فرساینده‌گی باران اصلاح شد.

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: حاجی، خ.، خالدی درویشان، ع.، مصطفی زاده، ر. ۱۴۰۲. تغییرات زمانی و مکانی فرساینده‌گی باران با اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در بخش ایرانی آب‌خیز دریای خزر. پژوهش‌های آب‌خیزداری، ۳۶ (۳): ۸۹-۷۰.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.359311.1484

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۱، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۰۷/۱۲، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۹/۳۰، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آب‌خیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۰، پاییز ۱۴۰۲، صفحه‌های ۷۰ تا ۸۹.

© نویسندگان

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



نتایج و بحث

براساس نتایج، اندازه‌ی میانگین عامل فرساینده‌ی باران سالانه در بخش ایرانی آبخیز دریای خزر برابر با $254/61$ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت به‌دست آمد، در حالی که با اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف، فرساینده‌ی باران سالانه به $210/53$ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت کاهش یافت. هم‌چنین ایستگاه‌های همدید بندرانزلی و منجیل به‌ترتیب بیشترین و کمترین اندازه‌ی میانگین عامل فرساینده‌ی باران سالانه (به‌ترتیب $749/30$ و $162/87$ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت) را داشتند. افزون بر این بیشترین اندازه‌های میانگین فرساینده‌ی باران ماهانه با اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در آوریل، اکتبر و نوامبر به‌ترتیب برابر با $27/27$ ، $25/81$ ، $25/56$ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت مشاهده شد. از طرفی $12/81\%$ از مساحت منطقه‌ی مطالعه شده در طبقه‌های متوسط تا خیلی زیاد فرساینده‌ی باران در بخش شمالی بزرگ آبخیز دریای خزر بود، که می‌تواند در اولویت‌بندی مناطق مختلف برای انجام اقدام‌های حفاظتی به‌منظور کاهش اثر عامل فرساینده‌ی باران بر اندازه‌ی فرسایش خاک و تولید رسوب استفاده شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

براساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت که نوسان فرساینده‌ی باران در ماه‌ها و فصل‌های مختلف نیز متأثر از توزیع زمانی بارش در طول سال است. بنابراین بیشترین اندازه‌های فرساینده‌ی باران در اکثر مناطق مطالعه شده مطابق با زمان‌های اصلی فعالیت‌های کشاورزی (کاشت و برداشت محصولات) است و زمان‌های بحرانی برای فرسایش خاک به‌شمار می‌روند. نتایج بررسی الگوی مکانی فرساینده‌ی باران در بخش ایرانی بزرگ آبخیز دریای خزر نشان داد که تغییرات نسبی زیادی بین مناطق مختلف از جلگه تا بخش‌های بلند است. این الگو اگرچه تا حدی منطبق بر الگوی تغییرات اقلیمی از مناطق خشک‌تر و کم‌باران‌تر به مناطق مرطوب‌تر و پر باران‌تر است، اما نوع نزولات جوی و به‌طور ویژه برف در مناطق بلند باعث کاهش فرساینده‌ی باران در این مناطق شده است. بنابراین در این پژوهش ارزیابی زمانی فرساینده‌ی باران با اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در آن، با زمان‌بندی حضور و تراکم پوشش گیاهی در سطح خاک نتایج قابل استنادتری برای استفاده‌ی مدیران و برنامه‌ریزان آمایش سرزمین به‌ویژه در بخش کشاورزی برای انتخاب نوع محصولات مناسب برای هر منطقه خواهد داشت.

واژگان کلیدی: نابودی خاک، زمین آمار، سطح پوشش برف، شاخص فرساینده‌ی باران، مدیریت آبخیز

مقدمه

خطر فرسایش افزایش می‌یابد (عرب‌خدری و همکاران ۲۰۲۱). برآورد فرسایش ناشی از باران به‌منظور پیش‌بینی فرسایش خاک و بهبود عملکرد اقدام‌های حفاظت خاک ضروری است. فرساینده‌ی باران عامل مهمی در ایجاد سیل، زمین‌لغزش، هدررفت خاک، تولید رسوب است و در پدیده‌هایی از بارندگی که با شدت زیاد رخ می‌دهند، می‌باشد (برخورداری و همکاران ۲۰۱۵؛ راج و همکاران ۲۰۲۲الف).

فرساینده‌ی باران معمولاً در قالب شاخص‌هایی که مبتنی بر ویژگی‌های بارندگی است، بیان می‌شود و در دامنه‌ی گسترده‌ای از مدل‌های برآورد فرسایش خاک به‌ویژه مدل‌های خانواده‌ی معادله‌ی جهانی هدررفت خاک (USLE)^۳ و نسخه‌ی معروف اصلاح شده‌ی آن (RUSLE)^۴ استفاده شده است. به‌طور کلی شاخص‌های فرساینده‌ی باران را می‌توان به دو گروه

امروزه فرسایش خاک یکی از مسئله‌های مطرح و مهم در کشاورزی و آبخیزداری است و هم‌چنین به‌عنوان یک مشکل مهم اجتماعی و اقتصادی و یک عامل ضروری در ارزیابی سلامت و کارکرد بوم‌سازگان است، که پژوهش‌گران با انجام پژوهش‌های مختلف به‌دنبال راهکارهایی برای به حداقل رساندن آن هستند (صادقی و حزب‌اوی ۲۰۱۵؛ خالدی‌درویشان و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین فرسایش خاک تابعی از فرساینده‌ی باران^۱ و فرسایش‌پذیری خاک^۲ است که فرساینده‌ی باران به‌عنوان نیروی محرکه و فرسایش‌پذیری به‌عنوان نیروی مقاوم عمل می‌کنند. در بین عامل‌های اقلیمی، بارندگی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عامل‌های فرساینده‌ی خاک به‌شمار می‌آید (ذبیحی و همکاران ۲۰۱۶؛ گیسری و همکاران ۲۰۲۰). به‌طور کلی، چنان‌چه در دوره‌ای از سال که فرساینده‌ی باران زیاد است، سطح‌های بدون پوشش و لخت زیاد باشد،

1 - Rainfall Erosivity

2 - Soil Erosion

3 - Universal Soil Loss Equation (USLE)

4 - Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

شاخص‌های مبتنی بر انرژی جنبشی یا شدت بارندگی و شاخص‌های مبتنی بر داده‌ها و آمار در دسترس بارش، تقسیم کرد (بهزادفر و همکاران ۲۰۱۶؛ پادولانو و همکاران ۲۰۲۱). در گروه اول به شکلی از شدت بارندگی یا انرژی جنبشی یا هر دوی آن‌ها در تعیین شاخص فرساینده‌گی استفاده می‌شوند. یکی از مشکلات این دسته از شاخص‌ها نیاز به آمار طولانی‌مدت شدت بارندگی و ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار است که چنین شرایطی در بیشتر نقاط دنیا به‌خصوص برای دوره‌های زمانی طولانی‌مدت وجود ندارد (پاناگوس و همکاران ۲۰۱۵). بر این اساس دسته‌ی دیگری از شاخص‌ها که مبتنی بر داده‌ها و آمار در دسترس بارش در منطقه است و به‌راحتی با استفاده از آمار روزانه‌ی بارش محاسبه می‌شوند، معرفی شده‌اند (نیک‌کامی و مهدیان ۲۰۱۵؛ لی و همکاران ۲۰۲۲). در نتیجه‌ی محاسبه‌ی اندازه‌ی شاخص‌های فرساینده‌گی باران در ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبدیل اندازه‌های نقطه‌ای این شاخص‌ها به کل منطقه‌ی مطالعه شده، اولین گام در تهیه‌ی نقشه‌های ظرفیت فرسایش است و به‌عنوان ابزار اساسی در اولویت‌بندی و جانمایی عملیات حفاظت خاک برای نقاط مختلف به‌شمار می‌رود (دی لینا و همکاران ۲۰۲۱؛ شاه‌حسین و همکاران ۲۰۲۲).

همچنین استفاده‌ی گسترده از روش‌های زمین‌آمار، از روش‌های پرکاربرد برای تهیه‌ی نقشه‌های هم‌فرساینده‌گی باران است، که افزون بر اندازه‌ی یک کمیت معین در یک نمونه، به موقعیت فضایی نمونه نیز توجه شده است (زارع و همکاران ۲۰۱۷؛ اسلامی ۲۰۲۲). از آنجایی که برف بخش مهمی از ریزش‌های جوی در مناطق کوهستانی است، با داشتن پاسخ آب‌شناختی (هیدرولوژیک) کند، در تغذیه‌ی آبخوان‌ها، رواناب، فرسایش و رسوب تأثیر به‌سزایی دارد و همچنین وجود برف روی سطح زمین به‌عنوان یک عامل فیزیکی در مقابل برخورد قطره‌های باران با سطح خاک و کاهش قدرت فرساینده‌گی باران عمل می‌کند؛ از طرف دیگر پوشش برف و تغییرات زمانی آن، از ویژگی‌های اساسی آب‌شناسی در مناطق بلند به‌شمار می‌آیند (ژانگ و همکاران ۲۰۱۰). از این رو در ماه‌هایی که سطح زمین به‌وسیله‌ی برف پوشیده شده است، در عمل باران نمی‌تواند با سطح خاک برخورد کند و قدرت فرساینده‌گی باران بسیار کاهش می‌یابد. اگرچه پوشش برف منجر به کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود، اما بهتر آن است که به یخ‌زدگی خاک در بررسی‌های مربوط به فرسایش‌پذیری نیز توجه شود و اثر پوشش برف در فرساینده‌گی باران اعمال شود، چون که در ماه‌هایی که سطح زمین پوشیده از برف است معمولاً نوع نزولات جوی هم از نوع برف است و تنها در انتهای فصل سرد بارش

باران روی پوشش برف رخ می‌دهد (محمدی و همکاران ۲۰۲۱). بنابراین برآورد سطح برف و نقش آن در تعدیل شاخص فرساینده‌گی باران ضروری است. اندازه‌گیری‌های زمینی برف در ایستگاه‌های برف‌سنجی در مناطق کوهستانی و دور از دسترس با تعداد کم شبکه‌ی اندازه‌گیری، محدودیت دارد. کاربرد سنسور از دور در مقایسه با روش‌های اندازه‌گیری زمینی، برای تشخیص سطح پوشش برف، به‌دلیل صرف زمان و هزینه‌ی کم و در برگرفتن مناطق گسترده، سودمندتر است (هال و ریگس ۲۰۰۷). از آن جمله می‌توان به محصولات ماهواره‌ی MODIS با نام MOD10CM اشاره کرد که به‌طور مستقیم سطح پوشش برف را تعیین می‌کند (انتظامی و همکاران ۲۰۲۱؛ محمدی و همکاران ۲۰۲۱؛ دسینیاک و همکاران ۲۰۲۲).

پژوهش‌های پرشماری روی تغییرات مکانی و زمانی عامل فرساینده‌گی باران در دنیا انجام شده است. در این راستا صادقی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های ۱۸ ایستگاه باران‌نگاری سازمان هواشناسی، تغییرات مکانی و زمانی عامل فرساینده‌گی باران در ایران را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین اندازه‌های فرساینده‌گی باران ۱۱/۵۲ و ۴/۲۶ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت سال به‌ترتیب در ایستگاه‌های انزلی و بابلسر و کمترین آن ۰/۲۰ و ۰/۲۱ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت سال به‌ترتیب در ایستگاه‌های بم و سمنان بود. در نتیجه بیشترین اندازه‌ی فرساینده‌گی باران در ماه‌های مارس، دسامبر و نوامبر و کمترین آن در ماه آگوست مشاهده شد. حزابوی و صادقی (۲۰۱۳) روند مکانی فرساینده‌گی باران در ۱۸ ایستگاه باران‌نگاری در ایران را با دوره‌ی زمانی ۲۳ ساله ارزیابی و تحلیل کردند. نتایج این پژوهش نشان داد روند فرساینده‌گی باران سالانه در شمال ایران کاهشی و به سمت بخش‌های جنوبی کشور افزایشی است. همچنین تغییرات مکانی عامل فرساینده‌گی باران در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در ایران به‌وسیله‌ی ذبیحی و همکاران (۲۰۱۶) برای ۷۰ ایستگاه همید کشور در دوره‌ی آماری ۲۰ ساله بررسی شد. براساس نتایج این پژوهش، میانگین عامل فرساینده‌گی باران سالانه در کشور ۱۴/۱۳ تن متر سانتی‌متر بر هکتار ساعت به‌دست آمد و ایستگاه‌های موجود در جنوب‌غرب و شمال کشور (تنگ‌پیچ، پل‌شالو و انزلی) و برخی ایستگاه‌های مناطق مرکزی و جنوب کشور (ایستگاه‌های سمنان، طبس و بم) به‌ترتیب بیشترین و کمترین خطر عامل فرساینده‌گی باران سالانه در کشور را داشتند. پاناگوس و همکاران (۲۰۱۷) فرساینده‌گی باران جهانی را برای ۳۶۲۵ ایستگاه در ۶۳ کشور برآورد کردند و

براساس نتایج این پژوهش‌ها می‌توان گفت که بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش و شناخت روندهای معنی‌دار افزایشی، کاهش‌ی و یا ثبات آن اهمیت زیادی دارد و با توجه به ویژگی‌های خاص مکانی (موقعیت جغرافیایی و شرایط پستی‌بلندی)، در هر منطقه، انطباق تغییرات مکانی و زمانی و تهیه‌ی نقشه آن، کمک شایانی به برنامه‌ریزان محیطی برای برنامه‌ریزی‌های جامع‌تر خواهد کرد. در بخش ایرانی بزرگ آبخیز دریای خزر، بارش‌ها بیشتر در فصل‌های پاییز و زمستان رخ می‌دهند و این بارش‌ها در زمان و مکان متغیر است و به‌ویژه این که به‌دلیل کمترین فاصله ممکن بین مناطق کوهستانی و جلگه‌ی پرباران در این بخش از کشور برآورد عامل فرساینده‌ی باران بدون اعمال ضریب‌های اصلاحی پوشش برف خطای زیادی دارد. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی عامل فرساینده‌ی باران به‌ویژه پس از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در بخش ایرانی آبخیز دریای خزر برنامه‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

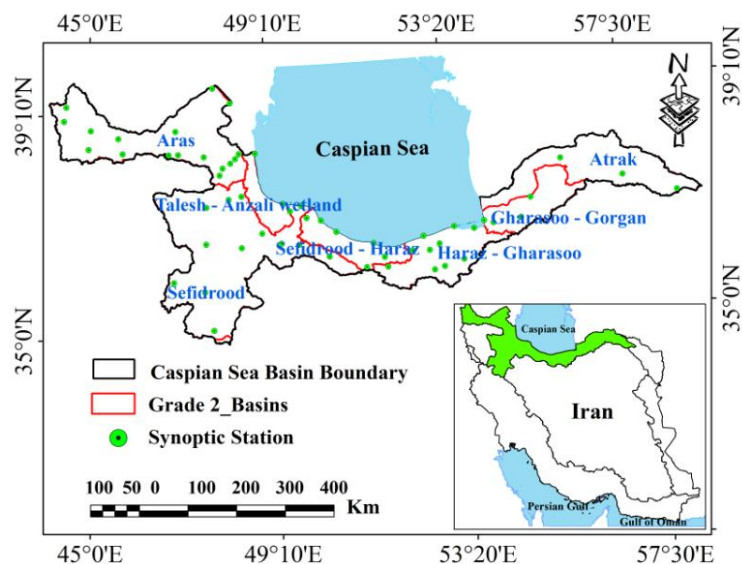
موقعیت منطقه‌ی مطالعه شده

آبخیز دریای خزر با پوشش کامل نوار شمالی کشور، از غرب به آبخیز دریاچه‌ی ارومیه، از جنوب به آبخیز فلات مرکزی و آبخیز خلیج فارس و از شرق به آبخیز قره‌قوم محدود است. این آبخیز تمام یا بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان غربی و شرقی، اردبیل، زنجان، کردستان، گیلان، مازندران، قزوین، تهران، سمنان، گلستان و خراسان شمالی را شامل می‌شود. بخش ایرانی بزرگ آبخیز دریای خزر با مساحت ۱۷۶۳۹۳/۹۱ کیلومتر مربع در حد 35° - 39° عرض شمالی و نصف‌النهار 44° - 59° طول شرقی است. متوسط بلندی این آبخیز ۱۱۹۵ متر است که بلندترین نقطه آن، قله‌ی دماوند با بلندی ۵۶۷۱ متر و کمترین نقطه‌ی آن ساحل دریای خزر با بلندی ۲۸- متر است، به این ترتیب اختلاف بلندی موجود در آبخیز معادل ۵۶۹۹ متر برآورد شده است (چاووشی و همکاران ۲۰۱۳). آبخیز دریای خزر به‌علت گستردگی زیاد و تنوع مناطق آبگیر و رودهای وارد شده به آن، به هفت آبخیز اصلی از غرب به شرق شامل ارس، تالش-تالاب انزلی، سفیدرود، سفیدرود-هراز، هراز-قره‌سو، قره-سو-گرگان و اترک تقسیم شده است (ربانی‌ها ۲۰۱۷). مهم‌ترین رودهایی که به دریای خزر می‌ریزند شامل ارس، سفیدرود، چالوس، هراز، سه هزار، بابل‌رود، پل‌رود، تالار، تجن، گرگان‌رود، اترک، قره‌سو و نکا هستند که ارس و سفیدرود بزرگ‌ترین

نقشه‌ی فرساینده‌ی جهانی را براساس روش GPR^۵ تهیه کردند. براساس نتایج این پژوهش در سطح جهانی، میانگین فرساینده‌ی باران سالانه ۲۱۹۰ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت برآورد شد که بیشترین اندازه‌ی آن در آمریکای جنوبی، آفریقای شرقی مرکزی و جنوب شرقی آسیا و به‌طور کلی منطقه‌ی آب و هوای گرمسیری و پس از آن منطقه‌ی معتدل بود. کمترین فرساینده‌ی باران سالانه عمدتاً در کانادا، روسیه، شمال اروپا، شمال آفریقا و خاورمیانه و نیز در اقلیم‌های سرد برآورد شد. زارع و همکاران (۲۰۱۹) در پهنه‌بندی شاخص فرساینده‌ی باران استان فارس نتیجه گرفتند که اندازه‌ی شاخص فرساینده‌ی باران از شرق به غرب افزایش یافت و در ۴۶٪ از سطح استان فرساینده‌ی کم و در ۳٪ از سطح استان فرساینده‌ی زیاد مشاهده شد. تغییرات زمانی و مکانی خطر عامل فرساینده‌ی باران در آبخیز گرگان‌رود به‌وسیله‌ی مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش معکوس فاصله‌ی وزنی برای درونیابی و تهیه‌ی نقشه‌های فرساینده‌ی باران بررسی شد. براساس نتایج این پژوهش، اندازه‌ی میانگین عامل فرساینده‌ی باران سالانه بر پایه‌ی شاخص فورنیه در آبخیز گرگان‌رود ۷۳/۰۸ میلی‌متر به‌دست آمد و ۳۷/۴۴٪ از سطح آبخیز بررسی شده در طبقه‌ی زیاد خطر عامل فرساینده‌ی بود. گیو و همکاران (۲۰۲۰) الگوی زمانی و مکانی فرساینده‌ی باران در فلات تبت را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که این شاخص از جنوب شرق به شمال غرب کاهش یافت و از نظر زمانی نیز بیشترین تمرکز بارندگی و در نهایت فرساینده‌ی باران در فصل‌های تابستان و پاییز است. محمدی و همکاران (۲۰۲۱) تغییرات مکانی-زمانی فرسایش خاک با استفاده از مدل G2 در ایران را مطالعه کردند. این پژوهش‌گران اندازه‌ی فرسایش سالانه‌ی خاک را ۱۶/۵ تن بر هکتار برآورد کردند. بیشترین اندازه‌های فرساینده‌ی باران با اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در شمال و غرب کشور ایران در ماه‌های فروردین تا خرداد رخ داده است و کمترین آن در ماه‌های تیر و مرداد در بخش زیادی از ایران بود. بنابراین بیشترین اندازه‌ی فرساینده‌ی باران را می‌توان در مناطق شمال، غرب و جنوب غربی ایران یافت. راج و همکاران (۲۰۲۲) در هند نتیجه گرفتند که شبه جزیره‌ی هند با کمترین میانگین عامل فرساینده‌ی باران سالانه (۶۱۵/۶۱ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت)، کمترین آسیب‌پذیری را در برابر فرساینده‌ی باران داشت. در حالی که شرق و شمال شرق هند با بیشترین اندازه‌ی فرساینده‌ی سالانه (۳۳۱۲/۳۹ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت) به‌عنوان حساس‌ترین مناطق شناخته شدند.

آبخیزهای وسیع کوهستانی است و پوشش گیاهی غالب آن‌ها جنگلی است. موقعیت جغرافیایی بزرگ آبخیز دریای خزر در کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.

آن‌ها به‌شمار می‌روند. رودهای ارس، سفیدرود، هراز و اترک از نظر وسعت آبخیز و ویژگی‌های اقلیمی و تداوم آب‌دهی متفاوت از آبخیزهای دیگر است و شامل



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی بزرگ آبخیز دریای خزر در ایران.

Figure 1- Geographical location of the Caspian Sea Basin in Iran.

هواشناسی کشور و سال‌نامه‌های آماری جمع‌آوری شد. پس از بررسی اولیه داده‌ها با در نظر داشتن طولانی‌ترین دوره‌ی آماری و همچنین پراکنش مکانی مناسب ایستگاه‌های موجود در داخل آبخیز مطالعه شده، دوره‌ی مشترک آماری ۲۵-۲۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۹) انتخاب شد (جدول ۱). شایان ذکر است که کمبودهای داده‌های آماری موجود در ایستگاه‌های مطالعاتی از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها تکمیل شد.

روش پژوهش

عامل فرساینده‌ی باران بیان‌گر تنش به‌وجود آمده از برخورد قطره‌های باران با خاکدانه‌های سطح خاک است و به‌منظور تعیین تأثیر متغیر اصلی فرساینده (باران) در بسیاری از مدل‌ها و معادله‌های برآورد فرسایش خاک استفاده شده است. برای تعیین عامل فرساینده‌ی باران ماهانه، فصلی و سالانه، داده‌های بارندگی ماهانه‌ی ۵۶ ایستگاه همدید بزرگ آبخیز دریای خزر از سازمان

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های همدید مطالعه شده در بزرگ آبخیز دریای خزر.

Table 1- The characteristics of the studied synoptic stations in the Caspian Sea Basin.

Number	Province	Station	Longitude	Latitude	Elevation (m)	Mean Annual Precipitation (mm)
1	Ardabil	Meshkinshahr	47.67	38.38	1560.6	385.48
2		Ardebil	48.28	38.25	1335.2	270.44
3		Khalkhal	48.52	37.63	1796	365.75
4		Ardebil foroudgah	48.40	38.33	1317.3	235.29
5		Sareyn	48.10	38.17	1658.3	391.56
6		Firouzabad(kosar)	48.22	37.58	1175.7	280.08
7		Parsabad moghan	47.92	39.65	82	268.90
8		Bilesavar	48.32	39.37	101.4	358.30
9		Nir	48.03	38.04	1593	347.69
10		Namin	48.49	38.42	1480.2	276.23
11	East Azarbijan	Jolfa	45.67	38.75	736	217.63
12		Ahar	47.07	38.43	1391	280.05
13		Kaleibar	47.02	38.87	1210	389.05
14		Mianeh	47.70	37.45	1110	267.77
15		Marand	45.77	38.47	1550	381.51
16		Boostan abad	46.85	38.43	1750	333.80
17	West Azarbijan	Makoo	44.43	39.33	1411.3	311.54
18		Khoy	44.97	38.55	1103	269.86
19		Chaypareh	45.02	38.90	1170.9	333.75
20		Chaldoran	44.38	39.07	1888	407.01
21	Razavi Khorasan	Ghoochan	58.50	37.07	1287	315.18
22	North Khorasan	Bojnurd	57.32	37.47	1068	251.80
23	Zanjan	Mah neshan	47.67	36.77	1285	252.62
24		Zanjan	48.48	36.68	1659	286.81
25		Abbar	48.97	36.93	625	248.43
26	Ghazvin	Moallem kelayeh	50.48	36.45	1629.2	396.67
27	Kurdishan	Bijar	47.62	35.88	1883.4	324.98
28		Zarineh obato	46.92	36.07	2142.6	364.82
29		Ghorveh	47.80	35.17	1906	325.49
30	Golestan	Moravehtappeh	55.95	37.90	450	369.62
31		Hashemabad gorgan	54.27	36.85	13.3	512.71
32		Gonbade kawoos	55.17	37.25	37.2	442.70
33		Torkaman	54.06	36.91	-20	450.41
34		Aliabad	54.91	36.90	184	697.66
35	Gilan	Astara	48.87	38.42	-21.1	1403.37
36		Bandar anzali	49.47	37.47	-23.6	1783.68
37		Rasht	49.62	37.32	-8.6	1273.62
38		Manjil	49.40	36.73	338	214.14
39		Lahijan	50.00	37.18	34.2	1424.79
40		Kiashahr	49.88	37.42	-22	1283.24
41		Roudsar	50.32	37.13	-22	1279.92
42		Jirandeh	49.80	36.70	1581.4	297.36
43	Mazandran	Ramsar	50.67	36.90	-20	1253.13
44		Noushahr	51.50	36.65	-20.9	1332.59
45		Siahbisheh	51.32	36.22	1855	528.23
46		Gharakhil	52.77	36.45	14.7	709.81

ادامه‌ی جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های همدید مطالعه شده در بزرگ آبخیز دریای خزر.

The characteristics of the studied synoptic stations in the Caspian Sea Basin - ۱ CountinueTable

Number	Province	Station	Longitude	Latitude	Elevation (m)	Mean Annual Precipitation (mm)
47		ghaemshr				
48		Sari	53.00	36.55	25.7	738.65
49		Kiasar	53.53	36.23	1294.3	522.22
50		Amol	52.38	36.47	23.7	675.48
51		Polesefid	53.08	36.13	610	583.46
52		Alasht	52.85	36.08	1805	542.29
53		Bandar mirabad	53.37	36.85	-20	656.47
54		Galogah	53.82	36.78	-10	610.17
55		Kojoor	51.73	36.38	1550	335.09
56		Baladeh	51.80	36.20	2120	327.74
		Babolsar	52.65	36.72	-21	905.18

مزبور، کوکریجینگ با متغیر کمکی بلندی از سطح دریا با ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)^۶ کمتر به عنوان معمول ترین شاخص ارزیابی روش‌های زمین آمار برای ارزیابی و انتخاب روش بهینه استفاده شد. معادله کوکریجینگ برای برآورد نقاط مجهول به شکل رابطه‌ی ۲ و روش محاسبه‌ی RMSE به شکل رابطه‌ی ۳ است (اسلامی و همکاران ۲۰۲۲).

$$Z^*(x_i) = \sum \lambda_i \cdot Z(x_i) \cdot \sum \lambda_k \cdot y(x_k) \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad (3)$$

$Z^*(x_i)$: اندازه‌ی تخمین زده شده برای نقطه‌ی x_i ; λ_i : وزن مربوط به متغیر Z ; λ_k : وزن مربوط به متغیر کمکی، $Z(x_i)$: اندازه‌ی مشاهده شده متغیر اصلی، $y(x_k)$: اندازه‌ی مشاهده شده متغیر کمکی، n : تعداد متغیر مشاهده شده است.

هر چه RMSE به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده‌ی اختلاف کمتر اندازه‌های برآورد شده در مقایسه با اندازه‌های مشاهده‌ای است. بین عامل فرساینده‌ی باران و بلندی همبستگی معنی دار نبود، چون آرایش نقاط در منطقه‌ی مطالعه شده به گونه‌ای بود که همبستگی معنی دار بین آن‌ها مشاهده نشد. با این حال استفاده از متغیر کمکی بلندی به بهبود نتایج درونیابی منجر شد. در همبستگی اندازه‌های دو متغیر مدنظر است، اما در روش‌های درونیابی افزون بر این اندازه‌ها، همبستگی مکانی نیز مدنظر است و از این رو می‌توان از متغیر کمکی بلندی که روی همبستگی مکانی اندازه‌های بارندگی تأثیرگذار است، استفاده کرد تا به بهبود و صحت درونیابی کمک کند.

در این پژوهش برای تهیه لایه پوشش برف بزرگ

برای برآورد عامل فرساینده‌ی باران در مناطقی که داده‌ی شدت بارندگی نبود، می‌توان از معادله‌های مبتنی بر همبستگی بین فرساینده‌ی و بارش سالانه و ماهانه استفاده کرد. در این پژوهش نیز اندازه‌ی عامل فرساینده‌ی باران سالانه با استفاده از یک معادله‌ی خطی (رابطه‌ی ۱) برای ایستگاه‌های مطالعه شده محاسبه شد (جاین و داس ۲۰۱۰). همبستگی بین نتایج برآورد فرساینده‌ی باران در این معادله با شاخص فرساینده‌ی باران محاسبه شده برای کشور بررسی و تأیید شد و بنابراین برای برآورد فرساینده‌ی باران در این پژوهش استفاده شد.

(۱)

$$R = 81.5 + (0.38 \times P) \quad (340 < P < 3500 \text{mm})$$

P : متوسط بارش سالانه (میلی‌متر) برای یک ایستگاه و R : فرساینده‌ی باران سالانه همان ایستگاه بر حسب مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت است.

باید توجه داشت این رابطه برای برآورد فرساینده‌ی باران سالانه است و برای برآورد فرساینده‌ی باران ماهانه، ابتدا میانگین بارندگی ماهانه هر ایستگاه تقسیم بر میانگین بارندگی سالانه همان ایستگاه شده است و سهم بارندگی هر ماه بر حسب درصد به دست آمد و سپس با ضرب در اندازه‌های فرساینده‌ی باران سالانه هر ایستگاه، فرساینده‌ی باران ماهانه برآورد شد و برای محاسبه فرساینده‌ی باران فصلی نیز استفاده شد.

پس از برآورد اندازه‌های عامل فرساینده‌ی باران (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت) در پایه‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه برای ایستگاه‌های مطالعه شده، لایه‌ی فرساینده‌ی باران در پایه‌های زمانی مختلف با استفاده از روش‌های زمین آماری وزن‌دهی معکوس فاصله^۶ (IDW)، کریجینگ معمولی^۷ و کوکریجینگ^۸ در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 تهیه شد. در بین روش‌های

6 - Inverse Distance Weighted (IDW)

7 - Ordinary Kriging

8 - Co-Kriging

9- Root Mean Square Error (RMSE)

$$SCC_m = \frac{Sci - Sc_{min}}{Sc_{max} + Sc_{min}} \quad (۴)$$

$$R_{ms} = R_m \times SCC_m \quad (۵)$$

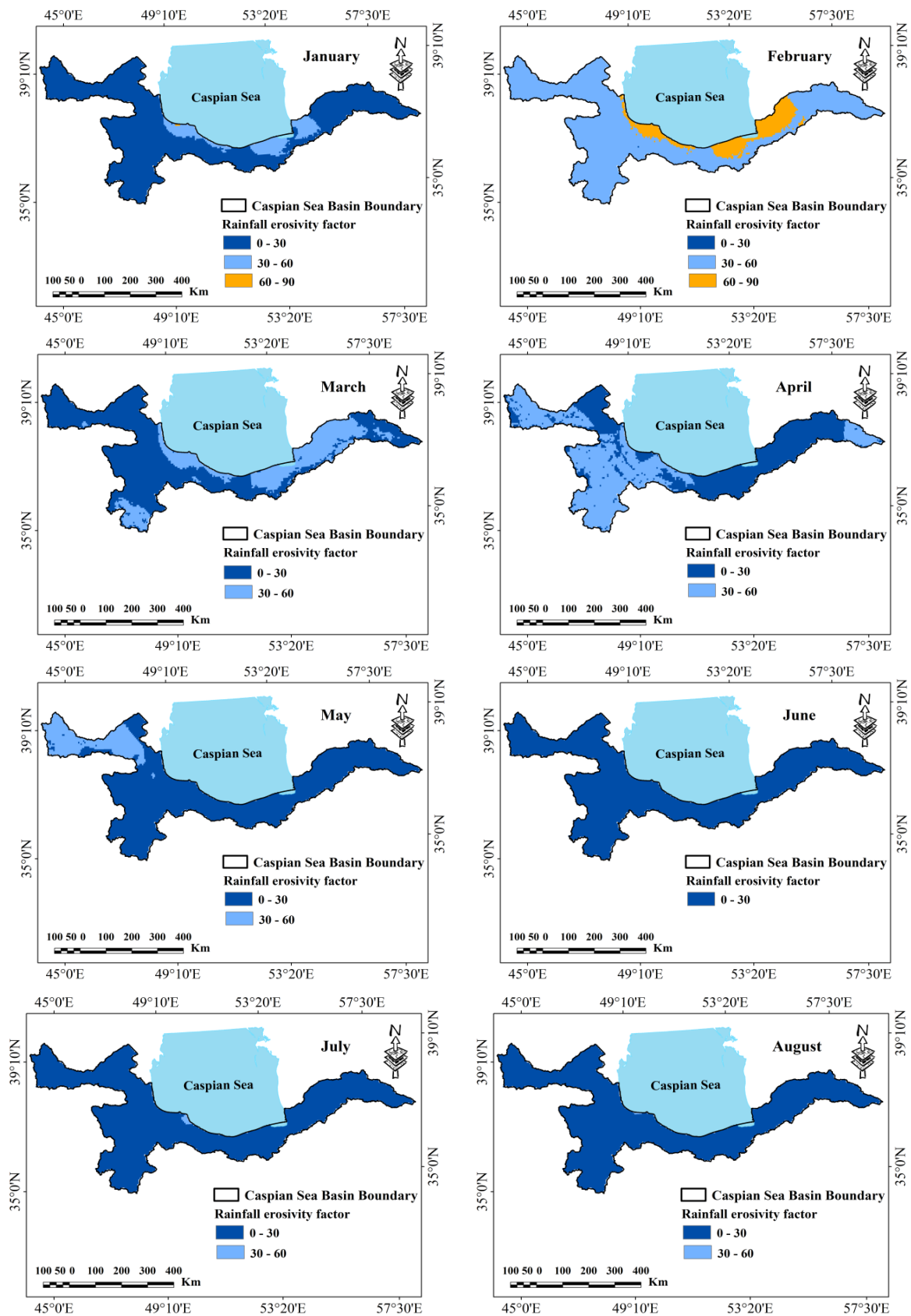
Sci: اندازه‌ی عددی پیکسل حاصل از محصول MOD10CM، Scmin و Scmax: به ترتیب اندازه‌های کمترین و بیشترین احتمال وجود برف در آن پیکسل است. Rm: عامل فرسایندگی باران در ماه، m بدون تأثیر پوشش برف سطحی، Sccm: ضریب اصلاح برف^۱، Rms: عامل فرسایندگی باران در ماه، m: با اعمال اثر پوشش برف سطحی است. پس از برآورد فرسایندگی باران در محل ایستگاه‌ها، نقشه‌های عامل فرسایندگی باران اصلاح شده‌ی ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از روش کوکریجینگ تهیه شد.

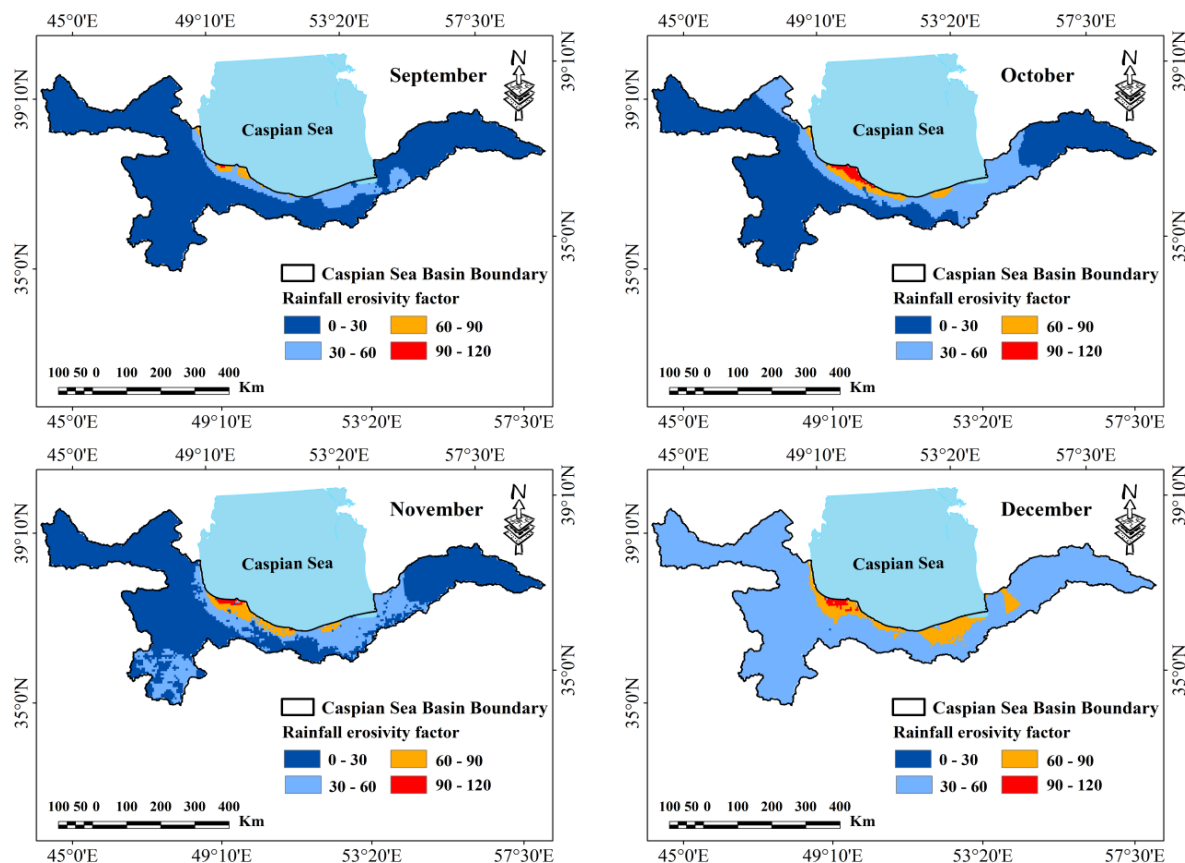
نتایج

تغییرات زمانی و مکانی بارش و فرسایندگی باران ماهانه با ضریب اصلاحی پوشش برف

در این پژوهش از روش‌های مختلف درون‌یابی زمین آماری استفاده شد. براساس نتایج به‌دست آمده روش کوکریجینگ به‌دلیل استفاده از متغیر کمکی بلندی با همبستگی زیاد با متغیر اصلی (بارش) و نیز اندازه‌ی RMSE، ۰/۷۸، که کمتر از دیگر روش‌های درون‌یابی به‌دست آمد، انتخاب شد. همچنین در این پژوهش پس از بررسی ساختار مکانی داده‌ها مدل کروی بهترین برازش را با داده‌ها نشان داد. در نهایت نقشه‌های عامل فرسایندگی باران ماهانه به‌دست آمد و با استفاده از روش‌های مزبور و بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین میانگین عامل فرسایندگی باران ماهانه (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت) قبل و بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در بزرگ آبخیز دریای خزر در جدول ۲ آمده است.

