

- استفاده از مدل CORINE در ارزیابی کیفی خطر فرسایش خاک آبخیز قرناوه استان گلستان
 سید پدram نی‌نوا، مائده پریچهره، حبیب نظرنژاد ۲
- بررسی تغییرات زمانی سطح دریاچه مه‌ارلو با استفاده از تصاویرهای ماهواره و عامل‌های مؤثر بر آن
 ساره عاجی، شهره دیداری ۱۹
- شناسایی و پایش منابع گرد و غبار و ماسه‌های روان در مناطق جلغا و شوش قوم و گیلدیر، استان آذربایجان شرقی
 هوشنگ بهروان، جمشید یاراحمدی، حمیدرضا عباسی ۳۵
- بررسی تغییرپذیری ماهانه فرسایش خاک در آبخیز معرف کسلیان با استفاده از مدل RUSLE
 فاطمه سارونه، عبدالواحد خالدی‌درویشان، وحید موسوی ۵۴
- پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی تحت تغییر اقلیم در آبخیز سد میناب
 فاطمه پورحق‌وردی، ام‌البنین بذرافشان، حمید غلامی، مرضیه شکاری، حسین زمانی ۷۶
- مدل‌سازی تغییرات مکانی- زمانی تبخیر با استفاده از داده‌های تشتک تبخیر کلاس A (پیشنهاد رویکردی نوین
 به‌منظور استفاده در مدل‌های پویایی و توزیعی بارش- رواناب)
 امیرحسین پارسامهر، علی سلاجقه، شهرام خلیقی‌سیگارودی، خالد احمدآلی ۹۴
- تحلیل شبکه اجتماعی کنشگران محلی در مدیریت مشارکتی منابع آب و خاک در روستاهای قلعه سید مقیم و
 خائیز بهبهان
 بهزاد متشفع، محمد جوانمرد، ساره هاشم‌گلوگردی ۱۱۱
- تأثیر افزودنی ماده معدنی بنتونیت بر پایداری خاک‌دانه‌های سطحی
 زینب براری‌شهیدانی، لیلا غلامی، عطااله کاویان ۱۲۸



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی

استفاده از مدل CORINE در ارزیابی کیفی خطر فرسایش خاک آبخیز قربانوه استان گلستان

سید پدرام نی‌نیوا^{۱*}، مائده پریچهره^۲، حبیب نظر نژاد^۳

- ۱ - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۲ - دکتری علوم خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۳ - دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

فرسایش خاک یکی از تهدیدها و مخاطره‌های زیست‌محیطی مناطق نیمه‌خشک و خشک است و سالانه موجب کاهش کیفیت و یا از بین رفتن حجم زیادی از خاک‌های حاصل‌خیز در سراسر دنیا می‌شود و بر مسائل زیست‌محیطی، کشاورزی و امنیت غذایی تأثیرگذار است. رشد و توسعه فعالیت‌های انسانی همراه با تغییر کاربری زمین‌ها و نابودی منابع از جمله عامل‌های مؤثر بر شدت فرسایش است. در سال‌های اخیر فرسایش خاک در ایران به دلیل نابودی منابع طبیعی تشدید شده است و تغییر کاربری زمین‌ها نقش به‌سزایی در این روند داشته است؛ بنابراین شناسایی مناطق مستعد فرسایش و تولید رسوب در آبخیزهای داخلی ایران که هر ساله منجر به ازدست‌رفتن هزاران تن خاک حاصل‌خیز می‌شود، ضرورتی است که نیاز به ارزیابی دقیق و تعیین فعالیت‌های مهندسی قابل‌انطباق با شرایط آنان را دارد. از این رو، هدف این پژوهش توصیف توزیع مکانی خطر فرسایش خاک در آبخیز قربانوه استان گلستان با استفاده از مدل CORINE همگام با سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور بود. نتایج ارزیابی به‌دست آمده از این پژوهش می‌تواند در اولویت‌بندی مناطق بحرانی برای تصمیم‌های مدیریتی و انجام اقدام‌های مناسب در پیشگیری از فرسایش خاک استفاده شود.

مواد و روش‌ها

مدل CORINE، برای برآورد و ارزیابی خطر فرسایش خاک استفاده می‌شود. این مدل، برای محاسبه فرسایش واقعی خاک به عامل‌های فرسایش‌پذیری، فرساینده‌گی، شیب و پوشش گیاهی یا کاربری زمین نیازمند است. به این منظور بر اساس شاخص

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Pedram.nainava@gmail.com

استناد: نی‌نیوا، س.پ.، پریچهره، م.، نظر نژاد، ح. ۱۴۰۳. استفاده از مدل CORINE در ارزیابی کیفی خطر فرسایش خاک آبخیز قربانوه استان گلستان. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۳): ۱۸-۲.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.364047.1553

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۴، پاییز ۱۴۰۳، صفحه‌های ۲ تا ۱۸.

© نویسنده‌گان

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



فورنیه و شاخص خشکی، فرساینده‌ی منطقه پژوهشی محاسبه شد. همچنین، فرسایش‌پذیری خاک نیز براساس بافت، اندازه سنگ‌ریزه و ژرفا برآورد شد. سپس، نقشه‌های فرساینده‌ی و فرسایش‌پذیری با نقشه‌ی ظرفیت فرسایش به‌دست آمده از شیب منطقه و تراکم پوشش گیاهی تلفیق شد. سرانجام نقشه‌ی خطر فرسایش واقعی خاک در منطقه پژوهشی به‌دست آمد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که وضعیت واقعی فرسایش در ۳/۸۲ و ۹۶/۱۷٪ از مساحت کل آبخیز قرقان به‌ترتیب کم‌خطر و با خطر متوسط بود و مناطق کم‌خطر فرسایش بیشتر در شرق آبخیز بودند. نتایج این پژوهش بر اساس عامل‌های مدل کورین بیانگر ظرفیت متوسط فرسایش و هدررفت خاک در آبخیز قرقان بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اهمیت فرسایش و همچنین موقعیت آبخیز در تأمین آب سدهای پایین‌دست پیشنهاد می‌شود، الگوهای ارزیابی، برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری مدیریتی، ترویج، آموزش و اجرای طرح‌های سودمند در ارتباط با کاهش اندازه‌ی جابه‌جایی و هدررفت خاک در سطح آبخیز مزبور با جدیت پیگیری شود تا گام کوچکی در راستای کاهش اندازه فرسایش و هدررفت خاک باشد.

واژگان کلیدی: سنجش از دور، مدل کیفی کورین، وضعیت فرسایش، هدررفت خاک

مقدمه

سنجش‌ازدور (RS) یکپارچه‌شده باشد (ژو ۲۰۱۲). مدل‌های فرسایش، زمانی بیشترین ارزش را دارند که بتوان از آن‌ها برای پیشنهاد شیوه‌های مدیریتی که هدررفت خاک را به حداقل می‌رسانند و بهره‌وری خاک را حفظ می‌کنند، استفاده کرد. در دهه‌های گذشته، مدل‌های پرشماری برای پیش‌بینی فرسایش خاک پیشنهاد شده‌اند (اکسوی و کاواس ۲۰۰۵، ونت و پوسن ۲۰۰۵). بر اساس دسته‌بندی مدل‌ها، یک محدودیت مهم در استفاده از مدل‌های فرایندمحور، نیازمندی این مدل‌ها به تعداد زیادی سنجه و ورودی همراه با جمع‌آوری گسترده داده‌های میدانی است. بنابراین، مدل‌های تجربی، از جمله مدل‌های امتیازدهی فاکتوریل و دیگر روش‌های نیمه کمی، به دلیل ساختار ساده و سهولت کاربرد، در ارزیابی خطر زیست‌محیطی نقش مهمی دارند. در پژوهش‌های جداگانه مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) و سالیوان (۲۰۱۱) به‌ترتیب از یک مدل امتیازدهی فاکتوریل برای ارزیابی خطر فرسایش آبی در ایران و برای کمی‌کردن آسیب‌پذیری آب در آفریقای جنوبی استفاده کردند. در سال ۱۹۸۵ اتحادیه اروپا برنامه نظارت بر پوشش زمین CORINE^۱ را برای هماهنگی اطلاعات محیط زیستی، آغاز کرد. هم‌اکنون تحت نظارت آژانس محیط‌زیست اروپا، یکی از اولین برنامه‌های نظارتی عملیاتی در جهان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مدل CORINE است (کول ۲۰۱۸). مدل هماهنگی اطلاعات محیط‌زیستی (مدل CORINE)، یک مدل تجربی است و یک روش نقشه برداری نیمه کیفی است که با طراحی و هم‌پوشانی چندین نقشه موضوعی، ناهمگونی مکانی خطر فرسایش خاک را در یک محیط GIS

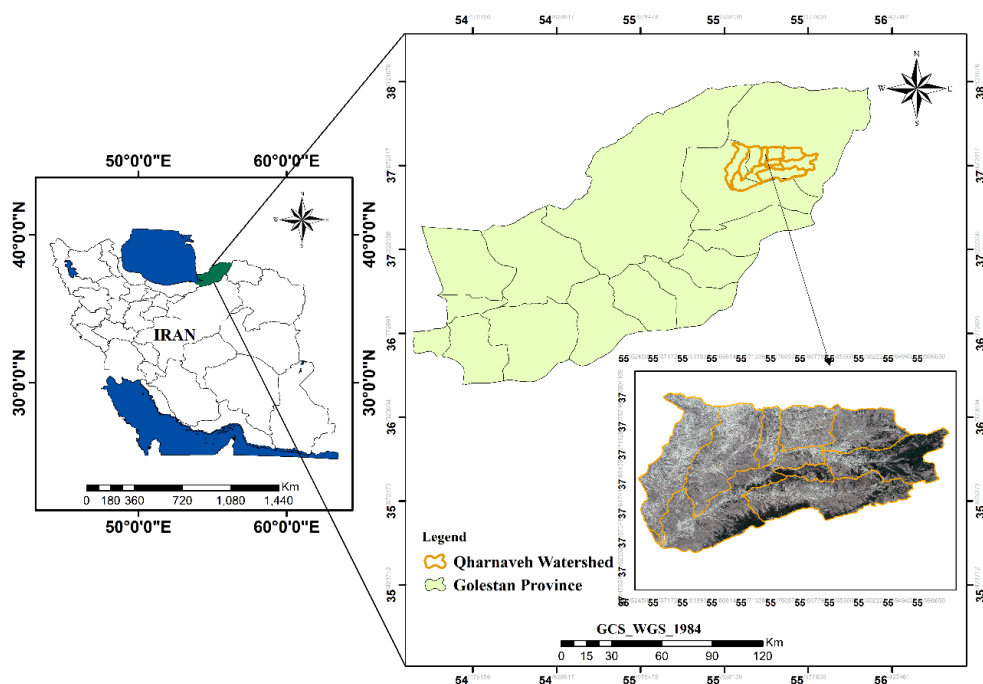
بررسی فرسایش خاک به‌منظور برآورد دقیق بهره‌وری خاک در آینده و از سوی دیگر نگرانی اساسی برای ایجاد تعادل میان استفاده منابع طبیعی در برابر نیاز به حفاظت از بوم‌نظام، در مقیاس میدانی و منطقه‌ای تا سطح ملی اهمیت دارد (بایرامین ۲۰۰۶). یکی از مشکلات جدی در سراسر جهان، اثرات نامطلوب اقتصادی و زیست‌محیطی فرسایش خاک است که به دلیل از بین رفتن منابع زمین و کاهش بهره‌وری زمین، به‌ویژه از راه تحویل رسوب غنی از مواد مغذی، منجر به اوتریفیکاسیون می‌شود و ظرفیت ذخیره‌سازی کلی و طول عمر آبگیرها را کاهش می‌دهد (اروغلو و همکاران ۲۰۱۰). گل‌ولای آبگیرها پیامدهای منفی اقتصادی و زیست‌محیطی دارند، زیرا حجم کمی از آب برای تأمین آب، آبیاری و مهار سیلاب در دسترس است. همچنین، اقدام‌های مدیریتی که شرایط فرسایش خاک را به حداقل می‌رسانند، در شرایطی که شدت و توزیع مکانی فرسایش خاک مشخص باشد، می‌توانند به‌طور مؤثر اجرا شوند. این در حالی است که ارزیابی دقیق فرایندهای پیچیده فرسایش خاک به‌وسیله کنش و واکنش‌های چندعاملی طبیعی و انسانی در طولانی‌مدت، دشوار است (آناندا و هرات ۲۰۰۳، لو و همکاران ۲۰۰۴). روش‌های مرسوم پژوهش فرسایش، مانند آزمایش‌های مزرعه‌ای منظم یا پایش طولانی‌مدت، به بودجه، زمان و نیروی انسانی قابل‌توجهی نیاز دارند؛ از این‌رو، ارزیابی دقیق و به‌موقع اندازه فرسایش خاک و توزیع مکانی برای برنامه‌ریزی حفاظتی، ضروری است. یک مدل شبیه‌سازی ممکن است راهی مؤثر در پژوهش‌های فرسایش باشد، به‌ویژه زمانی که مدل با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و

شدت و توزیع مکانی فرسایش خاک مشخص باشد، بنابراین، این پژوهش با هدف توصیف توزیع مکانی خطر فرسایش خاک در آبخیز قرناوه استان گلستان با استفاده از مدل CORINE و همگام با سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور انجام شد. نتایج ارزیابی به‌دست آمده از این پژوهش می‌تواند در اولویت‌بندی مناطق بحرانی برای تصمیم‌گیری و انجام اقدام‌های مناسب در پیشگیری از فرسایش خاک استفاده شود.

مواد و روش‌ها منطقه مطالعه شده

آبخیز قرناوه بزرگ با مساحت ۷۹۰۰۰ هکتار در شرق استان گلستان است. موقعیت جغرافیایی این آبخیز میان $30^{\circ}37'$ تا $45^{\circ}37'$ عرض شمالی و $30^{\circ}55'$ تا $00^{\circ}56'$ طول شرقی است (حافظ‌مقدس و همکاران ۲۰۱۱). آبخیز قرناوه روی سرشاخه‌های گرگان‌رود است و مهم‌ترین رودهای آن، قرناوه و شوردره هستند که پس از اتصال این انشعاب‌ها و پیوستن رودهای مادر سو و چهل‌چای در پایین‌دست آبخیز، گرگان‌رود را تشکیل داده‌اند و سرانجام این رود به دریاچه کاسپین (خزر) تخلیه می‌شود (صابرچناری و همکاران ۲۰۱۶). آبخیز قرناوه بزرگ شامل هشت آبخیز مستقل و یک آبخیز غیر آب‌شناختی با نام‌های کال‌شور، شوردره، آق‌امام یک، آق‌امام دو، چنارلی، قرناوه، پارچقلی، گیلداغ و قرناوه است. شش ایستگاه هواشناسی (پیشکمر، کریم‌اشان، قرقناق، گلی‌داغ، قویجیق، تمر) و یک ایستگاه آب‌سنجی (تمر) در نزدیکی محدوده مطالعه شده است (تاجیکی و همکاران ۲۰۲۲). آبخیز قرناوه بزرگ از نظر ساختمانی، بخشی از منطقه گرگان-رشت است که قسمت گسترده‌ای از آن پوشیده از نهشته‌های لسی و آبرفتی است (حافظ‌مقدس و همکاران ۲۰۱۱). میانگین بلندی آبخیز ۵۹۰ متر و میانگین شیب آبخیز ۲۶٪ است و به سمت پایین‌دست آبخیز از اندازه آن کاسته می‌شود و به ۲ تا ۳٪ می‌رسد. کاربری مهم آبخیز شامل مرتع و زراعت است (صابرچناری و همکاران ۲۰۱۶). موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

ارائه می‌دهد. این مدل مزیت ساختاری ساده‌ای دارد. مدل CORINE به‌درستی مناطق مدیریت‌را که بیشترین خطر فرسایش را داشتند، شناسایی کرد (ژو ۲۰۱۲) و سپس به‌طور گسترده به‌وسیله کشورهای اروپایی و مدیریت‌را برای ارزیابی خطر فرسایش خاک استفاده شد (آیدین و تچیمین ۲۰۱۰، بایرامین و همکاران ۲۰۰۶، هوسن‌جاک و همکاران ۲۰۰۸، پارلاک و همکاران ۲۰۰۷، یوکسل و همکاران ۲۰۰۸). سازوکار GIS با ویژگی‌های پیشرفته برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تغییر و نمایش داده‌های مکانی، یک ابزار قدرتمند در ارزیابی محیط‌زیست است (ژو ۲۰۱۲) و از سوی دیگر سازوکار RS برای ارائه اطلاعات پوشش زمین با استفاده از روش‌های پردازش تصویر دیجیتال استفاده شده است (یوکسل و همکاران ۲۰۰۸). از این‌رو، ترکیب شدن مدل CORINE با ساختار اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور، می‌تواند فرسایش خاک و توزیع مکانی آن را در مناطق بزرگ‌تر با دقت بیشتر و هزینه‌های قابل انتظار، ارزیابی می‌کند. در این راستا، در ترکیه، یوکسل و همکاران (۲۰۰۸) و آیدین و تچیمین (۲۰۱۰) خطر فرسایش خاک را به‌ترتیب با استفاده از مدل CORINE مبتنی بر RS و GIS ارزیابی کردند. همچنین، در غرب سوریه، ال‌روبابی و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل کورین خطر فرسایش آبی خاک را در سد الحویز بررسی کردند. در کرکوک عراق، نوری و عزیز (۲۰۲۳) خطر فرسایش خاک را با استفاده از مدل کورین در زیرآبخیز شوان، ارزیابی کردند و گزارش کردند که مدل کورین برای تهیه نقشه خطر فرسایش آبی خاک بسیار مؤثر و مقرون‌به‌صرفه بود. در استان فارس، تارپناه و همکاران (۲۰۲۲) خطر فرسایش خاک را با استفاده از مدل کورین در آبخیز خارستان ارزیابی کردند. در غرب استان گلستان، اکبری و همکاران (۲۰۱۶) خطر فرسایش را با استفاده از مدل کورین ارزیابی کردند. در آبخیز تنگ‌سرخ شیراز، انتظار و غلام‌حیدری (۲۰۱۴) مدل‌های CORINE و SLEMSA را با یکدیگر مقایسه کردند. از آنجایی که درک توزیع مکانی فرسایش خاک مبنایی برای مدیریت مؤثر کاربری زمین‌های منطقه‌ای و پیشگیری از فرسایش خاک است (ایروم و همکاران ۲۰۰۷) و چون اقدام‌های مدیریتی زمانی می‌تواند مؤثر باشد که



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده.

Figure 1 - Geographical location of the studied area.

مرحله دوم

گام پنجم: تهیه نقشه شاخص خشکی
گام ششم: تهیه نقشه فرسایش باران (روش فورنیه)
گام هفتم: تهیه نقشه فرسایش (ترکیب نقشه فرسایش باران و شاخص خشکی)

مرحله سوم

گام هشتم: تهیه نقشه شیب
گام نهم: تهیه نقشه ظرفیت فرسایش خاک (ترکیب نقشه فرسایش پذیری، فرسایش و شیب)

مرحله چهارم

گام دهم: تهیه نقشه پوشش گیاهی
گام یازدهم: تهیه نقشه فرسایش واقعی خاک (ترکیب نقشه پوشش گیاهی و نقشه ظرفیت فرسایش خاک)
بر اساس راهنمای مدل برای تهیه نقشه خطر فرسایش واقعی خاک، نقشه‌های به‌دست آمده از هر گام باید ارزش‌گذاری و طبقه‌بندی شود. راهنمای طبقه‌بندی هر نقشه در جدول‌های ۱ تا ۴ آورده شده است.

نقشه فرسایش پذیری

فرسایش پذیری خاک، آسیب‌پذیری خاک در برابر قطرات باران و رواناب و جدا شدن و انتقال آن به‌وسیله این دو را توصیف می‌کند. این توانایی مربوط به بافت خاک، ساختار، محتوای مواد آلی، نفوذپذیری، خصوصیات مواد مادری و دیگر عوامل است (کرکی و همکاران ۲۰۰۰). در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است که از نظر بافت خاک، سیلت، ماسه بسیار ریز

داده‌ها و اطلاعات لازم

این پژوهش با هدف توصیف توزیع مکانی خطر فرسایش خاک در آبخیز قرقاوه استان گلستان با بهره‌گیری از مدل CORINE همگام با سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور انجام شد. داده‌ها و اطلاعات لازم برای اجرای این مدل شامل نقشه بافت خاک، ژرفای خاک، سنگی‌بودن، شیب، پوشش گیاهی و اطلاعات بارندگی بود که با بهره‌گیری از اطلاعات نقشه‌ای، کتابخانه‌ای و بایگانی‌شده، جمع‌آوری و استفاده شد.

مدل فرسایش CORINE

مدل CORINE در سال ۱۹۹۲ براساس مدل USLE (معادله جهانی هدررفت خاک) (ریس و همکاران ۲۰۱۶)، به‌وسیله کمیسیون اتحادیه اروپا به عنوان مدل ارزیابی خطر فرسایش خاک، برای پژوهش‌های فرسایش خاک در کشورهای جنوبی اروپا توسعه یافت (روبیو و ركاتالا ۲۰۰۶). ساختار اجرایی مدل شامل چهار مرحله اصلی و یازده گام به شرح زیر است و روندنمای آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

مرحله اول

گام اول: تهیه نقشه بافت خاک
گام دوم: تهیه نقشه ژرفای خاک
گام سوم: تهیه نقشه وضعیت درصد سنگ‌ریزه
گام چهارم: تهیه نقشه فرسایش‌پذیری (ترکیب نقشه بافت خاک، ژرفای خاک و سنگ‌ریزه)

توانایی فرسایش‌پذیری خاک به‌عنوان تابعی از بافت خاک، ژرفا و سنگی‌بودن محاسبه می‌شود. بر اساس طبقه‌بندی بافت خاک USDA و بر پایه داده‌های جدول ۱ بافت خاک به سه دسته تقسیم شد (ژو ۲۰۱۲). به‌طور مشابه، ژرفای خاک نیز با در نظر گرفتن ژرفا از سطح خاک تا پایه نیمرخ خاک طبقه‌بندی شد که در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، سنگی‌بودن درصد پوشش سطح سنگ‌ها (< 20 میلی‌متر) است و طبقه‌بندی آن در جدول ۱ ارائه شده است. سپس، شاخص فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (کورین ۱۹۹۲) و طبقه‌بندی آن در جدول ۱ ارائه شده است.

$$SEI = T \times D \times S \quad (1)$$

SEI: شاخص فرسایش‌پذیری خاک، T طبقه‌بندی بافت و D و S طبقه‌بندی ژرفا و طبقه‌بندی سنگی بودن است.

و خاک‌های رسی در مقایسه با خاک‌های شنی، لومی شنی و لومی، فرسایش‌پذیری کمتری دارند (کورین ۱۹۹۲). افزایش ژرفای خاک می‌تواند سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب شود و احتمالاً با جذب اندازه‌های بیشتری از بارندگی از جریان سطحی جلوگیری می‌کند (کورین ۱۹۹۲). نیمرخ‌های خاک با فرسایش فزاینده سبب نفوذ و ذخیره‌سازی کمتری از بارندگی می‌شوند و این فرایند به‌طور منطقی فرسایش را افزایش می‌دهد (تریمبل و کراسون ۲۰۰۰). سنگ‌ریزه‌ها در سطح خاک می‌توانند اثرات منفی و مثبتی بر عملکرد رسوب داشته باشند. این اثرات شامل محافظت از سطح خاک از جداسدن به‌وسیله قطرات باران و رواناب است (پوسن و همکاران ۱۹۹۴). با این حال، پس از شروع رواناب سطحی، سنگ‌ریزه‌ها ممکن است فرسایش شیارها را با ایجاد تلاطم‌های آب افزایش داده و موجب اثرات نامطلوبی شوند (یوکسل و همکاران ۲۰۰۸). در مدل CORINE،

جدول ۱- راهنمای ارزش‌گذاری و طبقه‌بندی گام‌های تهیه نقشه فرسایش‌پذیری خاک.

Table 1 - Guide for valuation and classification of steps in preparing the soil erodibility map.

Value	Type	Index
1	Clay, sandy-clay, silty-clay	Soil Texture
2	Sandy-clay, clay-loamy, silty, clay-loamy, sandy, loamy-sandy	
3	Sandy-loamy, silty, silty-loamy, loamy	
1	75 cm <	Soil Depth
2	25-75	
3	<25 cm	
1	<10 %	Stoniness
2	75 % <	
0	0	Soil Erodibility
1 (Low)	<3	
2 (Medium)	3 - 6	
3 (High)	6 <	

تقسیم شد (جدول ۲). اگرچه MFI اندازه‌گیری قابل‌قبولی از تغییرپذیری بارندگی است، اما نمی‌تواند تنش رطوبتی را که ممکن است عامل افزایش فرسایش خاک به‌دلیل کاهش پوشش گیاهی باشد، را در نظر بگیرد. بر این اساس شاخص فائو-یونپ^۲ از نظر نسبت بارندگی و تبخیر و تعرق به‌عنوان دومین شاخص اقلیمی در ارزیابی فرساینده‌گی در نظر گرفته شد. در این پژوهش این شاخص با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد.

$$A.I = \frac{P}{EPT} \quad (3)$$

A.I: شاخص خشکی، P: میانگین سالانه بارندگی و EPT: میانگین سالانه تبخیر و تعرق است (اسکوردو ۲۰۰۹). در این پژوهش، شاخص فائو-یونپ به چهار طبقه تقسیم شد

نقشه فرساینده‌گی

فرساینده‌گی، اثر بارندگی را کمی می‌کند و اندازه و اندازه رواناب را که احتمالاً با رویدادهای بارندگی مرتبط است، بازتاب می‌کند. در این پژوهش، فرساینده‌گی با ترکیب دو شاخص اقلیمی شامل شاخص رطوبتی فورنیه اصلاح‌شده (MFI) و شاخص خشکی باگنولز-گاوسن (BGI) در مدل CORINE با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (ژو ۲۰۱۲).

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_a} \quad (2)$$

MFI: شاخص رطوبتی فورنیه اصلاح‌شده، P_i میانگین بارندگی ماه i ام و P_a میانگین سالانه بارندگی در دوره آماری است. در این پژوهش در مدل CORINE، MFI به پنج طبقه

(جدول ۲). در نهایت، شاخص فرساینده‌گی با ترکیب این دو شاخص اقلیمی با استفاده از معادله ۴ محاسبه و سپس طبقه‌بندی شد (جدول ۲).
 $EI = A.I \times MFI$ (۴)
 EI: شاخص فرساینده‌گی، A.I: شاخص خشکی و MFI: شاخص رطوبتی است.

جدول ۲- راهنمای ارزش‌گذاری و طبقه‌بندی گام‌های تهیه نقشه فرساینده‌گی.

Table 2 - Guide for valuation and classification of steps in preparing the erosivity map.

Value	Type	Index
1 (Very Low)	<60	Fournier
2 (Low)	60 - 90	
3 (Medium)	90 - 120	
4 (High)	120 - 160	
5 (Very High)	160 <	
ultra-dry (1)	<0.05	Aridity
Dry (2)	0.05 - 0.2	
semi-arid (3)	0.2 - 0.5	
Sub-humid (4)	0.5 - 0.65	
Humid (5)	0.65 <	
1 (Low)	<4	Erosivity
2 (Medium)	4-10	
3 (High)	10<	

پوشش و کاربری زمین بسیار مهم هستند (ژو ۲۰۱۲). در این پژوهش، خطر واقعی فرسایش خاک با استفاده از مدل CORINE و با در نظر گرفتن سنجه‌های توانایی فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از معادله ۶ برآورد شد. ارزیابی خطر در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول خطر فرسایش بالقوه با همپوشانی توانایی فرسایش‌پذیری خاک، فرساینده‌گی و شاخص شیب محاسبه شد و در مرحله دوم نتیجه با شاخص پوشش گیاهی ترکیب شد و سپس برای تعیین خطر واقعی فرسایش خاک CORINE دوباره طبقه‌بندی انجام شد (ژو ۲۰۱۲).

$$ASER = PSER \times L \quad (۶)$$

$$PSER = SEI \times S \times EI \quad (۵)$$

PSER: ظرفیت خطر فرسایش خاک، EI: شاخص فرساینده‌گی، SEI: شاخص فرسایش‌پذیری خاک و S: شیب است.

نقشه خطر واقعی فرسایش

خطر واقعی فرسایش خاک بازتاب‌کننده تأثیر حافظتی پوشش فعلی زمین و خطرات ذاتی در تغییرات شیوه‌های کاربری زمین است (کورین ۱۹۹۲). پوشش گیاهی متغیری است که فعالیت فرسایش خاک را مهار می‌کند و بیشتر تحت تأثیر دخالت‌های انسان است. از این‌رو، جزء مهمی از هر مدل پیش‌بینی‌کننده است. بنابراین، در مدل‌های فرسایش خاک داده‌های قابل اعتماد

جدول ۳- راهنمای ارزش‌گذاری و طبقه‌بندی گام‌های تهیه نقشه ظرفیت خطر فرسایش خاک.

Table 3 - Guide for valuation and classification of steps in preparing the soil erosion hazard capacity map.

Value	Type	Index
1 (Low)	1-4	Slope
2 (Medium)	4-8	
3 (High)	8-16	
4 (Very High)	16%<	
1 (Low)	0-5	Potential Soil Erosion Risk
2 (Medium)	5-11	
3 (High)	11<	

جدول ۴- راهنمای ارزش گذاری و طبقه بندی گام های تهیه نقشه ظرفیت خطر فرسایش خاک.

Table 4 - Guide for valuation and classification of steps in preparing the soil erosion hazard capacity map.

Value	Type	Index
1 (Low)	Fully Protected	Land Cover
2 (Medium)	Not Fully Protected	
3 (High)	Not Protected	
1 (Low)	Actual Soil Erosion Risk	
2 (Medium)		
3 (High)		

روش پژوهش مرحله اول

در این پژوهش، در این مرحله ابتدا با استفاده از نقشه خاک شناسی ۱:۵۰۰۰۰۰ فائو، نقشه بافت خاک آبخیز مشخص شد و بر پایه دستورالعمل مدل طبقه بندی انجام شد (گام اول). سپس، با استفاده از محصول Soil texture classes (USDA system) در سامانه Google Earth Engine ژرفای خاک منطقه متناسب با نوع بافت مشخص شد (گام دوم). با بازدید از محل و استفاده از تصاویرهای نرم افزار Google Earth اندازه سنگی بودن منطقه تعیین شد (گام سوم). سرانجام با ضرب نقشه های طبقه بندی شده بافت خاک، ژرفای خاک و سنگی بودن در محیط نرم افزار ArcGIS، نقشه طبقه بندی شده فرسایش پذیری تهیه شد (گام چهارم).

مرحله دوم

نقشه شاخص فرساینده گی باران آبخیز (با استفاده از محصولات

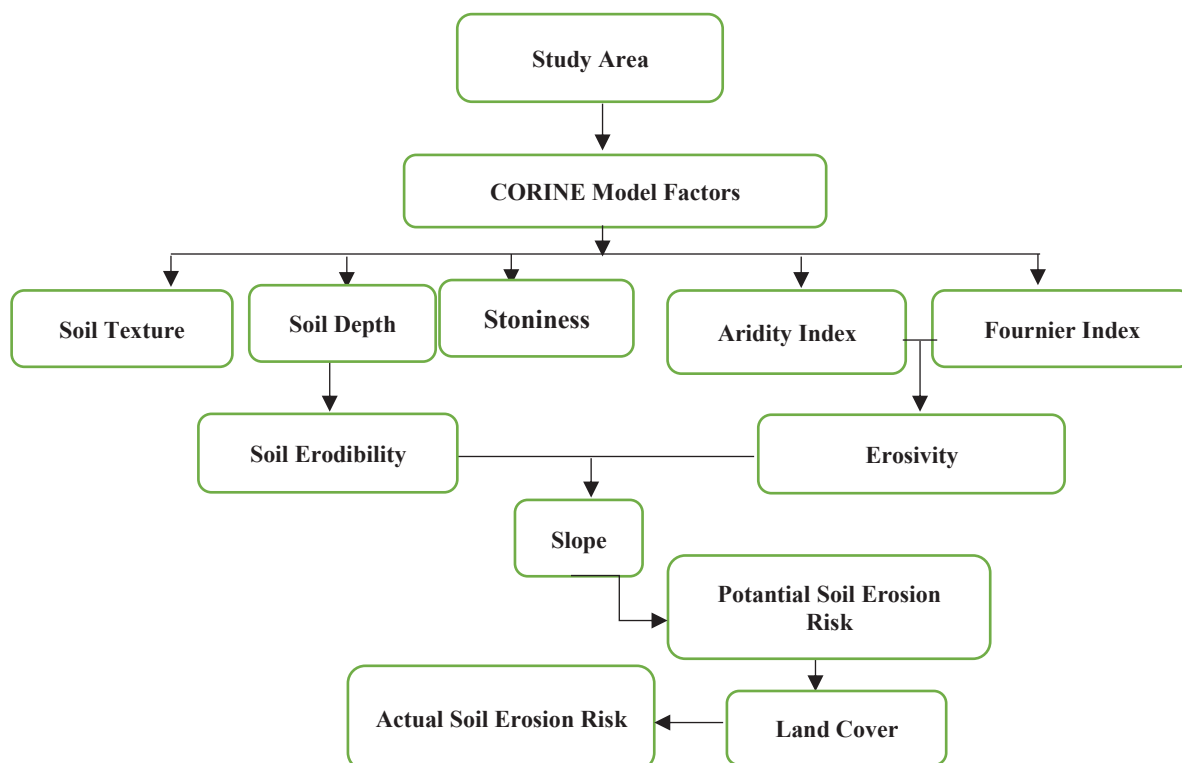
بارندگی CHIRPS^۳) و نقشه شاخص خشکی (بر اساس بررسی و ارزیابی آبخیز بالادست سد وشمگیر) تهیه شد (گام پنجم و ششم). پس از طبقه بندی بر اساس راهنمای مدل، این نقشه ها با یکدیگر ضرب و از نتیجه ضرب آنان نقشه فرساینده گی تهیه شد (گام هفتم).

مرحله سوم

با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری، نقشه شیب آبخیز تهیه شد و براساس دستورالعمل مدل طبقه بندی شد (گام هشتم). سرانجام، با ضرب نقشه شیب، فرسایش پذیری و فرساینده گی، نقشه ظرفیت فرسایش خاک تهیه شد (گام نهم).

مرحله چهارم

پوشش گیاهی منطقه با استفاده از شاخص NDVI به دست آمده از تصاویرهای ماهواره لندست ۸ در بازه زمانی مرداد ۱۴۰۲ تهیه شد (گام دهم). با ضرب نقشه پوشش گیاهی و نقشه ظرفیت فرسایش خاک، نقشه ظرفیت واقعی فرسایش آبخیز تهیه شد.



شکل ۲- روندنمای انجام پژوهش.

Figure 2 - Flowchart of the research process.

شاخص خشکی آبخیز

نقشه شاخص خشکی آبخیز قرناوه، نشان داد که کمترین، بیشترین و میانگین این شاخص به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۵۸ و ۰/۳۹ بود. نقشه دسته‌بندی خشکی در شکل ۶ نشان داده شده است. بر پایه این نقشه، ۶۵۶/۰۷ و ۱۲۷/۸۲ کیلومترمربع از مساحت کل آبخیز قرناوه، به ترتیب نیمه خشک و نیمه مرطوب بود.

شیب آبخیز

نقشه طبقه‌بندی شیب آبخیز قرناوه در شکل ۷ نشان داده شده است. بر پایه این نقشه، کمترین، بیشترین و میانگین شیب آبخیز قرناوه به ترتیب صفر، ۱۳۵/۶ و ۲۴/۲٪ بود. بر پایه این نقشه و بر اساس دستورالعمل دسته‌بندی مدل، ۱۹/۴، ۵۲/۹، ۱۵۹/۰ و ۵۴۸/۹ کیلومترمربع از مساحت کل این آبخیز تحت تأثیر شیب کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بود.

پوشش گیاهی آبخیز

نقشه طبقه‌بندی پوشش گیاهی آبخیز قرناوه در شکل ۸ نشان داده شده است. بر پایه این نقشه و بر اساس دستورالعمل دسته‌بندی مدل، ۶۳۳/۷۵، ۱۳۲/۰۳ و ۲۰/۷۵ کیلومترمربع از مساحت کل این آبخیز به ترتیب پوشش گیاهی کم، متوسط و زیاد بود.

نتایج و بحث

بافت خاک آبخیز

نقشه دسته‌بندی بافت خاک آبخیز قرناوه در شکل ۳ نشان داده شده است. بر پایه این نقشه، بافت خاک کل آبخیز از دو نوع بافت لوم و رسی-لومی بود که بافت لوم (با طبقه تأثیر زیاد) در کمترین مساحت از آبخیز قرناوه (۲۹۶/۱۹ کیلومترمربع) مشاهده شد و بافت رسی-لومی (با طبقه تأثیر متوسط) در بیشترین مساحت از این آبخیز (۴۸۷/۸۷ کیلومترمربع) مشاهده شد.

ژرفای خاک آبخیز

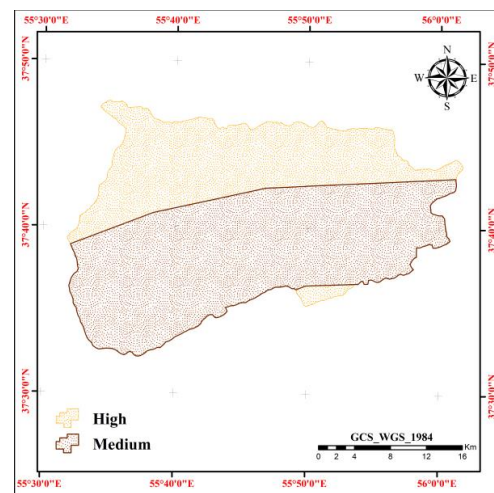
نقشه دسته‌بندی ژرفای خاک در شکل ۴ نشان داده شده است. بر پایه این نقشه، ژرفای خاک در کل مساحت آبخیز قرناوه، بیشتر از ۷۵ سانتی‌متر بود.

شاخص رطوبتی فورنیه

نقشه شاخص رطوبتی فورنیه آبخیز قرناوه، نشان داد که کمترین، بیشترین و میانگین این شاخص به ترتیب ۴/۵۷، ۶/۲۰ و ۵/۳۳ بود. نقشه دسته‌بندی شاخص رطوبتی فورنیه در شکل ۵ نشان داده شده است. بر پایه این نقشه و بر اساس دستورالعمل دسته‌بندی مدل، از مساحت کل این آبخیز طبقه تأثیر خیلی کم را کسب کرد.

فرسایش پذیری آبخیز

نقشه فرسایش پذیری آبخیز قرناوه بر اساس جدول ۱ و دستورالعمل مدل، ارزش گذاری و دسته بندی شد. نقشه طبقه بندی فرسایش پذیری آبخیز قرناوه در شکل ۹ نشان داده شده است. بر پایه این نقشه، فرسایش پذیری ۴۸۹/۷۸ و ۲۹۵/۵۴ کیلومترمربع از مساحت کل این آبخیز، به ترتیب کم و متوسط بود.

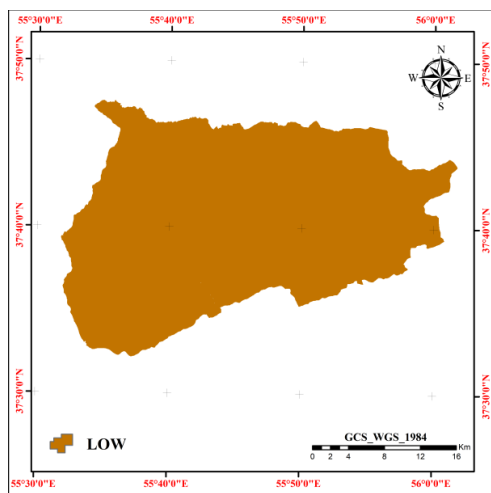


شکل ۳- نقشه دسته بندی بافت خاک آبخیز قرناوه.

Figure 3 - Soil texture classification map of the Qharnaveh watershed.

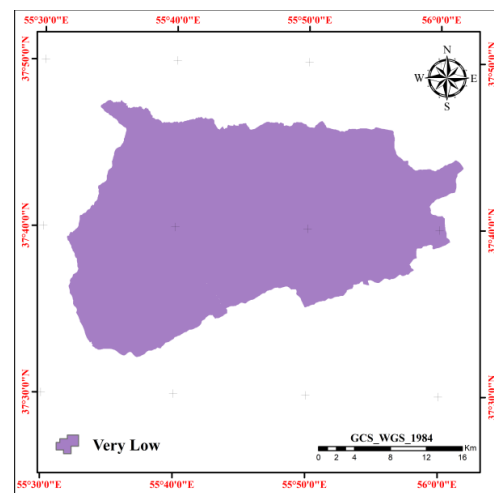
فرساینده گی آبخیز

نقشه فرساینده گی آبخیز قرناوه بر اساس جدول ۲ و دستورالعمل مدل، ارزش گذاری و دسته بندی شد. نقشه طبقه بندی فرساینده گی آبخیز قرناوه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. بر پایه این نقشه، فرساینده گی ۶۵۸/۲۳ و ۱۲۷/۳۹ کیلومترمربع از مساحت کل این آبخیز، به ترتیب کم و متوسط بود.



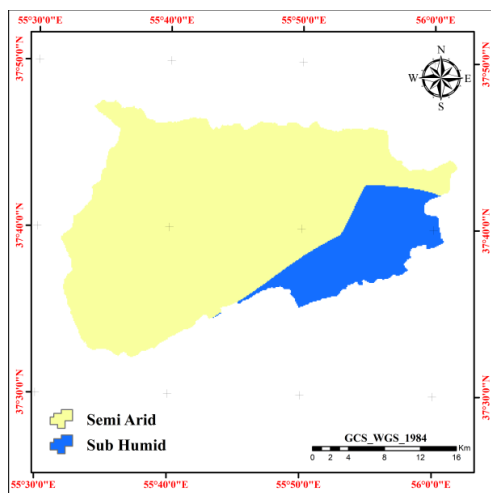
شکل ۴- نقشه دسته بندی ژرفای خاک آبخیز قرناوه.

Figure 4 - Soil depth classification map of the Qharnaveh watershed.



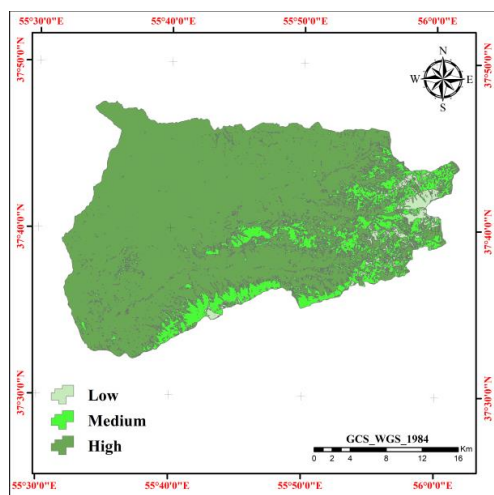
شکل ۵- نقشه دسته بندی شاخص رطوبتی آبخیز قرناوه.

Figure 5 - Wetness index classification map of the Qharnaveh watershed.

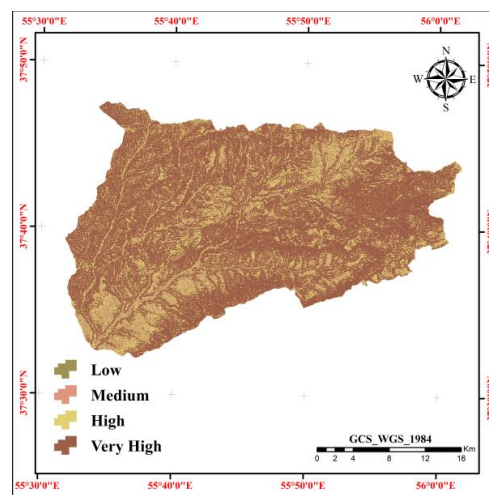


شکل ۶- نقشه دسته بندی شاخص خشکی آبخیز قرناوه.

Figure 6 - Dryness index classification map of the Qharnaveh watershed.



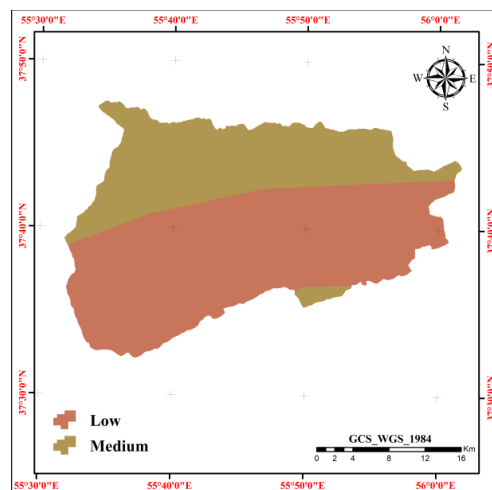
شکل ۸- نقشه دسته‌بندی پوشش گیاهی آبخیز قرناوه.
Figure 8 - Vegetation cover classification map of the Qharnaveh watershed.



شکل ۷- نقشه دسته‌بندی شیب آبخیز قرناوه.
Figure 7 - Slope classification map of the Qharnaveh watershed.



شکل ۱۰- نقشه فرساینده‌ی آبخیز قرناوه.
Figure 10 - Erosivity map of the Qharnaveh watershed.



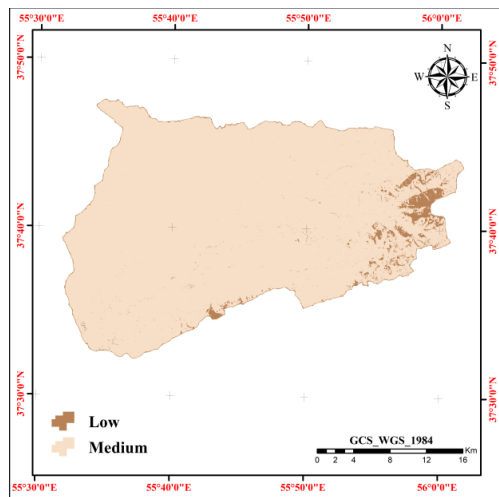
شکل ۹- نقشه فرسایش‌پذیری خاک آبخیز قرناوه.
Figure 9 - Soil erodibility map of the Qharnaveh watershed.

فرسایش واقعی خاک آبخیز

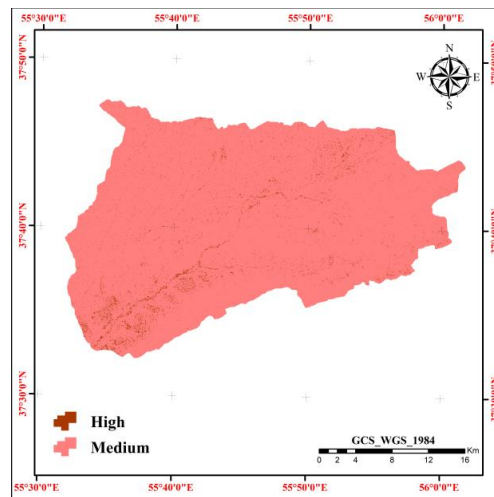
نقشه طبقه‌بندی فرسایش واقعی خاک آبخیز قرناوه در شکل ۱۲ نشان‌داده شده است. بر پایه این نقشه، فرسایش واقعی خاک در ۳۰/۱۱ و ۷۵۷/۳۸ کیلومتر مربع از مساحت کل این آبخیز، به ترتیب کم و متوسط بود.

ظرفیت فرسایش خاک آبخیز

نقشه طبقه‌بندی ظرفیت فرسایش خاک آبخیز قرناوه در شکل ۱۱ نشان‌داده شده است. بر پایه این نقشه، ظرفیت فرسایش خاک در ۲۵/۹۱ و ۷۶۰/۲۸ کیلومتر مربع از مساحت کل این آبخیز، به ترتیب متوسط و زیاد بود.



شکل ۱۲- نقشه فرسایش واقعی آبخیز قرناوه.
Figure 12 - Actual erosion map of the Qharnaveh watershed.



شکل ۱۱- نقشه ظرفیت فرسایش خاک آبخیز قرناوه.
Figure 11 - Soil erosion capacity map of the Qharnaveh watershed.

نشان داد که مدل کورین به دلیل پردازش جزئیات بیشتر، دقت بیشتری هم داشت. عامل شیب مهم‌ترین ویژگی در افزایش اندازه فرسایش در آبخیز است. شاخص‌های استفاده‌شده در مدل کورین، از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی خطر فرسایش خاک در اروپا به‌شمار می‌آید (روپیو و بوچت ۱۹۹۸). از مدل کورین برای ارزیابی خطر فرسایش خاک در مناطق کم داده به‌خوبی می‌توان استفاده کرد (دنگیز و آکگول ۲۰۰۵، روپیو و بوچت ۱۹۹۸، دوگان و همکاران ۲۰۰۵). در این پژوهش، نتایج مدل نشان‌دهنده برآورد قابل قبول بود. اما مقایسه نتایج مدل‌های دیگر با این مدل می‌تواند در تصمیم‌های مدیریتی منطقه مؤثر باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که خطر فرسایش خاک در منطقه مطالعه‌شده در حد متوسط است. یافته‌های این پژوهش نتایج می‌تواند برای پژوهشگران و برنامه‌ریزان در مهارکردن فرسایش مفید باشد؛ ولی به دلیل بررسی‌های محدود در منطقه، باید برای کسب اطمینان بیشتر بررسی‌های دیگری نیز در منطقه انجام شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با هدف توصیف توزیع مکانی خطر فرسایش خاک در آبخیز قرناوه استان گلستان با استفاده از مدل CORINE همگام با ساختار اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور انجام شد. استفاده از مدل کورین به دلیل تلفیق ویژگی‌های فرسایش‌پذیری خاک و فرساینده‌ی باران به‌همراه عامل شیب و پوشش سطحی زمین در تهیه نقشه خطر فرسایش ظرفیت و خطر فرسایش واقعی منطقه، به‌خوبی توانست مناطق خطرپذیر از نظر فرسایش خاک را مشخص کند. نتایج این پژوهش بر اساس عامل‌های مدل کورین بیانگر ظرفیت متوسط آبخیز در فرسایش و هدررفت خاک بود. از این‌رو، با توجه به اهمیت فرسایش و همچنین

بررسی نتایج مدل کورین

نتایج مطالعه توصیف توزیع مکانی خطر فرسایش خاک در آبخیز قرناوه استان گلستان با استفاده از مدل CORINE و همگام با سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور نشان داد که وضعیت واقعی فرسایش در ۳/۸۲ و ۹۶/۱۷٪ از مساحت کل این آبخیز به ترتیب کم‌خطر و با خطر متوسط بود. مکان‌هایی که در نقشه خطر فرسایش وضعیت کم‌خطر را داشتند پوشش گیاهی زیاد بود و مکان‌هایی که در نقشه مزبور وضعیت پرخطر را داشتند بیشترین کاربری زمین، زراعی بود.

در منطقه نیمه بیابانی غرب استان گلستان، اکبری و همکاران (۲۰۱۶) خطر فرسایش خاک را با استفاده از مدل کورین بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که از نظر ظرفیت خطر، ۲۳٪ منطقه کم‌پتانسیل، ۵۴٪ منطقه با ظرفیت متوسط و ۷٪ منطقه با ظرفیت زیاد بود و از نظر فرسایش واقعی ۵۴٪ کم‌خطر، ۲۵٪ با خطر متوسط و ۲٪ نیز پرخطر بود. که نتایج آنان با این پژوهش گویا برآورد بیشتر این مطالعه در وضعیت متوسط است. همچنین، در استان گلستان فرج‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل پسیاک نقشه فرسایش را تهیه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که ۳۹/۲۳٪ از استان از نظر فرسایشی در پهنه خطر متوسط بود که نتایج آنان حدود ۳۸٪ تشابه با نتایج این پژوهش در وضعیت متوسط را بیان می‌دارد.

در جنوب آنکارا، دنگیز و آکگل (۲۰۰۵) خطر فرسایش خاک را در منطقه گلباشی، با استفاده از مدل کورین برآورد کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که ۷۲/۹٪ از منطقه کم‌خطر، ۲۳/۸٪ از منطقه با خطر متوسط و فقط ۱٪ منطقه خیلی پرخطر بود. انتظاری و حیدری (۲۰۱۴) مدل‌های CORINE و SLEMSA برای برآورد فرسایش خاک در آبخیز تنگ سرخ شیراز را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج مقایسه این دو مدل

باشد. هرچند که مدل کورین نتوانست اندازه تولید رسوبات را برآورد کند، اما با تهیه نقشه خطر فرسایش واقعی خاک، امکان تجزیه، تحلیل و اجرای طرح‌های حفاظت محیطی را افزایش داد و درک دقیق‌تری از وضعیت منطقه فراهم خواهد ساخت.

موقعیت آبخیز در تأمین آب سدهای پایین‌دست (بوستان، گلستان و وشمگیر) پیشنهاد می‌شود، الگوهای ارزیابی و برنامه‌ریزی، تصمیم‌های مدیریتی، ترویج، آموزش و اجرای طرح‌های سودمند در ارتباط با کاهش اندازه جابه‌جایی و هدررفت خاک در سطح آبخیز با جدیت پیگیری شود تا گام کوچکی در راستای کاهش اندازه فرسایش و هدررفت خاک

فهرست منابع

- Akbari M, Ownegh M, Asgari H, sadoddin A, Khosravi H. 2016. Soil erosion risk assessment using the CORINE Model (Case study: Semi-arid region in Golestan Province). *Desert Ecosystem Engineering*, 5(12): 63-78. (In Persian).
- Aksoy H, Kavvas ML. 2005. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena*, 64(2-3): 247-271. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.08.008>.
- Al-Rubaye A, Baraka M, Mahmood AB. 2021. Spatial distribution of soil water erosion at Al-Hawiz Dam in Western Syria using CORINE Model. *Mesopotamian Journal of Marine Science*, 35(1): 1-12. <https://doi.org/10.58629/mjms.v35i1.25>.
- Ananda J, Herath G. 2003. Soil erosion in developing countries: A socio-economic appraisal. *Journal of Environmental Management*, 68(4): 343-353. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(03\)00082-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(03)00082-3).
- Aydın A, Tecimen HB. 2010. Temporal soil erosion risk evaluation: A CORINE methodology application at Elmalı Dam Watershed, İstanbul. *Environmental Earth Sciences*, 61(7): 1457-146. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0461-2>.
- Bayramin İ, Erpul G, ERDOĞAN HE. 2006. Use of CORINE methodology to assess soil erosion risk in the semi-arid area of Beypazari, Ankara. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(2): 81-10.
- Chenari K, Bahremand A, Sheikh VB, Komaki CB. 2016. Gully erosion hazard zoning using of dempster-shafer model in the Gharnaveh Watershed, Golestan Province. *Echohydrology*, 3(2): 219-231. (In persian). <https://doi.org/10.22059/IJE.2016.59663>.
- Cole B, Smith G, Balzter H. 2018. Acceleration and fragmentation of CORINE land cover changes in the United Kingdom from 2006–2012 detected by Copernicus IMAGE2012 satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information*, 73(1): 107-122. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.003>.
- CORINE. 1992. CORINE: Soil erosion risk and important land resources in the South-eastern regions of the European community. EUR 13233, Luxembourg, Belgium. pp. 32–48.
- Dengiz O, Akgül S. 2005. Soil erosion risk assessment of the Gölbaşı environmental protection area and its vicinity using the CORINE Model. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(6): 439-448.
- De Vente J, Poesen J. 2005. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models. *Earth-science Reviews*, 71(1-2): 95-125. <https://doi.org/10.1016/j.earsci-rev.2005.02.002>.
- Doğan, O., Özel, M. E., Yıldırım, H., & Küçükçakar, N. (2000). Erosion risk mapping of Dalaman Basin located in Mediterranean Region using CORINE method. In *Proceedings of International Symposium on Desertification (ISD)*: 13-17.
- Dong P, Chen H. 2000. A simple life-cycle method for predicting extreme shoreline erosion. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 14(2): 79-89. <https://doi.org/10.1007/s004770000029>.
- Entezari M, Gholam Heydari H. 2014. Comparing the two models SLEMSA and CORINE in the assessment of soil erosion. *The Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 18 (3): 1-28. (In Persian).

- Eroğlu H, Çakır G, Sivrikaya, Akay AE. 2010. Using high resolution images and elevation data in classifying erosion risks of bare soil areas in the Hatila Valley Natural Protected Area, Turkey. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24(4): 699-704. <https://doi.org/10.1007/s00477-009-0356-5>.
- Farajzadeh M, Servati Mr, Taheri V. 2011. Analysis and zonation of geomorphologic hazards of Golestan province, *Journal of Physical Geography*, 4(11): 45-62. (In Persian).
- Hafezi Moghaddas N, Nikudel M, Bahrami K. 2011. Evaluation of collapsibility of loess deposits of Gharnaveh Catchment in north of Kalale, Golestan Province. *Iranian Association of Engineering Geology*, 4(1-2): 39-46. (In Persian).
- Husnjak S, Simunic I, Tursic I. 2008. Soil erosion risk in Croatia. *Cereal Research Communications*, 36(2): 939-942.
- Irvem A, Topaloğlu F, Uygur V. 2007. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. *Journal of Hydrology*, 336(1-2): 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.12.009>.
- Kirkby M, Le Bissonais Y, Coulthard T, Daroussin J, McMahon M. 2000. The development of land quality indicators for soil degradation by water erosion. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 81(2): 125-135. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00186-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00186-9).
- Lu D, Li G, Valladares GS, Batistella M. 2004. Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land degradation and development*, 15(5): 499-512. <https://doi.org/10.1002/ldr.634>.
- Masoudi M, Patwardhan A, Gore S. 2006. Risk assessment of water erosion for the Qareh Aghaj sub-basin, southern Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21(1): 15-24. <https://doi.org/10.1007/s00477-006-0040-y>
- Noori NE, Azeez DR. 2023. Soil erosion risk assessment using CORINE Model: A case study in Shwan Sub-basin, Kirkuk, Iraq. *InIOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1252, No. 1, 16 pp. id. 012068. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1252/1/012068>
- Parlak M, Dincsoy Y, Seyrek K. 2007. Determination of erosion risk according to CORINE methodology (A case study: Kurtboğazi Dam). *International Congress River Basin Management*, 1:844-859.
- Poesen J, Torri D, Bunte K. 1994. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: A review. *Catena*, 23(1-2): 141-166. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90058-2](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90058-2).
- Reis M, Akay AE, Savaci G. 2016. Erosion risk mapping using CORINE Methodology for Goz Watershed in Kahramanmaraş Region, Turkey. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(3): 695-706.
- Rubio JL, Bochet E. 1998. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe. *Journal of Arid Environments*, 39(2): 113-120. <https://doi.org/10.1006/jare.1998.0402>.
- Rubio JL, Recatalá L. 2006. The relevance and consequences of Mediterranean desertification including security aspects. In *desertification in the Mediterranean region. A security issue*, Springer, pp. 133-165. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3760-0-05>.
- Scordo A, Maltese A, Ciraolo G, La Loggia G. 2009. Estimation of the time lag occurring between vegetation indices and aridity indices in a Sicilian semi-arid catch-

- ment. Italian Journal of Remote Sensing, 41(2): 33-46. <https://doi.org/10.5721/ItJRS20094123>.
- Sullivan CA. 2011. Quantifying water vulnerability: A multi-dimensional approach. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 25(4): 627-640. <https://doi.org/10.1007/s00477-010-0426-8>.
- Tajiki M, Najafinejad A, Gholipour M, Siroosi H, Sadodin A, Sheikh VB, et al. 2022. Efficiency of watershed management measures on erosion and sedimentation of Qarnaveh Watershed, Golestan Province. Journal of Watershed Management Research. 13(26), 163-177. (In Persian). <https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.163>.
- Taripana F, Ranjbar Fordoei A, Vali A, Mokarram M. 2022. Soil erosion risk assessment using CORINE Model in Kharestan Watershed, Fars Province. Desert Ecosystem Engineering, 9(29): 59-74. (In Persian).
- Trimble SW, Crosson P. 2000. US soil erosion rates--myth and reality. Science, 289(5477): 248-250. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.248>.
- Yuksel A, Gundogan R, Akay AE. 2008. Using the remote sensing and GIS technology for erosion risk mapping of Kartalkaya Dam Watershed in Kahramanmaraş, Turkey. Sensors, 8(8): 4851-4865. <https://doi.org/10.3390/s8084851>
- Zhu, M. (2012). Soil erosion risk assessment with CORINE model: case study in the Danjiangkou Reservoir region, China. Stochastic environmental research and risk assessment, 26, 813-822. <https://doi.org/10.1007/s00477-011-0511-7>.



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Use of the CORINE Model in the Qualitative Assessment of Soil Erosion Risk in the Qharnaveh Watershed, Golestan Province

Seyed Pedram Nainiva^{*1}, Maedeh Parichere², Habib Nazarnejad³

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

2-Ph.D. in Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences
and Natural Resources, Sari, Iran

3-Associate Professor, Department of Watershed Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences
and Natural Resources, Gorgan, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Soil erosion is one of the threats and environmental hazards of semi-arid and arid regions, which causes the loss of quality or the loss of a large amount of fertile soils all over the world every year, and it affects environmental, agricultural, and food security issues. The intensity of erosion is influenced by the growth and development of human activities along with land use change and resource destruction. In recent years, soil erosion in Iran has intensified due to the destruction of natural resources, and land use change has played a significant role in this process; Therefore, it is necessary to identify the areas prone to erosion and sediment yield in the internal watershed of Iran, which leads to the loss of thousands of tons of fertile soil every year, and to determine the control activities that can be adapted in these conditions. Therefore, the purpose of this study is to describe the spatial distribution of the risk of soil erosion in the Qharnaveh Watershed of Golestan Province using the CORINE model along with the geographic information system and remote sensing. The evaluation results will help prioritize critical areas adopt appropriate measures to prevent soil erosion.

Materials and Methods

The CORINE model is used to estimate and evaluate soil erosion risk. The actual soil erosion is

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: Pedram.nainava@gmail.com

Citation: Nainiva, S.P., Parichere, M., Nazarnejad, H. 2024. Use of the CORINE Model Qualitative Assessment of Soil Erosion Risk in the Qarnaveh Watershed of Golestan Province. Watershed Management Research. 37(3):2-18.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.364047.1553

Received: 16 November 2023, **Received in revised form:** 15 January 2024, **Accepted:** 18 March 2024

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp. 2-18.