آبخیز دریای خزر از سنجنده‌ی MODIS و محصول MOD10CM استفاده شد. با توجه به این که محصول مزبور به‌صورت ماهانه و در مقیاس جهانی موجود است، می‌تواند به‌عنوان یک محصول مناسب برای ارزیابی وضعیت پوشش برف در هر ماه به‌کار گرفته شود. در این محصول اندازه‌ی عددی هر پیکسل در هر ماه بین صفر تا ۱۰۰ متغیر می‌باشد که عدد صفر بیان‌گر نبودن برف و عدد ۱۰۰ نشان‌دهنده‌ی پوشش کامل پیکسل به‌وسیله‌ی برف است. بنابراین پس از تهیه‌ی این محصول، برای تهیه‌ی ضریب اصلاحی پوشش برف، این ضریب با یک معادله‌ی خطی (رابطه‌ی ۴) بین صفر تا یک به‌دست آمد. در عمل ضریب اصلاحی پوشش برف بعد از معکوس کردن لایه‌های تولید شده در رابطه‌ی ۴ محاسبه شد و رابطه‌ی بین محصول MOD10CM و ضریب اصلاحی برف یک رابطه‌ی معکوس بود. یعنی وقتی ضریب اصلاحی پوشش برف برابر با یک باشد روی زمین (سطح یک پیکسل) برف نیست و فرسایندگی باران اصلاحی بدون تغییر است و برابر با فرسایندگی باران برآورد شده خواهد شد. از طرف دیگر در ماه‌هایی که سطح زمین (یک پیکسل) به‌وسیله‌ی برف پوشیده شده باشد، در عمل باران نمی‌تواند با سطح خاک برخورد کند و از این رو قدرت فرسایندگی باران در عدد صفر ضرب خواهد شد. در نهایت می‌توان گفت که اعداد بین صفر و یک نشان‌دهنده‌ی سهم پوشش برف در هر پیکسل است (به‌عنوان مثال ضریب اصلاحی پوشش برف ۰/۳ نشان‌دهنده‌ی این است که ۷۰٪ از مساحت پیکسل پوشیده از برف است و فرسایندگی باران برآورد شده باید در عدد اصلاحی ۰/۳ ضرب شود). همچنین هر ماه اندازه‌ی فرسایندگی باران با اثر پوشش برف اصلاح شد. بر این اساس محاسبه‌ی عامل فرسایندگی باران اصلاح شده در نرم‌افزار ArcGIS10.8 از رابطه‌ی ۵ به‌دست آمد (محمدی و همکاران ۲۰۲۱).





شکل ۲- نقشه‌ی عامل فرساینده‌ی باران ماهانه در بزرگ آبخیز دریای خزر بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف.

Figure 2- Map of the monthly rainfall erosivity factor in the Caspian Sea Basin after applying the snow cover correction coefficient.

جدول ۲- میانگین عامل فرساینده‌ی باران ماهانه قبل و بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در بزرگ آبخیز دریای خزر.

Table 2- The average monthly rainfall erosivity factor before and after applying the snow cover correction coefficient in the Caspian Sea Basin.

Month	Rainfall erosivity without SCC	Rainfall erosivity with SCC	Month	Rainfall erosivity without SCC	Rainfall erosivity with SCC
January	20.84	13.22	July	9.68	9.59
February	25.38	15.48	August	8.55	8.46
March	28.90	21.98	September	15.56	15.36
April	30.13	27.27	October	26.44	25.81
May	23.44	22.82	November	30.26	25.56
June	11.30	11.19	December	24.07	13.76

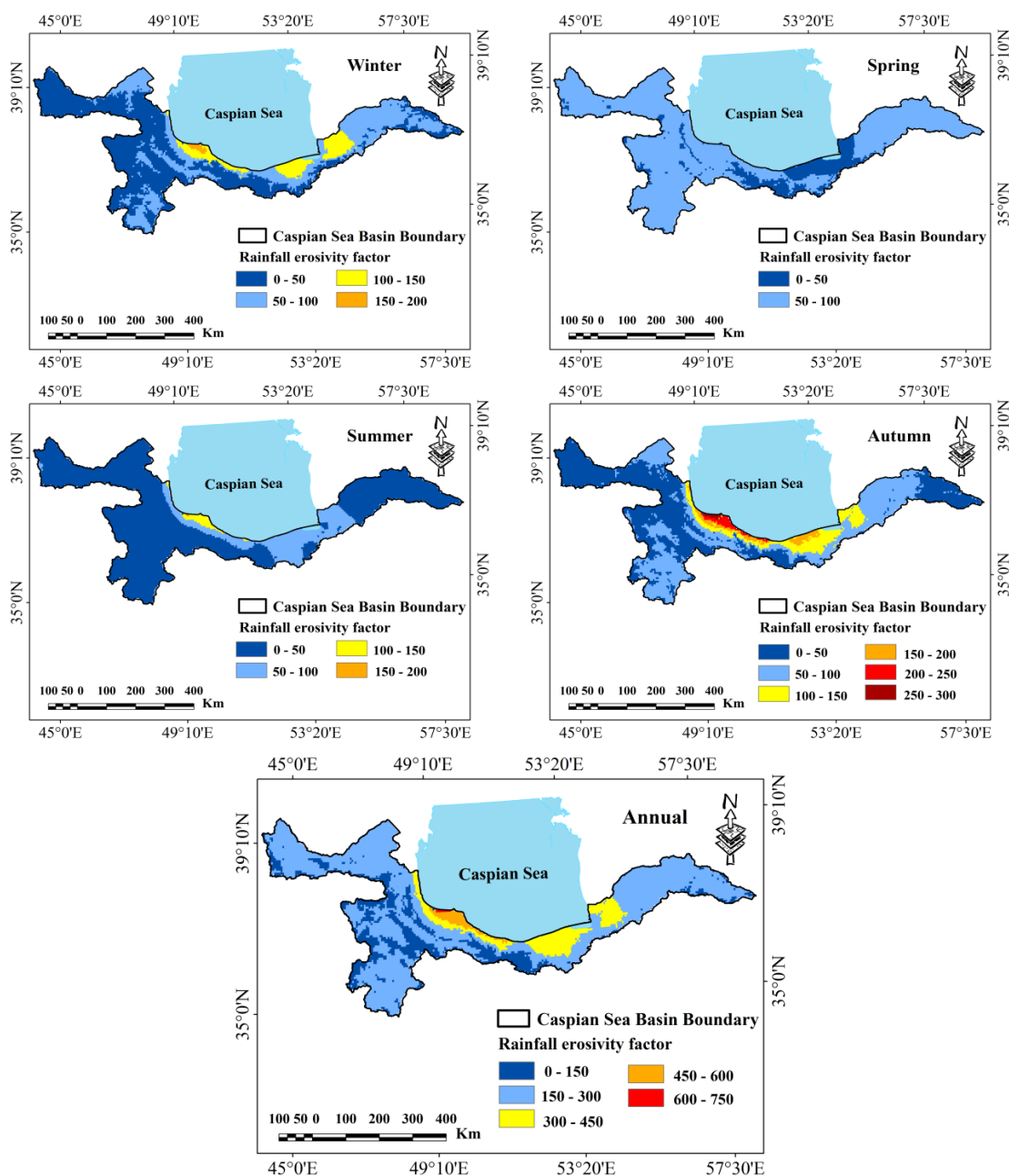
کاهش فرساینده‌ی باران اصلاح شده در ماه‌های دسامبر از ۲۴/۰۷ به ۱۳/۷۶ و فوریه از ۲۵/۳۸ به ۱۵/۴۸ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت (به‌ترتیب ۴۳ و ۳۹٪ کاهش) به‌دست آمد که نشان داد کاهش فرساینده‌ی باران اصلاح شده در ماه‌های فصل زمستان به‌دلیل وجود پوشش برف در مقایسه با ماه‌های دیگر بیشتر بوده است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات فرساینده‌ی باران ناشی از موقعیت جغرافیایی و مقیاس‌های مختلف زمانی است. ماه‌های آوریل تا ژوئن، مناطق شمال‌غربی و جنوب‌غربی بیشترین فرساینده‌ی باران را دارند، در حالی که در سایر ماه‌ها، به‌دلیل شدت بارندگی بیشتر در بخش شمالی

براساس نتایج به‌دست آمده از تغییرات فرساینده‌ی باران مشخص شد که ماه‌های نوامبر، آوریل و مارس با اندازه‌های ۳۰/۲۶، ۳۰/۱۳ و ۲۸/۹۰ و ماه اوت با اندازه‌ی ۸/۵۵ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت به‌ترتیب بیشترین و کمترین اندازه‌های فرساینده‌ی باران ماهانه را داشتند در حالی که بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف میانگین فرساینده‌ی باران ماهانه در آوریل، اکتبر و نوامبر با اندازه‌های ۲۷/۲۷، ۲۵/۸۱ و ۲۵/۵۶ و ماه اوت با اندازه‌ی ۸/۴۶ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت به‌ترتیب بیشترین و کمترین اندازه‌های فرساینده‌ی باران ماهانه را داشتند (شکل ۲ و جدول ۲). هم‌چنین بیشترین تغییرات

بزرگ آبخیز دریای خزر بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین میانگین عامل فرساینده‌گی باران فصلی و سالانه (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت) در بزرگ آبخیز دریای خزر قبل و بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در جدول ۳ آمده است.

منطقه مطالعه شده، بیشترین فرساینده‌گی بارندگی نیز وجود دارد (شکل ۲).

تغییرات زمانی و مکانی بارش و فرساینده‌گی باران فصلی و سالانه با ضریب اصلاحی پوشش برف نقشه‌های عامل فرساینده‌گی باران فصلی و سالانه در



شکل ۳- نقشه‌های عامل فرساینده‌گی باران فصلی و سالانه در بزرگ آبخیز دریای خزر بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف.
Figure 3- Maps of the seasonal and annual rainfall erosivity factor in the Caspian Sea Basin after applying the snow cover correction coefficient.

جدول ۳- میانگین عامل فرساینده‌ی باران فصلی و سالانه قبل و بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در بزرگ آبخیز دریای خزر.

Table 3- The average seasonal and annual rainfall erosivity factor before and after applying the snow cover correction coefficient in the Caspian Sea Basin.

Season	Rainfall erosivity without SCC	Rainfall erosivity with SCC
Winter	75.13	50.69
Spring	64.88	61.28
Summer	33.80	33.42
Autumn	80.79	65.14
Annual	254.61	210.53

رتبه‌ی سوم است. از این رو در منطقه‌ی مطالعه شده بیشترین سطح پوشش برف و در نتیجه بیشترین ضریب اصلاحی کاهشی برای فرساینده‌ی باران مربوط به این فصل بود. همچنین از نظر مکانی بیشترین اندازه‌ی فرساینده‌ی باران در بخش شمالی منطقه‌ی مطالعه شده در بخش جلگه‌ای استان‌های گیلان، مازندران و گلستان در فصل‌های پاییز، زمستان و تابستان رخ داد. در حالی که در فصل بهار بیشترین اندازه‌ی فرساینده‌ی باران در کل منطقه‌ی مطالعه شده به‌طور یکنواخت در دامنه‌ی ۵۰ تا ۱۰۰ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت بود (شکل ۳). نقشه‌های فرساینده‌ی باران ماهانه و فصلی تا حد زیادی با هم مطابقت داشتند و تغییرات مکانی مشابهی را نشان دادند. در نهایت در کل منطقه‌ی مطالعه شده اندازه‌های حداقل، حداکثر و میانگین فرساینده‌ی باران اصلاح شده سالانه به‌ترتیب صفر، ۷۴۹/۳۰ و ۲۱۰/۵۳ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت به‌دست آمد. بنابراین می‌توان گفت که بزرگ آبخیز دریای خزر در بخش شمالی و جلگه‌ای استان‌های هم‌جوار آن در مقایسه با بخش‌های دیگر منطقه‌ی مطالعه شده بیشترین فرساینده‌ی باران سالانه را دارد.

اندازه‌های درصد مساحت و طبقه‌های مختلف عامل فرساینده‌ی باران سالانه در بزرگ آبخیز دریای خزر در جدول ۴ نشان داده شده است.

براساس نتایج به‌دست آمده از تغییرات فصلی در طول دوره‌ی آماری سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۹، فصل‌های پاییز و زمستان در بزرگ آبخیز دریای خزر بیشترین بارندگی را داشتند و قبل از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف، بیشترین فرساینده‌ی باران مربوط به فصل‌های پاییز و زمستان به‌ترتیب با اندازه‌های ۸۰/۷۹ و ۷۵/۱۳ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت بود و تابستان نیز با اندازه‌ی ۳۳/۸۰ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت کم‌ترین فرساینده‌ی فصلی را داشت (شکل ۳ و جدول ۳). در حالی که بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در منطقه‌ی مطالعه شده، فصل‌های پاییز و بهار به‌ترتیب با اندازه‌های ۶۵/۱۴ و ۶۱/۲۸ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت بیشترین فرساینده‌ی باران را داشتند و مجدداً فصل تابستان با اندازه‌ی ۳۳/۴۲ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت کم‌ترین فرساینده‌ی باران را داشت. همچنین بیشترین تغییرات کاهش فرساینده‌ی باران بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف با اندازه‌ی ۳۲٪ در فصل زمستان در مقایسه با سایر فصل‌ها رخ داد. ولی در فصل تابستان نیز این کاهش کمتر از یک درصد بود. بنابراین کمترین تغییرات فرساینده‌ی باران بعد از اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف مربوط به فصل تابستان بود (شکل ۳ و جدول ۳).

زمستان دومین فصل از نظر اندازه‌ی بارش است ولی از نظر فرساینده‌ی باران، بعد از فصل‌های پاییز و بهار در

جدول ۴- اندازه‌های درصد مساحت و طبقه‌های مختلف عامل فرساینده‌ی باران سالانه در بزرگ آبخیز دریای خزر.

Table 4- Percentage values of area and different classes of annual rainfall erosivity factor in the Caspian Sea Basin.

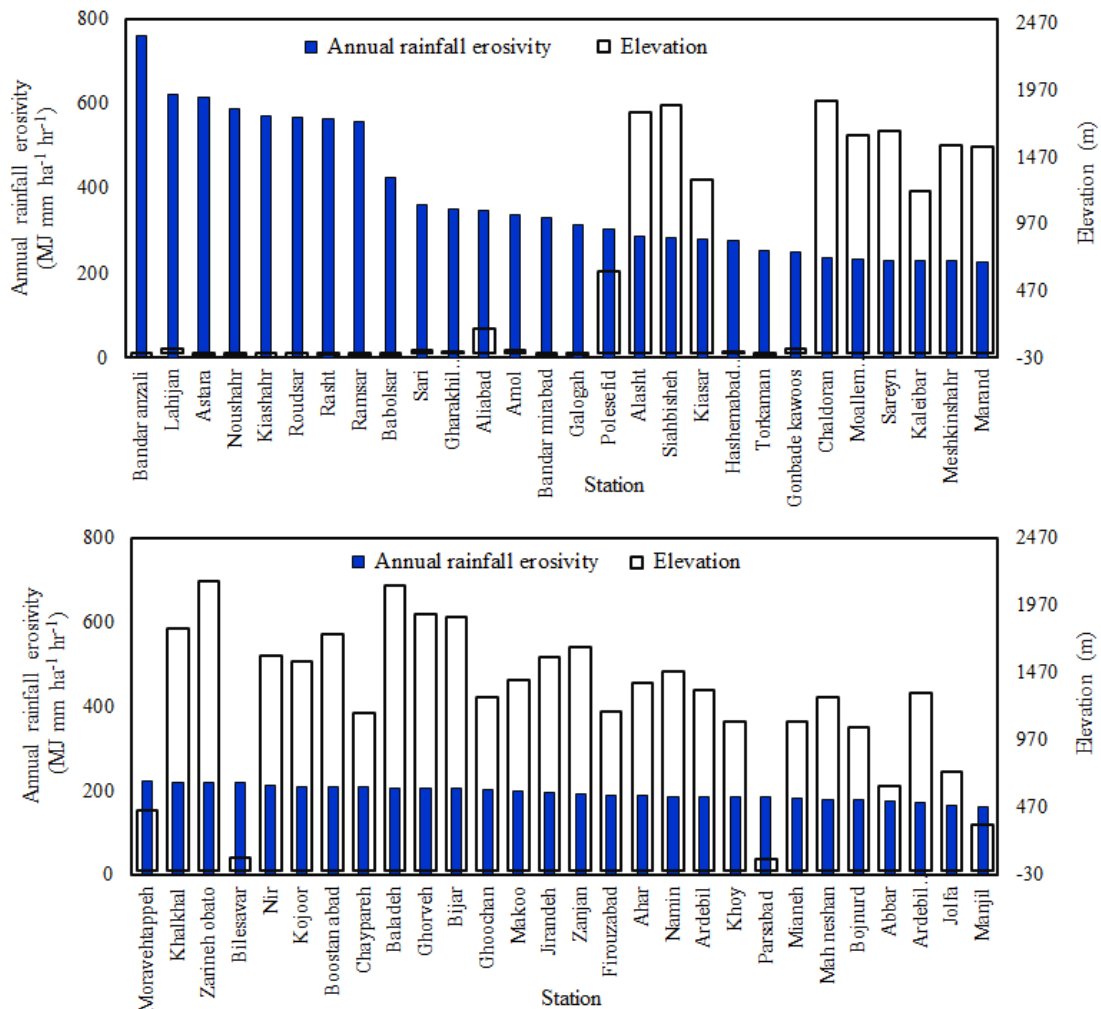
Class	Range of rainfall erosivity classes	The qualitative state of erosivity	Area (km ²)	Area (%)
1	0-150	Very low	34575.38	19.60
2	150-300	Low	119224	67.59
3	300-450	Medium	18797.04	10.66
4	450-600	High	3516.292	1.99
5	600-750	Very high	281.1922	0.16
Total			176393.90	100

مختلف به‌منظور انجام اقدام‌های حفاظتی برای کاهش اثر عامل فرساینده‌ی باران بر اندازه‌ی فرسایش خاک و تولید رسوب استفاده شود. در حالی که بخش‌های غربی، شرقی و جنوب منطقه‌ی مطالعه شده با مساحت

براساس نتایج به‌دست آمده ۱۲/۸۱٪ از مساحت منطقه‌ی مطالعه شده در طبقه‌های متوسط تا خیلی زیاد فرساینده‌ی باران در بخش شمالی بزرگ آبخیز دریای خزر بود (جدول ۴)، که می‌تواند در اولویت‌بندی مناطق

رابطه‌ی بین بلندی و فرسایندهی باران سالانه (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت) در ایستگاه‌های همدید بزرگ آبخیز دریای خزر در شکل ۴ نشان داده شده است.

۸۷/۱۹٪ در طبقه‌های خیلی کم تا کم با اندازه‌های فرسایندهی باران صفر تا ۳۰۰ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت سال بودند.



شکل ۴- رابطه‌ی بین بلندی و فرسایندهی باران سالانه در ایستگاه‌های همدید بزرگ آبخیز دریای خزر.
Figure 4- Relationship between elevation and annual rainfall erosivity factor in the synoptic stations of the Caspian Sea Basin.

یافت. به‌طور کلی در بسیاری از بخش‌های منطقه‌ی مطالعه شده همبستگی بین بلندی و فرسایندهی باران منفی و معکوس بود و ضریب اصلاحی پوشش برف نیز این همبستگی منفی را تشدید کرد (شکل ۴).

بحث و نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت توزیع بارندگی در هر منطقه تحت تأثیر عامل‌های پستی‌بلندی و جغرافیایی از جمله بلندی، طول و عرض جغرافیایی و دوری یا نزدیکی به دریا است. تغییرات فرسایندهی باران در ماه‌ها و فصل‌های مختلف نیز متأثر از توزیع

با توجه به شکل ۴، رابطه‌ی مثبت افزایشی بین بارش (فرسایندهی باران) با تغییر بلندی در تمام ایستگاه‌های همدید منطقه‌ی مطالعه شده مشاهده نشد. به‌عبارت دیگر برخی از ایستگاه‌های منطقه‌ی مطالعه شده از جمله ترکمن، آستارا، رشت، بندرانزلی، کیشهر، نوشهر، رودسر، رامسر، بندر میرآباد، گلوگاه و بابل‌سر که بلندی آن‌ها منفی بود، اندازه‌های فرسایندهی باران زیاد بود و بیشترین اندازه‌های بارندگی در ایستگاه‌های با بلندی کم و در بخش جلگه‌ای مشاهده شد. اگرچه در برخی از ایستگاه‌ها شرایط برعکس بود و با افزایش بلندی تا یک حد مشخص، اندازه‌ی فرسایندهی باران نیز افزایش

(فتح‌الله‌نژاد دامغانی ۲۰۰۸).

بررسی الگوی مکانی فرساینده‌ی باران در بخش ایرانی بزرگ آبخیز دریای خزر نشان‌دهنده‌ی تغییرات نسبی زیاد بین مناطق مختلف از جلگه تا بخش‌های بلند است. با توجه به شکل ۳، نقشه‌های خروجی فرساینده‌ی باران فصلی و سالانه، روند افزایشی شاخص فرساینده‌ی باران را از مناطق جنوبی (بلندی‌ها) و بخش‌های شرقی و غربی بزرگ آبخیز دریای خزر به مناطق مرکزی و شمالی منطقه‌ی مطالعه شده (جلگه‌های حاشیه‌ی دریای خزر در استان‌های شمالی کشور) را نشان داد که با یافته‌های نیک‌کامی و مهدیان (۲۰۱۵) که گزارش کردند روند تغییرات عامل فرساینده‌ی باران از مناطق شرقی و جنوبی کشور به مناطق شمالی افزایشی است، هم‌خوانی دارد. این الگو اگرچه تا حدی هماهنگ بر الگوی تغییرات اقلیمی (از مناطق خشک‌تر و کم‌باران به سوی مناطق مرطوب‌تر و پر باران) است، اما نوع نزولات جوی و به‌طور ویژه برف در مناطق بلند باعث کاهش فرساینده‌ی باران در این مناطق شده است. از این‌رو بخش شمالی منطقه‌ی مطالعه شده اکثراً شامل بخش‌های جلگه‌ای همراه با بارش بیشتر و از نوع باران هستند، که در اکثر زمان‌های سال بیشترین اندازه‌های فرساینده‌ی باران را دارند. بنابراین ایستگاه بندرانزلی در بخش شمالی منطقه‌ی مطالعه شده با کمترین بلندی (۲۶ متر) و بیشترین میانگین بارندگی سالانه (۱۷۸۳/۶۸ میلی‌متر) بیشترین اندازه‌ی فرساینده‌ی باران سالانه (۷۴۹/۳۰ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت) را داشت. صادقی و همکاران (۲۰۱۱)، نیک‌کامی و مهدیان (۲۰۱۵)، صادقی و همکاران (۲۰۱۷) و محمدی و همکاران (۲۰۲۱) نیز بیشتر بودن اندازه‌ی فرساینده‌ی باران در ایستگاه بندرانزلی استان گیلان در مقایسه با دیگر ایستگاه‌های مطالعاتی کشور را گزارش کردند که با یافته‌های این پژوهش هم‌سو است. در حالی که کم‌ترین اندازه‌های میانگین بارندگی (۲۱۴/۱۴ میلی‌متر) و فرساینده‌ی باران سالانه (۱۶۲/۸۷ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت) در ایستگاه منجیل مشاهده شد. دو ایستگاه بندرانزلی و منجیل در فاصله کمی از هستند و این اندازه تغییرپذیری مکانی در اندازه‌ی میانگین بارندگی سالانه را می‌توان به دلیل عامل‌هایی مانند پستی‌بلندی محلی دره‌ی سفیدرود، برای حرکت ابرهای باران‌زا، فاصله از دریا و بلندی دو ایستگاه مرتبط دانست. به‌عبارت دیگر بلندی با تأثیر روی اندازه‌های نوع نزولات جوی در نهایت منجر به تغییر در اندازه‌های فرساینده‌ی باران در منطقه‌ی پژوهش شده است. در نهایت باید گفت که هم‌زمان بودن تغییرات فرساینده‌ی باران با فعالیت‌های خاک‌ورزی (عملیات

زمانی بارش در طول سال است. براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، روش کوکریجینگ با متغیر کمکی بلندی به عنوان بهترین روش درون‌یابی زمین‌آماري انتخاب شد و مدل کروی برای تعمیم داده‌های نقطه‌ای فرساینده‌ی باران در محل ایستگاه‌ها به سطح انتخاب شد که با نتایج اسلامی (۲۰۲۲) در یک راستا است. نتایج بررسی تغییرات زمانی فرساینده‌ی باران نشان داد که متوسط فرساینده‌ی سالانه در بخش ایرانی بزرگ آبخیز دریای خزر ۲۱۰/۵۳ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت بوده است. در حالی که کمترین فرساینده‌ی باران در ماه‌های تابستان به‌ویژه در ماه‌های ژوئیه و اوت بود و بیشترین فرساینده‌ی باران در ماه‌های آوریل، اکتبر و نوامبر مشاهده شد. این نتایج از توزیع بارندگی در ماه‌های مختلف سال تبعیت نیز می‌کند. گرمی‌لوشابی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی آبخیز کسلیان گزارش کردند که بیشترین اندازه‌های فرساینده‌ی باران ماهانه در فصل پاییز (ماه‌های آبان و آذر) و اوایل بهار (ماه فروردین) بود و در فاصله‌ی زمانی بین این دو اوج، فرساینده‌ی در ماه‌های مختلف ناچیز برآورد شد. این پژوهشگران تغییر نوع بارش‌ها به‌دلیل کاهش دما در طول زمستان را دلیل احتمالی این موضوع دانستند. در این راستا نتایج این پژوهش با یافته‌های در این راستا نتایج این پژوهش با یافته‌های هماهنگی دارد. هویس و همکاران (۲۰۰۵)، شمشاد و همکاران (۲۰۰۸) نیز بیش‌ترین اندازه‌های فرساینده‌ی باران را در ماه‌های آوریل تا ژوئن و اکتبر تا دسامبر گزارش کردند. داویسون و همکاران (۲۰۰۵)، صادقی و همکاران (۲۰۱۱) و مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیش‌ترین اندازه‌های فرساینده‌ی باران را در اوایل فصل پاییز گزارش کردند. یافته‌های این پژوهش با تمام نتایج پژوهش‌های مزبور هم‌خوانی دارد. تحلیل دیگر این است که بیشترین اندازه‌های فرساینده‌ی باران در بسیاری از این مناطق هم‌زمان با انجام فعالیت‌های اصلی کشاورزی (کاشت و برداشت محصولات) است. به‌عبارت دیگر عملیات کشاورزی در زمین‌های زراعی (شخم زدن زمین) در فصل پاییز (نوامبر) و برداشت محصول در تابستان انجام می‌شود که زمان‌های بحرانی برای فرسایش خاک به‌شمار می‌روند. در پژوهش‌های پیشین (گیو و همکاران ۲۰۲۰) نیز به این موضوع اشاره شده است. هم‌چنین بررسی تغییرات فرساینده‌ی در ماه‌ها یا فصل‌های خشک و مرطوب سال نیز نشان داد که افزایش بارش تنها عامل اصلی برای تغییرات فرساینده‌ی باران نبود، بلکه در برخی از ماه‌ها نوع بارندگی اهمیت بیشتری داشت (بارندگی همرفتی معدود در تابستان، چرخشی و کوهستانی در زمستان و پاییز)

کاشت و برداشت) در زمین‌های کشاورزی و هم‌چنین زمان حضور، تراکم و توان حفاظتی پوشش گیاهی زمین‌های غیرکشاورزی در مقابل قطره‌های باران نگران‌کننده است. شوربختانه در زمین‌های کشاورزی در زمان‌هایی از سال که بیشترین عملیات خاک‌ورزی انجام می‌شود (بهار و پاییز) فرساینده‌ی باران نیز بیشترین اندازه است. اما در زمین‌های مرتعی به‌ویژه در بلندی‌ها در فصل‌های پاییز و زمستان که در سطح خاک کمترین

پوشش حفاظتی گیاهی است، نوع نزولات جوی به‌شکل برف از شدت فرساینده‌ی باران می‌کاهد. بنابراین در این پژوهش ارزیابی زمانی فرساینده‌ی باران با اعمال ضریب اصلاحی پوشش برف در آن، با زمان‌بندی حضور و تراکم پوشش گیاهی در سطح خاک نتایج قابل استنادتری برای استفاده‌ی مدیران و برنامه‌ریزان آمایش سرزمین به‌ویژه در بخش کشاورزی برای انتخاب نوع محصولات مناسب برای هر منطقه خواهد داشت.

فهرست منابع

- Arabkhedri M, Asadi H, Eslami F, Gerami Loshabi Z, Vazifehdoost M. 2021. Application of vegetation cover seasonality, temporal variation of rainfall erosivity and sediment yield for land utilization planning. *Journal of Water and Soil Conservation*. 27(5): 217-232. (In Persian).
- Barkhordari J, Nikkami D, Samadi MB, Tabatabaeizadeh M. 2015. Suitability of different rainfall erosivity indices in cold, dry climate of central Iran, a Case study in Nir range-land research station-Yazd Province. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 7(2): 136-144. (In Persian).
- Behzadfar A, Khaledi Darvishan A, Gharagozlou A. 2016. Preparation of rainfall erosivity factor map by using GIS (Case Study: Darkesh Watershed, North Khorasan province). 11th National Seminar on Watershed Management Sciences and Engineering. 648-655. (In Persian).
- Chavoshi S, Sulaiman WNA, Saghafian B, Sulaiman MNB, Abd Mana L. 2013. Flood prediction in southern strip of Caspian Sea Watershed. *Water Resources and the Regime of Water Bodies*. 40(6): 593-605.
- Davison P, Hutchins MG, Anthony SG, Betson M, Johnson C, Lord EI. 2005. The Relationship between potentially erosive storm energy and daily rainfall quantity in England and Wales. *Science of the Total Environment*. 15: 344 (1-3): 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.002>.
- Desinayak N, Prasad AK, El-Askary H, Kafatos M, Asrar GR. 2022. Snow cover variability and trend over the Hindu Kush Himalayan region using MODIS and SRTM Data. *Annals of Geophysics*. 40(1): 67-82. <https://doi.org/10.5194/angeo-40-67-2022>.
- Di Lena B, Curci G, Vergni L. 2021. Analysis of rainfall erosivity trends 1980-2018 in a complex terrain region (Abruzzo, Central Italy) from Rain Gauges and Gridded Datasets. *Atmosphere*. 12(6): 657. <https://doi.org/10.3390/atmos12060657>.
- Entezami H, Mojarrad F, Darand M, Shahabi H. 2021. Investigating the changes in snow cover in Sefidrood drainage basin using remote sensing. *Geography and Environmental Sustainability*. 11(2): 1-18. (In Persian).
- Eslami H. 2022. Evaluation of spatio-temporal variations of rainfall erosivity index using cokriging method in Khouzestan Province. *Watershed Engineering*. 8(3): 1-15. (In Persian).
- Fathollahnejad Damghani Y. 2008. The study of rainfall spatial and temporal changes effects on rainfall erosivity (Case study: Gorganrood Watershed). M.Sc. Thesis. Department of Range and Watershed Management. Mazandran University. 1-96. (In Persian).
- Gerami Loshabi Z, Arabkhedri M, Asadi H, Bayat R. 2016. The influence of rainfall erosivity temporal variation on suspended sediment load seasonality (Case study: Kasiliyan Basin). *Journal of Watershed Management Research*. 7(14): 167-176. (In Persian).
- Gu Z, Feng D, Duan X, Gong K, Li Y, Yue T. 2020. Spatial and temporal patterns of rainfall erosivity in the Tibetan Plateau. *Water*. 12(1): 200. <https://doi.org/10.3390/w12010200>.
- Guesri M, Megnounif A, Nekkache Ghenim A. 2020. Rainfall erosivity and sediment yield in northeast Algeria: K'sob Watershed Case Study. *Arabian Journal of Geosciences*. 13(299): 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5276-1>.
- Hall DK, Riggs GA. 2007. Accuracy assessment of the MODIS snow products. *Hydrological Processes*. 21(12): 1534-1547. <https://doi.org/10.1002/hyp.6715>.
- Hazbavi Z, Sadeghi SHR. 2013. Analysis of spatial trend of rainfall erosivity in Iran. 1st International Conference on Environmental

- Crisis and its Solutions, Kish Island-Iran. February. 13: 434-440.
- Hoyos N, Waylen PR, Jaramillo A. 2005. Seasonal and spatial of erosivity in a tropical watershed of the Colombia Andes. *Journal of Hydrology*. 314(1-4): 177-191. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.014>.
- Jain MK, Das D. 2010. Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and Remote Sensing. *Water Resources Management*. 24(10): 2091-2112. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9540-0>.
- 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 Khamsan representative watershed (West of Iran). *Agrofor International Journal*. 3(2): 22-31.
- Lee S, Hyun Bae J, Hong J, Yang D, Panagos P, Borrelli P, Yang JE, Kim J, Lim KJ. 2022. Estimation of rainfall erosivity factor in Italy and Switzerland using bayesian optimization based machine learning models. *Catena*. 211(105957): 1-14.
- Mohammadi Sh, Balouei F, Haji Kh, Khaledi Darvishan A, Karydas C. 2021. Country-scale spatio-temporal monitoring of soil erosion in Iran using the G2 Model. *International Journal of Digital Earth*. 14(8): 1019-1039. <https://doi.org/10.1080/17538947.2021.1919230>.
- Mostafazadeh R, Zabihi M, Haji Kh, Ghavimippanah MH. 2019. Spatiotemporal variations of rainfall erosivity factor in Gorganroud Watershed. *Nivar*. 42(102): 9-18. ((In Persian
- Nikkami D, Mahdian MH. 2015. Rainfall erosivity mapping in Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 6(4): 364-376. (In Persian).
- Padulano R, Rianna G, Santini M. 2021. Datasets and approaches for the estimation of rainfall erosivity over Italy: a comprehensive comparison study and a new method. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 34(1): 100788. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100788>.
- Panagos P, Ballabio C, Borrelli P, Meusburger K, Klik A, Rousseva S, Tadić MP, Michaelides S, Hrabalíková M, Olsen P, Aalto J, Lakatos M, Rymaszewicz A, Dumitrescu A, Beguería S, Alewell C. 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*. 1(511): 801-814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>.
- Panagos P, Borrelli P, Meusburger K, Yu B, Klik A, Lim KJ, Yang JE, Ni J, Miao C, Chattopadhyay N, Sadeghi SHR, Hazbavi Z, Zabihi M, Larionov GA, Krasnov SF, Gorobets AV, Levi Y, Erpul G, Birkel C, Hoyos N, Naipal V, Oliveira PTS, Bonilla CA, Meddi M, Nel W, Al Dashti H, Boni M, Diodato N, Van Oost K, Nearing M, Ballabio C. 2017. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*. 7:4175; 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>.
- Rabbaniha M, 2017. Environmental and ecological studies in the northern Alborz of Golestan Province with the aim of fisheries development. Ministry of Jihad Agriculture Research Organization. Agriculture Education and Extension, Inland Fisheries Research Institute - Inland Aquatic Resources Research Center. 156 p. (In Persian).
- Raj R, Saharia M, Chakma S, Rafieinasab A. 2022a. Mapping rainfall erosivity over India using multiple precipitation datasets. *Catena*. 214(106256): 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106256>.
- Raj R, Saharia M, Chakma S, Rafieinasab A. 2022b. Spatial variability of rainfall erosivity over India. EGU General Assembly 2022. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-152>.
- Sadeghi SHR, Hazbavi Z. 2015. Trend analysis of the rainfall erosivity index at differ-

- ent time scales in Iran. *Natural Hazards*. 77(1): 383-404. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1607-z>.
- Sadeghi SHR, Moatamednia M, Behzadfar M. 2011. Spatial and temporal variations in the rainfall erosivity factor in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 13(1): 451-464.
- Sadeghi SHR, Zabihi M, Vafakhah M, Hazbavi Z. 2017. Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. *Natural Hazards*. 87(1): 35-56. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2752-3>.
- Shahhossein T, Nazarnejad H, Asadzadeh F. 2022. Rainfall erosivity mapping for West Azerbaijan province. *Applied Soil Research*. 9(4): 49-61. (In Persian).
- Shamshad A, Azhari MN, Isa MH, Wan Hus-sin WMA, Parida BP. 2008. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI30 index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. *Catena*. 72(3): 423-432. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.08.002>.
- Zabihi M, Sadeghi SHR, Vafakhah M. 2016. Spatial analysis of rainfall erosivity index patterns at different time scales in Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 7(4): 442-457. (In Persian).
- Zare S, Soltani Gerdefaramarzi S, Tazeh M. 2019. Comparison of geostatistical methods in the zoning of erosivity index (Case study: Fars Province). *Geography and Programming*. 23(68): 157-177. (In Persian).
- Zare S, Soltani Gerd faramarzi S, Tazeh M. 2017. Determination of the best rainfall erosivity index in Fars Province and its zoning. *Geography and Development*. 15(48): 231-244. (In Persian).
- Zhang Y, Yan S, Lu Y. 2010. Snow cover monitoring using MODIS Data in Liaoning Province, Northeastern China. *Remote Sensing*. 2(3): 777-793. <https://doi.org/10.3390/rs2030777>.



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Spatiotemporal Variations of the Rainfall Erosivity with Considering Snow Cover Correction Coefficient in the Iranian Part of the Caspian Sea Basin

Khadijeh Haji¹, Abdulvahed Khaledi Darvishan^{*2}, Raoof Mostafazade³

1-Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources,
Tarbiat Modares University, Noor, Iran

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

3-Associate Professor, Department of Watershed Management and Member of Water Management Research Institute,
University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Extended Abstract

Introduction and Objective

Awareness of the pattern of spatial and temporal variations of the rainfall erosivity is essential for improving soil erosion estimates, especially considering snow cover in different months. In the Caspian Sea Basin, due to the low distance between mountain regions and rainy plain, estimation of rainfall erosivity factor without considering snow cover correction coefficients is associated with a significant uncertainty. Accordingly, the current study aims to analyze the spatiotemporal variations of the rainfall erosivity factor with considering snow cover correction coefficient in the Iranian part of the Caspian Sea Basin.

Materials and Methods

To prepare monthly, seasonal and annual rainfall erosivity factor, monthly rainfall data of 56 synoptic stations of the Caspian Sea Basin were obtained from the national meteorological organization and statistical yearbooks with a common statistical period of 20-25 years (1996-2020). As a result, the rain erosive layer in different time bases using Co-Kriging geostatistical method with auxiliary variable of height above sea level with less root mean square error (RMSE) was used as the most common evaluation index and selection of the optimal method. Then the monthly snow cover layer was prepared

Article Type: Research Article

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

Citation: Haji, KH., Khaledi Darvishan, A., Mostafazade, R. 2023. Spatiotemporal variations of the rainfall erosivity with considering snow cover correction coefficient in the Iranian part of the Caspian Sea Basin. Watershed Management Research. 36(3): 70-89.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.359311.1484

Received: 12 July 2022, **Received in revised form:** 04 October 2022, **Accepted:** 21 December 2022,

Published online: 23 September 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.3, Ser. No: 140, Autumn 2023, pp. 70-89.

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



from MOD10CM product and the rainfall erosivity for each month was modified.