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



calculated using the erodibility, erosivity, slope, vegetation cover, or land use factors in this model. The erosion of the study area was calculated using the Fournier index and dryness index for this purpose. Also, soil erodibility was estimated based on soil texture, stoniness and soil depth. Then, the erosion and erodibility maps were combined with the erosion capacity map obtained from the slope of the area and vegetation density. Finally, the real soil erosion risk map was obtained in the research area.

Results and Discussion

The results of this study indicated that 3.82% and 96.17% of the watershed were under low and moderate erosion risk, respectively, and the areas with low erosion risk were mainly located in the east of the watershed. The research findings indicated that this watershed had moderate soil loss and soil erosion potential, based on the CORINE model factors.

Conclusion and Suggestions

Therefore, according to the importance of erosion and also the location of the watershed in supplying the water of the downstream dams, it is suggested to seriously consider evaluating and planning models, make management decisions, promote, educate, and implement beneficial projects related to reducing the rate of soil movement and surface soil loss, to be a small step in reducing the rate of soil erosion and soil loss.

Keywords: CORINE model, qualitative model, remote sensing, soil loss



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

بررسی تغییرات زمانی سطح دریاچه مهارلو با استفاده از تصاویرهای ماهواره و عامل‌های مؤثر بر آن

ساره عاجی^۱، شهره دیداری^{۲*}

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲ - استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

دریاچه مهارلو در استان فارس یکی از دریاچه‌های آب شور ایران است که در فاصله ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز است و از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای این منطقه اهمیت زیادی دارد. از این رو، بررسی روند تغییرات سطح این دریاچه در دوره زمانی بلندمدت به منظور تصمیم‌گیری‌های صحیح به وسیله مدیران اهمیت ویژه‌ای دارد؛ بر این اساس در این پژوهش تغییرات زمانی سطح آب دریاچه مهارلو بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش شده آبخیز مهارلو بود. با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در طول دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۸۶ مساحت دریاچه در هر تصویر تعیین شد. سپس، روند تغییرات سطح دریاچه در این دوره با استفاده از آزمون من کندیال بررسی شد. افزون بر این، عامل‌های مؤثر بر تغییرات سطح دریاچه همچون تغییرات بارندگی، آب‌دهی ورودی به دریاچه، تراز سطح آب زیرزمینی، جمعیت و مساحت پوشش گیاهی آبخیز در این دوره آماری ارزیابی شد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که روند تغییرات مساحت دریاچه مهارلو در دوره مطالعه‌شده معنی‌دار و کاهشی (km^2/year) بود. نقطه تغییر زمانی، ماه سپتامبر ۲۰۰۷ بود و از این تاریخ به بعد کاهش شدیدی در سطح دریاچه رخ داد. همچنین، نتایج بررسی تغییرات بارش نشان داد که روند اندازه‌ی بارش منفی و بی‌معنی بود؛ هر چند که روند تغییرات آب‌دهی ورودی به دریاچه

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sh.didari@shirazu.ac.ir

استناد: عاجی، س.، دیداری، ش. ۱۴۰۳. بررسی تغییرات زمانی سطح دریاچه مهارلو با استفاده از تصاویرهای ماهواره و عامل‌های مؤثر بر آن. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۳): ۱۹-۳۴.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.363213.1549

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۴، پاییز ۱۴۰۳، صفحه‌های ۱۹ تا ۳۴.

© نویسندگان

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



و تبخیر، منفی و معنی‌دار بود. روند تغییرات جمعیت و پوشش گیاهی افزایشی و معنی‌دار بود. همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد که روند تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی در این محدوده منفی و معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که روند تغییرات سطح دریاچه مهارلو به شدت کاهش یافته بود. بررسی عوامل‌های تأثیرگذار روی سطح دریاچه نیز نشان داد هیچ‌گونه روند معنی‌داری در اندازه بارش در آبخیز به عنوان یکی از تأمین‌کننده‌های اصلی آب ورودی به دریاچه، رخ نداده است. هرچند روند تغییرات بارش معنی‌دار نبود و روند تبخیر هم کاهش یافته بود، اما روند جمعیت و پوشش گیاهی در آبخیز افزایشی بود که ناگزیر نیاز به تأمین آب بیشتر در این محدوده است. این موضوع منجر به افزایش بی‌رویه برداشت از منابع آب زیرزمینی و جریان‌های سطحی شده است. به این دلیل، روند سطح تراز آب زیرزمینی و آب‌دهی ورودی به دریاچه، کاهش یافته و معنی‌دار بود. افزون بر این، اثر متقابل این عوامل منجر به روند منفی تغییرات سطح دریاچه شد. بنابراین، با توجه به اهمیت دریاچه مهارلو در آبخیز و به منظور جلوگیری از کاهش سطح دریاچه، مدیران باید توجه زیادی به اجرای برنامه‌ریزی‌های پایداری سرزمین داشته باشند.

واژگان کلیدی: آزمون روند من‌کندال، دریاچه مهارلو، گوگل ارث انجین، لندست

مقدمه

آماري بلندمدت مشکل است. در سال‌های اخیر، معرفی موتور گوگل ارث انجین^۲ GEE، به عنوان یک پلتفرم محاسبه‌ای، به کاربران این امکان را می‌دهد تا تجزیه و تحلیل‌های جغرافیایی را در زیرساخت‌های گوگل انجام دهند. این سامانه اطلاعاتی در کمترین زمان ممکن می‌تواند بسیاری از اطلاعات منابع زمینی از جمله پیکره‌های آبی را استخراج و از نظر مکانی و زمانی تحلیل کند.

دریاچه مهارلو در استان فارس یکی از دریاچه‌های آب‌شور ایران است که در ۱۰ کیلومتری جنوب‌شرقی شیراز و در غرب دریاچه بختگان است. آب این دریاچه بسیار شور است، به شکلی که در فصل‌های خشک یکی از کانسارهای بزرگ نمک ایران به شمار می‌آید (فروغی و ابراهیم‌پور ۲۰۲۱). در سال‌های اخیر سطح آب این دریاچه کاهش یافته است. پژوهشگران پرشماری (سمیعی و همکاران ۲۰۱۷، کاظمی و همکاران ۲۰۱۶، جوادی‌پور و همکاران ۲۰۱۶، مظفری و نارنگی‌فرد ۲۰۱۵)، تغییرات سطح آب دریاچه مهارلو را بررسی و گزارش کرده‌اند که روند تغییرات سطح آب دریاچه کاهش یافته است. گفتنی است که همه این پژوهشگران برای بررسی روند تغییرات دریاچه از تعداد محدودی تصویرهای ماهواره‌ای برای تعمیم به کل دوره آماری استفاده کردند و با این اقدام ممکن است روند به درستی بررسی نشده باشد. از این رو، در این پژوهش با استفاده از تمام تصویرهای ماهواره لندست در بازه زمانی ۳۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰)، تلاش شد تا بررسی روند تغییرات سطح دریاچه با دقت زیاد بررسی شود. همچنین عوامل‌های مؤثر بر تغییرات سطح دریاچه از جمله بارندگی، تغییرات سطح ایستابی چاه‌های پیرامون دریاچه، تغییرات پوشش گیاهی آبخیز و جمعیت بررسی شد.

دریاها و دریاچه‌های فصلی و دائمی از مهم‌ترین منابع تأمین آب در جهان هستند. عامل‌های بسیاری سبب کاهش مساحت بسیاری از تالاب‌های در سراسر جهان شده است. از جمله این عوامل می‌توان به افزایش جمعیت، استفاده از آب در بالادست، سدسازی، انحراف آب، بیابان‌زایی، تغییرات آب و هوایی و سیاست‌های نادرست تخصیص آب اشاره کرد (وینتر و همکاران ۲۰۰۱، گارسیا و سیفارد ۲۰۰۱). از این رو، در سراسر دنیا پژوهش‌های بسیاری در زمینه بررسی تغییرات پهنه آبی کره زمین انجام شده است (سومیا و همکاران ۲۰۲۰، کیائو و همکاران ۲۰۱۹، وانگ و همکاران ۲۰۱۹). برای اجرای این پژوهش‌ها، نیاز به شناسایی پهنه آبی است. یکی از روش‌های متداول تعیین پهنه‌های آبی، استخراج سطح آب با استفاده از شاخص‌های محاسبه‌شده بر اساس داده‌های چند طیفی ماهواره‌ای و در نظر گرفتن یک حد آستانه برای شاخص‌های مزبور است. این روش‌ها در مقایسه با روش‌های طبقه‌بندی ساده‌تر است و دقت کافی دارند. (خسروی و همکاران ۲۰۱۹). شاخص‌های گوناگونی برای تشخیص پهنه‌های آبی پیشنهاد شده است و پژوهشگران بسیاری عملکرد آن‌ها را در مناطق مختلف ارزیابی کرده‌اند. یکی از شاخص‌های استفاده‌شده در بسیاری از این پژوهش‌ها، شاخص بهنجارسازی شده آب NDWI^۱ است که عملکرد مناسبی دارد (ونگ و همکاران ۲۰۱۸، پکل و همکاران ۲۰۱۶، سارپ و اوزچلیک ۲۰۱۷).

یکی از چالش‌های بررسی روند تغییرات سطح دریاچه‌ها، دسترسی به تصویرها با دوره آماری کافی است. ماهواره لندست می‌تواند با تهیه تصویرهای با دوره آماری بلندمدت امکان بررسی روند تغییرات دریاچه‌ها را فراهم آورد. هر چند که بررسی حجم زیاد این تصویرها و پردازش آن‌ها در دوره

1 - Normalized Difference Water Index

2- Google Earth Engine (GEE)

مواد و روش‌ها

دریاچهٔ مهارلو میان طول‌های جغرافیایی $36^{\circ} 43'$ و $36^{\circ} 52'$ و $37^{\circ} 04'$ طول شرقی و عرض‌های جغرافیایی $29^{\circ} 36'$ و $29^{\circ} 58'$ شمالی محدود شده است. طول این دریاچه ۲۸ کیلومتر، پهنای آن ۱۵ - ۱۰ کیلومتر است. مساحت این دریاچه ۲۷۵ کیلومترمربع است که شامل دریاچهٔ فعلی، پوشش نمکی و پوشش گلی است (کاظمی و همکاران ۲۰۱۹). سه رود فصلی نظرآباد، چناراهدار و رود خشک، دریاچهٔ مهارلو را تغذیه می‌کنند (سمیعی و همکاران ۲۰۱۷). گفتنی است نمی‌توان این دریاچه را به‌دلیل تداوم نداشتن تغذیه و تبخیر بسیار زیاد ناشی از کم‌ژرف بودن و گسترده‌گی سطح، یک دریاچهٔ دائمی به‌شمار آورد. در سال‌های کم‌باران به‌دلیل کمبود سیلاب‌های سطحی و زه‌آب‌های دشت، اندازهٔ آب دریاچه به‌شدت کاهش یافته است و گاهی این وضعیت به خشکی دریاچه منجر می‌شود. میانگین سطح دریاچه ۱۷۵ کیلومترمربع است و بیشترین سطح آب آن نیز ۲۵۰ کیلومترمربع است. همچنین میانگین ژرفای آن ۵۵/۰ متر است که و ژرف‌ترین بخش آن ۳ متر است (قهرودی و همکاران ۲۰۱۲).

ایستگاه همدید شیراز یا عرض جغرافیایی $20^{\circ} 52'$ و



Figure 1- Geographical Location and Hydrometric Stations and Piezometric Wells of Maharlou Basin.

جدول ۱- تعداد و طول دوره آماری چاه‌های مشاهده‌ای آبخیز مهارلو.

Table1- The number and length of the statistical period of piezometric wells in the Maharlou.

Sub-Basin	Number of Well	Period
Shiraz	29	Mar1993-Sep2020
Geshnegan	5	Aug2010-Sep2020
Sarvestan	24	Mar1991-Sep2020

داده‌های سنجش از دور ماهواره لندست

ماهواره لندست دستاورد مشترک سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا^۳ USGS و اداره ملی هوا و فضا NASA^۴ است. در این پژوهش از ماهواره‌های لندست گروه ۵، ۷ و ۸ استفاده شد. ماهواره لندست زمین را در بلندی ۷۰۵ کیلومتر در یک مسیر ۱۸۵ کیلومتری طی می‌کند و از شمال به جنوب از سطح آفتابی زمین در یک مدار همگام با آفتاب حرکت می‌کند و هر ۱۶ روز یکبار، هر نقطه از زمین را پوشش می‌دهد.

اطلاعات تصویرهای استفاده‌شده در این پژوهش در جدول ۲ نشان داده شده است. در این پژوهش از داده‌های بازتاب سطحی^۵ SR تصاویرهای لندست از مسیر ۱۶۲ و ۱۶۳ ردیف ۴۰ و ۳۹ استفاده شد. گفتنی است بر اساس نتایج پژوهش‌های مانسینو و همکاران (۲۰۲۰) و از آنجایی که خطای راه‌راه‌شدگی لندست ۷ اثر معنی‌داری در محاسبه شاخص‌های استفاده‌شده در این پژوهش نداشت، به این دلیل تصحیحی انجام نشد.

جدول ۲- داده‌های استفاده‌شده ماهواره لندست در این پژوهش.

Table2- Landsat Satellite data used in this research.

Period	LANDSAT 5		LANDSAT 7	LANDSAT 8
	Mar 1984 - May 2013		Jan 1999 - Dec 2020	Apr 2013 - Dec 2020
Resolution (Day)	16		16	16
Resolution (m)	30		30	30
Sensor	TM		+ETM	OLI/TIRS
Band and Wave Length (μm)	Green	B ₂ : 0.52-0.6	B ₂ : 0.52-0.6	B ₃ : 0.533-0.590
	NIR	B ₄ : 0.77-0.9	B ₄ : 0.77-0.9	B ₅ : 0.851-0.879
	Red	B ₃ : 0.63-0.69	B ₃ : 0.63-0.69	B ₄ : 0.63-0.69
Image Number	170		320	345
Sum			835	

روش پژوهش

به‌منظور تعیین تغییرات زمانی مساحت دریاچه از شاخص NDWI و باندهای سبز و مادون‌قرمز تصاویرهای ماهواره لندست استفاده شد و سطح دریاچه در هر تصویر با استفاده از آستانه‌گذاری روی اندازه شاخص محاسبه‌شده، تعیین شد (جاو ۱۹۹۶).

$$NDWI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{NIR}}{\rho_{GREEN} + \rho_{NIR}} \quad (1)$$

ρ_{GREEN} و ρ_{NIR} : به ترتیب باندهای سبز و مادون‌قرمز در ماهواره لندست است. به منظور تعیین حد آستانه NDWI برای جداسازی پهنه آبی در هر گروه لندست یک تصویر مبنای در نظر گرفته شد. سپس از آن تعدادی نمونه از طبقه‌های آب و غیر آب برداشت شد. سرانجام با استفاده از روش طبقه‌بندی نزدیکترین همسایه، با تغییر در حد آستانه و تعیین ماتریس خطا، برای هر حد آستانه‌گذاری سنج‌های دقت (کاپا و دقت کلی) برآورد شد.

سرانجام اندازه‌هایی که بیشترین دقت را در هر گروه داشتند به‌عنوان مبنای عمل برای جداسازی پهنه آبی دریاچه استفاده شدند. حد آستانه نهایی بر اساس تفاوت طول موج باندها در گروه‌های مختلف لندست تعیین شد. در لندست گروه ۵ و ۷ حد آستانه نهایی ۰/۰۵۵ و در لندست گروه ۸ این اندازه ۰/۰۶ تعیین شد. سپس، کدی برای جداسازی سطح آب دریاچه و محاسبه مساحت آن در هر تصویر با حاصل ضرب مساحت هر پیکسل در تعداد پیکسل‌های بزرگ‌تر از حد آستانه نوشته شد و در سامانه پردازشگر GEE اجرا شد. به این ترتیب گروه زمانی ۳۵ ساله برای تغییرات سطح دریاچه به‌دست آمد. افزون بر این، عامل‌های مؤثر بر سطح آب دریاچه شامل روند زمانی بارش و جریان‌های ورودی به رود به‌عنوان منابع اصلی تأمین آب دریاچه، سطح تراز آب زیرزمینی، تغییرات پوشش گیاهی در منطقه، جمعیت و تبخیر که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم روی سطح دریاچه مؤثرند، ارزیابی شدند.

3 - United States Geological Survey

4 -National Aeronautics and Space Administration

5 - Surface Reflectance

در سال در بازه زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۶ است. پس از انجام آزمون پتیت و بررسی نقطه تغییر نمودار سری زمانی، مشاهده شد که این نقطه در تاریخ سپتامبر سال ۲۰۰۷ رخ داده است. همچنین، بررسی روند تغییرات در قبل و بعد از نقطه تغییر نشان داد که یک کاهش بسیار شدید در مساحت دریاچه بعد از نقطه تغییر رخ داده است. هر چند که شیب نمودار بعد از نقطه تغییر به شکل افزایشی بود اما این نرخ افزایش شیب نسبت به دوره قبل از نقطه تغییر ۰/۲ برابر شده بود که در شکل ۲ نشان داده شده است. افزایش شیب در سال‌های ۱۹۸۶ تا سپتامبر ۲۰۰۷ به اندازه ۰/۵۶ کیلومتر مربع در سال بود و در سال‌های ۲۰۰۷ تا پایان ۲۰۲۰ به اندازه ۰/۰۹۶ کیلومتر مربع در سال بود.

دلیل افزایش شیب بعد از نقطه تغییر در دریاچه را می‌توان به اثر ورود پساب تصفیه‌شده شهر شیراز بعد از تأسیس تصفیه خانه دانست که تقریباً به شکل پیوسته آب وارد دریاچه می‌شود؛ هرچند این موضوع به دلیل نبود ایستگاه آب‌سنجی بعد از مکان تصفیه‌خانه، امکان بررسی نداشت و برای تأیید آن باید از داده‌های آب‌دهی خروجی تصفیه‌خانه شیراز استفاده شود. از آنجایی که در سال ۲۰۰۷ تغییر ویژه‌ای مانند ساخت سد در شرایط آبخیز ایجاد نشده است، می‌توان دلیل رخداد مزبور را مجموعه عامل‌های مؤثر بر سطح دریاچه دانست که اثر متقابل آن‌ها در این زمان معنی‌دار شد. نتایج پژوهش محمدزاده‌هابیلی و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی روند زمانی رود شاپور با این یافته‌ها هماهنگی دارد. این پژوهشگران نیز گزارش کردند که در نقطه تغییر آب‌دهی رود شاپور در سال ۲۰۰۶ کاهش ناگهانی مشاهده شده است.

عامل‌های گوناگونی می‌تواند در رخداد این روند نزولی مؤثر باشد. یکی از این عامل‌ها کاهش ورودی‌ها در اثر کاهش بارش است. به‌منظور بررسی این فرضیه روند بارش به‌دست‌آمده از داده‌های ماهانه و سالانه ایستگاه همدید شیراز ارزیابی شد. نتایج این ارزیابی نشان داد که هر چند در هر دو مقیاس سالانه و ماهانه روند کاهشی بود، اما این روند با استفاده از آزمون من‌کندال با ضریب اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار نشد. بنابراین، نمی‌توان گفت که کاهش بارش عامل مؤثری بر روند کاهشی سطح دریاچه است (شکل ۳).

یکی از عامل‌های اثرگذار بر تغییرات سطح دریاچه، می‌تواند جریان‌های ورودی به آن باشد. نتایج بررسی تغییرات آب‌دهی رودهای ورودی به دریاچه در ایستگاه‌های آب‌سنجی با استفاده از آزمون من‌کندال نشان داد روند اندازه آب‌دهی در ایستگاه‌های آب‌سنجی پل فسا و اقبال‌آباد معنی‌دار و کاهشی بود (شکل ۴). بنابراین، نبود روند معنی‌دار در بارش ایستگاه همدید شیراز، نشان‌دهنده کاهش ورودی به دریاچه به دلیل افزایش

پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از مصرف‌کنندگان آب مطرح است و چگونگی تغییرات آن می‌تواند در تحلیل نتایج مؤثر باشد. از این رو، برای تعیین تغییرات پوشش گیاهی منطقه (آبخیز مهارلو شامل زیرآبخیزهای شیراز، گشنگان و سروستان)، از شاخص بهنجارسازی‌شده پوشش گیاهی $NDVI^6$ استفاده شد و سطح پوشش گیاهی در هر تصویر با حد آستانه ۰/۲ تعیین شد (الدوسکی ۲۰۱۳).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (2)$$

به‌منظور بررسی روند تغییرات زمانی از آزمون ناپارامتریمن کندال استفاده شد (کندال ۱۹۹۵). همچنین، در شرایط معنی‌داری روند تغییرات زمانی، نقطه تغییر روند^۷ با استفاده از روش ناپارامتری پتیت^۸ ارزیابی شد (پتیت ۱۹۷۹). رابطه میان سطح تراز آب زیرزمینی و مساحت دریاچه با استفاده از محاسبه ضریب تعیین (R^2)، میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) و میانگین مجذور مربعات خطای بهنجارسازی‌شده (NRMSE) تعیین شد (رابطه‌های ۳ تا ۵).

$$MBE = \frac{\sum(X_i - Y_i)}{n} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{Y}_i} \quad (5)$$

نتایج و بحث

مساحت محاسبه‌شده دریاچه بر اساس حد آستانه بهینه شاخص NDWI بر حسب کیلومتر مربع در شکل ۲ نشان داده شده است. برای بررسی روند دوره آماری از آزمون من‌کندال در سطح معنی‌داری ۹۵٪ استفاده شد. نتایج تحلیل تغییرات مساحت دریاچه مهارلو بیانگر کاهش سطح دریاچه در بازه سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ بود. نتایج این پژوهش نشان داد که روند تغییرات سطح دریاچه بسیار شدید ($P_{value} \leq 0/05$) و کاهشی است. کاظمی و همکاران (۲۰۱۹) روند تغییرات سطح دریاچه را در ماه‌های فروردین و شهریور سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۰ و ۱۳۹۲ بررسی کردند. این پژوهشگران گزارش کردند که سطح دریاچه در شهریورماه و فروردین‌ماه به ترتیب ۸۲٪ و ۲۰٪ کاهش داشت. در پژوهش دیگری جوادپور و شاد (۲۰۱۶) در بازه زمانی ۱۰ ساله کاهش سطح آب دریاچه مهارلو را گزارش دادند. شکل ۲، بیانگر شیب تغییرات سطح دریاچه مهارلو به اندازه ۳ کیلومتر مربع

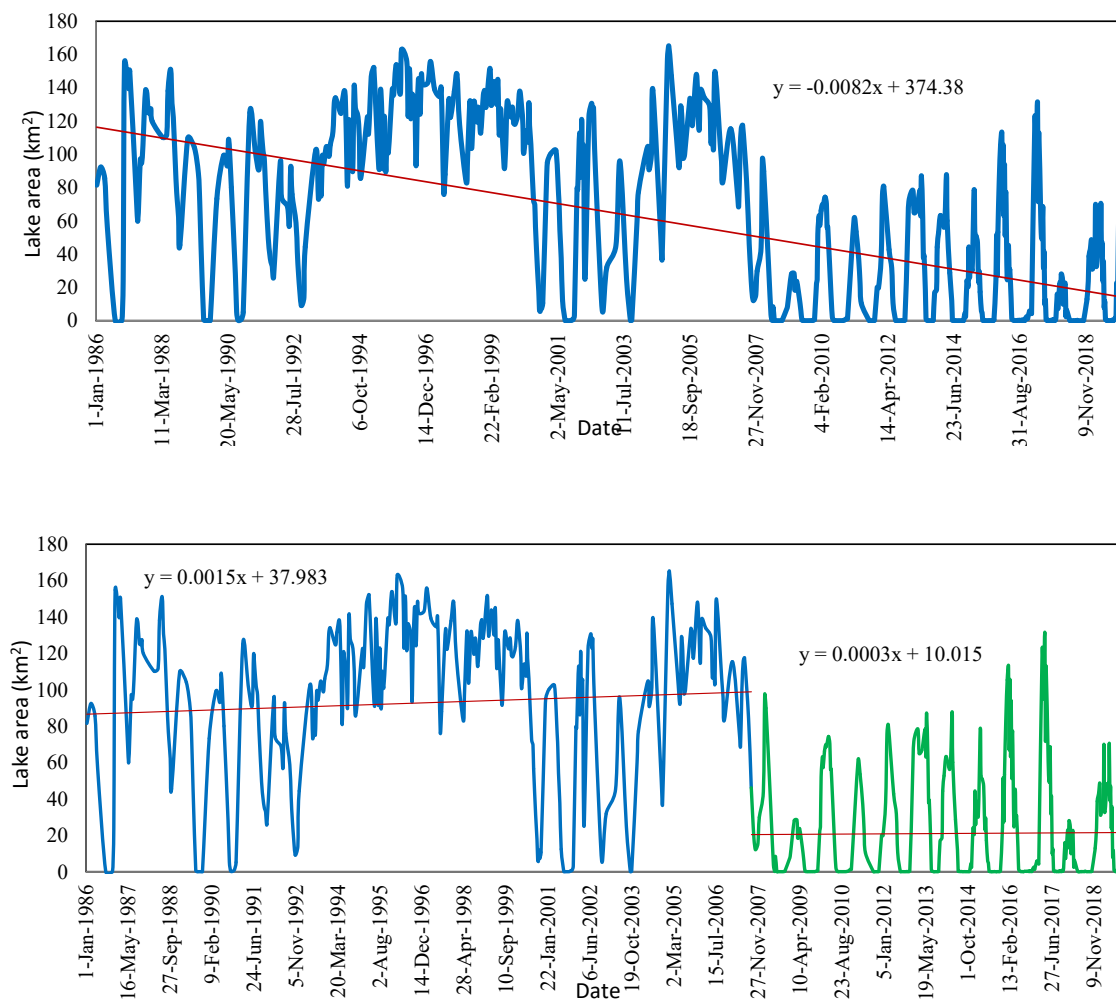
6- Normalized Difference Vegetation Index

7 - Change Point

8 - Pettitt

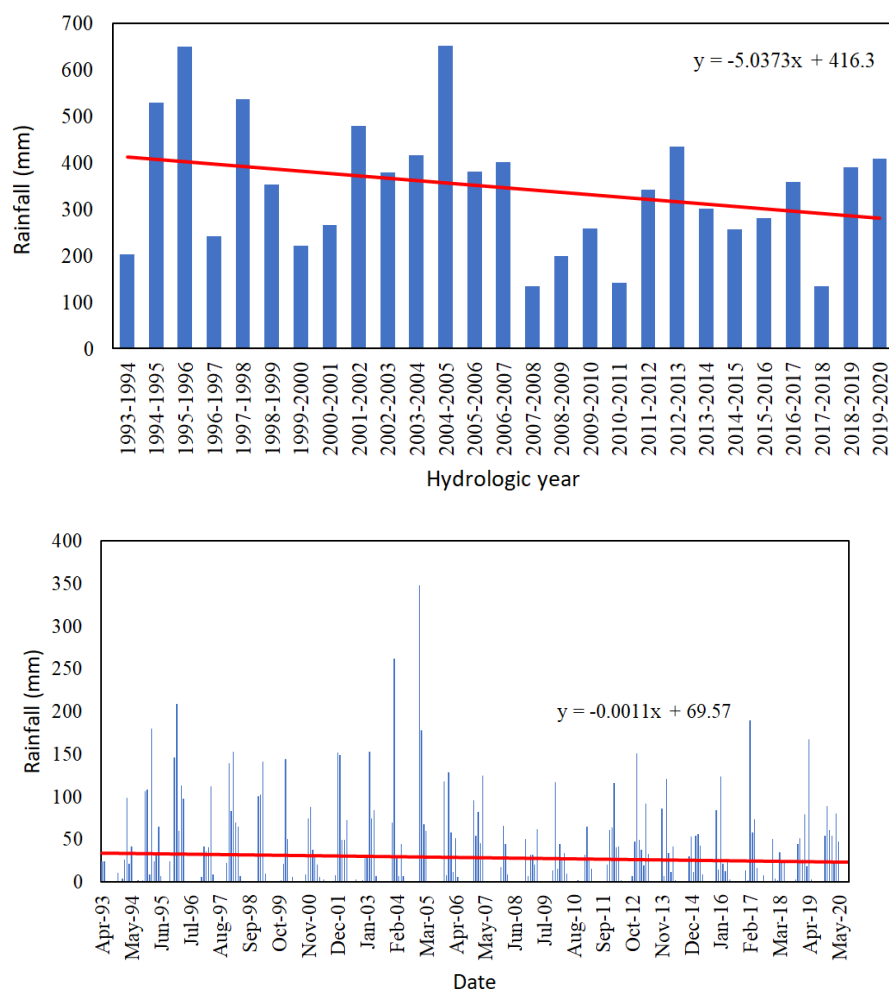
تغییرات پوشش گیاهی در آبخیز نیز به‌عنوان یک کاربری آبربر می‌تواند بر منابع آبی موجود در آبخیز اثرگذار باشد. از این رو، تغییرات پوشش گیاهی در آبخیز بررسی شد و مساحت آن در کل آبخیز با استفاده از شاخص NDVI در طول دوره آماری در هر تصویر استخراج شد. نتایج تغییرات زمانی پوشش گیاهی آبخیز مهارلو در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج بیانگر افزایش معنی‌دار سطح پوشش گیاهی بود.

برداشت در بالادست آن بود. یکی دیگر از سنجه‌های مؤثر بر تغییرات سطح آب دریاچه، می‌تواند اندازه تبخیر از سطح دریاچه باشد. از این رو، روند تغییرات سالانه تبخیر در ایستگاه همدید شیراز که نزدیک‌ترین ایستگاه به دریاچه مهارلو بود، بررسی شد. نتایج این بررسی بیانگر کاهش تبخیر سالانه این ایستگاه با نرخ ۱۸/۴۷ میلی‌متر در سال در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۲۰ بود ($P\text{-Value} \leq 0/05$) (شکل ۵).



شکل ۲- تغییرات زمانی مساحت دریاچه مهارلو و نقطه تغییر آن.

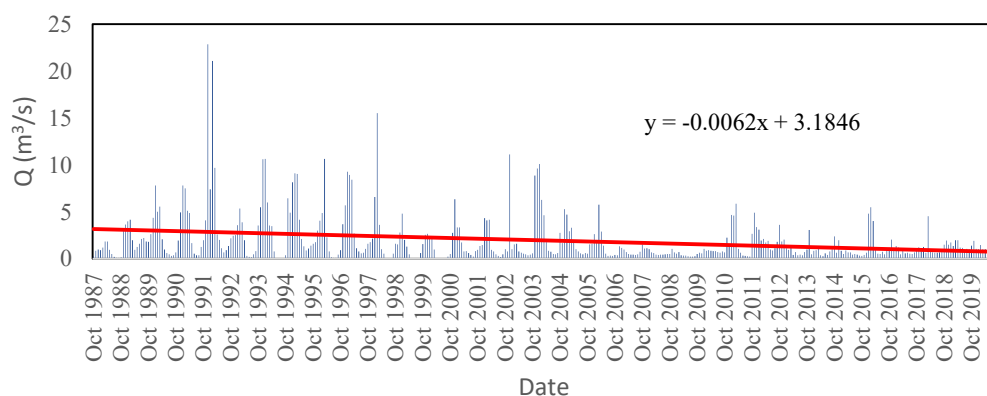
Figure 2- Time series of changes in the area of Maharlou Lake and its change point.



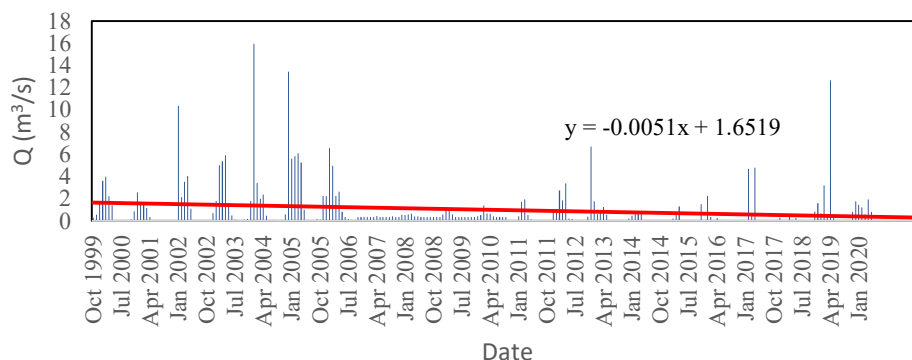
شکل ۳- تغییرات زمانی و روند تغییرات بارندگی در زیرآب‌خیز شیراز در بازه‌ی سال‌های (۱۹۹۳-۲۰۲۰) در مقیاس سالانه (بالا) و مقیاس ماهانه (پایین).

Figure3- Time series and trend of rainfall changes in the Shiraz Sub-basin in the period of (1993-2020) on an annual scale (top) and on a monthly scale (bottom).

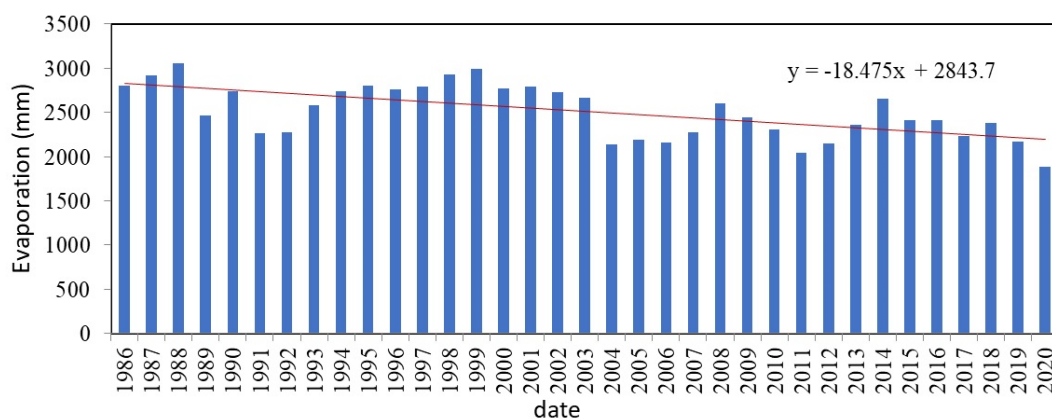
Fasa Bridge



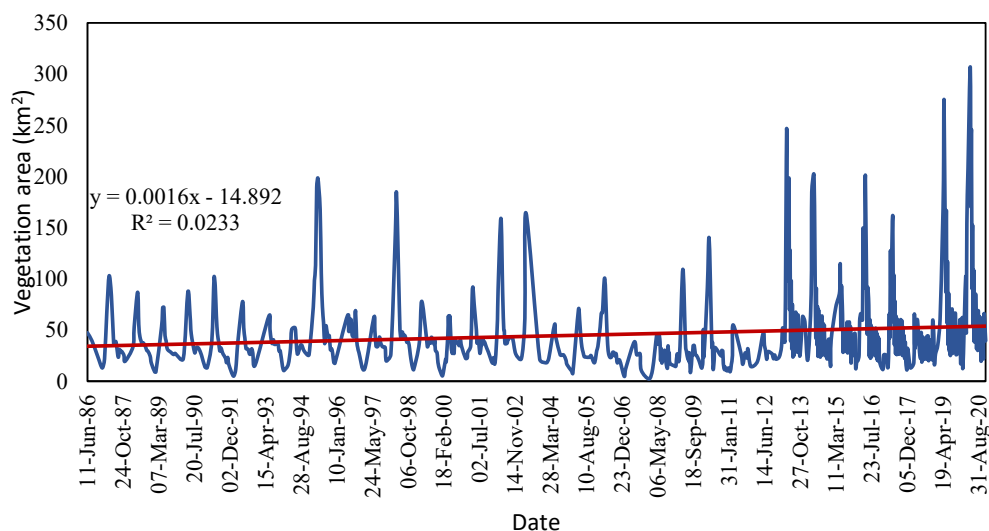
Iqbal Abad



شکل ۴- تغییرات زمانی اندازه آبدهی ایستگاه های آبسنجی پل فسا (بالا) و اقبال آباد (پایین).
Figure6- Time series of streamflow changes at hydrometric stations of Fasa Bridge (top) and Iqbal Abad (bottom).



شکل ۵- تغییرات زمانی تبخیر سالانه در ایستگاه همدید شیراز.
Figure 5- Time series of evaporation at Shiraz synoptic station.



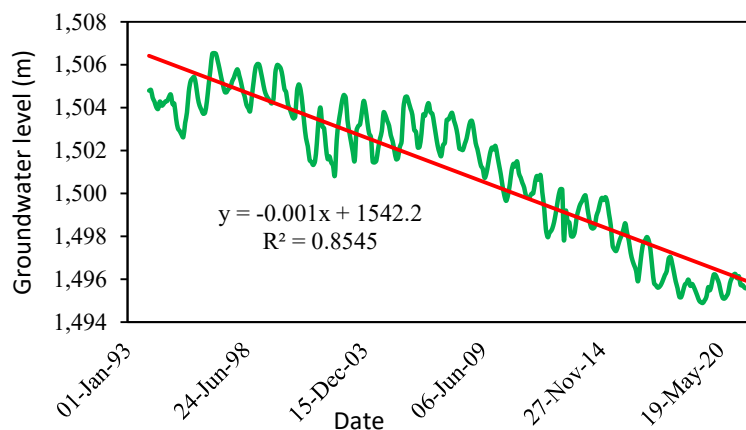
شکل ۶- تغییرات زمانی پوشش گیاهی آبخیز مهارلو.
Figure6- Time series of changes in the area of vegetation and its change point.

شد و بر این اساس می‌توان گفت که در زیرآبخیز شیراز نقطه تغییر تراز آب زیرزمینی در فوریه سال ۲۰۰۹ رخ داده است. در هر دو دوره روند تغییرات تراز سطح ایستابی کاهش بود، اما کاهش شیب نمودار مربوطه بعد از نقطه تغییر ۳/۷۵ برابر شده است.

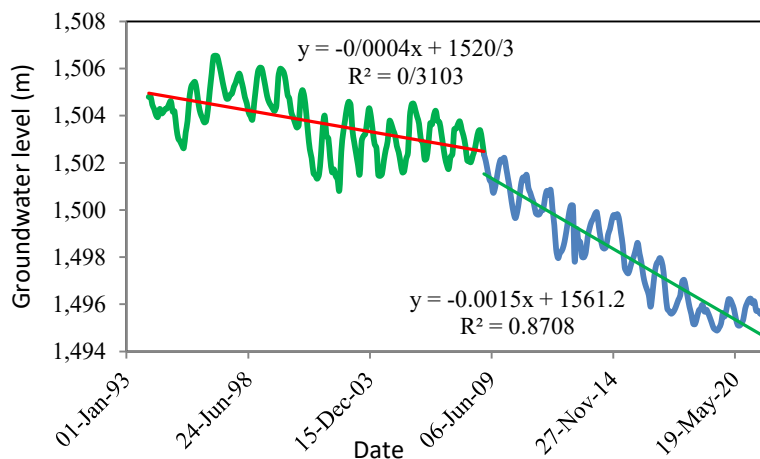
در زیرآبخیز سروستان نقطه تغییر در ماه می سال ۲۰۰۷ رخ داده است. در این زیرآبخیز نیز روند تغییرات زمانی در قبل و بعد از نقطه تغییر کاهش بود. همچنین در این زیرآبخیز کاهش شیب نمودار مربوطه بعد از نقطه تغییر ۲ برابر شده است. سرانجام در زیرآبخیز گشنگان نقطه تغییر در ماه فوریه سال ۲۰۱۵ رخ داده است و کاهش روند تغییرات زمانی سطح تراز ایستابی بعد از نقطه تغییر ۰/۸۵ برابر شده است. بر این اساس می‌توان دو عامل کاهش شیب بعد از نقطه تغییر در زیرآبخیز گشنگان که محل دریاچه است را یکی تغذیه آب زیرزمینی در این ناحیه به وسیله خود دریاچه و دیگری ورود پساب تصفیه شده شهر شیراز به این زیرآبخیز دانست. افزون بر این، به دلیل یکسان نبودن تعداد سال‌های آماری در هر زیرآبخیز، نقاط تغییر آن‌ها با یکدیگر

در سال‌های گذشته با توجه به اینکه سطح تراز آب در بخش‌های جنوبی و جنوب‌شرقی شهر شیراز بالا بوده است، همواره به عنوان یکی از منابع تغذیه‌کننده دریاچه مهارلو به‌شمار می‌رفته است (احمدی و همکاران ۲۰۱۹). در سال‌های اخیر، دسترسی و بهره‌برداری آسان از منابع آب‌های زیرزمینی باعث افزایش قابل‌توجه اندازه برداشت از این منابع شده است. با توجه به محدودیت منابع آب سطحی، برداشت از منابع آب زیرزمینی بیش از حد مجاز بوده است و بر منابع آب سطحی تأثیر چشم‌گیری داشته است. از این‌رو، تغییرات تراز آب زیرزمینی می‌تواند منجر به تغییرات سطح دریاچه شود. به‌منظور بررسی این موضوع نخست تغییرات زمانی تراز آب زیرزمینی به‌دست‌آمده از میانگین وزنی چاه‌های مشاهده‌ای در هر زیرآبخیز بررسی شد. نتایج در هر یک از زیرآبخیزهای دریاچه مهارلو در شکل ۷ نشان داده شده است. داده‌ها با استفاده از آزمون من-کندال ارزیابی شد و مشاهده شد که روند در تمام زیرآبخیزها در سطح اطمینان ۹۵٪ منفی و معنی‌دار بود. همچنین با استفاده از آزمون پتیت نقطه تغییر تراز آب زیرزمینی در زیرآبخیزهای مهارلو مشخص

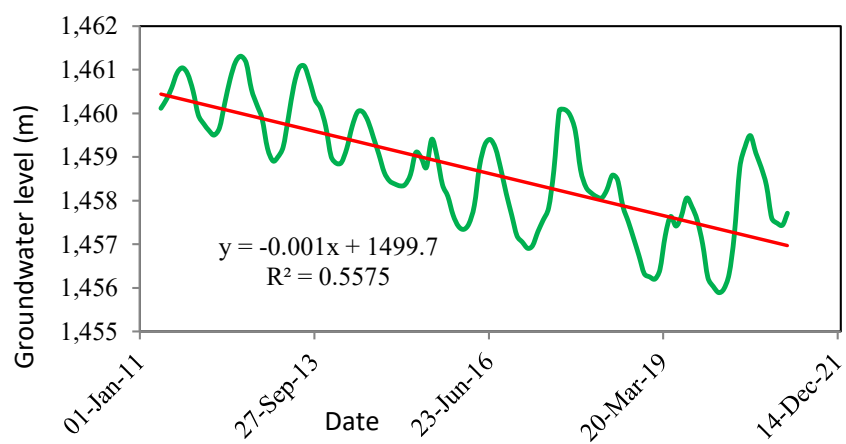
a₁



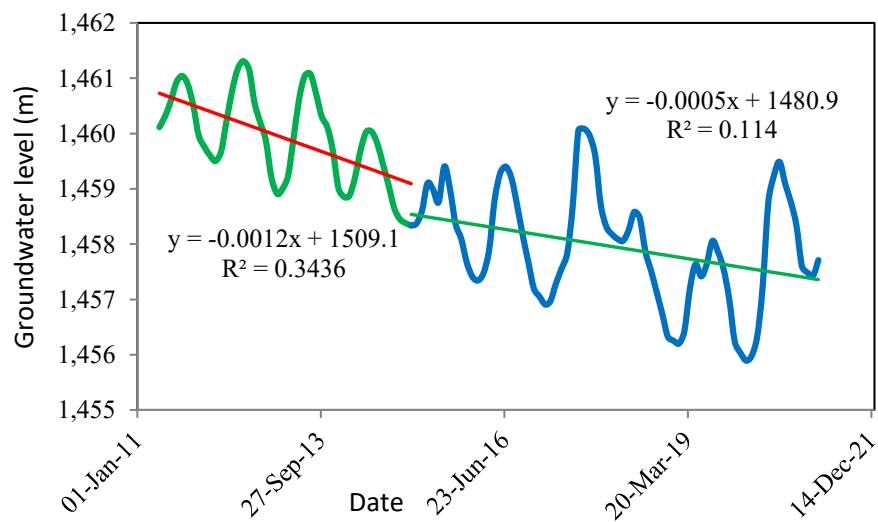
a₂



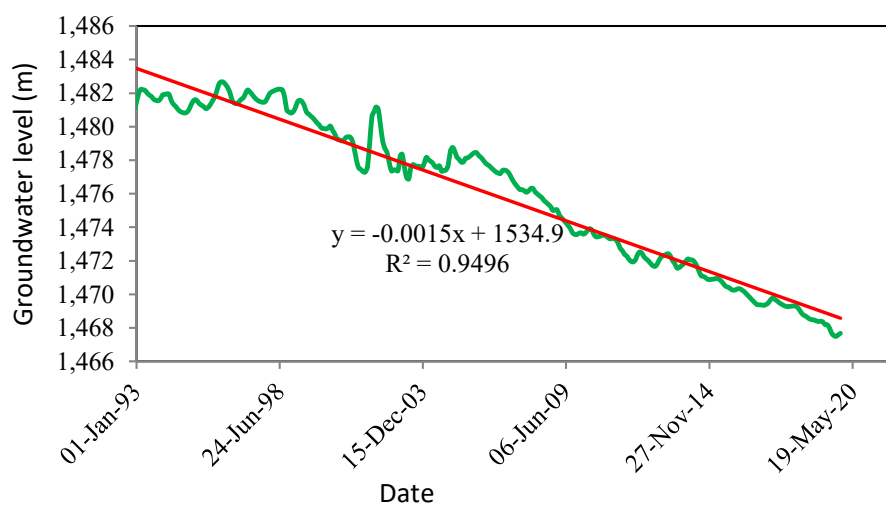
b1

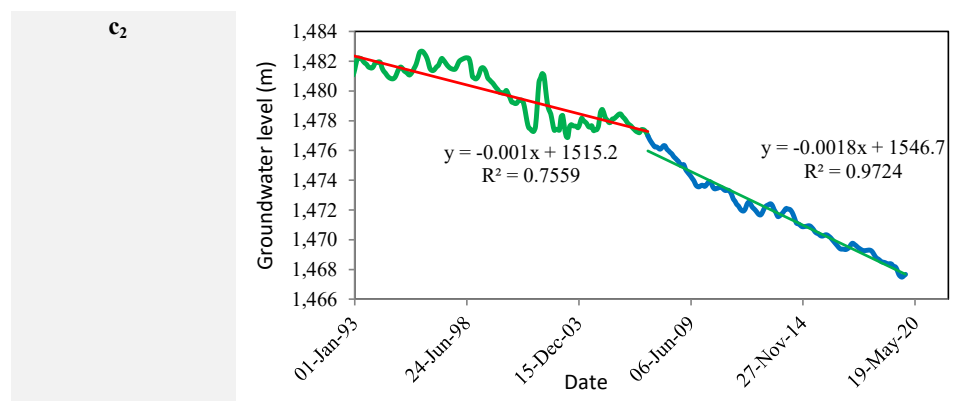


b2



c1





شکل ۷ - تغییرات زمانی و روند تغییرات سطح ایستابی در کل دوره آماری (زیروندهای با شماره ۱)، قبل و بعد از نقطه تغییر در زیرآبخیز شیراز (a)، زیرآبخیز گشنگان (b) و زیرآبخیز سروستان (c) (زیروندهای با شماره ۲).

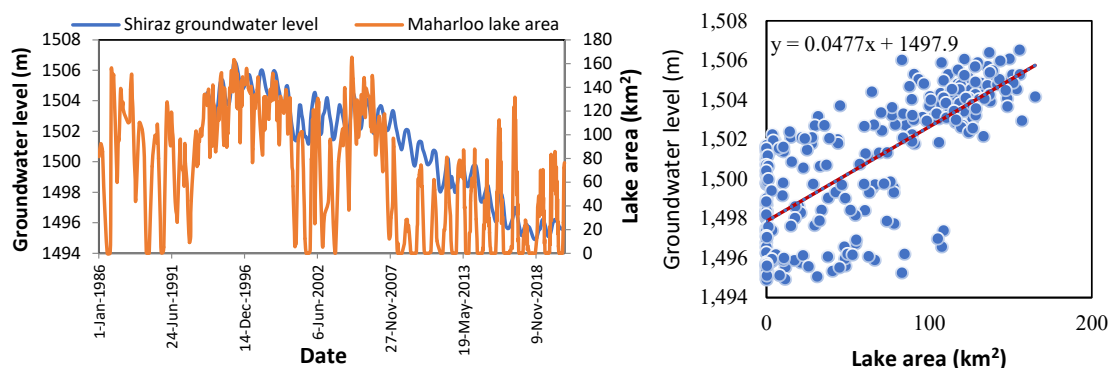
Figure 7- Time series and trend of water level changes in the entire statistical period (Underneath 1), before and after the change point in Shiraz Basin (a), Geshengan Basin (b) and in Sarvestan Basin (c) (Underneath 2).

داد که افزایش پوشش گیاهی منطقه و محدودیت جریان‌های ورودی به دریاچه منجر به روند کاهشی سطح دریاچه مهارلو شد. نتایج این پژوهشگران با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است.

برداشت بیش از تغذیه در زیرآبخیز شیراز دلیل مهم کاهش سطح آب زیرزمینی است. نوشادی و احدی (۲۰۲۰) در دوره آماری ۱۳۷۲-۱۳۹۶ مشاهده کردند هرچند که روند شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده معنی‌دار نبود، در شاخص آب زیرزمینی، خشک‌سالی آب-شناختی حادی مشاهده شد. این یافته با نتایج پژوهش‌های ابوزکی و همکاران (۲۰۱۹)؛ رحیم‌زاده و انتظاری (۲۰۱۹)؛ ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۲) در بسیاری از آبخیزهای مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، هم‌راستا است. رابطه میان کاهش ژرفای سطح ایستابی و اثر آن بر سطح دریاچه در زیرآبخیز شیراز در یک نمودار در مقابل هم رسم شد (شکل ۸).

قابل مقایسه نبودند و تحلیلی هم روی این موضوع انجام نشد. در دهه‌های گذشته با استفاده از نتایج سرشماری ۱۹۸۶-۲۰۱۶، اثر جمعیت بر کاهش روند سطح آب دریاچه بررسی شده است. در این پژوهش نتایج بررسی اثر جمعیت نشان داد که افزایش جمعیت در شهر شیراز بسیار شدید و از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۱۶ جمعیت ۸/۵ برابر شده است.

بنابراین، از یک‌سو افزایش جمعیت منطقه و از سوی دیگر محدودیت منابع آب در دسترس و همچنین افزایش پوشش گیاهی منطقه، تأمین نیاز آبی منجر به افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی شده است. نتایج پژوهش مزیدی و نارنگی‌فرد (۲۰۱۵) نشان داد که افزایش جمعیت منجر به تغییر کاربری زمین‌ها و کاهش نفوذ آب در مناطق شهری شد و این موضوع سبب شد تا تغذیه آب‌های زیرزمینی از راه نفوذ عمقی با مشکل مواجه شود. کاظمی و همکاران (۲۰۱۸) نیز عامل‌های اقلیمی مؤثر بر تغییرات دریاچه مهارلو را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان



شکل ۸ - مقایسه تغییرات زمانی سطح دریاچه مهارلو و سطح آب زیرزمینی در زیرآبخیز شیراز (چپ)،

رابطه خطی میان آنها (راست).

Figure 8- Comparison of surface area and piezometric level in Shiraz Basin (Left), trend line of them (Right).

جدول ۳- سنج‌های ارزیابی آماری رابطه خطی میان سطح آب دریاچه و سطح آب زیرزمینی.

Table3- Statistical parameters of surface area and piezometric level.

Statistic parameters		Shiraz sub basin
MBE(m)		0.041
RMSE(m)		2.25
NRMSE(%)		1.5
R ²		0.74
P-Value	Intercept	0
	Slope	2.1e-48

سامانه GEE انجام شد. افزون بر این، عامل‌های مؤثر بر روند تغییرات سطح دریاچه نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که روند تغییرات سطح دریاچه معنی‌دار و کاهشی بود و در سال‌های اخیر این روند به شدت کاهش یافته است. بررسی عامل‌های مؤثر بر سطح دریاچه نشان داد که روند اندازه بارش در آبخیز به عنوان تأمین‌کننده اصلی آب ورودی به دریاچه، معنی‌دار نبود.

روند جریان‌های ورودی به دریاچه در هر دو ایستگاه آب‌سنجی قبل از دریاچه کاهشی بود. این یافته بیانگر استفاده از جریان‌های آب سطحی در بالادست است. افزون بر این، بررسی‌ها نشان داد که افزایش جمعیت و افزایش پوشش گیاهی در آبخیز به دلیل نبودن منابع آب سطحی، منجر به افزایش چشم‌گیر برداشت از منابع آب زیرزمینی شده است. همچنین، کاهش تغذیه آب زیرزمینی به دلیل تغییر کاربری زمین‌ها و افزایش بی‌رویه استفاده از منابع آب زیرزمینی سبب کاهش شدید سطح ایستابی در آبخیز شد. رابطه میان کاهش سطح دریاچه و تراز آب زیرزمینی یک رابطه خطی و مستقیم بود به شکلی که کاهش سطح تراز آب زیرزمینی منجر به کاهش سطح دریاچه نیز شد. این یافته را می‌توان به دلیل نقش تغذیه‌کنندگی دریاچه برای آب زیرزمینی دانست. از این رو، ادامه این روند می‌تواند مشکلات بسیاری در زیرآب‌خیز شهر شیراز به وجود آورد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در این آبخیز مدیران تصمیم‌گیرنده با انجام اقدام‌های مؤثر در تعادل بخشی وضعیت آبخوان از خسارت‌های ناشی از کاهش سطح آب زیرزمینی و سطح دریاچه بکاهند.

بررسی روند تغییرات سطح دریاچه و سطح آب زیرزمینی نشان داد که رابطه خطی میان این دو عامل قوی و معنی‌دار ($NRMSE < 5\%$) بود و براساس سنج‌های آماری ارائه شده در جدول ۳ و شکل ۸ این رابطه کاملاً به شکل همگون در حال تغییر است (جامیسون و همکاران ۱۹۹۱). این یافته‌ها بیانگر آن است که کاهش سطح آب زیرزمینی اثر مستقیمی بر سطح دریاچه دارد. به بیان دیگر برداشت‌های بی‌رویه، سبب کاهش شدید سطح آب زیرزمینی شده است، و از آنجایی که دریاچه نقش تغذیه‌کننده آب زیرزمینی را دارد باعث کاهش سطح دریاچه نیز می‌شود. هرچند که به دلیل نبودن تطابق میان منابع تغذیه‌کننده آب زیرزمینی و برداشت‌های بیش از حد مجاز، بیلان نهایی آبخوان همچنان منفی بود و تغذیه به وسیله دریاچه نیز کمکی به بهبود شرایط نکرد. این یافته با افزایش شوری آب‌چاه‌های پیرامون دریاچه که در پژوهش‌های پرشماری به آن اشاره شده است، کاملاً همخوانی دارد (جهان‌شاهی و زارع ۲۰۱۶، سامانی و همکاران ۲۰۲۰).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با هدف بررسی تغییرات بلندمدت (۱۹۸۶-۲۰۲۰) سطح دریاچه شور مهارلو در نزدیکی شهر شیراز انجام شد. از این رو، از تصویرهای ماهواره لندست که دقت مکانی زیادی (۳۰ متر) داشتند، استفاده شد. سپس، از شاخص NDWI برای جداسازی پهنه‌های آبی استفاده شد. پردازش‌ها نیز در بستر

فهرست منابع

- Abou Zaki N, Torabi Haghighi AM, Rossi P, Tourian M, Kløve B. 2019. Monitoring ground water storage depletion using gravity recovery and climate experiment (GRACE) data in Bakhtegan Catchmen. *Iran Water*, 11(7):1456. <https://doi.org/10.3390/w11071456>
- Ahmadi M, Zarghami M, Hasanzadeh Y. 2019. Dynamic model to evaluate the water supply problems of green space in Shiraz. *Water Resources Engineering*, 11(39): 101-114 (In Persian).
- Ebrahimi A, Nazemosadat S, Motamedvaziri B, Ahmadi H. 2021. Land use-land cover change and its relationships with the groundwater table and the Plants' Altitudinal Zones: A case study of Arsanjan County, Iran. *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering*, 45(3):1891-1907. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00482-x>
- Al-Doski J, Mansor SB, Shafri HZ. NDVI differencing and post-classification to detect vegetation changes in Halabja City, Iraq. *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics*. 2013 Jul;1(2):01-10.
- Foroughi F, Ebrahimpour R. 2020. Heavy metals investigation and the potential risk assessment in the salt of Maharlou Lake and Korsia mine. *Journal of Water and Soil Science*, 52(2):361-377. (In Persian).
- Gao BC. 1996. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space.-Remote sensing of environment. 58(3):257-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Ghahroodi M, Lashgari H, Hosseini Z. 2012. Comparative study of climate changes and geomorphologic evolution in Maharlou. *Arid Regions Geographic Studies*, 1(3): 21-36. (In Persian)
- Jahanshahi R, Zare M. 2016. Hydro chemical investigations for delineating salt-water intrusion into the coastal aquifer of Maharlou Lake, Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 121(2016), 16-29. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.05.014>
- Jamieson P, Porter J, Wilson D. 1991. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*, 27(4): 337-350. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(91\)90040-3](https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90040-3).
- Javadpour N, Shad R. 2016. Evaluation of the methods of detecting changes in the shorelines of Maharlou Lake using remote sensing data. In the 10th Symposium on Advances in Science and Technology (10thSASTech) Mashhad (2016). (In Persian).
- Kazemi M, Naji S, Feiznia S, Khosravi H. 2019. Revealing the changes in the level of Maharlou Lake and the land use around it during the period of 2002-2015. *Journal of Range and Watershed Management*, 72(3):831-842. (In Persian).
- Kendall M. 1948. Rank correlation methods. Griffin.
- Mancino G, Ferrara A, Padula A, Nolè, A. 2020. Cross-comparison between Landsat 8 (OLI) and Landsat 7 (ETM+) derived vegetation indices in a Mediterranean environment. *Remote Sensing*, 12(2), 291. <https://doi.org/10.3390/rs12020291>.
- Mazidi A, Narengifard M. 2016. Impact of urban development and Landuse changes on the climate of the city of Shiraz and Fasa. *Journal Of Geographical Sciences*, 16(40):131-154. (In Persian). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09505-0>
- Mozafari Gh, Narangifard M. 2015. The effects of changing level of Maharlou Lake on humidity and temperature level of Shiraz City. *Geography and Territorial Spatial Ar-*

- rangement, 5(14):215-230. (In Persian).
- Noshadi M, Ahadi A. 2020. Analyzing piezometers' behavior to determine the lag time of the rainfall effects on the groundwater level fluctuations in the Alluvial Plain of Shiraz by Using SPI and GRI Indices. *Journal of Water and Soil Science*, 4(23): 299-312. (In Persian).
- Pekel JF, Cottam A, Gorelick N, Belward A. 2016. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633):418-422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Pettitt A. 1979. A nonparametric approach to the change point problem. *Journal of the royal statistical society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2): 126-135. <https://doi.org/10.2307/2346729>
- Qiao B, Zhu L, Yang R. 2019. Temporal-spatial differences in lake water storage changes and their links to climate change throughout the Tibetan Plateau. *Remote Sensing of Environment*, 222(2019): 232-243. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.037>.
- Rahimzadegan M, Entezari S. 2019. Performance of the gravity recovery and climate experiment (GRACE) method in monitoring groundwater-level changes in local-scale study regions within Iran. *Hydrogeology Journal*, 27(7): 2497-2509. <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02007-x>
- Saghafian B, KhanAhmadiBafghi H, DaneshkarArašte P. 2021. Forecasting the area of the Bakhtegan and Tashk Lake using remote sensing and climatic factors. *Iran-Water Resources Research*, 17(1): 151-165. (In Persian).
- Samani S, Bouštani F, Irajizadeh, M. 2020. Application of reverse geochemical model and hydro geochemical methods to investigate the salinity source of Sarvestan Aquifer. *Hydrogeology*, 5(1): 16-33. (In Persian).
- Samiei M, Ghazavi R, Pakparvar M, Vali A. 2017. The effect of climate change on Maharlou Lake level change using satellite image processing. *RS and GIS for Natural Resources*, 8(1):1-18. (In Persian).
- Sarp G, Ozcelik M. 2017. Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*, 11(3): 381-391. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2016.04.005>
- Statistical Center of Iran. 2021. Population census. Available at <https://www.amar.org.ir> (accessed 10 Aug 2021).
- Sumiya E, Dorjsuren B, Yan D, Dorligjav S, Wang H, Enkhbold A, Weng B, Qin T, Wang K, Gerelmaa T, Dambaravjaa O. 2020. Changes in water surface area of the lake in the Steppe Region of Mongolia: A case study of Ugii Nuur Lake, Central Mongolia. *Water*, 12(5):1470–1488.
- TaieSemiromi M, Fatehi Marj A, Mirnia S. 2012. Evaluating effects of artificial recharge on temporal and spatial distribution of hydrogeological droughts using Piezometric State Index (Case study: Garbaygan Plain, Fars Province). *-Iran-Water Resources Research*, 8(1): 86-89.
- Wang Y, Ma J, Xiao X, Wang X, Dai S, Zhao B. 2019. Long-term dynamic of Poyang Lake surface water: A mapping work based on the Google Earth Engine cloud platform. *Remote Sensing*, 11(3): 313-334. <https://doi.org/10.3390/rs11030313>.



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Satellite-Based Analysis of Maharlou Lake's Surface Area Trends and Influencing Factors

Sare Aji¹ , Shohreh Didari^{*2} 

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Maharlou Lake in Fars Province is one of the saline lakes of Iran, located 10 kilometers southeast of Shiraz. It holds significant economic, social, and environmental importance for the region. Therefore, assessing the long-term changes in the lake's surface area is crucial for making informed decisions by managers. In this context, the present study investigates the temporal changes in the water surface area of Maharlou Lake.

Materials and Methods

The study area was the Maharlou Watershed. The lake's surface area was determined for each satellite image using Landsat data over the period from 1986 to 2020. Then, the trend in the lake's surface area changes during this period was analyzed using the Mann-Kendall test. Additionally, factors influencing the lake's surface area changes, such as precipitation changes, inflow to the lake, groundwater level, population, and vegetation cover area within the watershed, were evaluated during this period.