Results and Discussion

Based on the results, the average annual rainfall erosivity factor of the Iranian part of the Caspian Sea Basin was 254.61 (MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹), while by considering the snow cover correction coefficient, the rainfall erosivity value was reduced to 210.53 (MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹). Also, Bandar Anzali and Manjil synoptic stations have the highest and lowest values of the average annual rainfall erosivity factor equal to 749.30 and 162.87 (MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹), respectively. In addition, after considering the snow cover correction coefficient, the highest monthly rainfall erosivity values of 27.27, 25.81 and, 25.56 MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹ were observed in April, October and, November, respectively. On the other hand, 12.81% of the studied area is in the medium to very high levels of rainfall erosivity in the northern part of the Caspian Sea Basin, which can be used to prioritize different areas in order to carry out conservation measures to reduce the effect of the rainfall erosivity factor on the amount of soil erosion and sediment yield were used.

Conclusion and Suggestions

Based on the results of the current research, it can be stated that the fluctuation of rainfall erosivity in different months and seasons is also affected by the rainfall time distribution throughout the year. Therefore, the maximum amounts of rainfall erosivity in most of the studied areas correspond to the main times of agricultural activities, i.e. planting and harvesting, which are critical times for soil erosion. Investigating the spatial pattern of rainfall erosivity in the Iranian part of the Caspian Sea Basin shows many relative changes between different regions from the plains to the highlands. Although this pattern is somewhat consistent with the pattern of climate changes from drier and less rainy areas to wetter and more rainy areas, the type of precipitation and especially snow in high areas has reduced the rainfall erosivity in these areas. Therefore, the temporal evaluation of rainfall erosivity resulting from the current research, in which the snow cover correction coefficient is applied, with the timing of the presence and density of vegetation on the soil surface, provides more reliable results for land management managers and planners, especially in the agricultural sector, to choose the right type of crops for each will place the area.

Keywords: Geostatistics, rainfall erosivity index, snow cover area, soil degradation, watershed management

ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی آبخیز نیر، استان اردبیل

زینب حزب‌بوی^{۱*}، ائلناز قابل‌نظام^۲، الهام عزیزی^۳، زهرا شریفی^۴، سولماز فتح‌العلومی^۵، محمدرضا نیکو^۶

- ۱ - دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده‌ی مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۲ - دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- ۳ - دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۴ - دانشجوی دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
- ۵ - دانش‌آموخته‌ی دکتری، کارشناس، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۶ - دانشیار، گروه مهندسی عمران و معماری، دانشگاه سلطان قابوس، مسقط، عمان

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

کیفیت بوم‌شناختی یک واحد اندازه‌گیری جامع از عناصر، ساختار و عملکرد یک بوم‌سازگان در مقیاس‌های زمان و مکان است. هم‌چنین، ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی می‌تواند در اولین گام برنامه‌ریزی هدف‌مند و مدیریت جامع آبخیز اطلاعات ارزشمندی برای استفاده‌ی کارشناسان و مدیران داشته باشد. به این منظور، این پژوهش با هدف محاسبه‌ی شاخص کیفیت بوم‌شناختی (EQI) در یکی از آبخیزهای بالادست سد یامچی که بی‌تأثیر از دخالت‌های انسانی نیست، انجام شد.

مواد و روش‌ها

آبخیز نیر به‌عنوان منطقه‌ی مطالعاتی در بخش جنوب‌غرب استان اردبیل است. برای انجام پژوهش، ابتدا، متغیرهای مهم ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی (شاخص بهنجار شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)، نسبت پوشش گیاهی

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: حزب‌بوی، ز.، قابل‌نظام، ا.، عزیزی، ا.، شریفی، ز.، فتح‌العلومی، س.، نیکو، م.ر. ۱۴۰۲. ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی آبخیز نیر، استان اردبیل. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۹۰-۱۱۰.

شناسه‌ی دیجیتالی: 10.22092/WMRJ.2023.360357.1494

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۰۸/۲۸، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۹/۳۰، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۰، پاییز ۱۴۰۲، صفحه‌های ۹۰ تا ۱۱۰.

© نویسندگان

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



(FVC)، شاخص سطح برگ (LAI)، تولید خالص اولیه (NPP)، شاخص رطوبت (IM)، شاخص دمای سطح زمین (LST)، فرسایش خاک، شاخص پیوستگی بوم‌شناختی و شاخص نگهداشت رواناب) استخراج و محاسبه شدند. متغیرها به‌نحوی انتخاب شدند که نشان‌دهنده‌ی سه عملکرد حفظ، پشتیبانی و تنظیم بوم‌سازگان باشند. پس از نرمال‌سازی، با استفاده از رویکرد پیشرفته‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌نام مدل تصور تعقیبی (PPM)، وزن‌دهی متغیرها انجام شد. در نهایت براساس مجموع وزنی متغیرها، شاخص کیفیت بوم‌شناختی (EQI) برای ۱۱ زیرآبخیز محاسبه شد.

نتایج و بحث

دامنه‌ی تغییرپذیری بسیار زیاد متغیرهای استفاده شده در سطح کل آبخیز نیر تأیید شد. به‌طور کلی، زیرآبخیز ۱ حداکثر میانگین متغیرهای اول تا چهارم (NPP، NDVI، FVC و LAI) و حداقل میانگین LST داشت. در حالی که زیرآبخیز ۱۱ از نظر همین پنج متغیر وضعیت عکس داشت. هر پنج متغیر منعکس‌کننده‌ی ساختار و عملکرد پوشش گیاهی و در نتیجه کیفیت بوم‌شناختی هستند. وضعیت سایر شاخص‌ها به‌جز پیوستگی بوم‌شناختی (EC) نیز در زیرآبخیز ۱ در وضعیت متوسط ارزیابی شدند. براساس روش وزن‌دهی PPM، شاخص نسبت پوشش گیاهی (۰/۳۹) بیشترین اهمیت و شاخص‌های رطوبت و نگهداشت رواناب با وزن ۰/۰۱ کم‌ترین اهمیت را داشتند. هم‌چنین، نتایج ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی نشان داد که زیرآبخیزهای ۱۱ ($EQI=0/10$) و ۱ ($EQI=0/90$) به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین اندازه‌ی EQI را داشتند. به‌طور کلی، با توجه به نتایج پهنه‌بندی مشخص شد که قسمت‌های جنوب‌شرق و شمال‌شرق آبخیز در طبقه‌ی بسیار کم شاخص کیفیت بوم‌شناختی (EQI) هستند که ۲۹٪ آبخیز مطالعه شده را تشکیل می‌دهند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش به‌عنوان یکی از هدف‌های اصلی و مهم مدیریت آبخیز در راستای حفظ سلامت و یکپارچگی بوم‌سازگان می‌تواند کاربرد داشته باشد. هم‌چنین، می‌توان اولویت‌بندی تخصیص بودجه‌ی احیاء را براساس درجه‌ی تاب‌آوری زیرآبخیزهای مطالعه شده انجام داد.

واژگان کلیدی: ارزیابی شاخص‌محور، تاب‌آوری بوم‌سازگان، مدل تصور تعقیبی، مدیریت منابع

مقدمه

انسان را تهدید می‌کند (ورسمارتی و همکاران ۲۰۱۳، وی و همکاران ۲۰۲۱). بر همین اساس، اخیراً، بررسی زمان و ماهیت تغییر بوم‌سازگان به‌عنوان یک چالش اساسی مطرح شده است، زیرا تغییر در بوم‌سازگان که نتیجه‌ی فعالیت‌های غیرمنطقی انسان بوده است، تمام جلوه‌ها و جنبه‌های زندگی انسان را تحت تأثیر قرار داده است (یانگ و همکاران ۲۰۱۱). برای تصمیم‌گیری‌های لازم در مدیریت بوم‌سازگان و بهبود شفافیت آن، نیاز اساسی به معیارها و مفهومی‌هایی برای توصیف شرایط «مطلوب» یا «نامطلوب» یا تعریف شاخص کیفیت بوم‌شناختی (EQI)^۱ در یک بوم‌سازگان است (فرفوگل و لوتزنیوتن ۲۰۰۲، بورخارد و مولر ۲۰۰۸). کیفیت در واژه به‌معنای چگونگی، حالت، وضعیت و به‌طور کلی به‌معنای نشان دادن ویژگی‌های کمی و کیفی هر پدیده، شیء و موضوعی که بررسی شده است، می‌باشد (استادی و همکاران ۲۰۱۷). کیفیت

مالتوس اولین کسی بود که با بررسی عامل‌های انسانی مؤثر بر محیط‌زیست، به چرایی رخداد مشکلات بوم‌شناختی توجه کرد. او باور داشت که رشد جمعیت عامل اصلی کمبود منابع است (مالتوس و همکاران ۲۰۲۲). هم‌چنین، فعالیت‌های انسانی روند طبیعی چرخه‌ی بوم‌سازگان را تغییر داده است و منجر به بروز مشکلات حاد بوم‌شناختی مانند نابودی جنگل‌ها، فرسایش خاک و بیابان‌زایی شده است (وانگ و همکاران ۲۰۲۱، مو و همکاران ۲۰۲۱، لیو و همکاران ۲۰۱۹). بوم‌سازگان یک سامانه‌ی پویا و شکننده است که برای گردش مواد و جریان انرژی، ساختار و عملکرد ویژه‌ای دارد (وو و همکاران ۲۰۲۲). از آن جایی که بوم‌سازگان‌ها مهم‌ترین منبع تولید خدمات در جهان به‌شمار می‌روند و بخش بزرگی از خدمات گوناگون را برای میلیون‌ها انسان فراهم می‌کنند، از این رو، مشکلات بوم‌شناختی به‌طور جدی تعادل بوم‌سازگان‌ها را ضعیف کرده است و بقای

متحد (UNEP)^۴ و سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD)^۵ به‌طور مشترک چارچوب "فشار-حالت-پاسخ" (PSR)^۶ را در زمینه‌ی ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی پیشنهاد کردند و از این ارزیابی به‌عنوان یک کار پیچیده و چالش‌برانگیز یاد کرده‌اند (آن و همکاران ۲۰۲۲). نگرانی مهم جامعه‌ها در کشورها، درک و فهم تغییرات کیفیت بوم‌شناختی است. بنابراین در این میان شناسایی توزیع و تغییرات مکانی شاخص‌های کیفیت بوم‌شناختی و بررسی آن اهمیت زیادی دارد. در این راستا، چنگ‌لین و همکاران (۲۰۱۶) در استان آنهوئی کیفیت بوم‌شناختی محیط‌زیست براساس ردپای بوم‌شناختی را ارزیابی کردند. آن‌ها از داده‌های بوم‌شناختی محیط‌زیست^۷، جامعه، اقتصاد و جمعیت، ردپای بوم‌شناختی، ظرفیت تحمل بوم‌شناختی محیط‌زیست و کمبود و مازاد بوم‌شناختی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رابطه‌ی میان عرضه و تقاضای ردپای بوم‌شناختی تقریباً نامتعادل است. در چین هانگ و همکاران (۲۰۲۰) در استان جیانگسو در نانجینگ کیفیت بوم‌شناختی و تأثیر شهرنشینی بر اساس شاخص بوم‌شناختی مبتنی بر سنجش از دور (RSEI)^۸ را ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها بیان‌گر این بود که فرآیند شهرنشینی با ضریب همبستگی ۰/۹۱- با کیفیت بوم‌شناختی منطقه همبستگی منفی دارد. در شانگ‌های چین یان و همکاران (۲۰۲۱) ارزیابی چندمعیاره‌ی کیفیت محیط‌زیست شهری را انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین شاخص بوم‌شناختی مبتنی بر سنجش از دور در سال ۲۰۲۰ در مقایسه با سال ۲۰۱۶ افزایش یافته است. در چین اوپانگ و همکاران (۲۰۲۱) در استان جیانگشی کیفیت بوم‌شناختی را با استفاده از مدل تصور تعقیبی (PPM)^۹ ارزیابی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که در محاسبه‌ی کیفیت بوم‌شناختی، شاخص بهنجار شده‌ی اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)^{۱۰} و کارایی مصرف آب (WUE)^{۱۱} بیش‌ترین را داشتند و و شاخص سطح برگ (LAI)^{۱۲} و نسبت بوون^{۱۳} کم‌ترین وزن را داشتند. در شمال چین کونگ و همکاران

بوم‌شناختی نیز یک نیاز اساسی برای بقا انسان است که مستقیماً بر توسعه‌ی پایدار، محیط زندگی انسانی و اقتصاد اجتماعی تأثیر می‌گذارد و به‌دنبال آن توسعه‌ی پایدار نیز به چگونگی تأثیر اقدام‌های انسانی بر وضعیت خدمات بوم‌سازگان بستگی دارد (تادسه و همکاران ۲۰۱۴). کیفیت بوم‌شناختی بیان‌گر ساختار، عملکرد، سازگاری و تاب‌آوری بوم‌سازگان از نظر شرایط زیستی، فیزیکی، شیمیایی و یکپارچگی محیطی است که در یک محدوده‌ی زمانی-مکانی خاص تعریف می‌شود (وانگ و همکاران ۲۰۱۹، کونگ و همکاران ۲۰۲۲).

کمی‌سازی دقیق روند تغییرات کیفیت بوم‌شناختی و شاخص‌های مهم و مؤثر قبل و پس از فعالیت‌های اصلاحی، برای مدیریت سیاست منطقه‌ای از نظر شکنندگی و پایداری بوم‌شناختی ضروری است (چای و لها ۲۰۱۸). احیاء بوم‌سازگان نیازمند مشارکت انسان در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی است، که نقش بشر در تغییر الگوهای چشم‌انداز، استفاده‌ی منطقی از زمین، پوشش گیاهی، تنوع گونه‌ها و پایداری ساختار بوم‌سازگان آشکار می‌شود (سو و همکاران ۲۰۱۷). از طرفی پیش‌شرط‌های تصمیم‌گیری‌های مدیریتی از روش تجزیه و تحلیل کمی مؤثر و جامع اطلاعات کیفیت بوم‌سازگان به‌دست می‌آید (جانسن و همکاران ۲۰۱۳، هونگ و همکاران ۲۰۱۶). به‌طور کلی با توسعه‌ی معیارهای مدیریتی، تعریف کیفیت بوم‌شناختی تعدادی ایده مرتبط را به‌وجود آورده است که برجسته‌ترین آن‌ها شامل مفهوم‌های یکپارچگی زیستی^۲ و سلامت بوم‌سازگان^۳ است (پاتزولد و همکاران ۲۰۱۰). یکپارچگی بوم‌شناختی نشان‌دهنده‌ی واگرایی از شرایط مرجع طبیعی است که به فعالیت‌های انسانی مربوط می‌شود و سلامت بوم‌سازگان نیز به‌عنوان "پایدار بودن، حفظ سازمان و استقلال در طول زمان و تاب‌آوری در برابر تنش" تعریف شده است (کار ۱۹۹۹، پاتزولد و همکاران ۲۰۱۰).

در دهه‌ی اخیر، در سطح جهان و ایران، ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی به شکل‌های مختلف توسعه یافته و به‌کار گرفته شده است. برنامه‌ی محیط‌زیست سازمان ملل

2 - Biological integrity

3 - Ecosystem health

4 - United Nations Environment Programme (UNEP)

5 - Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)

6 - Pressure-state-response (PSR)

7 - Eco-environmental quality

8 - Remote Sensing Ecological index (RSEI)

9 - Projection Pursuit Model (PPM)

10 - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

11 - Water Use Efficiency (WUE)

12 - Leaf Area Index (LAI)

13- Bowen

(۲۰۲۲) در منطقه‌ی شنی اوتینداگ چارچوب علمی جدیدی برای ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی مناطق خشک براساس اصل^{۱۴} IOAO ارائه دادند. نتایج آنها نشان داد که پوشش گیاهی ۳۰٪ کیفیت زمین‌های شنی و خاکی را بهبود داده است.

در ایران نیز، لقایی و همکاران (۲۰۱۱) راهکارهای بازنده‌سازی و سامان‌دهی پارک‌های شهری را با هدف بهبود کیفیت بوم‌شناختی و اجتماعی در پارک شهر محله‌ی سنگلج تهران با روش توصیفی و تحلیلی را بررسی کردند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که بوم‌شناختی پارک با توجه به ترکیب پوشش گیاهی و آسیب‌شناسی آن، راهکارهای بهینه‌سازی وضعیت آن و پایداری چشم‌انداز پارک اهمیت زیادی دارد و انجام فعالیت اجتماعی برای تأمین نیازهای بازدیدکنندگان را تأکید کردند. در مشهد استادی و همکاران (۲۰۱۷) ارزیابی و رتبه‌بندی مناطق شهری با تأکید بر کیفیت بوم‌شناسی پارک‌ها و فضای سبز به روش تاپسیس را انجام دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که مناطق ۵ و ۱۲ به‌ترتیب بهترین و نامطلوب‌ترین کیفیت بوم‌شناختی را داشتند. سپهوند (۲۰۲۱) در خرم‌آباد کیفیت بوم‌شناختی چشم‌انداز خیابان‌های شهری از دیدگاه شهروندان ارزیابی کرد. ایشان نتیجه گرفت که وجود فضای سبز و عنصرهای بوم‌شناسی نقش مهمی در رویدادهای مکانی و محورهای سبز شهری دارند و کاستی در ارتقاء کیفیت عملکرد نادیده گرفته شده است و شهروندان رضایت نداشته‌اند.

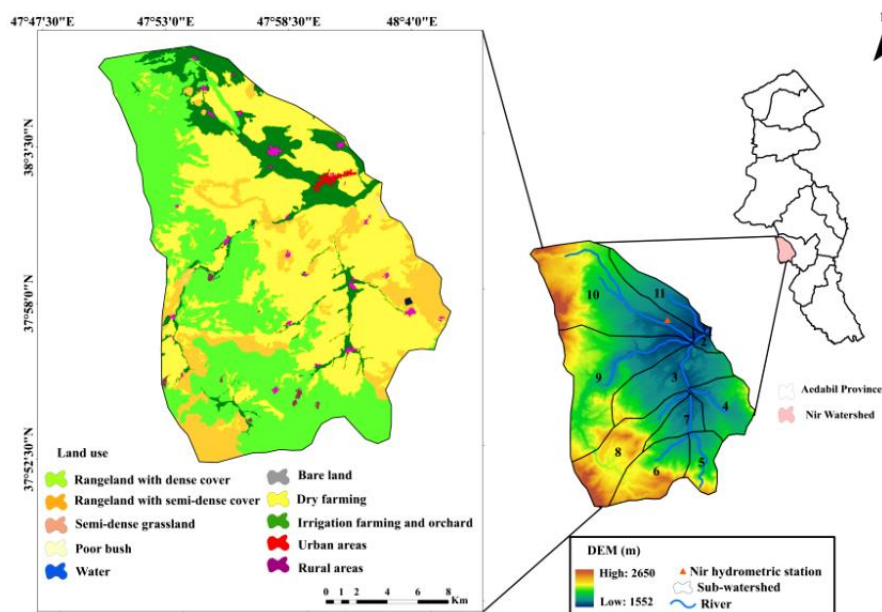
در نهایت می‌توان گفت که برای ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی از رویکردهای مختلفی استفاده شده است. با بررسی پژوهش‌های انجام شده در ایران مشخص است که تاکنون در مقیاس آبخیز، ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی انجام نشده است. با توجه به محدودیت‌ها و ظرفیت سرزمین، یکپارچگی و رابطه‌های بوم‌شناختی میان اجزاء مختلف آن به‌خاطر تشدید فعالیت‌های انسانی آسیب‌پذیر به‌نظر می‌رسد. از آنجایی که دانش بوم‌شناختی پیش‌نیاز

ضروری در برنامه‌ریزی برای پایداری است، بنابراین برای حفظ یکپارچگی، تعادل بوم‌سازگان‌ها، مدیریت مؤثر کیفیت بوم‌شناختی و دستیابی به توسعه‌ی پایدار و با کیفیت اقتصادی-اجتماعی ضروری است. همچنین در طرح‌ریزی و برنامه‌ریزی آبخیزها به جنبه‌های مختلف محیط‌زیست از جمله کیفیت بوم‌شناختی آبخیزها و شناسایی عامل‌های مهم تأثیرگذار بر آن توجه و تأکید شود. از این‌رو با توجه به این که کیفیت بوم‌شناختی پیوسته در اثر دخالت‌های انسانی و عامل‌های طبیعی مختلف در حال تغییر است، در این پژوهش با هدف تعیین اندازه‌ی اهمیت هر یک از شاخص‌های مؤثر بر کیفیت بوم‌شناختی آبخیز، ارزیابی و تحلیل مکانی کیفیت بوم‌شناختی آبخیز نیر به‌عنوان بخشی از آبخیز رود قره‌سو انجام شد. نتایج این پژوهش می‌تواند در پایش و ارزیابی منظم شاخص‌های مختلف کیفیت بوم‌شناختی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف و در سطح‌های مختلف تصمیم‌گیری محلی، منطقه‌ای یا ملی استفاده شوند.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مطالعه‌شده

آبخیز نیر در بخش جنوب‌غرب استان اردبیل است. رود نیرچای که از زیرشاخه‌های بالیخلوچای است، در این آبخیز جریان دارد (شکل ۱). شهر نیر در قسمت شرقی این آبخیز است. مساحت آبخیز نیر ۳۷۹/۳۱ کیلومتر مربع، بارندگی آن حدود ۳۵۸/۵۹ میلی‌متر و بلندی متوسط آن ۱۹۱۹/۱۳ متر است. بیشتر جریان‌های عرض‌های میانی و جنب حاره‌ای در استان اردبیل، در دو فصل بهار و تابستان در این ناحیه فعال هستند (چوبه و کاکه‌ممی ۲۰۱۵). بخش‌های کوهستانی این آبخیز در شمال‌غرب و جنوب‌غرب هستند. در این پژوهش، آبخیز نیر به ۱۱ زیرآبخیز تقسیم‌بندی شد که اطلاعات تکمیلی مربوطه در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی آبخیز نیر در استان اردبیل.

Figure 1- Location of Nir watershed in the Ardabil Province.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های گیته‌شناسی و اقلیمی زیرآبخیزهای نیر (زارعی و همکاران ۲۰۲۰).

Table 1- Some physiographic and climatic characteristics of Nir sub-watersheds (Zarei et al. 2020).

Sub-watershed	Area (km ²)	Perimeter (Km)	Mean height (m)	Mean rainfall (mm)	Drainage density (Km/Km ²)	Evaporation and transpiration (mm)	Land use
1	0.62	3.37	1578.89	338.72	2.07	74	Irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangelands with semi-dense cover- semi-dense grassland
2	3.63	9.74	1648.38	342.65	1.24	177	Irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangelands with semi-dense cover- semi-dense grassland- rural areas
3	46.88	34.43	1766.81	349.68	1.09	216	Irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangelands with semi-dense cover- semi-dense grassland- rural areas- dense rangeland - poor bush land
4	28.34	21.99	1804.84	351.95	0.87	63	Bare land- irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangelands with semi-dense cover- semi-dense grassland - rural areas - dense rangelands
5	17.56	18.28	1913.36	358.30	1.07	226	Irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangelands with semi-dense cover- rural areas- dense rangelands
6	33.65	25.20	2065	367.22	1.57	237	Irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangelands with semi-dense cover- rural areas- dense rangelands- poor bush land
7	15.03	19.37	1747.38	348.52	0.98	137	Irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangeland with semi-dense cover- rural areas- dense rangeland
8	43.22	35.85	2129	370.97	1.32	241	Irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangelands with semi-dense cover- rural areas- dense rangelands - poor bush land
9	80	47.16	1920	358.70	1.30	216	Irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangelands with semi-dense cover- rural areas- dense rangelands - poor bush land- semi-dense grassland
10	88.85	45.12	1965	361.31	1.71	222	Irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangelands with semi-dense cover- rural areas- urban areas- dense rangelands - water bodies
11	21.53	27.49	1733.78	347.77	1.29	140	Irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangelands with semi-dense cover- rural areas- urban areas
Total	379.31	85.29	1919.13	358.59	1.32	86.41	Irrigation farming- irrigation farming and orchard- rangelands with semi-dense cover- rural areas- urban areas- semi-dense rangelands- water bodies- bare land- poor shrub land- semi-dense grassland

روش پژوهش

متغیرهای ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی

در این پژوهش چارچوبی مفهومی برای پایش کیفیت بوم‌شناختی با استفاده از عملکرد بوم‌سازگان و شرایط محیطی توسعه داده شد. در این چارچوب از نه متغیر استفاده شد. این متغیرها نشان‌دهنده‌ی سه عملکرد حفظ، پشتیبانی و تنظیم بوم‌سازگان هستند. این متغیرها به شرح زیر هستند:

شاخص بهنجار شده‌ی اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)
 شاخص بهنجار شده‌ی اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) به‌عنوان معیاری برای تعیین سبزی‌نگی پوشش گیاهی است (وانگ و همکاران ۲۰۲۱). این شاخص اکثراً برای مقیاس‌بندی غنای گونه (وانگ و گامون ۲۰۱۹) و تا حدی به‌دلیل ارتباط شناخته شده میان بهره‌وری و تنوع زیستی استفاده می‌شود (ژانگ و همکاران ۲۰۱۲، اوهری و همکاران ۲۰۱۷). بر این اساس، در این پژوهش از NDVI به‌عنوان شاخصی به‌عنوان نماینده‌ی تنوع زیستی در بحث کیفیت بوم‌شناختی استفاده شده است. براساس کیفیت تصویرهای ماهواره‌ای در سال ۱۳۹۸، سه تصویر با حداکثر پوشش گیاهی و نبودن پوشش ابر در منطقه‌ی مطالعه شده، از ماهواره‌ی لندست ۸ انتخاب و دریافت شد. تصویرهای ماهواره‌ای باندهای تصویر به‌وسیله‌ی نرم‌افزار ENVI 5.3 به‌شکل سه باند مختلف تهیه شد و سه رنگ قرمز، سبز و آبی به هر باند، ترکیب شد. برای اطمینان از انجام تصحیح هندسی، صحت تصویرها از روش مقایسه‌ی تصویرها با نقشه‌های زمین منبع تأیید شد. پردازش تصویرهای ماهواره‌ای مجموعه داده‌های گروه لندست ۸ به صورت تصحیح‌های تشعشع‌سنجی جوی با استفاده از دستورالعمل Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis (of Spectral Hypercube, FLAASH) با نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. باندهای ۴ و ۵ به محیط نرم‌افزارهای ArcGIS 10.8 و TerrSet فراخوان شدند. در نهایت اندازه‌های NDVI در سطح زیرآبخیزها با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه شد.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

Red: باند قرمز، NIR: باند مادون قرمز نزدیک است.

نسبت پوشش گیاهی (FVC)

نسبت پوشش گیاهی (FVC) ^{۱۵} یک متغیر مهم در بررسی تعادل بوم‌سازگان، فرسایش خاک و تغییرات آب

و هوایی است که اغلب برای ارزیابی و نظارت بر نابودی پوشش گیاهی و بیابان‌زایی استفاده می‌شود. نسبت پوشش گیاهی به‌طور مستقیم نشان‌دهنده‌ی حفظ حاصل‌خیزی خاک از راه جلوگیری از فرسایش است (ریکوسکی و فورسلا ۱۹۹۸، تانگ و همکاران ۲۰۲۰). سنجش از دور تنها راه ممکن برای برآورد نسبت پوشش گیاهی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی است. در این پژوهش در تصویرهای NDVI، پیکسل‌ها نماینده‌ی قسمت‌های پوشیده شده با گیاه و بدون پوشش گیاهی هستند. فرض بر این است که NDVI هر پیکسل از دو قسمت با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی تشکیل شده است (لی و همکاران ۲۰۰۴، سوری و همکاران ۲۰۲۱). بر این اساس، نسبت پوشش گیاهی با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه شد.

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (2)$$

NDVImax و NDVImin: به‌ترتیب حداقل و حداکثر اندازه‌ی NDVI است.

شاخص سطح برگ (LAI)

شاخص سطح برگ (LAI) یک شاخص مهم زیستی-فیزیکی گیاهی است که شامل اطلاعات گسترده‌ای برای رفتار پویای بهره‌وری بوم‌سازگان، آب و هوا و پستی‌بلندی است. همچنین این شاخص کمی برای بیان اندازه‌ی سبزی‌نگی گیاه به سطح سایه‌انداز آن است (عندلیبی و همکاران ۲۰۲۱). این شاخص معرف مجموع مساحت یک طرف برگ گیاهان در واحد سطح زمین است که به‌صورت یک عدد و بدون واحد نشان داده می‌شود (عدل ۲۰۰۷). از آن‌جایی که LAI نماینده‌ی رشد گیاه است، اغلب برای تعیین کمیت تولید فتوسنتز گیاه، تبخیر و تعرق، تبادل انرژی سطح زمین میان بوم‌سازگان و جو و تولید خالص اولیه استفاده می‌شود (عدل ۲۰۰۷، جعفری‌صیادی و همکاران ۲۰۱۸، کیو و ژوانگ ۲۰۱۸). جونخری و همکاران (۲۰۰۴) معتقدند که برآورد LAI برای بسیاری از بررسی‌های مربوط به جو ضروری است و از آن به‌عنوان یک مؤلفه بحرانی که واکنش تاج پوشش گیاهان نسبت به تغییرات جهانی محیط‌زیست را به‌خوبی نشان می‌دهد، استفاده می‌شود (عدل ۲۰۰۷). شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از رابطه‌ی ۳، از سامانه‌ی GEE ^{۱۶} برآورد شد. (عندلیبی و همکاران ۲۰۲۱).

شد. شاخص رطوبت با استفاده از رابطه‌ی ۴ محاسبه شد (اویانگ و همکاران ۲۰۲۱).

(۴)

$$MI = 100 \times \left(\frac{P}{PET} - 1 \right)$$

P: بارش (میلی‌متر)، ET: تبخیر و تعرق است. داده‌های اقلیمی مربوط به آبخیز نیر از ایستگاه هواشناسی نیر برای دوره‌ی آماری ۱۳۹۳-۱۳۶۰ تهیه شد. همچنین، نقشه‌ی تبخیر و تعرق از اطلاعات سنجش از دور MOD16A3 با اندازه‌ی سلولی ۵۰۰ متر تهیه شد. این دستورالعمل مبتنی بر معادله‌ی پنمن-مونتیت^{۱۷} است. برای اجرای دستورالعمل از داده‌های هواشناسی روزانه به‌همراه طیف‌سنج تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) سنجش از دور مانند ویژگی‌های پویای گیاهی، آلبدو و پوشش زمین استفاده می‌شود (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a3v006/>).

شاخص دمای سطح زمین (LST)

دمای هوا از جمله عامل‌هایی است که تحت تأثیر شرایط محیطی است و یکی از شاخص‌های ارزیابی کیفیت محیط زیست به‌شمار می‌رود. منبع اصلی و رایج داده‌های اقلیمی مانند دمای هوا، ایستگاه‌های هواشناسی هستند. در حالی که این ایستگاه‌ها فقط آمار نقاط خاصی را دارند (دشتکیان و دهقانی ۲۰۰۸). روش‌های مختلفی مانند رابطه‌ی وایازی با بلندی، میانگین وزنی فاصله‌ی معکوس^{۲۰} و کریجینگ برای برآورد دمای سطح زمین به‌وسیله‌ی پژوهش‌گران استفاده شده است. اما با توجه به این که دمای سطح زمین^{۲۱} (LST) وابستگی زیادی به نوع پوشش آن دارد، بنابراین روش‌های مزبور نمی‌توانند دما را به درستی برآورد کنند (یانگ و همکاران ۲۰۰۴). روش‌های مختلف درون‌یابی زمانی دقت قابل قبولی دارند که داده‌های ماهواره‌ای پوشش سطح زمین نیز در نظر گرفته شود. در این پژوهش از دمای سطح زمین به‌عنوان شاخص مهم تنظیم گرما استفاده شد که از نتایج فتح‌العلومی و همکاران (۲۰۲۰) برگرفته شده است. فتح‌العلومی و همکاران (۲۰۲۰) برای برآورد شاخص دمای سطح زمین از تصویرهای ماهواره‌ای سایت USGS در سال ۱۳۹۸ استفاده کردند. این پژوهشگران از داده تولیدی بخار آب (MOD07) با وضوح ۵۰۰۰ متر برای برآورد LST بر مبنای باندهای حرارتی تصویرهای لندست ۸ استفاده کردند.

$$LAI = 3.618 \times EVI - 0.118 \quad (3)$$

EVI: شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته است.

شاخص تولید خالص اولیه (NPP)

تولید خالص اولیه^{۱۷} (NPP) از شاخص‌های مهم ارزیابی تولید بوم‌سازگان‌های طبیعی است که به‌عنوان نتیجه‌ی تبادل ذخیره‌ی کربن میان هواکره و زیست‌کره در نظر گرفته می‌شود. برای نگهداری سایر خدمات بوم‌سازگان NPP، ضروری است (گارلند و همکاران ۲۰۲۱). اندازه‌ی تولید گیاهان در هر بوم‌سازگان تحت تأثیر عامل‌های اقلیمی هم‌چون بارش، دما، انرژی خورشیدی، شرایط خاک و موجودات زنده است که تغییرات فصلی و سالانه‌ی زیادی دارد (ایمپهوف و همکاران ۲۰۰۴). اندازه‌ی NPP از نظر اندازه‌ی ماده برای سطح‌های دوم زنجیره غذایی اهمیت دارد، افزون بر این نشانه‌ای از سلامت و تعادل بوم‌شناختی و منبع کربن تثبیت شده است (کاستانزا ۲۰۱۲). در این پژوهش برای برآورد تولید خالص اولیه از پژوهش دادجو و همکاران (۲۰۲۱) استفاده شد. به این صورت که، پس از مشخص شدن مکان نقاط نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف منطقه‌ی مطالعه شده، سه خط نمونه با فاصله‌ی ۵۰ متر (خط نمونه اول به‌صورت تصادفی و دو خط نمونه بعدی به‌صورت نظام‌مند) انتخاب شدند. سپس با در نظر گرفتن ۱۰ کرت یک مترمربعی با فاصله‌های ۱۰ متر در امتداد هر خط نمونه، تولید خالص اولیه با روش قطع و توزین به‌دست آمد. سپس رابطه‌های مدل‌سازی میان عامل‌های تأثیرگذار و تولید خالص اولیه برازش داده شد و با استفاده از بهترین رابطه، تولید خالص اولیه برای کل آبخیز برآورد شد (دادجو و همکاران ۲۰۲۱).

شاخص رطوبت (IM)

گیاهان نسبت به عامل‌های محیطی از جمله دما و اندازه‌ی بارش و رطوبت به‌صورت ترکیبی واکنش نشان می‌دهند. عمل فتوسنتز در گیاه که منجر به تولید کربوهیدرات می‌شود با افزایش دما افزایش می‌یابد. از طرفی تبخیر و تعرق در گیاهان تحت تأثیر اندازه‌ی دما و نزولات جوی و رطوبت است و با افزایش آن‌ها اندازه‌ی تولید خالص اولیه در گیاهان افزایش می‌یابد (جعفری ۲۰۱۴). در این پژوهش از شاخص رطوبت^{۱۸} به‌عنوان شاخص نهفته (بالقوه) برای تنظیم آب‌شناختی استفاده

17 - Net primary productivity (NPP)

18 - Moisture index (IM)

19 - Penman-Monteith

20 - Inverse distance weighted (IDW)

21 - Land surface temperature (LST)

فرسایش خاک

تغییر کاربری زمین‌ها می‌تواند اندازه‌ی فرسایش را افزایش دهد. فرسایش خاک دلیل اصلی نابودی و هدررفتن منابع زمین است که می‌تواند کیفیت بوم‌شناختی یک آبخیز را تحت تأثیر قرار دهد (لوگسدون و چابی ۲۰۱۳). نگهداشت خاک به‌عنوان یک خدمت بوم‌سازگانی به توان بوم‌سازگان‌ها در حفظ خاک و مهار کردن فرسایش بستگی دارد. در این پژوهش برای برآورد اندازه‌ی فرسایش ویژه‌ی سالانه از مدل EPM^{22} استفاده شد. مدل ظرفیت فرسایش (EPM) برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کشور یوگسلاوی ارائه شد. این مدل به‌عنوان ابزاری برای برآورد اندازه‌ی رسوب و فرسایش خاک به کار گرفته شده است. فرسایش به صورت کمی و کیفی با استفاده از این مدل و از رابطه‌ی ۵ محاسبه شد و نقشه‌ی ضریب شدت فرسایش به‌دست آمد. هر چه اندازه‌ی فرسایش خاک کم‌تر باشد، ظرفیت نگهداشت خاک بیشتر است (اسمعلی‌عوری و عبداللهی ۲۰۱۱).

$$Z = Y \cdot X_a (\Psi + 1^{0.5}) \quad (5)$$

Ψ : ضریب فرسایش آبخیز (بدون واحد)، X_a : ضریب استفاده از زمین (بدون واحد)، Y : ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (بدون واحد)، I : شیب متوسط آبخیز در واحدهای مختلف زمین‌ها و یا در شبکه‌های ایجاد شده در نقشه (بر حسب درصد) است. اندازه‌های ضریب حساسیت خاک به فرسایش، ضریب استفاده از زمین و شرایط فرسایش آبخیز براساس جدول‌های مدل EPM به‌دست آمد (اسمعلی‌عوری و عبداللهی ۲۰۱۱).

شاخص پیوستگی بوم‌شناختی

براساس پژوهش‌های هاشمی و همکاران ۲۰۱۵، علائی و همکاران ۲۰۲۰ و زندسلیمی و بهرامی ۲۰۲۲، تکه‌شدگی سیمای سرزمین، دلیل اصلی ازبین‌رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری است. تکه‌شدگی سیمای سرزمین به‌وسیله‌ی تغییر کاربری زمین‌ها، جاده‌کشی، خطوط راه‌آهن و بسیاری از موردهای دیگر منجر به آلودگی محیط‌زیست، تغییر شرایط آب و هوای محلی و کاهش کیفیت آب می‌شود که در نهایت موارد مزبور باعث اختلال در خدمات بوم‌سازگان در سطح محلی می‌شود.

در این پژوهش، برای محاسبه‌ی شاخص پیوستگی بوم‌شناختی پس از تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری زمین‌ها (فتح‌العلوم و همکاران ۲۰۲۰) از نرم‌افزار Fragstats برای محاسبه‌ی سنجه‌های تعداد لکه 23 (NP)، تراکم لکه 24 (PD)، حاشیه‌ی کل 25 (TE)، شاخص به هم پیوستگی (Cohesion)، شاخص بزرگ‌ترین لکه 26 (LPI) و تراکم حاشیه 27 (ED) استفاده شد. اندازه‌ی شاخص LPI صفر تا ۱۰۰ است یعنی هر چه اندازه‌ی این معیار به عدد ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی کیفیت بوم‌شناختی خوب است. سپس از میانگین هندسی این سنجه‌ها شاخص پیوستگی بوم‌شناختی محاسبه شد.