Results and Discussion

The results of this study showed that the trend in the surface area of Maharlou Lake during the study period was significant and decreasing (3km²/year). The change point in the time series occurred in September 2007, after which a sharp decline in the lake's surface area was observed. Furthermore,

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** sh.didari@shirazu.ac.ir

Citation: Aaji, S., Didari. Sh. 2024. Satellite-Based Analysis of Maharlou Lake's Surface Area Trends and Influencing Factors. 2024. Watershed Management Research. 37(3):19-34.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.363213.1549

Received: 16 August 2023, **Received in revised form:** 25 September 2023, **Accepted:** 21 December 2023

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp.19-34.

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



the results of the precipitation analysis indicated that the trend in precipitation was negative but not significant. However, the trends in the inflow to the lake and evaporation were both negative and significant. The trends in population growth and vegetation cover were found to be increasing and significant. Additionally, the study's findings showed that the groundwater level trend in this area was negative and significant.

Conclusion and Suggestions

The results of this study indicated that the surface area of Maharlou Lake has significantly decreased. The analysis of the factors affecting the lake's surface area showed no significant trend in the precipitation within the watershed, which is one of the primary contributors to the inflow to the lake. Although the trend in precipitation was not significant and the evaporation trend was also decreasing, the increasing trends in population and vegetation cover within the watershed inevitably demand more water in this region. This situation has led to excessive extraction from groundwater resources and surface flows. Consequently, the trends in groundwater levels and inflow to the lake were both decreasing and significant. Moreover, the interplay of these factors has resulted in a negative trend in the lake's surface area. Therefore, given the importance of Maharlou Lake within the watershed and to prevent further reductions in the lake's surface area, managers must pay close attention to implementing sustainable land management plans.

Keywords: Google earth engine (GEE), land sat, Maharlou Lake, MANN-Kendall test



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

شناسایی و پایش منابع گرد و غبار و ماسه‌های روان در مناطق جلغا، شوش قوم و گیلدیر، استان آذربایجان شرقی

هوشنگ بهروان^{۱*}، جمشید یاراحمدی^۲، حمیدرضا عباسی^۳

۱ و ۲ - استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، تبریز، ایران

۳ - استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، گروه تحقیقات تپه‌های شنی، تهران، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

گرد و غبار یکی از مسائل زیست‌محیطی است که بر کیفیت و آلودگی هوا، سلامت انسان، حاصل‌خیزی خاک، و بسیاری از جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی جامعه را تأثیرگذار است. فرسایش بادی و تحرک تپه‌های ماسه‌ای پیامدهای نامطلوب محیط‌زیستی به‌دنبال دارد. شناسایی عامل‌های مؤثر بر تحرک ماسه‌ها و پیش‌بینی وضعیت آن‌ها در آینده، برای مهار فرآیند فرسایش بادی ضروری است. هدف این پژوهش شناسایی و پایش منابع گرد و غبار و ماسه‌های روان در مناطق جلغا، شوش قوم و گیلدیر بود.

مواد و روش‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های اقلیمی باد، شناسایی منابع تولید ریزگرد، اندازه‌گیری و پایش تولید گرد و غبار و رسوبات بادی با استفاده از شاخص RDD انجام شد. همچنین، اندازه‌گیری سرعت آستانه و شدت فرسایش بادی با استفاده از دستگاه تونل باد انجام شد. برای بررسی اثر تغییر اقلیم به‌ویژه باد در فعالیت ماسه‌ها و به‌منظور پیش‌بینی احتمال تحرک تپه‌های ماسه‌ای و ماسه‌زارها و گرد و غبار ناشی از آن‌ها از روش جهانی لنکستر استفاده شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.behrawan@areeo.ac.ir

استناد: بهروان، ه.، یاراحمدی، ج.، عباسی، ح. ر. ۱۴۰۳. شناسایی و پایش منابع گرد و غبار و ماسه‌های روان در مناطق جلغا، شوش قوم و گیلدیر، استان آذربایجان شرقی. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۳): ۵۳-۳۵.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.363055.1548

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۴، پاییز ۱۴۰۳، صفحه‌های ۳۵ تا ۵۳.

©نویسندگان

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



نتایج و بحث

نتایج شاخص لنکستر نشان داد ۱۰٪ از سال‌های آماری (۱۹۹۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱) در وضعیت فعال بودند. در حالی که، تحرک نداشتن تپه‌های ماسه‌ای (غیرفعال) از نظر شاخص لنکستر ۲۶٪ از سال‌های آماری را کسب کرد؛ در ۶۵٪ از سال ۲۰۲۰، بیشترین تپه‌ها، تپه‌های ماسه‌ای بودند که وضعیت فعال یا تحرک ماسه‌ای داشتند. زمین‌های کانون ریزگرد جلغا عمدتاً از جنس زمین‌های واریزه‌های بادبزی شکل سنگ‌ریزه دار و شیب‌دار است و زمین‌های کانون ریزگرد شوش قوم و گیلدر عمدتاً ترکیبی از جنس کوه‌ها، دشت‌های دامنه‌ای و دشت‌های سیلابی است. نتایج آزمایش‌های تونل باد روی نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از سطح زمین‌های منطقه جلغا نشان داد که آستانه فرسایش خاک ۸ متر بر ثانیه بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج این پژوهش، دیم‌زارهای رهاشده، مراتع فقیر، بستر خشک رودها و آبراهه‌های فصلی و غیره در شرایط فراهم بودن عامل‌های محیطی و همراه بودن عامل‌های نامساعد اقلیمی، از منابع بالقوه تولید گرد و غبار و ریزگرد هستند، ولی زمین‌های مزبور در استان آذربایجان شرقی به شکل پراکنده هستند و در شرایط و زمان‌های خاص می‌توانند در حجم قابل توجهی ریزگرد تولید کنند.

واژگان کلیدی: شاخص RDD، کیفیت و آلودگی هوا، سلامت انسان، گرد و غبار، روش لنکستر

مقدمه

برف و یخچال‌های طبیعی (کوتوزوف و همکاران ۲۰۱۹)، پوشش گیاهی، نیروگاه‌های خورشیدی تأثیرگذار باشند. ذرات غبار سنگین‌ترین ذرات در جو زمین هستند و در مقیاس‌های همدیدی مانند ال‌نینو به وجود می‌آیند (لی و همکاران ۲۰۲۱؛ لابان و بات ۲۰۲۱). افزون بر این، طوفان‌های گرد و غبار مستقیماً بر پوشش گیاهی (خوسفی و همکاران ۲۰۲۰؛ حمزه و همکاران ۲۰۲۲)، بافت خاک و اندازه بارش (دار و همکاران ۲۰۲۲) تأثیرگذار هستند.

بیابان‌ها بزرگ‌ترین منبع طوفان‌های گرد و غبار در جهان هستند (میدلتون و همکاران ۲۰۱۷). با این حال، برخی از دریاچه‌های خشک‌شده نیز به شکل ناگهانی به عنوان منبع قابل توجهی از گرد و غبار در سراسر جهان ظاهر شده‌اند. در خاورمیانه و آسیای مرکزی بستر دریاچه‌های خشک‌شده زیادی وجود دارد. دریای آرال که میان قزاقستان و ازبکستان است (کرمی و همکاران ۲۰۲۱؛ اوپ و همکاران ۲۰۱۷)، یکی از شناخته‌شده‌ترین دریاچه‌های خشک‌شده است. دریاچه‌های هامون در منطقه سیستان در ایران (میری و همکاران ۲۰۲۱) و دریاچه ارومیه در ایران (مردی و همکاران ۲۰۱۸؛ بروغانی و همکاران ۲۰۱۹؛ حمزه و همکاران ۲۰۲۰) دو منبع دیگر گرد و غبار هستند. ترکیب شیمیایی و اندازه دانه‌های ذرات معلق در هوا که به وسیله طوفان‌های گرد و غبار از بستر دریاچه‌های خشک برداشته می‌شوند با طوفان‌های گرد و غبار بیابانی و بیشتر طوفان‌های گرد و غبار شور که از یک دریاچه خشک برداشته می‌شوند، متفاوت است (اوپ و همکاران ۲۰۱۷). آئروسول‌های نمکی به مدت طولانی در جو، معلق هستند (لیو و همکاران ۲۰۱۱).

شناسایی مناطق تولید گرد و غبار اولین گام برای مقابله با این پدیده است. استان آذربایجان شرقی از جمله این مناطق

طوفان‌های گرد و غبار نیز مشابه سیل، زلزله، آتش‌فشان‌ها و خشک‌سالی، از بلاهای طبیعی هستند که هر ساله بر زندگی میلیون‌ها نفر در سراسر جهان تأثیرگذار هستند (میدلتون ۲۰۱۹). طوفان‌های گرد و غبار به سلامت انسان و ساختار تنفسی (گودی ۲۰۱۹)، زیرساخت‌ها (میدلتون ۲۰۱۷)، حمل‌ونقل جاده‌ای و هوایی (باداک و همکاران ۲۰۱۳)، بهره‌وری کشاورزی (استفانسکی و سیواکومار ۲۰۰۹) و غیره آسیب می‌رسانند. صحرای صحرا در آفریقا مهم‌ترین منبع گرد و غبار در جهان است که هر ساله ذرات زیادی از غبار را وارد جو زمین می‌کند. صحرای صحرا بزرگ‌ترین بیابان جهان است که قلمرو ده کشور شمال آفریقا است و مساحتی معادل ۹ میلیون کیلومترمکعب دارد. بر پایه گزارش کوک و همکاران (۲۰۲۱)، مناطق آفریقای شمالی تقریباً نیمی از گرد و غبار جهانی را منتشر می‌کنند. مناطق خاستگاه خاورمیانه و آسیای مرکزی در رتبه دوم هستند و حدود ۳۰٪ از غلظت گرد و غبار جهانی را تشکیل می‌دهند. در نتیجه، منطقه خاورمیانه با منابع پرشماری از گرد و غبار به عنوان یکی از بحرانی‌ترین مناطق انتشار گرد و غبار به شمار می‌آید. منابع گرد و غبار شامل بیابان‌ها، پلایا، زمین‌های کشاورزی، مراتع، دریاچه‌های خشک، رودها، دشت‌های سیلابی، بیابان‌های سنگی، تپه‌های شنی، پالئولک‌ها، پالئومرها، دشت‌های سیلابی، دلتاهای داخلی و واحه‌ها است (حمزه و همکاران ۲۰۲۲).

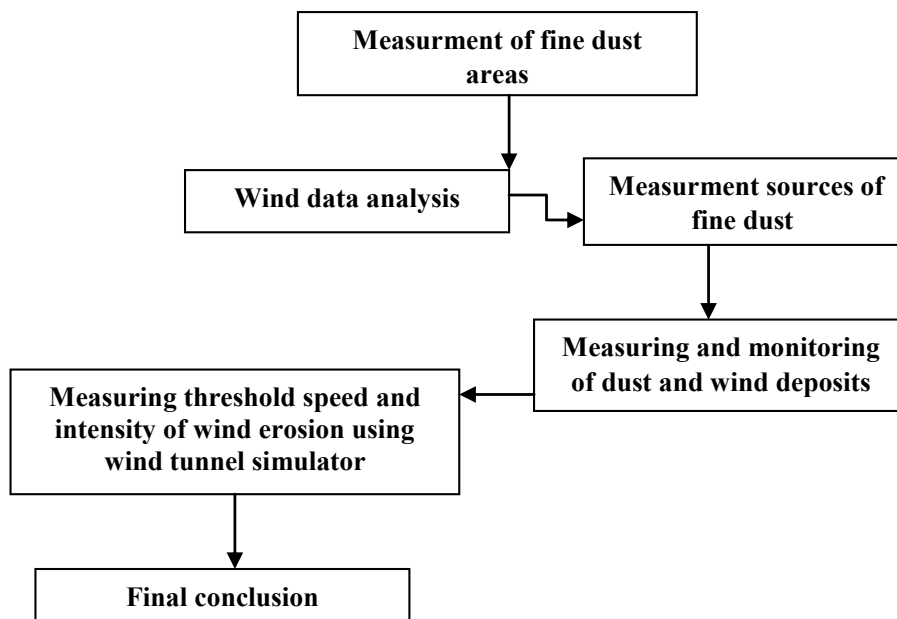
طوفان‌های گرد و غبار یکی از جدی‌ترین مخاطره‌های طبیعی هستند که می‌توانند بر تغییرات آب و هوا (آن و همکاران ۲۰۱۸؛ شپانسکی و همکاران ۲۰۱۸؛ صالحی و همکاران ۲۰۱۹)، زندگی دریایی (بالی و همکاران ۲۰۱۹)، زندگی جانوران (ناجی و طاهر پور ۲۰۱۹)، جنبه‌های گوناگون سلامت و زندگی انسان (آردون و همکاران ۲۰۲۰؛ اوپ و همکاران ۲۰۲۱)، پوشش

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه شده (استان آذربایجان شرقی)

استان آذربایجان شرقی با مساحت ۴۵۴۹۰/۹ کیلومتر مربع در شمال غربی فلات ایران است که از شمال به وسیله رود ارس با جمهوری آذربایجان، ارمنستان و ایالت خودمختار نخجوان، از غرب به دریاچه ارومیه و رود قطور، از جنوب به زنجان و از شرق به کوه‌های سبلان، چهل نور و گردنه صائین و دره رود از استان اردبیل محدود است. منطقه جلفا در مختصات جغرافیایی $38^{\circ}55'29''$ تا $38^{\circ}56'38''$ عرض شمالی و $45^{\circ}41'37''$ تا $45^{\circ}43'47''$ طول شرقی در کرانه رود ارس و مرز کشور جمهوری آذربایجان است (شکل ۳). منطقه تولید گرد و غبار شوش قوم و گیلدر به ترتیب در مختصات جغرافیایی $38^{\circ}17'09''$ عرض شمالی و $47^{\circ}01'26''$ طول شرقی و $38^{\circ}15'35''$ عرض شمالی و $46^{\circ}54'58''$ طول شرقی هستند. بلندی این مناطق به ترتیب ۱۵۷۴ و ۱۷۹۴ متر از سطح دریا است. این مناطق با فاصله تقریبی ۳ تا ۵ کیلومتری از یکدیگر و در فاصله ۸۰ کیلومتری از تبریز و ۱۰ کیلومتری شهرستان هریس می‌باشند (شکل ۳).

است که در سطوح گوناگون نیازمند اقدام‌های اجرایی برای کاهش و جلوگیری از تولید گرد و غبار است. از این رو، در این پژوهش منابع تولید گرد و غبار و ریزگرد در سطح مناطق استان آذربایجان شرقی شناسایی و بررسی شد. از اهداف اصلی این پژوهش می‌توان به شناسایی و تعیین مناطق اصلی و بحرانی تولید ریزگرد، تعیین ویژگی‌های عمومی منابع تولید ریزگرد، اندازه‌گیری و پایش تولید گرد و غبار و رسوبات بادی در استان آذربایجان شرقی اشاره کرد. با وجود تپه‌های ماسه‌ای گوناگون در سطح استان آذربایجان شرقی این استان به شکل بالقوه به کانون تولید گرد و غبار تبدیل شده است. مساحت حاشیه خشک شده دریاچه ارومیه به عنوان بزرگ‌ترین کانون بالقوه تولید گرد و غبار در استان آذربایجان شرقی در بخش‌های شمال، شرق و جنوب شرق این استان حدود ۲۲۸۰۰۰ هکتار است و مساحت حساس‌ترین ناحیه به فرسایش بادی در کانون‌های جلفا، شوش قوم، گیلدر، آق‌قومی (نظرلو) و قوم تپه، ۲۰۵۳/۷ هکتار است.



شکل ۱- کارنمای کلی تشخیص گرد و غبار با استفاده از شاخص باد.

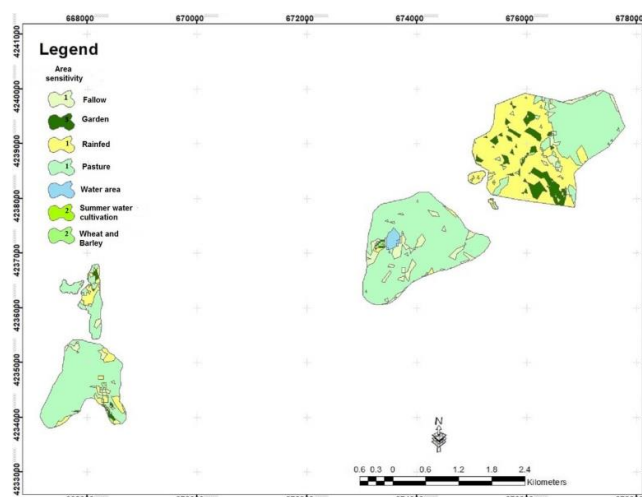
Figure 1- Flowchart of dust detection using wind index.

با استفاده از نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های باد و روی هم‌گذاری با نقشه تپه‌های ماسه‌ای (به دست آمده از طرح شن‌زارهای کشور) و با در نظر گرفتن زمین‌ریخت‌شناسی ناهمواری‌های ماسه‌ای و همچنین با استفاده از تصاویرهای ماهواره‌ای حدود منابع ریزگرد شناسایی شد (شکل ۱ و ۲). موقعیت نقاط نمونه برداری خاک (تا ژرفای تا ۹۰ سانتی‌متر) و مناطق تولید ریزگرد در شکل ۳ نشان داده شده است.

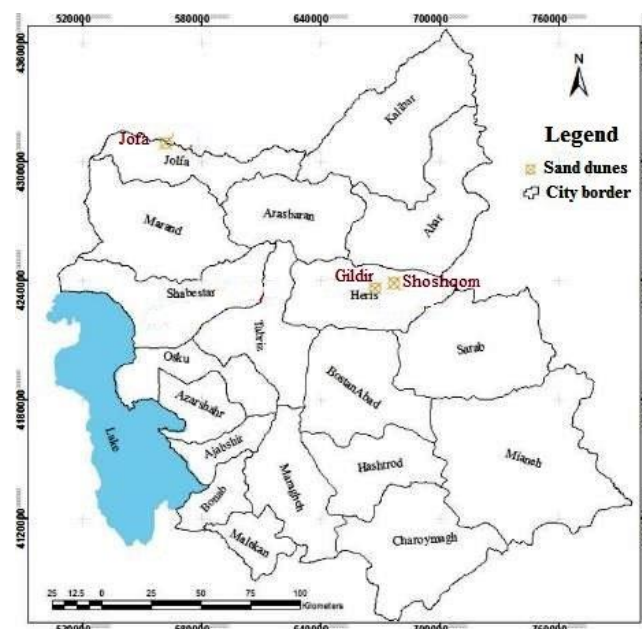
روش‌های شناسایی مناطق تولید ریزگرد تجزیه و تحلیل داده‌های باد

با استفاده از آمار و اطلاعات مربوط به داده‌های باد (سمت و سرعت باد) ایستگاه‌های هواشناسی و محاسبه شاخص ظرفیت حمل ماسه برای حمل نهایی رسوبات بادی، مشخصات بادهای فرساینده شناسایی شد.

شناسایی منابع تولید ریزگرد



شکل ۲- نقشه کاربری زمین های منطقه مطالعه شده.
Figure 2- Land use map of the studied region.



شکل ۳- موقعیت محل های نمونه برداری خاک و مناطق تولید ریزگرد در سطح جلغا، شوش قوم و گیلدیر.
Figure 3- The location of soil sampling sites and dust production areas in Jolfa, ShoshQom and Gildir.

همچنین، برای تهیه مدل مناسب زمین آمار، آستانه فرسایش بادی به وسیله تونل باد در نمونه های دست نخورده آماده شده در سینی با ابعاد $5 \times 50 \times 30$ سانتی متر اندازه گیری شد، و اندازه رسوبات بادی نیز برای هر نمونه که معرف واحد زمین بود با استفاده از رسوب گیرهای ساخته شده در سرعت های باد ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ متر بر ثانیه تونل باد اندازه گیری شد.

اندازه گیری سرعت آستانه و شدت فرسایش بادی با استفاده از دستگاه تونل باد

در این پژوهش از دستگاه تونل باد آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، برای اندازه گیری سرعت آستانه و شدت

اندازه گیری و پایش تولید گرد و غبار و رسوبات بادی اندازه گیری در سطح منبع تولید ریزگرد

اندازه گیری تولید ریزگرد در سطح کل منطقه و در شرایط گسترده منطقه در بخشی از آن که نمایانگر کل منطقه باشد، انجام شد. سپس، در سطح هر یک از واحدهای تفکیک شده زمین و بر اساس تجزیه و تحلیل بادهای فرساینده به ویژه شاخص (RDD) برای تعیین حمل نهایی رسوبات بادی از شاخص مدرج (پیکه کوبی) یا رسوب گیرهای مناسب استفاده شد. در این پژوهش با استفاده از شاخص مدرج اندازه بادبردگی در سرعت های گوناگون باد و در پایه های زمانی ثابت (۲ دقیقه) اندازه گیری شد.

و آبراهه‌های فصلی و غیره در شرایط فراهم بودن عامل‌های محیطی و همراه بودن عامل‌های نامساعد اقلیمی، از منابع بالقوه تولید گرد و غبار و ریزگرد هستند، ولی زمین‌های مزبور در استان آذربایجان شرقی به شکل پراکنده هستند و در شرایط و زمان‌های خاص به شکل سطوح یکپارچه و گسترده می‌توانند در حجم قابل توجهی ریزگرد تولید کنند. اهمیت و جنس سطوح تولید گرد و غبار در استان آذربایجان شرقی در دو نقطه از این استان بررسی شد. گفتنی است در استان آذربایجان شرقی زمین‌های شن‌زار و تپه‌های ماسه‌ای به شکل محدود و فقط در ۴ نقطه از شهرستان‌های جلفا، شبستر و هریس وجود دارد. هم‌اکنون شن‌زارهای شهرستان‌های شبستر (مناطق قوم‌تپه و آقا قومی) و هریس (مناطق گیلدیر و شوش‌قوم) به شکل فعال قابل مشاهده و بررسی هستند. موقعیت پراکنش کانون‌های ریزگرد مناطق جلفا، شوش‌قوم و گیلدیر در شکل ۳ نشان داده شده است.

منطقه تولید ریزگرد جلفا

وضعیت باد و تحلیل شاخص لنکستر

در این پژوهش، برای محاسبه شاخص تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای از اطلاعات هواشناسی ایستگاه همدید جلفا که در ۷ کیلومتری منطقه پژوهش بود، استفاده شد. آمار درصد ماهانه سرعت بادهای بیشتر از سطح آستانه فرسایش ($m/sec > 6$) مشاهده‌ای در ایستگاه هواشناسی جلفا در بازه زمانی (۱۹۹۰-۲۰۲۰) در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس داده‌های این جدول ۸۴٪ از بادهای ثبت شده در این ایستگاه سرعت کمتر از ۶ متر بر ثانیه داشتند. در این میان، تمرکز شدیدترین بادهای مشاهده‌ای در ماه‌های جولای، آگوست و ژوئن به ترتیب ۴۹، ۴۱/۷ و ۲۸٪ بود.

فرسایش بادی استفاده شد. سرعت آستانه فرسایش در روش محاسبه‌ای با اندازه‌گیری اندازه بادبردگی در سرعت‌های گوناگون، با استفاده از معادله خط بادبردگی و سرعت باد، هنگامی که اندازه بادبردگی به صفر نزدیک شود، محاسبه شد.

رابطه (۱) $Erosion\ rate\ (kg\ m^{-2}\ min^{-1})$

اندازه فرسایش خاک بر اساس اندازه وزن بادبردگی ($kg\ m^{-2}$) در سرعت‌های گوناگون باد و در پایه‌های زمانی ثابت (min^{-1}) دقیقه اندازه گیری می‌شود.

شاخص تحرک و فعالیت تپه‌های ماسه‌ای

لنکستر (۱۹۸۹) به منظور تعیین فعالیت تپه‌های ماسه‌ای با در نظر گرفتن سه عامل محیطی، رابطه ۲ را پیشنهاد داد. برای اولین بار، از این شاخص در بیابان کالاهاری استفاده شد و بعدها برای مطالعه تپه‌های ماسه‌ای جنوب آفریقا و آمریکا واسنجی شد.

رابطه (۲) $M = w/(p/pe) = (w * pe)/p$

M: اندازه فعالیت رسوبات بادی مانند تپه‌های ماسه‌ای، W: درصد فراوانی بادهای با سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایش (m/s) در بلندی ۱۰ متری از سطح زمین، p: میانگین سالانه بارندگی (میلی متر بر سال)، pe: ظرفیت سالانه تبخیر و تعرق (میلی متر) است.

نتایج

شناسایی منابع تولید گرد و غبار

بر اساس نتایج این پژوهش، بسیاری از زمین‌ها مانند دیم‌زارهای رها شده، مراتع فقیر و بیابانی، بستر خشک رودها

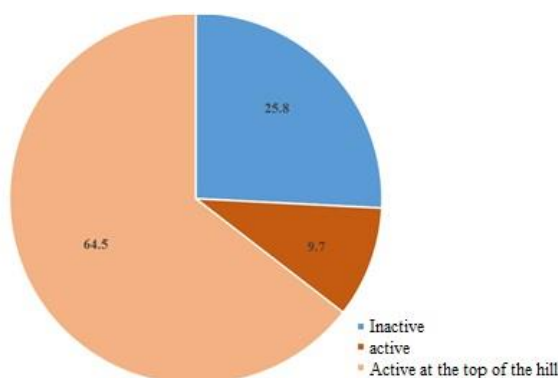
جدول ۱- درصد فراوانی ماهانه طبقه‌های سرعت باد در ایستگاه هواشناسی جلفا (۱۹۹۰-۲۰۲۰).

Table 1- Monthly frequency percentage of wind speed classes in Jolfa Meteorological Station (1990-2020).

Month	<6	6-10	11-15	16-20	>20	>6%	Mean
Jan	96.00	3.73	0.26	0.01	0.00	4.00	1.29
Feb	92.30	7.05	0.61	0.05	0.00	7.70	1.62
Mar	90.26	8.51	0.98	0.22	0.03	9.74	1.84
Apr	88.29	10.17	1.42	0.11	0.00	11.71	2.03
May	86.93	11.70	1.12	0.24	0.01	13.07	2.31
Jun	71.70	24.43	3.58	0.27	0.01	28.30	3.73
Jul	51.00	40.43	8.14	0.42	0.01	49.00	5.53
Aug	58.33	35.74	5.62	0.29	0.01	41.67	4.83
Sep	80.96	17.44	1.50	0.10	0.00	19.04	2.78
Oct	93.30	6.28	0.38	0.04	0.00	6.70	1.40
Nov	96.17	3.46	0.27	0.10	0.00	3.83	0.97
Dec	97.00	2.85	0.15	0.00	0.00	3.00	1.06

شاخص لنکستر در ۲۶٪ از سال‌های آماری تپه‌های ماسه‌ای تحرک نداشتند (غیرفعال) و در ۶۵٪ از این سال‌ها، تپه‌های ماسه‌ای در وضعیت فعال بودند و یا تحرک ماسه‌ها در رأس این تپه‌ها بود (شکل ۴).

پردازش نتایج محاسبه شاخص لنکستر برای منطقه ماسه‌ای جلغا (بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه همدید جلغا) در بازه زمانی (۱۹۹۰-۲۰۲۰) انجام شد. نتایج پردازش شاخص لنکستر نشان داد که ۱۰٪ از سال‌های آماری (سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱) وضعیت فعال داشتند این درحالی بود از نظر

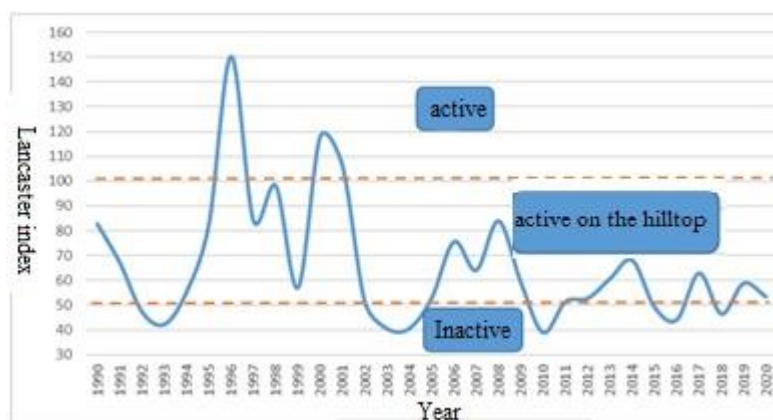


شکل ۴- درصد فراوانی شاخص لنکستر در ایستگاه جلغا (۱۹۹۰-۲۰۲۰).

Figure 4- Frequency percentage of Lancaster index in Jolfa Station (1990-2020).

در چند سال اول دوره آماری در وضعیت کاملاً فعال بوده‌اند. همچنین، روند تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در این منطقه در سال‌های اخیر کاهشی بود و به وضعیت غیرفعال متمایل بود (شکل ۵).

تغییرات سالانه شاخص لنکستر در بازه زمانی ۳۰ سال اخیر در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس این شکل در بیشتر سال‌های بررسی شده، تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در منطقه پژوهش در رأس تپه‌ها به شکل فعال بوده است و فقط



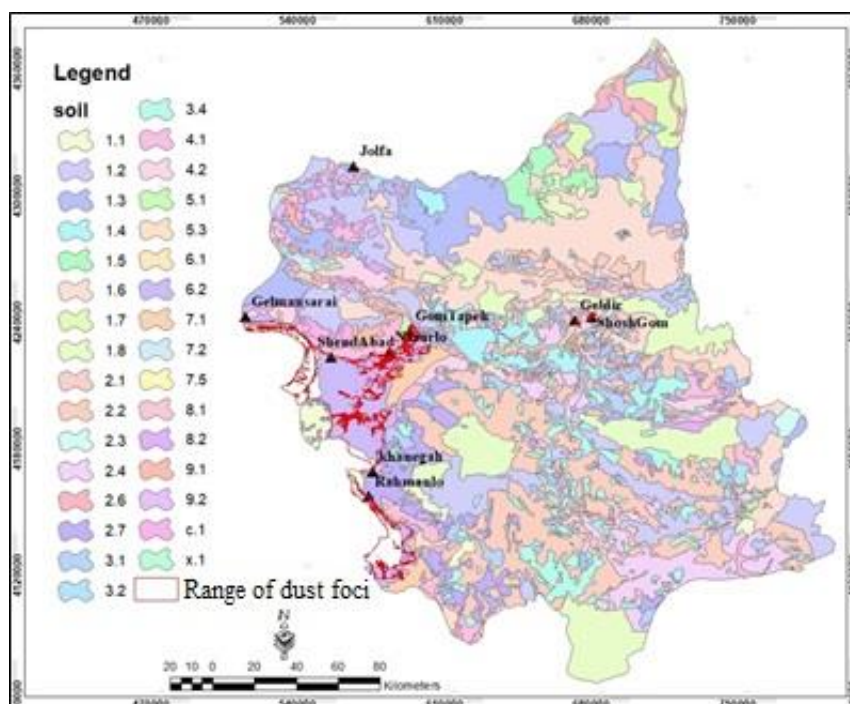
شکل ۵- نمودار تغییرات سالانه شاخص لنکستر در ایستگاه هواشناسی جلغا (۱۹۹۰-۲۰۲۰)

Figure 5- Chart of annual changes of the Lancaster index at Jolfa Weather Station (1990-2020).

زمین، جزو زمین درجه ۸/۱ بودند. این کانون از جنس زمین‌های واریزه‌ای بادبزی شکل سنگ‌ریزه‌دار با پستی و بلندی متوسط تا زیاد بود. در این منطقه پوشش گیاهی کم تا متوسط با خاک کم ژرفا تا نیمه ژرف و بافت متوسط تا سنگین همراه با اندازه زیادی سنگ و سنگ‌ریزه بود. هم اکنون کاربری این منطقه چراگاه فصلی و مرتع با قابلیت کم است. نقشه واحد زمین کانون جلغا در شکل ۶ نشان داده شده است.

گیاتاشناسی و واحدهای زمین

جنس زمین‌های کانون ریزگرد جلغا بیشتر از واریزه‌ای بادبزی شکل سنگ‌ریزه‌دار و شیب‌دار بود که از مواد ریز و درشت و سنگریزه تشکیل شده است. این مواد، به وسیله رود ارس حمل شده و بر اثر نیروی ثقل و شدت جریان آب در سطوح شیب‌دار به موازات کوه‌های پیرامون بر جای گذاشته شده‌اند. کانون جلغا با مساحت ۵۵/۲ هکتار و در طبقه بندی واحدهای



شکل ۶- نقشه واحدهای زمین جلفا.

Figure 6-Jolfa land unit map.

کواترنری شامل تراس‌های قدیمی، تراس‌های آبرفتی جوان، پهنه‌های رسی، تراس‌های آبرفتی جوان کم ژرفا بود. بررسی سنگ‌شناسی نشان داد که حاشیه‌های رود ارس از نهشته‌های دشت‌های آبرفتی، زمین‌های کشاورزی، آبرفت‌های جدید رودخانه‌ای و تپه‌های ماسه‌ای است.

خصوصیات خاک

خاک بیشتر زمین‌های کانون جلفا کم‌ژرفا تا نیمه‌ژرف با بافت متوسط تا سنگین بودند که سنگ و سنگ‌ریزه زیادی داشت. نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک ژرفاهای ۹۰-۶۰ و ۶۰-۳۰ و ۳۰-۰ سانتی‌متری از منطقه جلفا در جدول ۲ نشان داده شده است. موقعیت نمونه‌برداری خاک منطقه جلفا در شکل ۶ نشان داده شده است.

وضعیت زمین‌شناسی منطقه جلفا

از دیدگاه ریخت‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناختی این منطقه در بخش پست‌ترین نقاط پیرامون رود ارس و تپه‌ماهوری آبخیز ارس بود. همچنین، شیب زمین از منطقه کوهستانی اوج‌تپه به دلیل توده آتش‌فشانی داسیتی (الیگوسن) که به شکل گنبدی بالا آمده بود، به سمت رود ارس کاهش می‌یافت و آبراهه‌ها کم ژرفا بودند و تفاوت بلندی میان کف این آبراهه‌ها و نوک تپه‌ها نیز کم بود.

بیشتر رسوبات در نواحی پست منطقه از جنس سازندهای شیلی، مارنی و نهشته‌های کواترنری (Qt1, Qt2) بود. گنبد آتش‌فشانی داسیتی الیگوسن موجب بالا آمدگی رسوبات قدیمی‌تر شده است و شیب نهشته‌ها به سمت رود ارس بود. همچنین، بیشتر رسوبات مناطق پست از رسوبات جوان

جدول ۲- نتایج آزمایش نمونه‌های خاک ارس-جلفا.

Table 2- Test results of Aras-Jolfa soil samples.

Depth (cm)	Texture	PH	EC (ds/m)	OC (%)	(T.N.V) (%)	Gypsum (%)	SAR
0-30	sand	8.7	1.06	0.3	*	*	*
60-30	loamy sand	8.2	1.2	0.4	*	*	*
60-90	loamy sand	7.7	1.5	0.2	*	*	*

است. بر اساس نتایج این جدول سرعت آستانه فرسایش خاک ۸ متر بر ثانیه بود.

فرسایش‌پذیری خاک‌ها

نتایج آزمایش‌های تونل باد روی نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از سطح زمین‌های منطقه جلفا در جدول ۳ نشان داده شده

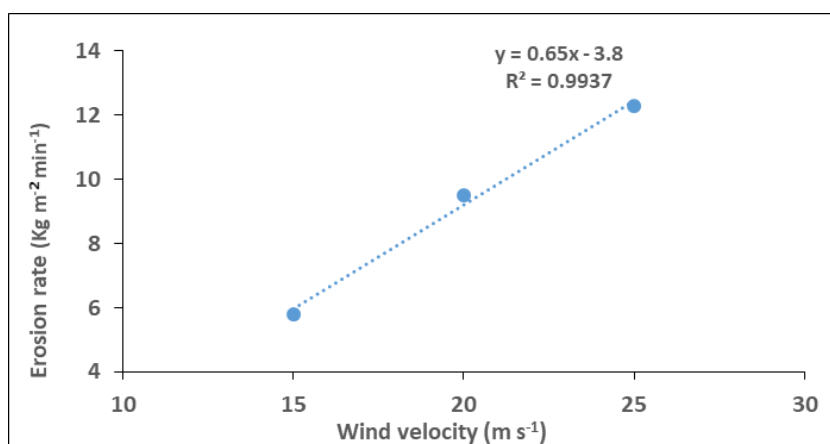
جدول ۳- نتایج آزمایش تونل باد نمونه‌های خاک جمع‌آوری‌شده از سطح زمین‌های منطقه جل‌فا.

Table 3- Results of wind tunnel test of soil samples collected from the land surface of Jolfa region.

Name of the sample location	Observed erosion threshold speed (m/s)	Computational erosion threshold speed (m/s)	Sum of wind ($\text{kg/m}^2/\text{min}$)
Aras-Jolfa	8	5.84	27.6

به‌وسیله معادله ریاضی بررسی شد. سپس، داده‌ها روی محور مختصات X که بیانگر سرعت باد و محور مختصات Y که بیانگر اندازه فرسایش بود، برده شدند. بهترین خط برازش‌شده از نقاط، رسم شد و با امتداد خط به‌دست آمده و برخورد آن با محور X سرعت آستانه فرسایش تعیین شد. سرانجام، به‌وسیله برترین معادله ریاضی به‌دست‌آمده ($Y = 0.65X - 3.8$) و در نظر گرفتن اندازه Y برابر با صفر، سرعت آستانه فرسایش (X) برای نمونه‌های خاک ۵/۸۴ متر بر ثانیه به‌دست آمد.

شکل و رابطه تعیین فرسایش‌پذیری بادی و سرعت آستانه فرسایش خاک منطقه ارس-جل‌فا در شکل ۷ نشان‌داده شده است. سرعت آستانه فرسایش خاک منطقه ارس-جل‌فا با دو روش مشاهده‌ای و محاسبه‌ای، به‌ترتیب ۸ و ۵/۸۴ متر بر ثانیه بود. بر اساس شکل ۷ در روش محاسبه‌ای سرعت آستانه فرسایش خاک اندازه بادبردگی در سرعت‌های گوناگون باد و در پایه‌های زمانی ثابت (۲ دقیقه) اندازه‌گیری شد. سپس، رابطه میان بادبردگی و طبقه‌های سرعت به‌شکل نمودار رسم شد و



شکل ۷- رابطه اندازه فرسایش خاک و سرعت باد برای اندازه‌گیری فرسایش بادی منطقه ارس-جل‌فا.

Figure 7- The relationship between soil erosion rate and wind speed to measure wind erosion Aras-Jolfa region.

آمار درصد ماهانه سرعت بادهای بیشتر از سطح آستانه فرسایش ($\text{m/sec} > 6$) مشاهده‌ای ایستگاه هواشناسی هریس در جدول ۴ ارائه‌شده است. بر اساس داده‌های این جدول ۸۸٪ از بادهای ثبت‌شده در این ایستگاه سرعت کمتر از ۶ متر بر ثانیه داشتند.

منطقه تولید ریزگرد شوش‌قوم و گیل‌دیر وضعیت باد و تحلیل شاخص لنکستر

در این پژوهش، شاخص تحرک پذیری تپه‌های ماسه‌ای از اطلاعات هواشناسی ایستگاه همدید هریس (۲۰۰۸-۲۰۲۰) که در ۱۰ کیلومتری منطقه پژوهش بود، استفاده شد. نتایج

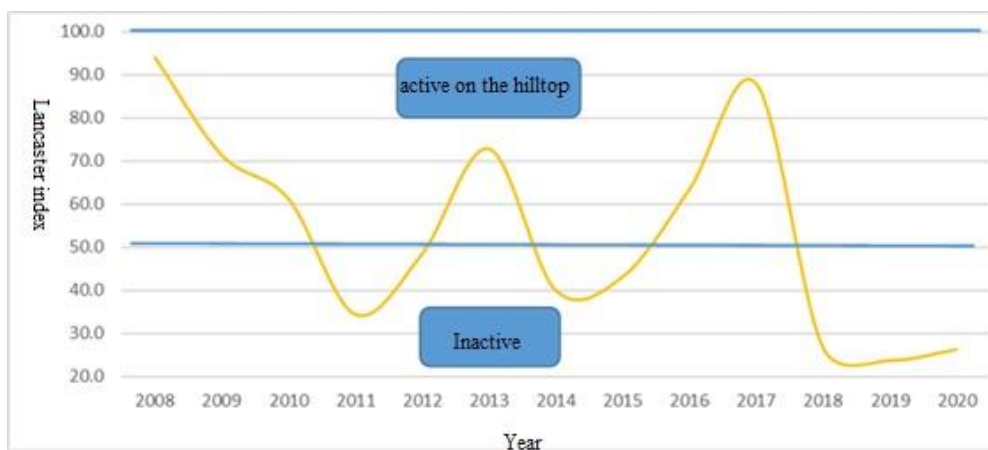
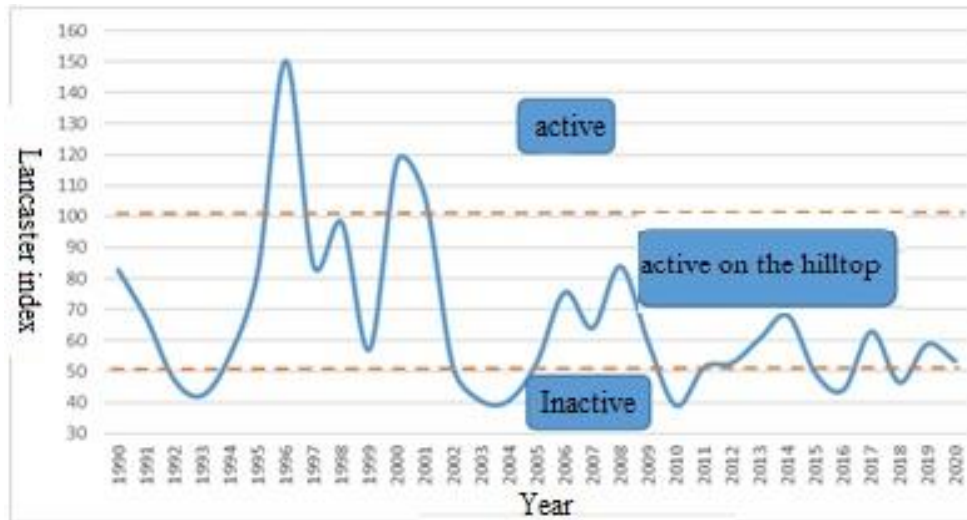
جدول ۴- درصد فراوانی ماهانه طبقه‌های سرعت باد در ایستگاه هواشناسی هریس (۲۰۰۸-۲۰۲۰).

Table 4- Percentage of monthly frequency of wind speed classes at Heris Weather Station (2008-2020).

Month	<6	6-10	11-15	16-20	>20
Jan	91.49	6.21	2.08	0.17	0.04
Feb	91.34	6.32	1.92	0.37	0.05
Mar	79.88	13.13	5.29	1.36	0.34
Apr	78.66	15.65	5.20	0.44	0.04
May	80.94	14.74	3.85	0.48	0.00
Jun	84.95	12.32	2.60	0.09	0.05
Jul	86.14	12.89	0.88	0.09	0.00
Aug	89.36	10.01	0.58	0.04	0.00
Sep	90.59	7.59	1.59	0.18	0.05
Oct	90.53	6.60	2.49	0.39	0.00
Nov	96.07	3.21	0.67	0.04	0.00
Dec	94.40	4.12	1.27	0.21	0.00
%	88.10	9.19	2.34	0.32	0.05

همچنین، روند تحرک پذیری تپه های ماسه ای در این منطقه در سال های اخیر کاهشی بود و به وضعیت غیرفعال متمایل بود (شکل ۸).

تغییرات سالانه شاخص لنکستر در بازه زمانی بررسی شده در شکل ۸ نشان داده شده است. بر اساس این شکل در بیشتر سال های بررسی شده، تحرک پذیری تپه های ماسه ای موجود در این منطقه در رأس تپه ها به شکل فعال بوده است.



شکل ۸- نمودار تغییرات سالانه شاخص لنکستر در ایستگاه هواشناسی هریس (۲۰۰۸-۲۰۲۰).

Figure 8- Chart of annual changes of the Lancaster index at Heris Weather Station (2008-2020).

پوشش گیاهی مرتعی نسبتاً خوب بود. هم‌اکنون، این پوشش گیاهی برای چرای فصلی و مرتع‌داری قابل استفاده است. در دامنه های این واحد دیمرکاری انجام شده است. زمین های حاشیه پایین دست شوش قوم، دشت دامنه ای و واحدهای زمین درجه ۴/۲ بودند. در این زمین ها ذرات ریز از بلندی ها به وسیله رودهای فصلی انتقال یافته و سپس در قسمت های مسطح بعد از واریزه های بادبزی شکل برجای گذاشته شده اند. دشت های دامنه ای در این ناحیه مسطح یا با شیب بسیار ملایم بودند و خاک های آن ژرف تا بسیار ژرف بودند. هم‌اکنون، بخش

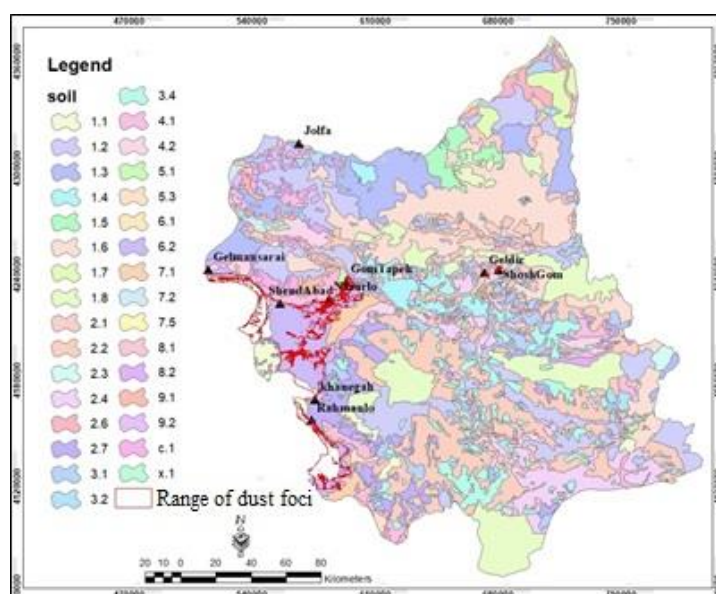
گیاتاشناسی و واحدهای زمین

جنس زمین های کانون ریزگرد شوش قوم و گیلدیر بیشتر از کوه ها، دشت های دامنه ای و دشت های سیلابی بود. کانون شوش قوم با مساحت ۶۸۱ هکتار بیشتر در طبقه واحدهای زمین درجه ۱/۶ و ۴/۲ بود. در این کانون، کوه ها با قله های دایره ای شکل از سنگ های آهکی، آتش فشانی و گاهی دگرگونی تشکیل شده اند. شیب این کوه ها نسبتاً تند و بلندی آنها ۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا بود. خاک های این واحد، کم ژرف تا نیمه ژرف با بافت متوسط تا نسبتاً سنگین بود. در این واحد

کرد. این واحد از دشت‌های سیلابی نسبتاً مسطح با آبراهه‌های بسیار زیاد تشکیل شده است. بافت خاک آن سنگین، ژرف و بسیار شور (به دلیل تأثیر آب‌های زیرزمینی) بود. پوشش گیاهی این منطقه از جنس گیاهان مقاوم به شوری با پراکندگی زیاد بود. هم‌اکنون، این زمین‌ها بایر به‌شمار می‌آیند. واحدهای زمین کانون ریز گرد شوش‌قوم و گیلدیر در شکل ۹ نشان داده شده است.

وسیع‌تری از این دشت‌ها زیر کشت نباتات زراعی و بخش محدودی به شکل باغ است.

دشت‌های سیلابی با مساحت ۱۹۴ هکتار در برخی از بخش‌های منطقه گیلدیر مشاهده شدند و جزو واحدهای زمین درجه ۷/۱ بود. از عامل‌های محدودکننده در این دشت‌ها می‌توان به بافت سنگین خاک، شوری و بالا بودن سفره آب زیرزمینی اشاره



شکل ۹- نقشه واحدهای زمین کانون شوش‌قوم و گیلدیر.

Figure 9- Map of the land units of ShushQom and Gildeer center.

گرد و غبار در منطقه بود. انجام عملیات شخم زراعی در این زمین‌ها نیز باعث شد سطوح خاک به‌هم خورده و پوشش آنها از بین رود و با وزیدن باد در فصل‌های خشک سال، گرد و غبار تولید کنند. نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک ژرفاهای ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری از نقاط و کانون‌های شوش‌قوم و گیلدیر در جدول ۵ نشان داده شده است.

خصوصیات خاک

خاک زمین‌های کانون شوش‌قوم و گیلدیر بیشتر از خاک‌های کم‌ژرف تا نیمه ژرف با بافت متوسط تا نسبتاً سنگین بود. در پایان فصل‌های مرطوب سال روی سطح خاک این زمین‌ها سله تشکیل شد و پس از گرم‌تر شدن هوا و خشک‌تر شدن این زمین‌ها، سله‌ها از بین رفتند و خاک به‌شکل پودری درآمد که منبع ایجاد

جدول ۵- نتایج آزمایش نمونه‌های خاک شوش‌قوم و گیلدیر.

Table 5- The test results of ShoshQom and Gildir soil samples.

Depth (cm)	Texture	PH	EC (ds/m)	OC (%)	(T.N.V) (%)	Gypsum (%)	SAR
0-30	silty clay	9.51	44.2	0.3	*	*	*
60-30	silty clay	9.28	21.5	0.12	*	*	*
60-90	clay	7.81	35.04	0.02	*	*	*

شده است. بر اساس نتایج این جدول سرعت آستانه فرسایش نمونه‌های خاک شوش‌قوم و گیلدیر ۸ متر بر ثانیه بود.

فرسایش‌پذیری خاک‌ها

نتایج آزمایش‌های تونل باد روی نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از سطح زمین‌های کانون شوش‌قوم و گیلدیر در جدول ۶ نشان داده

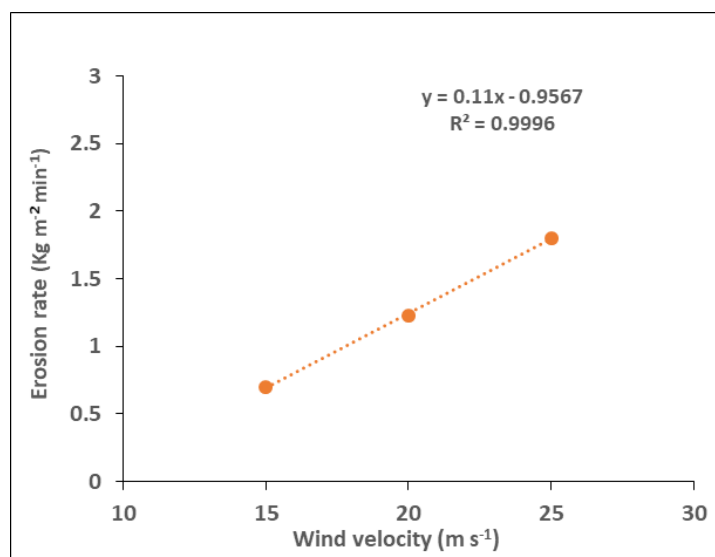
جدول ۶- نتایج آزمایش تونل باد نمونه‌های خاک جمع‌آوری‌شده از سطح زمین‌های شوش‌قوم و گیلدیر.

Table 6- Wind tunnel test results of soil samples collected from the land surface of ShoshQom and Gildir.

Name of the sample location	Observed erosion threshold speed (m/s)	Computational erosion threshold speed (m/s)	Sum of wind (kg/m ² /min)
ShoshQom and Gildir	8	8.69	3.73

ریاضی بررسی شد. سپس، داده‌ها روی محور مختصات X که بیانگر سرعت باد و محور مختصات Y که بیانگر اندازه فرسایش بود، برده شدند. بهترین خط برازش‌شده از نقاط، رسم شد و با امتداد خط به‌دست آمده و برخورد آن با محور X سرعت آستانه فرسایش تعیین شد. سرانجام، به‌وسیله برترین معادله ریاضی به دست آمده و در نظر گرفتن اندازه Y برابر با صفر، سرعت آستانه فرسایش (X) برای نمونه‌های خاک $۸/۶۹$ متر بر ثانیه به‌دست آمد.

شکل و رابطه تعیین فرسایش‌پذیری بادی و سرعت آستانه فرسایش خاک منطقه شوش‌قوم و گیلدیر در شکل ۱۰ نشان داده شده است. سرعت آستانه فرسایش خاک منطقه شوش‌قوم و گیلدیر با دو روش مشاهده‌ای و محاسبه‌ای، به‌ترتیب ۸ و $۸/۶۹$ متر بر ثانیه بود. بر اساس این شکل در روش محاسبه‌ای سرعت آستانه فرسایش خاک اندازه بادبردگی در سرعت‌های گوناگون باد و در پایه‌های زمانی ثابت (۲ دقیقه) اندازه‌گیری شد. سپس رابطه میان بادبردگی و طبقه‌های سرعت به‌شکل نمودار رسم شد و به‌وسیله معادله



شکل ۱۰- رابطه اندازه فرسایش خاک و سرعت باد برای اندازه‌گیری فرسایش بادی منطقه شوش‌قوم و گیلدیر.

Figure 10-The relationship between soil erosion rate and wind speed to measure wind erosion ShoshQom and Gildir region.

ماسه‌ای گوناگون در سطح استان آذربایجان شرقی این استان به‌شکل بالقوه به کانون تولید گرد و غبار تبدیل شده است. مساحت حاشیه خشک‌شده دریاچه ارومیه به‌عنوان بزرگ‌ترین کانون بالقوه تولید گرد و غبار در استان آذربایجان شرقی در بخش‌های شمال، شرق و جنوب‌شرق این استان حدود ۲۲۸۰۰۰ هکتار است. گستره ماسه‌ای منطقه جلفا در بلندی ۷۵۰-۷۰۰ متر از سطح دریا است. نوسان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در پژوهش‌های دیگری در مناطق گوناگون ایران از جمله کویر زرین در استان یزد (شریفی‌پیشون و همکاران ۲۰۲۰) و تپه‌های ماسه‌ای در جنوب‌شرق استان قزوین (زندفر و همکاران ۲۰۲۰) نیز گزارش شده است. بر اساس

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف شناسایی و پایش منابع گرد و غبار و ماسه‌های روان در مناطق جلفا، شوش‌قوم و گیلدیر در استان آذربایجان شرقی انجام شد. گرد و غبار یکی از مشکلات آب و هوایی است که می‌تواند سبب ایجاد خطرات جدی زیست‌محیطی شود. افزون بر این، می‌تواند بر کشاورزی، صنعت، ترافیک و زندگی روزانه مردم تأثیرات نامطلوب داشته باشد. شناسایی مناطق تولید گرد و غبار، اولین گام برای مقابله با این پدیده است. استان آذربایجان شرقی از جمله این مناطق است که در سطوح گوناگون نیازمند اقدام‌های اجرایی برای کاهش و جلوگیری از تولید گرد و غبار است. با وجود تپه‌های

در بخش پست‌ترین نقاط پیرامون رود ارس و تپه‌ماهوری آبخیز ارس بود. در این منطقه، شیب زمین به سمت رود ارس کاهش می‌یافت و آبراهه‌ها کم‌ژرفا بودند و تفاوت بلندی میان کف این آبراهه‌ها و نوک تپه‌ها نیز کم بود. در نواحی پست منطقه بیشتر رسوبات از جنس سازندهای شیلی، مارنی و نهشته‌های کواترنری بودند. بررسی سنگ‌شناسی نشان داد که حاشیه‌های رود ارس از نهشته‌های دشت‌های آبرفتی، زمین‌های کشاورزی، آبرفت‌های جدید رودی و تپه‌های ماسه‌ای است. خاک زمین‌های این کانون کم ژرف تا نیمه ژرف با بافت متوسط تا سنگین همراه با اندازه زیادی سنگ و سنگریزه بود. سرعت آستانه فرسایش خاک در منطقه ارس جلغا در آزمایشگاه تونل باد با دو روش مشاهده‌ای و محاسبه‌ای، به ترتیب ۸ و ۵/۸۴ متر بر ثانیه بود.

با استفاده از تونل باد می‌توان تأثیر سرعت باد، خصوصیات خاک و فرآیندهای حمل ذرات را در شرایط مهارشده بررسی کرد (بوری و همکاران ۲۰۱۱). با استفاده از این دستگاه افزون بر بررسی فرآیند حرکت ذرات در شروع فرسایش، این امکان فراهم شد تا سرعت‌های گوناگون باد که در طبیعت مهارشده نیست، را با دقت بیشتری شبیه‌سازی کرد (کوهک و همکاران ۱۹۹۶، زوبک ۲۰۱۰).

حساس‌ترین ناحیه به فرسایش بادی در کانون جلغا، در سمت انتهایی و جنوبی رود ارس با مساحت ۱۵/۵ هکتار بود. این ناحیه در اولویت اول بود. مناطق دیگر به‌وسیله درختان گز و تاغ تا حدودی تثبیت شده بودند و به‌شرط حفاظت بیشتر و جلوگیری از برداشت ماسه، مشکلی برای پیرامون این نواحی به‌وجود نخواهد آمد.

شکل‌های ماسه‌ای غالب در منطقه شوش‌قوم و گیلدیر، نمکا و سیف بودند. خودرو سواری تفریحی-ورزشی روی سطح تپه‌های ماسه‌ای سبب افزایش ناپایداری سطوح تثبیت‌شده پیشین شده است. در بیشتر سال‌های بررسی شده، تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای موجود در این منطقه در رأس تپه‌ها به‌شکل فعال بوده است. همچنین، روند تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در این منطقه در سال‌های اخیر کاهش یافته و به وضعیت غیرفعال متمایل بود. جنس زمین‌های کانون ریزگرد شوش‌قوم و گیلدیر از کوه‌ها، دشت‌های دامنه‌ای و دشت‌های سیلابی بود. کانون شوش‌قوم و گیلدیر به‌ترتیب با مساحت ۶۸۱ و ۱۹۴ هکتار، بیشتر در طبقه واحدهای زمین درجه ۱/۶ و ۲/۴ بودند. دشت‌های دامنه‌ای در این ناحیه مسطح با شیب بسیار ملایم بودند و خاک‌های آن ژرف تا بسیار ژرف بودند. هم‌اکنون، بخش وسیعی از این دشت‌ها زیر کشت نباتات زراعی و بخش محدودی به‌شکل باغ است. دشت‌های سیلابی در برخی از بخش‌های منطقه گیلدیر مشاهده شدند و جزو واحدهای زمین درجه ۷/۱ بود. از عامل‌های محدودکننده در این دشت‌ها می‌توان به بافت

نتایج این پژوهش از مهم‌ترین عامل‌های این نوسان‌ها، در سال‌های بررسی شده می‌توان به عامل باد و تغییرات شدت خشک‌سالی اشاره کرد که با نتایج پژوهش‌های مزبور هم‌راستا است. همچنین، بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که باد بیشترین تأثیر را بر تحرک ماسه در نقاط پژوهش شده داشت که با یافته‌های هور و همکاران (۲۰۱۸) و محمدخان (۲۰۱۷) که دما را بیشترین عامل تأثیرگذار بر تحرک ماسه می‌دانستند، هم‌راستا نیست.

بر پایه بازدیدهای میدانی شکل‌های ماسه‌ای غالب در منطقه جلغا شامل نمکا و سیف بود. با توجه به مجاورت این منطقه با رود ارس و تأثیرپذیری از اقلیم نیمه‌مرطوب ارسباران، سطح گسترده‌ای از این گستره ماسه‌ای پوشیده از گیاهان نی و خارشتر بود. در بیشتر سال‌های بررسی شده، تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای موجود در این منطقه در رأس تپه‌ها به‌شکل فعال بوده است و فقط چندین سال اول دوره آماری در وضعیت کاملاً فعال بودند. روند تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در این منطقه در سال‌های اخیر کاهش یافته و به وضعیت غیرفعال متمایل بود.

نتیجه بررسی تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای با شاخص لنکستر نشان داد که در مناطق مطالعه‌شده میان شاخص یادشده و داده‌های گرد و غبار رابطه معنی‌داری (۹۹٪) وجود داشت. این یافته نشان‌دهنده کاربرد شاخص لنکستر در منطقه پژوهش شده بود. تحلیل رابطه میان شاخص تحرک‌پذیری با تعداد روزهای غبارآلود محلی نیز نشان داد که میان اندازه‌ی تأثیرپذیری روزهای غبارآلود محلی با فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در بازه سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ رابطه همبستگی قوی و معنی‌داری (۹۹٪) وجود داشت. در بیش از نیمی از سال‌های بررسی شده (۵۲٪) تپه‌های ماسه‌ای در نوک تپه وضعیت فعال داشتند. این یافته با نتایج پژوهش عباسی و همکاران (۲۰۱۹) هم‌راستا است. نتایج تحلیل رابطه میان باد و شاخص لنکستر و ضریب همبستگی میان این دو بیانگر تأثیر قابل‌توجه و غیرمستقیم و معنی‌دار باد بعد از بارندگی بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در نقاط پژوهش بود. نتایج این پژوهش با یافته‌های محمدخان (۲۰۱۷) هم‌راستا است. جنس زمین‌های کانون ریزگرد جلغا بیشتر از واریزه‌های بادبزی شکل سنگریزه‌دار و شیب‌دار بود از مواد ریز و درشت و سنگ‌ریزه تشکیل شده‌اند. کانون جلغا با مساحت ۵۲/۵ هکتار، بیشتر در طبقه واحدهای زمین درجه ۸/۱ بود. زمین‌های این منطقه با پستی‌بلندی متوسط تا زیاد، پوشش گیاهی کم تا متوسط، خاک کم‌ژرف تا نیمه ژرف با بافت متوسط تا سنگین همراه با اندازه زیادی سنگ و سنگریزه بود. هم‌اکنون کاربری این منطقه چراگاه فصلی و مرتع با قابلیت کم است.