شاخص نگهداشت رواناب

تنوع بوم‌شناختی و جغرافیایی در بوم‌سازگان‌های آبی، قابل توجه است. توانایی آسیب‌پذیری بوم‌سازگان‌های آبی در برابر تغییرات آب و هوایی به حساسیت و رویارویی این بوم‌سازگان با محرک‌های متغیر آب و هوایی و ظرفیت آن‌ها برای انطباق با چنین تغییراتی بستگی دارد. رواناب سطحی و کارایی آبیاری تحت تأثیر نفوذ آب به خاک است. ذخیره‌ی سطحی یکی از متغیرهای مؤثر بر اندازه‌ی رواناب و نفوذ است که به عامل‌هایی هم‌چون شیب زمین، پوشش گیاهی و زبری خاک بستگی دارد. در این پژوهش، برای برآورد اندازه‌ی نگهداشت رواناب در آبخیز نیر از مدل InVEST استفاده شد. براساس این مدل متغیرهای بارش، کاربری زمین‌ها، گروه آب‌شناختی خاک، CN خاک منطقه‌ی مطالعه شده تعیین شد و به‌عنوان داده‌های ورودی به نرم‌افزار استفاده شد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی گروه آب‌شناختی خاک آبخیز نیر از سایت جهانی Soilgrids.Org ابتدا درصد رس، شن و لای دریافت شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SAGA 2.1.1 سه لایه‌ی درصد شن، رس و لای با هم ترکیب و نقشه‌ی بافت خاک تهیه شد. در نهایت با استفاده از نقشه‌ی بافت خاک و دستورالعمل‌های موجود (مهدوی ۲۰۰۹) گروه‌های آب‌شناسی خاک آبخیز نیر مشخص شد. هم‌چنین برای برآورد CN از نرم‌افزار ایرانی CN Calculator استفاده شد. برپایه‌ی این نرم‌افزار برای هر نوع کاربری زمین‌ها در هر گروه آب‌شناختی خاک و با تعیین رطوبت منطقه، اندازه‌ی CN به‌دست آمد. با توجه به این‌که این نرم‌افزار ایرانی است، رطوبت منطقه به سه شکل مرطوب، متوسط و

22 - Erosion potential model (EPM)

23 - Number of patches

24 - Patch density

25 - Mean patch size

26 - Largest patch index

27 - Edge density

در جایی که وزن ارزیابی بیش از حد ذهنی و منفی باشد یا جهت مثبت شاخص‌ها به هدف کل نامشخص باشد، از این روش استفاده می‌شود (فانگ و همکاران ۲۰۱۰، لیو و همکاران ۲۰۱۹). مزایای استفاده از PPM عملکرد قوی، اعتبار و دقت زیاد است (جیانگ و همکاران ۲۰۱۱، دنگ و همکاران ۲۰۱۳). بدون در نظر گرفتن تداخل‌های مرتبط با عامل‌های ذهنی، با استفاده از مدل PPM، نتایج واقعی و قابل قبولی به دست می‌آید (لیو و همکاران ۲۰۱۹، اوپانگ و همکاران ۲۰۲۱). از این رو، روش ارزیابی PPM در تجزیه و تحلیل موضوعی نمونه‌های کوچک مزایای طبیعی دارد (لیو و همکاران ۲۰۱۹). یکی دیگر از مزایای بارز این روش در حذف اثرات هم‌بستگی و خودهمبستگی متغیرهای بررسی شده در یک موضوع خاص است و نگرانی‌های مهم در انتخاب متغیرهای مختلف را کاهش می‌دهد (اوپانگ و همکاران ۲۰۲۱). ویژگی‌های مزبور باعث می‌شود که این روش در ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی ارزش زیادی داشته باشد. این مدل با استفاده از زبان اسکریپت Matlab 2018b اجرا شد.

محاسبه‌ی شاخص کیفیت بوم‌شناختی (EQI)

بردار پیش‌بینی a که همان وزن به دست آمده از PPM است تعیین شد و سپس با روش مجموع وزنی اندازه‌های معیارشده متغیرها (x) در سطح زیرآبخیز، EQI با استفاده از رابطه‌ی ۸ محاسبه شد.

$$EQI_j = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot a_j \right) \times 100 \quad (8)$$

پس از محاسبه‌ی EQI، اندازه‌های آن به پنج طبقه‌ی مساوی صفر و یک دسته‌بندی شد. این پنج طبقه شامل خیلی کم (۰/۲۰ - ۰/۴۰)، کم (۰/۴۰ - ۰/۶۰)، متوسط (۰/۶۰ - ۰/۸۰)، زیاد (۰/۸۰ - ۰/۱۰۰) و خیلی زیاد (۰/۱۰۰ - ۰/۱۲۰) بودند. سپس نقشه‌ی توزیع مکانی این شاخص در سطح آبخیز نیر در محیط ArcGIS 10.8 رسم شد.

نتایج و بحث

نتایج محاسبه و پهنه‌بندی متغیرهای ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی

نتایج محاسبه‌ی نه متغیر اصلی استفاده شده برای ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی در جدول ۲ و شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی دامنه‌ی تغییرپذیری بسیار زیاد متغیرهای استفاده شده در سطح کل آبخیز

خشک طبقه‌بندی شد. لازم به ذکر است که استان اردبیل در مقایسه با استان‌های شمال (مرطوب) و جنوب (خشک) کشور در منطقه‌ای با رطوبت متوسط است.

معیارسازی داده‌ها

برای مقایسه‌ی صحیح متغیرهای استفاده شده که بزرگی و واحدهای متفاوت داشتند، ابعاد آن‌ها حذف شد. با توجه به اینکه متغیرهای مطالعه شده مفهوم‌های مثبت و منفی در ارتباط با کیفیت بوم‌شناختی بودند، معیارسازی با روش حداکثر انجام شد. بر این اساس، ابتدا رابطه‌ی مثبت و منفی هر کدام از متغیرهای مطالعه شده با کیفیت بوم‌شناختی بررسی شد و سپس با استفاده از رابطه‌های ۶ و ۷ به ترتیب برای متغیرهای دارای اثر مثبت و منفی بر EQI انجام شد (سعدالدین و همکاران ۲۰۱۶).

$$Index = \frac{Score - lowest\ score}{highest\ score - lowest\ score} \quad (6)$$

$$Index = 1 - \frac{Score - lowest\ score}{highest\ score - lowest\ score} \quad (7)$$

Score: اندازه‌ی داده‌های معیارشده‌ی واقعی، Lowest Score: حداقل اندازه‌ی داده‌ی معیارشده، Highest Score: حداکثر اندازه‌ی معیارشده‌ی متغیر مربوطه است.

وزن‌دهی

هم‌اکنون روش‌های مختلفی برای وزن‌دهی متغیرها وجود دارد که یکی از روش‌های کاربردی در ارزیابی تغییرات کیفیت بوم‌شناختی، مدل تصور تعقیبی (PPM) است (اوپانگ و همکاران ۲۰۲۱). اصطلاح «تصور تعقیبی» اولین بار به وسیله‌ی فریدمن و توکی (۱۹۷۴) برای کشف ساختار یا ویژگی داده‌هایی با ابعاد بزرگ مطرح شده است. مدل PPM مبتنی بر تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی^{۲۸} (EDA) بدون پیش‌فرض‌های مصنوعی است (جونز و سیبسون ۱۹۸۷، لیو و همکاران ۲۰۱۹). یک روش برای تشخیص «ساختار» پیش‌بینی نشده، خوشه‌ها، نقطه‌های پرت، چولگی، تمرکز نزدیک یک خط یا منحنی در داده‌های دو متغیره است. این روش به تغییر داده هر شاخص نسبتاً حساس است و ارزیابی را با مقایسه‌ی بزرگی اندازه‌های پیش‌بینی شده انجام می‌دهد.

این شاخص در سطح زیرآب‌خیزهای نیر نشان داد که حداقل و حداکثر اندازه‌ی آن به‌ترتیب در زیرآب‌خیز ۴ (۰/۲۲) و در زیرآب‌خیز ۱ (۰/۷۰) بود. میانگین تولید خالص اولیه نیز در کل آب‌خیز ۰/۲۸ بود و حداقل اندازه‌ی آن در زیرآب‌خیز ۱۰ (۰/۳) و حداکثر آن در زیرآب‌خیز ۱ (۰/۴۱) مشاهده شد. همچنین میانگین شاخص رطوبت ۳۱۴/۹۸ به‌دست آمد که حداقل و حداکثر اندازه‌های آن به‌ترتیب، ۳۳۳۲۶/۴۶ (زیرآب‌خیز ۱) و ۴۳۰۹۹/۸۴ (زیرآب‌خیز ۸) بود (جدول ۲، شکل ۲).

محاسبه‌های دمای سطح زمین (LST) نشان داد که میانگین آن در کل آب‌خیز مطالعه شده ۴۰/۳۴ بود و حداقل اندازه‌ی آن در زیرآب‌خیز ۱ (۳۶/۵۷) و حداکثر اندازه‌ی آن در زیرآب‌خیز ۷ (۴۳/۰۸) مشاهده شد. با محاسبه‌ی معیارهای لازم برای برآورد اندازه‌ی فرسایش خاک برپایه‌ی مدل EPM مشخص شد که اندازه‌ی کل فرسایش ویژه برای این آب‌خیز ۴۲۱/۴۱ مترمکعب بر کیلومترمربع در سال بود. حداقل فرسایش در زیرآب‌خیز ۸ (۱۴۳/۸۴) مترمکعب بر کیلومترمربع در سال) و حداکثر آن در زیرآب‌خیز ۲ (۱۳۹۹/۷۸) مترمکعب بر کیلومترمربع در سال) برآورد شد. نتایج برآورد فرسایش خاک با مدل EPM با نتایج پژوهش

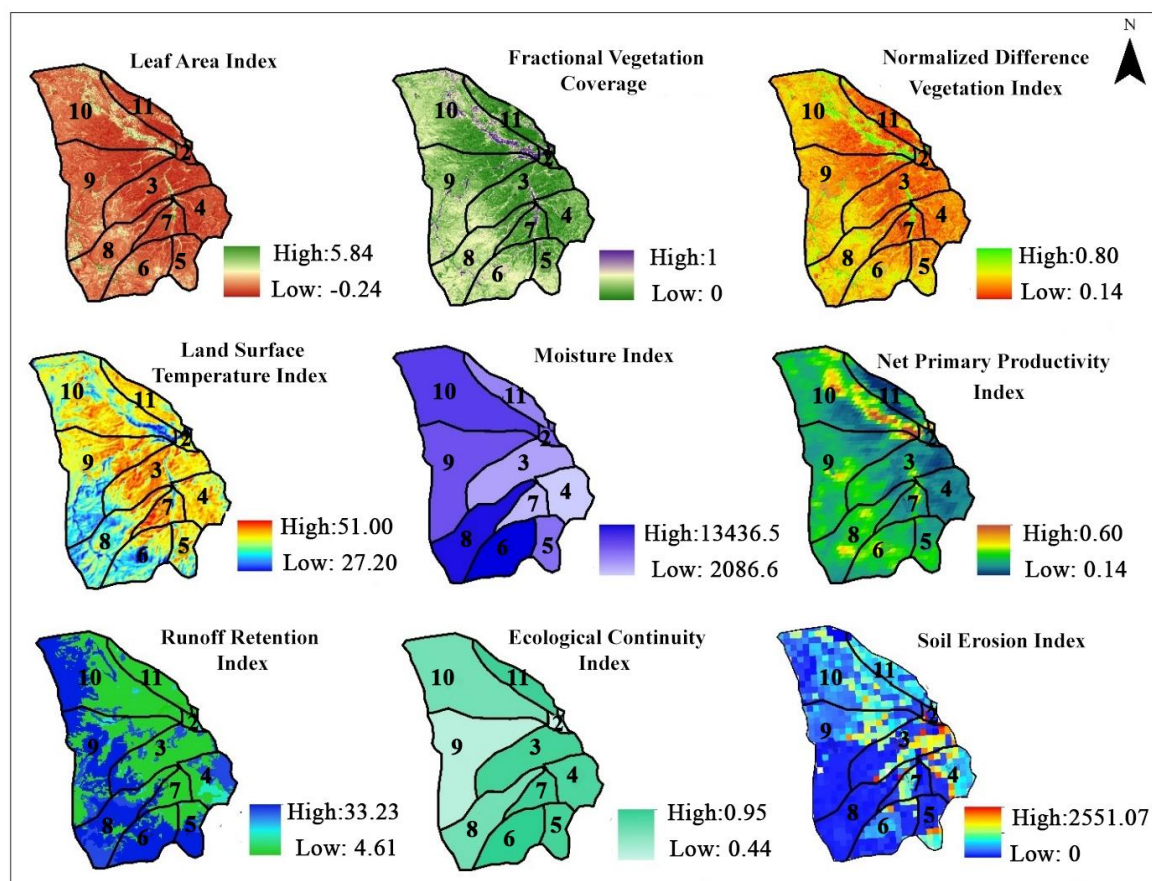
نیر بود. اما به‌طور کلی، حداکثر میانگین اندازه‌های واقعی متغیرهای اول تا چهارم (LAI، FVC، NDVI، NPP) و حداقل میانگین LST در زیرآب‌خیز ۱ بود. هر پنج متغیر منعکس‌کننده‌ی ساختار و عملکرد پوشش گیاهی در راستای بهبود کیفیت بوم‌شناختی از دیدگاه‌های مختلف بودند. در حالی که در زیرآب‌خیز ۱۱ این پنج متغیر وضعیت عکس داشتند. سایر شاخص‌ها به‌جز پیوستگی بوم‌شناختی (EC) نیز در زیرآب‌خیز ۱ در وضعیت متوسط ارزیابی شدند. وضعیت زیرآب‌خیز ۶ از نظر تمام متغیرهای ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی به‌جز شاخص نگهداشت رواناب نیز، مناسب ارزیابی شد.

با برآورد NDVI برای زیرآب‌خیزهای نیر مشخص شد که اندازه‌ی متوسط آن در کل آب‌خیز نیر ۰/۳۴ است. همچنین، حداکثر اندازه‌ی NDVI، ۰/۴۶ در زیرآب‌خیز ۱ در شرق آب‌خیز بود و حداقل اندازه‌ی آن ۰/۲۷ در زیرآب‌خیز ۱۱ مشاهده شد. نتایج برآورد نسبت پوشش گیاهی برای کل آب‌خیز نشان داد که میانگین، حداکثر و حداقل اندازه‌ی این شاخص به‌ترتیب ۰/۳۳، ۰/۵۷ (در زیرآب‌خیز ۱) و ۰/۲۳ (در زیرآب‌خیز ۱۱) بود (جدول ۲، شکل ۲). افزون بر این، اندازه‌ی متوسط شاخص سطح برگ ۰/۳۳ به‌دست آمد. نتایج تحلیل

جدول ۲- اندازه‌های واقعی و معیارشده‌ی میانگین متغیرهای مطالعه شده در زیرآب‌خیزهای نیر.

Table 2- Actual and standardized mean values of the studied variables in the Nir sub-watersheds.

	Sub-watershed	Normalized difference vegetation index (NDVI)	Fractional vegetation coverage (FVC)	Leaf area index (LAI)	Net primary productivity index (NPP)	Moisture index (IM)	Land surface temperature Index (LST)	Soil erosion (m ³ /km.year)	Ecological integrity	Runoff retention index
Actual values	1	0.46	0.57	0.70	0.41	33326.46	36.57	873.91	0.46	7.15
	2	0.31	0.30	0.29	0.29	34303.77	440.21	1399.78	0.44	0.14
	3	0.29	0.26	0.24	0.25	36198.09	42.48	5557.07	0.89	9.21
	4	0.29	0.25	0.22	0.22	36824.5	41.88	704.43	0.87	10.75
	5	0.35	0.35	0.34	0.28	38691.82	40.30	461.15	0.89	12.39
	6	0.37	0.39	0.40	0.30	41688.71	38.17	268.74	0.95	14.03
	7	0.29	0.26	0.26	0.27	35871.01	43.08	428.34	0.91	8.33
	8	0.38	0.40	0.42	0.29	43099.84	38.21	143.84	0.74	0.20
	9	0.34	0.34	0.34	0.27	38885.58	39.73	327.98	0.50	11.59
	10	0.36	0.38	0.40	0.3	39784.08	40.34	446.50	0.74	10.44
	11	0.27	0.23	0.24	0.22	35669.68	41.98	568.96	0.91	6.68
Standardized values	1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.43	0.00	0.42	0.46	0.50
	2	0.21	0.21	0.15	0.37	0.50	0.56	0.00	0.44	0.00
	3	0.11	0.09	0.03	0.16	0.18	0.91	0.67	0.89	0.65
	4	0.11	0.06	0.00	0.00	0.00	0.82	0.55	0.88	0.76
	5	0.42	0.35	0.25	0.32	0.44	0.57	0.75	0.89	0.88
	6	0.53	0.47	0.37	0.42	1.00	0.25	0.90	0.95	1.00
	7	0.11	0.09	0.07	0.26	0.09	1.00	0.77	0.91	0.59
	8	0.58	0.50	0.40	0.37	0.96	0.25	1.00	0.74	0.00
	9	0.37	0.32	0.24	0.26	0.60	0.49	0.85	0.51	0.82
	10	0.47	0.44	0.38	0.42	0.72	0.58	0.76	0.75	0.74
	11	0.00	0.00	0.05	0.00	0.33	0.83	0.66	0.92	0.47



شکل ۲- تغییرات مکانی شاخص‌های بررسی شده در ارزیابی EQI در زیرآبخیزهای نیر.

Figure 2- Spatial changes of the investigated indicators in EQI assessment at the Nir sub-watersheds.

نیر، زیرآبخیز ۹ بیش‌ترین تعداد لکه (۱۸۱) را داشت. با این‌که زیرآبخیز ۱۰ در مقایسه با زیرآبخیز ۹ مساحت بیش‌تری داشت، اما زیرآبخیز ۹ لکه‌های فراوان‌تری در مقایسه با زیرآبخیز ۱۰ داشت. از طرف دیگر، زیرآبخیز ۱ با کم‌ترین تعداد لکه (۴) ارزیابی شد (جدول ۳). واژه‌ی تراکم به‌معنای تعداد در واحد سطح است. رابطه‌ی میان تراکم لکه (PD) و اتصال لکه معکوس است، به این معنی که پیوستگی در شرایطی کاهش پیدا می‌کند که تراکم لکه بیش‌تر باشد (کانگ و همکاران ۲۰۱۳). نتایج محاسبه‌های سنجش تراکم لکه (PD)، در سطح کل آبخیز نیر نشان داد که اندازه‌ی کل این معیار ۴۸۶ متر در ۱۰۰ هکتار بود. حداقل و حداکثر اندازه‌ی آن به‌ترتیب در زیرآبخیزهای ۱ (۴ متر در ۱۰۰ هکتار) و ۹ (۱۸۱ متر در ۱۰۰ هکتار) به‌دست آمد (جدول ۳).

زارعی (۲۰۱۹) هم‌خوانی دارد (جدول ۲، شکل ۲). با محاسبه‌ی برخی از معیارهای لازم برای محاسبه‌ی پیوستگی بوم‌شناختی مشاهده شد که میانگین پیوستگی بوم‌شناختی در کل آبخیز نیر ۰/۴۳ بود. حداقل و حداکثر اندازه‌ی پیوستگی به‌ترتیب در زیرآبخیز ۲ (۰/۴۴) و ۴ (۰/۶۹۵) به‌دست آمد (جدول ۲، شکل ۲). محاسبه‌های انجام‌شده برای تمام سنجش‌های پیوستگی بوم‌شناختی در سطح زیرآبخیز در جدول ۳ نشان داده شده است. بررسی نتایج محاسبه‌های معیار تعداد لکه (NP) در سطح آبخیز نیر نشان داد که در کل این آبخیز ۴۸۶ لکه وجود داشت. این معیار با کیفیت بوم‌شناختی رابطه‌ی منفی داشت، یعنی هر چه تعداد لکه بیش‌تر باشد به‌معنی نداشتن پیوستگی و به‌دنبال آن نداشتن کیفیت بوم‌شناختی خوب است. در سطح زیرآبخیزهای

جدول ۳- اندازه های سنج های استفاده شده در محاسبه ی شاخص پیوستگی بوم شناختی در سطح زیر آبخیز های نیر.

Table 3- The values of metrics used in calculation of the ecological integrity index at the Nir sub-watersheds level.

Sub-watershed	NP (No.)	PD (m per 100 ha)	TE (m)	COHESION (dimensionless)	LPI (%)	ED (m per 100 ha)	Ecological integrity index
1	4	6.35	1870	87.19	48.07	92.72	0.46
2	23	6.5	11880	87.9	52.73	33.62	0.44
3	72	1.53	90310	97.96	68.2	19.26	0.89
4	35	1.23	51150	97.31	53.62	18.06	0.87
5	22	1.26	25080	96.5	49.44	14.41	0.89
6	38	1.12	56210	97.79	71.95	16.66	0.95
7	27	1.79	28600	97.12	71.63	19.04	0.91
8	73	1.68	953.70	96.18	39.11	22.05	0.74
9	181	2.26	422110	95.05	18.85	30.25	0.50
10	97	1.09	184470	97.01	34.55	20.76	0.74
11	31	1.44	34430	96.56	65.33	16.01	0.91
Total	486	1.28	835560	97.61	22.33	22.03	0.43

است که اندازه ی عددی این معیار زمانی صفر می شود که در سطح زیر آبخیز هیچ حاشیه ای وجود نداشته باشد. بر این اساس کل زیر آبخیز از یک لکه ی بزرگ تشکیل می شود، در نتیجه زیر آبخیز مد نظر کیفیت بوم شناختی خوبی دارد (مک گاریگال ۲۰۰۲).

در نهایت، نتایج بررسی آخرین متغیر در ارزیابی EQI آبخیز نیر، نشان داد که اندازه ی متوسط نگهداشت رواناب در آبخیز نیر ۱۰/۹۸ مترمکعب بود. اندازه ی حداقل نگهداشت رواناب در زیر آبخیز ۱۱ (۰/۰۴ مترمکعب) و حداکثر اندازه ی آن در زیر آبخیزهای ۴، ۶، ۷ و ۸ (۳۳/۲۳ مترمکعب) بود.

نتایج وزن دهی متغیرها

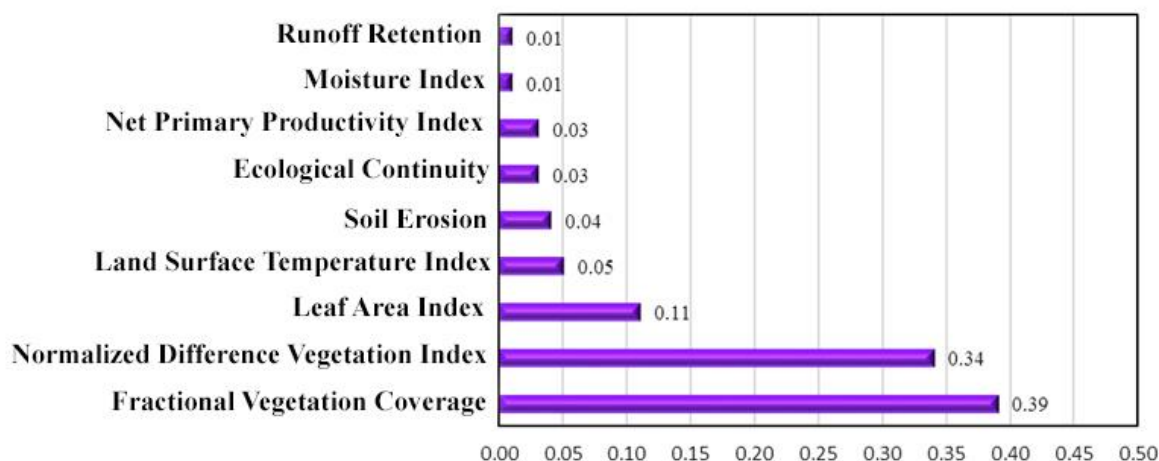
نتایج وزن دهی به دست آمده از کاربرد PPM نشان داد که شاخص نسبت پوشش گیاهی با وزن ۰/۳۹ بالاترین اهمیت را داشت (شکل ۳). هم چنین شاخص بهنجار شده ی اختلاف پوشش گیاهی با وزن ۰/۳۴ رتبه ی بعدی را داشت. کم ترین اهمیت نیز مربوط به شاخص های رطوبت و نگهداشت رواناب با وزن ۰/۰۱ بود. در این راستا، اوپانگ و همکاران (۲۰۲۱) نیز از ۱۱ شاخص و مدل تصور تعقیبی برای ارزیابی کیفیت بوم شناختی استفاده کردند. نتایج مطالعه ی آن ها نشان داد که شاخص بهنجار شده ی اختلاف پوشش گیاهی و کارایی مصرف آب بیشترین و شاخص سطح برگ و نسبت بیوون در محاسبه ی EQI کم ترین وزن را داشتند. افزون بر این، اثرگذاری متغیرهای استفاده شده در زمینه های مختلف آب و خاک در آبخیز نیر توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است. در پژوهش اصغری سراسکانرود و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش وزن دهی کریتیک مشخص شد که از میان هفت متغیر بررسی شده، تغییرات کاربری زمین ها (پوشش

حاشیه ی کل (TE) در پیوستگی بوم شناختی نوعی ماتریس نشان داده شده از سیمای سرزمین براساس ویژگی حاشیه ی لکه است، که اندازه ی گرایش مرکزی را در لکه ی مربوطه نشان می دهد (مک گاریگال ۲۰۰۱). نتایج برآورد شده ی حاشیه ی کل (TE) نشان داد که اندازه ی این سنجه برای کل آبخیز نیر ۸۳۵۵۶۰ متر بود. هم چنین، زیر آبخیز ۱ کمترین اندازه ی حاشیه ی کل لکه (۱۸۷۰ متر) و زیر آبخیز ۱۱ بیشترین اندازه ی آن (۳۴۴۳۰ متر) را داشت (جدول ۳). با بررسی سنجه ی به هم پیوستگی لکه (COHESION) که با کیفیت بوم شناختی رابطه ی مستقیم داشت، مشخص شد که اندازه ی کل این سنجه در کل آبخیز نیر ۹۷/۶۱ بود. حداقل و حداکثر اندازه ی پیوستگی به ترتیب در زیر آبخیزهای ۲ (۸۷/۹) و ۳ (۹۷/۹۶) لکه بود. شاخص بزرگترین لکه (LPI) درصدی از سیمای سرزمین است که به وسیله ی بزرگترین لکه اشغال شده است. این سنجه با کیفیت بوم شناختی رابطه ی مستقیم دارد، یعنی در یک زیر آبخیز هر چه اندازه ی LPI بیش تر باشد، پیوستگی و کیفیت بوم شناختی نیز بهتر خواهد بود. نتایج محاسبه های LPI در سطح آبخیز نیر نشان داد که اندازه ی این سنجه برای کل آبخیز نیر ۲۲/۳۳٪ بود. حداقل و حداکثر اندازه ی آن به ترتیب در زیر آبخیز ۹ (۱۸/۸۵٪) و ۶ (۷۱/۹۵٪) بود (جدول ۳).

برای نشان دادن بهتر عملکرد آبخیز از معیار تراکم حاشیه (ED) در محاسبه ی پیوستگی بوم شناختی استفاده می شود (مصطفی زاده و همکاران ۲۰۱۸). بررسی نتایج تراکم حاشیه نشان داد که اندازه ی این سنجه برای کل آبخیز نیر ۲۲/۰۳ متر در ۱۰۰ هکتار بود. هم چنین، اندازه ی حداقل و حداکثر آن به ترتیب در زیر آبخیزهای ۵ (۱۴/۴۱ متر در ۱۰۰ هکتار) و ۱ (۹۲/۷۲ متر در ۱۰۰ هکتار) بود. (جدول ۳). قابل ذکر

ترکیب متغیرهای زمینی و شاخص‌های طیفی، گزارش کردند که بلندی در میان متغیرهای زمینی (حالت اول) و ضریب گسیلندگی در میان شاخص‌های طیفی (حالت‌های دوم و سوم) به‌عنوان مهم‌ترین متغیرها بودند.

گیاهی) با بیش‌ترین وزن (۰/۱۶۵-۰/۱۶۴) در نهایت بیش‌ترین اثرگذاری را بر اندازه‌ی فرسایش خاک داشتند. همچنین، فتح‌العلومی و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی و مدل‌سازی کربن آلی خاک در سه حالت فقط مبتنی بر متغیرهای زمینی، فقط مبتنی بر شاخص‌های طیفی و



شکل ۳- وزن متغیرهای مطالعه شده.

Figure 3- The weight of the studied variables.

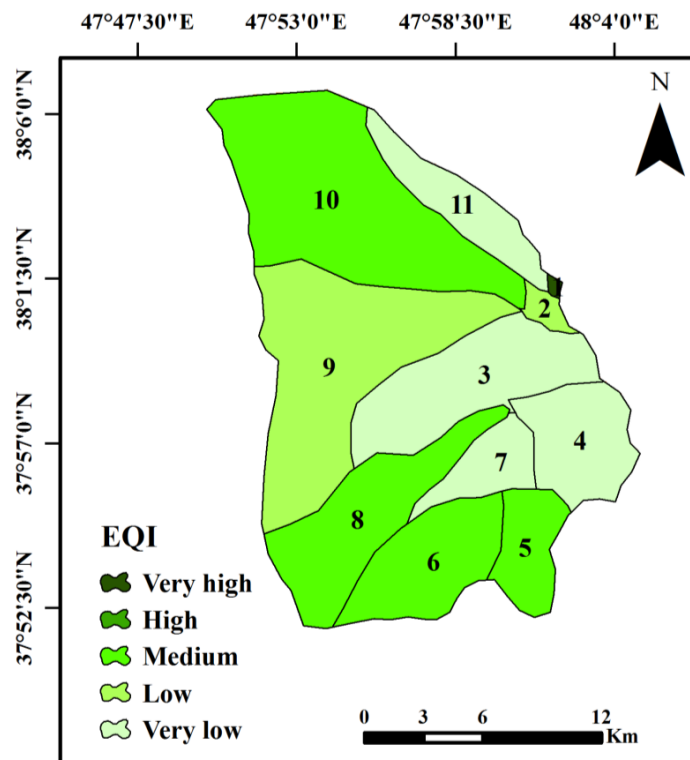
EQI کم و خیلی کم بود. نتایج این پژوهش با یافته‌های اسمعلی‌عوری و همکاران (۲۰۱۴) و اصغری‌سراسکانرود و همکاران (۲۰۱۸) در راستای طبقه‌بندی بخش غربی شهرستان نیر در طبقه‌ی پرخطر از نظر فرسایش خاک (یکی از متغیرهای ارزیابی کیفیت بوم‌شناختی سرزمین) مطابقت دارد. همچنین اصغری‌سراسکانرود و همکاران (۲۰۱۸) بر تغییرات کاربری زمین‌ها (سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۶) در تشدید فرسایش خاک تأکید کرده‌اند. در نتایج پژوهش‌های فرخزاده و همکاران (۲۰۱۸) به ظرفیت و تهدید زیاد سیل در آبخیز نیر و پیرامون آن در اثر تغییر اقلیم و کاربری زمین‌ها اشاره شده است. آنها معتقدند که سیل به‌طور اساسی سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکی و زیستی سرزمین و در نتیجه کاهش کیفیت بوم‌شناختی منطقه خواهد شد. یافته‌های فتح‌العلومی و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان‌گر توزیع غیریکنواخت کربن آلی خاک در سطح آبخیز نیر و پیرامون آن بوده است. آنها میانگین اندازه‌ی کربن آلی را ۳/۰۴٪ گزارش کردند.

نتایج محاسبه‌ی شاخص کیفیت بوم‌شناختی (EQI) نتایج محاسبه‌ی شاخص کیفیت بوم‌شناختی نشان داد که دامنه‌ی تغییرات EQI، از ۰/۱۰ تا ۰/۹۰ است (جدول ۴). زیرآبخیز ۱۱ (EQI=۰/۱۰) کم‌ترین کیفیت بوم‌شناختی را داشت و در وضعیت نامناسبی بود. این در حالی است که زیرآبخیز ۱ به‌دلیل وضعیت خوب پوشش گیاهی (EQI=۰/۹۰) در سطح خوبی بود (جدول ۴ و شکل ۴). بنابراین قسمت کوچکی از شرق آبخیز نیر کیفیت بوم‌شناختی بهتری در مقایسه با سایر قسمت‌ها داشت. با توجه به پهنه‌بندی نشان داده شده در شکل ۴، قسمت‌های شمال‌شرقی و جنوب‌شرقی کیفیت بوم‌شناختی ضعیف است. در این پژوهش در نهایت به‌ترتیب ۱، صفر، ۴۸، ۲۲ و ۲۹٪ از مساحت آبخیز نیر از نظر EQI به‌ترتیب در طبقه‌های خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم بودند. این یافته‌ها بیان‌گر آن است که سطح قابل توجهی از آبخیز نیر در طبقه‌های EQI زیاد و خیلی زیاد نبود. در حالی که حدود نیمی از مساحت آبخیز در طبقه‌های

جدول ۴- اندازه‌های EQI در زیر آبخیزهای نیر.

Table 4- EQI values in the Nir sub-watersheds.

Sub-watershed	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
EQI	0.90	0.22	0.18	0.15	0.41	0.51	0.19	0.53	0.37	0.48	0.10



شکل ۴- تغییرات مکانی EQI در زیرآبخیزهای نیر.

Figure 4- Spatial changes of EQI in the Nir sub-watersheds.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بررسی نه شاخص چندعملکردی و اصلی در زمینه‌ی بوم‌شناسی، اندازه‌ی کیفیت بوم‌شناختی آبخیز نیر ارزیابی و پهنه‌بندی شد. در این پژوهش اندازه‌های شاخص کیفیت بوم‌شناختی ($0/22 \pm 0/37$) کم بود. نتایج ارزیابی EQI در سطح ۱۱ زیرآبخیز بررسی شده نشان داد که زیرآبخیز ۱ در شرق آبخیز نیر (نزدیک به نقطه‌ی خروجی) شرایط ایده‌آل‌تری ($EQI=0/90$) در مقایسه با سایر زیرآبخیزها داشت. هم‌چنین، در زیرآبخیزهای ۵، ۶، ۸ و ۱۰ در بخش‌هایی از جنوب و شمال آبخیز اندازه‌ی متوسط و قابل قبولی از EQI داشتند. به‌نظر می‌رسد در این زیرآبخیزها افزایش نفوذ رواناب، افزایش رطوبت خاک و به‌دنبال آن افزایش پوشش گیاهی، سبب شده است تا شرایط ایده‌آلی از نظر کیفیت بوم‌شناختی فراهم شود. هم‌چنین، اندازه‌های شاخص کیفیت بوم‌شناختی در زیرآبخیزهای ۲ و ۹ در بخش مرکزی و غرب آبخیز کم بود. در نهایت، زیرآبخیزهای ۳، ۴، ۷ و ۱۱ در جنوب‌شرقی و شمال‌شرقی آبخیز کمترین اندازه‌های EQI را داشتند. در زیرآبخیزهایی که EQI کمترین اندازه را داشت، نسبت

پوشش گیاهی، شاخص بهنجارشده‌ی اختلاف پوشش گیاهی، سطح برگ و تولید خالص اولیه در سطح کمی بود و اندازه‌ی نگهداشت رواناب نیز کم بود. پوشش گیاهی کم، خاک با نفوذپذیری کم، رطوبت کم و ایجاد رواناب زیاد و به‌دنبال آن ایجاد فرسایش خاک و گل‌آلودگی آب از جمله عامل‌هایی بودند که بر کیفیت بوم‌شناختی این زیرآبخیزها اثر می‌گذارد. در نتیجه زیرآبخیزهای ۳، ۴، ۷ و ۱۱ خدمات کم‌تری برای رفاه بشر دارند. از این‌رو می‌توان گفت که این زیرآبخیزها در اولویت حفاظت قرار دارند. در این راستا، می‌توان اولویت تخصیص بودجه‌ی احیاء را به برگرداندن سطح تاب‌آوری همین زیرآبخیزها در نظر گرفت. براساس نتایج این پژوهش، اولویت ارتقاء تنوع زیستی، پوشش گیاهی و مهار کردن فرسایش خاک در زیرآبخیزهای با کیفیت بوم‌شناختی بسیار کم، جلوگیری از نابودی پوشش گیاهی و افزایش رطوبت خاک با حفظ پوشش گیاهی موجود و نیز استفاده از رویکردهای مدیریت سازگار با هدف افزایش کیفیت بوم‌شناختی آبخیز نیر پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع

- Alaei N, Mostafazadeh R, Esmali Ouri A, Sharari M, Hazbavi Z. 2020. Assessment and Comparison of Landscape connectivity in KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*. 8(4): 19-34. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.47176/ijae.8.4.2572>
- Adl HR. 2007. Estimation of Leaf Biomass and Leaf Area Index of Two Major Species in Yasuj Forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 15(4): 426-417. (In Persian).
- An M, Xie P, He W, Wang B, Huang J, Khanal R. 2022. Spatiotemporal Change of Ecologic Environment Quality and Human Interaction Factors in Three Gorges Ecologic Economic Corridor, based on RSEL. *Ecological Indicators*. 141: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109090>
- Andalibi L, Ghorbani A, Moameri M, Hazbavi Z, Nothdurft A, Jafari R, Dadjou F. 2021. Leaf Area Index Variations in Ecoregions of Ardabil Province, Iran. *Remote Sensing*. 13(15): 2879. <https://doi.org/10.3390/rs13152879>
- Asghari Saraskanroud S, Aghayary L, Pirouzi E. 2018. Study of Land Use Change and its Effect on Erosion in Nir City using GIS and RS (Case Study: Nir County). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 8(4): 49-62. (In Persian).
- Burkhard B, Muller F. 2008. Indicating Ecosystem Health and Integrity. In: Denhardt, A., Petschow, U. (Eds), *Sustainability in River Basins-A Question of Governance*. O'kom-Verlag, Munchen. 35-57.
- Chai LH, Lha D. 2018. A New Approach of Deriving Indicators and Comprehensive Measure for Ecological Environmental Quality Assessment. *Ecological Indicators*. 85: 716-728. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.039>
- Cheng-lin M, Li-yan S, Li Y. 2016. The Studies of Ecological Environmental Quality Assessment in Anhui Province based on Ecological Footprint. *Ecological Indicators*. 60: 879-883. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.040>
- Cong W, Li X, Pan X, Liu X, Lu Q, Wang F. 2022. A New Scientific Framework of Dryland Ecological Quality Assessment based on IOAO Principle. *Ecological Indicators*. 136 (7): 108595. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108595>
- Choobeh S, Kake Mami A. 2015. Investigating Changes in Temperature and Precipitation using the Statistical Exponential Subscale of the HADCM3 Model Output in the Baliqlo Chai Watershed in the 2080-2099 Decade. The Second National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment. March 12 and 13. University of Mohaghegh Ardabili. 1-7. (In Persian).
- Costanza R. 2012. Ecosystem Health and Ecological Engineering. *Ecological Engineering*. 45: 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.03.023>
- Dadjou F, Ghorbani A, Moameri M, Mostafazadeh R, Hazbavi Z. 2021. Modeling Production and Canopy Cover Parameters to Identify the most Effective Environmental Factors in Baghrou Semi-Steppe Rangelands of Ardabil Province, Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology*. 10(3): 1-15. (In Persian) <http://dx.doi.org/10.47176/ijae.10.3.5032>
- Dashtekian K, Dehghani MA. 2008. Land Surface Temperature Analysis of Desert Area in Relation with Vegetation and Urban Development using RS and GIS, Case Study: Yazd-Ashkezar Area. *Pajouhesh and Sazandegi*. 77(3): 169-179. (In Persian)
- Deng CX, Xie BG, Li XQ, Liu LK, Xiang YB. 2013. Evaluation of Cultivated Land Intensive Utilization in Chang-Zhu-Tan Urban Agglomeration based on Projection Pursuit. *Geographical Research*. 32(11): 2000-2008.