از دیدگاه ریخت‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناختی این منطقه

اقلیمی در پهنه‌های آب و هوایی ایران (ابطحی و خسروشاهی ۲۰۰۵؛ حسینی و همکاران ۲۰۰۶؛ انصافی‌مقدم ۲۰۰۷؛ یزاق و همکاران ۲۰۰۷؛ قهرمان و بختیاری ۲۰۰۹؛ خسروشاهی و همکاران ۲۰۰۹)، نیز نشان داد که تغییر ویژگی‌های آب و هوایی از جمله افزایش ضریب خشکی و باد می‌تواند یکی از نشانه‌ها و دلایل نابودی سرزمین و به تبع آن افزایش رخدادهای گرد و غبار باشد (خسروی و همکاران ۲۰۲۲).

اگرچه تاکنون پژوهش‌های چشم‌گیری روی وضعیت تحرک تپه‌های ماسه‌ای در استان آذربایجان شرقی انجام نشده است و فقط در زمینه دریاچه ارومیه انجام شده است؛ از این رو، نمی‌توان یافته‌های این پژوهش را با نتایج پژوهش‌های انجام شده در این منطقه مقایسه کرد، اما می‌توان گفت که یافته‌های این پژوهش با نتایج برخی از پژوهش‌هایی که به نقش عامل‌های اقلیمی به‌ویژه بارندگی و سرعت باد در غبارآلودتر شدن هوا اشاره کرده‌اند (ابراهیمی‌خوسف و همکاران ۲۰۱۹؛ زندی‌فر و همکاران ۲۰۲۰ و نعیمی و همکاران ۲۰۲۱)، هم‌راستا است. این در حالی است که نتایج این پژوهش با یافته‌های پژوهشگرانی که گزارش کردند تپه‌های ماسه‌ای در سال‌های اخیر غیرفعال شده‌اند (توکلی‌فرد ۲۰۱۲)، هم‌راستا نیست. دلیل آن را می‌توان متفاوت بودن شرایط اقلیمی حاکم بر مناطق گوناگون و شیوه‌های مدیریتی انجام شده بر تثبیت تپه‌های ماسه‌های روان دانست.

سپاس‌گزاری

از مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور بخش تحقیقات بیابان که در اجرای این پژوهش همکاری و همیاری زیادی داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

سنگین خاک، شوری و بالا بودن سفره آب زیرزمینی اشاره کرد. این واحد از دشت‌های سیلابی نسبتاً مسطح با آبراهه‌های بسیار زیاد تشکیل شده است. بافت خاک آن سنگین، ژرف و بسیار شور (به دلیل تأثیر آب‌های زیرزمینی) بود. خاک زمین‌های کانون شوش‌قوم و گیلدیر بیشتر از خاک‌های کم‌ژرف تا نیمه ژرف با بافت متوسط تا نسبتاً سنگین بود. در پایان فصل‌های مرطوب سال روی سطح خاک این زمین‌ها سله تشکیل شد و پس از گرم‌تر شدن هوا و خشک‌تر شدن این زمین‌ها، سله‌ها از بین رفتند و خاک به شکل پودری درآمد که منبع ایجاد گرد و غبار در منطقه بود. سرعت آستانه فرسایش خاک گیلدیر-هریس با دو روش مشاهده‌ای و محاسبه‌ای، به ترتیب ۸ و ۸/۶۹ متر بر ثانیه بود. از حساس‌ترین ناحیه‌ها به فرسایش بادی در کانون‌های شوش-قوم و گیلدیر، می‌توان به ناحیه شمال شرق، با مساحت ۳۹۲ هکتار و ناحیه حاشیه شمالی روستای گیلدیر با مساحت ۶/۸ هکتار در اولویت اول اشاره کرد. همچنین، زمین‌های حاشیه جنوب مقصودلو به طرف غرب و حاشیه شمال شرق و جنوب روستای گیلدیر با مساحت ۴۷۶/۱ هکتار از دیدگاه حساسیت به فرسایش به ترتیب در اولویت‌های دوم و سوم بودند.

نتایج بررسی رابطه میان شاخص تحرک ماسه و سنجه اقلیمی باد بیانگر آن است که سنجه اقلیمی باد بالقوه بیشترین تأثیر را بر تحرک ماسه در منطقه پژوهش داشت. با توجه به افزایش تعداد روزهای گرد و غبار در منطقه مطالعه شده که از مشکلات محیط‌زیست منطقه به‌شمار می‌آید، تغییر اقلیم (یاراحمدی و همکاران ۲۰۱۵) از روش بررسی و محاسبه تغییر متغیرهای اقلیمی (اشکنزی و همکاران ۲۰۱۲) بررسی شده است. بررسی‌های پیشین در رابطه با علت‌ها و پیامدهای تغییر ضریب‌ها یا شاخص‌های

فهرست منابع

- Ahmady-Birgani H, Ravan P, Schlosser JS, Cuevas-Robles A, AzadiAghdam M, So-rooshian A. 2020. On the chemical nature of wet deposition over a major desiccated lake: Case study for Lake Urmia Basin. *Atmospheric Research*, 234(104762). <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104762>.
- Abtahi SM, Khosroshahi M. 2005. The territory of the deserts of Isfahan province from the view point of climatology. *Iranian Journal of Range and desert Research*, 12(3): 249–262. (In Persian).
- Alizade Govarchin Ghale Y, Altunkaynak A, Unal A. 2018. Investigation anthropogenic impacts and climate factors on drying up of Urmia Lake using water budget and drought analysis. *Water Resources Management*, 32(19): 325-337. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1812-5>.
- An L, Che H, Xue M, Zhang T, Wang H, Wang Y, Zhang X. 2018. Temporal and spatial variations in sand and dust storm events in East Asia from 2007 to 2016: Relationships with surface conditions and climate change. *Science of the Total Environment*, 633: 452-462. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.068>.
- Ardon-Dryer K, Mock C, Reyes J, Lahav G. 2020. The effect of dust storm particles on single human lung cancer cells. *Environmental Research*, 181, 108891. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108891>.
- Baddock MC, Strong CL, Murray PS, Mc-Tainsh GH. 2013. Aeolian dust as a transport hazard. *Atmospheric Environment*, 71: 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.042>.
- Bali K, Mishra AK, Singh S, Chandra S, Lehahn Y. 2019. Impact of dust storm on phytoplankton bloom over the Arabian Sea: A case study during March 2012. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(0): 11940-11950. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04602-7>.
- Boroughani M, Hashemi H, Hosseini SH, Pourhashemi S, Berndtsson R. 2019. Desiccating Lake Urmia: A new dust source of regional importance. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(9): 1483-1487. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2949132>.
- Dar MA, Ahmed R, Latif M, Azam M. 2022. Climatology of dust storm frequency and its association with temperature and precipitation patterns over Pakistan. *Natural Hazards*, 110 (1): 655-677. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04962-9>.
- Delju AH, Ceylan A, Piguet E, Rebetez M. 2013. Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and applied climatology*, 111: 285-296. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0651-9>.
- Ebrahimikhusfi Z, Khosroshahi M, Roustaei F, Mirakbari M. 2020. Spatial and seasonal variations of sand-dust events and their relation to atmospheric conditions and vegetation cover in semi-arid regions of central Iran. *Geoderma*, 365(2020):1-16. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114225>.
- Ensafimoghadam T. 2007. Evaluation of several climatic drought indicators and determination of the appropriate index in the Salt Lake basin. *Iranian Journal of Range and desert Research*, 14(2): 271–288. (In Persian).
- Gahraman N, Bakhtiari B. 2009. Solar radiation Estimation from rainfall and temperature data in arid and semi-arid climates of Iran. *Journal of Desert*, 14(2): 141–150. (In Persian).
- Goudie AS. 2019. Dust storms and human health. In *extreme weather events and hu-*

- man health: international case studies. Cham: Springer International Publishing , pp. 13-24. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23773-8-2>.
- Hamzeh NH, Karami S, Opp C, Fattahi E, Jean-François V. 2021. Spatial and temporal variability in dust storms in the middle east, 2002–2018: Three case studies in July 2009. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(7): 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06859-0>.
- Hamzeh NH, Ranjbar Saadat Abadi A, Ooi MCG, Habibi M, Schöner W. 2022. Analyses of a lake dust source in the middle east through models performance. *Remote Sensing*, 14(9): 1-24. <https://doi.org/10.3390/rs14092145>.
- Hassanzadeh E, Zarghami M, Hassanzadeh Y. 2012. Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management*, 26(1): 129-145. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9909-8>.
- Hoseini M, Khosroshahi M, Atapour A, Karami SA. 2006. Introduction and determination of characteristics Climatic and geological deserts in Tehran province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 13(2): 102–108. (In Persian).
- Indoitu R, Kozhoridze G, Batyrbaeva M, Vitkovskaya I, Orlovsky N, Blumberg D, Orlovsky L. 2015. Dust emission and environmental changes in the dried bottom of the Aral Sea. *Aeolian Research*, 17: 101-115. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2015.02.004>.
- Karami S, Hamzeh NH, Kaskaoutis DG, Rashki A, Alam K, Ranjbar A. 2021. Numerical simulations of dust storms originated from dried lakes in central and southwest Asia: The case of Aral Sea and Siestan Basin. *Aeolian Research*, 50(1): 100679. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2021.100679>.
- Khosravi H, Hanifehpour M, Biabani L, Akbarpoorbonab B. 2022. Monitoring and forecasting of climatic factors affecting the mobility of sand dunes using Lancaster index (Case study: Sirjan Desert). *Journal of Arid Regions Geographical Studies*, 13(48): 1–20. (In Persian).
- Khosroshahi M, Kashki MT, Ensafimoghadam T. 2009. The territory of the climatological deserts of Iran. *Iranian Journal of Range and desert Research*, 16(1): 96–113. (In Persian).
- Khusfi ZE, Khosroshahi M, Roustaei F, Mirakbari M. 2020. Spatial and seasonal variations of sand-dust events and their relation to atmospheric conditions and vegetation cover in semi-arid regions of central Iran. *Geoderma*, 365(2020):1-16. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114225>.
- Kochkarova S, Mambetullaeva S. 2020. Study of successional processes of vegetation cover on the dried seabed of the Aral Sea. *Journal Research on the Lepidoptera*, 51(1): 764–768. DOI:10.36872/LEPI/V51I1/301071.
- Kok JF, Adebisi AA, Albani S, Balkanski Y, Checa-Garcia R, Chin M, Wan JS. 2021. Contribution of the world's main dust source regions to the global cycle of desert dust. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(10): 1-25. <https://doi.org/10.5194/acp-21-8169-2021>.
- Kutuzov S, Legrand M, Preunkert S, Ginot P, Mikhalenko V, Shukurov K, Toropov P. 2019. The elbrus (Caucasus, Russia) ice core record–Part 2: History of desert dust deposition. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(22): 14133-14148. <https://doi.org/10.5194/acp-19-14133-2019>.
- Labban AH, Butt MJ. 2021. Analysis of sand and dust storm events over Saudi Arabia in relation with meteorological parameters and ENSO. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(1): 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06291-w>.

- Li J, Garshick E, Huang S, Koutrakis P. 2021. Impacts of El Niño-Southern Oscillation on surface dust levels across the world during. *Science of the Total Environment*, pp.1982–2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144566>.
- Liu D, Abuduwaili J, Lei J, WuG. 2011. Deposition rate and chemical composition of the aeolian dust from a bare saline playa, Ebinur Lake, Xinjiang, China. *Water, Air and Soil Pollution*, 218(1): 175-184. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0633-4>.
- Mardi AH, Khaghani A, MacDonald AB, Nguyen P, Karimi N, Heidary P, Sorooshian A. 2018. The Urmia Lake environmental disaster in Iran: A look at aerosol pollution. *Science of the Total Environment*, 633(0): 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.148>.
- Middleton N. 2019. Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: Climatic drivers and human impacts. *Geosciences*, 9(6): 1-12. <https://doi.org/10.3390/geosciences9060261>.
- Middleton NJ. 2017. Desert dust hazards: A global review. *Aeolian Research*, 24(0): 53-63. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2016.12.001>.
- Miri A, Maleki S, Middleton N. 2021. An investigation into climatic and terrestrial drivers of dust storms in the Sistan region of Iran in the early twenty-first century. *Science of the Total Environment*, 757(0): 143952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143952>.
- Mohamadkhan S. 2017. Investigating the status and trends of dust storms in Iran during the period of 1985-2005. *Journal of Range and Watershed Management*, 70(2): 495–514. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.123300.867>.
- Naeimi M, Zandifar S, Khosroshahi M, Ashouri P, Abbasi HR. 2021. Investigating the effects of climate change on the mobility of sand dunes (Case study: Sabzevar City). *Journal of Desert Management*, 9(2): 1–18. (In Persian). <https://dx.doi.org/10.22034/jdmal.2021.246296>.
- Naji H, Taherpour M. 2019. The effect of simulated dust storm on wood development and leaf stomata in *Quercus brantii* L. *Desert*, 24(1): 43-49. <https://doi.org/10.22059/JDESERT.2019.72435>.
- Opp C, Groll M, Abbasi H, Foroushani MA. 2021. Causes and effects of sand and dust storms: What has past research taught us? A survey. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(7): 1-25. <https://doi.org/10.3390/jrfm14070326>.
- Opp C, Wagemann J, Banedjshafi S, Abbasi HR. 2017. Aral Sea Syndrome and Lake Urmia crisis. A Comparison of causes, effects and strategies for problem solutions. *Geoparks and Geotourism in Iran. Schriften zur Internationalen Entwicklungs- und Umweltforschung*. Edited by A. Dittmann. Gießen: Zentrum für Internationale Entwicklungs- und Umweltforschung, Universität Gießen, 34(0): 169-183.
- Salehi S, Ardalan A, Ostadtaghizadeh A, Garmaroudi G, Zareiyan A, Rahimiforushani A. 2019. Conceptual definition and framework of climate change and dust storm adaptation: A qualitative study. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 17(2): 797-810. <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00396-5>.
- Schepanski K. 2018. Transport of mineral dust and its impact on climate. *Geosciences*, 8(5): 1-19. <https://doi.org/10.3390/geosciences8050151>.
- Sharifi Paichoon M, Omidvar K, Miri Z. 2020. Morphological study of the sand dunes in Zarrin Erg and its adaptation to the regional wind data. *Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 8(1): 1–27. (In Persian).
- Singer A, Zobeck T, Poberezsky L, Argaman E. 2003. The PM10 and PM2.5 dust gen-

- eration potential of soils/sediments in the Southern Aral Sea Basin, Uzbekistan. *Journal of Arid Environments*, 54(4): 705-728. <https://doi.org/10.1006/jare.2002.1084>.
- Soudi M, Ahmadi H, Yasi M, Hamidi SA. 2017. Sustainable restoration of the Urmia Lake: History, threats, opportunities and challenges. *European Water*, 60(1): 341-347. Available online: <https://worldview.earthdata.nasa.gov> (accessed on 8 July 2022).
- Tavakolifard A. 2012. Morphology of sand dunes and their relationship with wind regime (Case study: Kashan Erg). M.A. Dissertation. Faculty of Natural Resources. Kashan University, 101 p. (In Persian).
- Yarahmadi D, Nasiri B, Khoshkish A, Nikbakht H. 2015. The effect of weather fluctuations on the occurrence of dust phenomenon (Case study, dust storms of West and South western of Iran). *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 3(5): 19-28. (In Persian).
- Zandifar S, Ebrahimikhusfi Z, Khosroshahi M, Naeimi M. 2020. Analysis of the effect of climatic parameters and meteorological droughts on the variation of internal dust events(A case study: Qazvin City). *Journal of Water and Soil Science*, 24(3): 239–256. (In Persian).



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Identification and Monitoring of Sources of Dust and Dunes in the Jolfa, ShoshQom and Gildir in the East Azarbaijan Province

Houshang Behrawan ^{*1}, Jamshid Yarahmadi ², Hamid Reza Abbasi ³

1 And 2- Assistant Professor, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Tabriz, Iran

3- Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Department of Sand Dunes Research, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Dust is one of the environmental issues that affect air quality and pollution, human health, soil fertility, and many social and environmental aspects of society. Wind erosion and sand dune movement have adverse environmental consequences. Identifying factors affecting sand mobility and predicting their condition in the future is necessary to control the wind erosion process. The purpose of this study is to identify and monitor the sources of dust and quicksand in the Jolfa, ShushQom and Gildir areas.

Materials and Methods

Analyzing wind climate data, identifying the sources of fine dust production, measuring and monitoring the production of dust and wind deposits were done using the RDD index. Also, the threshold speed and intensity of wind erosion were measured using a wind tunnel device. In order to investigate the effect of climate change, especially wind and rain, on the activity of sands and to predict the possibility of movement of sand dunes and sand dunes and the dust caused by them, Lancaster's global method was used.

Results and Discussion

The results of the Lancaster index showed that 10% of the statistical years were in an active state, which corresponded to the years 1996, 2000 and 2001. Whereas, the immobility of sand dunes (inactive) according to the Lancaster index has accounted for about 26% of the statistical years; 65% of the time in 2020, sand dunes were in an active or sand-moving state at the top of the dunes. The lands of the Jolfa micropol-

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: h.behrawan@areeo.ac.ir

Citation: Behrawan, H., Yarahmadi, J., Abbasi, H.R. 2024. Identification and Monitoring of Sources of Dust and Dunes in the Jolfa, ShushQom and Gildar in the East Azarbaijan Province. Watershed Management Research. 37(3): 35-53.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.363055.1548

Received: 01 August 2023, **Received in revised form:** 04 October 2023, **Accepted:** 21 December 2023

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp. 35-53.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)



lution center are mainly formed by the type of gravelly and sloping fan-shaped debris, and the soils of ShushQom and Gildir micropollution center are mainly a combination of mountains, hilly plains and flood plains. The results of wind tunnel tests on soil samples collected from the land surface of the Jolfa region showed that the erosion threshold of the collected sample is 8 m s^{-1} .

Conclusions and Suggestions

According to the results of this research, abandoned rain fields, poor pastures, dry river beds and seasonal stream, etc., in the presence of environmental factors and accompanied by adverse climatic factors, are potential sources of dust and fine dust production, but the said lands in East Azarbaijan province are scattered and in certain conditions and times, they can produce a significant amount of fine dust.

Key words: Air quality and pollution, dust, human health, Lancaster method, RDD index



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

بررسی تغییرپذیری ماهانه فرسایش خاک در آبخیز معرف کسلیان با استفاده از مدل RUSLE

فاطمه سارونه^۱، عبدالواحد خالدی درویشان^{۲*}، وحید موسوی^۳

۱ - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

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

۳ - استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

یکی از رایج‌ترین انواع نابودی خاک، فرسایش خاک به وسیله عوامل‌های باران و رواناب است. فرسایش خاک باعث کاهش کیفیت خاک در محل فرسایش می‌شود و رسوب به وجود آمده از فرسایش نیز باعث ایجاد مشکلاتی در درون و خارج از آبخیز می‌شود. به دلیل هزینه زیاد اندازه‌گیری فرسایش خاک و تولید رسوب، مدل‌های متنوعی برای برآورد شدت این متغیرها در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی پیشنهاد شده است. از این میان معادله جهانی اصلاح‌شده هدررفت خاک (RUSLE) هم به دلیل وجود داده‌های لازم برای عامل‌های ورودی مدل و هم امکان اجرا به شکل توزیعی، به طور گسترده در همه نقاط جهان استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در مقیاس ماهانه در سال ۲۰۲۱ برای آبخیز معرف کسلیان انجام شد. ابتدا نقشه توزیعی پنج عامل مدل RUSLE تهیه شد. از آنجایی که متغیرهای

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: سارونه، ف، خالدی درویشان، ع، موسوی، و. ۱۴۰۳. بررسی تغییرپذیری ماهانه فرسایش خاک در آبخیز معرف کسلیان با استفاده از مدل RUSLE. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۳): ۷۵-۵۴.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.362691.1545

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۴، پاییز ۱۴۰۳، صفحه‌های ۵۴ تا ۷۵.

© نویسندگان

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



پوشش گیاهی و بارش در مقیاس ماهانه تغییر قابل توجهی داشتند، تغییرات زمانی عامل‌های مزبور منجر به پویایی سامانه آبخیز و تغییرات ماهانه فرسایش خاک شد. همچنین، عامل‌های فرسایش پذیری خاک، پستی‌بلندی و مدیریت زمین به‌عنوان عامل‌های ایستا در نظر گرفته شد. سرانجام عامل‌های پنج‌گانه مدل در نرم افزار Arc GIS در یکدیگر ضرب شدند و نقشه‌های توزیعی فرسایش در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه تهیه شد.

نتایج و بحث

با توجه به نقشه‌های توزیعی ماهانه، فصلی و سالانه فرسایش خاک، بیش‌ترین و کم‌ترین فرسایش ماهانه خاک به‌ترتیب ۱/۱۳ و ۰/۱۳ تن در هکتار در ماه‌های نوامبر و آوریل رخ داد. میانگین شدت فرسایش خاک در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به‌ترتیب ۱/۳۲، ۲/۷۴، ۲/۹۹ و ۱/۵۲ تن در هکتار به‌دست آمد. بنابراین، کم‌ترین فرسایش فصلی خاک به‌ترتیب در فصل بهار و زمستان و بیش‌ترین آن به‌ترتیب در فصل پاییز و تابستان رخ داده است. سرانجام می‌توان گفت فرسایش خاک در نیمه دوم سال بیش‌تر از نیمه اول، بود. میانگین شدت فرسایش خاک در آبخیز معرف کسلیان ۸/۵۶ تن در هکتار در سال برآورد شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد فرسایش در بخش گسترده‌ای از آبخیز بررسی‌شده، کم بود و فقط دامنه‌های با شیب زیاد به‌ویژه با پوشش گیاهی کم شامل مراتع و زمین‌های زراعی رهاشده، مستعد فرسایش تشدیدي خاک بودند. بر اساس نتایج این پژوهش فرسایش خاک به‌دلیل تبدیل کاربری‌های جنگل و مرتع به زمین‌های کشاورزی و باغی و حتی مسکونی، افزایش یافت. سرانجام پیشنهاد می‌شود که با استفاده از راهکارهای مدیریتی و اقدام‌های حفاظت خاک به‌ویژه در دامنه‌ها و مناطق با شیب زیاد از تغییر کاربری زمین جلوگیری شود.

واژگان کلیدی: تغییر کاربری زمین، حفاظت خاک، فرسایش پذیری خاک، مدل‌های توزیعی، مدل RUSLE

مقدمه

و باعث کاهش منابع اقتصادی و افزایش سوءتغذیه در کشورهای مختلف می‌شود (گاین و همکاران ۲۰۱۷). به‌دلیل هزینه زیاد اندازه‌گیری فرسایش خاک و تولید رسوب، مدل‌های متنوعی برای برآورد شدت این متغیرها در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی توسعه یافته است. (حاجی‌قلی‌زاده و همکاران ۲۰۱۸). با توجه به اهمیت حفاظت خاک و اهمیت بررسی و تعیین حساسیت خاک در مقابل عامل‌های فرسایش‌دهی، پژوهشگران در زمینه‌های گوناگونی سعی کرده‌اند تا عامل‌های فرسایش را شناسایی کنند و مدل‌هایی را برای ارزیابی خاک ارائه دهند (بیاتی‌خطیبی ۲۰۱۶). مدل‌های فرسایش خاک ابزار اساسی برای ارزیابی دقیق و پیش‌بینی وضعیت شدت فرسایش خاک در مقیاس منطقه‌ای هستند (تیان و همکاران ۲۰۲۱). هم‌اکنون، روش‌های پرشماری برای برآورد فرسایش آبی خاک وجود دارد که با ورودی‌های متفاوت می‌توان فرسایش را برآورد کرد. معادله جهانی اصلاح‌شده هدررفت خاک (RUSLE) با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنسش از دور (RS) تلفیق شده است و امکان تحلیل داده‌های مکانی را فراهم می‌آورد. این موضوع نیز موجب شده تا از این مدل

امروزه فرسایش خاک به‌عنوان خطری برای رفاه انسان و حتی برای حیات او به‌شمار می‌آید (حمزه و عرب‌خدری ۲۰۲۳). در میان فرآیندهای مختلف نابودی زمین‌ها، فرسایش خاک تهدیدی جدی برای حفاظت منابع آب و خاک کشورمان است. فرسایش، نتیجه اثر متقابل مجموعه‌ای از عامل‌های طبیعی و انسانی است که برحسب شرایط خاص منطقه، یک یا چند عامل، به‌عنوان عامل‌های اصلی و تعیین‌کننده اثرگذار هستند (محمدی و همکاران ۲۰۲۲). فرسایش خاک یک فرآیند طبیعی است که در آن وسعت و بزرگی از دست‌دادن خاک به‌وسیله عامل‌های مختلف محیطی مانند آب و هوا، خاک، پستی‌بلندی و پوشش گیاهی مهار می‌شود (ویش‌مایر و اسمیت ۱۹۷۸). آب و باد دو عامل اصلی ایجاد فرسایش خاک هستند (آل‌ول و همکاران ۲۰۱۹). فرسایش آبی تحت تأثیر آب و هوا، پستی‌بلندی سطح زمین، سنگ‌شناسی، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی است (عثمان و همکاران ۲۰۲۳). برآورد تقریبی نشان می‌دهد که سالانه ۱۰ میلیون هکتار از زمین‌های زراعی جهان به‌دلیل فرسایش خاک نابود می‌شود. از این رو، تولیدات کشاورزی کاهش می‌یابد

در مقیاس‌های مختلف به‌شکل گسترده استفاده شود (هویوس ۲۰۰۵؛ پاناگوس و همکاران ۲۰۱۵؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۸).

هم‌اکنون، شاید بتوان گفت RUSLE پرکاربردترین مدل پیش‌بینی فرسایش خاک در سطح جهان است (ریس و همکاران ۱۹۹۳). در این پژوهش مدل RUSLE به‌عنوان نسخه اصلاح‌شده USLE برای پیش‌بینی فرسایش خاک سالانه به‌شمار می‌آید (حاجی و همکاران ۲۰۱۴). این مدل برآوردهای دقیق‌تری از عامل‌های R ، K ، C و P ارائه می‌دهد (محمدی و همکاران ۲۰۱۸). مدل RUSLE می‌تواند ظرفیت فرسایش خاک را به‌شکل توزیعی پیش‌بینی کند که برای شناسایی الگوی مکانی هدررفت خاک بسیار مفید است (شیند و همکاران ۲۰۱۰). در این شرایط، با ظهور سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، مزایای پژوهش فرسایش خاک در مقیاس بزرگ می‌تواند با RUSLE سازگارتر باشد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۹؛ اسلام و همکاران ۲۰۲۰؛ بهرا و همکاران ۲۰۲۰). سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحلیل داده‌های مکانی را با سرعت بیشتر و به‌سادگی امکان‌پذیر کرده و مدیریت اطلاعات را ساده می‌کند (شی و همکاران ۲۰۰۴). در این راستا، با توجه به اهمیت روزافزون فرسایش خاک و با تأکید بر بررسی کارایی و تأثیر سامانه اطلاعات جغرافیایی، داده‌های سنجش از دور و مدل RUSLE، فرسایش خاک در مقیاس ماهانه در آبخیز کسلیان بررسی شد. نتایج این پژوهش می‌تواند برای پژوهشگران و مسئولان برای پهنه‌بندی فرسایش خاک استفاده شود.

تازه‌ترین نتایج پژوهش‌های استفاده از مدل RUSLE در جهان نشان‌دهنده کارایی مناسب این مدل برای برآورد فرسایش خاک در مقیاس‌های مختلف زمانی است. در جنوب غربی هند در آبخیز نترواتی، گاناسری و رامش (۲۰۱۶) به‌وسیله معادله جهانی هدررفت خاک (RUSLE) در محیط GIS تلفات خاک را برآورد کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که فرسایش کل سالانه خاک در ۴۷۳۳۳۹ تن در سال بود و رسوب اندازه‌گیری‌شده در طول سال آبی (۲۰۰۳-۲۰۰۲) نیز ۴۴۱۸۷۰ تن بود. در شرایطی که نرخ فرسایش خاک پیش‌بینی شده به‌دلیل افزایش سطح کشاورزی ۱۴۳۷۳/۵ تن در سال بود. این پژوهشگران گزارش کردند که بخش گسترده‌ای از آبخیز مزبور در طبقه احتمال کم بود و فقط بخش کوچکی در زیر طبقه احتمال زیاد و بسیار زیاد بود. در نیجریه نوگیو و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل RUSLE و سنجش از دور تأثیر تغییر پوشش زمین بر اندازه فرسایش خاک را در چهار دوره بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند فرسایش

خاک در دامنه‌های شیب‌دار شدید و در مناطق با پوشش گیاهی متراکم، ناچیز بود. در هند در آبخیز ناحیه الله‌آباد از ایالت اوتار پرادش، راوات و همکاران (۲۰۱۸) اندازه آسیب‌پذیری در مقابل فرسایش خاک را با استفاده از RUSLE و GIS ارزیابی کردند. آنها نتیجه گرفتند که فرسایش خاک موجب کاهش پوشش گیاهی شد و حتی در مواردی رویش پوشش گیاهی را متوقف کرد. این پژوهشگران تأکید کردند که بررسی نقشه‌های خطر فرسایش در ایجاد رویکردهای بهتر برای برنامه‌ریزی زمین و محیط‌زیست مفید خواهد بود. در کشور نپال، کویرالا و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل RUSLE اندازه سالانه هدررفت خاک را برآورد کردند. نتایج آنها بیانگر آن بود که کل منطقه بر اساس شدت فرسایش به شش طبقه فرسایش طبقه‌بندی شد و ۱۱٪ از منطقه در معرض خطر فرسایش بسیار شدید (بیشتر از ۸۰ تن در هکتار در سال) بود.

ساحا و همکاران (۲۰۲۲) برای محاسبه شدت فرسایش سالانه خاک در منطقه زیرآبخیز جامونای غربی از مدل RUSLE استفاده کردند. نتایج این پژوهش بیانگر آن بود که در اثر فرسایش سالانه خاک ۵۹۸۲۳۲ تن خاک از منطقه مطالعه‌شده هدر رفت. افزون بر این، در این پژوهش میانگین بالقوه شدت فرسایش خاک تقریباً ۲۹/۵ تن در هکتار در سال برآورد شد. در نیوزیلند در تعدادی از آبخیزها، دانون (۲۰۲۲) هدررفت خاک ناشی از فرسایش سطحی را مدل‌سازی کرد و عامل‌های مؤثر بر آن را در هر یک از کاربری‌های زمین ارزیابی کرد. در این پژوهش، اثرات چرای دام بر پوشش زمین (Cgr) و فرسایش‌پذیری خاک (Ktr) در چارچوب مدل RUSLE بررسی شد. اعتبارسنجی نتایج با استفاده از اندازه‌گیری‌های مستقیم رسوب و انگشت‌نگاری رسوب انجام شد. نتایج این بررسی نشان داد که رابطه میان نتایج برآوردی مدل و نتایج مشاهده‌ای، خطی قوی بود ($R^2=0.186$). سرانجام این پژوهشگران گزارش کردند که تأثیر عامل پستی‌بلندی بر فرسایش خاک به‌طور مستقیم از طریق شیب و همگرایی جریان بود و به‌طور غیرمستقیم نیز از طریق اثر بر فرسایش‌دگی باران بود. در کشور تونس، سرباجی و همکاران (۲۰۲۳) خطر فرسایش خاک را با استفاده از مدل RUSLE ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تونس در معرض جدی خطر فرسایش آبی خاک است، به‌طوری‌که ۶/۴۳٪ از مساحت کل کشور هدررفت خاک بسیار زیادی (بیش از ۳۰ تن در هکتار در سال) دارد و ۴/۲۰٪ از مساحت کل کشور هدررفت خاک به اندازه ۲۰ تا ۳۰ تن در هکتار در سال دارد.

در ایران، ذبیحی و همکاران (۲۰۱۴) الگوهای مکانی

اعمال ضریب اصلاحی این مدل توانست اندازه میانگین فرسایش کل دوره را با خطای میان ۲ الی ۱۷٪ برآورد نماید.

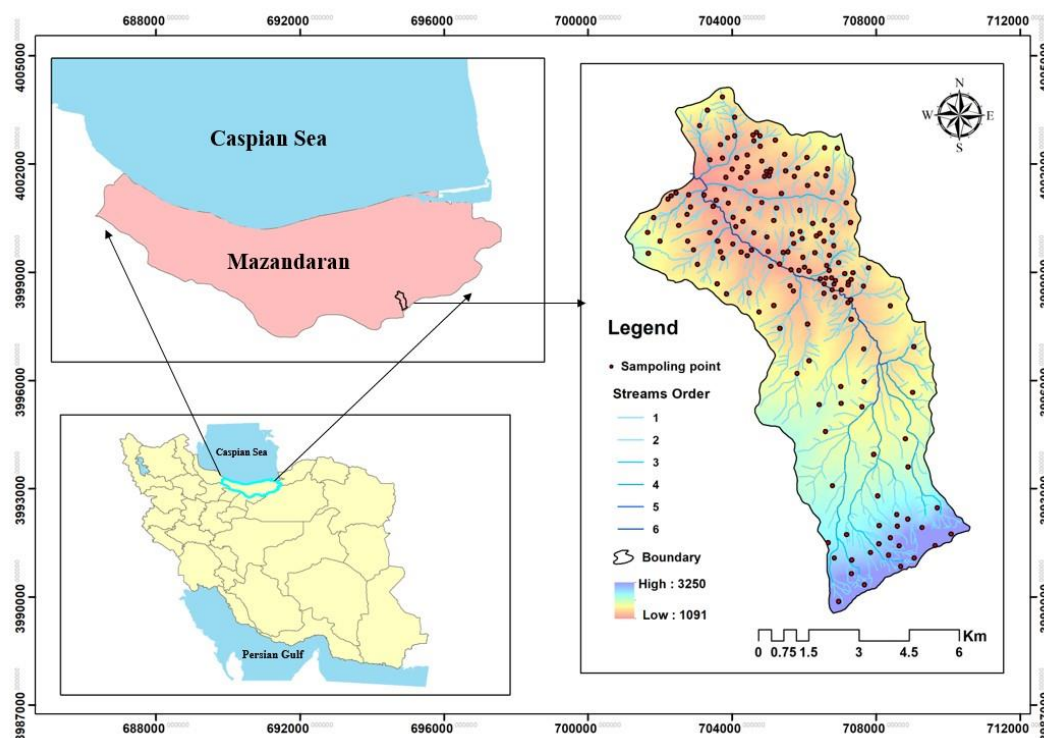
بر پایه نتایج پژوهش‌های انجام شده، صحت و دقت مدل RUSLE تأیید شده است. این مدل در تمام کاربری‌های زمین نتایج قابل قبولی داشته است. همچنین، پژوهش‌هایی در رابطه با پویایی عامل‌های فرساینده باران و پوشش گیاهی و تأثیر آن بر تغییرات فرسایش خاک انجام شده است. اما، پژوهش‌ها در مقیاس ماهانه بسیار کم است. از این رو بر اساس پوشش جنگلی، تغییرات کاربری زمین و شیوه‌های کشاورزی ناصحیح که به شکل پرشمار در سطح منطقه مطالعه شده مشاهده می‌شود، این پژوهش با هدف برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در مقیاس ماهانه در سال ۲۰۲۱ در آبخیز معرف کسلیان در استان مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

آبخیز معرف کسلیان یکی از سرشاخه‌های رود تالار است. این آبخیز میان عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 58' 45''$ تا $36^{\circ} 07' 45''$ شمالی و طول‌های $53^{\circ} 10' 30''$ تا $53^{\circ} 17' 30''$ شرقی است. مساحت این آبخیز $67/5$ کیلومتر مربع است. این آبخیز میان بلندی‌های 1100 تا 2900 متری از سطح آب‌های آزاد است (سرتیپ و همکاران ۲۰۱۸) (شکل ۱). ایستگاه آب‌سنجی ولیک‌بن در خروجی این آبخیز در نزدیکی روستای ولیک‌بن و در بلندی 1200 متر از سطح دریا است. میانگین بارندگی در آبخیز 750 میلی‌متر است. بر پایه طبقه‌بندی دومارتن اقلیم منطقه مطالعه شده نیمه‌مرطوب تا بسیار مرطوب است. پوشش گیاهی غالب در این آبخیز پوشش جنگلی است که با گذشت زمان در اثر افزایش جمعیت روستاها از وسعت آن کاسته و بر وسعت کاربری‌های دیگر افزوده شده است (صادقی و همکاران ۲۰۱۴).

عامل فرساینده‌ی باران در مقیاس‌های زمانی متفاوت را تحلیل کردند و نشان دادند که اندازه میانگین سالانه عامل فرساینده‌ی باران در کشور $30/31$ تن متر سانتی‌متر بر هکتار ساعت است. در غرب استان ارومیه در آبخیز روضه‌چای، حاجی و همکاران (۲۰۱۸) اندازه فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف با استفاده از مدل RUSLE را ارزیابی و مقایسه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه میانگین فرسایش خاک آبخیز مزبور $13/1$ تن در هکتار در سال بود. آنها بیش‌ترین اندازه میانگین فرسایش خاک در کاربری‌های مرتع با پوشش متوسط و مرتع با پوشش متراکم را به ترتیب $16/73$ و $14/53$ تن بر هکتار در سال برآورد کردند. در آبخیز معرف خامسان، خالدی‌درویشان و همکاران (۲۰۲۱) تغییرات مکانی-زمانی فرسایش خاک در دو سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۷-۱۳۹۶ را با استفاده از مدل RUSLE را ارزیابی کردند و دریافتند که فرسایش خاک در فصل زمستان با اندازه‌های $3/94$ و $4/59$ تن در هکتار به ترتیب 49 و 74 ٪ از کل فرسایش دو سال بررسی شده را به خود اختصاص داد. قویمی‌پناه و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی از مدل RUSLE برای برآورد شدت فرسایش و رسوب در آبخیز کن واقع در استان تهران استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین شدت فرسایش و رسوب آبخیز کن به ترتیب برابر با 9 تن در هکتار و $3/2$ تن در هکتار بود. همچنین پاسبان و همکاران (۲۰۲۲) اندازه فرسایش خاک در آبخیز بالیخوچای در استان اردبیل را به وسیله مدل RUSLE مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که اندازه میانگین سالانه فرسایش خاک برای کل آبخیز در دامنه میان $6/65$ تا $14/75$ تن در هکتار در سال متغیر است. نور و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی به برآورد فرسایش خاک و نسبت تحویل رسوب با استفاده از مدل RUSLE در پایگاه پژوهش‌های حفاظت خاک سنگانه پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که برآوردهای مدل RUSLE از وضعیت فرسایش و رسوب با نتایج داده‌های کرت‌های فرسایشی تطابق نداشت. اما پس از



شکل ۱- موقعیت آبخیز معرف کسلیان در استان مازندران و ایران.

Figure 1- Location of the Kasilian representative watershed in Mazandaran Province and Iran.

معادله جهانی اصلاح شده هدررفت خاک (RUSLE) معادله جهانی هدررفت خاک (USLE) در سال ۱۹۴۷ به وسیله سازمان تحقیقات کشاورزی ایالات متحده آمریکا برای برآورد اندازه فرسایش سطحی ارائه شد (ویشمیر و اسمیت ۱۹۷۸). در معادله جهانی اصلاح شده هدررفت خاک می توان لایه های ورودی را به شکل توزیعی با کمک روش های GIS و RS به دست آورد (رنارد و فریدمند ۱۹۹۴). فرسایش خاک در مدل RUSLE از حاصل ضرب پنج عامل و به شکل رابطه ۱ برآورد می شود.

$$A=R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

A: میانگین سالانه هدررفت خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، R: عامل فرسایش باران (مگاژول میلی متر در هکتار بر ساعت در سال)، K: عامل فرسایش پذیری خاک (تن در ساعت بر مگاژول بر میلی متر)، L: عامل طول شیب، S: عامل درجه شیب، C: عامل مدیریت زراعی (مدیریت پوشش گیاهی)، P: عامل مدیریت زمین است.

در این میان عامل های C، LS و P بدون واحد هستند. عامل LS عامل پستی بلندی مدل است و با استفاده از نقشه پستی بلندی به دست می آید. عامل های C و P به ترتیب اثر حفاظتی پوشش زمین و اقدام های حفاظتی در

داده های استفاده شده

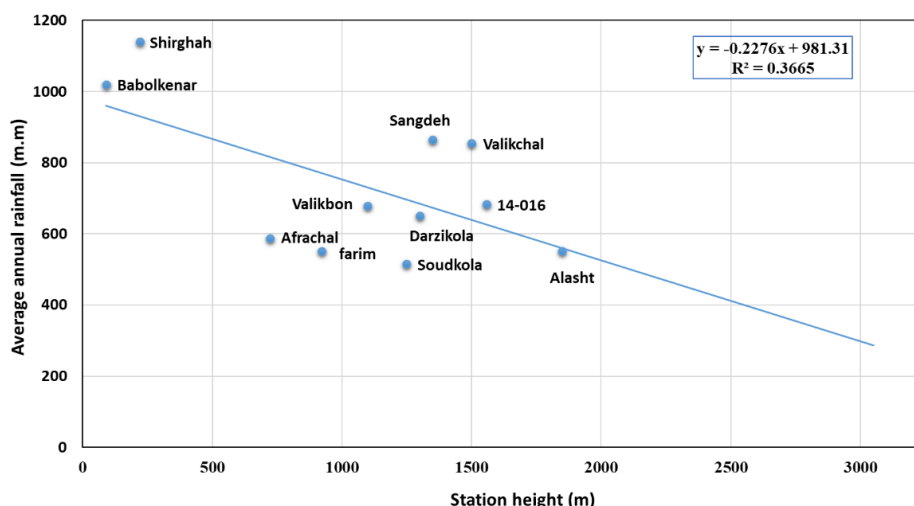
در این پژوهش از داده های ماهانه و سالانه بارندگی در پنج ایستگاه باران سنجی در درون و نزدیک به آبخیز استفاده شد. ابتدا لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) با دقت مکانی ۱۲/۵ متر از سنجنده ALOS از پایگاه زمین شناسی آمریکا تهیه شد. برای تهیه نقشه عامل پستی-بلندی (LS) نیز از این مدل رقومی ارتفاع استفاده شد. سپس، با استفاده از تصویرهای ماهواره لندست ۹ در سال ۲۰۲۱ برای منطقه مطالعه شده که از تارنمای سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا دریافت شده بود و نمونه های تعلیمی جمع آوری شده با بازده های میدانی از منطقه مزبور، نقشه کاربری زمین تهیه شد. همچنین ضمن بازدید از آبخیز، از خاک سطحی در همه کاربری های زمین نمونه برداری با پراکنش مناسب انجام شد. سپس نمونه های خاک به آزمایشگاه منتقل شد و متغیرهای لازم برای برآورد عامل فرسایش پذیری خاک (K) اندازه گیری شد. در این پژوهش از نرم افزار Arc GIS ۱۰٫۸ برای تهیه تمام نقشه های عامل ها و تحلیل نتایج آن ها استفاده شد. برای تهیه لایه پوشش گیاهی و کاربری زمین نیز از نرم افزار ENVI 5.6 استفاده شد. سرانجام محاسبات آماری نیز با استفاده از نرم افزار EXCEL 2016 انجام شد.

برابر فرسایش خاک را شبیه‌سازی می‌کنند. از آنجایی که عامل‌های فرساینده‌ی باران و مدیریت زراعی در مقیاس ماهانه قابل تغییر بودند، به‌عنوان متغیرهای زمانی مؤثر در فرسایش در این مدل در نظر گرفته شدند. به عبارت دیگر عامل‌های بارش و پوشش گیاهی در مقیاس ماهانه تغییر قابل توجهی داشتند و به‌منظور بررسی تغییرات زمانی فرسایش (ماهانه و فصلی) در این مدل به‌عنوان عامل‌های پویا در نظر گرفته شدند (مددی و همکاران ۲۰۲۳).

عامل فرساینده‌ی باران (R)

شرایط فرسایشی خاک با برخورد قطره‌های باران با خاک سطحی و تبدیل انرژی جنبشی به جابجایی ذرات خاک تعیین می‌شود. بنابراین فرساینده‌ی باران با افزایش شدت بارندگی افزایش می‌یابد (ویشمایر و اسمیت

۱۹۷۸). با توجه به نبود اطلاعات داده‌های باران‌نگاری در آبخیز مطالعه‌شده، داده‌های میانگین ماهانه و سالانه بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی درون و اطراف آبخیز مطالعه‌شده در سال ۲۰۲۱ جمع‌آوری شد (جدول ۱). سپس با استفاده از معادله‌ی شیب بارندگی (شکل ۲)، اندازه‌ی میانگین سالانه‌ی بارندگی برای نقاط بلندی نقشه‌ی DEM به‌دست آمد و نقشه‌ی توزیعی اندازه‌ی میانگین سالانه‌ی بارندگی به فرساینده‌ی سالانه‌ی باران تبدیل شد. سرانجام از نسبت بارندگی ماهانه به سالانه در ایستگاه سنگده که در مرکز آبخیز بود، نقشه‌های توزیعی فرساینده‌ی باران به‌شکل ماهانه در نرم‌افزار Arc GIS 10.8 به‌دست آمد و این نقشه‌ها برای مقیاس فصلی و سالانه با هم جمع شدند.



شکل ۲- رابطه‌ی میان میانگین بارندگی و بلندی ایستگاه‌های باران‌سنجی (معادله‌ی شیب بارندگی).

Figure 2- The relationship between the average rainfall and the height of the rain gauge stations (The rainfall gradient equation).

ماهانه‌ی باران، ضریب پوشش برف با در نظر گرفتن پوشش برف به‌دست آمده از تصویرهای ماهواره‌ای در هر ماه، اصلاح شد. به عبارت دیگر، در شرایطی که در تصویر مربوط به یک ماه مشخص یک پیکسل پوشیده از برف بود، فرساینده‌ی باران آن پیکسل در آن ماه، صفر اعمال شد.

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

R: میانگین سالانه‌ی فرساینده‌ی باران (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت) و P: میانگین سالانه‌ی بارندگی است (خرسند و همکاران ۲۰۱۵). پس از تهیه‌ی نقشه‌ی توزیعی عامل فرساینده‌ی

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی آبخیز معرف کسلیان.

Table 1- Characteristics of the weather stations of Kasilian representative watershed.

Station	Elevation (m)	Rainfall 2021(m.m)
Sangdeh	1350	863.88
Soudkola	1250	514.98
Darzikola	1300	650.26
Valikbon	1100	678.09
Valikchal	1500	854.24

عامل فرسایش پذیری خاک (K)

در این پژوهش، محاسبه عامل فرسایش پذیری خاک با استفاده از نتایج آزمایش نمونه‌های خاک برداشت شده (مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز، درصد شن، درصد مواد آلی خاک، ساختمان و نفوذپذیری خاک) از منطقه مطالعه شده و رابطه ۳ انجام شد (ویشمایر و اسمیت ۱۹۷۸). سپس، اندازه K با روش درون یابی (IDW) تعیین شد و نقشه این عامل به شکل توزیعی تهیه شد.

(۳)

$$S = 0.1317 \times$$

$$\frac{(2.1 \times 10^{-4} \times (12 - OM) \times M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 25 \times (P - 3))}{100}$$

OM: درصد ماده آلی، M: مجموع درصد سیلت و شن ریز ضرب در (درصد رس - ۱۰۰)، S و P: به ترتیب شاخص‌های مربوط به ساختمان و نفوذپذیری خاک است.

عامل طول و تندى شیب (LS)

عامل طول و تندى شیب به عنوان عامل پستی بلندی با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (ویشمایر و اسمیت ۱۹۷۸).

(۴)

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^{0.4} \left(\frac{\sin \theta}{0.09} \right)^{1.4}$$

λ : طول شیب (متر)، S: زاویه شیب (درجه) است. در این پژوهش نقشه عامل LS به شکل توزیعی در محیط نرم افزار Arc GIS 10.8 با استفاده از DEM با تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر تهیه شد (خالدی درویشان و همکاران ۲۰۲۱).

عامل مدیریت زراعی (مدیریت پوشش گیاهی) (C)

به منظور تهیه نقشه عامل C ابتدا اندازه‌های شاخص بهنجار شده پوشش گیاهی NDVI با استفاده از تصویرهای ماهواره لندست ۹ و سنجنده OLI از تارنمای

سازمان زمین شناسی ایالت متحده آمریکا برای پایه زمانی ماهانه در سال ۲۰۲۱ با بیشترین سطح پوشش گیاهی و کشاورزی و کمترین سطح پوشش ابرناکی، برای آبخیز مطالعه شده تهیه شد. سپس، عامل C به شکل توزیعی با استفاده از رابطه ۵ (دوریکان و همکاران ۲۰۱۴) محاسبه شد. رابطه اندازه C با NDVI خطی معکوس بود و اندازه‌های نزدیک به صفر نشان دهنده خاک لخت و اندازه‌های نزدیک به یک نشان دهنده تراکم پوشش زیاد بودند. برای محاسبه این عامل از تصویرهایی با کمترین ابرناکی استفاده شد که از نظر پوشش نیز معرف آن زمان از سال بودند (خالدی درویشان و همکاران ۲۰۲۱).

(۵)

$$C = \frac{-NDVI + 1}{2}$$

عامل مدیریت زمین (P)

به منظور لحاظ کردن ماهیت حفاظتی برخی از کاربری‌های زمین در مهار فرسایش، نقشه این عامل بر اساس نقشه کاربری زمین به شکل توزیعی تهیه شد. به عبارت دیگر، اندازه‌های مختلف P میان صفر (شرایط حفاظت کامل) و یک (شرایط بدون حفاظت) برای کاربری‌های مختلف در نظر گرفته شد (تروه و همکاران ۱۹۸۰؛ خرسند و همکاران ۲۰۱۵). نقشه کاربری زمین با روش دستی و با دقت زیاد در محیط نرم افزار Google Earth با تصویر مربوط به سال ۲۰۲۱ رقومی و طبقه بندی شد. سپس، در نرم افزار Arc GIS به شکل توزیعی تهیه شد. به منظور افزایش دقت کار از نقاط برداشت شده زمینی با GPS در سطح آبخیز، برای تطبیق نقاط میدانی با تصویر ماهواره‌ای استفاده شد. با بازدید میدانی از منطقه مطالعه شده مشخص شد که در بخش‌هایی از آبخیز نیز عملیات ترانس بندى انجام شده است. از این رو، اندازه‌های عامل P در نقشه نهایی لحاظ شد. اندازه‌های عامل P در جدول ۲ بر اساس عملیات حفاظتی و کاربری‌های زمین‌های آبخیز محاسبه شده است.

جدول ۲- اندازه‌های عامل مدیریت زمین (P) در کاربری‌های مختلف زمین.

Table 2- Land management (P) values in different land uses.

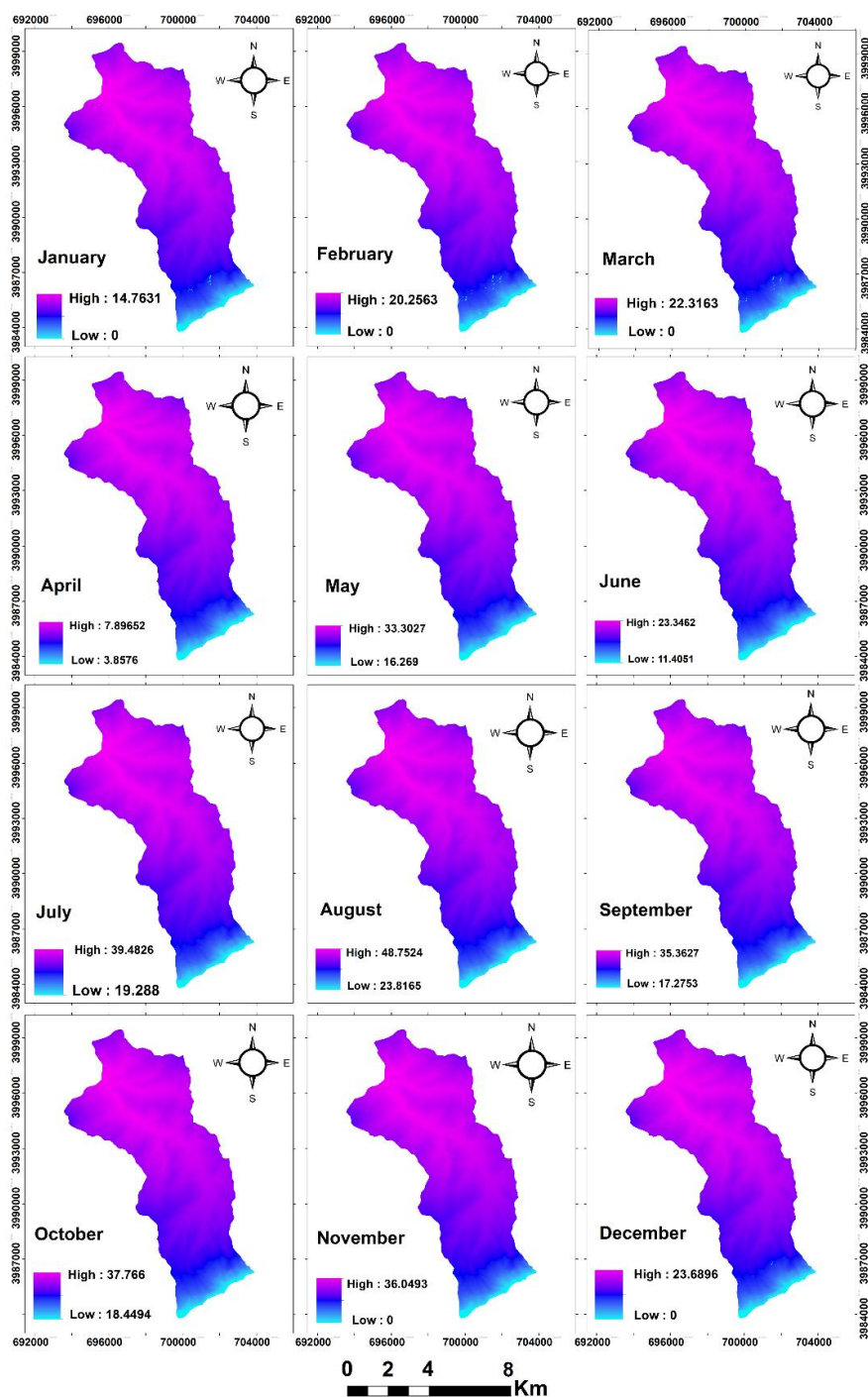
Land use	P value
Urban associated areas	0.4
Agriculture	0.7
Rangeland	0.6
Rock	1
Forest	0.1

یکدیگر ضرب شدند و نقشه توزیعی هدررفت خاک در مقیاس ماهانه تهیه شد. سرانجام نقشه توزیعی هدررفت خاک در مقیاس‌های فصلی و سالانه نیز به‌ترتیب از جمع ماه‌های مرتبط با هر فصل و جمع همه ماه‌های سال به‌دست آمد.

نتایج و بحث

نقشه‌های ماهانه عامل فرساینده‌ی باران با در نظر گرفتن ضریب اصلاحی برف در سال ۲۰۲۱ در شکل ۳ نشان داده شده است. بر پایه نقشه‌های فرساینده‌ی باران، توزیع مکانی و زمانی عامل فرساینده‌ی باران در کل آبخیز یکنواخت نبود. بیش‌ترین و کم‌ترین اندازه ضریب فرساینده‌ی باران به‌ترتیب در شش ماه دوم و شش ماه اول سال رخ داد.

عامل مدیریت زمین با شرط ثابت بودن کاربری زمین و انجام اقدام‌های حفاظت خاک در آبخیز از عامل‌های ایستا در مدل به‌شمار می‌آید. در این پژوهش اندازه این عامل میان ۰/۱ تا ۱ متغیر بود. هر چه اندازه آن کم‌تر باشد بیانگر آن است که نقش حفاظتی کاربری زمین و یا اقدام‌های انجام‌شده حفاظت خاک در مقابل فرسایش، بیش‌تر است. در مقابل هر چه اندازه عامل مدیریت زمین بیش‌تر و نزدیک به یک باشد بیانگر آن است که نقش حفاظتی کاربری زمین و یا اقدام‌های انجام‌شده حفاظت خاک در منطقه کم‌تر است. به‌عبارت دیگر، کم‌ترین اندازه عامل مدیریت زمین مربوط به مناطق جنگلی و بیش‌ترین اندازه آن مربوط به رخنمون‌های سنگی و خاک‌های بدون پوشش در بالادست آبخیز بودند. پس از تهیه نقشه عامل‌های مدل RUSLE برای هر ماه، تمام این عامل‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS در

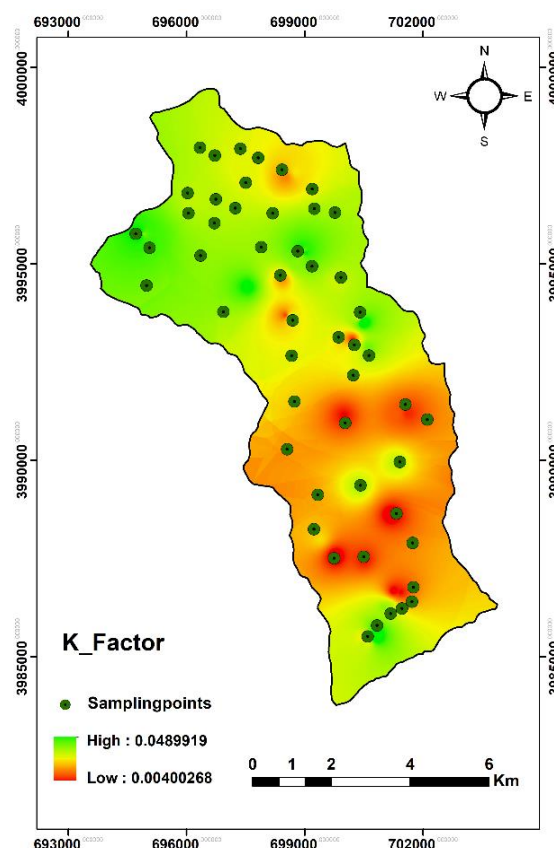


شکل ۳- نقشه های ماهانه عامل فرسایش باران (R) (مگاژول میلی متر بر هکتار ساعت) سال ۲۰۲۱ در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 3- Monthly maps of the rainfall erosivity factor (R) (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) (2021) in Kasilian representative Watershed.

ساعت بر مگاژول میلی متر) متغیر بود. کمترین و بیشترین اندازه این عامل به ترتیب مربوط به مناطق جنگلی و مناطق پایین دست آبخیز (زمین های کشاورزی و مرتعی) بود.

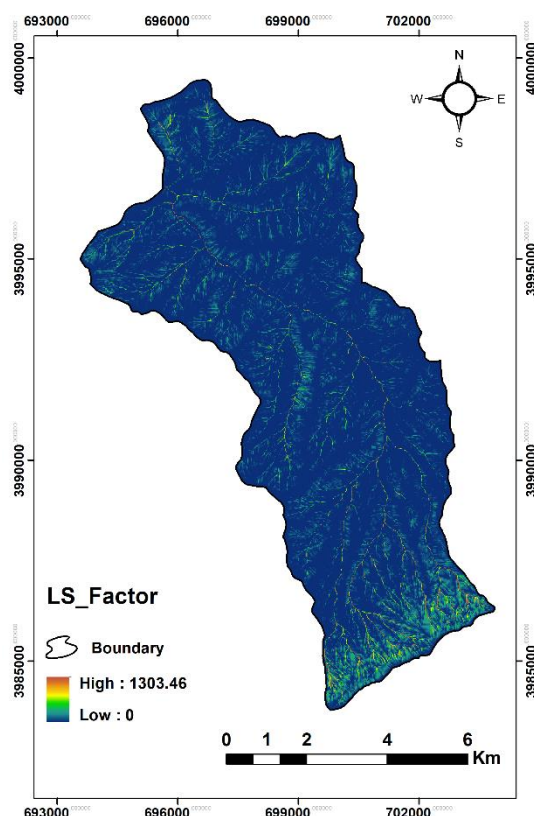
در این پژوهش در مدل RUSLE عامل فرسایش پذیری خاک از عامل های ایستا بود که در نقشه توزیعی آن در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نقشه فرسایش پذیری خاک نشان داد که اندازه این عامل در سطح آبخیز از ۰/۰۴ تا ۰/۰۴ (تن)



شکل ۴- نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) (تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر) در آبخیز معرف کسلیان.
Figure 4- Soil erodibility factor (K) map ($t h MJ^{-1} mm^{-1}$) in Kasilian representative watershed.

اندازه آن در مناطق کم‌شیب پایین‌دست (با رنگ تیره‌تر) بود. به عبارت دیگر بیشترین تأثیر عامل پستی‌بلندی در مناطق پرشیب و بالادست آبخیز بود و کم‌ترین تأثیر این عامل در مناطق پایین‌دست بود. البته در بخش‌های پایین‌دست آبخیز نیز دامنه‌های پرشیب زیادی وجود داشت که از نظر پستی‌بلندی میان این دو اندازه مشخص شدند.

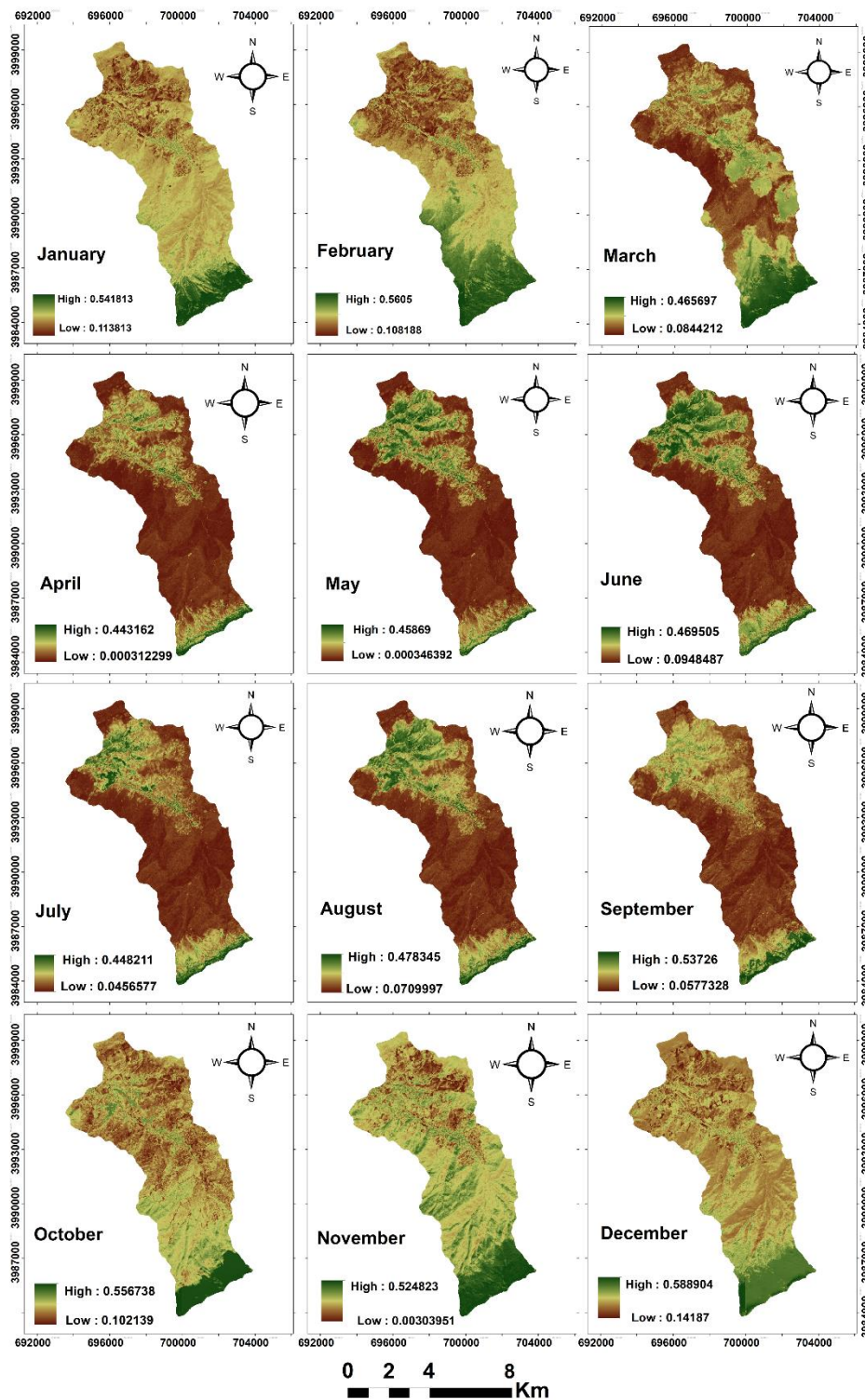
در این پژوهش در مدل RUSLE عامل پستی‌بلندی نیز از عامل‌های ایستا و بدون تغییرات زمانی بود که نقشه توزیعی آن در شکل ۵ نشان داده شده است. بر پایه نقشه عامل پستی‌بلندی، اندازه این عامل در آبخیز معرف کسلیان میان صفر تا ۱۳۰۳/۴۶ متغیر بود. بیش‌ترین اندازه این عامل در مناطق پرشیب بالادست (بلندی‌های جنوبی آبخیز با رنگ روشن‌تر) و کم‌ترین



شکل ۵- نقشه عامل پستی بلندی (LS) در آبخیز معرف کسلیان.
Figure 5- Topographic factor (LS) map in Kasilian representative watershed.

و اندازه پوشش گیاهی متفاوت بود. به عبارت دیگر، اندازه های متفاوت دمای منطقه در ماه های گوناگون سال دلیل تغییرات پوشش گیاهی در این آبخیز بود. کم ترین اندازه پوشش گیاهی در منطقه در سه ماه دوم و سوم (بهار و تابستان) و بیش ترین آن در ماه های ژانویه و فوریه و سه ماه آخر (پاییز و زمستان) سال ۲۰۲۱ مشاهده شد.

نقشه عامل مدیریت زراعی (مدیریت پوشش گیاهی) به شکل ماهانه تهیه شد. بر پایه شکل ۶ اندازه های این عامل نزدیک به صفر تا نزدیک به یک بود. اندازه های نزدیک به صفر و نزدیک به یک این عامل به ترتیب نشان دهنده بیش ترین و کم ترین اندازه پوشش گیاهی بودند. بر اساس نقشه ماهانه عامل مدیریت زراعی (مدیریت پوشش گیاهی) در آبخیز مزبور این عامل در تمام ماه های بررسی شده، یکسان نبود. زیرا تراکم

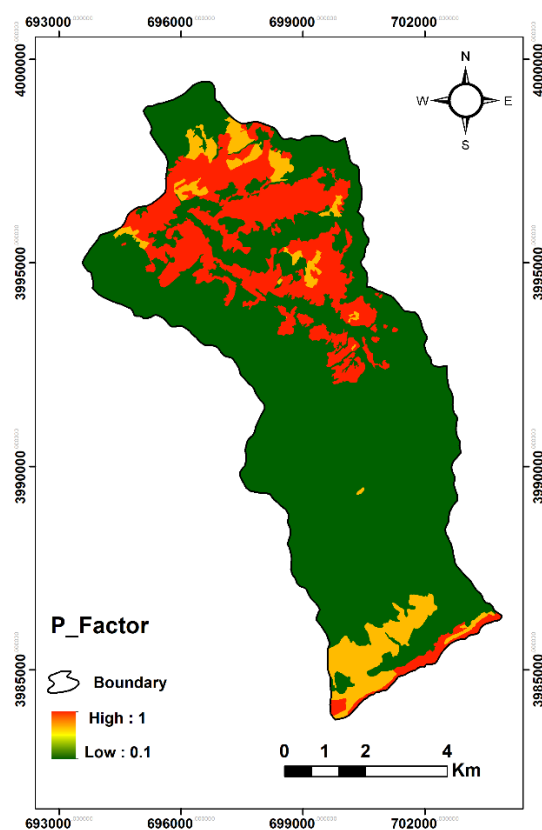


شکل ۶- نقشه های ماهانه عامل مدیریت زراعی (C) سال ۲۰۲۱ در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 6- Monthly maps of cover factor (C) (2021) in Kasilian representative watershed.

آمد. به عبارت دیگر کمترین و بیشترین اندازه این عامل به ترتیب مربوط به زمین های جنگلی (با رنگ سبز) و زمین های بایر (با رنگ قرمز) بود.

نقشه عامل مدیریت زمین (P) در آبخیز معرف کسلیان در شکل ۷ نشان داده شده است. بر پایه نقشه عامل مدیریت زمین کمترین اندازه این عامل مربوط به مدیریت زمین ۰/۱ بود و بیشترین اندازه آن ۱ به دست

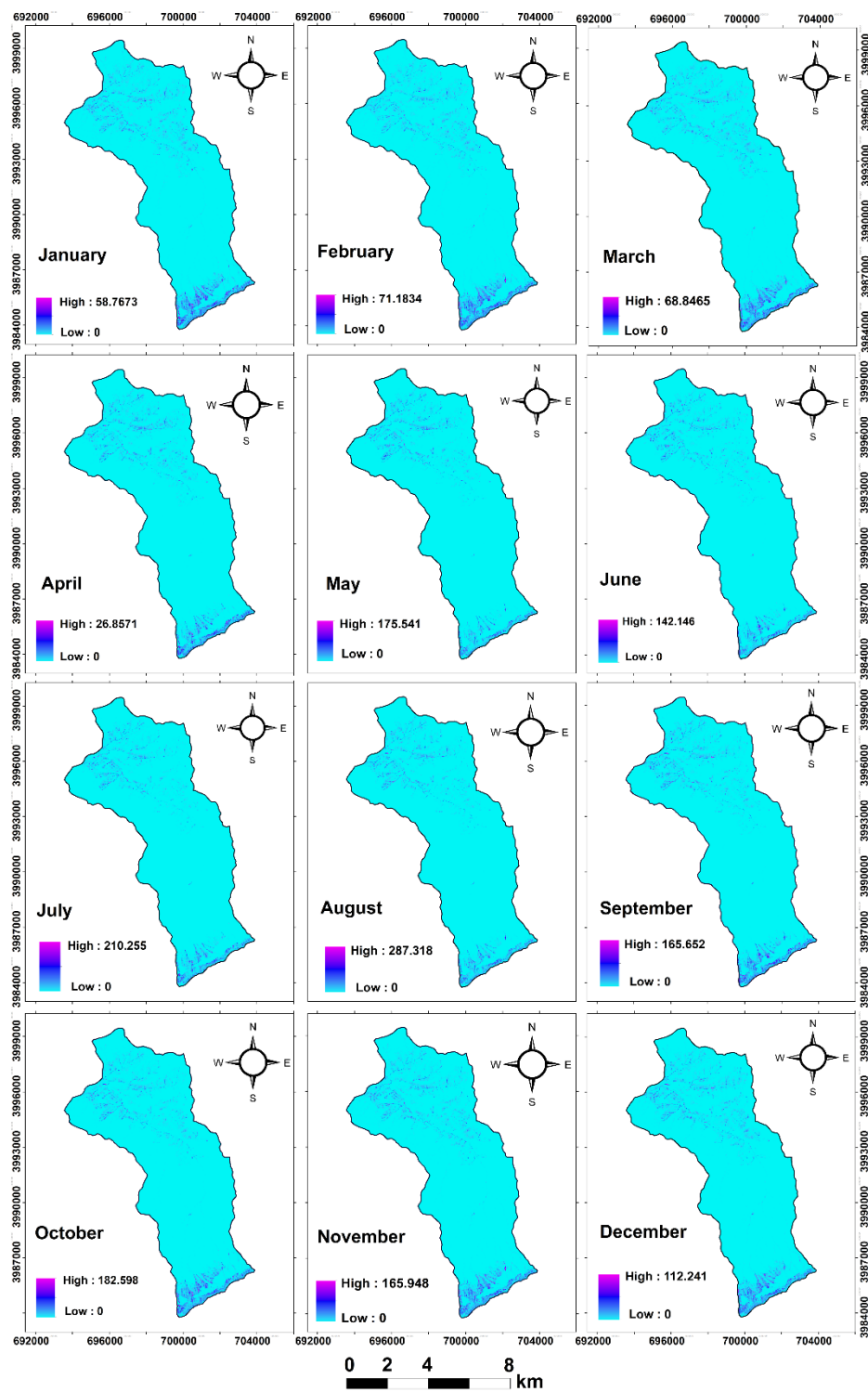


شکل ۷- نقشه عامل مدیریت زمین (P) در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 7- Land management factor (P) map in Kasilian representative watershed.

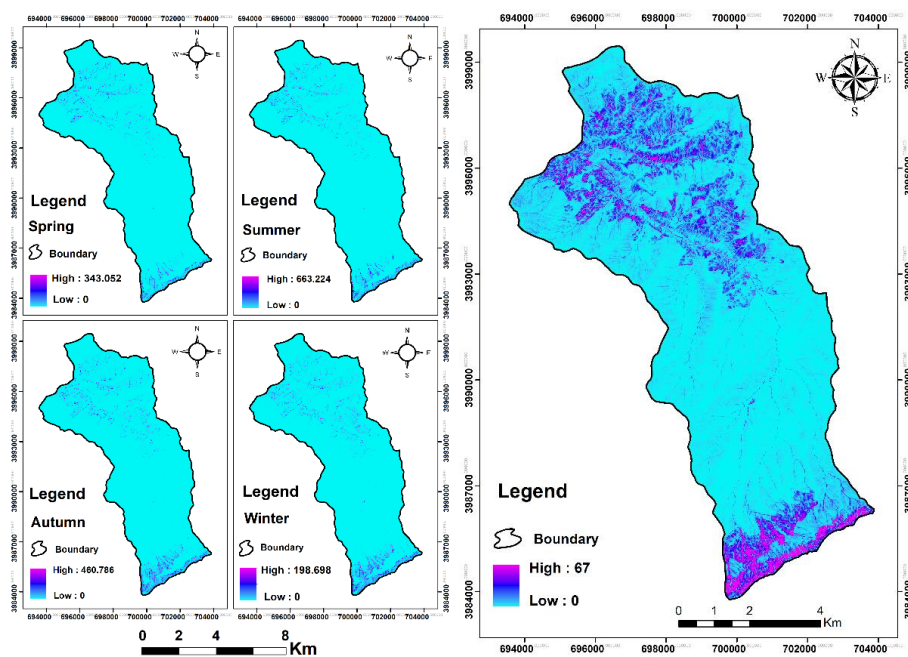
همچنین، نقشه‌های میانگین فصلی و سالانه فرسایش نیز در شکل ۹ نشان داده شده است.

سرانجام نقشه‌های توزیعی همه عامل‌های مدل در هم ضرب شدند و نقشه‌های میانگین ماهانه فرسایش در سال ۲۰۲۱ تهیه شد که در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- نقشه های ماهانه فرسایش خاک (تن در هکتار در سال) در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 8- Monthly soil erosion maps (tons per hectare per year) in Kasilian representative watershed.



شکل ۹- نقشه های فرسایش فصلی خاک (راست) و سالانه (چپ) (تن در هکتار در سال) در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 9- Seasonal (right) and annual (left) soil erosion maps (tons per hectare per year) in Kasilian representative watershed.

نتایج میانگین هر یک از عامل های پنج گانه مدل
 و نتایج برآورد میانگین ماهانه، فصلی و سالانه
 فرسایش در آبخیز معرف کسلیان به ترتیب در جدول ۳
 و ۴ آورده شده است.

جدول ۳- نتایج میانگین ماهانه هر یک از عامل های مدل RUSLE در آبخیز معرف کسلیان.

Table 4- Results of the average monthly input factors of the RUSLE model in Kasilian representative watershed.

Year	Month	R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)	K (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	LS	C	P
2021	January	12.90	0.02	15.59	0.34	0.26
	February	17.70			0.32	
	March	19.50			0.22	
	April	6.90			0.13	
	May	29.14			0.15	
	June	20.42			0.19	
	July	34.54			0.17	
	August	42.66			0.19	
	September	30.94			0.20	
	October	33.04			0.31	
	November	31.52			0.36	
	December	20.70			0.37	

اگرچه داده های دمای خاک در سطح آبخیز هم می تواند به خوبی نقشه فرسایش پذیری خاک را اصلاح کند، اما متأسفانه این داده ها در آبخیز بررسی شده در دسترس نبود. با لحاظ کردن ضریب اصلاحی برف به وسیله کاهش عامل فرسایش باران در ماه های سرد سال، نقشه نهایی فرسایش مربوط به این ماه ها اصلاح شد (محمدی و همکاران ۲۰۲۱).

همچنین بر اساس رنگ بندی نقشه های اندازه فرسایش خاک می توان نتیجه گرفت که بیشترین فرسایش در دامنه ها و بلندی های بالادست و همچنین زمین های

بر اساس نقشه های فرسایش ماهانه، فصلی و سالانه خاک، بیشترین و کمترین فرسایش به ترتیب، در شش ماه دوم و شش ماه اول سال ۲۰۲۱ رخ داده است. کمترین فرسایش سالانه خاک به ترتیب در فصل های بهار و زمستان و بیشترین آن به ترتیب در فصل های پاییز و تابستان رخ داده است. در فصل زمستان، وجود پوشش برف در سطح گسترده تری از آبخیز و به ویژه در بلندی های جنوبی و بالادست آن، سبب شد تا اندازه عامل فرسایش باران کاهش یابد. بنابراین، فرسایش خاک کمتر برآورد شد. در حقیقت فرسایش خاک کمتری نیز رخ داده بود.

کشاورزی روی دامنه‌ها، رخ داده است. این یافته می‌تواند به سبب شیب زیاد و شخم در جهت شیب باشد. از این رو می‌توان گفت نقشه فرسایش خاک به دست آمده در این پژوهش با دو نقشه پستی بلندی و کاربری زمین بیش‌تر مطابقت دارد؛ یعنی در سطح آبخیز مزبور عامل شیب در پراکنش مکانی اندازه‌های فرسایش خاک اثرگذار بود، در حالی که نوع کاربری زمین و به‌ویژه تغییرات زمانی پوشش گیاهی در هر کاربری در پراکنش زمانی اندازه‌های فرسایش خاک تأثیرگذار بود. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های خالدی درویشان و همکاران ۲۰۲۱؛ آلفا و همکاران ۲۰۲۲؛ مرچن و همکاران ۲۰۲۳؛ الیکا و همکاران ۲۰۲۳ هم‌راستا است. سرانجام می‌توان نتیجه گرفت تغییرات زمانی عامل فرساینده‌ی باران در طول ماه‌هایی از سال با حضور پوشش گیاهی کافی و مناسب در سطح خاک هم‌زمان نبود و این موضوع سبب شد تا بیش‌ترین فرساینده‌ی باران در این ماه‌ها رخ دهد. به بیان دیگر بیش‌ترین فرساینده‌ی ماهانه باران به ترتیب در ماه‌های اوت و جولای رخ داد، در حالی که پوشش سطح خاک به‌ویژه در زمین‌های زراعی در این زمان از سال مناسب و کافی نبود و نتوانست به‌خوبی در مقابل برخورد قطرات باران مقاومت کند. در نتیجه شدت فرسایش ماهانه خاک در این دو ماه نسبتاً زیاد برآورد شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی اصلاح‌شده هدررفت خاک (RUSLE) در مقیاس ماهانه برای آبخیز معرف کسلیان برآورد شد. از آنجایی که متغیرهای پوشش گیاهی و بارش در مقیاس

ماهانه تغییر قابل توجهی داشتند، عامل‌های فرساینده‌ی باران و مدیریت پوشش گیاهی به عنوان عامل‌های پویا و منشأ تغییرات ماهانه فرسایش خاک در نظر گرفته شدند. با توجه به نقشه‌های توزیعی ماهانه، فصلی و سالانه فرسایش خاک، بیش‌ترین و کم‌ترین فرسایش ماهانه خاک به ترتیب در ماه‌های نوامبر و آوریل رخ داد. کم‌ترین فرسایش سالانه خاک به ترتیب در فصل‌های بهار و زمستان و بیش‌ترین آن به ترتیب در فصل‌های پاییز و تابستان رخ داده است. سرانجام می‌توان گفت فرسایش خاک در نیمه دوم سال بیش‌تر از نیمه اول، رخ داده است. شدت فرسایش سالانه خاک در سال ۲۰۲۱ در آبخیز معرف کسلیان ۸/۵۶ تن در هکتار برآورد شد. نتایج این پژوهش نشان داد فرسایش در بخش گسترده‌ای از آبخیز معرف کسلیان به‌ویژه در مناطق پوشیده از جنگل در نیمه جنوبی آبخیز، کم بود و فرسایش تشدیدی خاک فقط در دامنه‌های با شیب زیاد (مراع و زمین‌های زراعی رها شده) که پوشش گیاهی کم‌تری داشتند، رخ داد. بنابراین می‌توان گفت تبدیل کاربری‌های جنگل و مرتع به زمین‌های کشاورزی و باغی و حتی مسکونی دلیل مهم افزایش میانگین سالانه فرسایش خاک در آبخیز معرف کسلیان بود.

پیشنهاد می‌شود که با استفاده از راهکارهای مدیریتی (جلوگیری از تغییر کاربری زمین و مدیریت زمین‌های زراعی با هدف ایجاد پوشش گیاهی روی سطح خاک در ماه‌های تیر و مرداد که فرساینده‌ی باران بیش‌ترین اندازه است) و انجام اقدام‌های حفاظت خاک (به‌ویژه در دامنه‌ها و مناطق با شیب زیاد)، از افزایش فرسایش خاک جلوگیری شود.

فهرست منابع

- Aleweli C, Borrelli P, Meusburger K, Panagos P. 2019. Using the USLE: Chances challenges and limitations of soil erosion modelling. In Soil Water Conserve Research, 7(3): 203-225.
- Allafta H, Opp C. 2022. Soil erosion assessment using the RUSLE model, remote sensing and GIS in the Shatt Al-Arab basin (Iraq-Iran). Applied Sciences, 12(15): 7776.
- Ansari A, Tayfur G. 2023. Comparative analysis of estimation of slope-length gradient (LS) factor for entire Afghanistan. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 14(1): 2200890.
- Baiati Khatibi M. 2016. Assessment and predicting of soil erosion risk at semi-arid mountain: Integration of the USLE Model and GIS Technique for soil conservation planning (Case study: Sareskandarchy Catchement), Eastern Slope. Geography and Planning, 19(54): 61-81. (In Persian).
- Behera M, Sena DR, Mandal U, Kashyap PS, Dash SS. 2020. Integrated GIS-based RUSLE approach for quantification of potential soil erosion under future climate change scenarios. Environmental Monitoring and Assessment, 192(11): 1-18.
- Donovan M. 2022. Modelling soil loss from surface erosion at high-resolution to better understand sources and drivers across land uses and catchments; A national-scale assessment of Aotearoa, New Zealand. Environmental Modelling and Software, 147, 105228.
- Durigon VL, Carvalho DF, Antunes MAH, Oliveira PTS, Fernandes MM. 2014. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. International Journal of Remote Sensing, 35(2): 441-453.
- Ganasri BP, Ramesh H. 2016. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. Geoscience Frontiers, 7(6): 953-961.
- Gayen A, Saha S. 2017. Application of weights-of-evidence (WoE) and evidential belief function (EBF) models for the delineation of soil erosion vulnerable zones: A study on Pathro river basin, Jharkhand, India. Modeling Earth System and Environment, 3, 1123-1139.
- Ghavimippanah MH, Gholami L, Ghavimippanah MR. 2022. Estimation of soil erosion using RUSLE Model and determination of direct and Indirect damages in Kan Watershed. Journal Watershed Management Science, 16(56): 42-52. (In Persian).
- Gupta S, Kumar S. 2017. Simulating climate change impact on soil erosion using RUSLE model - A case study in a watershed of mid-Himalayan landscape. Journal of Earth System Science, 126, 43.
- Haji Kh, Esmaali-Ouri A, Mostafazadeh R, Nazarnejad H. 2014. Preparation and assessment of soil erosion map of Rozechai Urmia Watershed using GIS and RUSLE model. The 2th National Conference on Protection of Natural Resources and Environment, Ardabil, pp. 1-7. (In Persian).
- Haji Kh, Esmali-Ouri A, Mostafazadeh R, Nazarnejad H. 2018. Determining soil erosion rate in different landuses using RUSLE model in the Rozechai Water-

- shed Urmia Iran. Journal of Conservation and Exploitation of Natural Resources, 7(1): 173-189. (In Persian).
- Hajigholizadeh M, Melesse AM, Fuentes HR. 2018. Erosion and sediment transport modelling in shallow waters: A review on approaches models and applications. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15, 518. (In Persian).
- Hoyos N. 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. Catena, 63(1): 85-108.
- Islam MR, Jaafar WZW, Hin LS, Osman N, Karim MR. 2020. Development of an erosion model for Langat river basin Malaysia adapting GIS and RS in RUSLE. Applied Water Science, 10(7): 1-11.
- Khaledi Darvishan A, Faraji J, Gholami L, Khorsand M. 2021. Spatio-temporal variation of soil erosion in Khamsan representative watershed using RUSLE. Watershed Engineering and Management, 13(3): 534-547. (In Persian).
- Khorsand M, Khaledi-Darvishan A, Gholamali Fard M. 2015. The sensitivity of the annual erosion estimation map of the RUSLE Model to the methods of preparing the agricultural management factor map (C) in the Khamsan watershed. The 6th National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources, Tehran, pp. 1-9. (In Persian).
- Koirala P, Thakuri S, Joshi S, Chauhan R. 2019. Estimation of soil erosion in Nepal using a RUSLE modeling and geospatial tool. Geosciences, 9, 147.
- Madadi A, Pasban A, Nezafat takle B. 2023. Investigating and evaluating the amount of soil loss in the land uses of the Atashgah watershed using the RUSLE Model and Landsat satellite images (OLI meter). Journal of Environmental Science Studies, 8(2): 6612-6625. (In Persian).
- Merchán L, Martínez-Graña AM, Alonso Rojo P, Criado M. 2023. Water erosion risk analysis in the Arribes del Duero Natural Park (Spain) using RUSLE and GIS techniques. Sustainability, 15, 1627.
- Mohammadi Sh, Balouei F, Haji Kh, Khaledi Darvishan A, Karydas CG. 2021. Country-scale spatio-temporal monitoring of soil erosion in Iran using the G2 model. International Journal of Digital Earth, 14(8): 1019-1039.
- Mohammadi Sh, Karimzadeh H, Habashi K. 2022. Assessment soil erosion and deposition in the Menderjan Watershed using USPED and RUSLE models in the environment of geographical information system (GIS). Desert Ecosystem Engineering, 6(17): 43-56. (In Persian).
- Mohammadi Sh, Karimzadeh H, Pourmanafi S, Soltani S. 2018. Spatial and temporal evaluation of soil erosion using RUSLE model Landsat satellite image time series (Case study: Menderjan, Isfahan). Journal of Range and Watershed Management, 71(3): 759-774. (In Persian).
- Noor H, Arabkhedri M. 2023. Prediction of soil erosion and sediment delivery ratio using RUSLE at Sanganeh soil conservation research station. Water and Soil Management and Modelling, 3(1): 42-53. (In Persian).
- Nwaogu C, Okeke OJ, Assuah Adu S, Babine E, Pechanec V. 2018. Land use-land cover change and soil-gully erosion relationships: A study of Nanka South-Eastern Nigeria using geoinformatics. In Dynamics in GIScience 4. Springer Inter-

- national Publishing, pp. 305-319.
- Olika G, Fikadu G, Gedefa B. 2023. GIS based soil loss assessment using RUSLE Model: A case of Horo district, western Ethiopia. *Heliyon*, 9, e13313.
- Othman AA, Ali SS, Salar SG, Obaid AK, Al-Kakey O, Liesenberg V. 2023. Insights for estimating and predicting reservoir sedimentation using the RUSLE-SDR approach: A case of Darbandikhan Lake Basin, Iraq-Iran. *Remote Sensing*, 15, 697.
- Panagos P, Ballabio C, Borrelli P, Meusburger K, Klik A, Rousseva S, Tadić M P, Michaelides S, Hrabalíková M, Olsen P, Aalto J, Lakatos M, Rymaszewicz A, Dumitrescu A, Beguería S, Alewell Ch. 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 511: 801-814.
- Pasban A, Abedini M, frotan M. 2022. Evaluation and analysis of the impact of land use on soil erosion using the RUSLE experimental model (Case study: Balikhlochai Watershed, Ardabil Province). *Geography and Human Relationships*, 5(3): 238-258. (In Persian).
- Rawat KS, Singh SK. 2018. Appraisal of soil conservation capacity using NDVI model-based C factor of RUSLE model for a Semi-Arid ungauged watershed: A case study. *Water Conservation Science and Engineering*, 3(1): 47-58.
- Renard KG, Freidmund JR. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE. *Journal of Hydrology*, 157(1-4): 287-306.
- Rezaei M, Qargharechi Sh, GHaneei Motlagh GHR, Ayubi ShA. 2016. Estimation of soil erosion in Ziarat Basin using RUSLE model. 10th Iran Soil Science Congress, Karaj, pp. 1161-1163. (In Persian).
- Risse LM, Nearing MA, Laflen JM, Nicks AD. 1993. Error assessment in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, 57(3): 825-833.
- Saadati H, Gholami SA, Sharifi F, Ayubzadeh SA. 2016. Investigating the effects of land use change on the surface runoff of the simulation model. *Journal Natural Resources of Iran*, 59(2): 301-313. (In Persian).
- Sadeghi SH, Moatamednia M, Moradi H. 2014. Variability of main unit hydrograph components of Kasilian Watershed in different effective precipitation time bases. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(4): 247-260. (In Persian).
- Saha M, Sauda SS, Real HRK, Mahmud M. 2022. Estimation of annual rate and spatial distribution of soil erosion in the Jamuna basin using RUSLE model: A geospatial approach. *Environmental Challenges*, 8, 100524.
- Sartip F, Radmanesh F, Zarei H, Salari jazi M. 2018. Automatic calibration of the continuous HMS-SMA Rainfall-Runoff model using the metaheuristic algorithm (Case study: Kasilian Basin). *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(3): 15-28. (In Persian).
- Serbaji MM, Bouaziz M, Weslati O. 2023. Soil water erosion modeling in Tunisia using RUSLE and GIS integrated approaches and Geospatial Data. *Land*, 12(3): 548.
- Shi ZH, Cai CF, Ding SW, Wang TW, Chow TL. 2004. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the three gorge area of China. *Catena*, 55(1): 33-48.
- Shinde V, Tiwari KN, Singh M. 2010. Prioritization of micro watersheds on the basis of soil erosion hazard using remote sensing and geographic information system. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2(3): 130-136.

- Tian P, Zhu Z, Yue Q, He Y, Zhang Z, Hao F, Liu M. 2021. Soil erosion assessment by RUSLE with improved P factor and its validation: Case study on mountainous and hilly areas of Hubei Province China. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(3): 433-444.
- Troeh FR, Hobbs JA, Donahue RL. 1980. Soil and water conservation for productivity and environmental production. Prentice-Hall, 780 p.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *Agriculture Handbook* No. 537 p. USDA, Washington, DC.
- Zabihi M, Sadeghi SHR, Vafakhah M. 2014. Spatial analysis of rainfall erosivity index patterns at different time scales in Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 7(4): 422-457. (In Persian).
- Zhang K, Chao L, Wang Q, Huang Y, Liu R, Hong Y, Tu Y, Qu W, Ye J. 2019. Using multi-satellite microwave remote sensing observations for retrieval of daily surface soil moisture across China. *Water Science and Engineering*, 12(2): 85-97.



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Investigating the Monthly Variability of Soil Erosion in the Kasilian Representative Watershed Using RUSLE Model

Fatemeh Sarounch¹ , Abdulvahed Khaledi Darvishan^{* 2} , Vahid Mousavi³

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

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

3- Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

One of the most common types of soil degradation is soil erosion under the influence of rain and runoff factors. Soil erosion reduces the quality of the soil in the place of erosion, and also the sediment resulting from erosion causes problems inside and outside the watershed. Due to the high cost of measuring soil erosion and sediment yield, various models have been developed to estimate the intensity of these variables in different spatial and temporal scales. Among these, the revised universal soil loss equation (RUSLE) has been widely used in all parts of the world for reasons including the availability of data required for model input factors and the possibility of implementing it in a distributed format.

Materials and Methods

The present study was conducted in order to estimate soil erosion using the RUSLE model on a monthly scale for 2021 in the Kasilian Watershed. First, a distribution map of the five factors of the RUSLE model was prepared. Since the variables of vegetation cover and precipitation have a significant change on a monthly scale, therefore, the temporal changes of the mentioned factors lead to the dynamics of the watershed system and the monthly changes of soil erosion. Furthermore, soil erodibility factors, topography and land management were considered as static factors. Finally, the five factors of the model were multiplied together in Arc GIS software and erosion distribution maps were prepared on monthly, seasonal and annual scales.

Article Type: Research Article

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

Citation: Sarounch, F., Khaledi Darvishan, A., Mousavi, V. 2024. Investigating the Monthly Variability of Soil Erosion in the Kasilian Representative Watershed Using RUSLE Model. Watershed Management Research. 37(3):54-75.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.362691.1545

Received: 01 July 2023, **Received in revised form:** 05 August 2023, **Accepted:** 21 September 2023

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp.54-75.

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



Results and Discussion

According to the monthly, seasonal and annual distribution maps of soil erosion, the highest and lowest monthly soil erosion occurred in November and April with values of 1.13 and 0.13 tons per hectare, respectively. Also, the average intensity of soil erosion in spring, summer, autumn and winter seasons was 1.32, 2.74, 2.99 and 1.52 tons per hectare respectively. Therefore, spring and winter seasons respectively had the least and autumn and summer seasons had the highest Contribution in the annual soil erosion. It can also be said that more soil erosion has occurred in the second half of the year compared to the first half. Finally, the average intensity of soil erosion in the Kasilian Watershed was estimated at 8.56 tons per hectare per year.

Conclusion and Suggestions

The results showed that a large part of the study watershed has low erosion and only the steep slopes, especially with low vegetation, including rangelands and abandoned agricultural lands, are prone to accelerated soil erosion. Specifically, soil erosion has increased due to the conversion of forest and rangeland into agricultural and orchard and even residential land. Finally, it is suggested to prevent the land use change by using land management solutions and soil conservation measures, especially in high slopes.

Key Words: Distributed models, land use change, RUSLE model, soil conservation, soil erodibility



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مآخذ تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی تحت تغییر اقلیم در آبخیز سد میناب

فاطمه پورحق‌وردی^۱، ام‌البنین بذرافشان^{۲*}، حمید غلامی^۳، مرضیه شکاری^۴، حسین زمانی^۵

۱ - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲ - استاد گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳ - استاد گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۴ و ۵ - استادیار، گروه آمار و ریاضی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

پدیده تغییرات آب و هوا سبب تداوم تغییر الگوی آب و هوا در آینده است. هیئت تغییر اقلیم میان دولت‌ها با همکاری مراکز پژوهشی گوناگون در سراسر جهان از سال ۲۰۱۶، گردآوری گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم (CMIP6) را آغاز کرده است. به دلیل کم دقت بودن خروجی مدل‌های GCM، از آنها برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم در مقیاس محلی استفاده نمی‌شود. از این رو، لازم است برای بررسی‌های منطقه‌ای، از مدل‌ها یا روش‌های مناسبی برای ریزمقیاس کردن خروجی این مدل‌ها استفاده شود. از مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم، تأثیر روی بارش و رواناب آبخیز است که می‌تواند بر خشک‌سالی/ترسالی هواشناسی و آب‌شناختی تأثیرگذار باشد. یکی از مدل‌های معروف بارش-رواناب که نیاز به داده ورودی زیادی ندارد، IHACRES است. در دهه گذشته کاربرد آن به وسیله پژوهشگران استقبال شده است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی آبخیز سد میناب انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های اقلیمی و آب‌شناختی منطقه شامل بارش روزانه، میانگین روزانه دما و میانگین روزانه آب‌دهی برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی روزانه آب‌دهی آبخیز میناب در دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. افزون بر این، از مدل در حال نگارش کانادایی گزارش ششم و سه سناریوی تغییر اقلیم

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: پورحق‌وردی، ف، بذرافشان، ا، غلامی، ح، شکاری، م. زمانی، ح. ۱۴۰۳. پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی تحت تغییر اقلیم در آبخیز سد میناب. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۳): ۹۳-۷۶.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.364078.1554

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۹/۱۲، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۹/۳۰، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۴، پاییز ۱۴۰۳، صفحه‌های ۷۶ تا ۹۳.

© نویسندگان

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



SSP-3-7.5، SSP-1-2.5 و SSP-5-8.5 نیز استفاده شد. همچنین، از مدل IHACRES برای پیش بینی جریان رود در سال های ۲۰۱۹ تا ۲۰۴۰، و از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس نمایی بارش و دما استفاده شد. برای مطالعه خشک سالی از شاخص بارش/رواناب استاندارد شده (SPI/SRI) بهره گرفته شد. برای تحلیل روند خشک سالی و مشخصه های آن در دوره پایه و آینده از آزمون ناپارامتری من کندال استفاده شد.

نتایج و بحث

با استفاده از داده های مزبور، رواناب به وسیله مدل IHACRES واسنجی شد. پس از عملکرد مناسب مدل در مرحله واسنجی، مدل صحت سنجی شد و با استفاده از سه سناریوی گزارش ششم رواناب برای یک دوره در آینده پیش بینی شد. سپس، برای دوره های تاریخی و آینده اندازه های SPI، SRI و مشخصه های خشک سالی (شدت، مدت، بزرگی و اوج) برآورد شدند و روند تغییرات آنها در مقایسه با دوره آینده مقایسه شد. نتایج نشان داد روند تغییرات بارش در هر سه سناریو در فصل پاییز و زمستان کاهش یافت. همچنین، با استفاده از سه سناریو مشخص شد که بیشترین تغییرات در دوره مشاهده ای مربوط به ماه نوامبر بود. اما، این تغییرات در فصل تابستان افزایش یافت. هر سه سناریو در مقایسه با دوره پایه، افزایش تغییرات دما (تا ۴۰٪) به ویژه از ماه های آگوست تا دسامبر را پیش بینی کردند. همچنین، روند جریان رود، به دنبال کاهش بارش، کاهش یافت. کاهش تغییرات بیشتر مربوط به فصل های پاییز و زمستان (تا ۴۹٪) بود. اما روند این تغییرات در فصل تابستان در مقایسه با دوره پایه افزایش یافت. در کل دوره، شیب روند تغییرات بارش و آب دهی افزایش یافت. نتایج بررسی اثر اقلیم و خشک سالی هواشناسی در منطقه مطالعه شده نشان داد که روند اندازه های خشک سالی آب شناختی و هواشناسی در گذشته افزایشی بوده است، اما در بیشتر سناریوهای آینده روند خشک سالی کاهشی بود و به طور کلی از نظر آماری نیز معنی دار نبود. این وضعیت در مشخصه های خشک سالی نیز کاملاً مشاهده شد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

بررسی تغییرات منطقه ای خشک سالی ناشی از تغییرات جهانی اقلیم همراه با ترکیب های گوناگونی از سناریوها می تواند برای هشدار زودهنگام خشک سالی و همچنین برنامه ریزی مدیریت منابع آب مفید باشد. هم اکنون وضعیت شرایط مدیریت و پیش آگاهی خشک سالی در بسیاری از نقاط ایران به ویژه مناطق خشک و نیمه خشک مطلوب نیست. از این رو، ضروری است که امکان آمادگی لازم برای مقابله با آن فراهم شود. بنابراین، در خشک سالی های شدید، کاربرد مدل های تغییر اقلیم برای پیش گویی شرایط آینده در ارزیابی قابلیت تأمین آب و نیازمندی به منابع آب کمکی می تواند بسیار مفید باشد.

واژگان کلیدی: آبخیز میناب، شاخص بارش/رواناب استاندارد شده، گزارش ششم اقلیم، ریزمقیاس نمایی، مدل بارش - رواناب

مقدمه

اجتناب ناپذیر است (ایرز و دادمن ۲۰۱۰: موناها و تنوآلد ۲۰۱۸). هیئت تغییر اقلیم میان دولت ها (IPCC)^۱ در ششمین گزارش ارزیابی خود (AR۶) افزایش میانگین جهانی دما را ۱/۰۹ °C برای سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ در مقایسه با آغاز انقلاب صنعتی (۱۸۵۰-۱۹۰۰) برآورد کرد (آی پی سی سی ۲۰۲۱). برآورد می شود که گرمایش جهانی به وسیله عامل های انسانی، پیامدهای بلندمدتی (مانند تغییرات در توزیع روزانه بارش) بر تمام اجزای سامانه اقلیمی داشته باشد. خروجی مدل های گزارش ششم بر پایه سناریوهای جدید که غلظت گازهای گلخانه ای (RCP)^۲ را ارائه می دهند،

پدیده تغییرات آب و هوا سبب تداوم تغییر الگوی آب و هوا در آینده است. (آذری و همکاران ۲۰۱۶). تغییر اقلیم در مؤلفه های وضعیت آب و هوای سطح زمین، تغییرات زیادی ایجاد کرده است. از مهم ترین آثار مشاهده شده تغییر اقلیم می توان به تغییر در متغیرهای بارش و دمای کره زمین اشاره کرد. افزون بر این، تغییر اقلیم بر حجم جریان های سطحی، اندازه تبخیر و تعرق، و سرانجام بر چرخه کلی بیلان آب نیز اثرگذار است. از این رو، دامنه تأثیر تغییر اقلیم بر کل ساختار منابع آب به اندازه ای گسترده است که مطالعه، پیش بینی و به کار گیری سیاست های درست برای رویارویی با آن یک ضرورت

1 - Intergovernmental Panel on Climate Change

2 - Representative Concentration Pathway

مدل 2-0ESM-MRI گزارش ششم (CMIP6) و سناریوهای انتشار متوسط و بدبینانه، استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که روند میانگین ماهانه کل بارش تحت هر دو سناریو در دوره آینده در مقایسه با دوره مشاهده‌ای افزایشی بود. آذرزین و رودباری (۲۰۲۱) تأثیر اقلیم بر بارش‌های سنگین ایران را با به‌کارگیری مدل همادی CMIP6 بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین افزایش تعداد روزهای همراه با بارش سنگین تحت سناریوهای SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به‌ترتیب در دریای خزر، دریاچه ارومیه و قره‌قوم مشاهده شد. همچنین، در میانگین پهنه‌ای کشور کمترین و بیشترین افزایش این شاخص به‌ترتیب ۱۸/۲۲٪/۲/۹۷٪ بود. رحیمی و مودت (۲۰۲۰) در پیش‌بینی رواناب ناشی از مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم از مدل IHACRES استفاده کردند. در این پژوهش اندازه‌های ماهانه بارش، دما و آب‌دهی سد جامیشان در دوره زمانی (۱۹۸۸-۲۰۱۷) در مقایسه با دوره پایه در نظر گرفته شده است. نتایج بارش شبیه‌سازی شده نشان داد که میانگین بلندمدت ماهانه تحت سناریو RCP8.5 در دوره آتی در مقایسه با دوره پایه ۵/۸٪ کاهش یافت. دولابیان و همکاران (۲۰۲۱) اثر تغییر اقلیم بر سنج‌های بارش و دما را در ایران با استفاده از مدل‌های GCM تحت سناریوهای RCP بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که دما و اندازه‌های بارش در بیشتر مناطق کشور به‌ترتیب افزایش و کاهش یافته است. میردشتوان و همکاران (۲۰۱۷) برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دوره‌های آتی (۲۰۷۰-۲۰۴۱)، خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 را با استفاده از روش SDSM کوچک مقیاس کردند و سپس جریان سطحی در مقیاس محلی را با استفاده از مدل آب‌شناختی IHARES شبیه‌سازی کردند. نتایج کوچک مقیاس سازی نشان داد بارندگی در دوره آتی (۲۰۷۰-۲۰۴۱) تحت سناریوی A2 و B2 به‌ترتیب ۰/۱ میلی‌متر در روز کاهش و ۰/۳ میلی‌متر در روز افزایش داشت. بذرافشان و همکاران (۲۰۲۳) خطر خشک‌سالی تحت تأثیر تغییر اقلیم در ایران تحلیل کردند. نتایج این تحلیل نشان داد، خطر خشک‌سالی‌های کوتاه‌مدت در ایران در آینده افزایش می‌یابد. عباس‌زاده و همکاران (۲۰۲۳) اثر تغییر اقلیم بر بارش، رواناب و تبخیر-تعرق واقعی آبخیز میناب را با استفاده از گزارش ششم و مدل SWAT بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد، جریان رود فقط تحت تأثیر

همان خط روند بخش‌های اقتصادی-اجتماعی (SSPs) است. هیئت تغییر اقلیم میان دولت‌ها با همکاری مراکز پژوهشی گوناگون در سراسر جهان از سال ۲۰۱۶، گردآوری گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم را آغاز کرده است. نتیجه این همکاری منجر به فراهم‌سازی زمینه تولید مدل‌های جدید برای پیش‌بینی اقلیم آینده جهان بود که تکمیل آن‌ها تا سال ۲۰۲۲ ادامه یافت (تبادل و همکاران ۲۰۲۱). با این حال، تاکنون نیز خروجی برخی از مدل‌های مزبور به‌تدریج از پایگاه اطلاعاتی IPCC در اختیار همگان بوده است. به‌دلیل کم‌بودن وضوح مکانی خروجی مدل‌های GCM، استفاده از آنها برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم در مقیاس محلی مناسب نیست و لازم است با استفاده از مدل یا روش‌های مناسب خروجی مدل‌های مزبور برای پژوهش‌های منطقه‌ای ریزمقیاس شوند. با توجه به آثار زیان‌بار پدیده تغییر اقلیم در دوره‌های آتی و لزوم بهره‌برداری بهینه از نظام‌های منابع آب از یک سو و پیش‌بینی وضعیت آینده آن برای استفاده نسل‌های آینده از سوی دیگر، باعث شده است که در سال‌های گذشته استفاده از روش‌های پیش‌بینی منابع آب، تأیید شود (اعلمی و همکاران ۲۰۱۳). در شرایطی که نیاز باشد فقط جریان رود در خروجی آبخیز شبیه‌سازی شود، از مدل‌های مفهومی بارش-رواناب (مانند مدل IHACRES) در مقایسه با دیگر مدل‌ها بیشتر استفاده می‌شود. زیرا، این مدل‌ها هم پاسخ مناسب ارائه می‌دهند و هم به عملیات محاسبه‌ای و داده‌های ورودی نیاز کمتری دارند (کوپر و همکاران ۲۰۰۷). از مهم‌ترین بخش‌های تحت تأثیر اقلیم، بخش منابع آب به‌ویژه تغییرات رواناب رود است که پژوهش‌های بسیاری در این زمینه انجام شده است. نتایج پژوهش باب‌الحکمی و همکاران (۲۰۱۹) بر آبخیز نکا نشان داد که در دوره‌های آتی میانگین سالانه رود تحت سناریو 8.5، 4.5 و RCP2.6 از ۱۵ تا ۴۳٪ کاهش یافت. آقابیکی و همکاران (۲۰۱۹) نیز آثار تغییر اقلیم بر رواناب را با استفاده از مدل آب‌شناختی IHACRES در برخی از آبخیزهای اردبیل بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که تعداد رخداد‌های آب‌دهی اوج افزایش یافت ولی میانگین آب‌دهی کاهش یافت. از سوی دیگر، رهنما و همکاران (۲۰۲۲) دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش ایستگاه بندرعباس را به‌شکل بلندمدت پیش‌نگری کردند. در این پژوهش برای شبیه‌سازی سنج‌های هواشناسی ایستگاه مزبور در دوره زمانی آینده (۲۰۹۰-۲۰۶۱) از

تغییر اقلیم افزایش یافت، اما تحت تأثیر تغییرات کاربری و تغییرات اقلیم در هر سه سناریو به شکل میانگین ۴۵٪ کاهش یافت.

بر اساس دسترسی به نتایج مدل‌های گزارش ششم IPCC و تحول به وجود آمده در توسعه این مدل‌ها در مقایسه با گزارش‌های پیشین IPCC، در این پژوهش اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و رواناب ایستگاه آب‌سنجی برنطین آبخیز سد استقلال میناب بر اساس مدل کانادایی گزارش ششم IPCC بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

منطقه پژوهش، آبخیز رود میناب در استان هرمزگان با مساحت ۱۰۵۱۹۰ هکتار از مهمترین‌های آبخیزهای سواحل دریای عمان و خلیج فارس است. این آبخیز شامل مناطق گسترده‌ای از استان کرمان، شامل شهرستان‌های

جیرفت، کرمان و شهرستان میناب استان هرمزگان است. از کل مساحت این آبخیز ۴۰٪ در استان هرمزگان و ۶۰٪ در استان کرمان است. آبخیز رود میناب در ناحیه شرقی ایران و شمال شرقی شهرستان میناب است و مختصات جغرافیایی آن طول ۵۶°۴۸' تا ۵۷°۵۹' شرقی و ۲۷° تا ۲۸°۳۲' عرض شمالی است. این آبخیز از لحاظ منابع آب و کشاورزی یکی از آبخیزهای پرآب به‌شمار می‌آید و آب آن قابلیت خوبی برای شرب دارد. رود میناب دائمی است و وضعیت آن بارانی و سیلابی است. اقلیم آن گرم و فراخشک است و میانگین بارش آن نیز ۱۹۲/۵ میلی‌متر است. مشخصه‌های آماری بارش و جریان رود میناب در جدول ۱ نشان داده شده است. میانگین سالانه آب‌دهی ۳۰/۸۲ مترمکعب بر ثانیه است که بیشترین و کمترین اندازه آب‌دهی به ترتیب ۴۲۳/۲۶ (آذرماه) و یک مترمکعب بر ثانیه (مردادماه) است (عباس‌زاده و همکاران ۲۰۲۳).

جدول ۱- مشخصات متغیرهای آب‌شناختی در منطقه مطالعه شده.

Table 1- Hydrological characteristics in the study area.

Variables	Mean	Standard deviation	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurt
Runoff	30.82	61.44	11.84	1	423.26	4.37	21.39
precipitation	16.77	36.19	0.01	0	197.92	2.98	9.35
Temperature	27.50	6.10	27.85	15.75	36.50	-0.21	-1.40

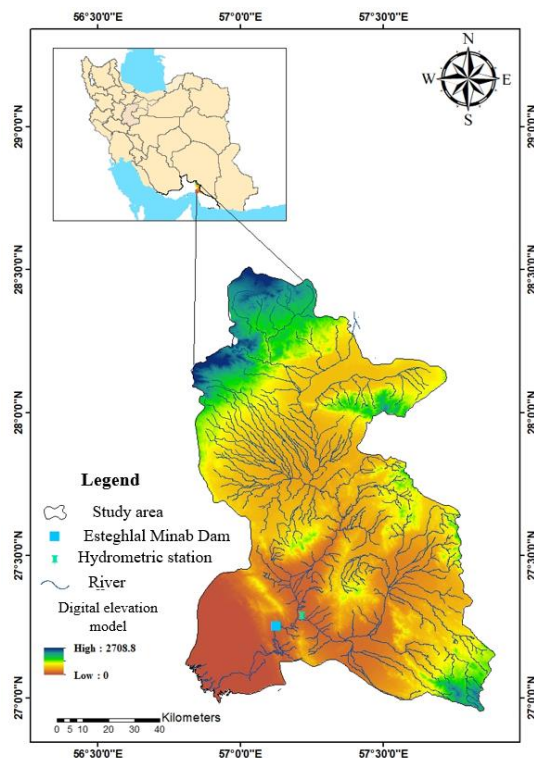
برای پر کردن فاصله میان این دو مقیاس و نیز استفاده از خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس نیاز به ریز مقیاس‌سازی است. یکی از مدل‌های کاربردی در زمینه ریزمقیاس‌نمایی، مدل مولد داده LARS-WG است. ابتدا این مدل به وسیله راسکو و همکاران (۱۹۹۱) ارائه شد و سپس به وسیله سمونوف و همکاران (۱۹۹۸) بازنگری شد. مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی شرایط آب و هوا به اندازه‌های روزانه بارندگی، کمینه دما، بیشینه دما و تابش خورشید نیاز دارد. پیش از تولید داده به وسیله مدل مزبور یک گروه داده اقلیمی بدون به‌کارگیری سناریویی، تولید می‌کند. در شرایطی که تفاوت میان اندازه‌های میانگین و پراگندگی داده‌های تولیدشده و مشاهده‌ای، معنی‌دار نباشد می‌توان از داده‌های این مدل برای تولید داده‌های اقلیمی تحت سناریوهای گوناگون استفاده کرد. از دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰ برای واسنجی، و از دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ برای صحت سنجی و از دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ برای پیش‌بینی دوره آینده استفاده شد. برای ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی از شاخص‌های پرشماری استفاده می‌شود. در این پژوهش از شاخص‌های R^2 ، NSE و RMSE استفاده شد.

داده‌های استفاده شده برای اجرای مدل

در این پژوهش از داده‌های اقلیمی و آب‌شناختی منطقه شامل بارش روزانه، میانگین روزانه دما و میانگین روزانه آب‌دهی برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی روزانه آب‌دهی آبخیز میناب استفاده شد. از این‌رو، از داده‌های بارندگی روزانه، دما و جریان رود ایستگاه آب‌سنجی برنطین در یک دوره آماری (۲۰۱۸-۱۹۸۹) بهره گرفته شد. در این پژوهش برای بررسی تغییر اقلیم منطقه مزبور در مقیاس جهانی از گزارش ششم مدل‌های گردش کلی اقیانوس استفاده شد. در این بخش داده‌های اقلیمی لازم برای اجرای مدل CanESM5 گزارش ششم از پایگاه (<https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6>) به دست آمد. از این داده‌ها برای هر سه سناریوی خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، میانگین (SSP3-7.5) و بدبینانه (SSP5-8.5) برای دوره آینده (۲۰۴۵-۲۰۲۳) استفاده شد.

ریز مقیاس‌نمایی با استفاده از LARS-WG

بر اساس کوچک بودن مقیاس داده‌های مشاهده‌ای و بزرگ بودن مقیاس داده‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم و



شکل ۱- موقعیت منطقه و ایستگاه مطالعه‌شده (آبخیز میناب).

Figure 1- The location of the study area and station (Minab Watershed).

سنجه‌های مدل در مدل‌های غیرخطی با سعی و خطا و با بررسی معیارهایی مانند اندازه‌های خطا و ضریب‌های همبستگی تعیین می‌شود. در مرحله صحت‌سنجی، استفاده از سنجه‌های تعیین‌شده در مرحله واسنجی، جریان شبیه‌سازی می‌شود. سپس، در بازه زمانی خارج از محدوده زمانی دوره واسنجی، عملکرد مدل ارزیابی می‌شود. برای آگاهی بیشتر از اجرای مدل به مقاله کروک و همکاران (۲۰۰۵) مراجعه شود.

در این پژوهش برای ارزیابی کارایی مدل از ضریب نش-ساتکلیف (NSE)، ریشه مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد (پاتیل و استیگلیتز ۲۰۱۵).

شاخص بارش/رواناب استانداردشده (SPI/SRI) و مشخصه‌های خشک‌سالی

یکی از شاخص‌های بنیادی در مطالعه خشک‌سالی، شاخص بارش استانداردشده است که اولین بار به وسیله مک کی و همکاران (۱۹۹۳) توسعه داده شد. شاخص SRI نیز به وسیله شوکلا و وود (۲۰۰۸) براساس روش‌شناسی SPI ارائه شد. مبنای هر دو براساس برازش تابع توزیع احتمال بر اندازه‌های متغیر بارش/دما، محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل تابع توزیع تجمعی به تابع

مدل بارش و رواناب IHACRES

مدل IHACRES یک مدل مفهومی بارش - رواناب است که نسخه اولیه آن به وسیله جکمن و همکاران (۱۹۹۰) توسعه یافت (کارکانو ۲۰۰۸). سپس، این مدل به شکل مشترک به وسیله دانشگاه ملی استرالیا و مرکز بوم‌شناختی و آب‌شناسی انگلستان توسعه یافت (زارعی و همکاران ۲۰۰۹). مدل IHACRES شش سنجه دارد و سه سنجه آن مربوط به بخش تلفات غیرخطی C ، t_w ، است که به ترتیب ظرفیت ذخیره رطوبت آبخیز، مدت زمانی که طول می‌کشد تا آبخیز خشک شود و ویژگی تعدیل حرارت آبخیز هستند. سه سنجه دیگر مربوط به بخش تابع تبدیل خطی τ_q و τ_s است که به ترتیب مدت زمانی که سپری می‌شود تا جریان سریع کاهش یابد و V_s حجمی از جریان آهسته که در ایجاد جریان رود مشارکت دارد، هستند.

واسنجی مدل شامل دو گام اصلی است. تعیین دوره واسنجی که بخشی از کل دوره آماری موجود است، با روش سعی و خطا بر اساس اندازه کمترین خطا، به عنوان بهترین دوره واسنجی انتخاب می‌شود. برای ساخت مدل (مدل‌های خطی و غیرخطی) در ابتدا اندازه تأخیر زمانی میان بارندگی و پاسخ رواناب تعیین می‌شود و سپس تابع متغیر انتخاب می‌شود. اندازه‌های بهینه

از نسبت شدت به مدت خشکسالی به دست می آید و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$DM = \frac{DS}{DD} \quad (2)$$

DM: بزرگی خشکسالی و DD زمان تداوم خشکسالی است.

اوج خشکسالی کمترین اندازه SPI/SRI در تداوم زمانی خشکسالی و با استفاده از رابطه ۳ تعیین شد.

$$DP = \min[SPI_{ij}] \quad (3)$$

DP: اوج خشکسالی و SPI_{ij}: اندازه رویداد در ماه و سال است.

طبقه بندی شرایط آب و هوایی برای اندازه های گوناگون SPI در جدول ۲ آورده شده است. سرانجام برای تحلیل روند خشکسالی، از روش من-کندال (من ۱۹۴۵ و کندال ۱۹۷۸) استفاده شد. برای آگاهی بیشتر از این روش، به مقاله سیزی پرور و شادمان (۲۰۱۳) مراجعه شود.

بهنجار استاندارد شده است. اندازه های مثبت SRI/SPI نشان دهنده بارندگی (رواناب) بیشتر از میانگین بارش و اندازه های منفی آن معنای عکس دارد. بر پایه این روش، خشکسالی هنگامی رخ می دهد که SPI/SRI به شکل پیوسته منفی باشد و به کمتر از صفر برسد و هنگامی پایان می یابد که SPI/SRI مثبت شود.

مشخصه های شدت، مدت، بزرگی و اوج خشکسالی از SPI/SRI به دست آمد. شدت هر دوره خشکسالی در ماه رویداد با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. شدت خشکسالی یعنی مجموع SPI/SRI در زمان رخداد خشکسالی است.

$$DS = \sum_{t=1}^{dl} |x_0 - x_t| \quad (1)$$

DS: شدت خشکسالی، x_0 : نقطه آستانه خشکسالی و x_t : ماه رویداد است.

مدت یا زمان تداوم خشکسالی نیز دوره کسری بارندگی در زمان معین، یا تعداد ماه هایی که یک رویداد خشکسالی طول می کشد، است. بزرگی خشکسالی رویدادی است که

جدول ۲- دسته بندی SPI/SRI برای شرایط گوناگون آب و هوایی.

Table 2- SPI/SRI classification for different weather conditions.

Class	SPI/SRI
extreme wet	$SPI(SRI) > 2$
severe wet	$1.5 < SPI(SRI) < 2$
moderate wet	$1 < SPI(SRI) < 1.5$
mild wet	$0.5 < SPI(SRI) < 1$
normal	$-0.5 < SPI(SRI) < 0.5$
mild drought	$0 < SPI(SRI) < -0.5$
moderate drought	$-1 < SPI(SRI) < -1.5$
severe drought	$-1.5 < SPI(SRI) < -2$
extreme drought	$SPI(SRI) < -2$

IHACRES واسنجی و سپس ارزیابی شد. نتایج به دست آمده از سنج های محاسبه شده مدل برای ایستگاه های آب سنجی مطالعه شده در مرحله واسنجی با روش سعی و خطا در دوره های گوناگون در جدول ۳ نشان داده شده است. بر پایه نتایج جدول ۳ دوره واسنجی مزبور برای پیش بینی و برآورد اندازه رواناب بهترین عملکرد را داشت. همچنین، ضریب تبیین یک نیز نشان دهنده تطابق کامل است. اندازه های آبدهی محاسبه ای و آبدهی مشاهده ای در شکل ۲ آورده شده است. بر اساس شکل ۲ مشخص شد که مدل IHACRES توانایی زیادی در برآورد آبدهی های اوج را نداشت.

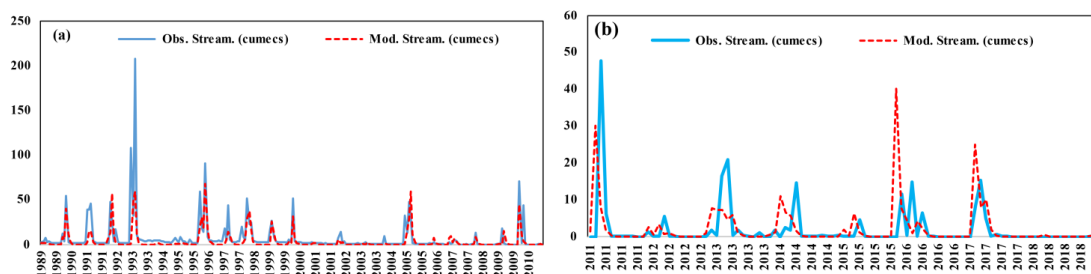
نتایج و بحث

داده های لازم از مراکز مربوطه گردآوری شد و سپس دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ که برای دوره پایه بررسی تغییرات اقلیمی و پیش بینی آینده سنج های اقلیمی استفاده شده بود، برای دوره آماری مشترک انتخاب شد. پس از اطمینان از همگنی داده ها از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰ برای دوره واسنجی و از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ برای دوره اعتبارسنجی انتخاب شد. پس از تعیین دوره واسنجی برای از بین بردن خطاهای بارش و آبدهی باید دوره ای برای مدل سازی تعیین می شد که در این پژوهش به دلیل خشک بودن اقلیم، دوره زمانی ۵۰ ماه برای دوره مدل سازی انتخاب شد. به منظور شبیه سازی جریان در مقیاس روزانه، ابتدا مدل

جدول ۳- نتایج واسنجی مدل IHACRES در طول دوره ۱۹۸۹-۲۰۱۰.

Table 3- The results of IHACRES model calibration during the period 1989-2010.

Index	NSE	RMSE	R ²
Coefficient	0.81	0.52	0.83



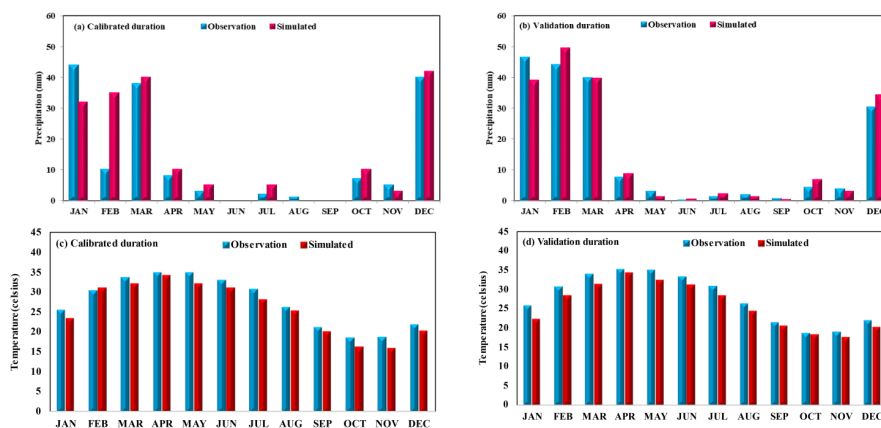
شکل ۲- آب‌دهی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در دوره واسنجی (الف) و صحت‌سنجی (ب).

Figure 2- Observed and simulated discharge during calibration(a) and validation (b) period.

مشاهده‌ای وجود داشت. زیرا، اندازه خطا کم و ضریب‌های همبستگی زیاد بود. از این‌رو، مدل LARS-WG در کوچک مقیاس‌سازی داده‌های بارش به‌دست آمده از مدل IPCC6 توانایی قابل قبولی داشت. بنابراین، می‌توان از مدل مزبور برای تولید داده‌های اقلیمی در دوره آتی استفاده کرد.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل LARS-WG در برآورد بارش و دما

نتایج واسنجی مدل برای برآورد بارش و دما در دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۰ و صحت‌سنجی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ ایستگاه برنطین در شکل ۳ نشان داده شده است. بر پایه این نتایج، انطباق زیادی میان اندازه‌های شبیه‌سازی‌شده و



شکل ۳- واسنجی و صحت‌سنجی مدل LARS-WG برای داده بارش، الف و ب: واسنجی و صحت‌سنجی بارش، ث و د: واسنجی و صحت‌سنجی دما.