- <https://doi.org/10.11821/dlyj201311003>
- Esmali-Ouri A, Abdullahi Kh. 2011. Watershed Management and Soil Conservation. University of Mohaghegh Ardabili Press. 612 pp. (In Persian)
- Esmali-Ouri 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 C, Wei L, Huang W, Xiao F. 2010. A Water Quality Evaluation Method of Projection Pursuit Regression based on Ant Colony Algorithm in Nanning Urban River. 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. IEEE. pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2010.5516961>
- Farrokhzadeh B, Choobeh S, Nouri H, Goodarzi M. 2018. Study of Climate Change and Land Use Changes Impacts on Surface Runoff: Balighlo Chai Watershed in Ardebil. Watershed Engineering and Management. 10(3): 318-331. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.107110.1165>
- Fatholouloumi S, Vaezi A, Alavipanah SK, Ghorbani A. 2020. Modeling Soil Organic Carbon Variations using Remote Sensing Indices in Ardabil Balikhli Chay Watershed. Iranian Journal of Soil and Water Research. 51(9):2417-2429. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.299509.668542>
- Foley JA, DeFries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, Chapin FS, Coe MT, Daily GC, Gibbs HK, Helkowski JH, Holloway T, Howard EA, Kucharik J, Monfreda C, Patz JA, Prentice IC, Ramankutty N, Snyder PK. 2005. Global Consequences of Landuse. Science. 309(5734): 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>.
- Freyfogle ET, Lutz Newton J. 2002. Putting Science in its Place. Conservation Biology. 16(4): 863-873. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.01042.x>
- Friedman JH, Tukey JW. 1974. A Projection Pursuit Algorithm for Exploratory Data Analysis. IEEE Transactions on Computers. C-23(9): 881-890. <https://doi.org/10.1109/T-C.1974.224051>
- Garland G, Banerjee S, Edlinger A, Miranda Oliveira E, Herzog C, Wittwer R, Philippot L, Maestre FT, Heijden MGA, Hector A. 2021. A Closer Look at the Functions Behind Ecosystem Multifunctionality: A Review. Journal of Ecology. 109(2): 600-613. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13511>
- Hang X, Luo XC, Cao Y, Li YC. 2020. Ecological Quality Assessment and the Impact of Urbanization based on RSEI Model for Nanjing, Jiangsu Province, China. Applied Ecology. 31(1): 219-229. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202001.030>
- Hashemi SM, Yavari AR, Jafari HR. 2015. Spatio-Temporal Analysis of Environmental Quality of Ecotonal Zones in Iranian Central Plateau using Landscape Ecological Metrics. Environmental Studies. 41(1): 201-218. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jes.2015.53910>
- Hong WY, Jiang RR, Yang CG, Zhang FF, Su M, Liao Q. 2016. Establishing an Ecological Vulnerability Assessment Indicator System for Spatial Recognition and Management of Ecologically Vulnerable Areas in Highly Urbanized Regions: A Case Study of Shenzhen, China. Ecological Indicators. 69: 540-547. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.028>
- Imhoff ML, Bounoua LL, Ricketts T, Loucks C, Harriss R, Lawrence WT. 2004. Global Patterns in Human Consumption of Net Primary Production. Nature. 24(429): 3-870. <https://doi.org/10.1038/nature02619>
- Jafari M. 2014. Change and Vulnerability of Net Primary Production (NPP) in Iranian Forest, Rangeland and Desert Dcosystems Impacted by Climate Change. Rangeland and Desert Research, 21(1): 139-153. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2014.8086>

- Jafari Sayadi F, Gholami Sefidkouhi MA, Zi-aetabar Ahmadi MKh. 2018. Leaf Area Index and Crop Coefficient Estimation from Operational Land Imager (OLI) Sensor Data. *Water Research in Agriculture*. 32(3): 395-404. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/jwra.2018.117797>
- Janssen R, Arciniegas GA, Verhoeven JTA. 2013. Spatial Evaluation of Ecological Qualities to Support Interactive Land-Use Planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 40(3): 427-446. <https://doi.org/10.1068/b37064>
- Jiang Q, Fu Q, Wang Z. 2011. Comprehensive Evaluation of Regional Land Resource Carrying Capacity based on Particle Swarm Optimization Projection Pursuit Model. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 27(11): 319-324. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2011.11.060>
- Jones ME, Sibson R. 1987. What is Projection Pursuit, Royal Statistical Society. Series A (General). 150(1):1-36.
- Jonkheere I, Fleck S, Nackaerts K, Coppin P. 2004. Review of Methods for in Situ Leaf Area Index Determination: Part I, Theories, Sensors and Hemispherical Photography. *Agricultural and Forest Meteorology*. 121(1-2): 19-35. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.08.027>
- Kang N, Sakamoto T, Imanishi J, Fukamachi K, Shibata S, Morimoto Y. 2013. Characterizing the Historical Changes in Land Use and Landscape Spatial Pattern on the Oguraike Floodplain after the Meiji Period. *Intercultural Understanding*. 1(3): 11-16. <https://doi.org/10.14993/00000843>
- Karr JR. 1999. Defining and Measuring River Health. *Freshwater Biology*. 41(2): 221-234. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00427.x>
- Hasibi A, Fallah Farbod S, Laghai H. 2011. Theory and Techniques for Revitalization of Urban Park in Old Context of City with Emphasis on Conservation of Cultural and Historical Heritage (Case study: The First Tehran's public park). *Journal of Environmental Science and Technology*. 16(3): 137-154. (In Persian).
- Li MM, Wu BF, Yan CZ, Zhou WF. 2004. Estimation of Vegetation Fraction in the Upper Basin of Miyun Reservoir by Remote Sensing. *Resource Science*. 26(4): 153-159.
- Liu D, Zhang G, Li H, Fu Q, Li MO, Faiz MA, Ali S, Li T, Imran Khan M. 2019. Projection Pursuit Evaluation Model of a Regional Surface Water Environment based on an Ameliorative Moth-Flame Optimization Algorithm. *Ecological Indicators*. 107: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105674>
- Logsdon RA, Chaubey I. 2013. A Quantitative Approach to Evaluating Ecosystem Services. *Ecological Modelling*. 257: 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.02.009>
- Mahdavi M. 2009. *Applied Hydrology*. Second Volume. University of Tehran. 437 p.
- McGarigal K, Cushman SA, Neel EN. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer Software Program Produced by the Authors at the University of Massachusetts. pp. 691-703.
- Mostafazadeh R, Jafari A, Keivan-Behjou F. 2018. Comparing the Rangeland Structure and Degradation of Landscape Connectivity in Iril Sub-Watersheds, Ardabil Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*. 7(1): 41-53. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.29252/ijae.7.1.41>
- Mu D, Luo P, Lyu J, Zhou M, Huo A, Duan W, Nover D, He B, Zhao X. 2021. Impact of Temporal Rainfall Patterns on Flash Floods in Hue City, Vietnam. *Flood Risk Management*. 14(1): e12668. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12668>.
- Oehri J, Schmid B, Schaepman-Strub G, Niklaus PA. 2017. Biodiversity Promotes Primary Productivity and Growing Season Lengthening at the Landscape Scale.

- Proceedings of the National Academy of Sciences. 114(38): 10160–10165. <https://doi.org/10.1073/pnas.1703928114>
- Ostadi M, Soltanifard H, Adab H, Gholeychipour Z, Pahlovani A. 2017. Assessment and Ranking of Mashhad Urban District to Refer Ecological Quality of Urban Green Spaces using Topsis Method. *Environmental Studies*. 43(2): 329-347. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jes.2017.63082>
- Ouyang X, Wang J, Chen X, Zhao X, Ye H, Watson AE, Wang SH. 2021. Applying a Projection Pursuit Model for Evaluation of Ecological Quality in Jiangxi Province, China. *Ecological Indicators*. 133: 108414. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108414>
- Paetzold A, Warren PH, Maltby LL. 2010. A Framework for Assessing Ecological Quality based on Ecosystem Services. *Ecological Complexity*. 7(3): 273-281. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.11.003>
- Qu Y, Zhuang Q. 2018. Modeling Leaf Area Index in North America using a Process-based Terrestrial Ecosystem Model. *Ecosphere*. 9(1): 1-17. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2046>
- Reicosky DC, Forcella F. 1998. Cover Crop and Soil Quality Interactions in Agroecosystems. *Journal of Soil and Water Conservation*. 53(3): 224–229.
- Sadoddin A, Shahabi M, Bai M. 2016. Evaluation and Comprehensive Management of Watersheds, Principles and Approaches of Modeling and Decision Making. Publications of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 170 p. (In Persian).
- Sepahvand R. 2021. Assessment of the Ecological Quality of Urban Streets from the Perspective of Citizens in Khorramabad. The 12th National Conference on Urban Planning, Architecture, Civil Engineering and Environment. Research Institute of Paya Shahr Etrak, 1-14. (In Persian).
- Souri M, Alibeygy T, Erfanian M, Motamedi J, Khalifezadeh R. 2021. Evaluation of GPP based on NDVI Index with MODIS Spatial Resolution Sensor in Estimating Rangeland Production (Resin Basin of Kermanshah Province). *Rangeland and Desert Research*. 28(1): 21-33. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijdr.2021.123850>
- Su QJ, An YL, Ma SB, Zhao Y, An JK, An HF. 2017. Differences of Landscape Ecological Quality Under Different Lithologic Zones in Karst Mountainous Areas: A Case Study of Luodian County. *Carsologica Sinica*. in Chinese with English Abstract. 36(4): 454–462.
- Tadesse G, Zavaleta E, Shennan C, FitzSimmons M. 2014. Local Ecosystem Service Use and Assessment Vary with Socio-Ecological Conditions: A Case of Native Coffeeforests in Southwestern Ethiopia. *Human Ecology*. 42(6): 873–883. <https://doi.org/10.1007/s10745-014-9704-2>
- Tang L, He MZ, Li XR. 2020. Verification of Fractional Vegetation Coverage and NDVI of Desert Vegetation via UAVRS Technology. *Remote Sensing*. 12(11): 1742. <https://doi.org/10.3390/rs12111742>
- Vrsmarty CJ, Pahl-Woßl C, Bhaduri A. 2013. Water in the Anthropocene: New Perspectives for Global Sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 5(6): 535–538. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.011>
- Wang R, Gamon JA. 2019. Remote Sensing of Terrestrial Plant Biodiversity. *Remote Sensing of Environment*. 231:1-15. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111218>
- Wang H, Yan SJ, Liang Z, Jiao KW, Li DL, Wei FL, Li SC. 2021. Strength of Association Between Vegetation Greenness and its Drivers Across China Between 1982 and 2015: Regional Differences and Temporal Variations. *Ecological Indicators*. 128(107831): 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107831>
- Wang S, Wang J, Zhang L, Xiao Z, Feng W, Sun N, Li D, Chen B, Chen J, Li Y, Huang X, Wang M. 2019. A National Key R&D Program: Technologies and Guidelines for Monitoring Ecological Quality of Terrestrial

- Ecosystems in China. *Journal of Resources and Ecology*. 10(2): 105–111. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2019.02.001>
- Wei X, Wang N, Luo P, Yang J, Zhang J, Lin K. 2021. Spatiotemporal Assessment of Land Marketization and its Driving Forces for Sustainable Urban-Rural Development in Shaanxi Province in China. *Sustainability*. 13(14):7755. <https://doi.org/10.3390/su13147755>
- Wu Z, Zhu D, Xiong K, Wang X. 2022. Dynamics of Landscape Ecological Quality based on Benefit Evaluation Coupled with the Rocky Desertification Control in South China Karst. *Ecological Indicators*. 138: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108870>
- Yan Y, Yu X, Long F, Dong Y. 2021. A Multi-Criteria Evaluation of the Urban Ecological Environment in Shanghai based on Remote Sensing. *Geo-Information*. 10(10): 688. <https://doi.org/10.3390/ijgi10100688>
- Yang X, Scuderi L, Paillou P, Liu Z, Li H, Ren X. 2011. Quaternary Environmental Changes in the Drylands of China- A Critical Review. *Quaternary Science Reviews*. 30(23-24): 3219–3233. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.08.009>
- Yang JS, Wang YQ, August PV. 2004. Estimation of Land Surface Temperature using Spatial Interpolation and Satellite-Derived Surface Emissivity. *Environmental Informatics*. 4(1): 40-47. <https://doi.org/10.3808/jei.200400035>
- Zandsalimi M, Bahrami B. 2022. Examining Changes in the Ecological Structure of Four Hills in Sanandaj using Object-Oriented Method and Metrics of Continuity and Complexity. *Journal of Environmental Science and Technology*. 24(10): 77-91. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/JEST.2021.59586.5330>
- Zareie Sh. 2019. Determining and Comparing the Degree of Watershed Vulnerability in the Sub-Watersheds of Samyan, Ardabil Province. Master's of Science Thesis. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. 115 p. (In Persian).
- Zareie Sh, Hazbavi Z, Mostafazadeh R, Esmali Ouri A. 2020. Vulnerability Comparison of Samian Sub-Watersheds based on Climate Change Components. *Physical Geography Research Quarterly*. 112 p. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.283909.1007406>
- Zhang Y, Chen HYH, Reich PB. 2012. Forest Productivity Increases with Evenness, Species Richness and Trait Variation: A Global Meta-Analysis. *Ecology*. 100(3): 742–749. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01944.x>



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Assessment of Ecological Quality in the Nir Watershed, Ardabil Province

Zeinab Hazbavi¹, Elnaz Ghabelnezam², Elham Azizi³, Zahra Sharifi⁴, Solmaz Fathololoumi⁵, Mohammad Reza Nikoo⁶

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

2- Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

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

4- Ph.D. Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

5- Former Ph.D. Student, Expert, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

6- Associate Professor, Department of Civil and Architectural Engineering, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman

Extended Abstract

Introduction and Objective

Ecological quality is an inclusive measurement unit of the elements, configuration, and performance of an ecosystem in the temporal and spatial scales. In addition, assessing ecological quality could provide valuable information for experts and managers in the first step of directed planning and comprehensive watershed management. Therefore, the current research was conducted to calculate the ecological quality index (EQI) in one of the upland watersheds of Yamchi Dam, which is not without the effect of human interference.

Materials and Methods

Nir Watershed as a study area is located in the southwestern part of Ardabil Province. To carry out the current research, first, the essential variables of ecological quality assessment (normalized difference vegetation index (NDVI), fractional vegetation coverage (FVC), leaf area index (LAI), net pri-

Article Type: Research Article

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

Citation: Hazbavi, Z., Ghabelnezam, E., Azizi, E., Sharifi, Z., Fathololoumi, S., Nikoo, M.R. 2023. Assessment of ecological quality in the Nir Watershed, Ardabil Province. Watershed Management Research. 36(3):90-110.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360357.1494

Received: 21 October 2022, Received in revised form: 19 November 2022, Accepted: 21 December 2022,

Published online: 23 September 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.3, Ser. No: 140, Autumn 2023, pp. 90-110.

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



mary production (NPP), moisture index (IM), land surface temperature (LST), soil erosion, ecological integrity index, and runoff retention index) were collected and calculated. The variables were chosen to represent the three functions of ecosystems maintaining, supporting, and regulating. After standardization, weighting of the variables was done using the advanced multi-criteria, i.e., Projection Pursuit Model (PPM). Afterward, the EQI was calculated based on the sum weight of all variables for 11 sub-watersheds of Nir.

Results and Discussion

The wide range of variability of the variables used in the entire Nir Watershed area was confirmed. In general, sub-watershed 1 had the maximum mean of the first to fourth variables (FVC, NDVI, NPP, and LAI) and the minimum mean LST. While sub-watershed 11 had the opposite situation in terms of these five variables. All five variables reflect the structure and function of vegetation and therefore the ecological quality. The status of other indicators except ecological continuity (EC) was also evaluated in sub-watershed 1 in a medium status. Based on the PPM weighting method, the FVC (0.39) has the highest importance, and moisture and runoff retention indices with an equal weight of 0.01 have been assigned the least priority. In addition, the ecological quality results showed that watersheds 11 (0.10) and 1 (0.90) respectively have the lowest and highest levels of EQI. In general, according to the zoning result, it was found that the northeastern and southeastern parts of the watershed have the lowest EQI which covered 29% of the area.

Conclusion and Suggestions

The results can be used as one of the main goals of managing watersheds regarding preserving the ecosystem's health and integrity. Moreover, the priority of rehabilitation budget allocation can be assigned according to the resilience degrees of studied sub-watersheds.

Keywords: Ecosystem resilience, index-based assessment, resource management, projection pursuit model



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

ارزیابی مدل‌های تعیین پاسخ آب‌شناختی در آبخیز آزمایشگاهی

محمد محمدی‌هاشمی^۱، بهرام ثقفیان^{۲*}، محمود ذاکری‌نیری^۳، محسن نجارچی^۴

۱ و ۴ - گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

۲ - گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳ - گروه مهندسی عمران، واحد اسلام‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلام‌شهر، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

با توجه به کاربرد پاسخ آب‌شناختی آبخیز، روش‌های مختلفی برای تعیین این پاسخ انجام شده است و نتایج آن با توجه به داده‌های استفاده شده تنوع دقت و صحت زیادی داشته است. با بررسی و جمع‌بندی نتایج پژوهش‌های انجام شده در بحث مدل‌سازی بارش-رواناب و به‌ویژه روش زمان-مساحت، مشخص شد که در اغلب این پژوهش‌ها، از مفهوم زمان تمرکز آبخیز بهره گرفته شده است که در اکثر رابطه‌های تعیین اندازه‌ی آن، از خصوصیات فیزیکی آبخیز استفاده شده است و وابستگی زمان تمرکز به شرایط بارش بررسی نشده است. از این رو، این پژوهش با هدف ارزیابی این روش‌ها با بهره‌گیری از روش موج جنبشی در بستر GIS، روش HEC-1 و روش بهینه‌سازی با استفاده از دستورالعمل ژنتیک، در یک آبخیز آزمایشگاهی وی-شکل انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور مدل‌سازی بارش-رواناب از داده‌های مشاهده‌ای موجود در آبخیز آزمایشگاهی وی-شکل آزمایشگاه دانشگاه ایلینویز استفاده شد. آبخیز مطالعه شده، با سطح نفوذناپذیر از جنس آلومینیوم و دو صفحه‌ی جانبی همسان با شیب یک‌طرفه به سمت کانال با اندازه‌ی ثابت ۱٪ بود. افزون بر این، یک کانال میانی هم با شیب یک‌طرفه به سمت خروجی آبخیز با اندازه‌ی ثابت ۱٪ داشت. اندازه‌ی زبری مانینگ در این آبخیز، بر پایه‌ی سعی و خطا ۰/۱۴ تعیین شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: b.saghafian@gmail.com

استناد: محمدی‌هاشمی، م.، ثقفیان، ب.، ذاکری‌نیری، م.، نجارچی، م. ۱۴۰۲. ارزیابی مدل‌های تعیین پاسخ آب‌شناختی در آبخیز آزمایشگاهی. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۱۱۱-۱۲۷.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.360149.1490

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۰، پاییز ۱۴۰۲، صفحه‌های ۱۱۱ تا ۱۲۷.

© نویسنندگان

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



نتایج و بحث

پس از تهیه نمودار زمان-مساحت آبخیز با استفاده از هریک از روش‌های مزبور، آب‌نگار خروجی آبخیز متناظر با این روش‌ها تعیین شد. سپس نتایج به‌دست آمده با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه شد و اجزای مختلف آب‌نگارهای محاسبه‌ای نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که عملکرد دستورالعمل ژنتیک در تعیین زمان اوج آب‌نگار با ۱۵٪ خطای نسبی، از عملکرد مدل‌های موج جنبشی و HEC-1 بهتر بود. همچنین مدل دستورالعمل ژنتیک با میانگین شاخص نش-ساتکلیف ۰/۹۶۸ و میانگین شاخص همبستگی ۰/۹۸۳ بیشترین تطابق را با آب‌نگارهای مشاهده‌ای داشت. همچنین با برازش منحنی با نتایج مدل‌سازی، معادله‌ی تعیین زمان تعادل آبخیز نسبت به شدت بارش به‌دست آمد که ضریب تعیین آن ۰/۹۹۹ بود. این معادله بیان‌گر رابطه‌ی عکس زمان تعادل با شدت بارش (با توان ۰/۳۳) است یعنی با دو برابر شدن شدت بارش، زمان تعادل ۲۰٪ کاهش می‌یابد. درنهایت ضریب معادله‌ی تعیین زمان تعادل برای این آبخیز ۴۹۵/۲ به‌دست آمد که به ازای هر شدت بارش، زمان تعادل متناظر آن با دقت زیاد قابل محاسبه است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش در شرایط آبخیز آزمایشگاهی مدل‌سازی بارش-رواناب با سه دسته رخداد و سه دسته مدت بارش گوناگون که هر دسته رخداد با چهار اندازه‌ی مختلف شدت بارش بود انجام شد. نمودارهای آب‌نگار متناظر با هر رخداد به‌دست آمد. با بررسی نمودارهای محاسبه‌ای و مقایسه با نمودارهای مشاهده‌ای، مشخص شد عملکرد سه مدل در تعیین حداکثر آبدهی، خطای نسبی یک تا دو درصد بود ولی در تعیین زمان رسیدن به اوج آب‌نگار، مدل‌های موج جنبشی و HEC-1، با خطای نسبی ۴۴٪، عملکرد متوسط داشت. درنهایت با بهره‌گیری از دو شاخص همبستگی و نش-ساتکلیف، مشخص شد که در روش دستورالعمل ژنتیک، آب‌نگار محاسبه‌ای به اندازه‌های مشاهده‌ای نزدیک‌تر بودند و تطابق بیشتری با داده‌های مشاهده‌ای داشتند. شایان ذکر است در این آبخیز آزمایشگاهی وابستگی زمان تعادل به شدت بارش در شرایط نفوذناپذیری تأیید شد. پیشنهاد می‌شود در صورت اعمال شرایط نفوذ عمقی و یا تغییر در اندازه‌ی زبری سطح و تعیین اندازه‌ی وابستگی تعیین و بررسی شود.

واژگان کلیدی: آبخیز وی شکل، بهینه‌سازی، پاسخ آب‌شناختی، دستورالعمل ژنتیک، مدل HEC-1، موج جنبشی

مقدمه

نقاط قوت و ضعفی دارند. در یک پژوهش، شش نوع از روش‌های عکس فرآیند انتگرال پیچیده^۱ برای تعیین پاسخ بررسی شد. از جمله این روش‌ها تبدیل فوریه، شناسایی سامانه، بهینه‌سازی محدود، حداکثر آنتروپی، دستورالعمل ژنتیک بوده است که نتایج بررسی روش‌ها بیان‌گر عملکرد بسیار ضعیف روش تبدیل فوریه بود. در بررسی مزبور بهترین دستورالعمل از نظر عملکرد کلی، روش حداکثر آنتروپی بود (مدن و همکاران ۱۹۹۶). اخیراً از دستورالعمل ژنتیک در پژوهش‌های آب‌شناسی و سایر موضوع‌های مرتبط استفاده شده است (صبا و همکاران ۲۰۱۸، معصومی و همکاران ۲۰۲۱، صادقی و همکاران ۲۰۲۱). از دستورالعمل ژنتیک به‌عنوان ابزار بهینه‌سازی برای ترکیب با سایر روش‌ها همچون مدل فازی در تعیین پاسخ مدل‌های واسنجی بارش-رواناب نیز استفاده شده است (دونگ ۲۰۰۸). همچنین در واسنجی معادله‌های موج جنبشی نیز استفاده شده است

یکی از هدف‌های اصلی بررسی‌های بارش-رواناب، تعیین پاسخ آب‌شناختی آبخیز در مقابل رخداد بارش است. پژوهش‌های زیادی برای تعیین روش مناسب مدل‌سازی بارش-رواناب انجام شده است که به ارائه‌ی رابطه‌های تجربی منجر شده است (علیزاده ۲۰۰۸). یکی از روش‌هایی که برای تعیین رواناب خروجی آبخیز به کار برده می‌شود، روش زمان-مساحت است که حالت پیشرفته‌تر روش استدلالی است؛ با این تفاوت که شدت بارش نسبت به زمان متغیر است (علیزاده ۲۰۰۸). در این روش، آبخیز به یک گروه ناحیه تقسیم می‌شود که زمان پیمایش رواناب (تا خروجی آبخیز) در آنها یکسان و برابر است (چو و همکاران ۱۹۸۸). با فرض اینکه نمودار زمان-مساحت، پاسخ آب‌شناختی آبخیز به یک رخداد بارش است و رفتار آبخیز را در تولید رواناب با توجه به نمودار بارش بیان می‌کند، می‌توان به روش‌های مختلفی تابع این پاسخ را تعیین کرد که هر کدام از این روش‌ها

(درسیا و کومار ۲۰۱۷). در یک بررسی، از دستورالعمل ژنتیک به عنوان مدل بهینه سازی و یک مدل تکمیلی برای سایر مدل های نرم افزاری هم استفاده شده است (فرزین و همکاران ۲۰۱۸). انعطاف پذیری مدل های مبتنی بر دستورالعمل ژنتیک، سبب عملکرد مطلوب آن شده است، به طوری در یک بررسی در تعیین آبدهی سیلاب در مقایسه با سایر مدل ها همچون مدل شبکه ی عصبی، مدل ترکیب خوشه بندی کاهشی و مدل تطبیقی استنتاج عصبی فازی^۲، عملکرد بهتری داشت (نوری و همکاران ۲۰۱۹).

با توجه به سیر پیشرفت روش زمان-مساحت و کارایی آن، پژوهش های گوناگونی برای ارائه ی روش مناسب برای تهیه ی نمودار زمان-مساحت انجام شده است (ملسه و همکاران ۲۰۰۳، ثقفیان و شکوهی ۲۰۰۶، ذاکری و همکاران ۲۰۱۲، سبزواری و همکاران ۲۰۱۵، صادقی و همکاران ۲۰۱۵، هر و هیتوول ۲۰۱۶). همچنین دقت و کارایی استفاده از مدل موج جنبشی به عنوان اساس محاسبه های این روش نیز نشان داده شده است (ثقفیان و شکوهی ۲۰۰۶، ثقفیان و همکاران ۲۰۰۰)، موج جنبشی برای روندیابی جریان مشابه روش ماسکینگ-کانج (چابکپور ۲۰۲۲)، و هم برای تعیین رواناب مستقیم آبخیز استفاده شده است (محمدی هاشمی و همکاران ۲۰۲۱). اما نیاز اغلب این مدل ها به اطلاعات دقیق آبخیز، سبب شده است تا کارایی مدل زمان-مساحت به ویژگی های آب شناختی آبخیز وابسته باشد (هر و هیتوول ۲۰۱۶).

یکی از موضوع های مهم در بحث پاسخ آب شناختی آبخیز و مبنای بسیاری از مدل های بارش رواناب از جمله روش زمان-مساحت، تعیین زمان تمرکز آبخیز است. در یک پژوهش با استفاده از مدل HEC-HMS و با بهره گیری از روش SCS و تغییر در زمان تأخیر از روش بهینه سازی استفاده شد و با مقایسه ی آب نگارهای مشاهده ای و محاسبه ای، زمان تأخیر به دست آمد. در پژوهش مزبور با نزدیک شدن آب نگار مشاهده ای به آب نگار پیش بینی شده، زمان تأخیر بهینه به دست آمد و مشاهده شد که اندازه ی زمان تمرکز در روش SCS، ۱/۶۷ برابر زمان تأخیر بود. این زمان تمرکز، مبنای مقایسه با سایر روش ها قرار گرفته است. نتایج دیگر استفاده از روش مزبور نشان داد که مدل سازی نیازمند اطلاعات زیادی از زمین ریخت شناختی بود، در این صورت نتایج به دست آمده (تعیین زمان تمرکز آبخیز) دقت زیادی داشتند (سبزواری و همکاران ۲۰۰۹). استفاده از سامانه ی اطلاعات جغرافیایی همراه با

مدل های بارش-رواناب، مدل های آب شناختی دقیق تری را ارائه داده است (برخورداری و وارتانیان ۲۰۱۴، زراعتکار ۲۰۱۶). همچنین در پژوهشی، کانگ و مرواده (۲۰۱۱) یک مدل توسعه یافته همراه با کاربرد مدل آب شناختی توزیعی براساس روش آبگیر-انتشار در بستر GIS را ارائه دادند. در پژوهش ایشان، چارچوب مفهومی STORM DHM در سه آبخیز در ایندیانا به کار گرفته شده است. این مدل ابتدا به وسیله ی یک رخداد واسنجی شد و سپس برای سه رخداد با استفاده از داده های نقطه ای و داده های پیوسته با استفاده از شاخص های نش-سائکلیف و R^2 ارزیابی شد. با بررسی نتایج مشخص شد که انتخاب گام زمانی در برآورد ویژگی های پستی-بلندی مانند شیب، جهت جریان و مسیر جریان موثر بود، و این یافته به نوبه ی خود بر محاسبه ی زمان پیمایش و آب نگار جریان نیز مؤثر بود. همچنین ترکیب GIS و مدل موج جنبشی، کارایی این مدل را افزایش داده است (سبزواری و همکاران ۲۰۰۰، ژیونگ و ملچینگ ۲۰۰۵، لیانگ ۲۰۱۰، لیانگ و ملچینگ ۲۰۱۲، ۲۰۱۵).

کاربرد تمام مدل های بارش-رواناب در نهایت در پژوهش های آبخیز خواهد بود، اما از آنجا که متغیرها و مولفه های بسیاری از شرایط آبخیز، در نتیجه ی پایانی پژوهش های آبخیز مؤثر است، به شرایط ایده آل تری برای بررسی کارایی مدل ها و مقایسه ی عملکرد و دقت آنها نیاز است. از این رو آبخیزهای آزمایشگاهی در پژوهش های بسیاری استفاده شده است و اجرای مدل بارش-رواناب در آبخیزهای آزمایشگاهی به عنوان مدل ساده ای از آبخیزهای واقعی، در تعیین رفتار آب شناختی آبخیز نتایج مفیدی داشته است (لیانگ و ملچینگ ۲۰۱۲، ژیونگ و ملچینگ ۲۰۰۵)، اغلب پژوهش ها روی آبخیزهای آزمایشگاهی با شکل ساده ی هندسی است که از آنها پیشتر در مدل سازی آبخیزهای نظری استفاده شده است (ثقفیان و شکوهی ۲۰۰۶، سبزواری و همکاران ۲۰۱۵).

با بررسی و جمع بندی نتایج پژوهش ها در بحث مدل سازی بارش-رواناب و به ویژه روش زمان-مساحت، مشخص شد که در اغلب این پژوهش ها، از مفهوم زمان تمرکز آبخیز بهره گرفته شده است و در اکثر رابطه های تعیین اندازه ی آن، از خصوصیات فیزیکی آبخیز استفاده شده است و وابستگی زمان تمرکز به شرایط بارش بررسی نشده است. همچنین در اغلب پژوهش ها، روش زمان-مساحت و ویژگی های آب نگار به دست آمده از رواناب خروجی آبخیز از این روش در

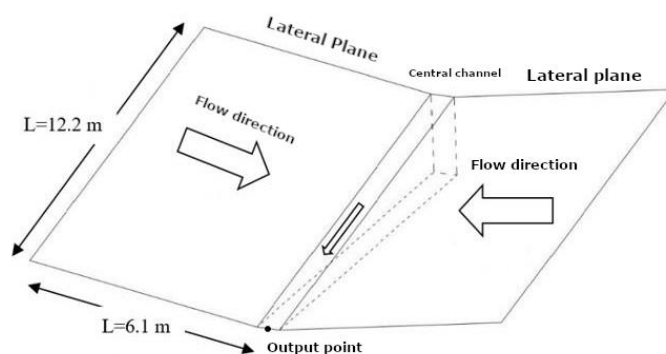
بارش-رواناب در آبخیزهای وی-شکل در پژوهش‌های گوناگون (لیانگ و ملچینگ ۲۰۱۲، محمدی‌هاشمی و همکاران ۲۰۲۱) سبب شد تا آبخیز وی-شکل برای بررسی مدل‌های مختلف در تعیین پاسخ آب‌شناختی آبخیز انتخاب شود. از این رو از داده‌های مشاهده‌ای موجود در آبخیز آزمایشگاهی وی-شکل آزمایشگاه دانشگاه ایلینویز برای این پژوهش استفاده شد (لیانگ و ملچینگ ۲۰۱۲). آبخیز شامل دو صفحه و یک کانال میانی با شرایط ریخت‌شناختی و آب‌شناختی مشخص بود. آبخیز مطالعه شده، با سطح نفوذناپذیر از جنس آلومینیوم و با دو صفحه‌ی جانبی هر یک به عرض ۶/۱ متر و طول ۱۲/۲ متر و شیب یک‌طرفه به سمت کانال با اندازه‌ی ثابت ۱٪ و یک کانال میانی با طول ۱۲/۲ متر و شیب یک‌طرفه به سمت خروجی آبخیز با اندازه‌ی ثابت ۱٪ بود. اندازه‌ی زبری مانینگ در این آبخیز، بر پایه‌ی سعی و خطا ۰/۰۱۴ تعیین شد. نمای آبخیز وی-شکل بررسی شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

آبخیزهای نظری دقیق بررسی شده است. از این رو در این مقاله با هدف بررسی رفتار نزدیک به واقعیت آبخیز، یک آبخیز آزمایشگاهی وی-شکل با سطح نفوذناپذیر انتخاب شد. اگرچه نبودن شرایط نفوذ عمقی، کاربرد پژوهش را معطوف به آبخیزهای شهری (با سطح نفوذناپذیر) کرده است، اما رخداد واقعی بارش و تبدیل آن به رواناب بررسی شد و سادگی در پیاده‌سازی مدل با حذف متغیر نفوذ و نبود انواع خطاهای ساده‌سازی رایج این متغیر، فراهم شد. در این پژوهش، عملکرد مدل‌های موج جنبشی، HEC-1 و دستورالعمل ژنتیک در تعیین پاسخ آب‌شناختی آبخیز آزمایشگاهی مطالعه شد و در نهایت رابطه‌ی میان شدت بارش و زمان تعادل آبخیز به‌دست آمد.

مواد و روش‌ها

آبخیز آزمایشگاهی مطالعه شده

کارایی آبخیزهای آزمایشگاهی و نتایج مطلوب مدل‌سازی



شکل ۱- نمای آبخیز آزمایشگاهی بررسی شده در این پژوهش.

Figure 1- The shape of the laboratory watershed investigated in this research.

شد و به‌وسیله‌ی رابطه‌ی عمق-حجم واسنجی شد. آب آبیگر مجدداً با استفاده از سامانه‌ی پمپاژ به نازل‌های بارش هدایت شد. همچنین با مدیریت شیرهای برقی از روش فرمان رایانه‌ای، شدت‌های مختلف بارش و مدت بارش گوناگونی ایجاد شد. شدت بارش ایجاد شده به‌وسیله‌ی سامانه‌ی پمپاژ، به‌وسیله‌ی بده‌سنج^۳ اندازه‌گیری شد و داده‌های برداشت شده به رایانه‌ی آزمایشگاه فرستاده شد. مشخصات رخداد‌های بارش-رواناب استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است.

مجموعه رخداد‌های بارش-رواناب در این آبخیز آزمایشگاهی، شامل ترکیبی از حالت‌های مختلف بارش و شیب آبخیز بود. در این پژوهش شرایط فیزیکی آبخیز (شیب صفحه‌ها و کانال) ثابت در نظر گرفته شد و اثرات تغییر در شرایط بارش، شامل مدت و شدت بارش بررسی شد. این آبخیز آزمایشگاهی ۴۰۰ نازل باران مصنوعی با شیرهای برقی با قابلیت دریافت دستور رایانه‌ای برای باز و بسته شدن داشت که در بلندی دو متر از سطح آبخیز نصب شده بودند. رواناب خروجی آبخیز در یک آبیگر جمع‌آوری

جدول ۱- مشخصات رخداد‌های استفاده شده در این پژوهش.

Table 1- Characteristics of events used in this research.

Test No.	Rainfall duration (s)	Rainfall intensity (mm/hr)
1	120	193
2	120	169
3	120	114
4	120	273
5	180	278
6	180	283
7	180	288
8	180	286
9	240	203
10	240	206
11	240	172
12	240	110

n_c : اندازه‌ی زبری کانال، L_c : طول کانال (بر حسب متر)،
 S_c : اندازه‌ی شیب کانال (بر حسب متر بر متر) است.
 اندازه‌ی زمان کل پیمایش تا خروجی آبخیز برای هر نقطه
 از آبخیز با استفاده از معادله‌ی ۳ محاسبه شد.

$$t_m = t_o + t_c \quad (3)$$

t_m : اندازه‌ی زمان کل پیمایش (بر حسب ثانیه)، t_o : زمان
 پیمایش در ناحیه‌ی صفحه‌ها (بر حسب ثانیه)، t_c : زمان
 پیمایش در ناحیه‌ی کانال (بر حسب ثانیه) است.

مدل HEC-1

هسته‌ی گروه آب‌شناختی ارتش ایالات متحده در
 مدل معروف خود به نام HEC-1 و بعدها در مدل
 HEC-HMS، معادله‌ای برای نمودار زمان-مساحت ارائه
 دادند که قابل استفاده در اکثر آبخیزها بود (مرکز مهندسی
 آب‌شناختی ۱۹۹۱، ارتش ایالات متحده ۲۰۰۰). نمودار
 زمان-مساحت در آبخیز با استفاده از معادله‌ی ۴ به‌دست
 آمد.

$$\frac{A_t}{A} = \begin{cases} 1.414 \left(\frac{t}{t_c} \right)^{1.5} & \text{for } t \leq \frac{t_c}{\gamma} \\ 1 - 1.414 \left(1 - \frac{t}{t_c} \right)^{1.5} & \text{for } t \geq \frac{t_c}{\gamma} \end{cases} \quad (4)$$

A_t : مساحت تجمعی بخشی از آبخیز مشارکت کننده (بر
 حسب مترمربع) در تولید رواناب در زمان t ، A : مساحت
 کل آبخیز (بر حسب مترمربع)، t_c : زمان تمرکز آبخیز
 است.