Figure 3- Calibration and validation of the LARS-WG model for precipitation data, a: calibration period and b: validation period, temperature c: calibration period and d: validation period.

برآورد کرد؛ به‌گونه‌ای که می‌توان انتظار داشت که دمای منطقه مطالعه‌شده در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در سناریوی SSP1-2.6، ۰/۲۵°C، و در سناریوی SSP-3-7.5 و ۰/۲۴°C، SSP-5-8.5، در مقایسه با دوره پایه افزایش یابد. همچنین، کاهش تغییرات بارش در آینده قابل توجه بود. احتمال کاهش بارش در سناریوی خوش‌بینانه ۵ میلی‌متر، در سناریوی میانگین ۱۳ میلی‌متر و در سناریوی بدبینانه

ارزیابی سناریوهای تغییر اقلیم دما، بارش و رواناب در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰)

نتایج تغییرات ماهانه بارش، دما و رواناب در مقایسه با دوره پایه، در هر سه سناریو SSP-1-2.6، SSP-3-7.5 و SSP-5-8.5 در جدول ۴ ارائه شده است. تغییرات میانگین دما در هر سه سناریوی انتشار، اندازه‌های بیشتری را برای دوره آتی در مقایسه با دوره پایه

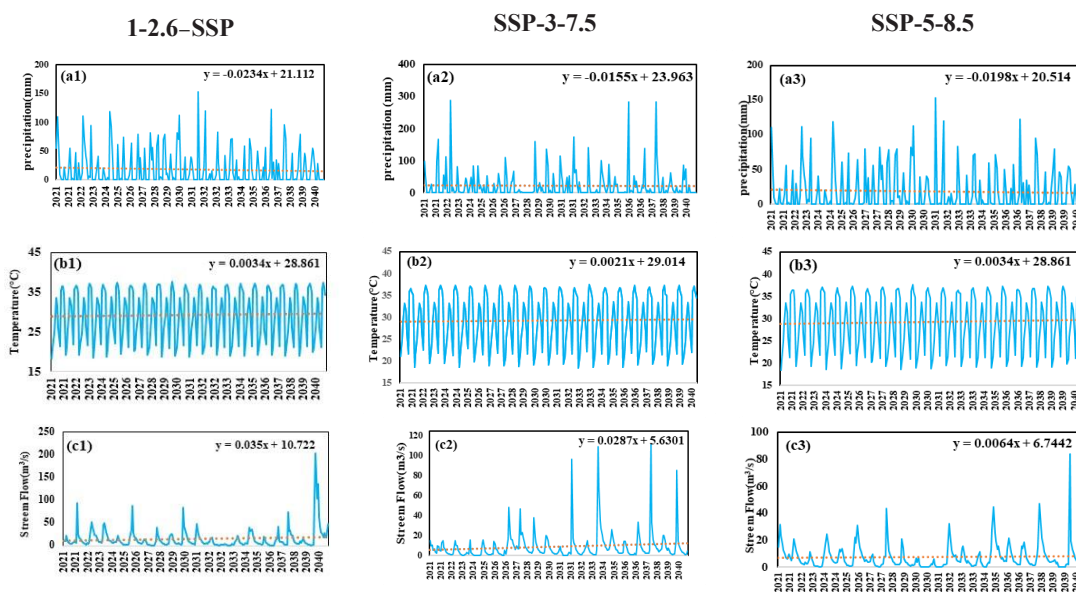
دما و تغییرات کاهشی بارش و آب‌دهی رود در ماه‌های دسامبر تا مارس (دوره‌ی تر) بیشتر از ماه‌های خشک سال (آوریل تا نوامبر) بود. این نتایج با یافته‌های عباس‌زاده و همکاران (۲۰۲۳) در آبخیز میناب هم‌راستا است. افزایش دما و کاهش بارش در این دوره می‌تواند سبب کاهش بارش مؤثر، افزایش تبخیر و تعرق گیاهی و در نتیجه افزایش نیاز آبی گیاه شود و در نهایت منجر به افزایش نیاز آبیاری محصولات کشاورزی شود.

۲۵ میلی‌متر بود. بیشترین نرخ کاهش در فصل‌های پائیز و زمستان بود. نرخ تغییرات آب‌دهی رود نیز در بیشتر ماه‌ها کاهشی بود. میانگین نرخ تغییرات در ماه‌های پائیز و زمستان ۰/۴۵ بود. نمودارهای روند تغییرات بارش، دما و رواناب بر اساس روابط وایزلی در دوره‌های آتی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در شکل ۴ نشان داده شده است. نکته قابل توجه تغییرات متغیرهای بررسی‌شده در فصل‌های تر سال در مقایسه با فصل‌های خشک بود. تغییرات افزایشی

جدول ۴- نرخ تغییرات ماهانه میانگین بارش، دما و رواناب برای هر کدام از سناریوهای تغییر اقلیم در دوره‌ی آتی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در مقایسه با دوره پایه.

Table 4- Average monthly changes in precipitation, temperature and runoff for each of the scenarios in the future period of 2021-2040 compared to the base period.

Variable	Scenarios	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation	SSP-1-2.6	-0.28	-0.04	-0.49	-1.93	-6.21	0.86	0.98	0.99	0.84	-0.61	-20.70	-6.98
	SSP-3-7.5	-0.52	-0.02	0.09	-2.29	-2.60	0.87	0.99	0.96	0.98	0.21	-133.37	-26.42
	SSP-5-8.5	-0.28	-0.04	-0.49	-1.93	-6.21	0.86	0.98	0.99	0.84	-0.61	-20.70	-6.98
Temperature	SSP-1-2.6	0.34	0.42	0.35	0.23	0.06	0.01	0.03	0.02	0.40	0.47	0.43	0.28
	SSP-3-7.5	0.25	0.36	0.29	0.17	0.01	0.04	0.02	0.07	0.43	0.50	0.45	0.32
	SSP-5-8.5	0.23	0.34	0.27	0.16	0.01	0.05	0.03	0.08	0.43	0.50	0.46	0.33
Streamflow	SSP-1-2.6	-0.34	-0.44	-0.34	-0.21	-0.04	-0.05	-0.17	-0.22	0.41	-0.50	-0.48	-0.37
	SSP-3-7.5	-0.35	-0.44	-0.36	-0.22	-0.05	-0.05	-0.15	-0.20	0.41	-0.50	-0.48	-0.37
	SSP-5-8.5	-0.23	-0.34	-0.27	-0.16	-0.01	0.05	0.03	0.08	0.43	-0.50	-0.46	-0.33



شکل ۴- روند تغییرات بارش، دما و رواناب در دوره‌ی آتی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت سناریو SSP-1-2.6, SSP-3-7.5, SSP-5-8.5.

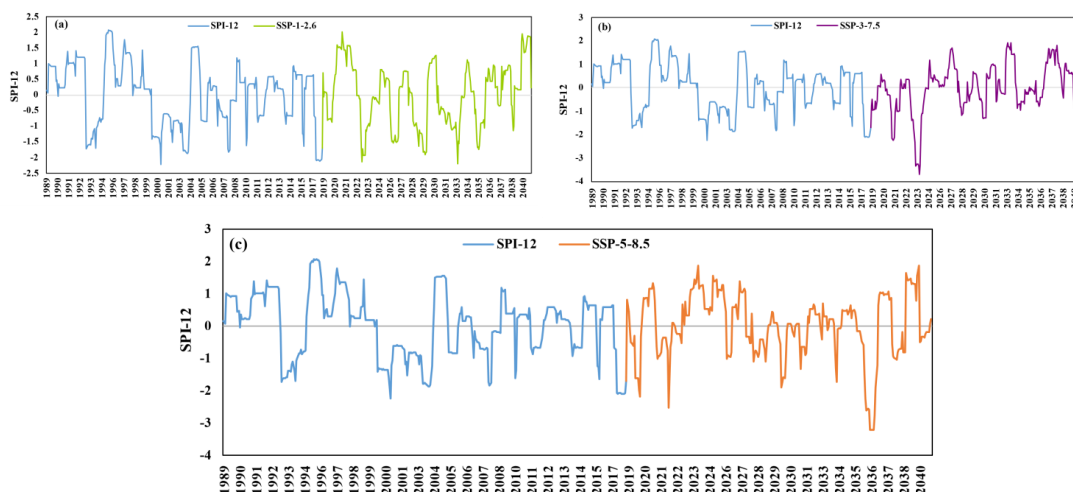
Figure 4- Changes in precipitation, temperature and runoff in the upcoming period of 2021-2040 under the scenario SSP-1-2.6, SSP-3-7.5, SSP-5-8.5.

است. در دوره پایه ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ در منطقه مطالعه‌شده تناوب‌هایی از دوره خشک‌سالی و ترسالی مشاهده شد. همچنین، خشک‌سالی تاریخی در دو دوره (۱۹۹۵-۱۹۹۳) و (۲۰۰۴-۱۹۹۹) مشاهده شد. پس از آن در منطقه به‌شکل متناوب دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی یک‌ساله رخ داده است. افزون بر این، در دوره آینده (۲۰۴۰-۲۰۱۹) نیز سال‌های تاریخی خشک و تر به کرات مشاهده شد.

اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی هواشناسی از اندازه‌های بارش در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، شاخص خشک‌سالی هواشناسی برآورد شد. براساس نتایج پژوهش بهرامی و همکاران (۲۰۲۲)، بیشترین فراوانی خشک‌سالی در مقیاس ۱۲ ماهه در آبخیز میناب گزارش شده است. تغییرات اندازه SPI-12 در دوره پایه و آینده در سناریوی خوش‌بینانه SSP-1-2.6 در شکل ۵ الف نشان داده شده

تاریخی در ماه می (۲۰۲۳)، ۳/۹- مشاهده شد و پس از آن عموماً شدت تناوب‌های خشک‌سالی کمتر از ۱- بود و تناوب‌هایی از خشک‌سالی و ترسالی‌های کوتاه‌مدت مشاهده شد. در سناریوی بدبینانه SSP-5-8.5، در دوره آینده (۲۰۱۹، ۲۰۲۱، ۲۰۳۰، ۲۰۳۴ و ۲۰۳۶) خشک‌سالی‌های طبقه شدید و خیلی شدید (کمتر از ۱/۵-) مشاهده شد (شکل ۵ ث).

مثلاً می‌توان گفت که اندازه شاخص خشک‌سالی در ماه می (۲۰۲۳)، ۱/۹۲-، در ماه اکتبر (۲۰۲۹)، ۱/۹۰- و در سال ۲۰۳۳، ۲/۲- است. در این سناریو نیز ترسالی‌های قابل توجهی در سال ۲۰۱۹، ۲۰۲۹ و ۲۰۳۹ رخ داد. تغییرات SPI-12 را در سناریوی میانگین SSP-3-7.5 در شکل ۵ ب، نشان داده شده است. در این سناریو، اندازه شاخص یک رخداد خشک‌سالی

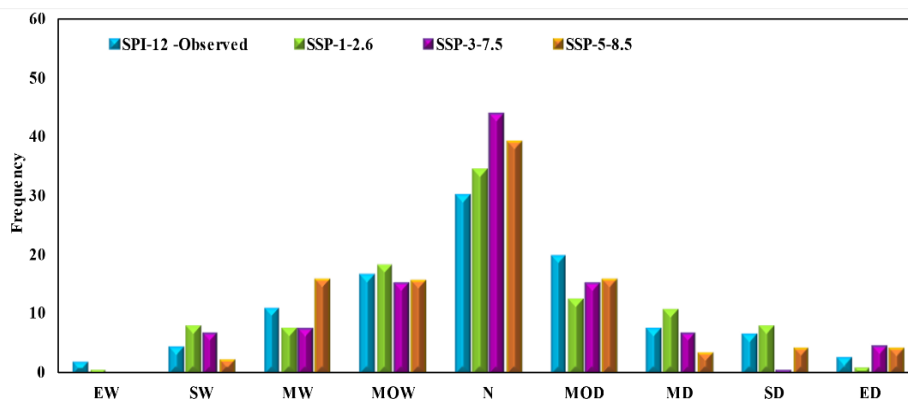


شکل ۵- تغییرات SPI-12 در دوره پایه و سناریوی SSP 1-2.6 (الف)، SSP 3-4.5 (ب) و SSP 5-8.5 (ث).

Figure 5-Temporal variation of SPI-12 during historical period and 2021-2040 using SSP 1-2.6 (a), (b) SSP 3-4.5 and (c) SSP 5-8.5 scenarios.

می‌توان انتظار داشت که به‌شکل میانگین به ۱۴/۵٪ کاهش یابد. پس از آن، دوره ترسالی میانگین بود که در دوره پایه ۱۷٪ و در آینده در تمام سناریوها به‌شکل میانگین ۱۵/۵٪ بود. افزون بر این در آینده درصد فراوانی ترسالی در مقایسه با گذشته در سناریوی SSP-1-2.6 افزایش (از ۳۳/۵٪ به ۳۵٪) داشت اما در دو سناریوی دیگر تغییر بسیار ناچیز بود. درصد خشک‌سالی‌ها به‌شکل میانگین نیز از ۳۶/۴٪ به ۲۸٪ در هر سه سناریو کاهش یافت. می‌توان گفت که اندازه درصد فراوانی خشک‌سالی از گذشته به آینده به‌ترتیب در سناریوی SSP-3-7.5، SSP-1-2.5 و SSP-5-8.5 به ۳۲٪، ۲۷٪ و ۲۸٪ کاهش یافت.

بر اساس جدول ۲ نمودار درصد فراوانی خشک‌سالی برای SPI-12 در دوره پایه و آینده بر اساس طبقه‌بندی (۹ دسته‌ای) لویدهیوز و ساندرز (۲۰۰۲) در شکل ۶، نشان داده شده است. در این راستا نتایج نشان داد که بیشترین درصد فراوانی خشک‌سالی‌های منطقه مطالعه شده در طبقه نرمال بود که در دوره پایه این اندازه ۳۰٪ بود و در دوره آینده در تمام سناریوها، روند شدت خشک‌سالی افزایشی بود. همچنین، طبقه خشک‌سالی نرمال در آینده به ۴۰٪ افزایش یافت و در سناریوی خوش‌بینانه این وضعیت بیشترین اندازه را داشت. پس از طبقه نرمال، بیشترین طبقه مربوط به خشک‌سالی ملایم (۲۰٪) بود که این طبقه نیز در آینده در تمام سناریوها روند کاهشی داشت و

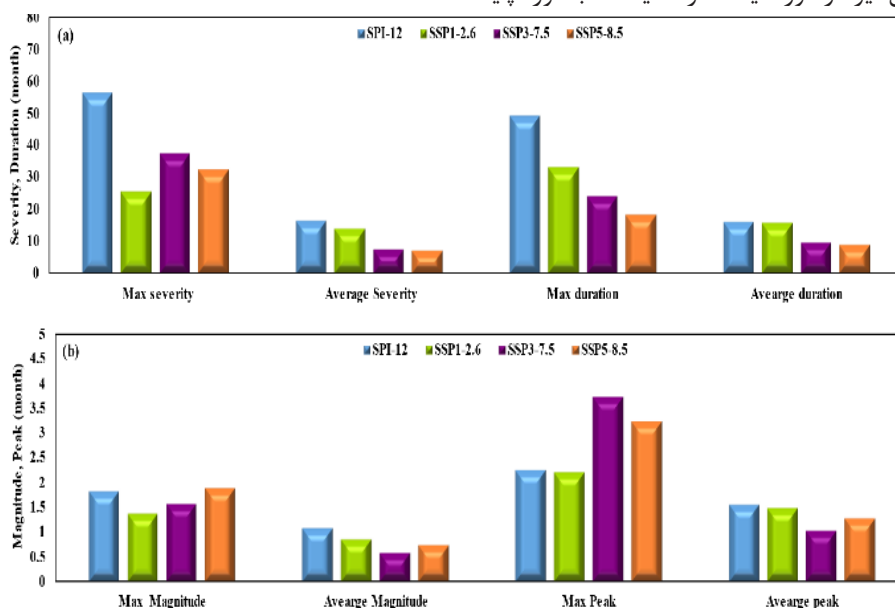


شکل ۶- درصد فراوانی خشک‌سالی هواشناسی در هر طبقه توصیفی خشک‌سالی/ترسالی (N: نرمال؛ EW: ترسالی خیلی شدید؛ SW: ترسالی شدید؛ MW: ترسالی متوسط؛ MOW: ترسالی ملایم؛ MOD: خشک‌سالی ملایم؛ MD: ترسالی متوسط؛ SD: خشک‌سالی شدید؛ ED: خشک‌سالی شدید) در دوره‌ی پایه و آینده.

Figure 6- Frequency of drought in each drought descriptive class category (N: normal; EW: very severe drought; SW: severe drought; MW: moderate drought; MOW: mild drought; MOD: moderate drought; MD: moderate drought; SD: severe drought; ED: severe drought) during historical and future periods.

در منطقه مطالعه‌شده کاهش یافت اما زمان تداوم خشک‌سالی افزایش یافت. هر چه شدت خشک‌سالی در دوره زمانی بیشتری به طول انجامد، از بزرگی یا سختی آن کاسته می‌شود (آشیته و همکاران ۲۰۲۳). در دوره آینده، سناریوی SSP-3-7.5 بیشترین شدت و تداوم را نشان داد و این رخدادی بود که در سال ۲۰۲۳ در این سناریو پیش‌بینی شد. در دوره آینده بزرگترین شدت به وسیله این سناریو برآورد شد. هر چه شدت خشک‌سالی در طول دوره‌ی زمانی بیشتری رخ دهد، از بزرگی یا سختی آن کاسته می‌شود (آشیته و همکاران ۲۰۲۳).

اندازه‌های بیشینه و میانگین شدت، مدت، بزرگی و اوج خشک‌سالی برای SPI-12 در دوره پایه و آینده برآورد شد و نتایج آن در شکل ۷ الف و ب نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین شدت (بیش از ۷۱) و بیشترین مدت خشک‌سالی (۴۹ ماه بیش از ۴ سال متوالی) در دوره پایه رخ داده است (شکل ۷ الف). این در حالی است که در آینده در تمام سناریوها شدت و تداوم خشک‌سالی به شکل میانگین به ترتیب ۵۵ و ۴۶ ماه کاهش یافت. بیشترین تداوم و کمترین شدت خشک‌سالی در SSP-1-2.6 مشاهده شد. اندازه‌های میانگین شدت خشک‌سالی نیز در دوره آینده در مقایسه با دوره پایه



شکل ۷- مشخصه‌های خشک‌سالی هواشناسی در دوره پایه و آینده (الف) شدت و مدت خشک‌سالی، (ب) بزرگی و اوج خشک‌سالی.

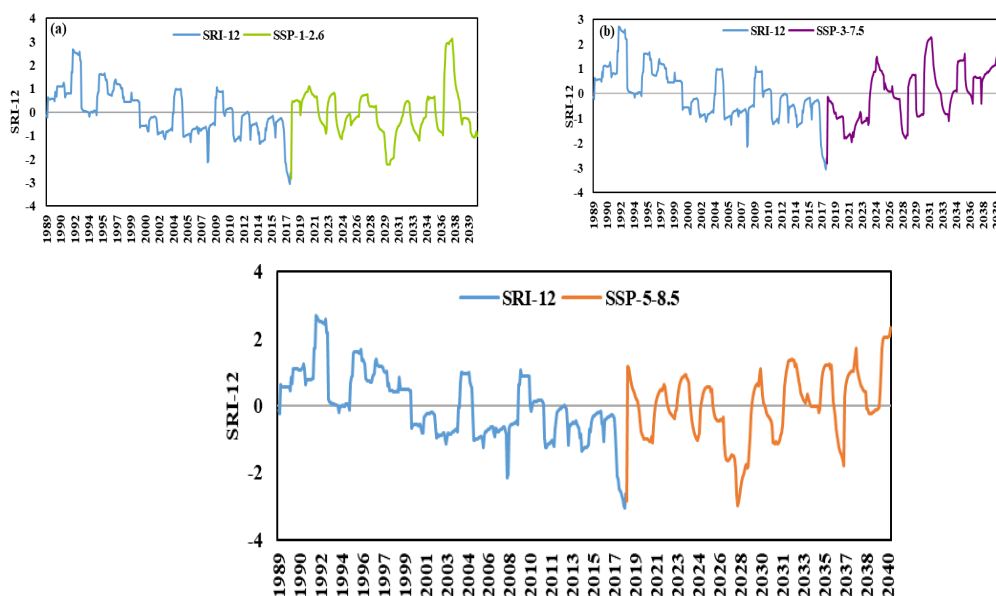
Figure 7- Meteorological drought characteristics in basis and future period a: severity and duration, b: magnitude and peak.

مطالعه‌شده خشک‌سالی آب‌شناختی نیز با سناریوی SSP-1-2.6 با همین روند ادامه داشته است و تناوبی از خشک‌سالی و ترسالی دیده شد. می‌توان گفت که خشک‌ترین سال‌ها در سال ۲۰۳۰ است و وضعیت خشک‌سالی نیز خیلی شدید است و سال ۲۰۳۷ در آینده نیز ترسالی‌ترین است و وضعیت ترسالی آب‌شناختی آبخیز نیز شدید است.

بر اساس سناریوی SSP-3-7.5T در مقایسه با سناریوی SSP-1-2.5، ترسالی‌های آبخیز میناب به شکل متناوب در سال‌های ۲۰۲۴، ۲۰۳۱ و ۲۰۳۳ بیشتر است. همچنین، بر اساس سناریوی SSP-5-8.5 در این آبخیز در سال ۲۰۲۸ خشک‌سالی تاریخی با شدت ۲/۹۸- است و خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها با میانگین یک‌ساله به شکل متناوب تکرارپذیرند.

اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی آب‌شناسی

اندازه‌های SRI-12 پیرو SPI-12 بر پایه اندازه‌های رواناب برآورد شد و با استفاده از سناریوهای مزبور برای دوره آینده نیز پیش‌بینی شد. تغییرات آن در شکل ۸ نشان داده شده است. آبخیز مطالعه‌شده در دوره گذشته (۱۹۹۸-۱۹۹۹) ترسالی گسترده‌ای را داشته است. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ نیز وارد دوره ترسالی شده است و یک دوره کوتاه ترسالی را پشت سر گذاشته است و دوباره وارد دوره خشک‌سالی چهارساله شده است و تا پایان دوره پایه نیز به همین ترتیب در سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۷ نیز وارد دوره خشک‌سالی شده است. در دوره پایه، یک خشک‌سالی تاریخی خیلی شدید در نوامبر (۲۰۱۷) در منطقه رخ داده است و دیگر رخدادها عموماً خشک‌سالی‌های شدید و متوسط بوده‌اند. در آبخیز



شکل ۸- تغییرات SRI-12 در دوره پایه و سناریوی SSP 1-2.6 (الف)، SSP 3-7.5 (ب) و SSP 5-8.5 (ت).

Figure 8- Temporal variation of SRI-12 during historical period and 2021-2040 using SSP 1-2.6 (a), (b) SSP 3-7.5 and (c) SSP 5-8.5 scenarios.

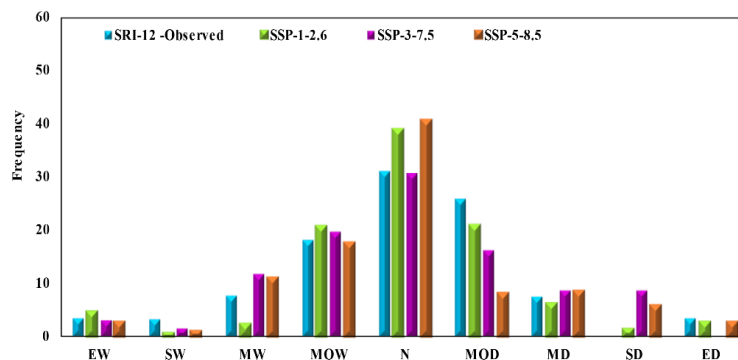
آینده در تمام سناریوها به‌طور میانگین ۲۰٪ افزایش یافت. درصد فراوانی ترسالی در دوره آینده در مقایسه با گذشته در سناریوی SSP-3-7.5 افزایشی (از ۸٪ به ۳۶٪) بود و در سناریوی SSP-1-2.5 به ۲۹٪ و در سناریوی بدبینانه ۳۳٪ افزایش یافت و وضعیت خشک‌سالی در سه سناریوی SSP-3-7.5، SSP-1-2.5 و SSP-5-8.5 در مقایسه با دوره پایه از ۳۷٪ به ۳۲٪، ۳۳٪ و ۲۶٪ کاهش یافت.

بیشینه و میانگین اندازه شدت، مدت، بزرگی و بارش در شکل ۱۰ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۱۰ الف بیشترین اندازه شدت خشک‌سالی مربوط به دوره پایه (۷۱) بود که با زمان تداوم ۴۹ ماهه رخ داد. همچنین

درصد فراوانی خشک‌سالی آب‌شناختی در دوره پایه و آینده آبخیز میناب در شکل ۹ نشان داده شده است. در این راستا نتایج نشان داد که بیشترین درصد فراوانی خشک‌سالی‌ها در منطقه مطالعه‌شده مربوط به طبقه نرمال است که در دوره پایه این اندازه ۴۰٪ بود و در دوره آینده در تمام سناریوها، وضعیت افزایشی را نشان داد. طبقه خشک‌سالی نرمال در آینده به ۳۵٪ افزایش یافت. پس از طبقه نرمال، بیشترین طبقه مربوط به خشک‌سالی ملایم (۲۶٪) بود که وضعیت این طبقه نیز در آینده در تمام سناریوها، کاهشی بود و به‌طور میانگین به ۱۵٪ کاهش یافت. پس از آن دوره ترسالی میانگین بود که در دوره پایه ۱۸٪ بود و در

خشک‌سالی در منطقه به‌وسیله سناریوی SSP-5-8.5 به‌ترتیب ۱/۴ و ۲/۹۸ برآورد شد (شکل ۱۰ ب). سپس با دو سناریوی دیگر این اندازه‌ها (۱/۱۵ و ۱/۰۷) بود. در دوره آینده پیش‌بینی میانگین و بیشترین شدت و بزرگی خشک‌سالی آب‌شناختی در مقایسه با دوره پایه، افزایشی بود.

در دوره آینده با سناریوی SSP-3-7.5 بیشترین شدت ۶۸ و با زمان تداوم ۶۴ ماهه رخ داد که در مقایسه با دوره پایه این اندازه‌ها کمتر بود. پس از این سناریو، بیشترین شدت و مدت به‌ترتیب مربوط به سناریوی SSP-5-8.5 (۵۴ و ۳۸ ماهه) و SSP-1-2.5 (۴۳ و ۳۸ ماهه) بود. در این راستا، بیشترین اندازه بزرگی و اوج



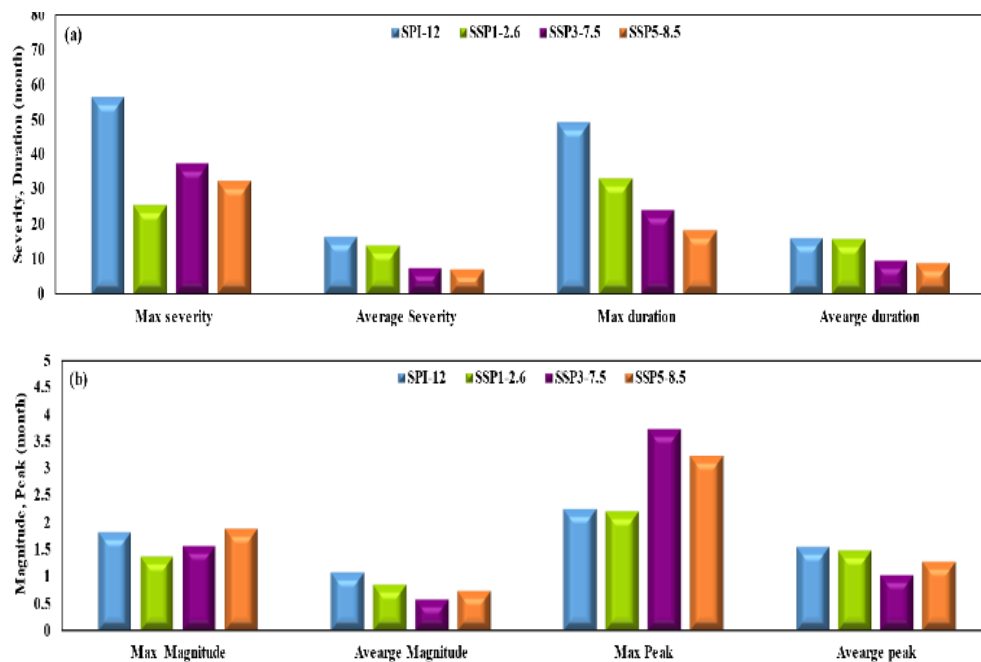
شکل ۹- فراوانی خشک‌سالی آب‌شناختی در هر دسته کلاس توصیفی خشک‌سالی/ترسالی (N: نرمال؛ EW: ترسالی خیلی شدید؛ SW: ترسالی شدید؛ MW: ترسالی متوسط؛ MOW: ترسالی ملایم؛ MOD: خشک‌سالی ملایم؛ MD: ترسالی متوسط؛ SD: خشک‌سالی شدید؛ ED: خشک‌سالی شدید).

Figure 9- Frequency of hydrological drought in each drought/drought descriptive class category (N: normal; EW: very severe drought; SW: severe drought; MW: moderate drought; MOW: mild drought; MOD: mild drought; MD: moderate drought; SD : severe drought; SD: severe drought).

همکاران (۲۰۱۹)، بذرافشان و همکاران (۲۰۲۳)، مظفری و همکاران (۲۰۲۱)، بینا و همکاران (۲۰۲۱) مبتنی بر افزایش بارش و کاهش خشک‌سالی‌ها با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. عباس‌زاده و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که با در نظر گرفتن تغییرات کاربری زمین‌ها اندازه‌های بارش و رواناب تا ۸۰٪ در سناریوی SSP5-8.5 افزایش یافت. در این پژوهش نتایج سناریوی SSP-1-2.5 نشان داد که روند بارش از نظر آماری معنی‌دار نبود، اما روند آب‌دهی جریان کاهشی و معنی‌دار بود. مبتنی بر نتایج پژوهش عباس‌زاده و همکاران (۲۰۲۳) و به‌رغم افزایش اندازه بارش در دوره‌های آتی، اندازه رواناب خروجی به‌دلیل افزایش دما و تغییرات کاربری زمین‌ها در بیشتر سناریوها کاهش یافت.

تحلیل روند متغیرهای بررسی‌شده

روند تغییرات متغیرهای بررسی‌شده در جدول ۵ نشان داده شده است. در این راستا نتایج نشان داد که روند هر دو نوع خشک‌سالی (آب-شناختی و هواشناسی) در دوره پایه، افزایشی و در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار بود. در دوره آینده در سه سناریو، روند خشک‌سالی هواشناسی کاهشی بود و روند اندازه‌های SPI افزایشی بود. در این شرایط روند اندازه رواناب در سناریوی SSP-1-2.5 افزایشی و معنی‌دار بود اما در دو سناریوی دیگر افزایشی و بی‌معنی بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت، در دوره آینده مشاهده ترسالی بیشتر است. در جنوب ایران و شهرستان میناب نتایج پژوهشگران (عباس‌زاده و همکاران (۲۰۲۳)، عظیمی‌سردری و



شکل ۷- مشخصه‌های خشک‌سالی هواشناسی در دوره پایه و آینده (الف) شدت و مدت خشک‌سالی، (ب) بزرگی و اوج خشک‌سالی.

Figure 7- Meteorological drought characteristics in basis and future period a: severity and duration, b: magnitude and peak.

رود به دنبال کاهش بارش کاهش یافت و این تغییرات بیشتر مربوط به فصل‌های پاییز و زمستان (۴۹٪ کاهش) بود. اما تغییرات روند جریان رود در فصل تابستان در مقایسه با دوره پایه افزایش یافت. شیب روند تغییرات بارش و آب‌دهی در کل دوره افزایشی بود. بررسی اثر اقلیم و خشک‌سالی هواشناسی در منطقه مطالعه شده نشان داد که روند اندازه‌های خشک‌سالی آب‌شناختی و هواشناسی در دوره تاریخی افزایشی بوده است اما در آینده در بیشتر سناریوها روند خشک‌سالی کاهشی است که عموماً از نظر آماری نیز معنی‌دار نیست و این وضعیت در مشخصه‌های خشک‌سالی نیز به خوبی مشاهده شد.

بررسی تغییرات منطقه‌ای خشک‌سالی ناشی از تغییرات اقلیم جهانی همراه با ترکیب‌های گوناگونی از سناریوها می‌تواند برای هشدار زودهنگام خشک‌سالی و همچنین برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب مفید باشد. در مجموع، شرایط مدیریت و پیش‌آگاهی خشک‌سالی در بسیاری از نقاط ایران بخصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک هم‌اکنون فاصله زیادی از وضعیت مطلوب دارد. بنابراین، ضروری است که آمادگی لازم برای مقابله با آن فراهم شود. از این‌رو، ضروری است که امکان آمادگی لازم برای مقابله با آن فراهم شود. بنابراین، در خشک‌سالی‌های شدید، کاربرد مدل‌های تغییر اقلیم برای پیش‌گویی شرایط آینده در ارزیابی قابلیت تأمین آب و نیازمندی به منابع آب کمکی می‌تواند بسیار مفید باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات بارش و رواناب در آبخیز سد میناب بررسی شد. از این‌رو، از داده‌های ایستگاه آب‌سنجی برنطین استفاده شد. اندازه‌های بارش و دما با استفاده از مدل LARS-WG و گزارش ششم ریز مقیاس شدند. با استفاده از داده‌های مزبور رواناب به وسیله مدل IHACRES واسنجی شد و پس از عملکرد مناسب مدل، داده‌ها صحت‌سنجی شد. سپس، رواناب برای یک دوره در آینده با استفاده از سه سناریوی انتشار SSP-1-2.5، SSP-3-7.5 و SSP-5-8.5 پیش‌بینی شد. اندازه‌های SPI و SRI برای دوره پایه و آینده برآورد شد و روند تغییرات آنها در مقایسه با دوره آینده مقایسه شد. بر اساس نتایج به دست آمده، عملکرد مدل آب‌شناختی بارش-رواناب در دوره پایه مناسب بود. بنابراین، اندازه‌های رواناب برای دوره آینده برآورد شد و سرانجام تغییرات بارش، دما و رواناب در دوره آینده در مقایسه با دوره پایه برآورد شد. نتایج نشان داد روند تغییرات بارش برای سه سناریو در فصل پاییز و زمستان کاهشی بود. با استفاده از سه سناریو، در مقایسه با دوره مشاهده‌ای بیشترین تغییرات مربوط به ماه نوامبر بود اما در فصل تابستان این تغییرات افزایش یافت. در این راستا، پیش‌بینی تغییرات دما به وسیله هر سه سناریو به‌ویژه از ماه‌های آگوست تا دسامبر تا ۴۰٪ در مقایسه با دوره پایه افزایشی بود. همچنین، روند جریان

فهرست منابع

- Aalami M, Agha Babaei b, Ahmadi M, Farzin S. 1393. Optimal allocation of water resource systems using dynamic system. *Journal of Water Resources Engineering*, 23(7):23-39. (In persian). <https://civilica.com/doc/50565/>.
- Abbaszadeh M, Bazrafshan O, Mahdavi R, Sardooi ER, Jamshidi S. 2023. Modeling future hydrological characteristics based on land Use/land cover and climate changes using the SWAT model. *Water Resources Management*, pp. 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03545-6>.
- Achite M, Bazrafshan O, Katipoğlu OM, Azhdari Z. 2023. Evaluation of hydro-meteorological drought indices for characterizing historical droughts in the Mediterranean climate of Algeria. *Natural Hazards*, pp. 1-27.
- Aghabeigi N, Ismaili Auri A, Moštafazadeh R, and Golshan M. 2018. Climate changes on runoff with the IHACRES hydrological model in the watersheds of Ardabil province. *Scientific Research Journal of Irrigation and Water Engineering in Iran*. 10 (38): 163-176. (In Persian). <https://doi.org/10.22125/IWE.2019.100750>.
- Ayers J, Dodman D. 2010. Climate change adaptation and development I: The state of the debate. *Progress-in-Development-Studies* 10(2): 161-168. <https://doi.org/10.1177/146499340901000205>.
- Azari M, Moradi H. R, Saghaian B, Faramarzi M. 2016. Climate change impacts on stream flow. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.967695>.
- Bahrami S, Bazrafshan O, esmaelpour Y. 2022. Efficiency of drought meteorological indices in hydrological and hydrogeological drought warning (Case study: The watershed of Esteghlal Dam -Minab). *Extension and Development of Watershed Management*, 10(36): 27-36. <https://doi.org/20.1001.1.26454777.1401.10.36.4.8>.
- Bazrafshan O, Zamani H, Mozaffari E, Azhdari, Shekari M. 2023. Trivariate risk analysis of meteorological drought in Iran under climate change scenarios. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 135(6): 52-69. <https://doi.org/10.1007/s00703-023-00988-9>.
- Carcano EC, Bartolini P, Muselli M, Piroddi L. 2008. Jordan Recurrent Neural Network Versus IHACRES in modeling daily stream flows. *Hydrology*, 362(3): 291-307. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.08.026>.
- Cooper VA, Nguyen VTV, Nichol JA. 2007. Calibration of conceptual rainfall-runoff models using global optimization methods with hydrologic process-based parameter constraints. *Journal of Hydrology*. 334(3-4): 455-466. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.10.036>.
- Croke BFW, Jakeman AJ. 2008. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semiarid regions. In: Weather HS. Sorooshian S. Sharma KD. (Eds.), *Hydrological Modeling in Arid and Semi-arid Areas*. Cambridge University Press, Cambridge. pp.41-48.
- Croke BFW, Jakeman AJ. 2005. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semiarid regions, in: *Hydrological Modeling in Arid and Semi-Arid Areas*, edited by: Wheater, H., Sorooshian, S. and Sharma, K. D., Cambridge University Press, Cambridge, pp. 41–48.
- Jakeman A, J, Hornberger GM. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall runoff model? *Water Resources Research*. 29(8): 2637-2649. <https://doi.org/10.1029/93WR00877>.
- Kendall M. 1975. Rank correlation methods. Charles Griffin, London. [Citation Time(s):1]
- Lloyd EH. 1970. Return periods in the presence

- of persistence. *Journal of Hydrology*, 10(3): 291-298. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90256-8](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90256-8).
- Mann HB. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrical: Journal of the Econometric Society*, pp. 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>.
- McKee T, Doesken N, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proc Eighth Conference Appl Climatol*, American Meteorological Society, Boston. pp. 179-184.
- Monahan WB, Theobald DM. 2018. Climate change adaptation benefits of potential conservation partnerships. *PloSone* 13(2): 1-23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191468>.
- Mozaffari E, Moradi N, Bazrafshan O. 2021. Spatio-temporal variability of characteristics of meteorological drought in Iran under climate change scenarios. *Desert Management*, 8(16):153-163. <https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.243146>.
- Mirdashtovan M, Malekian A, Mohseni Saravi, M. 2018. Stream flow simulation using statistical downscaling of climatic data: Urmia Lake Basin. *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(2): 419-431. <https://doi.org/10.22059/ije.2017.232662.586>.
- Patil SD, Stieglitz M. 2015. Comparing spatial and temporal transferability of hydrological model parameters. *Journal of Hydrology* 525(2): 409-417. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.003>.
- Rahimi B, Hafezparast M. 2020. Investigation of the IHACRES model in the prediction of runoff caused by climate models, the fifth report (Case study: Jamishan Dam). The First National Conference of Applied Reserches on Water and Power Industry Razi University, Kermanshah, pp. 30-31 December 2020. (In Persian). <https://civilica.com/doc/1202087/>.
- Rahnama S, Shahidi A, Yaqubzadeh M. 2021. Forecasting climate change based on temperature and creation based on the 6th report of the IPCC (Case study: Bandar Abbas International Station and the 2th National Conference on Modeling and Technologies). New in Water Management, Birjand, <https://civilica.com/doc/1736910>.
- Rasco P, Szeidl L, Semenov MA. 1991. A serial approach to local stochastic models. *Journal of Ecological Modeling* 57, 27-41. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(91\)90053-4](https://doi.org/10.1016/0304-3800(91)90053-4). <https://doi.org/10.3354/cr010095>.
- Sabzi Parvar AA, Shadmani M. 2013. Analysis of reference evaporation and transpiration using Mann-Kendall and Spearman tests in dry areas of Iran, *Water and Soil Journal*, 25(4): 824-823. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.10242>.
- Shukla S, Wood AW. 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*, 35(2): 23-41. <https://doi.org/10.1029/2007GL032487>.
- Shukla S, Wood AW. 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophys. Res. Lett.* 35, L02405. <https://doi.org/10.1029/2007GL032487>.
- Tebaldi C, Debeire KV, Eyring E, Fischer J, Fyfe P, Friedlingstein R, Knutti J, Lowe B, O'Neill B, Sanderson, D, van Vuuren. 2021. Climate model projections from the scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth System Dynamics*, 12(1): 253-293. <https://doi.org/10.5194/esd-12-253-2021>.
- Zareie M, Qanbarpur M, Habibnejad Roshan M, Shahedi K. 2009. Simulation of river flow using IHACRES: A case study in Kasilian Basin, *Journal of Iranian Engineering Sciences and Watershed Management* Vol. 8, pp 10-20 (In Persian). <http://jwmsei.ir/article-1-115-fa.html>
- Zarin A, Dadashi Rudbari A. 2021. Prediction of consecutive dry and wet periods in Iran based on Hamdi output of 6CMIP bias corrected models. *Earth and Space Phys-*

- ics, 47(3): 5-16 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jesphys.2021.319270.1007295>.
- Prediction of Meteorological and Hydrological Drought under Climate Change in the Minab Dam Watershed
- Fateme Pourhaghverdi 1, Ommolbanin Bazrafshan *2, Hamid Gholami 3, Marzieh Shekari 4, Hossein Zamani 5
- 1- Ph.D., Student, Department of Natural Resources Engineering and Statistics, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
 - 2- Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering and Statistics, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
 - 3- Professor, Department of Natural Resources Engineering and Statistics, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
 - 4 and 5- Assistant Professor, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Prediction of Meteorological and Hydrological Drought under Climate Change in the Minab Dam Watershed

Fateme Pourhaghverdi ¹, Ommolbanin Bazrafshan ^{*2}, Hamid Gholami ³, Marzieh Shekari ⁴, Hossein Zamani ⁵

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

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

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

4 and 5- Assistant Professor, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

The phenomenon of climate change is the reason for the continued change of the climate pattern in the future. In 2016, the Intergovernmental Panel on Climate Change, with the cooperation of various research centers around the world, has started compiling the sixth climate change assessment report CMIP(6). Due to the low spatial resolution of the output of GCM models, it is not appropriate to use them to evaluate the effect of climate change on a local scale. Consequently, it is necessary to scale the output of these models for regional studies using appropriate models or methods. One of the most important effects of climate change is the impact on rainfall and runoff in the watershed, which is effective on meteorological and hydrological droughts. One of the famous rainfall-runoff models that do not require a lot of input data is IHACRES. Researchers have welcomed its use in the last decade. The purpose of this research is to investigate the effects of climate change on meteorological and hydrological drought in the Minab Dam watershed.

Materials and Methods

In this study, climatic and hydrological data related to the region including daily precipitation, mean daily temperature and mean daily discharge were used to model and simulate the daily discharge

Article Type: Research Article

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

Citation: Pourhaghverdi, F., Bazrafshan, O., Gholami, H., Shekari, M., Zamani, H. 2024. Prediction of Meteorological and Hydrological Drought Under Climate Change in the Minab Dam Watershed. Watershed Management Research. 37(3):76-93.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.364078.1554

Received: 12 November 2023, **Received in revised form:** 03 December 2023, **Accepted:** 21 December 2023

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp.76-93.

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



of the Minab watershed during the statistical period of 1989 to 2018. From the Canadian model of the sixth report and three climate change scenarios SSP-1-2.5, SSP-3-7.5 and SSP-5-8.5, from the IHACRES model for predicting river flow for the future period from 2019 to 2040 and from the LARS-model WG was used for microscale precipitation and temperature. The Standardized Rainfall/Runoff Index (SPI/SRI) was used to study the drought. To analyze the drought trend and its characteristics, the Mann-Kendall test was utilized in both baseline and future periods.

Results and Discussion

Using the mentioned data, the runoff was calibrated using the IHACRES model. After the proper performance of the model in the calibration stage, the model was verified and predicted using three scenarios of the sixth report of runoff for a period in the future. Then, SPI, SRI, and drought characteristics (severity, duration, magnitude, and peak) were estimated for the past and future periods, and their changes compared to the future period. The results showed that the trend of precipitation changes in all three scenarios decreased in autumn and winter.

Also, by using three scenarios, it was found that the most changes in the observation period were related to November. Also, regarding the flow of the river, its trend is decreasing due to the decrease of precipitation and these changes are mostly related to the autumn and winter seasons (up to 49% decrease), but its changes in the summer season have an increasing trend compared to the base period. In general, the trend of changes in precipitation and discharge in the entire period has an increasing slope. Investigating the effect of climate and meteorological drought in the study area showed that the hydrological and meteorological drought values have been increasing in the past, but in the future, in most scenarios, the drought trend is decreasing, which generally lacks a statistically significant trend. It is also clearly visible in the characteristics of drought.

Conclusion and Suggestions

Considering the regional changes of drought caused by global climate changes, considering different combinations of scenarios can be useful for early warning of drought as well as water resources management planning. In general, the conditions of drought management and forecasting in many parts of Iran, especially in arid and semi-arid regions, are currently far from the ideal situation. Therefore, it is necessary to be prepared to deal with it. Therefore, in severe droughts, the use of climate change models to predict future conditions can be very useful in evaluating the ability to provide water and the need for auxiliary water sources.

Keywords: Downscaled, Minab watershed, Precipitation-runoff model, Sixth climate report, Standardized precipitation/runoff index



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مدل سازی تغییرات مکانی-زمانی تبخیر با استفاده از داده‌های تشتک تبخیر کلاس A (پیشنهاد رویکردی نوین به منظور استفاده در مدل‌های پویایی و توزیعی بارش-رواناب)

امیرحسین پارسامهر^{۱*}، علی سلاجقه^{۲*}، شهرام خلیقی سیگارودی^۳، خالد احمدآلی^۴

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی،

دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴- استادیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

تبخیر یکی از سنجه‌های مهم آب‌شناسی است که در چرخه آب نقش مهمی دارد. این سنجه افزون بر توزیع مکانی گوناگون، با داشتن توزیع بلندی سبب پیچیدگی مدل‌سازی‌های تبخیر شده است. هدف از این پژوهش، پیشنهاد یک رویکرد جدید برای مدل‌سازی تغییرات مکانی-زمانی تبخیر است تا بر اساس ویژگی پویایی و توزیعی آن بتوان در مدل‌های بارش-رواناب، استفاده شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های ماهانه تبخیر (۱۴۰۰-۱۳۸۱) ایستگاه پایش تبخیر مارون که در آبخیز پسکوهک، در ۲۷ کیلومتری غرب شیراز است، استفاده شد. همچنین از داده‌های سه ایستگاه پیرامون حوزه آبخیز پسکوهک، شامل ایستگاه‌های شیراز، قلات و دشت ارژن، استفاده شد. در ابتدا با استفاده از مدل وایازی و تعیین ارتباط میان تبخیر و بلندی از سطح دریا، نقشه‌های رستری تبخیر ماهانه منطقه مطالعه شده رسم شد. سپس، با استفاده از

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: salajegh@ut.ac.ir

استناد: پارسامهر، ا.ج.، سلاجقه، ع.، خلیقی سیگارودی، ش.، احمدآلی، خ. ۱۴۰۳. مدل‌سازی تغییرات مکانی-زمانی تبخیر با استفاده از داده‌های تشتک تبخیر کلاس A (پیشنهاد رویکردی نوین به منظور استفاده در مدل‌های پویایی و توزیعی بارش-رواناب). پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۳): ۹۴-۱۱۰.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.362586.1544

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۴، پاییز ۱۴۰۳، صفحه‌های ۹۴ تا ۱۱۰.

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

© نویسندگان



رویکرد پیشنهادی (استفاده از روش نسبت معادله‌ها)، مدل اولیه تغییرات مکانی-زمانی تبخیر تهیه شد. با توجه به ویژگی پویایی و تأثیرپذیری سنجۀ تبخیر، تأثیر عامل‌های مختلف بر شدت تبخیر، شبیه‌سازی و نقشه‌های رستری اولیه اصلاح شد. برای این منظور از ضریب‌های تصحیح که به‌شکل نقشه‌های رستری یا ضریب‌های عددی به‌دست آمده بود، استفاده شد. این ضریب‌ها شامل ضریب اصلاح شدت تبخیر ناشی از نسبت ژرفای آب در سطح هدف به ژرفای آب در تشتک تبخیر، تأثیر روزهای گوناگون سال در ضریب تبدیل تشتک و ضریب تصحیح تغییرات بلندی از سطح زمین بود. تمام مراحل کار، با کدنویسی در محیط SNAP و MATLAB انجام شد. سرانجام نتیجۀ نهایی در محیط ArcGIS به‌دست آمد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از مدل وایازی خطی و سنجۀ بلندی از سطح دریا، می‌توان با دقت زیاد ($R^2 = 0/81$ در دی ماه تا $R^2 = 0/99$ در آبان و فروردین ماه)، توزیع مکانی تبخیر را به‌شکل یک شبکه‌ی منظم پیکسلی (۱۰۰ متر مربعی) به‌دست آورد. همچنین، مدل نهایی توزیع مکانی-زمانی تبخیر نشان داد که در برخی نقاط مطالعه‌شده (پیکسل‌ها)، میان نتایج مدل اولیه و مدل نهایی تبخیر تفاوت قابل توجهی وجود داشت. این موضوع لزوم استفاده از ضریب‌های اصلاحی را بیشتر آشکار کرد.

نتیجہ‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش با استفاده از رویکرد پیشنهادشده می‌توان در منطقه‌ی مزبور، توزیع مکانی-زمانی تبخیر را در گام‌های زمانی متناظر با گروه زمانی داده‌های موجود در ایستگاه‌های پایش تبخیر، مدل کرد. پیشنهاد می‌شود در شرایط گوناگون اقلیمی و پستی‌بلندی از این مدل استفاده شود و نتایج آن بررسی شود.

واژگان کلیدی: آبخیز پسکوهک، تشتک تبخیر کلاس A، ضریب اصلاحی، مدل‌سازی تبخیر

مقدمه

بارش-رواناب، بارش به‌عنوان ورودی و تبخیر به‌عنوان تلفات مدل در نظر گرفته می‌شود. از این رو، اندازه تبخیر بعد از بارش، اصلی‌ترین جزء مدل به‌شمار می‌آید (لیوو و همکاران ۲۰۰۴).

تشت‌های تبخیرسنجی از جمله تجهیزاتی هستند که به‌شکل مستقیم و با هزینه کم برای اندازه‌گیری تبخیر استفاده می‌شوند و نتایج به‌دست آمده از آن قابل تعمیم به تبخیر از سطوح گوناگون است (ملیک و همکاران ۲۰۱۷). آنچه که به‌عنوان اندازه تبخیر از ایستگاه‌های تبخیرسنجی، اقلیم‌شناسی یا همدید گزارش می‌شود، عموماً داده‌هایی است که از تشتک تبخیرسنجی کلاس A گزارش می‌شود (عقیلی و همکاران ۲۰۱۷). یکی از مشکلات استفاده از داده‌های اقلیمی که داده‌های تبخیر نیز از آن مستثنی نیست، این است که اغلب داده‌ها به‌شکل نقطه‌ای گزارش می‌شود و باید به کل سطح تعمیم داده شود. در این راستا می‌توان به نتایج پژوهش‌های ستاری و همکاران (۲۰۲۱)، جعفری و دین‌پژوه (۲۰۱۹) و ژایونگ و همکاران (۲۰۱۸) اشاره کرد. از سوی دیگر، در مواجهه با مدل‌های توزیعی، ناگزیر هستیم از شبکه‌ی منظمی از داده‌های توزیعی (رستری) به‌عنوان ورودی مدل استفاده کرد تا تطابق در مقیاس مکانی مدل رعایت شود.

یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو در پژوهش‌های محیطی، به‌ویژه پژوهش‌های آب‌شناسی، نبودن داده‌های مناسب یا کافی نبودن داده‌ها است (امین و غفوری‌روzbهانی ۲۰۰۲). به‌علت تغییرات مکانی و زمانی که در بسیاری از پدیده‌های آب‌شناختی وجود دارد، شناخت همه آن‌ها با استفاده از روش‌های تحلیلی یا نظری غالباً وقت‌گیر و یا ناممکن است. برای کمک به حل این مسئله، مدل‌های آب‌شناختی به وجود آمدند (ویلگوس ۱۹۹۴). با وجود پیچیدگی و ابهام زیاد در فرآیند رفتار پدیده‌های طبیعی، برنامه‌های شبیه‌سازی و مدل‌های پیشنهادشده، تا حد زیادی توانستند رفتار پدیده‌های طبیعی و تغییرات مکانی و زمانی آن‌ها را به‌شکل ساده‌تری نمایش دهند که امروزه در سطح بسیاری از آبخیزها استفاده می‌شوند (وود و سادرلند ۱۹۷۱؛ ویترو و همکاران ۱۹۹۳).

یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه آب در طبیعت، پدیده تبخیر است (علی‌زاده ۲۰۱۴). بعد از رخداد باران، آب باقی‌مانده روی سطوح گوناگون (تاج پوشش گیاهی، سطح خاک و سطوح آزاد آب و...) تبخیر می‌شود. بنابراین، در نظر گرفتن نقش تبخیر در مدل‌سازی‌های آب‌شناختی بسیار مهم است. در بسیاری از مدل‌های آب‌شناختی از جمله مدل‌های گیرش گیاهی و یا

پایش تبخیر وجود دارد، ممکن است آبخیز هدف فاقد ایستگاه پایش تبخیر باشد یا تعداد ایستگاه ها به اندازه کافی نباشد که در این شرایط به ناچار باید از ایستگاه های پایش پیرامون آبخیز استفاده کرد (بایزیت و همکاران ۲۰۱۶). بر اساس تفاوت ویژگی های محیطی آبخیز هدف با ایستگاه های پیرامون، احتمال بروز خطا، اجتناب ناپذیر است. بنابراین، باید تا حد امکان از روش ها یا مدل هایی استفاده کرد که خطا را به کمترین اندازه می رسانند.

بر اساس تغییرات مکانی و زمانی داده ها، در مدل سازی به اندازه های تبخیر در آبخیزها نیاز است تا بتوان داده های گسسته و نقطه ای را به داده های پیوسته (رستری) تبدیل کرد. (ژیانگویی و همکاران ۲۰۱۸) که در این میان باید به شکل هم زمان از ضریب های تصحیح نیز استفاده کرد. در این پژوهش ضریب های تصحیح استفاده شده برای تبدیل داده های نقطه ای تبخیر به داده های پیوسته مکانی (داده های رستری)، شامل ضریب تصحیح بر اساس تغییرات بلندی از سطح دریا (ستاری و همکاران ۲۰۲۱)، ضریب تصحیح بر اساس تغییرات بلندی از سطح زمین و ضریب تصحیح بر اساس نسبت تبخیر از ژرفای سطح هدف (مثلاً سطح برگ) به اندازه تبخیر از سطح تشتک در روزهای گوناگون سال (به منظور بررسی تغییرات دمایی) بود (عبدالحمید و همکاران ۲۰۲۱).

در بسیاری از مدل های آب شناختی، سنجۀ تبخیر که به عنوان یکی از ورودی های مدل استفاده می شود، ثابت فرض شده که در حقیقت همان اندازه گزارش شده از تشتک تبخیر است. با توجه به اینکه تبخیر، سنجۀ است که هم در بعد مکان و هم در بعد زمان تغییر می کند، بدون شک استفاده از داده های ثابت تشتک تبخیر برای کل محدوده مطالعه شده و در طول فرآیند مدل سازی، باعث ایجاد خطا خواهد شد. بنابراین، باید به این موضوع توجه شود و با اعمال ضریب های اصلاحی، داده های برآوردی را تا حد امکان به داده های واقعی نزدیک کرد. همچنین، استفاده از روش پیشنهادی نسبت معادله ها، امکان استفاده داده های پویا با هر مقیاس زمانی (بدون توجه به سرشت داده ها) و با به کارگیری معادله های وایزی مجدد، امکان فراهم می سازد. بنابراین، هدف از این پژوهش، پیشنهاد رویکردی برای مدل سازی تغییرات مکانی و زمانی تبخیر بود تا با استفاده از داده های موجود در ایستگاه پایش تبخیر آبخیز هدف یا آبخیزهای پیرامون، داده های توزیعی (رستری) مناسب که قابلیت استفاده در مدل های توزیعی و پویایی بارش - رواناب را داشته باشند، تهیه کرد.

عامل های پرشماری شامل دما، رطوبت نسبی، فشار هوا، سرعت باد و ... روی تبخیر تأثیر دارند. همچنین، تغییرات این عامل ها سبب می شود با فاصله گرفتن از ایستگاه پایش تبخیر، اندازه های تبخیر تغییر کنند. اندازه این تغییرات بسته به اندازه تغییری است که در عامل های مؤثر بر تبخیر اتفاق می افتد (پتل و همکاران ۲۰۲۰). بنابراین لازم است اندازه های گزارش شده از تشتک تبخیر برای هر واحد مکانی (پیکسل) اصلاح شود. از سوی دیگر، سنجۀ تبخیر جزء سنجۀ هایی است که توزیع مکانی آن نه تنها در سطح زمین نسبت به بلندی از سطح دریا تغییر می کند، بلکه توزیع بلندی آن نیز متغیر است و با بلندی از سطح زمین، اندازه تبخیر نسبت به سطح زمین تغییر می کند. این موضوع در بررسی تبخیر از سطوح تاج پوشش درختان که چند متر بالاتر از سطح زمین هستند، اهمیت بیشتری دارد (کلاسن ۲۰۰۱). از این رو، برای استفاده از داده های تشتک تبخیر در مدل سازی های آب شناختی، لازم است که اندازه های نقطه ای تبخیر گزارش شده از تشتک تبخیر، از لحاظ توزیع مکانی و بلندی نیز اصلاح شود.

یکی از مهم ترین چالش های پیش رو در پژوهش های آب شناسی، کمبود ایستگاه های پایش اقلیمی یا آب شناسی است. بنابراین، اولین گام در انجام این پژوهش ها، تلاش برای حل این مشکل است. در این راستا یکی از راه حل های متداول، استفاده از داده های ایستگاه های پیرامون آبخیز است. بدون شک هر چه تعداد ایستگاه های مطالعه شده بیشتر باشد، نتایج اطمینان بیشتری خواهند داشت. اما نکته مهم و قابل توجه این است که در بسیاری از شرایط با آبخیزهایی روبرو هستیم که شمار ایستگاه های پیرامون آنها، کم است (ژیونگ و همکاران ۲۰۱۸).

یکی از روش های تعیین رابطه میان ایستگاه های درون آبخیز و ایستگاه های پیرامون آن، استفاده از معادله های وایزی است. برآورد کردن با استفاده از روش وایزی، دست کم با ۲ ایستگاه شروع شده (معادله خط) و با افزایش تعداد ایستگاه ها، بر اندازه دقت مدل سازی افزوده می شود.

از آنجایی که هر چه تعداد ایستگاه کمتر باشد دقت نیز کمتر است، استفاده از داده های چند ایستگاه به مراتب نتایج بهتر و دقیق تری در مقایسه با نتایج به دست آمده فقط از داده های یک ایستگاه خواهد داشت. این مسئله زمانی که محدوده بررسی شده شمار ایستگاه های پیرامون کم است و امکان تغییر شرایط نیز به هیچ وجه امکان پذیر نیست، اهمیت ویژه ای دارد.

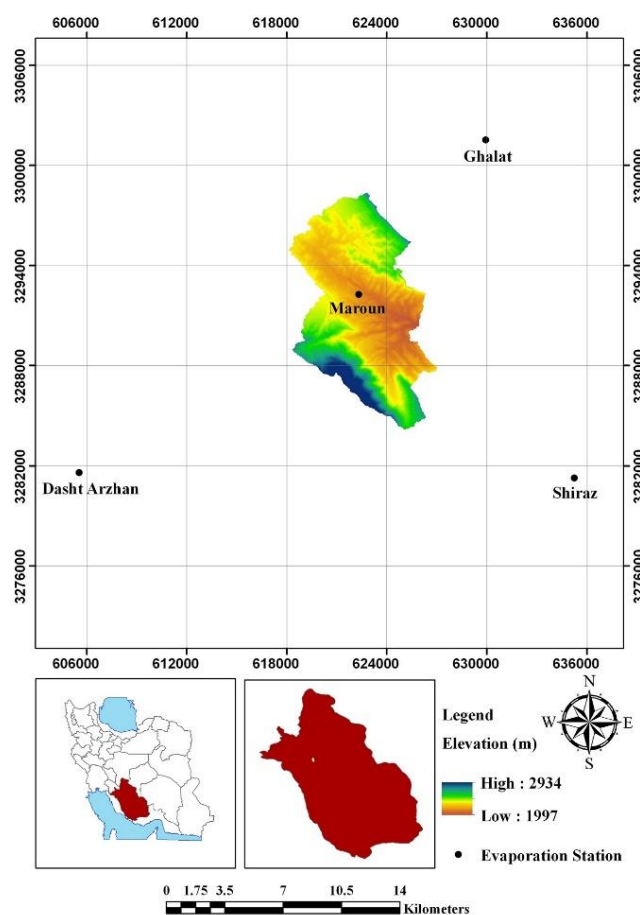
با توجه به فاصله زیادی که عموماً میان ایستگاه های

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه شده

آبخیز پسکوهک، یکی از آبخیزهای معرف استان فارس است که مساحت آن ۷۳/۱۳ کیلومتر مربع، در ۲۷ کیلومتری غرب شیراز است. این آبخیز در موقعیت جغرافیایی ۵۲° ۱۲' ۵۲" تا ۵۲° ۱۸' ۵۳" طول شرقی و ۲۹° ۵' ۱۰" تا ۲۹° ۴۸' ۳۲" عرض شمالی است و شامل بخشی از زاگرس چین خورده است (شکل ۱). میانگین بارش سالانه منطقه مطالعه شده ۵۴۰ میلی متر

است و بارش‌ها عمدتاً از اواسط آبان شروع و تا اواخر اردیبهشت ادامه دارد. میانگین دما در گرمترین و سردترین ماه سال به ترتیب ۳۴ و ۸°C گزارش شده است. اندازه میانگین سالانه تبخیر ۲۴۰۰ میلی متر است. کمترین و بیشترین تبخیر ماهانه به ترتیب ۶۰ میلی متر (دی ماه) و ۳۶۰ میلی متر (تیر ماه) است. گونه گیاهی غالب منطقه *Crataegus azarolus* است (سبزواری و رضائیان ۲۰۱۲).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه شده و ایستگاه‌های پایش تبخیر.