برای استفاده از این روش نیاز به تعیین زمان تمرکز بود
 که با استفاده از معادله‌ی ۳ برآورد شد. پس از تعیین
 نمودار زمان-مساحت، با روش انتگرال پیچیده از نمودار

مدل‌های بارش-رواناب استفاده شده

مدل موج جنبشی در بستر GIS

یکی از روش‌های استفاده شده در این پژوهش، مدل
 توزیعی بر پایه‌ی معادله‌های موج جنبشی در بستر نرم افزار
 GIS است. در این مدل، آبخیز به دو ناحیه صفحه و کانال
 تقسیم می‌شود. در این پژوهش، با استفاده از سامانه‌ی
 اطلاعات جغرافیایی، آبخیز در دو ناحیه‌ی صفحه‌ها و کانال
 به مجموعه سلول‌هایی به شکل مربع با طول ضلع ۱۰
 سانتی‌متر تقسیم‌بندی شد و برای هر سلول، زمان پیمایش
 رواناب تا خروجی سلول محاسبه شد و با استفاده از
 روندیابی جریان (مجموع زمان پیمایش از سلول‌های واقع
 در مسیر جریان رواناب خروجی)، زمان پیمایش سلول مد
 نظر تا خروجی آبخیز محاسبه شد. تعیین زمان پیمایش
 در ناحیه‌ی صفحه‌ها با استفاده از معادله‌ی ۱ محاسبه شد
 (وولهایزر و لیگت ۱۹۶۷).

$$t_o = \left(\frac{n_o L_o}{\sqrt{S_o} i_e^{2/3}} \right)^{2/5} \quad (1)$$

t_o : زمان پیمایش در ناحیه صفحه‌ها (بر حسب ثانیه)،
 n_o : اندازه‌ی زبری صفحه‌ها، L_o : عرض صفحه‌ها (بر حسب
 متر)، S_o : اندازه‌ی شیب صفحه‌ها (بر حسب متر بر متر)،
 i_e : شدت بارش مؤثر روی صفحه‌ها (بر حسب متر بر ثانیه)
 است.

زمان پیمایش در ناحیه‌ی کانال، با استفاده از معادله‌ی ۲
 محاسبه شد (وونگ ۲۰۰۱).

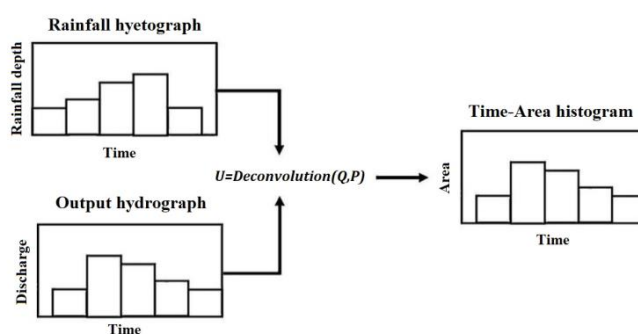
$$t_c = \left[\frac{\gamma^{2/3} n_c L_c (1 + S_o \gamma)^{1/3}}{\sqrt{S_c} S_o^{1/3} (\gamma i_e L_o)^{1/3}} \right]^{2/5} \quad (2)$$

t_c : زمان پیمایش در ناحیه‌ی کانال (بر حسب ثانیه)،

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} \quad (5)$$

p : ماتریس بارش مازاد، U : نمودار زمان-مساحت در نقش پاسخ آبخیز، Q : آبنگار رواناب خروجی آبخیز در قالب ماتریس است.

با معلوم بودن دو ماتریس بارش مازاد و آبنگار رواناب خروجی، با استفاده از دستورالعمل ژنتیک و اعمال بهینه‌سازی، ماتریس پاسخ آبخیز تعیین شد. این فرایند در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- فرایند تعیین پاسخ آب‌شناختی آبخیز براساس رخداد بارش-رواناب.

Figure 2- The process of determining the watershed hydrological response based on rainfall-runoff events.

R : شاخص همبستگی، Cov : کوواریانس دو متغیر Q_o و Q_c ، σQ_o ، σQ_c : انحراف معیار Q_o ، Q_c : انحراف معیار Q_c است.

شاخص نش-ساتکلیف با استفاده از معادله ۸ محاسبه شد (نش و ساتکلیف ۱۹۷۰).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - Q_{ci})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q})^2} \quad (8)$$

NSE : شاخص نش-ساتکلیف، Q_{oi} : آب‌دهی مشاهده‌ای، Q_{ci} : آب‌دهی محاسبه‌ای، $\bar{Q}$: میانگین آب‌دهی مشاهده‌ای است.

هر چه اندازه‌ی شاخص نش-ساتکلیف به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد مدل برازش بهتری بین دو دسته داده‌های مشاهده‌ای و محاسبه‌ای را نشان می‌دهد (بیاتی و همکاران ۲۰۲۱).

زمان تعادل^۷

زمان تمرکز آبخیز، زمان لازم برای مشارکت دورترین نقطه‌ی آبخیز به خروجی در تولید رواناب سطحی تعریف

زمان-مساحت و نمودار بارش، آبنگار رواناب خروجی آبخیز به‌دست آمد. در این پژوهش، روش HEC-1 به‌عنوان یک مدل تعیین پاسخ آب‌شناختی آبخیز استفاده شد.

مدل ترکیبی دستورالعمل ژنتیک

این مدل، ترکیبی از روش‌های دستورالعمل ژنتیک و زمان-مساحت است. در این مدل، با استفاده از رخداد‌های پیشین بارش-رواناب در آبخیز، پاسخ آب‌شناختی آبخیز به‌دست آمده به شکل نمودار زمان-مساحت ارائه می‌شود. معادله ۵، معادله اصلی استفاده شده در این مدل است.

شاخص‌های ارزیابی

در این پژوهش برای بررسی دقت نتایج مدل‌ها از شاخص‌های آماری خطای نسبی^۴، همبستگی^۵ و نش-ساتکلیف^۶ استفاده شد. در تمام ارزیابی‌ها، خروجی‌های هر مدل با اندازه‌های مشاهده‌ای (داده‌های بارش-رواناب ثبت شده‌ی قبلی) مقایسه شد. شاخص خطای نسبی با استفاده از معادله ۶ محاسبه شد.

$$RE = \frac{|Q_o - Q_c|}{Q_o} \times 100 \quad (6)$$

Q_o : اندازه‌ی مشاهده‌ای آب‌دهی، Q_c : اندازه‌ی محاسبه‌ای آب‌دهی، RE : خطای نسبی برآورد است.

هر چقدر اندازه‌ی شاخص خطای نسبی کمتر باشد، نزدیکی دو آبنگار به هم بیشتر است و بر عکس هر چقدر این شاخص بیشتر باشد دقت نتایج مدل‌سازی کمتر است. شاخص همبستگی با استفاده از معادله ۷ محاسبه شد.

$$R = \frac{Cov(Q_o, Q_c)}{\sigma Q_o \sigma Q_c} \quad (7)$$

4 - Relative error

5 - Correlation

6 - Nash-Sutcliffe Efficiency

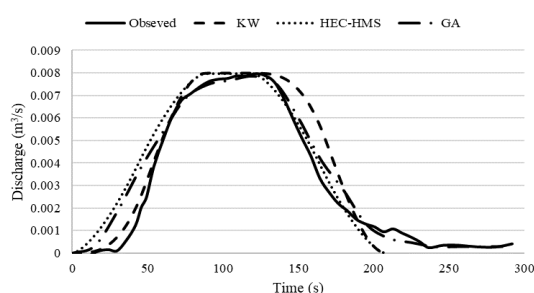
7- Equilibrium time

نتایج

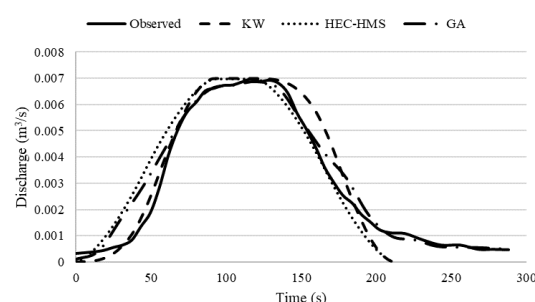
تعیین آبنگارهای خروجی

در این پژوهش مدل‌سازی با بهره‌گیری از مدل‌های معرفی شده و با دو دسته از رخدادهای بارش-رواناب (با مدت و شدت بارش متفاوت) انجام شد (جدول ۱). نمودارهای آبنگار رواناب خروجی آبخیز در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. در شکل‌های مزبور، روش‌های دستورات عمل ژنتیک با نماد GA، موج جنبشی با نماد KW و مدل هسته‌ی آب‌شناختی ارتش ایالات متحده با نماد HEC-HMS نمایش داده شده است.

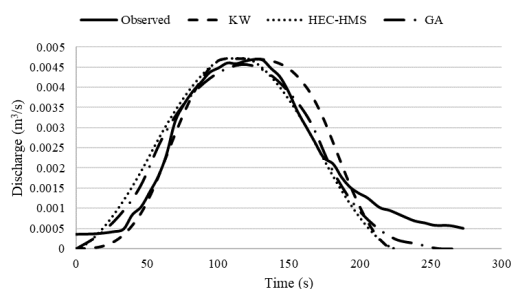
شده است (علیزاده ۲۰۰۸). اگر مدت بارش (با شدت ثابت) برابر یا بزرگتر از زمان تمرکز آبخیز باشد، می‌توان از عبارت زمان تعادل به جای زمان تمرکز استفاده کرد (ثقفیان و جولین ۱۹۹۵). در این پژوهش یکی از مولفه‌های بررسی شده در این آبخیز، تعیین اندازه‌ی زمان تعادل به ازای هر رخداد بارش-رواناب بوده است که در پایان پژوهش، رابطه‌ی آن با اندازه‌ی شدت بارش ارزیابی شد.



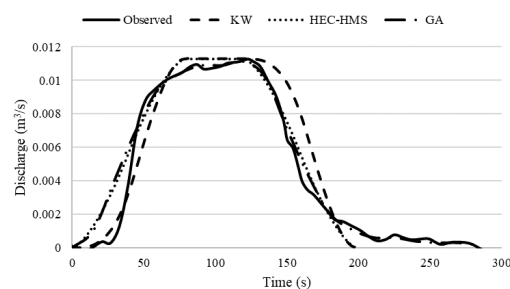
آبنگار متناظر با آزمایش ۱



آبنگار متناظر با آزمایش ۲

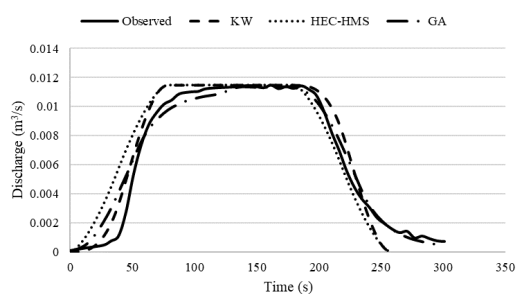


آبنگار متناظر با آزمایش ۳

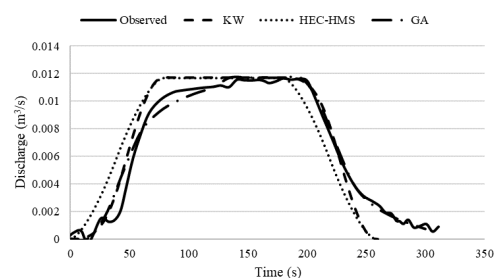


آبنگار متناظر با آزمایش ۴

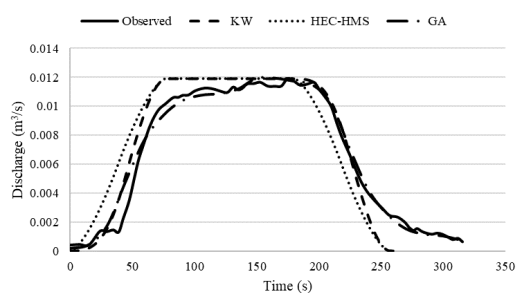
شکل ۳- آبنگارهای رواناب خروجی متناظر با مدل‌سازی‌های آزمایش‌های ۱ تا ۴.
Figure 3- Output runoff hydrograph corresponding to the modeling of tests 1 to 4.



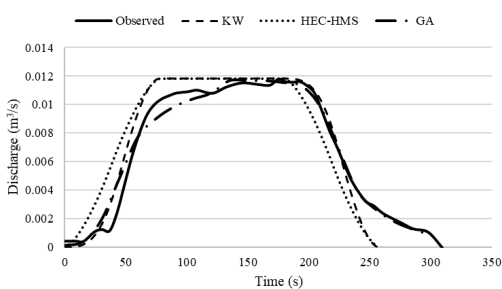
آب‌نگار متناظر با آزمایش ۵



آب‌نگار متناظر با آزمایش ۶



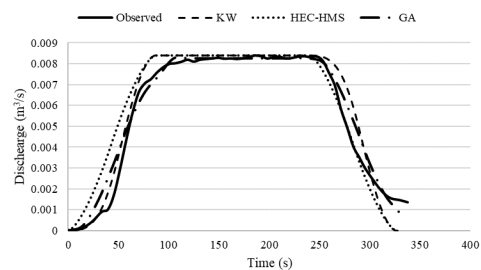
آب‌نگار متناظر با آزمایش ۷



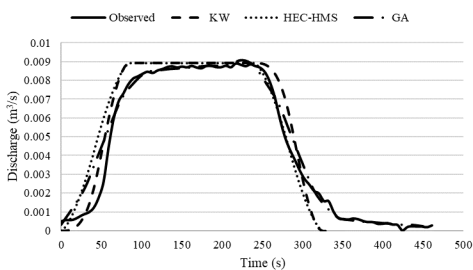
آب‌نگار متناظر با آزمایش ۸

شکل ۴- آب‌نگارهای رواناب خروجی متناظر با مدل‌سازی‌های آزمایش‌های ۵ تا ۸.

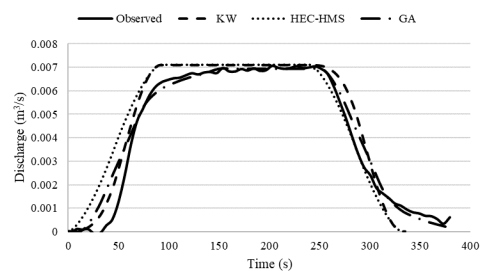
Figure 4- Output runoff hydrograph corresponding to the modeling of tests 5 to 8.



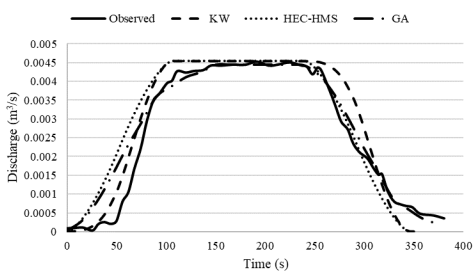
آب‌نگار متناظر با آزمایش ۹



آب‌نگار متناظر با آزمایش ۱۰



آب‌نگار متناظر با آزمایش ۱۱



آب‌نگار متناظر با آزمایش ۱۲

شکل ۵- آب‌نگارهای رواناب خروجی متناظر با مدل‌سازی‌های آزمایش‌های ۹ تا ۱۲.

Figure 5- Output runoff hydrograph corresponding to the modeling of tests 9 to 12.

افزایش یافته است. مقایسه‌ی نتایج سه مدل در تعیین اندازه‌ی حداکثر آبدهی در جدول ۲ نشان داده شده است. برای تعیین اندازه‌ی تفاوت‌ها و سنجش عملکرد مدل‌ها، از معیار خطای نسبی (RE)^۱ (مقایسه‌ی اندازه‌های محاسبه‌ای با اندازه‌های مشاهده‌ای) استفاده شد (لیانگ و ملچینگ ۲۰۱۲).

میان اندازه‌های مشاهده‌ای و نتایج مدل‌سازی آبنگارهای رواناب خروجی در سه دسته رخداد بارش با مدت‌های ۱۲۰، ۱۸۰ تفاوت بود (شکل‌های ۳ تا ۵). نتایج نشان داد متناسب با شدت بارش، اندازه‌ی حداکثر آبدهی در نمودار آبنگار نیز افزایش یافته است. همچنین متناسب با افزایش مدت بارش، طول ناحیه‌ی فلات آبنگار نیز

جدول ۲- مقایسه‌ی اندازه‌ی حداکثر آبدهی به‌دست آمده از روش‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای.

Table 2- Comparison of the maximum discharge resulting from calculation and observational methods.

Test No.	* Observed	* KW	* HEC-1	* GA	** KW-RE	** HEC-1-RE	** GA-RE
1	7.96	7.97	7.97	7.85	0.1	0.1	1.4
2	6.97	6.98	6.98	6.87	0.1	0.1	1.0
3	4.69	4.71	4.71	4.57	0.4	0.4	2.6
4	11.28	11.28	11.28	11.11	0	0	1.5
5	11.49	11.49	11.49	11.35	0	0	1.2
6	11.68	11.70	11.70	11.69	0.2	0.2	0
7	11.91	11.91	11.91	11.92	0	0	0
8	11.79	11.82	11.82	11.69	0.3	0.3	0.8
9	8.39	8.39	8.39	8.25	0	0	1.7
10	8.90	8.93	8.93	9.09	0.3	0.3	2.1
11	7.08	7.11	7.11	6.93	0.4	0.4	2.1
12	4.52	4.55	4.55	4.44	0.7	0.7	1.8
Error average	-	-	-	-	0.2	0.2	1.3

* Values are in cubic meters per second ($\times 10^{-3}$). * اندازه‌ها بر حسب متر مکعب بر ثانیه ($\times 10^{-3}$) است.

** Values are in percentage.

** اندازه‌ها بر حسب درصد است.

ثانیه، عملکرد مدل دستورالعمل ژنتیک بهتر از دو روش دیگر بود.

بررسی نتایج مدل‌سازی با سه روش مزبور در تعیین زمان رسیدن به اوج آبنگار و مقایسه با اندازه‌های موجود در آبنگارهای مشاهده‌ای آبخیز، نشان داد که عملکرد مدل‌های مزبور با یکدیگر متفاوت بود. نتایج مقایسه‌ی اندازه‌ی زمان رسیدن به اوج آبنگار به‌دست آمده از روش‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای در جدول ۳ نشان داده شده است.

میانگین خطای سه روش موج جنبشی، HEC-1 و دستورالعمل ژنتیک تقریباً برابر بود. در نتیجه خطای نتایج به‌دست آمده از اندازه‌های محاسبه‌ای در مقایسه با اندازه‌های مشاهده‌ای، نسبتاً کم بود که بیانگر دقت زیاد هر سه مدل، در تعیین اندازه‌ی حداکثر آبدهی در آبنگار رواناب خروجی آبخیز است (جدول ۲). همچنین با بررسی دقیق‌تر نتایج جدول ۲، اختلاف اندازه‌ی خطا در سه دسته رخداد بارش-رواناب با مدت بارش متفاوت، مشخص شد. به طوری که در مجموعه رخدادهای با طول مدت ۱۸۰

جدول ۳- مقایسه اندازه‌ی زمان رسیدن به اوج آبنگار به‌دست آمده از روش‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای.

Table 3- Comparison of hydrograph peak time value obtained from calculation and observational methods.

Test No.	* Observed	* KW	* HEC-1	* GA	** KW-RE	** HEC-1-RE	** GA-RE
1	127	88	88	120	31	31	1
2	129	92	92	120	29	29	1
3	132	105	105	120	20	20	1
4	122	79	79	120	35	35	2
5	186	78	78	135	58	58	27
6	180	78	78	135	57	57	25
7	175	78	78	150	55	55	14
8	175	78	78	135	55	55	23
9	182	87	87	105	52	52	42
10	181	85	85	225	53	53	2
11	202	92	92	150	54	54	26
12	225	110	110	150	51	51	33
Error average	-	-	-	-	46	46	16

* Values are in seconds. * اندازه‌ها بر حسب ثانیه است.

** Values are in percentage. ** اندازه‌ها بر حسب درصد است.

HEC-1 در تعیین زمان اوج آب‌نگار بود (جدول ۳). به منظور بررسی اندازه‌ی تطابق دو آب‌نگار محاسبه‌ای و مشاهده‌ای در سه مدل از شاخص‌های همبستگی و نش-ساتکلیف استفاده شد. نتایج این بررسی در جدول ۴ نشان داده شده است.

نتایج مدل دستورالعمل ژنتیک، با اندازه‌ی خطای نسبی ۱۶٪، در تعیین زمان رسیدن به اوج آب‌نگار، در مقایسه با مدل موج جنبشی با خطای نسبی ۴۶٪ و مدل HEC-1 با خطای نسبی ۴۶٪، نشان داد که مدل دستورالعمل ژنتیک عملکرد بهتری داشته است، که این یافته یکی از محدودیت‌های مدل‌های موج جنبشی و

جدول ۴- تطابق آب‌نگارهای به‌دست آمده از روش‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای.

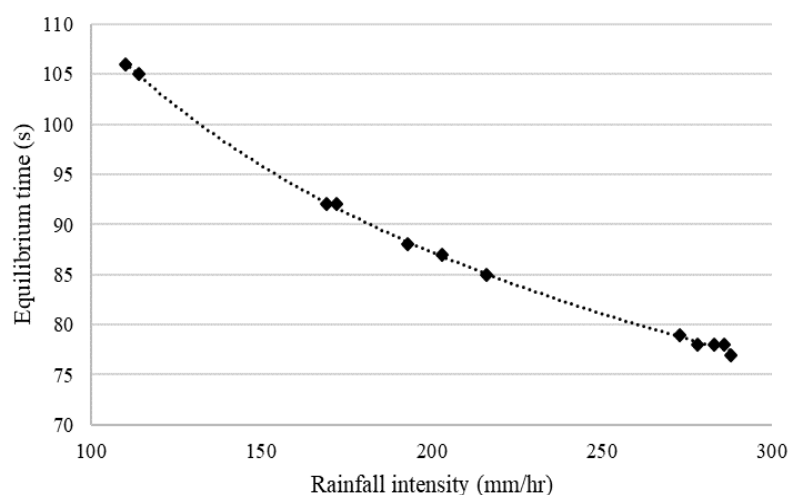
Table 4- Matching of hydrographs obtained from calculation and observational methods.

Index Test No.	R			NSE		
	KW	HEC-1	GA	KW	HEC-1	GA
1	0.906	0.927	0.953	0.915	0.900	0.953
2	0.929	0.950	0.963	0.938	0.901	0.966
3	0.937	0.968	0.993	0.913	0.916	0.938
4	0.931	0.961	0.975	0.896	0.942	0.964
5	0.944	0.949	0.997	0.951	0.875	0.971
6	0.945	0.948	0.995	0.933	0.828	0.984
7	0.931	0.933	0.996	0.918	0.799	0.987
8	0.935	0.938	1.006	0.923	0.815	0.985
9	0.947	0.955	0.984	0.946	0.915	0.973
10	0.934	0.941	0.979	0.920	0.877	0.976
11	0.931	0.937	0.984	0.939	0.880	0.969
12	0.914	0.922	0.974	0.914	0.862	0.945
Index average	0.932	0.944	0.983	0.926	0.876	0.968

گرفتن خاصیت آگیری آبخیز، دنباله‌ی آب‌نگار در بازوی پایین رونده شکل دقیق‌تری داشت که این یافته در دو روش موج جنبشی و HEC-1 کمتر مشاهده شد و این یکی از ضعف‌های مدل موج جنبشی به‌شمار می‌رود.

تعیین رابطه‌ی میان شدت بارش و زمان تعادل آبخیز
براساس معادله‌های ۱ و ۲، اندازه‌ی زمان تعادل آبخیز رابطه‌ی مستقیم با اندازه‌ی شدت بارش داشت. این در حالی است که زمان تعادل آبخیز مستقل از مدت بارش بود. با توجه به نتایج مدل دستورالعمل ژنتیک در بستر GIS و تعیین زمان تعادل آبخیز براساس رخدادهای بارش، با وایازی اندازه‌های دوازده‌گانه‌ی شدت بارش و زمان تعادل متناظر با هر رخداد بارش، یک منحنی برازش به‌دست آمد (شکل ۶).

نتایج سه مدل موج جنبشی، HEC-1 و دستورالعمل ژنتیک در تعیین آب‌نگار رواناب خروجی در این آبخیز مقایسه و ارزیابی شد. در این پژوهش می‌توان گفت که از میان آب‌نگارهای محاسبه‌ای به‌دست آمده با سه روش موج جنبشی، HEC-1 و دستورالعمل ژنتیک، آب‌نگارهای محاسبه‌ای روش دستورالعمل ژنتیک انطباق بیشتری با آب‌نگار مشاهده‌ای داشتند. به طور کلی این یافته با اندازه‌ی شاخص نش-ساتکلیف ۰/۹۶۸ و شاخص همبستگی ۰/۹۸۳ تأیید شد. همچنین از میان روش موج جنبشی و HEC-1، خروجی روش موج جنبشی نزدیک‌تر به نتایج مشاهده‌ای بود. اما با بررسی دقیق‌تر می‌توان گفت که در مدل‌سازی بازوهای بالارونده آب‌نگار، عملکرد روش دستورالعمل ژنتیک از دو روش دیگر بهتر بوده است. در روش دستورالعمل ژنتیک ضمن در نظر



شکل ۶- تغییرات زمان تعادل آبخیز متناظر با تغییرات شدت بارش.

Figure 6- Changes in equilibrium time corresponding to changes in rainfall intensity.

آبخیز آزمایشگاهی وی-شکل با شرایط فیزیکی ثابت و مجموعه‌ای از رخدادها با شدت و مدت بارش متغیر بود. در این پژوهش مدل موج جنبشی اجرا شده، مدل توزیعی در بستر نرم‌افزار GIS بود که از معادله‌های موج جنبشی در دو ناحیه‌ی صفحه‌های جانبی و کانال استفاده شد. مدل HEC-1 نیز که در نسخه‌های نرم‌افزار HEC-HMS هم استفاده شد شامل دو دسته معادله بود که با فرض معلوم بودن زمان تمرکز آبخیز، نمودار زمان-مساحت به‌وسیله‌ی آن تعیین شد و با انجام انتگرال کانولوشن، آبنگار رواناب خروجی آبخیز مشخص شد. مدل سوم که شامل بهینه‌سازی براساس دستورالعمل ژنتیک بود، با استفاده از رخدادها بارش-رواناب موجود آبخیز، رفتار آبخیز در قالب نمودار زمان-مساحت به‌وسیله‌ی آن تعیین شد و با انجام انتگرال پیچیده با نمودار بارش مازاد آبخیز، نمودار آبنگار خروجی آبخیز محاسبه شد.

مدل‌سازی با سه دسته رخداد بارش-رواناب و سه دسته مدت بارش گوناگون که هر دسته رخداد با چهار اندازه‌ی مختلف شدت بارش بود، انجام شد. نمودارهای آبنگار متناظر با هر رخداد نیز به‌دست آمد. با بررسی نمودارهای محاسبه‌ای و مقایسه با نمودارهای مشاهده‌ای، مشخص شد که عملکرد سه مدل در تعیین حداکثر آب‌دهی، خطای نسبی یک تا دو درصد داشت، ولی در تعیین زمان رسیدن به اوج آبنگار، مدل‌های موج جنبشی و HEC-1 با خطای نسبی ۴۴٪، عملکرد متوسط داشتند. درنهایت با بهره‌گیری از دو شاخص همبستگی و نش-ساتکلیف، مشخص شد که در روش دستورالعمل ژنتیک، آبنگار محاسبه‌ای با اندازه‌های مشاهده‌ای نزدیک‌تر بود و تطابق بیشتری با داده‌های مشاهده‌ای داشت.

$$t_e = 495.21e^{-0.003} \quad (9)$$

t_e : زمان تعادل آبخیز (بر حسب ثانیه)، I : شدت بارش روی آبخیز (بر حسب میلی‌متر بر ساعت) است. شایان ذکر است که اندازه‌ی ضریب تعیین (R^2) در این منحنی ۰/۹۹۹ به‌دست آمد که تابعیت زیاد زمان تعادل از شدت بارش را تأیید کرد. این یافته بیانگر پویایی زمان تعادل آبخیز در مقایسه با تغییرات شدت بارش بود. به عبارت دیگر به‌رغم نتایج پژوهش‌های پیشین و معادله‌های قدیمی که تعیین زمان تمرکز آبخیز را فقط متأثر از خصوصیات فیزیکی آبخیز و مستقل از خصوصیات بارش می‌دانستند، نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات شرایط بارش در شکل آبنگار رواناب خروجی آبخیز مؤثر بوده است. همچنین در پاسخ آب‌شناختی آبخیز و به‌طور ویژه در زمان تعادل آبخیز نیز تأثیرگذار بود. همچنین با توجه به معادله‌ی ۹، مشخص شد که با افزایش شدت بارش، اندازه‌ی زمان تعادل نیز کاهش می‌یابد، به‌طوری که با دو برابر شدن شدت بارش، اندازه‌ی زمان تعادل ۲۰٪ کاهش یافت. همچنین با تعیین ضریب معادله ۴۹۵/۲ برای این آبخیز، می‌توان به ازای هر شدت بارش، زمان تعادل متناظر با آن را با دقت زیاد تعیین کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت پاسخ آب‌شناختی آبخیز در مقابل رخداد بارش، در این پژوهش پاسخ آبخیز در مقابل بارندگی، نحوه‌ی تولید رواناب خروجی آبخیز با سه مدل بارش-رواناب بررسی شد. این مدل‌ها براساس معادله‌های موج جنبشی، روش HEC-1 و روش بهینه‌سازی براساس دستورالعمل ژنتیک ارزیابی شد. آبخیز بررسی شده، یک

نتایج پیشین پژوهشگران (ناگی و همکاران ۲۰۱۶)، زمان تمرکز در یک آبخیز اندازه‌ی ثابت و فقط متأثر از ویژگی‌های فیزیکی آبخیز نیست و مؤلفه‌ی شدت بارش، روی آن موثر می‌باشد. یعنی اندازه‌ی زمان تعادل آبخیز با تغییرات شدت بارش، متغیر خواهد بود. همچنین بر خلاف مدل‌های پیشین که نیازمند داده‌های پرشمار از آبخیز هستند (هر و هیتوول ۲۰۱۶)، مدل‌های بررسی شده در این پژوهش، با توجه به ماهیت آن‌ها با حداقل داده‌های موجود از آبخیز، عملکرد مناسبی در تعیین پاسخ آب‌شناختی آبخیز داشتند.

در بخش پایانی پژوهش، براساس زمان تعادل آبخیز در هر یک از حالت‌های رخداد بارش-رواناب، با ایجاد برازش میان نقاط نمودار، یک معادله نمایی میان شدت بارش و زمان تعادل آبخیز به‌دست آمد. در این آبخیز آزمایشگاهی با محاسبه‌ی ضریب تعیین مشخص شد که زمان تعادل به مؤلفه‌ی شدت بارش در شرایط نفوذناپذیری وابستگی زیادی دارد. پیشنهاد می‌شود در صورت اعمال شرایط نفوذ عمقی و یا تغییر در اندازه‌ی زبری سطح، معادله و اندازه‌ی وابستگی آن به مولفه‌های مزبور بررسی شود. در این پژوهش مشخص شد که به‌رغم

فهرست منابع

- Alizadeh, A. 2010. Principles of applied hydrology. 30. 5. University of Emam Reza. Mashhad. Iran. 991 p. (In Persian).
- Barkhordari J, Vartanian T. 2014. Evaluation of a Distributed Monthly Water Balance Model to Determine Catchment Runoff in Arid Region Using RS and GIS (A Case Study in Yazd-Ardakan Basin). *Watershed Management Research* 27(2):154–64. <https://doi.org/10.22092/wmej.2014.106267>. (In Persian).
- Bayati F, Mirabbasi R, Fatahi Nafchi R, Radfar M. 2021. Performance Assessment of Copula Functions in Estimation of Rainfall Losses and Rainfall-Runoff Modelling (Case Study: Kasilian Watershed). *Watershed Engineering and Management* 13(1): 125-136. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2020.120498.1441>. (In Persian).
- Chabokpour J. 2022. Operation of the Non-Linear Muskingum Model in the Prediction of the Pollution Breakthrough Curves through the River Reaches. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. 54(1):21-34. <https://doi.org/10.22060/ceej.2021.17413.6556>. (In Persian).
- Chow VT, Maidment DR, Mays LW. 1988. *Applied Hydrology*. 5. McGraw Hill. 588 p.
- Dong Si-Hui. 2008. Genetic Algorithm Based Parameter Estimation of Nash Model. *Water Resources Management* 22(4):525–33. <https://doi.org/10.1007/s11269-007-9208-6>.
- Drisya J, Sathish Kumar D. 2017. Automated Calibration of a Two-Dimensional Overland Flow Model by Estimating Manning's Roughness Coefficient Using Genetic Algorithm. *Journal of Hydroinformatics*. 20(2):440–56. <https://doi.org/10.2166/hydro.2017.11>.
- Farzin S, Noori H, Karami H. 2018. Developing the Performance of Modern Methods Using Multi-Objective Optimization in Urban Runoff Control. *Iran Water Resources Research*. 14(3):45-58. (In Persian).
- Her Y, Heatwole C. 2016. HYSTAR Sediment Model: Distributed Two-Dimensional Simulation of Watershed Erosion and Sediment Transport Using Time-Area Routing. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 52(2): 376–96. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12396>.
- Hydrologic Engineering Center. 1991. HEC-1 Flood Hydrograph Package. Davis, CA.
- Kang K, Merwade V. 2011. Development and Application of a Storage–Release Based Distributed Hydrologic Model Using GIS. *Journal of Hydrology*. 403(1–2):1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.048>.
- Liang J. 2010. Evaluation of runoff response to moving rainstorms. Marquette University. Milwaukee, Wisconsin. (Dissertation).
- Liang J, Melching CS. 2012. Comparison of Computed and Experimentally Assessed Times of Concentration for a V-Shaped Laboratory Watershed. *Journal of Hydrologic Engineering*. 17(12):1389–96. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000609](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000609).
- Liang J, Melching CS. 2015. Experimental Evaluation of the Effect of Storm Movement on Peak Discharge. *International Journal of Sediment Research*. pp. 166–77. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2015.03.004>.
- Madden Francis N, Godfrey Keith R, Chappell MJ, Hovorka R, Bates RA. 1996. A Comparison of Six Deconvolution Techniques. *Journal of Pharmacokinetics and Biopharmaceutics*. 24(3):283–99. <https://doi.org/10.1007/BF02353672>.
- Masoumi F, Bashi-Azghadi SN, Afshar A. 2021. Application of Achieve-Based Genetic Algorithm for Consequence Management of Contaminant Entering in Water Distribution Networks. *Amirkabir Journal of Civil Engineering* 53(8): 3593-3604. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.048>.

- org/10.22060/ceej.2020.18055.6750. (In Persian).
- Melesse AM, Graham WD, Jordan JD. 2003. Spatially Distributed Watershed Mapping and Modeling: GIS-Based Storm Runoff Response Snad Hydrograph Analysis: Part 2. *Journal of Spatial Hydrology*. 3(2):1–28.
- Mohammadi Hashemi M, Saghafeian B, Zakari Niri, Najarchi M. 2021. Applicability of Rainfall–Runoff Models in Two Simplified Watersheds. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, September. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00733-5>.
- Nagy ED, Torma P, Bene K. 2016. Comparing Methods for Computing the Time of Concentration in a Medium-Sized Hungarian Catchment. *Slovak Journal of Civil Engineering*. 24(4):8–14.
- Nash JE, Sutcliffe JV. 1970. River Flow Forecasting through Conceptual Models Part I — A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*. 10(3):282–290. doi: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.
- Nouri H, Ildoromi A, Sepehri M, Artimani M. 2019. Comparing Three Main Methods of Artificial Intelligence in Flood Estimation in Yalphan Catchment. *Geography and Environmental Planning* 29(4):35–50. <https://www.magiran.com/paper/1976405> LK - <https://www.magiran.com/paper/1976405>. (In Persian).
- Saba HR, Kamalian M, Raeisizadeh I. 2018. Determining Impending Slip of Slope and Optimized Embankment Operation Volume of Earth Dams Using a Combination of Neural Networks and Genetic Algorithms (GA). *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. 50(4):747–54. <https://doi.org/10.22060/ceej.2017.11051.4965>. (In Persian).
- Sabzevari T, Ardakanian R, Shamsaee A, Talebi A. 2009. Estimation of Flood Hydrograph in No Statistical Watersheds Using HEC-HMS Model and GIS (Case Study: Kasilian Watershed). *Journal of Water Engineering* 4: 1–11
- Sabzevari T, Noroozpour S, Pishvaei MH. 2015. Effects of Geometry on Runoff Time Characteristics and Time–Area Histogram of Hillslopes. *Journal of Hydrology* 531(December). pp. 638–48. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.063>.
- Sadeghi SHR, Mostafazadeh R, Sadoddin A. 2015. Changeability of Simulated Hydrograph from a Steep Watershed Resulted from Applying Clark's IUH and Different Time–Area Histograms. *Environmental Earth Sciences*. 74: 3629–3643. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4426-3>.
- Sadeghi S, Samani J, Samani H. 2021. Optimal Design of Storm Sewer Network Based on Risk Analysis by Combining Genetic Algorithm and SWMM Model. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. 54(5): 1903–1924. <https://doi.org/10.22060/ceej.2021.19990.7308>. (In Persian).
- Saghafeian B, Lieshout AM, M Rajaei H. 2000. Distributed Catchment Simulation Using a Raster GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2(3–4):199–203. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(00\)85014-X](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(00)85014-X).
- Saghafeian B, Alireza Sh. 2006. A Corrected Time–Area Technique for One-Dimensional Flow. *International Journal of Civil Engineering*. 4(1):34–41.
- Saghafeian B, Julien PY. 1995. Time to Equilibrium for Spatially Variable Watersheds. *Journal of Hydrology*. 172(1–4): 231–245. doi:10.1016/0022-1694(95)02692-I.
- US Army Corps of Engineers. 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual.
- Wong TSW. 2001. Formulas for Time of Travel in Channel with Upstream Inflow. *Journal of Hydrologic Engineering*. 6(5):416–22.

- https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2001)6:5.(416)
- Woolhiser DA, Liggett JA. 1967. Unsteady, One-Dimensional Flow over a Plane-The Rising Hydrograph. *Water Resources Research*. 3(3):753–71. <https://doi.org/10.1029/WR003i003p00753>.
- Xiong Y, Melching CHS. 2005. Comparison of Kinematic-Wave and Nonlinear Reservoir Routing of Urban Watershed Runoff. *Journal of Hydrologic Engineering*. 10(1):39–49. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2005\)10:1\(39\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2005)10:1(39))
- Zakeri Niri M, Saghafian B, Golian S, Moramarco T, Shamsai A. 2012. Derivation of Travel Time Based on Diffusive Wave Approximation for the Time-Area Hydrograph Simulation. *Journal of Hydrologic Engineering*. 17(1):85–91. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000399](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000399)
- Zeraatkar Z. 2016. Simulation of Birjand Urban Flood Using HEC-RAS and ARC-GIS. *Watershed Management Research Journal*. 29(3):41–56. <https://doi.org/10.22092/wmej.2016.112239>. (In Persian).



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Evaluation of Hydrological Response Extraction Models in Laboratory Watershed

Mohammad Mohammadi Hashemi¹, Bahram Saghafian^{*2}, Mahmoud Zakeri Niri³, Mohsen Najarchi⁴

1 and 4- Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

2- Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- Department of Civil Engineering, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran

Extended Abstract

Introduction and Objective

Given the application of hydrological response in a watershed, various methods have been used to determine this response and the results have shown a high degree of accuracy and accuracy variability depending on the data used. By reviewing and summarizing the results of research carried out in the modeling of rainfall-runoff, particularly the time-area method, it was found that in most of these studies, the concept of watershed time concentration was used, which in most of the formulas used, the physical properties of the watershed were used and the dependence of time concentration on rainfall conditions was not studied. Therefore, this study was conducted to evaluate these methods using the kinematic wave method in the GIS environment, the HEC-1 method, and optimization methods using genetic algorithms in a V-shaped experimental watershed.