Figure 1- Position of study area and evaporation monitoring stations.

روش پژوهش

به منظور مدل سازی تغییرات مکانی-زمانی تبخیر، از داده‌های آماری ماهانه تبخیر چهار ایستگاه تبخیرسنجی مارون، قلات، شیراز و دشت ارژن، در یک دوره آماری مشترک ۲۰ ساله (۱۳۸۱-۱۴۰۰) که در بایگانی سازمان آب منطقه‌ای فارس موجود بود، استفاده شد. موقعیت مکانی ایستگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. در میان ایستگاه‌های پایش تبخیر، ایستگاه مارون، درون آبخیز بود

و به عنوان ایستگاه اصلی پایش تبخیر، در نظر گرفته شد. از سه ایستگاه دیگر برای تعیین مدل وایازی و تعیین رابطه میان اندازه‌های تبخیر و بلندی از سطح دریا استفاده شد. بر پایه بررسی‌های انجام شده، فقط امکان استفاده از داده‌های چهار ایستگاه تبخیرسنجی (مارون، قلات، شیراز و دشت ارژن) میسر بود و امکان استفاده از ایستگاه جدیدی وجود نداشت. اولین ایستگاهی که امکان اضافه شدن به مجموعه ایستگاه‌های پژوهشی را داشت، حدود ۱۸۰ کیلومتر

با آبخیز فاصله داشت. بر اساس بررسی های انجام شده چون ایستگاه پیش‌بنهادی در محدوده دشت بود و آبخیز مطالعه شده تقریباً در بخش نیمه کوهستانی بود، استفاده از این ایستگاه نه تنها نتوانست دقت را افزایش دهد، بلکه موجب خطای بسیار زیادی شد.

داده ها پس از آماده سازی، از لحاظ بهنجار بودن و همگنی بررسی شدند. برای تهیه لایه بلندی آبخیز پسکوهک، از نقشه رستری مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با اندازه سلولی ۱۲/۵ متر ماهواره ALOS استفاده شد. با توجه به اهداف مدل سازی و رسیدن به تفکیک مکانی ۱۰ متر، باز نمونه برداری DEM در نرم افزار SNAP انجام شد. سپس، در محیط GIS Arc، نقشه رستری مدل رقومی ارتفاعی برای منطقه مطالعه شده تهیه شد.

پس از آماده سازی داده ها، اولین گام در مدل سازی تغییرات مکانی و زمانی تبخیر، تهیه نقشه رستری تبخیر یا به عبارت دیگر تعمیم اندازه های نقطه ای (ایستگاه های پایش تبخیر) به سطح، در منطقه مطالعه شده بود. روش های گوناگونی برای انجام این کار بسته به هدف و شرایط محیطی منطقه، وجود دارد. یکی از مهمترین این روش ها که قابلیت و دقت زیادی داشته باشد، استفاده از معادله های وایزی است. معادله وایزی تابعی است که رابطه میان اندازه های ورودی و خروجی را نشان می دهد (ملیک و کومار ۲۰۱۵). بررسی اولیه داده های تبخیر نشان داد که اندازه های تبخیر در طول سال تغییرات زیادی دارد. دامنه تغییرات داده های ماهانه تبخیرسنجی ایستگاه مارون ۳۰۱ میلی متر و ضریب تغییرات ۵۹٪ بود که صحت این یافته را تأیید کرد. از این رو، به منظور افزایش دقت برآورد اندازه های تبخیر، معادله های وایزی برای استخراج رابطه تبخیر و بلندی از سطح دریا برای هر ماه به شکل جداگانه محاسبه شد (خوشحال جهرمی و زندپارسا ۲۰۱۵).

به دلیل تغییرات شدت تبخیر در روزهای گوناگون سال و حتی در ساعت گوناگون شبانه روز (احمدی و همکاران ۲۰۱۶)، برای تهیه نقشه های رستری تبخیر به شکل پویا و در مقیاس زمانی بسیار کوتاه (بسته به مقیاس گروه زمانی داده های ایستگاه پایش تبخیر)، از رویکرد جدیدی به نام نسبت معادله ها استفاده شد. بررسی نتایج معادله های وایزی تبخیر در ماه های گوناگون سال نشان داد که شیب در سال های گوناگون یک ماه مشخص تفاوت زیادی نداشت و تقریباً ثابت بود. از این رو، انتظار می رود اندازه عددی نسبت تبخیر در مکان های مشابه، تقریباً ثابت باشد. بنابراین، با داشتن یک معادله وایزی دقیق از یک منطقه و داده های آماری تبخیر دست کم یک ایستگاه، می توان اندازه های تبخیر به شکل یک شبکه منظم برآورد کرد. همچنین، بر اساس مقیاس زمانی گروه داده های تبخیر

ایستگاه مرجع (ایستگاهی که درون آبخیز یا نزدیک آبخیز است)، می توان نقشه های رستری با پایه زمانی مشابه در مقیاس گروه زمانی داده های ایستگاه مرجع تهیه کرد. هر چه اندازه فاصله زمانی میان گروه داده ها کمتر باشد، دقت مدل افزایش خواهد یافت. با این روش ویژگی های پویایی تبخیر نیز حفظ خواهد شد. در این پژوهش، بر اساس اهداف مدل سازی، پیکسل های ۱۰×۱۰ متر مقیاس مکانی داده های تبخیر بود. تمام مراحل مدل سازی در محیط برنامه نویسی متلب و نمایش گرافیکی آن در محیط ArcGIS انجام شد.

در گام بعد با توجه به اینکه شدت تبخیر نسبت به دما و ژرفاهای گوناگون آب، تغییر می کند، لازم بود تا اندازه های تبخیر از سطح تشتک برای تعمیم به شرایط جدیدی مثل تبخیر از سطح برگ، اصلاح شود (لایوریمور و پیترسون ۲۰۰۰). برای این منظور میانگین دمای ماهانه برای هریک از ماه های سال تعیین شد. سپس، درون هفت ظرف شیشه ای استوانه ای هم شکل، تا بلندی ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵، ۲، ۱ و ۰/۵ سانتی متر از کف ظرف آب ریخته شد. در ادامه، شدت تبخیر در شرایط دمایی گوناگون (۱۲ دما) که هر یک بیان گر میانگین دمای ماهانه در منطقه مطالعه شده بود، تکرار و اندازه گیری شد. پس از اتمام آزمایش، معادله های مربوط به رابطه میان شدت تبخیر و تغییرات دما و ژرفای آب به دست آمد (عبدالحمید و همکاران ۲۰۲۱). هدف از این آزمایش بررسی نسبت اندازه تبخیر از بارش موجود در سطح پوشش گیاهی (ژرفای میانگین ۰/۱۶ میلی متر (ماگلیانی و همکاران ۲۰۲۲)) به اندازه تبخیر از سطح تشتک (ژرفای میانگین ۲۰ سانتی متر) در روزهای گوناگون سال (تأثیر دما بر شدت تبخیر) بود. سپس، تغییرات شدت تبخیر در بلندی های گوناگون از سطح زمین بررسی شد. این موضوع در برآورد اندازه تبخیر از سطوح پوشش گیاهی، به ویژه تاج پوشش درختان که در بلندی های گوناگون بودند، اهمیت ویژه ای داشت (کلاسن ۲۰۰۱). از این رو، نقشه کاربری زمین با تأکید بر تغییرات بلندی پوشش گیاهی تهیه شد. برای تهیه این نقشه از گروه زمانی باندهای طیفی تصویرهای ماهواره ای Sentinel-2A مربوط به ماه های گوناگون سال های ۲۰۲۱-۲۰۲۲ استفاده شد. اساس کار در تشخیص عارضه های زمینی، تفاوت در اندازه های بازتاب شده از یک عارضه خاص در باندهای طیفی گوناگون است. با توجه به اینکه عارضه های گوناگونی مانند آب، خاک، پوشش گیاهی و ... در باندهای گوناگون اندازه های جذب و بازتاب متفاوتی دارند، بنابراین با استفاده از شاخص های گیاهی، از یکدیگر قابل تشخیص هستند (دریایی و همکاران ۲۰۲۱). برای دستیابی به این طبقه بندی، از روش

که با ساده‌سازی معادله ۴، معادله ۵ به‌دست آمد.

(۵)

$$\gamma = 0.105 Z^{0.28} + 0.0942 Z^{0.14} + 0.8556$$

$$z > 0.4$$

در این پژوهش، بر اساس تغییرات پوشش گیاهی در سطح و بلندی، نیاز بود تا لایه رستری بلندی پوشش گیاهی از سطح زمین، هر چند وقت یک‌بار به‌روزرسانی شود.

پس از اینکه ضریب‌های اصلاحی (عددی یا رستری) به‌دست آمد، با استفاده از معادله ۶، با ضرب آن‌ها در اندازه تبخیر گزارش شده از ایستگاه تبخیرسنجی مارون، نقشه رستری اندازه تغییرات مکانی تبخیر در آبخیز مطالعه‌شده به‌دست آمد. گام زمانی نقشه یا تغییرات گروه زمانی نقشه بستگی به گروه زمانی داده‌های تبخیر ایستگاه مرجع دارد که در این پژوهش هر ۱۲ ساعت یک‌بار گزارش شد.

(۶)

$$E_{correctij} = E_{pan} \cdot \alpha_{ij} \cdot \beta_{ij} \cdot \gamma_{ij}$$

(۷)

$$\alpha_{ij} = \frac{f(x)_{ij}}{f(x)_s}$$

(۸)

$$\beta_{ij} = c_{ij} \cdot d_{ij}$$

(۹)

$$\gamma_{ij} = 0.105 Z_{ij}^{0.28} + 0.0942 Z_{ij}^{0.14} + 0.8556$$

$$z > 0.4$$

$E_{correctij}$: اندازه تبخیر اصلاح‌شده برای پیکسل ij ; E_{pan} : اندازه تبخیر گزارش شده از ایستگاه پایش تبخیر (ایستگاه مارون)، α_{ij} : نسبت معادله‌ها یا ضریب تبدیل تبخیر نقطه‌ای به سطح در پیکسل ij ; $f(x)_{ij}$: اندازه تبخیر به‌دست آمده در پیکسل ij بر اساس معادله وایزی و بلندی پیکسل ij از سطح دریا، $f(x)_s$: اندازه تبخیر به‌دست آمده در پیکسل ایستگاه مرجع بر اساس معادله وایزی و بلندی پیکسل ایستگاه مرجع از سطح دریا، β_{ij} : ضریب به‌دست آمده از تصحیح مرتبط با C_{ij} یا نسبت تبخیر از سطح مد نظر به تشتک تبخیر با توجه به تغییرات دمایی در پیکسل ij و d_{ij} : یا نسبت تبخیر از آبی به ژرفای h_i به ژرفای آب تشتک تبخیر در پیکسل ij ; γ_{ij} : ضریب افزایش تبخیر نسبت به افزایش بلندی از سطح زمین در پیکسل ij که بر اساس Z_{ij} یا بلندی از سطح تشتک تبخیر در پیکسل ij است.

نتایج

در این پژوهش، برای مدل‌سازی و تهیه نقشه رستری تبخیر با استفاده از اندازه‌های نقطه‌ای (ایستگاه‌های

طبقه‌بندی نظارت‌شده و برنامه نویسی در محیط متلب (دستورالعمل چند شرطی) استفاده شد. پس از مشخص شدن کاربری زمین، در هر یک از کاربری‌های مربوط به پوشش گیاهی، بلندی مرکز حجم تاج پوشش گیاهی از سطح زمین با استفاده از نمونه‌برداری مشخص شد.

سرعت یا شدت باد یکی از سنجه‌های مهمی است که روی شدت تبخیر تأثیرگذار است. بنابراین، به‌دلیل این تأثیر آگاهی از نسبت سرعت باد در بلندی مد نظر (محل استقرار تاج پوشش گیاهی) به سرعت باد در نزدیکی سطح زمین (محل استقرار تشتک تبخیر)، بسیار ضروری است. حتی سرعت باد آرام، در بلندی‌های گوناگون به اندازه زیادی تغییر می‌کند که این تغییر می‌تواند روی شدت تبخیر تأثیرگذار باشد (چو و همکاران ۲۰۱۰). بنابراین، در این پژوهش برای تعیین اندازه سرعت باد در یک بلندی معین نسبت به سرعت باد در نزدیکی سطح زمین از معادله ۱ استفاده شد (رفاهی ۲۰۰۲):

(۱)

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{0.14}$$

U : سرعت باد در بلندی Z از سطح زمین، U_0 : سرعت باد در بلندی Z_0 از سطح زمین، Z : بلندی مدنظر، Z_0 : بلندی اولیه است.

با توجه به سمت راست تساوی معادله ۱، اینگونه استنباط شد که نسبت سرعت باد در هر بلندی از سطح زمین به سرعت باد در بلندی اولیه، صرف نظر از اندازه سرعت باد، ثابت بود. بنابراین، با توجه به اینکه گزارش تبخیر از سطح تشتک تبخیر، تقریباً در بلندی ۴۰ سانتی‌متری از سطح زمین اتفاق می‌افتد، شکل کلی معادله ۱ به‌شکل معادله ۲ تغییر یافت. در این پژوهش با استفاده از معادله ۲ نسبت سرعت باد در هر بلندی نسبت به سطح تشتک تبخیر محاسبه شد.

(۲)

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{Z}{0.4}\right)^{0.14}$$

پس از مشخص شدن تغییرات سرعت باد نسبت به تغییرات بلندی، افزایش شدت تبخیر نسبت به افزایش سرعت باد با استفاده از معادله ۳ به‌دست آمد (چو و همکاران ۲۰۱۲).

(۳)

$$\gamma = 0.0813x^2 + 0.0829x + 0.8556$$

γ : ضریب افزایش تبخیر نسبت به افزایش سرعت باد و x : تغییرات سرعت باد نسبت به تغییرات بلندی از سطح زمین است. با تلفیق معادله‌های ۲ و ۳، شکل کلی معادله کاربردی به‌شکل معادله ۴ به‌دست آمد.

(۴)

$$\gamma = 0.0813 \left(\frac{Z}{0.4}\right)^{0.28} + 0.0829 \left(\frac{Z}{0.4}\right)^{0.14} + 0.8556$$

$$z > 0.4$$

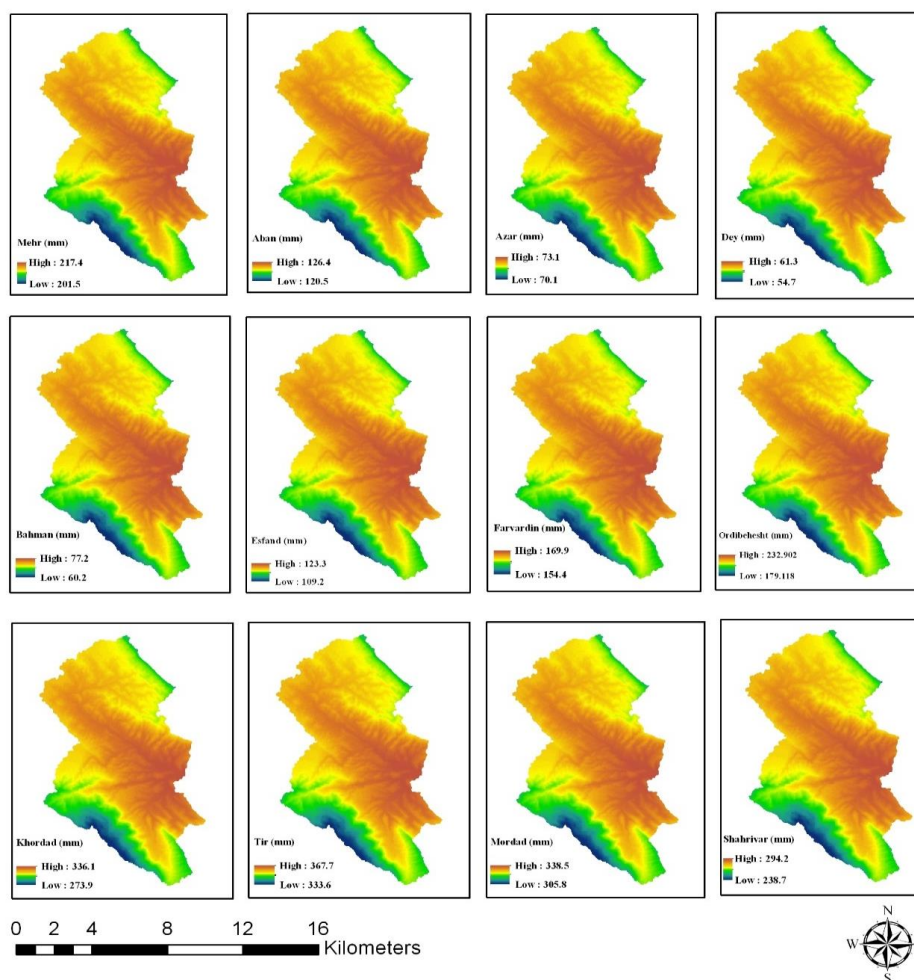
معادله‌های وایازی تبخیر به تفکیک هر ماه، در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین، نتایج مدل‌سازی توزیع مکانی تبخیر در هر یک از ماه‌های سال در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، بیشترین و کمترین اندازه تبخیر ماهانه به ترتیب مربوط به ماه‌های تیر و دی بود.

پایش تبخیر) و ایجاد یک شبکه منظم توزیع مکانی تبخیر، از روش معادله‌های وایازی استفاده شد. با برازش مدل‌های گوناگون وایازی خطی و ناخطی بر داده‌های موجود، تفاوت قابل توجهی در دقت مدل‌های خطی و ناخطی مشاهده نشد. از این رو، به دلیل ساده‌سازی مدل و آسانی بیشتر، از مدل‌های خطی استفاده شد.

جدول ۱- معادله‌های تبخیر به تفکیک هر ماه در منطقه مطالعه‌شده.

Table 1- Regression equations of evaporation to each month in the study area.

No	Month (In Persian)	Month	Regression equation	R ²
1	Mehr	September	$y = -0.0169x + 251.16$	0.915
2	Aban	October	$y = -0.0063x + 139.05$	0.998
3	Azar	November	$y = -0.0031x + 79.29$	0.948
4	Dey	December	$y = -0.0071x + 75.545$	0.819
5	Bahman	January	$y = -0.0181x + 113.38$	0.875
6	Esfand	February	$y = -0.0151x + 153.51$	0.922
7	Farvardin	March	$y = -0.0166x + 203.13$	0.996
8	Ordibehesht	April	$y = -0.0574x + 347.53$	0.969
9	Khordad	May	$y = -0.0663x + 468.48$	0.996
10	Tir	June	$y = -0.0364x + 440.41$	0.943
11	Moradd	July	$y = -0.0349x + 408.24$	0.891
12	Shahrivar	August	$y = -0.0593x + 412.71$	0.959

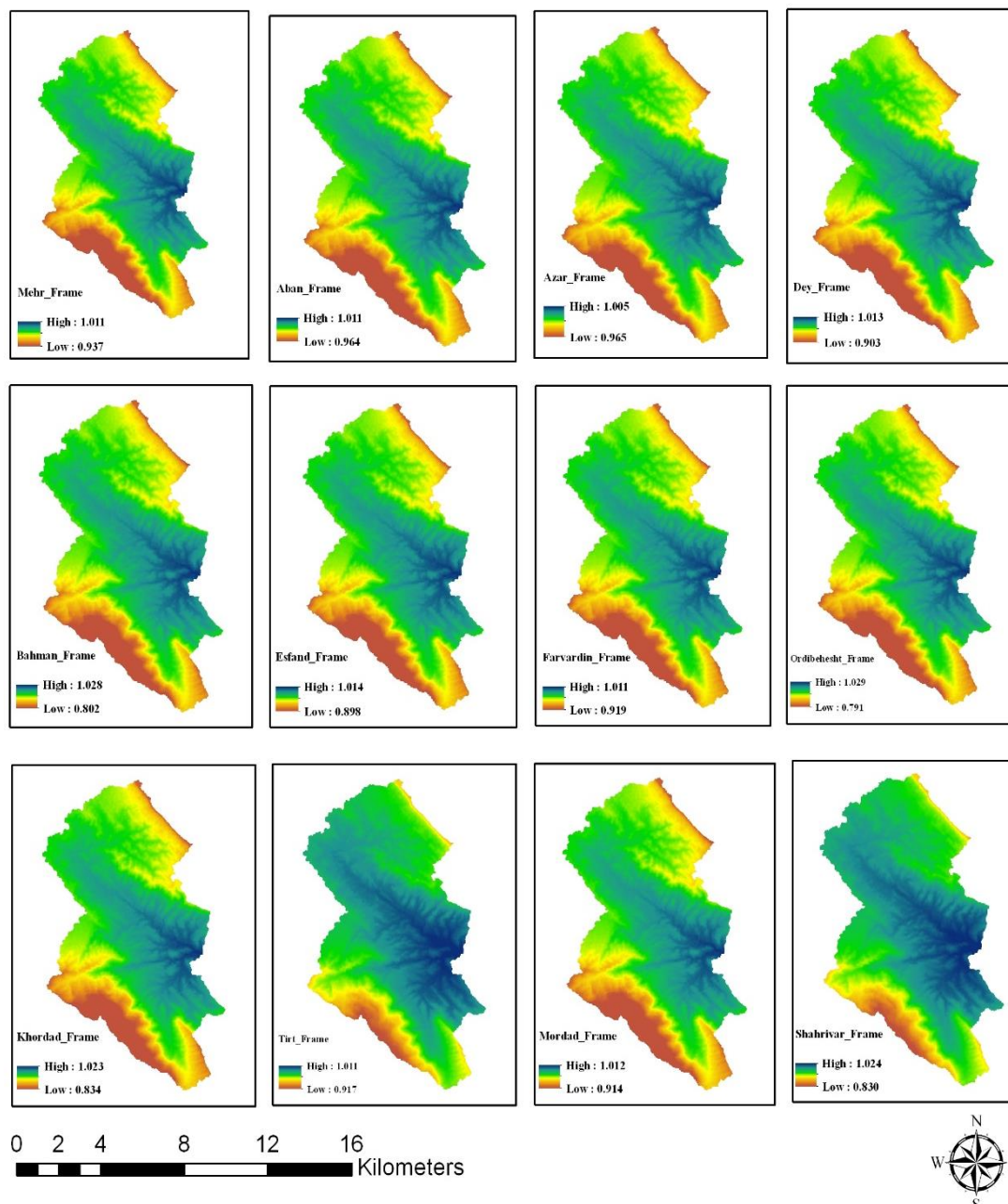


شکل ۲- نقشه رستری میانگین ماهانه تبخیر در منطقه مطالعه‌شده.

Figure 2- A raster map of Monthly average evaporation in study area.

مقیاس زمانی تبدیل کرد (شکل ۳). بنابراین، با داشتن گروه زمانی داده‌های آماری تبخیر دست‌کم یک ایستگاه، می‌توان گروه زمانی اندازه‌های پویای تبخیر به‌شکل یک شبکه منظم (توزیع مکانی و زمانی) را ایجاد کرد. همچنین، مقیاس زمانی نقشه رستری تبخیر ایجادشده، متناسب با داده‌های تبخیر ایستگاه مرجع (ایستگاه پایش تبخیر درون آبخیز یا نزدیک آبخیز) بود.

با توجه به لزوم تهیه نقشه‌های رستری تبخیر به‌شکل پویا و در مقیاس‌های زمانی متغیر (با توجه به مقیاس گروه زمانی داده‌های ایستگاه پایش تبخیر)، از رویکرد جدیدی به نام نسبت معادله‌ها استفاده شد. نتایج این رویکرد که به‌شکل یک نقشه رستری پیشنهادشده است، در واقع شبکه منظمی از ضریب‌های تبدیل است که اندازه تبخیر یک ایستگاه پایش تبخیر با هر مقیاس زمانی را به یک نقشه رستری تبخیر برای منطقه مطالعه‌شده و با همان

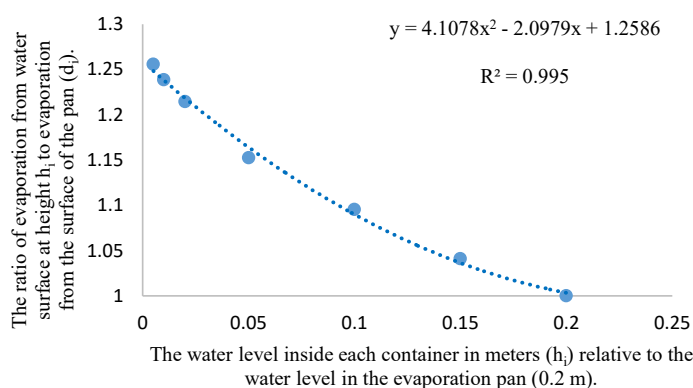


شکل ۳- نقشه رستری نسبت معادله‌ها (ضریب‌های تبدیل) برای هر یک از ماه‌های سال در منطقه مطالعه‌شده (بدون بعد).

Figure 3- The Raster map of the relative equation (conversion coefficients) for each month of the year in study area (dimensionless).

۰/۰۵ در محور X ها بیانگر نسبت آبی با ژرفای ۰/۵ متر به ژرفای آب در تشتک تبخیر (۰/۲ متر) است. محور Y ها نیز شدت تبخیر نسبت به تشتک تبخیر را نشان می دهد. براساس شکل ۴، با افزایش ژرفای آب نسبت به ژرفای آب در تشتک تبخیر در شرایط مشابه، شدت تبخیر نسبت به شدت تبخیر از تشتک کاهش یافت. بنابراین با توجه به شکل ۴ و معادله مرتبط با آن، شدت تبخیر نسبت به شدت تبخیر از سطح تشتک، در هر ژرفایی قابل محاسبه بود.

به منظور بررسی تأثیر تغییرات دما و ژرفای لایه آب بر شدت تبخیر، با هدف تعیین نسبت اندازه تبخیر از لایه های کم ژرفای آب مانند سطح پوشش گیاهی (میانگین ژرفا ۰/۱۶ میلی متر) به اندازه تبخیر از سطح تشتک (۲۰ سانتی متر) در دماهای گوناگون، آزمایشی انجام شد که نتایج آن به شکل جداگانه در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است. در شکل ۴، محور X ها ژرفای های گوناگون آب نسبت به ژرفای آب در تشتک تبخیر که معادل ۰/۲ متر است را نشان می دهد. به طور مثال عدد

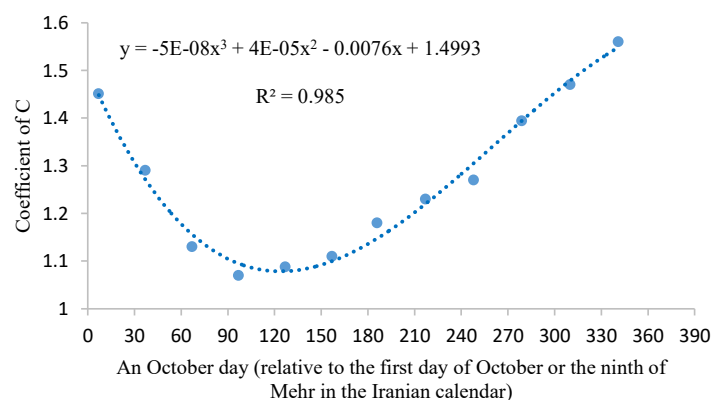


شکل ۴- رابطه میان ژرفای آب نسبت به تشتک تبخیر و شدت تبخیر نسبت به شدت تبخیر از تشتک.

Figure 4- The plot of the relationship between water depth relative to evaporation pan and the rate of evaporation relative to the rate of evaporation from the pan.

زمانی این بود که برای استفاده در مدل های بارش-رواناب، تقریباً تمام بارش های پاییزه بعد از این تاریخ بودند و قبل از آن جز در موارد نادر که قابل چشم پوشی بود، تقریباً بارشی گزارش نشده بود. در این پژوهش، به منظور استفاده از مدل تبخیر پیشنهاد شده در مدل های بارش-رواناب، با دانستن روز رخداد بارش و تبدیل آن به روز اکتبری، ضریب تصحیح تغییرات دمایی به دست آمد. همچنین، برنامه نویسی انجام این دستور در محیط متلب انجام شد.

ضریب تغییرات دمایی یا ضریب شدت تبخیر از تشتک در شکل ۵ نشان داده شده است. در ۱۲ شرایط گوناگون دمایی که متناسب به ماه های گوناگون سال بود، شدت تبخیر بررسی شد. به منظور پیوسته سازی تغییرات دمایی (تغییر از مقیاس ماهانه به مقیاس روزانه)، از سنجۀ پیشنهادی به نام روز اکتبری استفاده شد. روز اکتبری مشابه روز ژولیوسی است با این تفاوت که مبنای شروع گروه زمانی داده ها، روز اول اکتبر، معادل نهم مهرماه است. علت استفاده از این مبداء

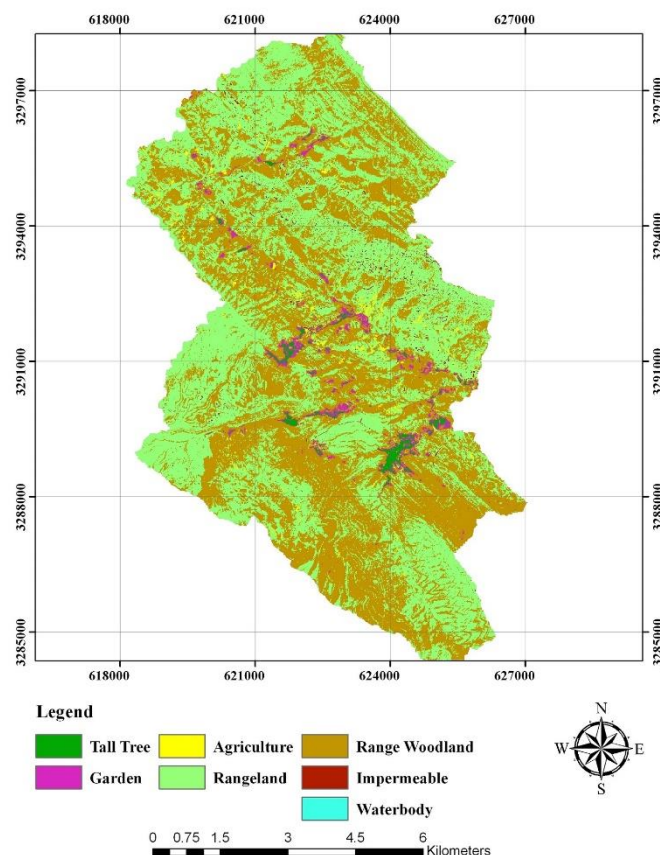


شکل ۵- تغییرات ضریب دمایی نسبت به روز اول اکتبر (نهم مهر).

Figure 5- The plot of variations in temperature coefficient relative to the first day of October (ninth of Mehr in the Iranian calendar).

سطح زمین در هر یک از لایه‌های کاربری که پوشش گیاهی داشت، تعیین شد. نقشه کاربری زمین در شکل ۶ نشان داده شده است. این نقشه از هفت لایه شامل درختان بلند، زمین‌های کشاورزی، باغ، مرتع، مراتع درختکاری شده، زمین‌های نفوذناپذیر و مجموعه‌های آبی تشکیل شده است.

در این پژوهش، تأثیر تغییرات بلندی از سطح زمین و تغییرات احتمالی سرعت باد روی شدت تبخیر بررسی شد. افزون بر این، تغییرات عمودی اندازه شدت تبخیر در سطوح گوناگون از سطح زمین نیز بررسی شد. زیرا، تغییرات شدت تبخیر از سطح تاج پوشش گیاهان بسیار اهمیت دارد. از این رو، ابتدا نقشه کاربری زمین تهیه شد و میانگین بلندی مرکز حجم تاج پوشش گیاهی از

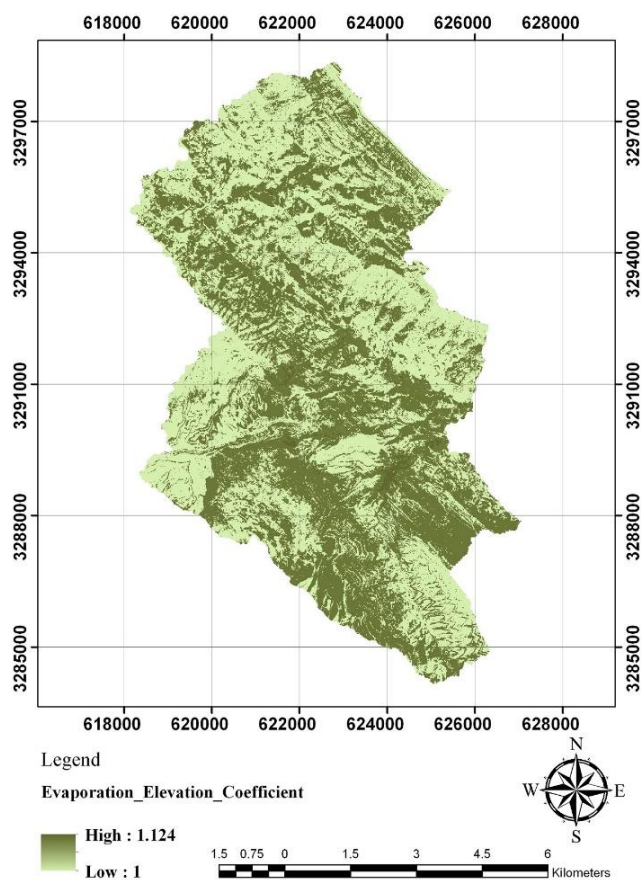


شکل ۶- نقشه کاربری زمین در منطقه مطالعه شده.

Figure 6- A map of land use in study area.

کاربری‌های کشاورزی و مرتع ۰/۴ متر، زمین با درختان بلند ۴ متر، باغ ۲/۷ متر و مراتع درختکاری شده ۳/۲ محاسبه شد.

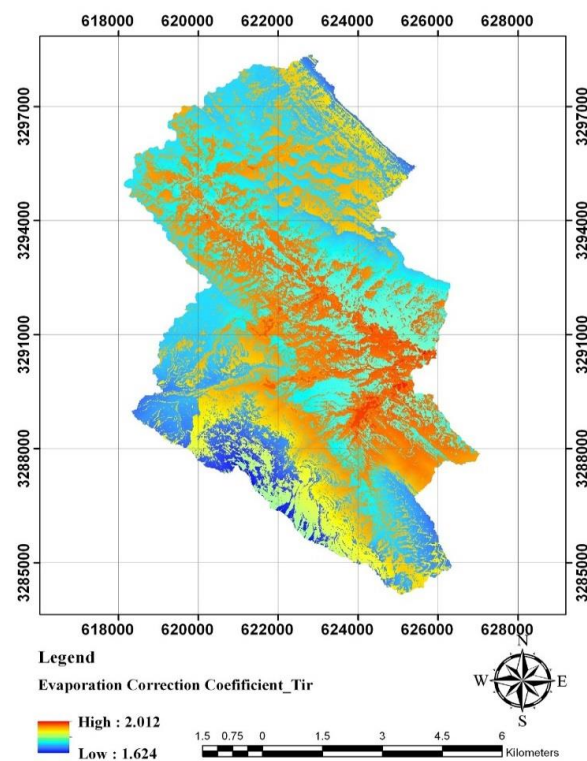
سپس با استفاده از معادله ۵ نقشه رستری ضریب افزایش تبخیر نسبت به افزایش بلندی از سطح زمین در منطقه مطالعه شده به دست آمد (شکل ۷). همچنین، میانگین بلندی مرکز ثقل تاج پوشش گیاهان از سطح زمین در



شکل ۷- نقشه رستری ضریب افزایش تبخیر نسبت به افزایش بلندی از سطح زمین.
Figure 7- A Raster map of the coefficient of increase in evaporation relative to the increase in height from ground level.

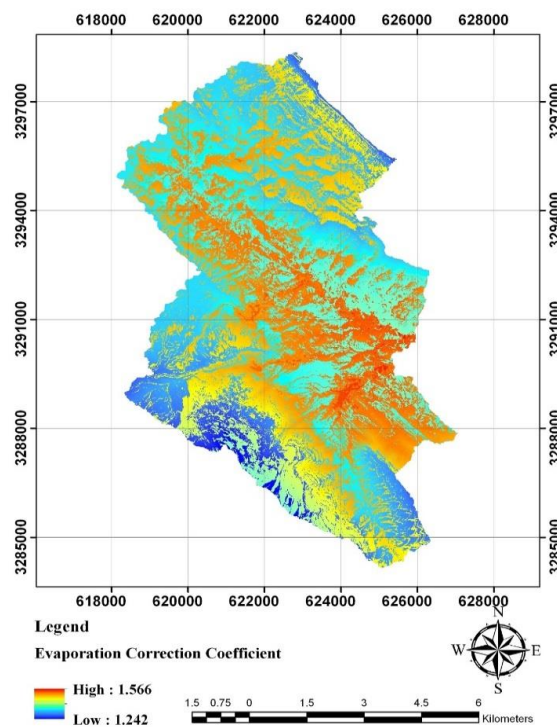
درک بهتر مسئله، نقشه رستری ضریب تصحیح کلی شدت تبخیر برای روزهای ۱۵ تیر و ۱۵ دی به ترتیب به عنوان نماد بیشترین و کمترین شدت تبخیر در منطقه مطالعه شده رسم شد (شکل ۸ و ۹).

در پایان پس از تهیه ضریب‌های تصحیح (عددی یا نقشه‌های رستری)، با استفاده از معادله ۶، نقشه رستری ضریب تصحیح کلی شدت تبخیر در منطقه مطالعه شده به دست آمد. همچنین، نقشه رستری تولید شده در این مرحله برای روزهای گوناگون سال متفاوت بود. برای



شکل ۸- نقشه رستری ضریب تصحیح کلی شدت تبخیر در منطقه مطالعه شده برای روز ۱۵ تیر.

Figure 8- A Raster map of the overall correction coefficient of evaporation rate in the study area for July 6th.



شکل ۹- نقشه رستری ضریب تصحیح کلی شدت تبخیر در منطقه مطالعه شده برای روز ۱۵ دی.

Figure 9- A Raster map of the overall correction coefficient of evaporation rate in the study area for December 6th.

وایازی خطی استفاده کرد و در مقایسه با دیگر مدل ها، نتایج خوبی را به دست آورد. جعفری و دین پژوه (۲۰۱۹) و یاشی بویو و همکاران (۲۰۲۱) نیز در پژوهش های مشابهی، از معادله های وایازی خطی استفاده کردند. در این پژوهش، معادله وایازی تبخیر برای هر ماه، فقط برای تعیین نقشه رستری تبخیر در منطقه مطالعه شده در همان ماه کاربرد داشت. بنابراین، اگر هدف تهیه نقشه رستری تبخیر روزانه در منطقه باشد، باید مسیر قبلی برای تعیین رابطه جدید وایازی به طور کامل تکرار شود. از این رو، برای تهیه نقشه رستری با هر مقیاس زمانی، نیاز است تا تمام مراحل اجرایی قبلی، با گروه داده های جدید تکرار شود که این کار بسیار وقت گیر است. افزون بر این، ممکن است هدف تهیه نقشه رستری با مقیاسی باشد که همه ایستگاه های استفاده شده در محاسبات، گروه زمانی با مقیاس مد نظر را نداشته باشند. در این شرایط استفاده از معادله های وایازی یا هر روش دیگری که نیازمند مقیاس زمانی مشترک است، امکان پذیر نخواهد بود. بنابراین، رویکرد جدیدی به نام استفاده از نسبت معادله ها پیشنهاد شد تا توانایی حل مشکلات مزبور را داشته باشد.

با توجه به ویژگی پویایی و تغییرپذیری سنج تبخیر، لازم بود تا تأثیر عامل های گوناگون بر شدت تبخیر، تا حد زیادی شبیه سازی شود. از ایستگاه های پایش تبخیر، اندازه تبخیر از تشتک کلاس A در شرایطی که سطح آب در آن در بلندی ۰/۴ متری از سطح زمین (۰/۱۵ تا ۰/۲ متر بلندی شاسی و ۰/۲ متر بلندی آب درون تشتک) بود، گزارش شد. تبخیر در این شرایط نسبت به تبخیر از رطوبت ناشی از بارش روی سطح برگی که در بلندی ۴ متری سطح زمین بود، کاملاً تفاوت داشت. از این رو، لازم بود تا اندازه تبخیر با توجه به شرایط واقعی اصلاح شود. برای این کار از ضریب های تصحیح که به شکل رستری یا عددی به دست آمده بود، استفاده شد. این ضریب ها شامل ضریب اصلاح شدت تبخیر ناشی از نسبت ژرفای آب در سطح هدف به ژرفای آب در تشتک تبخیر، تأثیر دما در روزهای گوناگون سال و ضریب تصحیح بر اساس تغییرات بلندی از سطح زمین بود. می توان نتیجه گرفت که استفاده از مدل پیشنهاد شده تغییرات مکانی و زمانی تبخیر در این پژوهش که مهم ترین ویژگی تبخیر یعنی پویا بودن فرآیند تبخیر را مدل سازی کرد، می تواند شرایط جدیدی را برای استفاده از مدل های آب شناختی که نیازمند داده های پویای تبخیر هستند، فراهم سازد. پیشنهاد می شود در مناطق گوناگون ایران از مدل پیشنهاد شده در این پژوهش استفاده شود و نتایج آن بررسی شود.

با ضرب گروه زمانی تبخیر ایستگاه پایش تبخیر (ایستگاه تبخیر سنجی مارون) در نقشه رستری ضریب تصحیح کلی، گروه زمانی نقشه های رستری تبخیر (مشابه گروه زمانی ایستگاه پایش تبخیر) را در مقیاس مکانی و زمانی تهیه شد.

بحث و نتیجه گیری

تبخیر یکی از مهم ترین سنج های آب شناختی است که در بسیاری از مدل های آب شناختی، به ویژه مدل های بارش - رواناب استفاده می شود. به دلیل فقدان یا کمبود شبکه منظم ایستگاه های پایش تبخیر، بسیاری از پژوهشگران ناگزیر به استفاده از معادله های تجربی یا مدل های گوناگونی هستند. تبخیر ویژگی های منحصر به فردی دارد و آن را از بسیاری از پدیده های آب شناختی نظیر بارش متمایز می کند. رخداد تبخیر به شکل پیوسته و از تمام سطوح از یک سو و تغییرات آن در سه بعد، یعنی طول، عرض (تغییرات مکانی) و بلندی از سطح زمین از سوی دیگر، سبب شده است که مدل سازی آن با پیچیدگی های زیادی همراه باشد (ایرماک ۲۰۰۲؛ لدلانی ۲۰۱۳).

هدف این پژوهش، مدل سازی تغییرات مکانی-زمانی تبخیر بود تا با استفاده از داده های واقعی ایستگاه پایش تبخیر، بتوان تبخیر را برای دیگر نقاط مطالعه شده، به طور دقیق و قابل قبول برآورد کرد. از این رو، انتظار می رود نتایج مدل پیشنهادی (خروجی مدل) بتواند به عنوان ورودی در مدل های آب شناختی دیگر استفاده شود.

برای فرآیند مدل سازی، از معادله های وایازی خطی میان اندازه های تبخیر و بلندی از سطح دریا در ایستگاه های پایش تبخیر استفاده شد. علت استفاده از سنج بلندی از سطح دریا برای برآورد تبخیر، افزون بر تأثیرگذاری زیاد این سنج در شدت تبخیر، در دسترس بودن داده های پیوسته تغییرات بلندی مانند مدل های رقومی ارتفاعی (DEM) بود. میکلائک (۱۹۹۶) و پورمحمدی و همکاران (۲۰۱۰) ضمن معرفی سنج بلندی از سطح دریا به عنوان مؤثرترین سنج تأثیرگذار بر شدت تبخیر، از رابطه های خطی میان بلندی از سطح دریا و اندازه تبخیر، برای مدل سازی استفاده کردند. در این پژوهش، به دلیل دقت زیاد و آسانی استفاده، از مدل های وایازی خطی استفاده شد. اگرچه به دلیل ماهیت و سرشت متفاوت داده ها نمی توان یک نوع تابع خاص را برای حتی موارد مشابه توصیه کرد، اما پژوهش های مشابه بسیاری بر استفاده موفق از معادله های وایازی خطی تأکید دارند. در کشور کویت جابر المدیج (۲۰۱۲) در مدل سازی اندازه تبخیر روزانه و ماهانه، از معادله های

- Abd-Elhamid HF, Ahmed A, Zeleňáková M, Vranayová Z, Fathy I. 2021. Reservoir management by reducing evaporation using floating photovoltaic system: A case study of Lake Nasser. Egypt. Water, 13(6): 769-787. -<https://doi.org/10.3390/w13060769>
- Aghili S.R, Boroomand Nasab S, Kaheh M. 2012. Application of fuzzy modeling based on clustering via c-mean for estimation of pan evaporation (Case study: Khuzeestan Province). Journal of Water and Soil Conservation (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources), 19(2): 81-98. (In Persian).
- Ahmadi H, Fallahghalhary Q, Shaemi A. 2016. Estimating and evaluating the trends of annual reference evapotranspiration based on influential climatic parameters in the North East of Iran. Water and Soil Science, 26(3-2): 257-269.
- Alizadeh A. 2014. Water, soil and plant, relationship. 14th publication, Imam Reza Publication, Mashhad, Iran, 470 p. (In Persian).
- Almedeij J. 2012. Modeling pan evaporation for Kuwait by multiple linear regressions. The Scientific World Journal, pp. 1-9. doi:10.1100/2012/574742
- Amin S, Ghafari Roozbahani AM. 2002. Roodzard representative watershed surface runoff and evapotranspiration simulation using Stanford-IV Model. Journal of Water and Soil Science, 6 (3):1-13. (In Persian).
- Bayazit Y, Bakiş R, Koç C. 2016. Mapping distribution of precipitation, temperature and evaporation in Seydisuyu Basin with the help of distance related estimation methods. Journal of Geographic Information System, 8(2): 224-237. doi:10.4236/jgis.2016.82020
- Chu CR, Li MH, Chang YF, Liu TC, Chen YY. 2012. Wind-induced splash in class A evaporation pan. Journal of Geophysical Research, 117(D11): 1-7. <https://doi.org/10.1029/2011JD016848>
- Chu CR, Li MH, Chen YY, Kuo YH. 2010. A wind tunnel experiment on the evaporation rate of class A evaporation pan. Journal of Hydrology, 381(3-4): 221-224. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.044>
- Daryaei A, Sohrabi H, Atzberger C, Immitzer M. 2021. Mapping vegetation in riparian areas using pixel-based and object-based classification of Sentinel-2 multi-temporal imagery. Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, 13(3): 19-32. Doi: 10.52547/GISJ.13.3.19
- Hu Z, Wang G, Sun X, Zhu M, Song C, Huang K, Chen X. 2018. Spatial-temporal patterns of evapotranspiration along an elevation gradient on Mount Gongga, Southwest China. Water Resources Research. 54(6):4180-4192.
- Irmak S, Haman DZ, Jones JW. 2002. Evaluation of class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location. Journal of Irrigation Drainage Engineering, 128(3): 153-159. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2002\)128:3\(153\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2002)128:3(153))
- Jafari M, Dinpashoh Y. 2019. Derivation of regression models for pan evaporation estimation, Environmental Resources Research, 7(1): 29-42. (In Persian).
- Khoshhal Jahromi F, Zand Parsa Sh. 2015. Monthly evaporation zoning of pan evaporation in Fars Province using inverse distance weighting method (Idw) and regression based on digital elevation model (Dem). 3th National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources, 14 June, Tehran.
- Klaassen W, 2001. Evaporation from rain-wetted forest in relation to canopy wetness, canopy cover, and net radiation. Water Resources Research, 37(12):3227-3236. <https://doi.org/10.1029/2001WR000480>

- Ladlani I, Hauichi L, Dhemili L, Heddem S, Blouze Kh. 2013. Estimation of daily reference evapotranspiration in the north of algeria using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and multiple linear regression (MLR) models: A comparative study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(3): 5959–5969.
- Lawrimore JH, Peterson TC. 2000. Pan evaporation trends in dry and humid regions of the United States. *Journal of Hydrometeorology*, 1(6): 543–546. DOI: [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2000\)001<0543:PE TIDA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2000)001<0543:PE TIDA>2.0.CO;2)
- Liu B, Xu M, Henderson M, Gong W. 2004. A spatial analysis of pan evaporation trends in China, 1955–2000. *Journal of Geophysical Research*, 109, (D15102):1–9.
- Lu X, Ju Y, Wu L, Fan J, Zhang F, Li Z. Daily pan evaporation modeling from local and cross-station data using three tree-based machine learning models. *Journal of Hydrology*. 2018 Nov 1;566:668-84. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.055>
- Magliano PN, Whitworth-Hulse JI, Cid FD, Leporati JL, Van Stan JT, Jobbágy EG. 2022. Global rainfall partitioning by dry land vegetation: Developing general empirical models. *Journal of Hydrology*, 607, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127540>
- Malik A, Kumar A, Kisi O. 2017. Monthly pan-evaporation estimation in Indian central Himalayas using different heuristic approaches and climate based models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143: 302–313. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.008>
- Malik A, Kumar A. 2015. Pan evaporation simulation based on daily meteorological data using soft computing techniques and multiple linear regression. *Water Resources Management*, 29: 1859–1872. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0915-0>
- MiKlanek P. 1996. Estimation of mean evaporation patterns with respect to elevation. *International Conference on Ecohydrology of High Mountain Area*, pp. 285–290.
- Patle GT, Chettri M, Jhajharia D. 2020. Monthly pan evaporation modeling using multiple linear regression and artificial neural network techniques. *Water Supply*, 20 (3): 800–808. doi: 10.2166/ws.2019.189
- Poormohammadi S, Malekinezhad H, Rahimian M. 2010. Investigating the role of physiographical factors on temperature-related parameters affecting evapotranspiration (Case study: Yazd Province). *Journal of Arid Biome*, 1(2): 9–19. (In Persian).
- Rafahi HGh. 2001. Wind erosion and conservation. 2th Publication, Tehran University Publication, Tehran, Iran, 320 p. (In Persian).
- Sabzevari T, Rezaeian MR. 2012. Final report on: Estimation of ungagged watershed flood by using geomorphologic instantaneous unit hydrograph method. *Fars Regional Water Authority*, pp. 1-92. (In Persian).
- Sattari MT, Ahmadifar V, Delirhasannia R, Apaydın H. 2021. Estimation of the pan evaporation coefficient in cold and dry climate conditions via the M5 regression tree model. *Atmosfera*, 34(3): 289-300. <https://doi.org/10.20937/atm.52777>
- Wheater HS, Jakeman AJ, Beven KJ. 1993. Progress and direction in rainfall-runoff modeling, proceeding of international congress on modeling and simulation, December 6-10, University of Western Australia.
- Willgoose GR. 1994. A physical explanation for an observed area sleep-evaluation relationship for catchments with declining relief. *Water Resource Research*, 30(2): 151–159. DOI:10.1029/93WR01810
- Wood MJ, Sutherland AJ. 1971. Evaluation of digital catchment model on New Zealand Catchment. *Journal of Hydrology*, 9(2): 325–335.
- Yaxshiboyev RE, Gaybullayev EE, Husanov UA, Ochilov TD. 2021. Forecasting ground-water evaporation using multiple linear regression. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*, 9(12): 1101–1107.



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Modeling Spatio-Temporal Changes in Evaporation using Class a Pan Evaporation Data: Presenting a Novel Approach for Use in Dynamic and Distributed Models of Rainfall-Runoff

Amir Hossein Parsamehr¹, Ali Salajegheh^{*2}, Shahram Khalighi Sigaroodi³, Khaled Ahmadaali⁴

- 1- Ph.D., Student of Watershed Science and engineering, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Region, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Region, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran
3 -Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Region, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran
4- Assistant Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Region, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Evaporation is one of the important parameters in hydrology that plays a significant role in the water cycle. This parameter, in addition to various spatial distributions, with having altitude distribution causes the complexity of evaporation modeling. The aim of this research is to present a new approach for spatio-temporal modeling of evaporation changes, which can be used in rain-runoff models.

Materials and Methods

In order to carry out this research, monthly evaporation data over a 20-years period (2002-2021) were used from the Maroun evaporation monitoring station located in the Paskouhak catchment, 27 km west of Shiraz, as well as three stations surrounding Paskouhak catchment including Shiraz, Ghalat, and Dasht Arjan stations. Initially, by using regression modeling and determining the relationship between evaporation and elevation above sea level for each month, monthly evaporation raster maps were drawn for the study area. Then, using the proposed approach of using the ratio equations method, the initial spatio-temporal model of evaporation changes was prepared. Due to the dynamic

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** salajegheh@ut.ac.ir

Citation: Parsamehr, A.H., Salajegheh, A., Khalighi Sigaroodi, Sh., Ahmadaali, Kh. 2024. Modeling Spatio-Temporal Changes in Evaporation Using Class A Pan Evaporation Data: Presenting a Novel Approach for Use in Dynamic and Distributed Models of Rainfall-Runoff. Watershed Management Research. 37(3):94-110.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.362586.1544

Received: 09 December 2023, **Received in revised form:** 23 January 2024, **Accepted:** 18 March 2024

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp. 94-110.

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



nature and sensitivity of the evaporation parameter, the impact of various factors on the intensity of evaporation was simulated and the initial raster maps were corrected to a large extent. For this purpose, correction coefficients obtained in the form of raster maps or numerical coefficients were used. These coefficients included the correction coefficient of evaporation intensity due to the ratio of water depth at the target surface to the water depth in the evaporation pan, the effect of different days of the year on the conversion coefficient of the evaporation pan, and the correction coefficient based on changes in elevation from the ground surface. All stages of the research were performed in the SNAP and MATLAB software. Finally, the final result was obtained in the ArcGIS software.

Results and Discussion

The results showed that using the linear regression model and elevation parameters above sea level, it is possible to obtain the spatial distribution of evaporation with high accuracy ($R^2=0.81$ in December and $R^2=0.99$ in March and October) in the form of a regular pixel grid (in this study 100 m²). In addition, the final spatio-temporal distribution model of evaporation showed that there is a noticeable difference between the results of the initial and the final evaporation models in some areas of the study region (pixels). This highlights the need for more corrective coefficients.

Conclusion and Suggestions

In this study, using the proposed approach, it is possible to model the spatiotemporal distribution of evaporation in the study area at time steps corresponding to the time series of data available at the evaporation monitoring stations. It is recommended to apply this model under various climatic and topographic conditions and to evaluate its results.

Keywords: Class A Pan Evaporation, Correction Coefficient, Evaporation modelling, Paskouhak catchment

تحلیل شبکه اجتماعی کنشگران محلی در مدیریت مشارکتی منابع آب و خاک در روستاهای قلعه سید مقیم و خائیز بهبهان

بهزاد متشفع^{۱*}، محمد جوانمرد^۲، ساره هاشم گلوگردی^۳

- ۱ - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران
۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران
۳ - دانش‌آموخته مقطع دکتری بیابان‌زدایی دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

حفظ منابع آب و خاک برای توسعه پایدار، ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. برنامه‌ریزی برای رسیدن به چنین توسعه‌ای چه در حال و چه در آینده ضرورت دارد. در این میان رابطه انسان به‌عنوان سودبر با بوم‌نظام طبیعی باید در رأس سیاستگذاری‌ها و مدیریت جامع منابع آب باشد. بر این اساس لازمه مدیریت موفق منابع آب، تغییر رویکرد به سمت مدیریت مشارکتی است. موفقیت در طرح‌های آبخیزداری بستگی تام به اندازه مشارکت مردم در تصمیم‌گیری، اجرا و حفاظت از طرح‌ها دارد. یکی از اجزاء اساسی در تصدی‌گری منابع آب در سطح محلی، بهره‌برداران محلی از منابع آب هستند و برای شکل‌گیری سازوکار مشارکتی منابع آب، رابطه دوسویه و تعاملی میان نهادهای دولتی و این بهره‌برداران، ضروری است. در این راستا شبکه‌های اجتماعی می‌توانند به‌شکل مؤثری در مدیریت مشارکتی به‌کار روند. هدف از پژوهش حاضر تحلیل شبکه اجتماعی بهره‌برداران منابع آب و خاک در روستاهای خائیز و قلعه سید مقیم و تعیین قدرت‌های اصلی شبکه به منظور اعمال مدیریت مشارکتی موفق این منابع می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای بررسی و تحلیل ساختار الگوی رابطه‌های میان کنشگران منابع آب و خاک در دو روستای خائیز و قلعه سید مقیم از نظریه شبکه اجتماعی و اصول و مبانی آن استفاده شد. ابتدا با استفاده از پیمایش محلی و پرسش‌نامه، داده‌های اعتماد و مشارکت براساس طیف لیکرت (صفر، خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد)

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: متشفع، ب، جوانمرد، م، هاشم گلوگردی، س. ۱۴۰۳. تحلیل شبکه اجتماعی کنشگران محلی در مدیریت مشارکتی منابع آب و خاک در روستاهای قلعه سید مقیم و خائیز بهبهان. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۳): ۱۲۷-۱۱۱.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.364399.1563

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۴، پاییز ۱۴۰۳، صفحه‌های ۱۱۱ تا ۱۲۷.

نویسندگان ©

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



جمع‌آوری شد و سپس ماتریس رابطه‌های اعتماد و مشارکت تشکیل شد. همچنین، شاخص‌های گوناگون شبکه در سه سطح کلان (شامل تراکم، تمرکز و اندازه شبکه، اندازه دوسویگی و انتقال‌پذیری پیوندها، میانگین فاصله ژئودزیک و شاخص I-E)، میانی (شامل مرکز پیرامون و تراکم زیرگروه‌ها) و خرد (شامل مرکزیت‌های درجه ورودی، خروجی و بینابینی) با استفاده از نرم‌افزار UCINET محاسبه و ارزیابی شد.

نتایج و بحث

براساس شاخص‌های به‌دست آمده، شبکه اجتماعی کنشگران در هر دو روستا پایدار و متعادل بود. بنابراین، می‌توان به‌خوبی در راستای حفظ منابع آب و خاک گام برداشت. شبکه بهره‌برداران روستای قلعه سید مقیم همبستگی بیشتری داشت و در نتیجه برای توسعه پایدار محلی بر فعالیت‌های مشارکتی تأثیرگذارتر بود. از سوی دیگر، افراد در قلعه سید مقیم توانستند با سرعت بیشتری با هم در پیوند باشند و ایجاد اعتماد و فعالیت‌های دسته‌جمعی آن‌ها در زمان کمتری انجام شد. همچنین، در هر دو سامان کنشگران کلیدی شناخته شدند و باید با روش شایسته در تصمیم‌گیری و مدیریت مشارکتی منابع آب و خاک منطقه دخالت‌داده شوند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تحلیل شبکه اجتماعی، ابزار بسیار مناسبی برای مدیران در شناخت بهره‌برداران و رابطه‌های میان آنها است که در نتیجه مدیریت منابع آب را کارآمد می‌سازد. بر پایه نتایج این پژوهش برای همبستگی و تحکیم شبکه در خائیز، بایستی کنشگران غیرکلیدی را برای ایجاد پیوندهای اعتماد و مشارکت تشویق کرد. از سوی دیگر، می‌توان با برگزاری کلاس‌های آموزشی و ترویجی، مشارکت و اعتماد موجود را حفظ کرد و زمینه را برای ایجاد اعتماد و مشارکت هر چه بیشتر کنشگران، فراهم کرد.

واژگان کلیدی: تحلیل شبکه اجتماعی، کنشگران محلی، شاخص‌های شبکه‌ای، مدیریت مشارکتی، منابع آب و خاک

مقدمه

بنابراین، ساختارهای منابع آب باید به‌شکلی مدیریت شوند تا کاملاً اهداف جامعه را در حال و آینده برآورده کنند و ثبات و هماهنگی آب‌شناختی، زیست‌محیطی و بوم‌شناختی آنها حفظ شود (حاجتی و همکاران ۲۰۱۵). انسان به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عامل‌های مؤثر بر منابع آب، نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای بر پایداری این مجموعه دارد. به‌گونه‌ای که رابطه انسان به‌عنوان سودبر با بوم‌نظام طبیعی بایستی در رأس سیاست‌گذاری‌ها و مدیریت جامع منابع آب باشد. بر این اساس لازمه مدیریت موفق منابع آب، تغییر رویکرد به سمت مدیریت مشارکتی است (سلیمی‌کوچی و ابراهیمی ۲۰۱۷). در سازوکارها و راهبردهای تصدی‌گری موفق منابع آب در سطح محلی، مجموعه‌های گوناگونی دخالت دارند که می‌توان از دولت (نهادهای دولتی مرتبط با مدیریت پایدار منابع آب) و اجتماع محلی (بهره‌برداران محلی منابع آب) نام برد. از این‌رو، یکی از اجزاء اساسی در تصدی‌گری منابع آب در سطح محلی، بهره‌برداران محلی از منابع آب هستند و برای شکل‌گیری سازوکار مشارکتی منابع آب، رابطه دوسویه و تعاملی میان نهادهای دولتی و این بهره‌برداران، ضروری است (ابراهیمی‌آذرخواران و همکاران ۲۰۱۴).