Materials and Methods

Observational data available in the V-shaped experimental watershed of the University of Illinois was used for rainfall-runoff modeling. The studied watershed had an impermeable aluminum surface and two uniform side sheets with a one-sided slope towards the channel with a constant value of 1%. In addition, a central channel with a one-sided slope towards the outlet of the watershed with a constant value of 1% was present. The roughness coefficient in this watershed was determined based on trial and error at 0.014.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** b.saghafian@gmail.com

Citation: Mohammadi Hashemi, M., Saghafian, B., Zakeri Niri, M., Najarchi, M. 2023. Evaluation of hydrological response extraction models in laboratory watershed. Watershed Management Research. 36(3): 111-127.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360149.1490

Received: 28 September 2022, **Received in revised form:** 06 November 2022, **Accepted:** 21 December 2022,

Published online: 23 September 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.3, Ser. No: 140, Autumn 2023, pp. 111-127.

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



Results and Discussion

After preparing the time-area histogram of the watershed using each of the mentioned methods, the corresponding outflow hydrographs of the watershed were determined. Then, the results were compared with observational data, and various components of the computational hydrographs were also examined. The results showed that the performance of the genetic algorithm in determining the peak time of the hydrograph with a 15% relative error was better than the performance of the kinematic wave and HEC-1 models. Additionally, the genetic algorithm model had the highest correlation coefficient with observational hydrographs with an average Nash-Sutcliffe Index of 0.968 and an average correlation coefficient of 0.983. Furthermore, by fitting the curve to the modeling results, an equation was obtained to determine the equilibrium time of the watershed relative to rainfall intensity, with a determination coefficient of 0.999. This equation expresses the inverse relationship between equilibrium time and rainfall intensity (with a power of 0.33), i.e., doubling the rainfall intensity reduces the equilibrium time by 20%. Finally, the coefficient of the equation determining the equilibrium time for this watershed was found to be 495.2, and for each rainfall intensity, its corresponding equilibrium time can be calculated with high accuracy.

Conclusion and Suggestions

In this study, under experimental watershed conditions, rainfall-runoff modeling was performed with three categories of events and three categories of different rainfall durations, each event category having four different rainfall intensity sizes. Corresponding hydrographs were obtained for each event by examining the computational hydrographs and comparing them with observational hydrographs, and it was found that the three models had one to two percent relative error in determining the maximum runoff, but in determining the time to reach the hydrograph peak, the kinematic wave and HEC-1 models had an average error of 44%. Finally, using the correlation and Nash-Sutcliffe coefficients, it was determined that the computational hydrographs produced by the genetic algorithm method were closer to the observational hydrographs and had a higher degree of correlation. It is worth mentioning that in this experimental watershed, the dependence of equilibrium time on rainfall intensity in impermeable conditions was confirmed. It is recommended that the effect of infiltration or changes in surface roughness and the determination of the dependence size be investigated.

Keywords: Genetic algorithm, HEC-1 model, hydrological response, kinematic wave, optimization, V-shaped watershed



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مركز تحقيقات، آموزش و ترويج كشاورزي

مدل سازی ترکیبی فرسایش آبی و بادی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین

مهدی جلالی^۱، حمید غلامی^{۲*}، مرضیه رضایی^۳، ابراهیم امیدوار^۴

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه

هرمزگان، بندر عباس، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران

۴- استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

فرسایش خاک به وسیله آب و باد یکی از بزرگ‌ترین تهدیدهای زیست‌محیطی در سراسر جهان است که پیامدهای منفی پرشماری مانند نابودی خاک، کاهش حاصلخیزی خاک، تخلیه مواد مغذی و ریزمغذی‌ها، نابودی ساختمان خاک، طوفان‌های گرد و غبار، آلودگی هوا، سیل‌های شدن آبگیرهای سدها، و ... روی بوم‌سازگان انسانی و طبیعی دارد. بنابراین داشتن اطلاعات دقیق از حساسیت زمین‌ها به فرسایش آبی و بادی و تهیه نقشه‌های مکانی از فرسایش به منظور کاهش پیامدهای منفی آن لازم است. بنابراین، هدف از این پژوهش استفاده از دو مدل یادگیری ماشین به منظور مدل‌سازی مکانی هم‌زمان فرسایش آبی و بادی در آبخیز بختگان استان فارس است.

مواد و روش‌ها

به منظور تهیه نقشه مکانی خطر فرسایش آبی و بادی خاک، به ترتیب ۲۰ و ۱۶ عامل تأثیرگذار بر فرسایش آبی و بادی انتخاب شد. در مرحله قبل از مدل‌سازی از روش انتخاب ویژگی وایزای چندمتغیره اسپیلاین تطبیقی و تست هم‌خطی به منظور شناسایی مهمترین عامل‌های مهارکننده خطر فرسایش آبی و بادی استفاده شد. در مرحله بعد

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: جلالی، م، غلامی، ح، رضایی، م، امیدوار، ا. ۱۴۰۲. مدل‌سازی ترکیبی فرسایش آبی و بادی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۱۴۵-۱۲۸.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2022.358127.1458

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱. پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره ۳۶، شماره ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۰، پاییز ۱۴۰۲، صفحه‌های ۱۲۸ تا ۱۴۵.

© نویسندگان

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



از دو روش یادگیری ماشین جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان برای مدل سازی فرسایش استفاده شد. عملکرد مدل ها با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد ارزیابی شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج، متغیرهای کاربری زمین ها، شیب، سنگ شناسی، زبری سطح خاک، بخش درشت دانه های خاک، درصد رس، پوشش گیاهی، جهت شیب، وزن مخصوص خاک و شاخص رطوبت پستی بلندی به عنوان مهمترین عامل های مهارکننده فرسایش آبی شناسایی شدند. همچنین مهمترین عامل های مهارکننده فرسایش بادی عبارت بودند از: بلندی، کاربری زمین ها، سرعت باد، شیب، پوشش گیاهی، نیتروژن خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، سنگ شناسی، جهت شیب، درصد رس و وزن مخصوص خاک. اندازه های سطح زیر منحنی مشخصه عملکرد برای نقشه های فرسایش بادی تهیه شده به وسیله مدل جنگل تصادفی ۹۹٪ و برای نقشه های فرسایش آبی تهیه شده به وسیله مدل ماشین بردار پشتیبان ۹۶٪ بود. در نهایت دو نقشه فرسایش بادی و آبی تلفیق شد و نتایج نشان داد که بیشترین درصد مساحت مربوط به حساسیت کم در فرسایش آبی و حساسیت خیلی زیاد در فرسایش بادی است که ۱۸٪ از منطقه را دربر می گرفت.

نتیجه گیری و پیشنهادها

منطقه مطالعه شده به دلیل وجود چندین دریاچه شامل بختگان، مهارلو و تشک و همچنین چندین سد، از نظر تأمین منابع آب شرب، کشاورزی، صنعت و محیط زیست اهمیت زیادی دارد. در صورت توجه نداشتن به مشکل فرسایش به ویژه فرسایش بادی در منطقه مطالعه شده، این منطقه می تواند به ویژه در بستر دریاچه های خشکیده منبع تولید گرد و غبار باشد. بنابراین یافته های این پژوهش می تواند در راستای کاهش اثرات منفی این پدیده در منطقه مطالعه شده به وسیله مدیران اجرایی استان بهره برداری شود.

واژگان کلیدی: آبخیز بختگان، جنگل تصادفی، مدل ماشین بردار پشتیبان، مساحت زیر منحنی، وایازی چندمتغیره اسپیلاین تطبیقی

مقدمه

نامطلوب آن را می توان به صورت شن زارها و زمین های بیابانی مشاهده کرد. فرسایش بادی در تمام نقاط دنیا رخ می دهد و سبب خسارت می شود. در مقیاس جهانی اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی است. ولی گاهی ابعاد و بزرگی آن از فرسایش آبی بیشتر است. افزایش ۴۵٪ اندازه های فرسایش خاک در کشور در طی سال های ۱۳۳۰ تا ۱۳۷۸ نشانگر بحرانی بودن فرسایش و لزوم مهار کردن آن در ایران است. اما مهار کردن یا مبارزه با فرسایش آبی مستلزم شناخت مناطق بحرانی و سهم مشارکت هر یک از انواع فرسایش های آبی و بادی در نابودی زمین ها و تولید رسوب است. از این رو، بررسی این موضوع نیازمند انجام پژوهش های علمی گسترده ای در کشور است. پیش بینی و مدل سازی خطر فرسایش های آبی و بادی در آبخیزها کمک فراوانی برای مبارزه و پیشگیری از این پدیده خواهد بود. روش های تهیه نقشه های حساسیت به فرسایش را می توان به دو دسته اصلی تقسیم کرد: الف- نقشه برداری مستقیم، ب- روش های نقشه برداری غیرمستقیم (لوکا و همکاران ۲۰۱۱).

در حال حاضر نابودی و از بین رفتن خاک بر اثر بارش و عمل آب های روان و باد یکی از جدی ترین مشکلات زیست محیطی است (تالوکدار و همکاران ۲۰۲۲). اثرات فرسایش خاک و ته نشین رسوبات هم درون منطقه ای و هم برون منطقه ای است (رحمتی و همکاران ۲۰۱۳). در مناطق خشک و نیمه خشک با بارندگی های کم یا متغیر (مستعد خشکی) که با بادهای شدید دوره ای و تبخیر زیاد از سطح خاک می باشد، فرسایش خاک می تواند به عنوان یک مشکل بزرگ مطرح باشد (مینا و همکاران ۲۰۲۲). بیش از یک سوم زمین های کوهی زمین اقلیم خشک و نیمه خشک دارند و در دهه های اخیر پدیده بیابانزایی در این مناطق شدت یافته است (سنانایاک و همکاران ۲۰۲۲). بخش بزرگی از کشور ایران را نیز بیابان ها تشکیل می دهند که معمولاً خاک آن ها شور است و بدون پوشش گیاهی یا پوشش گیاهی خیلی کمی دارند (بردبار و همکاران ۲۰۲۲) همان طوری که در مناطق پرباران فرسایش آبی اهمیت دارد در مناطق خشک و نیمه خشک کشور نیز فرسایش بادی عامل اصلی فرسایش است و آثار

معیارهای MAE، RMSE و MBE استفاده کردند. درنهایت از نظریه‌ی بازی‌ها برای رتبه‌بندی عامل‌های مؤثر بر فرسایش بهره گرفتند.

آبخیز بختگان از مهم‌ترین آبخیزهای کشور و استان فارس است، که به‌دلیل دخالت‌های زیاد انسانی و خشک شدن دریاچه‌ی بختگان، تحت تأثیر فرسایش آبی و بادی است. اهمیت فرسایش در آبخیز بختگان به‌دلیل شرایط راهبردی منطقه، وسعت زمین‌های کشاورزی و وجود دریاچه‌های بختگان و طشک بارزتر می‌باشد (ده‌بزرگی و همکاران ۲۰۲۰). در منطقه‌ی مطالعه شده، به‌رغم گسترش زیاد فرسایش و حساسیت منطقه نسبت به حضور چنین مشکلی، و همچنین تغییراتی که در بخش‌های مختلف این منطقه پدید آمده است، تاکنون پژوهش کاملی برای ارزیابی ترکیبی فرسایش آبی و بادی و عامل‌هایی که موجب توسعه‌ی فرسایش آبی و بادی می‌شود، انجام نشده است. از این رو در این پژوهش، پهنه‌بندی هم‌زمان خطر فرسایش آبی و بادی در آبخیز بختگان با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین انجام شد. هم‌چنین در این پژوهش یک چارچوب عملی به منظور بررسی ظرفیت فرسایشی در منطقه‌ی مطالعه شده، با در نظر گرفتن تمام عامل‌های مؤثر بر فرسایش، ارائه شد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مطالعه شده

آبخیز بختگان با مساحت ۳۱۴۹۰ کیلومتر مربع در استان فارس میان ۵۱° ۴۲' تا ۵۱° ۳۱' طول شرقی و ۲۹° تا ۳۱° ۱۴' عرض شمالی است. آبخیز بختگان، به‌عنوان یکی از آبخیزهای مطالعاتی کشور، بخش وسیعی از مناطق شرقی، مرکزی، شمالی و شمال‌غربی استان فارس را تشکیل داده است. این آبخیز در راستای شمال غربی - جنوب شرقی و به موازات رشته کوه زاگرس گسترش یافته است. در شکل شماره ۱ موقعیت منطقه‌ی مطالعه شده در کشور و استان فارس نشان داده شده است.

روش‌های مستقیم به دانش فرد در پدیده‌ی بررسی شده و شناخت او از منطقه‌ی مطالعه شده بستگی دارد. اما روش‌های غیرمستقیم شامل روش‌های تعیینی و آماری هستند که براساس ارتباط بین عامل‌های محیطی و توزیع فرآیند بررسی شده می‌باشند (ون وستن و همکاران ۲۰۰۶). متداول‌ترین روش‌های استفاده شده برای تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی را می‌توان به پنج دسته تقسیم‌بندی کرد (کارارا و همکاران ۱۹۹۵، هاتچینسون ۱۹۹۵، وان وستن و همکاران ۲۰۰۶، گازتی و همکاران ۱۹۹۹، کانگو و همکاران ۲۰۰۹، صفایی و همکاران ۲۰۱۰): ۱- نقشه‌برداری مستقیم زمین‌ریخت‌شناسی^۱، ۲- تحلیل نقشه‌های پایش^۲، ۳- روش‌های ابتکاری^۳، ۴- روش‌های آماری^۴، ۵- روش‌های مبتنی بر فرآیند مدل‌سازی مفهومی^۵.

در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های یادگیری ماشین برای پهنه‌بندی فرسایش آبی و بادی و سایر مخاطره‌های محیطی متداول شده است (غلامی و همکاران، ۲۰۲۳؛ یروغنی و همکاران، ۲۰۲۱؛ غلامی و محمدی فر، ۲۰۲۲؛ رضایی و همکاران، ۲۰۲۳؛ محمدی فر و همکاران ۲۰۲۱؛ غلامی و همکاران ۲۰۲۱). پورنادر و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی عملکرد روش حداکثر آنتروپی (ME) در پیش‌بینی حساسیت به فرسایش در آبخیز در ایلام را بررسی کردند. آنها برای این منظور، ده عامل مؤثر بر فرسایش را در فرآیند مدل‌سازی به‌کار گرفتند. از نمودار ROC برای ارزیابی عملکرد مدل ME استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که روش حداکثر آنتروپی ابزاری مناسب برای تولید نقشه‌های حساسیت فرسایش است. غلامی و همکاران (۲۰۲۰) در استان خوزستان پهنه‌بندی مکانی منشأ ریزگردها را با استفاده از روش‌های مختلف یادگیری ماشین انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده‌ی قابلیت زیاد روش استفاده شده بود. در پژوهشی محمدی فر و همکاران (۲۰۲۱) در آبخیز کهورستان استان هرمزگان پهنه‌بندی خطر فرسایش آبی را با استفاده از روش‌های مختلف یادگیری ماشین انجام دادند. معیارهای ورودی آن‌ها ۱۸ عامل مؤثر بر فرسایش آبی بودند. برای انتخاب بهترین مدل از

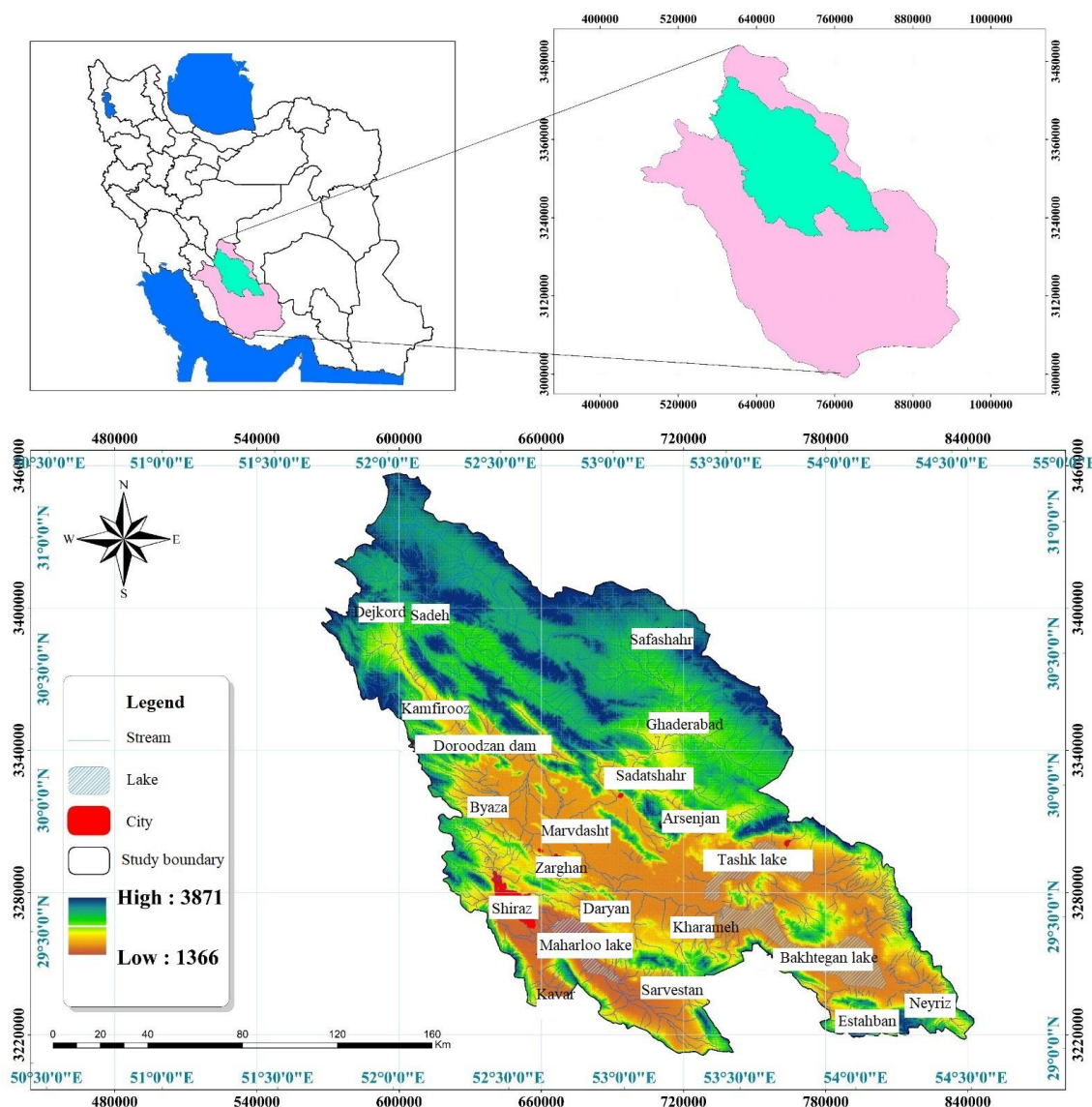
1 - Geomorphological mapping

2 - Heuristic (index-based)

3 - Analysis of inventories

4 - Statistical modeling

5 - Process based



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه شده.
Figure 1- Location of study area.

در سال است (نصرنیا ۲۰۱۷). مهم ترین رود این آبخیز، رود کر می باشد. رود کر دائمی است و از شمال غربی استان فارس و بلندی های سلسله جبال زاگرس منشعب می شود و تا جنوب شرقی ادامه دارد. طول آن ۲۸۰ کیلومتر است و به دریاچه بختگان می ریزد (وفاخواه ۲۰۰۵). پوشش گیاهی در آبخیز بختگان در ۴ رویشگاه مهم شامل کوهستانی، تپه ماهوری، دشتی- دامنه ای، دشتی- شوره زار- تالابی مشاهده می شود.

تعیین عامل های مؤثر بر فرسایش آبی و بادی

عامل های اقلیمی، خاکشناسی، پستی بلندی، پوشش گیاهی و ... از مجموعه عامل های مؤثر بر فرسایش آبی و بادی هستند (فرارسی ۱۹۹۰). برای مدل سازی مکانی فرسایش با مدل های یادگیری ماشین اولین گام تعیین و انتخاب عامل های مؤثر بر فرسایش است (محمدی فر و

شیب نسبی آبخیز از شمال غرب به جنوب شرق است. رودها و آبراه های آن به دو چاله ای اصلی منتهی می شوند. چاله ای اول، دریاچه های کم عمق بختگان و طشک در شرق آبخیز هستند که به وسیله ای تنگه ای با هم ارتباط دارند. مهم ترین منبع این دو دریاچه، رود کر است. چاله ای دوم، دریاچه میهارلو است که در جنوب آبخیز و در نزدیکی شیراز است و محل تخلیه ای آب های سطحی و زیرزمینی زیر آبخیز خود است. میانگین بلندی این آبخیز ۲۰۳۱ متر و میانگین بارش سالانه در این آبخیز حدود ۳۶۵ میلی متر می باشد. در منطقه ای کوهستانی بیشینه ای مطلق دما $39/5^{\circ}\text{C}$ و کمینه ای مطلق آن 22°C - و متوسط سالانه ای دما 14°C است. در محدوده ای پایین دست، بیشینه ای مطلق دما $38/6^{\circ}\text{C}$ و کمینه ای آن $4/7^{\circ}\text{C}$ - با متوسط سالانه ای دما 17°C است. اندازه ای تبخیر در سراسر آبخیز ۱۳۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی متر

همکاران (۲۰۲۱). بنابراین در این پژوهش ابتدا با بررسی منابع، عامل‌های تأثیرگذار بر فرسایش تعیین شد. نتایج این بررسی‌ها همراه با منبع استفاده شده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- عامل‌های تأثیرگذار در فرسایش آبی و بادی.

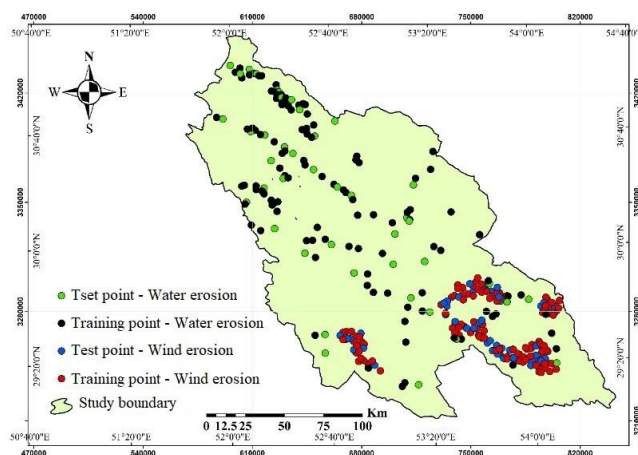
Table 1- Factors influencing on soil erosion by water and wind

Water erosion	Wind erosion	Data source and software
DEM, Elevation, Slope, Profile	Dem, Elevation, Slope, Aspect	https://earthexplorer.usgs.gov/ ArcGIS
Stream power index, Topographic wetness index, Roughness coefficient	Roughness coefficient	SAGA GIS
Clay, Silt, Sand, Bulk density, Coarse fragment, Organic carbon	Clay, Silt, Sand, Bulk density, Coarse fragment, Organic carbon, Cation exchange capacity, Nitrogen	https://soilgrids.org/
Soil moisture NDVI	Wind speed NDVI	https://cds.climate.copernicus.eu/ and https://earthexplorer.usgs.gov/
Lithology, Land use, Distance from river	Lithology, land use	Iran Watershed Management and Natural Resource Organization
Precipitation		https://worldclim.org/

تعیین نقاط فرسایشی

دومین ورودی به مدل‌های یادگیری ماشین در مدل‌سازی مکانی، نقاط فرسایشی است. در این پژوهش نقاط فرسایش بادی، با استفاده از نقشه‌ی کانون‌های ریزگرد مربوط به سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری و انجام بازدیدهای میدانی تعیین شد. نقاط فرسایش آبی با انجام بازدیدهای میدانی و مطالعه‌های پایه‌ی آبخیز بختگان

(مطالعه‌های انجام‌شده در دوره‌های مختلف به‌وسیله‌ی اداره‌ی منابع طبیعی استان فارس) تعیین شد. تعداد نقاط فرسایش بادی ۱۶۲ نقطه و تعداد نقاط فرسایش آبی ۱۵۵ نقطه تعیین شد. سپس به‌شکل تصادفی ۳۰٪ نقاط برای ارزیابی و ۷۰٪ نقاط برای آموزش مدل‌ها، انتخاب شد (رحمتی و همکاران ۲۰۱۶). در شکل ۲ نقاط فرسایشی نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه‌ی نقاط فرسایش بادی و آبی.

Figure 2- Map of water and wind erosion points.

انتخاب ویژگی

در مبحث یادگیری ماشین و همچنین شناسایی آماری الگو، انتخاب ویژگی، یکی از مسائل مطرح است. ویژگی‌ها تأثیر زیادی بر عملکرد، دقت و کارایی سامانه دارند. عملیات انتخاب ویژگی مهم‌ترین بخش عملیات

داده‌کاوی و مدل‌سازی هوشمند است (کورسا و رودنیکو ۲۰۱۰). چون، ویژگی‌های نامرتبط یا تا حدودی مرتبط می‌توانند تأثیر منفی بر عملکرد سامانه داشته باشند. پیاده‌سازی روش‌های انتخاب ویژگی اولین و مهم‌ترین مرحله در طراحی سامانه‌های هوشمند یادگیری هستند

هم‌خطی است (چن و همکاران ۲۰۱۷). در این پژوهش اندازه‌های عددی هر یک از سنجه‌ها در مناطق فرسایشی استخراج شد و سپس در محیط SPSS تست هم‌خطی محاسبه شد.

مدل‌سازی با روش‌های یادگیری ماشین

در این پژوهش مدل‌سازی با دو روش جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان انجام شد.

روش جنگل تصادفی^{۱۵} (RF)

این دستورالعمل را نخستین بار لئو برایمن و آدل کاتلر ارائه و توسعه دادند. دستورالعمل جنگل تصادفی مبتنی بر دسته‌ای از درخت‌های تصمیم است و هم‌اکنون یکی از بهترین دستورالعمل‌های یادگیری است. اساس مدل پیش‌بینی‌کننده‌ی RF بر پایه‌ی میانگین‌گیری از نتایج به‌دست آمده از تمامی درخت‌های تصمیم مربوط استوار است و طبقه‌بندی بسیاری از مجموعه داده‌ها با آن صحت زیادی دارد. درختان تصادفی با در نظر گرفتن بردار ورودی، آن را با هر درخت در جنگل طبقه‌بندی کرده و خروجی آن، برچسب‌های طبقه‌ای هستند که اکثریت امتیاز را کسب کرده‌اند. در این مدل از دو عامل میانگین کاهشی دقت و میانگین کاهشی جینی برای تعیین اولویت تأثیر هر یک از عامل‌های مؤثر استفاده می‌شود (نیکودموس ۲۰۱۱).

روش ماشین بردار پشتیبان^{۱۶} (SVM)

دستورالعمل SVM یا روش ماشین پشتیبان بردار به‌وسیله‌ی وپینک بر پایه‌ی نظریه‌ی یادگیری آماری است که از حداقل ریسک ساختاری تبعیت می‌کند و برای ارزیابی و آزمون مجموعه‌ای از داده‌ها استفاده می‌شود (یاو و همکاران ۲۰۰۸). براساس نظریه‌ی یادگیری آماری، می‌توان سرعت خطای ماشین یادگیری را برای داده‌های طبقه‌بندی نشده، به‌عنوان رشد سرعت خطای تعمیم‌یافته، در نظر گرفت. در سال‌های اخیر به‌دلیل عملکرد خوب طبقه‌بندی و قابلیت تعمیم مناسب این دستورالعمل، توجه زیادی به آن شده است.

(بریمن ۲۰۰۱). همچنین، وقتی که ابعاد فضای ویژگی داده‌ها بسیار زیاد است و معضل بعد وجود دارد، استفاده از مجموعه ویژگی‌های مناسب، هزینه‌های محاسبه‌ای لازم برای آموزش بهینه‌ی سامانه را بسیار کاهش می‌دهد (چتام‌ولی ۲۰۱۱). در این پژوهش از روش وایازی چند متغیره سازوار اسپلاین^۶ MARS برای انتخاب ویژگی استفاده شد. این روش ترکیبی از وایازی اسپلاین^۷، برازش مدل با روش گام به گام^۸ و افراز بازگشتی^۹ است (اندرسون ۱۹۸۴). این روش، هم در مسائل وایازی و هم در مسائل رده‌بندی به کار گرفته می‌شود؛ یعنی اگر متغیر پاسخ از نوع کمی باشد، مسئله‌ی وایازی و اگر از نوع کیفی باشد، مسئله‌ی رده‌بندی است. این روش هنگامی که تعداد متغیرهای توضیحی زیاد است، عملکرد خوبی دارد و در شناسایی اثرات متقابل به‌طور مؤثر عمل می‌کند (چو و همکاران ۲۰۰۴). روش MARS، به جای استفاده مستقیم از متغیرها، توابعی از آن‌ها را به‌منظور مدل‌سازی به کار می‌برد؛ این توابع را توابع پایه‌ای^{۱۰} می‌گویند. در این پژوهش این روش با پکیج Earth در نرم‌افزار R انجام شد. به این منظور در نقاط فرسایشی اندازه‌ی متغیرهای ورودی استخراج شد. در این روش برای انتخاب متغیرهای اصلی از سه معیار nsubsets (تعداد زیرمجموعه مدل)، GCV^{۱۱} و RSS^{۱۲} استفاده شد. بنابراین عامل‌هایی که در تعداد زیاد زیرمجموعه‌ها باشد به‌عنوان متغیر مهم انتخاب می‌شوند. معیار RSS برآورد کاهش مجموع مربعات باقی‌مانده برای هر زیرمجموعه در مقایسه با زیرمجموعه‌ی قبلی است. معیار GCV نیز مشابه‌ی مفهوم RSS است با این تفاوت که از اعتبارسنجی متقاطع تعمیم‌یافته استفاده می‌شود (محمدی‌فر و همکاران ۲۰۲۱).

تست هم‌خطی

در این پژوهش برای تعیین هم‌خطی از سنجه‌های ضریب تحمل^{۱۳} و عامل تورم واریانس^{۱۴} استفاده شده است. اگر اندازه‌ی ضریب تحمل کمتر از ۰/۱ باشد و اندازه‌ی عامل تورم واریانس بزرگ‌تر از ۱۰ باشد، رابطه‌ی بین سنجه‌ها

6 - Multivariate Adaptive Regression Spline

7 - Spline regression

8 - Stepwise model fitting

9 - Recursive partitioning

10 - Basis functions

11 - Generalized Cross Validation

12 - Residual Sum of Squares

13 - Tolerance

14 - Variance inflation factor

15 - Random forest

16 - Support vector machines

خوب، $0.08-0.07$ دقت خوب، $0.07-0.06$ دقت متوسط و $0.06-0.05$ دقت ضعیف (پسیل‌نکار ۲۰۰۵).
با توجه به این که برای ارزیابی مدل نمی‌توان از موقعیت نقاط فرسایشی استفاده کرد، از میان موقعیت نقاط فرسایشی، 70% برای اجرای مدل و 30% برای ارزیابی مدل استفاده شد (کنستانتین و همکاران ۲۰۱۱).

نتایج

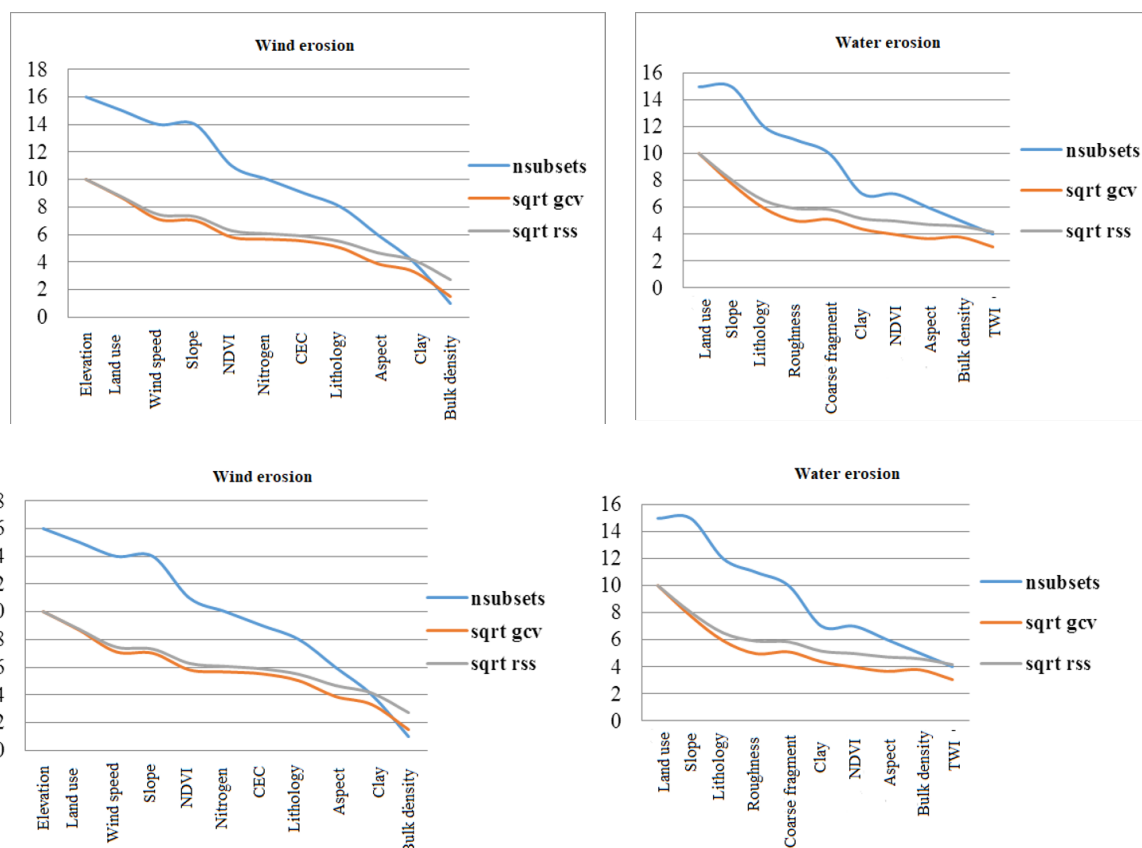
انتخاب ویژگی

متغیرهای انتخاب شده به‌وسیله‌ی MARS در شکل ۳ نشان داده شده است. در نمودار برای نمایش بهتر از معیار GCV و RSS جذر گرفته شده است. براساس نتایج، متغیرهای کاربری زمین‌ها، شیب، سنگ‌شناسی، زبری سطح خاک، بخش درشت دانه خاک، درصد رس، پوشش گیاهی، جهت شیب، وزن مخصوص خاک و شاخص رطوبت پستی‌بلندی به‌عنوان مهمترین عامل‌های مهارکننده‌ی فرسایش آبی شناسایی شدند. همچنین مهمترین عامل‌های مهارکننده‌ی فرسایش بادی عبارت بودند از: بلندی، کاربری زمین‌ها، سرعت باد، شیب، پوشش گیاهی، نیتروژن خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، سنگ‌شناسی، جهت شیب، درصد رس و وزن مخصوص خاک.

بعد از آماده‌سازی لایه‌ها و اطلاعات اولیه از 70% نقاط برای آموزش مدل‌ها استفاده شد و نقشه‌های حساسیت فرسایش آبی و بادی با روش جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان تهیه شد. شایان ذکر است که تمام مراحل مدل‌سازی در نرم‌افزار R و با استفاده از بسته‌ی Carot انجام شد. پس از مدل‌سازی نقشه‌های رستری تولید شده وارد نرم‌افزار ArcMap شده و با استفاده از دستور Jenks (Natural Breaks) یا شکست‌های طبیعی به ۴ طبقه‌ی خطر کم ($0-0.25$)، حساسیت متوسط ($0.25-0.5$)، حساسیت زیاد ($0.5-0.75$) و حساسیت خیلی زیاد ($0.75-1$) تقسیم‌بندی شد.

اعتبارسنجی شبیه‌سازی

به‌منظور ارزیابی مدل از مساحت زیرمنحنی (AUC) استفاده شد. در منحنی ویژگی عمل‌گر نسبی (ROC) قدرت پیش‌بینی مدل با استفاده از شاخص سطح سلول هسته^{۱۷} (SCAI) دقت تفکیک طبقه‌ها بررسی و تأیید شد. مساحت زیر منحنی، درصد نقاط فرسایشی که به‌درستی به‌وسیله‌ی مدل پیش‌بینی شده است در مقابل درصد نقاطی که به‌درستی پیش‌بینی نشده است رسم شد. رابطه‌ی کمی-کیفی بین AUC و دقت پیش‌بینی که دامنه‌ی 0.5 تا 1 را شامل می‌شود عبارت است از: $0.9-1$ دقت عالی، $0.8-0.9$ دقت خیلی

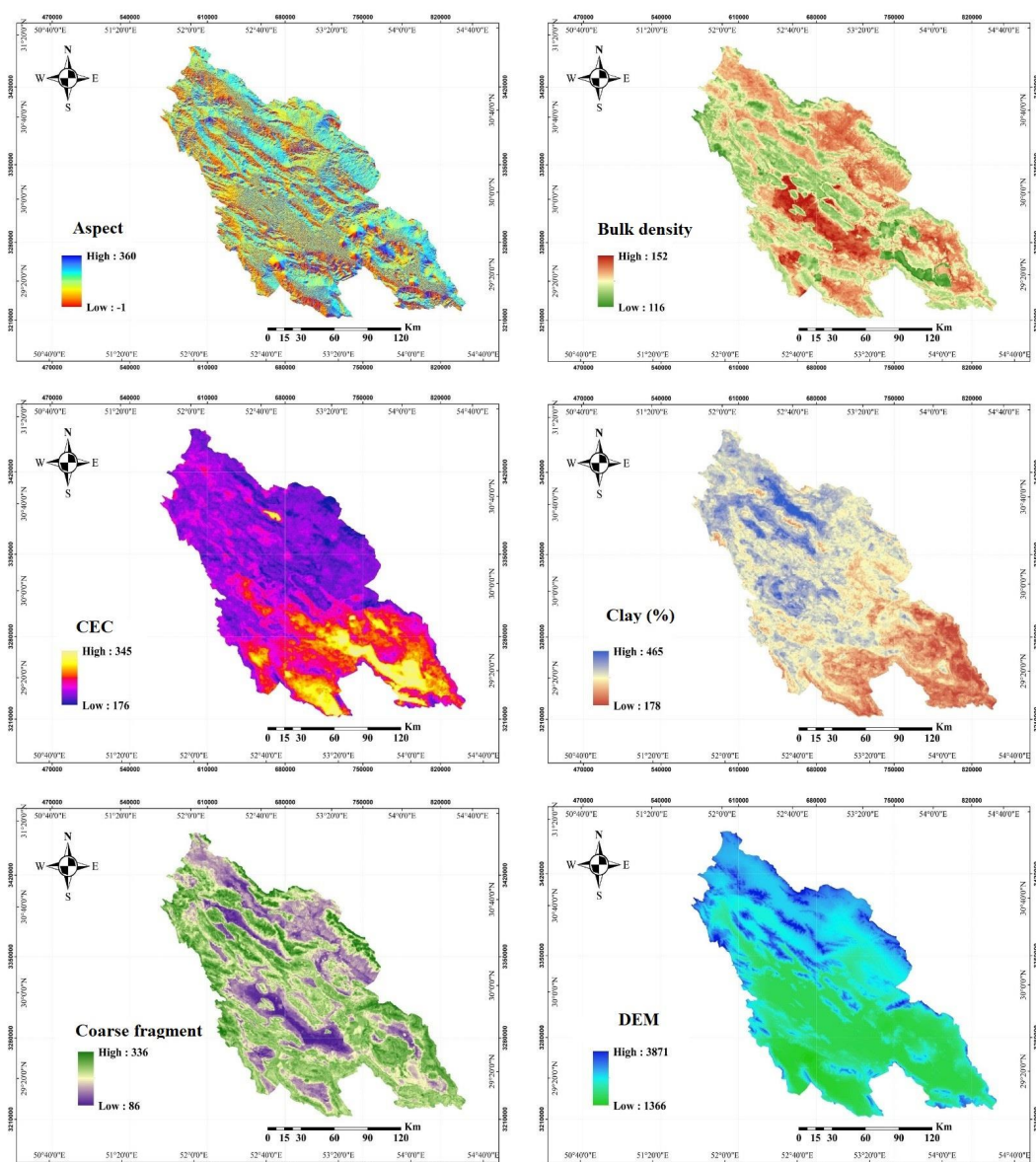


شکل ۳- متغیرهای انتخاب شده در فرسایش آبی و بادی.

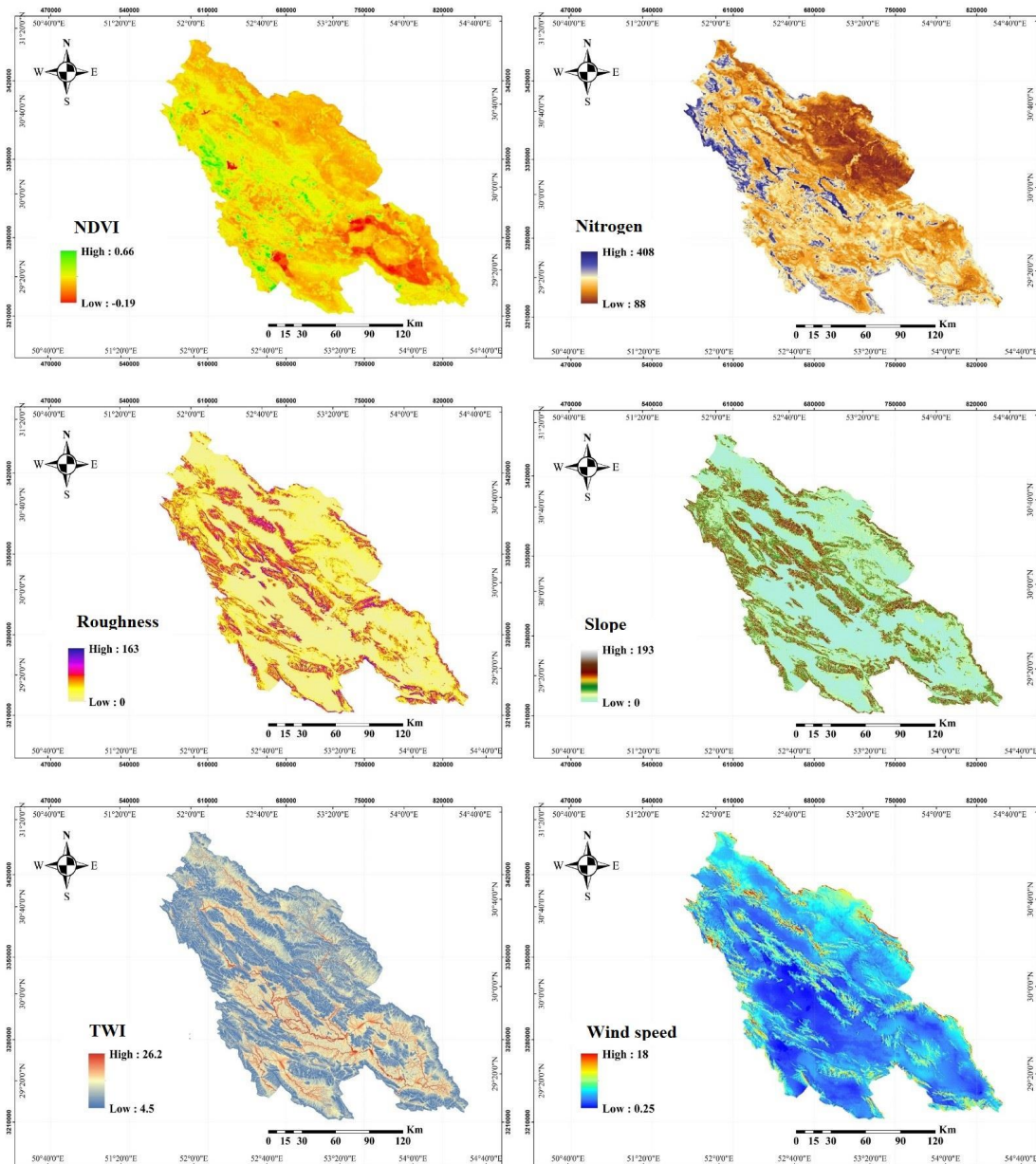
Figure 3- Feature selected for water and wind erosion.

(شکل ۳). نقشه‌های مربوط به این متغیرها در شکل ۴ نشان داده شده است.

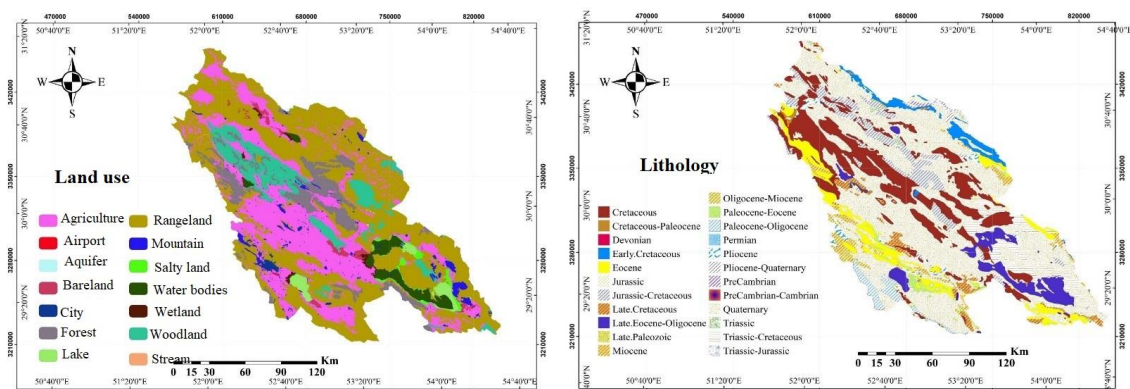
در این پژوهش برای فرسایش آبی ۱۰ متغیر و برای فرسایش بادی ۱۱ متغیر برای مدل‌سازی انتخاب شد



شکل ۴ (الف) - متغیرهای انتخاب شده در مدل‌سازی برای فرسایش آبی و بادی.
Figure 4 (a)- Features selected for modelling of water and wind erosion.



شکل ۵ (ب) - متغیرهای انتخاب شده در مدل سازی برای فرسایش آبی و بادی.
Figure 4 (b) - Features selected for modelling of water and wind erosion.



شکل ۶ (ج) - متغیرهای انتخاب شده در مدل سازی برای فرسایش آبی و بادی.
Figure 4 (c) - Features selected for modelling of water and wind erosion.

تست هم‌خطی
براساس نتایج این پژوهش، میان هیچ‌کدام از متغیرها ۲ و ۳ نشان داده شده است.
رابطه‌ی هم‌خطی نبود. نتایج تست هم‌خطی در جدول‌های

جدول ۲- نتایج تست هم‌خطی در فرسایش آبی.

Table 2- The results of multicollinearity test for water erosion.

Feature	Multicollinearity test	
	TC	VIF
TWI	0.371	2.689
Roughness	0.125	8.542
Slope	0.146	8.082
Clay	0.473	2.115
Coarse fragment	0.115	8.684
Aspect	0.983	1.017
Aspect	0.273	3.663
Land use	0.304	3.287
Lithology	0.566	1.767
NDVI	0.67	1.493

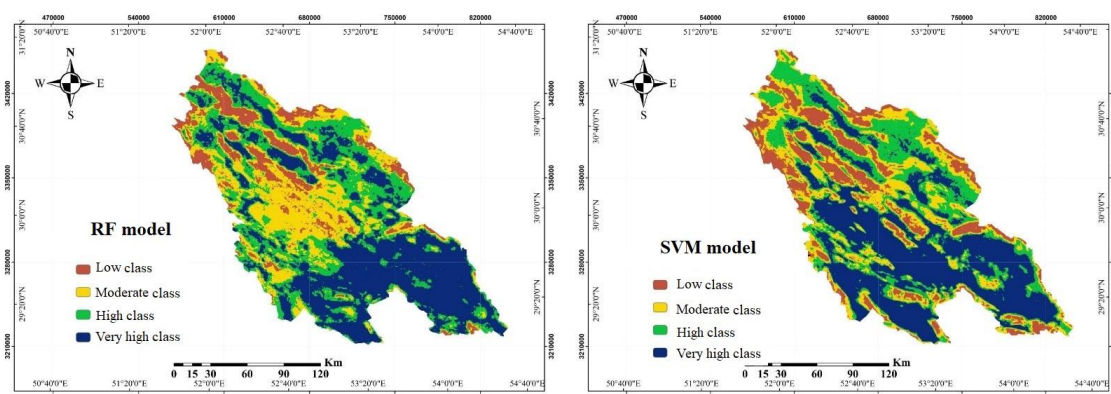
جدول ۳- نتایج تست هم‌خطی در فرسایش بادی.

Table 3- The results of multicollinearity test for wind erosion.

Feature	Multicollinearity	
	TC	VIF
Aspect	0.937	1.068
Bulk density	0.546	1.83
CEC	0.416	2.405
DEM	0.182	5.504
Land use	0.626	1.597
Lithology	0.678	1.475
NDVI	0.459	2.177
Slope	0.528	1.895
Clay	0.721	1.388
Nitrogen	0.649	1.541
Wind speed	0.226	4.428

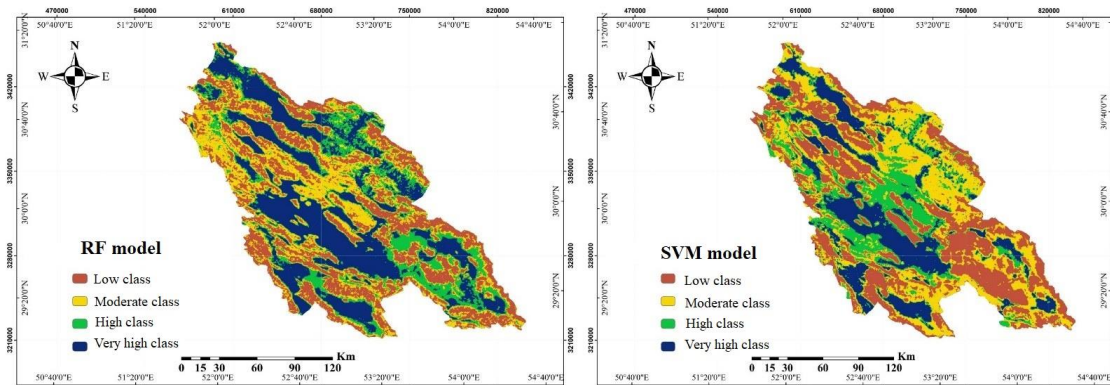
مدل‌های یادگیری در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

نقشه‌های فرسایش آبی و بادی
نقشه‌های فرسایش آبی و بادی تهیه شده به‌وسیله‌ی



شکل ۷- نقشه‌های حساسیت زمین‌ها به فرسایش بادی با مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان.

Figure 5- Maps of land susceptibility to wind erosion by RF and SVM models.



شکل ۸- نقشه‌های حساسیت زمین‌ها فرسایش آبی با مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان.
Figure 6: Maps of land susceptibility to water erosion by RF and SVM models.

مساحت و درصد مساحت طبقه‌های حساسیت به فرسایش در مدل‌های RF و SVM در جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴- مساحت و درصد مساحت طبقه‌های حساسیت به فرسایش بادی.

Table 4- Area and percent of land susceptibility classes to water erosion.

Susceptibility class	RF model		SVM model	
	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)
Low	292354.4	9.3	180233	5.729
Moderate	766298	24.6	592503.2	18.833
High	900721.6	28.6	903167.6	28.708
Very high	1186699	37.7	1470192.6	46.731

جدول ۵- مساحت و درصد مساحت طبقه‌های حساسیت به فرسایش بادی.

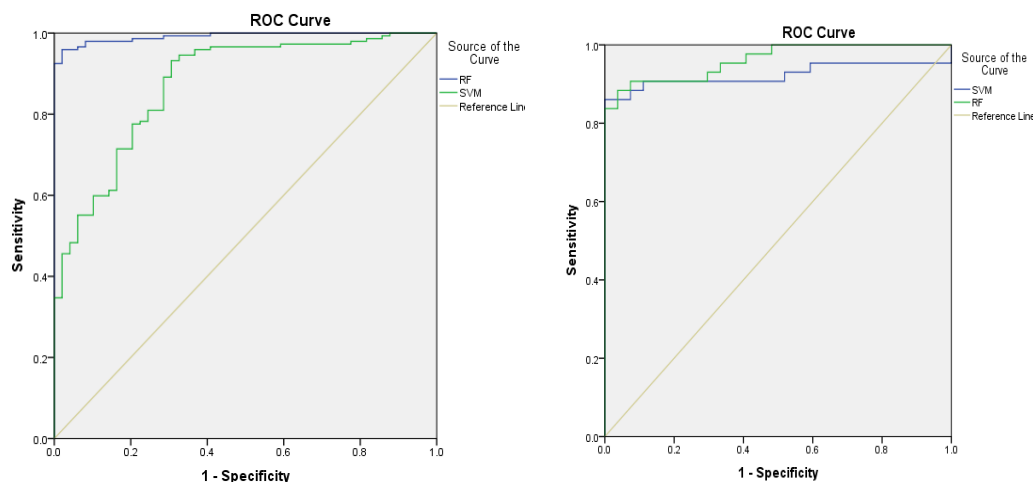
Table 5: Area and percent of land susceptibility classes to wind erosion.

Susceptibility class	RF model		SVM model	
	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)
Low	424463.5	13.5	1537995.3	48.9
Moderate	1240209.7	39.4	703912.4	22.4
High	571396	18.2	361622	11.5
Very high	910113	28.9	542859	17.25

شد و برای تهیه‌ی منحنی ROC به نرم‌افزار SPSS منتقل شدند. منحنی‌های ROC در شکل ۷ نشان داده شده است. همچنین مساحت زیرمنحنی (AUC) و سایر اطلاعات منحنی‌های ROC در جدول ۶ نشان داده شده است.

ارزیابی مدل‌های استفاده شده

پس از تهیه‌ی لایه‌های حساسیت با مدل‌های استفاده شده از ۳۰٪ نقاط برای اعتبارسنجی و ارزیابی استفاده شد. به این منظور نقاط اعتبارسنجی روی لایه‌های حساسیت فرسایش گذاشته شد و اندازه‌های ارزش هر لایه استخراج



شکل ۹- منحنی ROC در فرسایش بادی و آبی.

Figure 7- ROC for wind and water erosion.

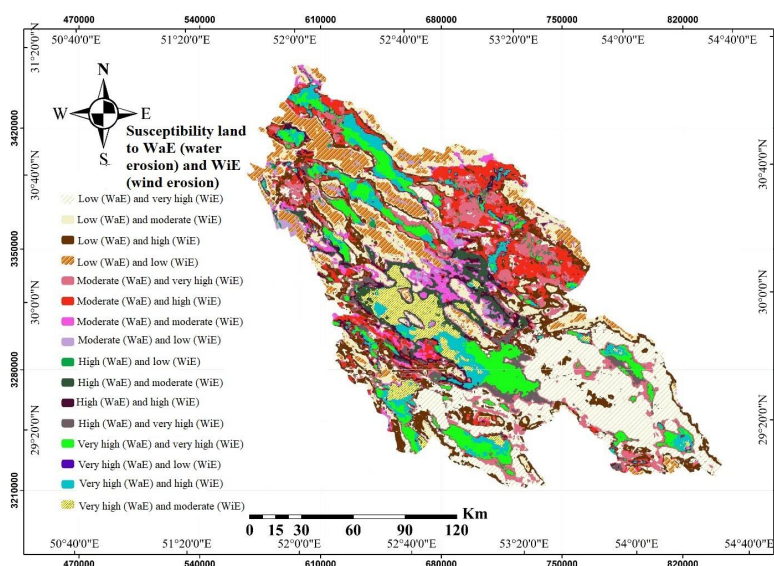
جدول ۶- اندازه‌های AUC مدل‌های استفاده شده برای به نقشه در آوردن فرسایش خاک.

Table 6: AUC values for models used to map soil erosion.

Model	AUC	SD	Sig level	Confidence level	
				Low level	Upper level
Wind erosion	RF model	0.992	0.004	0.983	1
	SVM model	0.874	0.028	0.818	0.929
Water erosion	RF model	0.923	0.037	0.852	0.995
	SVM model	0.961	0.02	0.922	1

تلفیق فرسایش بادی و آبی
بعد از مدل‌سازی و ارزیابی مدل‌های استفاده شده، در نهایت برای تهیه یک نقشه نهایی از ترکیب فرسایش آبی و بادی، نقشه‌ی مربوط به جنگل تصادفی در فرسایش بادی و نقشه‌ی مربوط به ماشین بردار پشتیبان در فرسایش آبی، با توجه به عملکرد بهتر با یکدیگر ترکیب شدند. نتایج نقشه‌ی نهایی در شکل ۸ نشان داده شده است.

براساس نتایج این پژوهش هر دو مدل استفاده شده عملکرد خوبی در مدل‌سازی مکانی فرسایش آبی و بادی داشتند و انتخاب مدل بهتر مشکل بود (جدول ۶). با این حال مدل جنگل تصادفی در فرسایش بادی و مدل ماشین بردار پشتیبان در فرسایش آبی با بیشترین AUC و کمترین اندازه‌ی انحراف معیار بهترین عملکرد را داشتند.



شکل ۱۰- نقشه‌ی ترکیبی فرسایش آبی و بادی.

Figure 8- Integrated map of soil erosion by water and wind.

مساحت طبقه های مربوط به نقشه ی ترکیبی در جدول ۷ نشان داده شده است. بیش ترین درصد مساحت مربوط به حساسیت کم در فرسایش آبی و حساسیت خیلی زیاد در فرسایش بادی بود که ۱۸٪ از مساحت کل منطقه بود.

جدول ۷- مساحت مربوط به طبقه های نقشه ترکیبی.

Table 7- Area of classes for integrated map of soil erosion.

Water erosion	Wind erosion	Area (ha)	Area (%)
low susceptibility	Low susceptibility	239619.3	7.62
low susceptibility	Moderate susceptibility	387525.3	12.32
low susceptibility	High susceptibility	343184.5	10.9
low susceptibility	Very high susceptibility	566112.3	18
Moderate susceptibility	Low susceptibility	45254	1.44
Moderate susceptibility	Moderate susceptibility	131702	4.2
Moderate susceptibility	High susceptibility	272468.1	8.67
Moderate susceptibility	Very high susceptibility	254240.1	8.1
High susceptibility	Low susceptibility	7107.5	0.23
High susceptibility	Moderate susceptibility	125403	4
High susceptibility	High susceptibility	105578.6	3.4
High susceptibility	Very high susceptibility	123483.6	3.9
Very high susceptibility	Low susceptibility	57	0.002
Very high susceptibility	Moderate susceptibility	121190.2	3.85
Very high susceptibility	High susceptibility	178956.2	5.7
Very high susceptibility	Very high susceptibility	242632.8	7.7

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش در آبخیز بختگان استان فارس ارزیابی کارایی دو روش جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان در تهیه ی نقشه ی حساسیت زمین ها نسبت به فرسایش آبی و بادی انجام شد. براساس نتایج ۷/۶، ۴/۲، ۳/۳ و ۷/۷٪ از کل آبخیز مطالعه شده، به ترتیب در طبقه های حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به خطر همزمان فرسایش آبی و بادی قرار گرفتند و بقیه ی آبخیز بختگان در سایر طبقه های خطر بودند. آبخیز بختگان به عنوان مهم ترین آبخیز استان فارس، در اثر تغییرات کاربری، تغییر اقلیم و فشار فزاینده انسان در معرض نابودی است و از نظر فرسایش بادی و فرسایش آبی شرایط حساسی دارد. در این پژوهش براساس نتایج انتخاب ویژگی MARS، سنگ شناسی به عنوان یکی از مهمترین عامل های مهار کننده ی فرسایش انتخاب شد و وجود سازندهای گروه فارس مانند گچساران، میشان و آغا جاری در این آبخیز همراه با دلیل های مزبور از علت های تشدید فرسایش آبی و بادی در این آبخیز بودند. با توجه به وسعت زیاد آبخیز و نبودن امکان اندازه گیری فرسایش به صورت مستقیم در سراسر آبخیز، استفاده از مدل سازی و به خصوص مدل های هوش مصنوعی به دلیل دقت، سادگی و نیاز کم به داده در اولویت می باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که هر دو روش استفاده شده به همراه روش های سنجش از دور و سامانه ی اطلاعات

جغرافیایی ابزار قوی به منظور ارزیابی حساسیت زمین ها نسبت به فرسایش می باشند. از نظر روش شناختی، علم داده (DS) یک زمینه ی پژوهشی در حال گسترش است. این ظرفیت برای درک بهتر فرآیندهای پیچیده محیطی بسیار پراهمیت است.

براساس نتایج این پژوهش مدل های یادگیری ماشین توانایی زیادی در مدل سازی فرسایش آبی و بادی داشتند که با نتایج بردبار و همکاران (۲۰۲۲)، سنانایاک و همکاران (۲۰۲۲) و محمدی فر و همکاران (۲۰۲۱) هم خوانی داشت. همچنین مدل جنگل تصادفی کارایی بسیار زیادی در مدل سازی مکانی داشت که با نتایج محمدی فر و همکاران (۲۰۲۱) هم راستا است. افزون بر این نتایج این پژوهش نشان داد که تلفیق خطر فرسایش بادی و آبی به وسیله ی مدل های یادگیری ماشین کمک زیادی به شناخت ظرفیت فرسایشی منطقه است که با نتایج بردبار و همکاران (۲۰۲۲) هم راستا است. نتایج این پژوهش می تواند به عنوان اطلاعات پایه به وسیله ی برنامه ریزان و مسئولان محلی به منظور ارزیابی، برنامه ریزی، مدیریت پایدار و حفاظت از منابع خاکی آبخیز بختگان در آینده استفاده شود. با توجه به هزینه بر بودن و زمان بر بودن آزمایش های خاک و نیز بازدیدهای میدانی، تهیه ی نقشه ی ظرفیت فرسایشی با استفاده از روش به کار گرفته شده در این پژوهش، در مناطق دیگر پیشنهاد می شود.

فهرست منابع

- Anderson TW, Anderson TW, Anderson TW, Anderson TW. 1958. An introduction to multivariate statistical analysis. New York: Wiley. pp. 1468-1482.
- Bordbar M, Aghamohammadi H, Pourghasemi HR, Azizi Z. 2022. Multi-hazard spatial modeling via ensembles of machine learning and meta-heuristic techniques. Scientific Reports. 12(1): 1451.
- Breiman L. 2001. Random forests. Machine learning. 45: 5-32.
- Boroughani M, Pourhashemi S, Gholami H, Kaskaoutis DG. 2021. Predicting of dust storm source by combining remote sensing, statistic-based predictive models and game theory in the Sistan Watershed, southwestern Asia. Journal of Arid Land. 13(11): 1103-1121.
- Carrara A, Cardinali M, Guzzetti F, Reichenbach P. 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. In geographical information systems in assessing natural hazards, Dordrecht: Springer Netherlands. pp. 135-175.
- Mirhashemi SH, Haghighat Jou P, Mirzaei F, Panahi M. 2020. The study of environmental and human factors affecting aquifer depth changes using tree algorithm. International Journal of Environmental Science and Technology. 17: 1825-1834.
- Chen W, Pourghasemi HR, Naghibi SA. 2018. Prioritization of landslide conditioning factors and its spatial modeling in Shangnan County, China using GIS-based data mining algorithms. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 77: 611-629.
- Chou SM, Lee TS, Shao YE, Chen IF. 2004. Mining the breast cancer pattern using artificial neural networks and multivariate adaptive regression splines. Expert Systems With Applications. 27(1): 133-142.
- Constantin M, Bednarik M, Jurchescu MC, Vlaicu M. 2011. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). Environmental Earth Sciences. 63: 397-406.
- Dehbozorgi M, Jafari M, Malekian A, Zehtabian G, Fallah Shamsi SR. 2020. Assessment the instability and land degradation using fuzzy methods, hierarchical analysis and weighted linear combination (Case study: Bakhtegan Watershed, Fars). Journal of Range and Watershed Management. 73(2): 321-335.
- Ferraresi M. 1989. The regionalization of fluvial sediment yield in Emilia-Romagna (northern Italy). IAHS-AISH publication. 191: 253-260.
- Gholami H, Mohamadifar A, Collins AL. (2020). Spatial mapping of the provenance of storm dust: Application of data mining and ensemble modelling. Atmospheric Research. 233: 104716.
- Gholami H, Mohammadifar A, Golzari S, Kaskaoutis DG, Collins AL. 2021. Using the Boruta algorithm and deep learning models for mapping land susceptibility to atmospheric dust emissions in Iran. Aeolian Research. 50: 100682.
- Gholami H, Mohammadifar A, Fitzsimmons KE, Li Y, Kaskaoutis DG. 2023. Modeling land susceptibility to wind erosion hazards using LASSO regression and graph convolutional networks. Frontiers in Environmental Science. 11: 1187658.
- Gholami H, Mohammadifar A. 2022. Novel deep learning hybrid models (CNN-GRU and DDL-RF) for the susceptibility classification of dust sources in the Middle East: A global source. Scientific Reports. 12(1): 19342.
- Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M, Reichenbach P. 1999. Landslide hazard evaluation:

- A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*. 31(1-4): 181-216.
- Kanungo DP, Arora MK, Sarkar S, Gupta RP. 2012. Landslide susceptibility zonation (LSZ) mapping—a review.
- Kursa MB, Rudnicki WR. 2010. Feature selection with the Boruta package. *Journal of Statistical Software*. 36: 1-13.
- Lucà F, Conforti M, Robustelli G. 2011. Comparison of GIS-based gully susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy. *Geomorphology*. 134(3-4): 297-308.
- Mina M, Rezaei M, Sameni A, Ostovari Y, Ritsema C. 2022. Predicting wind erosion rate using portable wind tunnel combined with machine learning algorithms in calcareous soils, southern Iran. *Journal of Environmental Management*. 304: 114171.
- Mohammadifar A, Gholami H, Comino JR, Collins AL. 2021. Assessment of the interpretability of data mining for the spatial modelling of water erosion using game theory. *Catena*. 200: 105178.
- Nasrnia F, Zibaei M. 2017. Determination farmers' vulnerability patterns to drought in Iran: case study of Bakhtegan Basin. *Agricultural Economics Research*. 9(34): 1-37.
- Nicodemus KK. 2011. On the stability and ranking of predictors from random forest variable importance measures. *Briefings in Bioinformatics*. 12(4): 369-373.
- Pournader M, Ahmadi H, Feiznia S, Karimi H, Peirovan HR. 2018. Spatial prediction of soil erosion susceptibility: an evaluation of the maximum entropy model. *Earth Science Informatics*. 11: 389-401.
- Rahmati O, Pourghasemi HR, Melesse AM. 2016. Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: a case study at Mehran Region, Iran. *Catena*. 137: 360-372.
- Rezaei M, Mohammadifar A, Gholami H, Mina M, Riksen MJ, Ritsema C. 2023. Mapping of the wind erodible fraction of soil by bidirectional gated recurrent unit (BiGRU) and bidirectional recurrent neural network (BiRNN) deep learning models. *Catena*. 223: 106953.
- Safaei M, Omar H, Yousof ZB, Ghiasi V. 2010. Applying geospatial technology to landslide susceptibility assessment. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 15(G): 677-696.
- Senanayake S, Pradhan B. 2022. Predicting soil erosion susceptibility associated with climate change scenarios in the Central Highlands of Sri Lanka. *Journal of Environmental Management*. 308: 114589.
- Talukdar S, Naikoo MW, Mallick J, Praveen B, Sharma P, Islam AR. MT., ... Rahman A. 2022. Coupling geographic information system integrated fuzzy logic-analytical hierarchy process with global and machine learning based sensitivity analysis for agricultural suitability mapping. *Agricultural Systems*. 196: 103343.
- Vafakhah M, Rajabi M. 2005. Efficiency of meteorological drought Indices for monitoring and assessment of drought in Bakhtegan, Tashk, and Maharlo Lakes Watershed.
- Van Westen CJ, Van Asch TW, Soeters R. 2006. Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 65: 167-184.
- Yao X, Tham LG, Dai FC. 2008. Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: A case study on natural slopes of Hong Kong, China. *Geomorphology*. 101(4): 572-582.
- Yesilnacar EK. 2005)–The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. University of Melbourne, Department. 200 p.



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Integrated Modeling of Soil Erosion by Water and Wind Using Machine Learning Methods

Mehdi Jalali¹, Hamid Gholami², Marzieh Rezaie³, Ebrahim Omidvar⁴

1-Ph.D. Student, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resource Engineering,
University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Iran

2- Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resource
Engineering, University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Iran

3- Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resource Engineering,
University of Hormozgan, Bandar-Abbas, Iran

4- Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran

Extended Abstract

Introduction and objective

Soil erosion by water and wind is one of the biggest environmental threats worldwide which it has various negative consequences such as soil degradation, mitigation of soil fertility, depletion of nutrients and micro-elements, degradation of soil structure, dust storms, reservoir siltation, and etc. on the natural and anthropogenic ecosystems. Therefore, accurate information of land susceptibility to soil erosion hazard by water and wind, and production of spatial maps of these hazards are necessary for mitigation of their consequences. Therefore, the goal of this research is application of two machine learning models for the spatial modelling of water and wind erosion in the Bakhtegan basin, Fars province.

Materials and methods

In order to generate the spatial maps of soil erosion by water and wind, we have used 20 and 16

Article Type: Research Article

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

Citation: Jalali, M., Gholami, H., Rezaie, M., Omidvar, E. 2023. Integrated modeling of erosion by water and wind using machine learning methods. *Watershed Management Research*. 36(3): 128-145.

DOI:10.22092/WMRJ.2022.358127.1458

Received: 11 April 2022, **Received in revised form:** 16 August 2022, **Accepted:** 21 September 2022,

Published online: 23 September 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.3, Ser. No: 140, Autumn 2023, pp.128-145.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)



effective factors on water and wind erosion, respectively. Before the modelling stage, the multivariate adaptive regression spline (MARS) feature selection algorithm and multicollinearity test were used to identify the most important factors controlling water and wind erosion. In next stage, two random forest and support vector learning machine techniques were applied to model soil erosion. Area under curve (AUC) was applied to assess the model performance.

Result and discussion

According to results, land use, slope, lithology, roughness, coarse fragment, clay, vegetation cover, aspect, soil bulk density and topographic wetness index were identified as the most important factors controlling water erosion. The most important factors controlling wind erosion are including elevation, land use, wind speed, slope, vegetation cover, soil nitrogen, cation exchange capacity, lithology, aspect, clay and bulk density. The AUC value for wind erosion map generated by random forest model was 99, and for water erosion map produced by support vector machine is 96. Finally, we integrated two maps and results indicate an area of study area about 18% has very high susceptibility to wind erosion and low susceptibility to water erosion.

Conclusion and suggestions

Due to study area has several lakes consisting of Bakhtegan, Maharlo and Tashk, and also several dams, it is so important to supply water for different purposes such as drinking, agricultural, industry and environment. In case of not paying attention to this challenge especially wind erosion in the study area, this case study especially dried beds for lakes can play as sources for generating dust particles. Therefore, the findings of this research can use by managers to mitigate negative effects of this phenomena.

Key Words: Area under curve (AUC), Bakhtegan basin, multivariate adaptive regression spline (MARS), random forest (RF), support vector machine (SVM) model

نام‌های داورانی که در این شماره با نشریه همکاری کردند:
(به ترتیب حروف الفبا)

پاک‌پرور، مجتبی
پرویزی، یحیی
چوبین، بهرام
حبیبیان، سید محمدرضا
حزباوی، زینب
حق‌آبی، امیرحمزه
خسروی، حسن
خلیلی، داور
دسترنج، علی
دستورانی، محمد تقی
رستمی‌زاد، قباد
رستمی‌خلج، محمد
روستا، محمد جواد
زارع، محمد
سلیمان‌پور، سید مسعود
صالح‌پور جم، امین
صوفی، مجید
عرفانی‌فرد، سید یوسف
قرمزچشمه، باقر
کاویان، عطاالله
کوثر، سید آهنگ
مصطفی‌زاده، رئوف
مصلحی، مریم

راهنمای نگارش مقاله برای نشریه‌ی پژوهش‌های آبخیزداری

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.

تذکر مهم:

توصیه می شود در وارد کردن ترتیب و جایگاه نویسنده (نویسندگان) دقت زیادی به کار برده شود. در هیچ حالتی به جز موانع قانونی، امکان جابه جایی (حذف یا اضافه شدن نویسنده، تغییر یا جابه جایی نویسنده‌ی مسئول، یا تغییر در خود مقاله) پس از ثبت اولیه در تارنمای نشریه نیست، و پس از پذیرفته شدن، مقاله با مشخصه‌هایی که در تارنما ثبت شده است چاپ خواهد شد.

ساختار مقاله‌ها

۱- نام و نام خانوادگی، عنوان (جایگاه) سازمانی، نشانی، شماره‌ی تلفن و ریانامه‌ی 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 پیشنهادهای 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 سانتی‌متر، حاشیه‌ی بالا و پایین ۲ سانتی‌متر
فاصله‌ی سطرها: تک‌فاصله (Single)

قلم ها:

متن فارسی اصل و چکیده‌ی مقاله: ۱۲ B Nazanin
عنوان فارسی مقاله: ۱۵ B Nazanin Bold (وسط‌چین)
عنوان انگلیسی مقاله: ۱۴ Times New Roman Bold
(وسط‌چین)
نام‌های نویسندگان در فارسی: ۱۱ B Nazanin Bold
(وسط‌چین)

گستره‌ی مقاله‌ها

- 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 (بیشینه تا ۱۵ صفحه‌ی A۴).
- ۲- گزارش فنی به زبان فارسی (بیشینه 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 آن را با دستور کار گفته‌شده تنظیم کنید.

شماره حساب: ۴۰۰۱۰۳۸۲۰۳۰۱۴۱۲۲ با شناسه‌ی واریز:
۳۹۳۰۳۸۲۵۸۱۴۰۱۰۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ و شماره‌ی
شبا: IR۰۳۰۱۰۰۰۰۴۰۰۱۰۳۸۲۰۳۰۱۴۱۲۲ به نام: درآمد
اختصاصی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، نزد
بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (قابل پرداخت در همه‌ی
بانک‌ها)

عنوان انگلیسی، چکیده انگلیسی، واژه‌های کلیدی انگلیسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها، کاربردی، سپاس‌گزاری (اختیاری)، و منابع.

چکیده

خلاصه‌ی 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

نام‌های نویسندگان در انگلیسی: Times New Roman ۱۰ (وسط‌چین)

واژه‌های کلیدی فارسی: B Nazanin ۱۱

متن چکیده انگلیسی: Times New Roman ۱۱

واژه‌های کلیدی انگلیسی: Times New Roman ۱۰

عنوان بخش‌های مختلف مقاله: B Nazanin Bold ۱۲

کلمه Abstract و Keywords در چکیده انگلیسی: Times

۱۱ New Roman Bold

عنوان جدول‌ها و شکل‌ها: B Nazanin Bold ۱۱ (وسط‌چین)

واژه‌ها و عددهای درون جدول‌ها و شکل‌ها: B Nazanin ۱۰

منابع: Times New Roman ۱۰

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 به کار 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،

(ایشان) را یاری کرده اند تشکر و قدردانی نمایند.

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 می شود، 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.

ارجاع در متن:

روش این نشریه بر اساس توصیه های شورای ویراستاران علمی (سی اس ای)،

(<http://www.councilscienceeditors.org>)

در ویراست هفتم کتاب مرجع آنان به نام روش و قالب علمی: دستور کار سی اس ای برای نویسندگان، ویراستاران و ناشران (۲۰۰۶) و با انتخاب روش نام-سال سی اس ای 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 فاصله ی خالی بگذارید، اما ویرگول نگذارید:

تازه ترین پژوهش بر شدت بارندگی در این منطقه (سیپیون، ۲۰۱۵) نشان می دهد 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 نویسنده ی 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 تاریخ ها را به ترتیب زمانی بیاورید. برای جدا کردن تاریخ ها یک ویرگول و یک فاصله بگذارید:

وایل (۱۹۷۸، ۱۹۸۰، ۱۹۸۳) مدل های مختلف بر آورد 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 آن ها) استفاده کنید. این ترتیب را هنگام فهرست کردن آن ها 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. اندازه های دقیق مصرف آب در ایالت های مختلف به تازگی منتشر شده است (خدمات ملی آمار کشاورزی، ۲۰۰۰).

اگر نام این سازمان ها بسیار طولانی است، یا باید بارها در نوشتار به آن ها ارجاع دهید، می توانید کوتاه شده ی نام اصلی آن ها را بنویسید:

اندازه های دقیق مصرف آب در ایالت های مختلف به تازگی منتشر شده است (یو اس دی ای، ۲۰۰۰).

در فهرست منابع نیز نخست واژه ی کوتاه شده و سپس نام کامل را بیاورید

USDA-National Agricultural Statistics Service. 2000.

تذکرات مهم

همه ی منابع مورد استفاده در متن مقاله (فارسی و انگلیسی) باید با الفبای انگلیسی و با دستور کار نشریه آورده شود:

۱. پس از نام خانوادگی تنها حرف اول نام کوچک نویسنده ها می آید و این حرف ها با نقطه یا فاصله از هم جدا نمی شود. حرف اول تنها در اولین واژه ی عنوان مقاله با حروف بزرگ نوشته می شود.

۲. پس از نام نویسنده سال انتشار می آید. سپس یک نقطه، عنوان مقاله، نام مجله، یک نقطه، شماره ی مجلد نشریه، شماره ی انتشار در داخل دو کمان ()، یک نشانه ی دونقطه (:)، و صفحه های مقاله آورده می شود. برای نوشتن شماره ی صفحه، همه ی شماره ها را بیاورید: (۱۰۴۵-۱۰۳۷، نه ۴۵-۱۰۳۷). برای فاصله ی میان دو شماره ی صفحه از فاصله ی متوسط (خط ان) - به جای خط تیره - استفاده کنید (نادرست: ۲۳۵-۲۵۰، درست: ۲۳۵-۲۵۰).

نمونه هایی 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.

Marburg, F.R.G., pp. 121–126.

صفحه اینترنتی

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)

مقاله فارسی دارای چکیده انگلیسی

Naderi N, MohseniSaravi M, Malekian A, Ghasemian D. 2011. Analytical Hierarchy Process technique for deciding watersheds. 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.