آب به‌عنوان مهم‌ترین و محوری‌ترین عنصر حیات بشر به‌شکل یک منبع راهبردی و محدودکننده در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها نقش‌آفرین است (سالاری و همکاران ۲۰۱۵). با اینکه بخش بیشتر سطح زمین را آب پوشانده است، فقط بخش ناچیزی از آن برای بشر استفاده‌شده است و در عمل، تمام برنامه‌ریزی‌های بشر باید با توجه به این محدودیت‌ها انجام شود (محمدجانی و یزدانیان ۲۰۱۴). منابع آب در نتیجه افزایش تقاضای ناشی از رشد جمعیت، نیاز به افزایش تولید مواد غذایی، گسترش صنعتی‌شدن به دلیل افزایش استانداردهای زندگی، آلودگی ناشی از فعالیت‌های گوناگون انسانی و تأثیرات تغییرات آب و هوایی به‌شکل فزاینده‌ای آسیب‌پذیر شده‌اند (گونیتیلیک و ویتانچ ۲۰۱۷). بنابراین، حفظ این منابع برای توسعه پایدار ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. توسعه پایدار بر تأمین نیازهای نسل‌های کنونی و آینده تأکید دارد و به توسعه‌ای گفته می‌شود که افزون بر تأمین نیازهای نسل کنونی قدرت نسل‌های آینده را در تأمین نیازهایشان حفظ کند. از این مفهوم پایداری چنین استنباط می‌شود که برای رسیدن به چنین توسعه‌ای برنامه‌ریزی چه در حال و چه در آینده ضرورت دارد.

و سرانجام منجر به تشکیل شبکه‌ی اجتماعی می‌شود. پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند در شرایطی که بهره‌برداران و کنشگران گوناگونی وجود داشته باشند، شبکه‌های اجتماعی می‌توانند به شکل مؤثری در مدیریت مشکلات و دشواری‌های منابع طبیعی به کار روند (بودین و کرونا ۲۰۰۹). حتی مشخص شده است که اهمیت این شبکه‌ها برای اجرای مؤثرتر برنامه‌ها و انطباق آن‌ها با مقررات زیست‌محیطی از نهادهای رسمی بیشتر است (شولز و وانگ ۲۰۰۶). شبکه‌ی اجتماعی به مجموعه‌ای از کنشگران اجتماعی گفته می‌شود که به وسیله‌ی یک یا چند نوع رابطه به یکدیگر پیوند می‌شوند (واسرمن و فاوست ۱۹۹۴). در حقیقت شبکه‌ی اجتماعی شامل مجموعه‌ای از رابطه‌ها و گره‌ها است که گره‌ها، انواع کنشگران و رابطه‌ها و پیوندها، رابطه‌های میان این کنشگران می‌باشد (سلیمی کوچی و ابراهیمی ۲۰۱۷). هدف تحلیل شبکه‌های اجتماعی درک یک جامعه با بررسی رابطه‌هایی است که اعضای آن جامعه را به عنوان یک شبکه، با یکدیگر پیوند می‌دهد و سپس تلاش شناسایی افراد مهم، گروه‌های درون شبکه و ارتباط میان افراد است. (بودین و کرونا ۲۰۰۹). این رویکرد، نمودارهایی را ایجاد می‌کند که رابطه‌های میان افراد موجود در شبکه را نشان می‌دهد (بساطی و همکاران ۲۰۲۰). سرمایه اجتماعی و همبستگی اجتماعی از جمله مؤلفه‌های مهم اجتماعی درون شبکه‌های اجتماعی هستند و یکی از راه‌های تقویت و استحکام بخشیدن به ساختار انسانی در برابر تغییرات و تنش‌های محیطی، افزایش سرمایه اجتماعی در این ساختارها است. از ابعاد مهم سرمایه اجتماعی مزبور می‌توان به اعتماد و مشارکت اشاره کرد (برزگر و همکاران ۲۰۱۹). اعتماد اجتماعی یکی از جنبه‌های مهم رابطه‌های انسانی و زمینه‌ساز همکاری و مشارکت میان اعضای جامعه است. در یک دهه گذشته اعتماد میان کنشگران به عنوان یک ویژگی کلیدی در حرکت مدیریت منابع طبیعی به شمار رفته است و ساختارهای تصمیم‌گیری مشارکتی را توصیف می‌کند و می‌تواند در مدیریت مؤثر بوم‌نظام تأثیرگذار باشد (اسلامی ۲۰۲۰). منظور از مشارکت اجتماعی، فرایندی سازمان‌یافته است که افراد بر مبنای اعتمادی که به یکدیگر دارند، از روی آگاهی و اطلاع، به شکل داوطلبانه و گروهی، و بر اساس علائق معین و مشخص که منجر به خودشکوفایی، نیل به اهداف و سهمیدن در منابع قدرت می‌شود، به فعالیت مشترک می‌پردازند (علی‌پور و همکاران ۲۰۱۰). بحث مشارکت از دیدگاه‌های گوناگونی مانند توسعه پایدار و مشارکت، به عنوان کنشی اجتماعی و به عنوان سرمایه اجتماعی مطرح است (عبدالله‌نجدآبادی و همکاران ۲۰۱۷). از این رو، می‌توان گفت که اعتماد و مشارکت که

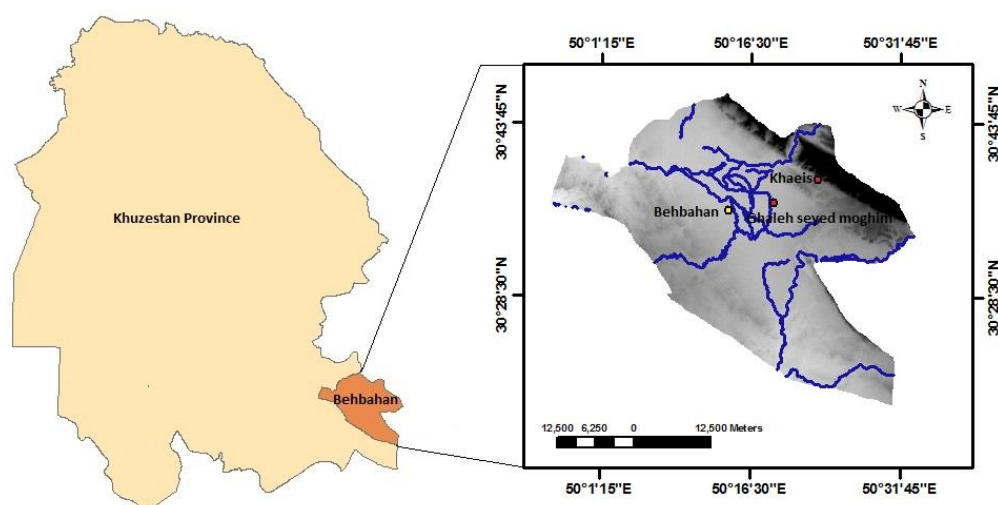
از عناصر سرمایه اجتماعی هستند، لازم و ملزوم یکدیگرند و هر چه اعتماد به‌ویژه در جامعه‌های در حال توسعه بیشتر باشد، اندازه مشارکت نیز بیشتر می‌شود (نوابخش و همکاران ۲۰۱۳). در پژوهش‌های پرشماری بر اهمیت تحلیل شبکه‌های اجتماعی کنشگران در مدیریت منابع آب تأکید شده است. اسلامی و همکاران (۲۰۲۱) با هدف مطالعه ساختار تأمین آب قنات در خضرآباد یزد، تأثیر آموزش و طرح‌های توانمندسازی صاحبان منافع قنات بر رابطه‌های مشارکتی آنها در حفاظت از این منبع بررسی کردند و از تحلیل شبکه اجتماعی در قالب دو پیوند اعتماد و مشارکت استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد تمام شاخص‌های مطالعه شده در سطح کلان شبکه پس از اجرای طرح توانمندسازی و ظرفیت‌سازی جامعه‌های محلی بهبود یافت. همچنین، نتیجه این پژوهش بیانگر خروج انحصار و تمرکز شبکه از چند کنشگر و گردش سریع‌تر اطلاعات و ارتباطات و در نتیجه افزایش تعادل شبکه کنشگران بود که سرانجام موجب افزایش رابطه‌های متقابل اعتماد و افزایش سرمایه اجتماعی در حفاظت از منابع آب قنات شد. در آبخیز ندوشن یزد در سامان عرفی صدرآباد، سروری صدرآباد و اسلامی (۲۰۱۹) از تجزیه و تحلیل شبکه اجتماعی برای مدیریت مشارکتی منابع آب استفاده کردند. پژوهش آنها مبتنی بر دو پیوند اعتماد و مشارکت بود. نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه همبستگی و سرمایه اجتماعی متوسط بود و پایداری و تعادل شبکه نیز در حد زیاد، ارزیابی شد. این پژوهشگران گزارش کردند که شبکه مدیریت آب در صدرآباد ظرفیت همبستگی و سرمایه اجتماعی بیشتری دارد، که پیش‌نیاز آن، بهره‌گیری از وضعیت مناسب اعتماد برای افزایش مشارکت است. چو و همکاران (۲۰۲۴) برای بررسی پویایی اجتماعی در آبخیز رود هادسون، شبکه اجتماعی دو گروه مستقل شامل سازمان‌های مبتنی بر شهروندی و سازمان‌های مبتنی بر آژانس را در این آبخیز بررسی کردند. این بررسی در سطوح کل و خرد شبکه انجام شد. یافته‌ها نشان داد سازمان‌های مبتنی بر شهروندی شبکه‌های متراکم‌تر و منسجم‌تری داشتند که نشان‌دهنده رابطه‌های قوی‌تر و افزایش انعطاف‌پذیری و سازگاری در شبکه بود. اما، سازمان‌های مبتنی بر آژانس، شبکه‌هایی با رویکرد سلسله‌مراتبی داشتند. همچنین مشخص شد که شبکه‌های اجتماعی دو گروه مزبور کاملاً متمایز بود و تبادل اطلاعات و منابع محدودی میان آنها وجود داشت. در استان‌های گوناگون چین در ۲۷ شهر مرکزی در دلتای رود یانگ تسه، لین و همکاران (۲۰۲۳) شبکه مهار آلودگی آب را با استفاده از تجزیه و تحلیل شبکه‌های اجتماعی بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تراکم شبکه ۰/۷۵ بود که نشان‌دهنده یک

بهبود است ولی ویژگی‌های این شبکه هنوز با شبکه‌ای منسجم که در آن کنشگران به‌خوبی با یکدیگر پیوند باشند و تبادل آزادانه اطلاعات میان آن‌ها وجود داشته باشد، فاصله زیادی دارد.

مواد و روش‌ها

شهرستان بهبهان میان $48^{\circ}49'$ و $35^{\circ}50'$ طول شرقی و $30^{\circ}53'$ تا $30^{\circ}9'$ عرض شمالی و در جنوب‌شرقی استان خوزستان است و سامان عرفی‌های مطالعه‌شده شامل روستای خاییز و قلعه سید مقیم در شرق شهرستان است (شکل ۱). آب و هوای شهرستان بهبهان عموماً گرم و خشک است. کمترین و بیشترین دما به‌ترتیب در زمستان 3°C و تابستان 50°C است. نزولات جوی بیشتر به‌شکل باران و تگرگ است و شدت آن در ماه‌های آذر تا اسفند است. موقعیت شهرستان بهبهان کوهستانی و جلگه‌ای است. رشته کوه خاییز با ۱۵۳۶ متر بلندی، بلندترین مکان در این منطقه است. با گذشت زمان و فرونشست بستر رود مارون، قنات‌های منطقه از بین رفته‌اند و آب مورد نیاز که بخشی به‌وسیله چشمه‌های منطقه و بخشی به‌وسیله چاه از کوه‌های خاییز تغذیه می‌شوند، افزون بر تأمین آب آشامیدنی، برای کشاورزی و دامداری نیز استفاده می‌شود. منطقه مطالعه‌شده شامل ۵ آبراهه اصلی است که در مسیر این آبراهه‌ها ۸ چشمه به نام‌های چشمه خاییز، تنگ بیستم، چشمه مدیم، ممبی، تنگ تکاب، آب انجیرک، اناری و غار وجود دارد و از دو طرف به‌وسیله رودهای مهم مارون و خیرآباد که از کهگیلویه و بویراحمد سرچشمه می‌گیرند احاطه‌شده و تغذیه می‌شود.

شبکه شکل‌گرفته نسبتاً پایدار برای مدیریت مشارکتی آلودگی آب بود. همچنین، ساختار شبکه چند مرکزی و بیشترین مرکزیت درجه در شهرهای سوژو، شانگهای و جیاکسینگ بود. نتایج تجزیه و تحلیل مرکزیت درجه نشان داد که نقش اصلی در شبکه عملیاتی اغلب مربوط به شهرهایی با سطح توسعه اقتصادی بالاتر یا مراکز استان‌ها، بود. در کشور اسکاتلند در سه آبخیز، استیج و همکاران (۲۰۲۲) روش تحلیل شبکه‌های اجتماعی را برای شناسایی تعاملات میان جامعه‌ها برای مدیریت زمین و آب به‌کار گرفتند. در این پژوهش کنشگران شامل دست‌اندرکاران محیط‌زیست، دست‌اندرکاران صنعت آب، مشاوران مزرعه، و دانشگاهیان بودند. نتایج این پژوهش نشان داد شبکه‌های کنشگران و سطوح نفوذ و تعامل آنها در آبخیزهای آبریز می‌تواند به مدیریت مؤثرتر زمین و آب کمک کند. برنامه‌های مدیریت آب محلی فرانسه رویکردی یکپارچه را به‌وجود آورده است که بر تعادل میان حاکمیت از پایین به بالا و برعکس متکی است. از این‌رو، آبوبین و همکاران (۲۰۱۹) به‌منظور بررسی نقش مقامات در حکمرانی آب پس از اجرای برنامه، شبکه اجتماعی آبخیز تائو را تجزیه و تحلیل کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، کنشگران اصلی و مرکزی شبکه شناسایی شد و مشخص شد مدیریت یکپارچه منابع آب، قدرت را از مقامات منطقه‌ای و مرکزی به مدیران محلی تغییر داده است. در کشور مالت، گات و همکاران (۲۰۱۶) رابطه‌های میان بهره‌برداران منابع آب را با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه و کاربرد شاخص‌های گوناگون در بهبود حکمرانی منابع آب بررسی کردند. شاخص‌های همبستگی و مرکزیت نشان داد که شبکه آب در حال



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده.

Fig 1- Geographic location of the study area.

تعیین مرزبندی اجتماعی بوم‌شناختی

تعیین مرزبندی‌های اجتماعی و بوم‌شناختی برای کاربردی کردن رویکرد تحلیل شبکه‌ی اجتماعی در فرایند مدیریت مشارکتی و حکمرانی منابع آب و خاک مهم و ضروری است. از این‌رو، در این پژوهش به منظور اجرای فرایند تحلیل شبکه‌ی اجتماعی کنشگران محلی، مرزهای بوم شناختی شامل سامان‌های عرفی خاییز و قلعه‌ سید مقیم به‌شکل مستقل و مرزهای اجتماعی

شامل کنشگران منابع آب و خاک موجود در سامان‌های عرفی) بودند. به‌منظور مشخص کردن مرزبندی اجتماعی، نخست فهرستی از کنشگران منابع آب و خاک در هر یک از سامان‌های عرفی معرفی‌شده، تهیه شد. کنشگران مهم در هر دو سامان عرفی دو گروه کشاورز و دامدار بودند. اسامی‌های اختصاری کنشگران به همراه گروه آن‌ها در دو سامان عرفی خاییز و قلعه‌ سید مقیم در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- اسامی اختصاری کنشگران محلی منابع آب و خاک روستاهای خاییز و قلعه‌ سید مقیم.

Table 1 - The abbreviated names of the local stakeholders of water and soil resources in Kaeis and Ghaleh seyed moghim villages.

Ghale seyed moghim		Khaeis		Village row
Job	Abbreviated names of the stakeholders	Job	Abbreviated names of the stakeholders	
Farmer	Ba-F	Farmer	F.ma	1
Farmer	Ba-M	Farmer	A.ma	2
Farmer	Ba-K	Farmer	M.sh	3
Farmer	Ss-Re	Farmer	ach-AL	4
Farmer	Ba-N	Farmer	mi-AL	5
Farmer	Ba-L	Farmer	Bo-S	6
Farmer	Mn-E	Farmer	mo-H	7
Rancher	Ka. b	Farmer	AK.ba	8
Rancher	Kay. b	Farmer	AK.par	9
Rancher	F. b	Farmer	R.mil	10
Rancher	P. b	Rancher	m-Ha	11
Rancher	B-M	Rancher	m-Mt	12
Rancher	AL.mar	Rancher	Ma--Z	13
Rancher	Hos.ach	Rancher	Ba-G	14
		Rancher	Fa-M	15
		Rancher	Da-E	16
		Rancher	Iz-Ha	17
		Rancher	iz-Hab	18

جمع‌آوری داده‌ها

ابزارهای جمع‌آوری داده در رابطه‌های میان کنشگرها برای فرایند تحلیل شبکه‌ی اجتماعی عموماً شامل پرسش‌نامه، مصاحبه و مشاهده است. همچنین، دامنه‌ی گسترده‌ای از سنجش‌های تحلیل شبکه‌های اجتماعی وجود دارد، اما استفاده از آن‌ها بستگی به زمینه‌ی تحلیل دارد. معمول‌ترین شیوه‌ی جمع‌آوری اطلاعات شبکه پرسش‌نامه است. در این پژوهش پرسش‌نامه‌های داده‌های اعتماد و مشارکت مبتنی بر طیف لیکرت (صفر، کم، خیلی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) جمع‌آوری شد.

معیارها و شاخص‌های اندازه‌گیری شده

به‌طور کلی در تحلیل شبکه، از نظریه‌ی جبر ماتریس برای

محاسبه‌های ریاضی استفاده می‌شود (علی‌بابایی عمران و همکاران ۲۰۱۷). برای نمایش شبکه‌ها از دو شیوه‌ی اصلی ماتریس رابطه‌ها و نمودار استفاده می‌شود. در شیوه‌ی نمایش ماتریسی که با سرشت داده‌های شبکه‌ای در ارتباط است، اعضاء و رابطه‌های میان آن‌ها به‌شکل ماتریسی نمایش داده می‌شوند. سطر و ستون اول ماتریس اعضاء شبکه و خانه‌های آن رابطه‌های میان این اعضاء را نشان می‌دهد. بنابراین، خانه‌های ماتریسی ممکن است فقط صفر یا یک باشند (ماتریس باینری) یا اندازه‌های بیشتر از صفر باشند که وزن رابطه را نشان می‌دهد. شیوه‌ی نمایش ماتریسی برای محاسبه‌های کامپیوتری مناسب است و می‌توان با استفاده از آن رابطه‌های جهت‌دار را نیز نمایش داد. (باسستانی و رئیسی ۲۰۱۲). در این پژوهش، از روش

شاخص دوسویگی^۴

از شاخص دوسویگی برای تعیین اندازه پایداری شبکه رابطه‌ها و اندازه متقابل بودن پیوندهای اعتماد و مشارکت استفاده می‌شود (قربانی و همکاران ۲۰۱۷). زیاد بودن شاخص دوسویگی در یک شبکه اجتماعی نشان‌دهنده آن است که اندازه مشارکت متقابل در شبکه بیشتر بوده و در نتیجه پایداری آن بیشتر خواهد بود (لیاهی و اندرسون ۲۰۰۸).

شاخص انتقال یافتگی^۵

انتقال یافتگی شاخصی است که برای تعیین پایداری شبکه به کار می‌رود. اگر کنشگر A با کنشگر B یک پیوند داشته باشد و کنشگر B نیز با کنشگر C یک پیوند داشته باشد، انتقال یافتگی فرصت و شانس است که باعث می‌شود A با C پیوند برقرار کند (بارنز-موث و همکاران ۲۰۱۳). زیاد بودن این شاخص بیانگر آن است که افراد انتقال‌دهنده پیوند در شبکه بیشتر بوده و در نتیجه رابطه‌های میان کنشگران پایدار و شبکه در مقابل تغییرات مقاومت بیشتری خواهد داشت (سالاری و همکاران ۲۰۱۵).

شاخص فاصله ژئودزیک^۶

این شاخص به عنوان کمترین فاصله میان دو گره i و j تعریف می‌شود (الیویرا و گاما ۲۰۱۲). به بیان دیگر این فاصله به عنوان فاصله اجتماعی دو فرد که با کمترین تعداد واسطه میان یک فرد و دیگر افراد درون شبکه اندازه‌گیری می‌شود (سپهری و رحیمی ۲۰۱۰) و برای تعیین اندازه قدرت اعتمادسازی (اتحاد و یگانگی) و سرعت گردش مشارکت بهره‌برداران در شبکه مدیریتی به کار می‌رود (احمدی و همکاران ۲۰۲۱).

شاخص مرکز-پیرامون^۷

این شاخص نشان‌دهنده این است که کدام یک از کنشگران در مرکز و کدام یک از آنان در پیرامون شبکه می‌باشند. این شاخص کنشگران شبکه را به دو دسته مرکزی و پیرامون تقسیم می‌کند. دسته مرکزی با هم ارتباط زیادی دارند و در نتیجه تراکم شبکه آن‌ها زیاد است. کنشگران مرکزی بیشتر می‌توانند کنش‌ها را هماهنگ کنند ولی کنشگران پیرامونی کمتر فرصت این کار را دارند (فیروزروز و همکاران ۲۰۱۶). از این رو می‌توان با شناسایی کنشگران مرکزی از

ماتریس استفاده شد و برای انجام تمام محاسبه‌های ریاضی روی ماتریس‌ها از نرم‌افزار UCINET ۶,۵۲۸ استفاده شد (بورگاتی و همکاران ۲۰۰۲). همچنین، شاخص‌های کلان شبکه برای تحلیل ساختاری، در رابطه‌های موجود در سطح کل شبکه بهره‌بردارن محلی و در میان زیرگروه‌های آنان بررسی و سنجش شد. در ابتدا سه پیوند اعتماد، مشارکت و خویشاوندی به شکل جداگانه در هر کدام از شبکه‌ها بررسی شد و سپس با توجه به این موضوع که مشارکت عنصر اصلی مدیریت مشارکتی است، تأثیر هر کدام از مؤلفه‌های اعتماد و خویشاوندی روی مؤلفه مشارکت ارزیابی شد. شاخص‌های مطالعه‌شده عبارت بودند از:

شاخص تراکم^۱

نسبت تعداد پیوندهای ایجادشده در شبکه به کل پیوندهای تشکیل شدنی در شبکه تراکم، شاخص تراکم گفته می‌شود. با افزایش تراکم شبکه، همبستگی اجتماعی و پیوندهای شبکه نیز تقویت می‌شود. چنانچه تراکم شبکه زیاد باشد به آن شبکه منسجم گفته می‌شود که نقش مهمی در مدیریت مشارکتی آبخیزها دارد (ابراهیمی‌آذرخواران و همکاران ۲۰۱۴).

شاخص اندازه شبکه^۲

این شاخص بیان‌کننده تعداد کل پیوندهایی است که در شبکه اجتماعی وجود دارد. این شاخص نشان‌دهنده بیشترین تعداد پیوندهای ایجاد شدنی بر اساس تعداد کنشگران، است.

شاخص تمرکز شبکه^۳

در یک شبکه اجتماعی شاخص تمرکز معرف اندازه کنشگران محوری آن شبکه است. در یک شبکه متمرکز درصد زیادی از پیوند بر محور یک یا چند کنشگر پخش شده وجود دارد، اما در یک شبکه غیرمتمرکز تنوع اندکی میان تعداد پیوندهای کنشگران وجود دارد (اسلامی ۲۰۲۰). در حقیقت درصدی از شبکه که تحت مهار تعدادی افراد محدود با موقعیت مرکزی در شبکه است با شاخص مزبور معرفی می‌شود (فولک و کلدینگ ۲۰۰۳). اندازه‌گیری این شاخص در سطح کل شبکه بر پایه پیوندهای بیرونی و درونی انجام می‌شود.

- 1 - Network Density
- 2- Network Size
- 3 -Network Centralization
- 4 - Reciprocity
- 5 - Transitivity
- 6 - Geodesic Distance
- 7 - Core - Periphery

آنان در راستای بهبود مدیریت مشارکتی بهره جست (حسینی و همکاران ۲۰۱۹).

نتایج

شاخص‌های تراکم و اندازه شبکه

اندازه‌های شاخص‌های تراکم و اندازه شبکه در شبکه کنشگران محلی خاییز و قلعه سید مقیم مربوط به دو پیوند اعتماد و مشارکت در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این جدول در هر دو سامان عرفی اندازه تراکم پیوند اعتماد بیشتر از اندازه تراکم پیوند

مشارکت بود. اندازه تراکم پیوند اعتماد در سامان‌های عرفی ۶۷٪ و ۷۶٪ بود. همچنین، اندازه تراکم پیوند مشارکت در سامان‌های عرفی خاییز و قلعه سید مقیم به ترتیب ۴۶٪ و ۵۴٪ بود. شاخص اندازه شبکه در هر دو سامان عرفی زیاد تا متوسط بود. اندازه‌های این شاخص در پیوندهای اعتماد و مشارکت در قلعه سید مقیم (با تشکیل بیش از ۷۰ و ۵۰٪ از پیوندهای مورد انتظار) بیشتر از اندازه شبکه این دو پیوند در خاییز (با تشکیل بیش از ۶۰ و ۴۰٪ از پیوندهای مورد انتظار) بود.

جدول ۲- اندازه‌های شاخص‌های تراکم و اندازه شبکه کنشگران محلی منابع آب و خاک.

Table 2- The values of density and size indicators in the network of local stakeholders of water and soil resources.

%Density	Size	Total expected ties	Number of stakeholders	tie	Ecological boundary
67	204	306	18	Trust	Khaeis
46	140	306	18	Participation	
76	138	182	14	Trust	Ghale seyed moghim
54	99	182	14	Participation	

شاخص تمرکز

اندازه‌های شاخص تمرکز در خاییز نشان داد که اندازه تمرکز شبکه بر اساس پیوندهای درونی در هر دو پیوند اعتماد و مشارکت که به ترتیب ۲۷/۷۵ و ۲۸/۶۵٪ بودند که در مقایسه با پیوندهای بیرونی ۲۶/۵۱ و ۲۷/۴۱٪ بیشتر بودند (جدول ۳). این یافته نشان دهنده آن است که شبکه کنشگران بر اساس پیوندهای درونی یا به بیان دیگر بر اساس دریافت پیوندهای مشارکت و اعتماد شبکه تقریباً ساختار ستاره‌ای شکل داشت و وابسته به کنشگران مرکزی

در شبکه بود. این ساختار ستاره‌ای شکل در پیوند اعتماد در قلعه سید مقیم نیز به علت افزایشی بودن پیوند درونی ۱۶/۱۰ در مقایسه با پیوند بیرونی ۱۲/۷۸ بود. در پیوند مشارکت اندازه تمرکز شبکه بر اساس پیوندهای بیرونی و درونی مساوی و ۱۷/۴۰ بود. این یافته نشان دهنده آن است که دریافت پیوندهای مشارکت در شبکه‌ی ذی‌نفعان در انحصار عده محدودی نبوده و در زمینه دریافت پیوندهای مزبور در شبکه تعداد افراد بیشتری با ظرفیت زیاد حضور داشتند.

جدول ۳- اندازه‌های شاخص تمرکز در شبکه کنشگران منابع آب و خاک.

Table 3- The values of centralization index in the network of local stakeholders of water and soil resources.

Network indegree % centralization	Network outdegree % centralization	Number of stakeholders	tie	Ecological boundary
27.75	26.51	18	Trust	Khaeis
28.65	27.41	18	Participation	
16.10	12.78	14	Trust	Ghale seyed moghim
17.40	17.40	14	Participation	

شاخص دوسویگی

اندازه‌های شاخص دوسویگی در پیوندهای اعتماد و مشارکت در هر دو سامان عرفی بسیار زیاد (۱۰۰٪-۸۵/۵۱٪) بود (جدول ۴). در قلعه سید مقیم اندازه شاخص انتقال یافتگی دو پیوند اعتماد و مشارکت

به ترتیب ۱۰۰ و ۹۸/۳۵ بود. همچنین، پیوند اعتماد در خاییز ۸۳/۴۳ بود. از این رو می‌توان گفت که پایداری، توازن و تعادل شبکه در پیوندهای مزبور بسیار زیاد بود. اندازه انتقال یافتگی در پیوند مشارکت در خاییز ۷۹/۴۱ بود که بیانگر تعادل زیاد شبکه در این پیوند بود.

جدول ۴- اندازه‌های شاخص‌های دوسویگی پیوندها و انتقال یافتگی در شبکه کنشگران محلی.

Table 4- The values of reciprocity and transitivity indicators in the network of local stakeholders of water and soil resources.

%Transitivity	%Reciprocity	Number of stakeholders	tie	Ecological boundary
83.43	87.33	18	Trust	Khaeis
79.41	85.51	18	Participation	
100	100	14	Trust	Ghale seyed moghim
98.35	98.90	14	Participation	

شاخص میانگین فاصله ژئودزیک

در روستای خاییز میانگین کمترین فاصله میان دو کنشگر در پیوند اعتماد ۱/۰۸ و در پیوند مشارکت ۱/۱۰ بود. نتایج شاخص میانگین فاصله ژئودزیک در پیوندهای اعتماد و مشارکت نشان داد که افراد حداکثر با دو پیوند با یکدیگر در ارتباط بوده‌اند که اندازه متوسطی است (جدول ۵).

جدول ۵- اندازه شاخص میانگین فاصله ژئودزیک در پیوند اعتماد و مشارکت شبکه کنشگران محلی خاییز.

Table 5- The value of average geodesic distance index in trust and participation network of Khaeis local stakeholders.

Participation				Trust			
Average geodesic distance	Frequency	Number	Geodesic distance	Average geodesic distance	Frequency	Number	Geodesic distance
1.10	0.9	275	1	1.08	0.92	281	1
	0.1	31	2		0.02	25	2

یکپارچگی و وحدت افراد شبکه بود. هر چه اندازه این شاخص کمتر باشد یعنی میانگین کمترین مسیرها کاهش یافته است و اعتماد و مشارکت میان افراد افزایش یافته است، و در نتیجه افراد شبکه در مدت زمان کوتاهی به یکدیگر دسترسی خواهند داشت و برای مدیریت یک منبع ویژه مانند منابع آب با سرعت با یکدیگر هماهنگ خواهند شد. سرانجام می‌توان گفت با توجه به نتایج این دو شاخص در سامان‌های عرفی مطالعه‌شده سرعت گردش اعتماد، مشارکت و همکاری بسیار زیاد بود.

در روستای قلعه سید مقیم میانگین کمترین فاصله میان دو کنشگر در دو پیوند اعتماد و مشارکت به ترتیب ۱ و ۱/۰۱ بود (جدول ۶). نتایج این شاخص بیانگر آن است که در پیوندهای مزبور تقریباً تمام افراد حداکثر با یک پیوند با یکدیگر در ارتباط بوده‌اند که اندازه متوسطی است و فقط یک نفر در پیوند مشارکت با دو پیوند با دیگر بهره‌برداران در ارتباط بود.

در این پژوهش اندازه‌های این شاخص نمایانگر سرعت چرخش و گردش اطلاعات در میان شبکه بهره‌برداران منابع آب و خاک بود. همچنین، شاخص مزبور نشان‌دهنده

جدول ۶- اندازه شاخص میانگین فاصله ژئودزیک در پیوند اعتماد و مشارکت شبکه کنشگران محلی قلعه سید مقیم.

Table 6- The value of average geodesic distance index in trust and participation network of Gale seyed moghim local stakeholders.

Participation				Trust			
Average geodesic distance	Frequency	Number	Geodesic distance	Average geodesic distance	Frequency	Number	Geodesic distance
1.01	0.99	181	1	1	100	182	1
	0.1	1	2				

شاخص مرکز-پیرامون

اندازه‌ی تراکم پیوندهای اعتماد و مشارکت در کنشگران مرکزی در روستای خاییز به‌ترتیب ۹۰٪ و ۷۰٪ و در قلعه‌ی سید مقیم به‌ترتیب ۹۹٪ و ۹۰٪ بود. این اندازه‌ها در کنشگران پیرامونی روستای خاییز به‌ترتیب ۴۵٪ و ۲۴٪ و در کنشگران پیرامونی روستای قلعه‌ی سید مقیم به‌ترتیب ۶۳٪ و ۴۵٪ بود (جدول ۷). بنابراین، تراکم پیوندهای اعتماد و مشارکت کنشگران مرکزی در شبکه‌ی

کنشگران محلی در هر دو روستا بیشتر از تراکم پیوندهای اعتماد و مشارکت کنشگران پیرامونی بود. پیوند اعتماد در شبکه‌ی کنشگران محلی روستای خاییز و پیوندهای اعتماد و مشارکت در شبکه‌ی کنشگران محلی روستای قلعه‌ی سید مقیم بسیار زیاد بود و پیوند مشارکت در روستای خاییز زیاد بود. نتایج کنشگران مرکزی و پیرامونی پیوندهای اعتماد و مشارکت در شبکه‌ی بهره‌برداران در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۷- تراکم در زیرگروه‌های کنشگران مرکزی و پیرامونی شبکه‌ی کنشگران محلی.

Table 7- Density in subgroups of core and periphery actors of the local network stakeholders

Density of periphery %stakeholders	Density of core % stakeholders	tie	Ecological boundary
45	90	Trust	Khacis
24	70	Participation	
63	99	Trust	Ghale seyed moghim
45	90	Participation	

جدول ۸- کنشگران مرکزی و پیرامونی پیوندهای اعتماد و مشارکت در شبکه‌ی بهره‌برداران محلی خاییز و قلعه‌ی سید مقیم.

Table 8- Core and peripheral actors of trust and participation ties in the network of local stakeholders of Khacis and Ghale seyed moghim.

Ghale seyed moghim				Khacis			
participation		Trust		participation		Trust	
periphery stakeholders	core stakeholders	periphery stakeholders	core stakeholders	periphery stakeholders	core stakeholders	periphery stakeholders	core stakeholders
Ka. b	Hos.ach	F. b	Ka. b	Ma--Z	m-Ha	Ma--Z	m-Ha
kay. b	Ba-F	P. b	kay. b	Fa-M	m-Mt	Ba-G	m-Mt
F. b	Ba-M	B-M	Hos.ach	Da-E	Ba-G	Fa-M	Iz-Ha
P. b	Ba-K	AL.mar	Ba-F	M.sh	Iz-Ha	Da-E	iz-Hab
B-M	Ss-Re	Ss-Re	Ba-M	ach-AL	iz-Hab	M.sh	F.ma
AL.mar		Ba-N	Ba-K	mi-AL	F.ma	ach-AL	A.ma
Ba-N		Ba-L		Bo-S	A.ma	mi-AL	AK.ba
Ba-L		Mn-E		mo-H	R.mil	Bo-S	AK.par
Mn-E				AK.ba		mo-H	R.mil
				AK.par			

بررسی پیوند خویشاوندی در شبکه‌ی کنشگران محلی منابع آب و خاک در این پژوهش افزون بر پیوندهای مشارکت و اعتماد،

پیوند خویشاوندی نیز بررسی شد. اندازه‌ی شبکه و تراکم این پیوند در میان بهره‌برداران دو سامان عرفی خاییز و قلعه‌ی سید مقیم در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹- اندازه تراکم و اندازه شبکه پیوند خویشاوندی در شبکه کنشگران محلی خاییز و قلعه سید مقیم.
Table 9- The density and size of the relationship network in the network of local beneficiaries of Khaiz and Ghale Seyed moghim.

Total ties	Existed ties	%Density	Ecological boundary
147	70	48	Khaeis
74	30	41	Ghale seyed moghim

رابطه میان پیوندهای اعتماد و مشارکت بر اساس شاخص QAP

به منظور بررسی همبستگی میان پیوندهای اعتماد، مشارکت و خویشاوندی در میان شبکه بهره‌برداران منابع آب و خاک در سامان‌های عرفی مطالعه‌شده از شاخص QAP استفاده شد. در این بررسی پیوند مشارکت به عنوان متغیر وابسته و پیوندهای خویشاوندی و اعتماد به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. نتایج این بررسی در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۱۰- همبستگی پیوندهای گوناگون در شبکه کنشگران محلی روستای خاییز و قلعه سید مقیم.
Table 10- Correlation of different tie in the network of local stakeholders of Khaiz and Ghale seyed moghim village.

Ghale seyed moghim			Khaeis			
Participation	Trust	Relationship	Participation	Trust	Relationship	Tie
0.36	0.44		0.54	0.49		Relationship
0.79		0.44	0.88		0.49	Trust
	0.79	0.36		0.88	0.54	Participation

ایجاد اعتماد افراد تمایلی به مشارکت فعال در بهره‌برداری و مدیریت منبع مد نظر نخواستند داشت. این موضوع به‌ویژه در شبکه‌هایی که اعتماد میان کنشگران پایین است، حیاتی به نظر می‌رسد.

بحث و نتیجه‌گیری

زمانی که بهره‌برداری از یک منبع مشترک منافع زیادی داشته باشد و استفاده از آن محدود نشده باشد، انگیزه افراد برای افزایش بهره‌برداری بیشتر شده به شکلی که سرانجام موجب زوال و نابودی آن منبع خواهند شد، درحالی که اگر بهره‌برداران بتوانند راهی برای مشارکت و تعامل با یکدیگر پیدا کنند از بروز چنین شرایطی جلوگیری می‌شود (قربانی و همکاران ۲۰۲۲). یکی از اصول اساسی مدیریت مشارکتی منابع طبیعی، مطالعه و شناسایی رابطه‌های میان کنشگران است (آصفی و همکاران ۲۰۲۲). همچنین، تجزیه و تحلیل شبکه‌های اجتماعی فرصتی برای مطالعه همکاری، مشارکت و تضادهای میان کنشگران در شبکه فراهم می‌آورد (بودین و همکاران ۲۰۲۰). به این منظور شبکه بهره‌برداران منابع آب و خاک در دو روستای خاییز و قلعه سید مقیم بررسی

بر پایه نتایج جدول ۹، اندازه تراکم پیوند خویشاوندی میان بهره‌برداران محلی از منابع آب و خاک خاییز ۴۸٪ و اندازه شبکه ۷۰ پیوند بود. در روستای قلعه سید مقیم تعداد پیوندهای خویشاوندی ۴۱ پیوند و اندازه تراکم پیوند مزبور ۴۱٪ بود. بر اساس نتایج تراکم شبکه پیوند خویشاوندی در روستای خاییز کمی بیشتر از روستای قلعه سید مقیم بود، اما برای هر دو سامان تراکم شبکه در حد متوسط بود.

بر اساس نتایج جدول ۱۰ اندازه همبستگی میان پیوند اعتماد و مشارکت میان بهره‌برداران آب و خاک در روستای خاییز ۸۸٪ (در سطح معناداری ۱٪) و بسیار زیاد بود. به بیان دیگر اگر میان کنشگران پیوند اعتماد وجود داشته باشد به احتمال ۸۸٪ دو سودبر با هم مشارکت خواهند داشت. این اندازه در پیوند خویشاوندی با اعتماد و مشارکت به ترتیب ۴۹٪ و ۵۴٪ (در سطح معناداری ۱٪) و متوسط بود. همچنین، همبستگی پیوندها در سطح معناداری ۰/۰۰۲ بود. اندازه همبستگی میان دو پیوند اعتماد و مشارکت در شبکه کنشگران روستای قلعه سید مقیم زیاد (۷۹٪) بود. بنابراین، اگر میان کنشگران پیوند اعتماد وجود داشته باشد به احتمال ۷۹٪ میان آن دو کنشگر پیوند مشارکت نیز وجود خواهد داشت. همبستگی این دو پیوند در سطح معناداری ۰/۰۰۲ بود. اندازه همبستگی میان پیوندهای خویشاوندی و اعتماد (در سطح معناداری ۰/۰۰۲) و خویشاوندی و مشارکت (در سطح معناداری ۰/۰۰۱۸) در این سامانه به ترتیب ۴۴٪ و ۳۶٪ بود. از آنجایی که گام اول مشارکت میان بهره‌برداران اعتماد است، بنابراین، بایستی پیوسته در راستای تقویت پیوند اعتماد میان افراد تلاش کرد. بدون

فرایندهای مشارکتی را نیز کاهش می‌دهد. اندازه‌ی تمرکز شبکه‌ی پیوند مشارکت بر اساس پیوندهای درونی و بیرونی در روستای قلعه سید مقیم مشابه و بسیار کم بود. این یافته نشان‌دهنده‌ی این است که موقعیت کنشگران مرکزی از نظر شهرت و نفوذ در شبکه مشارکت بسیار کم بود. قربانی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که اندازه‌ی مرکزیت کل شبکه‌ی مشارکتی بهره‌برداران مرتع در طالقان بر اساس پیوندهای درونی و برونی اندازه‌ی مشابهی بود و اندازه‌ی شهرت و نفوذ کنشگران مرکزی در شبکه، متوسط بود که با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. همچنین در چین، لین و همکاران (۲۰۲۱) شاخص تمرکز در شبکه‌ی مشاوره کشاورزان را محاسبه کردند. بر اساس نتایج پژوهش آنها، در شبکه‌ی درخواست مشاوره تمرکز پیوندهای درونی بیشتر از تمرکز پیوندهای بیرونی بود یعنی، دریافت درخواست مشاوره بیشتر از پخش آن بود و در شبکه‌ی پیشنهاد مشاوره برعکس بود. همچنین تمرکز شبکه در پیوندهای بیرونی در هر دو پیوند درخواست و ارائه مشاوره، اندازه‌ی کمتری در مقایسه با تمرکز بر اساس پیوندهای درونی داشت که این موضوع نشان‌دهنده‌ی هماهنگی و همبستگی خوبی در شبکه بود.

با توجه به اندازه‌ی بسیار زیاد شاخص دوسویگی در سامان‌های عرفی مطالعه‌شده و در پیوندهای اعتماد و مشارکت، می‌توان گفت که اندازه‌ی اعتماد و مشارکت متقابل بود و اندازه‌ی پایداری رابطه‌ها در هر دو شبکه بسیار زیاد بود و شرایط مدیریت مشارکتی منابع آب و خاک منطقه را تسهیل کرد. همچنین، می‌توان انتظار داشت مقاومت و دوام شبکه در شرایط بحرانی و شکننده، خوب باشد. پیوندهای اخیر در سطح شبکه به‌خوبی تثبیت شده‌اند و پایداری مناسبی داشتند. از این رو، می‌توان گفت که سنت‌ها و قراردادهای منطقه به‌خوبی پذیرفته و اجرا شده‌اند. بنابراین، سرمایه‌ی اجتماعی افزایش یافته و هرگونه برنامه‌ریزی و مدیریت بهره‌برداری از منابع آب و خاک با تخصیص زمان و هزینه کمتر قابل اجرا بوده است. شاخص انتقال‌یافتگی پیوندهای مشارکت و اعتماد نیز همانند شاخص دوسویگی در روستاهای خاییز و قلعه سید مقیم بسیار زیاد بود. از این رو، تعادل شبکه نیز بسیار زیاد بود و مقاومت آن در برابر تغییرات نیز افزایش یافت و اجرای فرایند مدیریت مشارکتی نیز با موفقیت بیشتری همراه بود. حسینی (۲۰۱۹) گزارش کرد که بیشتر بودن اندازه‌ی پیوندهای انتقال‌یافتگی و دوسویگی پیوندها در سامان عرفی خروعلیا امکان مدیریت مشارکتی موفق‌تری را در مقایسه با سامان عرفی خروسفلی فراهم آورد که با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. از سوی دیگر، قربانی و آزادی (۲۰۲۱) ساختار شبکه‌ی اجتماعی بهره‌برداران مراتع طالقان را بررسی و گزارش کردند که اندازه‌ی شاخص‌های دوسویگی

شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل ساختاری شبکه بهره‌برداران آب و خاک سامان‌های مطالعه‌شده در هر دو روستا، تراکم پیوند اعتماد زیاد و تراکم پیوند مشارکت متوسط بود. بر اساس این نکته که هر چه تراکم شبکه بیشتر باشد همبستگی اجتماعی نیز بیشتر خواهد بود می‌توان گفت در شبکه بهره‌برداران منابع آب و خاک روستاهای مطالعه‌شده اندازه‌ی همبستگی اجتماعی بر اساس پیوند اعتماد زیاد و بر اساس پیوند مشارکت در سطح متوسط بود. افزون بر این، با توجه به رابطه‌ی مستقیم همبستگی اجتماعی با سرمایه‌ی اجتماعی می‌توان سرمایه اجتماعی را زیاد و متوسط ارزیابی کرد. نتایج پژوهش سلیمی کوچی و ابراهیمی (۲۰۱۷) نیز در ارتباط با مدیریت مشارکتی منابع آب در آبخیز میان جنگل فسا با این یافته‌ها هم‌راستا است. یودیاتماجا و همکاران (۲۰۲۰) نیز با مقایسه‌ی سرمایه اجتماعی گروه‌های گوناگون در ارتباط با مدیریت منابع آب دریافتند که سرمایه‌ی اجتماعی گروه چینی که اعتماد و مشارکت بیشتری با هم داشتند، بیشتر بود. از این رو، همکاری بیشتری نیز با هم داشتند. نتایج تراکم پیوندهای اعتماد و مشارکت در روستاهای خاییز و قلعه سید مقیم نشان داد که تراکم پیوندهای اعتماد و مشارکت در شبکه کنشگران قلعه سید مقیم بیشتر از شبکه کنشگران خاییز بود. از این رو، می‌توان گفت چون مولفه‌ی اعتماد نقطه‌ی آغازین مشارکت است (ابراهیمی آذرخواران و همکاران ۲۰۱۴) به‌دلیل وجود تراکم بیشتر در پیوندهای اعتماد شبکه کنشگران روستای قلعه سید مقیم، همکاری و مشارکت بیشتری نیز میان آن‌ها در بهره‌برداری از منابع آبی وجود داشت و در نتیجه همبستگی شبکه بهره‌برداران نیز بیشتر بود و بر فعالیت‌های مشارکتی در توسعه پایدار محلی نیز تأثیرگذارتر بود.

بررسی نتایج شاخص تمرکز پیوندهای اعتماد و مشارکت در کل شبکه بهره‌برداران بیانگر آن بود که تمرکز بر اساس پیوندهای درونی در پیوندهای اعتماد و مشارکت خائیز و پیوند مشارکت در روستای قلعه سید مقیم در مقایسه با پیوندهای بیرونی مشارکت افزایش یافت. به‌طور کلی بر اساس درجه‌ی تمرکز پیوندهای بیرونی و درونی مزبور می‌توان گفت که وضعیت دریافت اعتماد (تمرکز شبکه در پیوندهای درونی) در مقایسه با پخش اعتماد (تمرکز شبکه در پیوندهای بیرونی) بهتر بود. همچنین، دریافت اعتماد و مشارکت در اختیار کنشگران مرکزی بود، اما، در پراکنش اعتماد و مشارکت تقریباً کنشگران بیشتری نقش داشتند. بر پایه‌ی نتایج پژوهش اسلامی (۲۰۲۰) اندازه‌ی کم در این شاخص می‌تواند بهترین شکل ممکن در شبکه کنشگران محلی باشد. تمرکز زیاد کنشگران مرکزی در پیوندهای درونی در مقایسه با پیوندهای بیرونی مانع شکل‌گیری رابطه‌های واسطه‌ای است و سرعت انتقال اطلاعات در

سید مقیم با سرعت بیشتری می‌توانند با هم در ارتباط باشند و ایجاد اعتماد و همچنین فعالیت‌های دسته‌جمعی آن‌ها در زمان کمتری انجام خواهد شد. قربانی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی توانمندسازی جامعه‌های محلی در شهرستان ریگان را بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که اندازه فاصله ژئودزیک میان گروه‌های بررسی‌شده بعد از اجرای طرح کمتر شد که این یافته بیانگر افزایش اتحاد، یگانگی و هماهنگی بیشتر در گردش اعتماد و مشارکت میان آن‌ها بود. این نتایج با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. اسلامی (۲۰۲۱) توسعه ارتباطات مشارکتی مدیریت آب قنات‌ها را بررسی کرد. این پژوهشگر دریافت بعد از اجرای طرح آموزشی، اندازه شاخص مزبور کاهش یافت و در نتیجه یگانگی و هماهنگی شبکه بیشتر شد و ارتباطات سریع‌تر شد.

سرانجام می‌توان گفت تحلیل شبکه اجتماعی ابزاری بسیار کاربردی در شناسایی شبکه کنشگران و تعیین رابطه‌های میان آن‌ها است و به این ترتیب می‌تواند نقش مهمی در طرح‌ریزی شبکه مدیریت مشارکتی داشته باشد. از این رو، قبل از هر اقدامی برای فرایندهای مدیریت مشارکتی بایستی ساختار شبکه بهره‌برداران و نوع رابطه‌های میان آن‌ها شناسایی شود تا بتوان آن را تقویت و بهبود داد تا مسیر هموارتر و زمان رسیدن به هدف کوتاه‌تر و هزینه کم‌تر شود. در این راستا و برای همبستگی و تحکیم شبکه پیشنهاد می‌شود تا کنشگران غیرکلیدی را برای ایجاد پیوندهای اعتماد و مشارکت تشویق کرد. همچنین، با برگزاری کلاس‌های آموزشی و ترویجی مشارکت و اعتماد به وجود آمده را حفظ و زمینه اعتماد و مشارکت هر چه بیشتر کنشگران را فراهم کرد. همچنین، تحلیل شبکه‌های بهره‌بردار منابع آب و خاک منطقه در فصل‌های زمانی گوناگون به منظور بررسی احتمال تغییر کنشگران کلیدی و لزوم دخالت آن‌ها در برنامه‌های مدیریت مشارکتی، انجام شود.

و انتقال یافتگی متوسط بود. این اندازه‌ها برای ثبات و نهادینه شدن پیوندها ایده‌آل نیستند. در این راستا، بودین و کرونا (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که چنانچه پیوندهای اجتماعی قوی‌تری وجود داشته باشد، به دلیل ارتباطات بیشتر، امکانات بیشتری نیز برای اقدام مشترک و همکاری وجود خواهد داشت که در گذر زمان منجر به تعامل و اعتماد متقابل بیشتری خواهد شد. بررسی شاخص مرکز پیرامون در منطقه بیانگر آن بود که ارتباطات و تبادلات پیوندهای اعتماد و مشارکت در زیرگروه کنشگران مرکزی در سطح گسترده‌تری شکل گرفته است. تراکم پیوندهای اعتماد و مشارکت در میان کنشگران مرکزی در هر دو روستا بسیار زیاد تا زیاد بود و این اندازه‌ها در کنشگران پیرامونی روستای خاییز کم تا متوسط و در کنشگران پیرامونی روستای قلعه سید مقیم متوسط تا زیاد بود. نتایج این پژوهش به خوبی نشان داد که افراد تأثیرگذار و کلیدی شبکه در زیرگروه‌های کنشگران مرکزی بودند و نقش کنشگران پیرامونی در این ارتباط کم‌رنگ و کم بود. از آنجایی که حذف کنشگران پیرامونی سبب از دست رفتن همبستگی شبکه و در نتیجه کاهش سرمایه اجتماعی می‌شود، از این رو، بایستی کنشگران پیرامونی را به خوبی شناخت و تشویق کرد تا در برنامه‌های مدیریت مشارکتی شرکت داشته باشند (حسینی و همکاران ۲۰۱۹). لین و همکاران (۲۰۲۱) نیز دریافتند کشاورزان اصلی با داشتن تراکم زیاد پیوندها میان خود در مرکز شبکه بودند در حالی که کشاورزان پیرامونی در حاشیه بودند و پیوندهای مشترک کمی داشتند. این نتایج با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. بر اساس اندازه‌های شاخص میانگین کمترین فاصله مشخص شد که اتحاد و یکپارچگی میان کنشگران در وضعیت مطلوبی بود و گردش اعتماد، مشارکت و هماهنگی در راستای مدیریت پایدار منابع آب و خاک است. از آنجایی که اندازه فاصله ژئودزیک در قلعه سید مقیم و در هر دو پیوند اعتماد و مشارکت کمتر از خاییز بود می‌توان گفت افراد در قلعه

فهرست منابع

- Aubin D, Riche C, Water VV, Jeunesse I. 2019. The adaptive capacity of local water basin authorities to climate change: The Thau lagoon basin in France. *Science of The Total Environment*, 651 p, Part 2: 2013-2023. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.078.
- Abdollah Najafabadi H, Shabani Shahreza AM, Nourian najafabadi M, Jahangir N. 2017. Examining the role of public participation in sustainable urban development. *Proceedings of the International Conference on Contemporary Iran in Civil Engineering, Architecture and Urban Development*, 16 August, Tehran, Iran, 1719 p. (In Persian).
- Ahmadi R, Heydari Q, Raftgar S, Mohammadi Kangrani H. 2022. Comparison of structural indicators of social networks of ranchers participation in summer rangeland management systems delarstaq, Amol. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 19(2): 212-230. (In Persian). 20.1001.1.17350859.1400.19.2.2.1.
- Alipour P, Zahedi M, SHiyaei M. 2009. Trust and partnership (Studying the relationship between trust and social participation in Tehran). *Iranian Journal of Sociology*, 10(2): 109-135. (In Persian). 20.1001.1.17351901.1388.10.2.5.9.
- Barnes-Mauthe M, Allen SD, Gray SA, Leung PS. 2013. The influence of ethnic diversity on social network structure in a common-pool resource system: implication for collaborative management. *Ecology and Society*, 18(1): 23. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05295-180123>
- Basati H, Poursaeid A, Allahyari MS, Es-hraghi Samani R, Chaharsoqi Amin H. 2019. Social network analysis of local water user associations' actors: evidence from Iran. *Meteorology Hydrology and Water Management*, 8(1): 91-97. DOI:10.26491/mhwm/116668
- Bodin O, Crona B. 2009. The role of social networks in natural resource governance: what relational patterns make a difference? *Global Environmental Change*, 19(3): 366- 374. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.05.002>
- Bodin O, García MM, Robins G. 2020. Reconciling conflict and cooperation in environmental governance: A Social Network Perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1): 471-495. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-011020-064352>.
- Borgatti SP, Everett MG, Freeman LC. 2002. *Ucinet 6 for windows: Software for social network analysis*. Harvard, MA: Analytic Technologies.
- Cho SW, Allred SB, Stedman R. 2024. The social fabric of watershed management: Comparison of citizen-based and agency-based organizations. *Water*, 16(1):111. <https://doi.org/10.3390/w16010111>
- Darvishi A, Fakheran S, Yousefi M, Ghorbani M, Ahadi, M. 2022. Social network analysis for planning and environmental co-management. *Environmental Researches*, 13(25): 151-165. (In Persian). 20.1001.1.20089597.1401.13.25.9.0
- Ebrahimi Azarkharan F, Ghorbani M, Salajegheh A, Mohseni Saravi M. 2014. Social network analysis of local stakeholders in action plan for water resources co-management (Case study: Jajrood River in Latian Watershed, Darbandsar Village). *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 8(25): 47-56. (In Persian). 20.1001.1.20089554.1393.8.25.1.0
- Firuoopoor M, Erfanzadeh R, Ghorbani M, Rasekhi S. Social network analysis and structural scheme of social relation among rangeland stakeholders (Case study: Takor Village, Noor). *Journal of*

- Rangeland, 3(9): 244-254. (In Persian). 20.1001.1.20080891.1394.9.3.4.1
- Folke C, Colding J. 2003. Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change, Uk: Cambridge University Press.
- Gatt K. 2016. Social network analysis as a tool for improved water governance in Malta. *International Journal of Society Systems Science*, 8(2): 131-154. DOI:10.1504/IJSS.2016.077013
- Ghorbani M, Azarnivand H, Mehrabi AA, Baštani S, Jafari M, Nayebi H. 2013. Social network analysis: A new approach in policy-making and planning of natural resources co-management. *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*, 65(4): 553-568. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jrwm.2012.32053>
- Ghorbani F, Behboudi D, Zarghami M. 2022. Participatory water resources management strategy: Institutional analysis and collective action approach (Sahand Dam Downstream). *Water and Irrigation Management*, 12(1): 121-137. (In Persian). 10.22059/jwim.2022.333694.943
- Ghorbani M, Rasekhi S, Karami A. 2017. Analysis of structural characteristics of social capital in society oriented rural management establishment (Aliabad Hashtsadmetri Village, Rigan District, Kerman Province). *Journal of Rural Research*, 8(2): 228-241. (In Persian). 10.22059/jrur.2017.62673
- Ghorbani M, Azadi H. 2021. A Social-relational approach for analyzing trust and collaboration networks as preconditions for rangeland comanagement. *Rangeland Ecology and Management*, 75: 170-184. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.10.008>
- Goonetilleke A, Vithanage M. 2017. Water resources management: Innovation and challenges in a changing world. *water*, 9(4): 281. <https://doi.org/10.3390/w9040281>
- Hajati N, Arghan A, Mansouri A. 2015. The role of regional planning in the sustainable development of water resources (with emphasis on aspects of integrated management). *Proceedings of the National Conference on Water Crisis in Iran and the Middle East*, 15 February, Shiraz, Iran, 1507 p. (In Persian).
- Hanneman RA, Riddle M. 2005. Introduction to social network methods. California: University of California Riverside.
- Hoseini M, Golkarian A. 2019. Social network analysis of local stakeholders in Governance of water resources (Case study: Watershed of Kharve Olya - Neyshabur City). *Journal of Range and Watershed Management*, 72(3): 683-698. (In Persian). doi: 10.22059/jrwm.2019.223139.1086
- Islami I. 2020. Assessment of the network of social trust structures based on network analysis method: study of local stakeholders of rangelands - Yazd Province. *Journal of Rural Research*, 11(3): 454-465. (In Persian). 10.22059/jrur.2020.288516.1399
- Islami I, Sarvi Sadrabad H, Tabatabaei H, Rahmani, M. 2021. Investigating the effectiveness of education with the aim of developing participatory communication in conservation: A study of qanat water supply system in Khezrabad, Yazd. *Environmental Sciences*, 19(3): 71-84. (In Persian). 10.52547/envs.2021.35822
- Leahy E, Anderson H. 2008. Trust 22- factors in community-water resource management agency relationships. *Journal of Landscape and Urban Planning*, 87(2): 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.05.004>
- Lin T, Ko AP, Then MM, Catacutan DC, Finlayson RF, Isaac ME. 2021. Farmer social networks: The role of advice ties and organizational leadership in agroforestry adoption. *PLoS ONE*, 16(8): e0255987. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255987>
- Lin J, Tian Y, Yao Q, Shi Y. 2023. Structural characteristics of intergovernmental water pollution control cooperation networks using social network analysis and GIS in

- Yangtze River delta urban agglomeration, China. *Sustainability*, 15(18): 13655. <https://doi.org/10.3390/su151813655>.
- Oliveira M, Gama J. 2012. An overview of social network analysis. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2): 99-115. <https://doi.org/10.1002/widm.1048>.
- Mohammadjani E, Yazdani N. 2014. The Analysis of the water crisis situation in the country and its management requirements. *Trend*, 21(65-66): 117-144. (In Persian).
- Salimi Kochi J, Ebrahimi P. 2017. Network analysis of local stakeholders and social cohesion in the participatory management of water resources (Case Study: Watershed Myanjangal, Fasa City). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11(37):57-63. (In Persian).
- Salari F, Ghorbani M, Malekian A, Fahmi H. 2015. Analysis of local beneficiaries and social capital in water resources co- social network management (Case study: Watershed Razin of Kermanshah). *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 9(29): 35-46. (In Persian).
- Sarvi sadrabad H, Islami I. 2019. Analysis of the social network and bonding social capital in participatory management of water resources (Case study: Sadrabad Village, Nodoushan Catchment, Yazd Province). *Journal of Range and Watershed Management*, 72(3): 739-753. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jrwm.2019.282477.1389>.
- Scholz JT, Wang C.-L. 2006. Cooptation or transformation? Local policy networks and federal regulatory enforcement. *American Journal of Political Science*, 50(1): 81-97. DOI:10.1111/j.1540-5907.2006.00171.x.
- Stosch KC, Quilliam RS, Bunnefeld N, Oliver DM. 2022. Rapid characterisation of stakeholder networks in three catchments reveals contrasting land-water management issues. *land*, 11(12): 2324. <https://doi.org/10.3390/land11122324>.
- Wasserman S, Faust K. 1994. *Social network analysis: Methods and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Social Network Analysis of Local Stakeholders in Water and Soil Resources Co-Management in Behbahan Ghale Seyed Moghim and Khaeiz villages

Behzad Moteshafeeh ^{*1}, Mohammad Javanmard ², Sareh Hashem Geloogerdi ³

1- Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

2- Master of Watershed Engineering, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Behbahan, Iran

3- Ph.D. in Combating Desertification, Faculty of Natural Resources and Geoscience, University of Kashan, Kashan, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Conservation of water and soil resources is necessary and inevitable for sustainable development. Planning is necessary for achieving this development both now and in the future. In this regard, the human relationship as a beneficiary of the natural ecosystem should be at the top of policies and comprehensive management of water resources. Based on this, the requirement for successful management of water resources is to change the approach towards cooperative management. The success of watershed projects entirely depends on people's participation in the decision-making, implementation, and conservation of the projects. One of the main components in water resources management at the local level is the local stakeholders and their interactive relationship between them and the government institutions is necessary for forming a cooperative mechanism of water resources.

Article Type: Research Article

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

Citation: Moteshafeeh, B., Javanmard, M., Hashem Geloogerdi, S. 2024. Modeling Spatio-Temporal Changes in Evaporation Using Class A Pan Evaporation **Data:** Presenting a Novel Approach for Use in Dynamic and Distributed Models of Rainfall-Runoff. *Watershed Management Research*. 37(3):111-127.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.364399.1563

Received: 15 Decemberr 2023, **Received in revised form:** 27 January 2024, **Accepted:** 18 March 2024

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp. 111-127.

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



In this regard, social networks can be effectively used in collaborative management. The purpose of this study is to analyze the social network of water and soil resources stakeholders in Khaeiz and Ghale Seyed Moghim villages and to determine the main strengths of the network in order to apply successful collaborative management of these resources.

Materials and Methods

In the current research, social network theory and its principles were used to investigate and analyze the pattern of relations between the stakeholders of water and soil resources in Ghale Seyed Moghim and Khaeiz villages. First, using a local survey and a questionnaire, trust, and participation data were collected based on the Likert scale (zero, very little, low, medium, high, and very high), and a matrix of trust and participation relationships was formed, and the matrix of trust and participation relations was formed. Then, different network indicators in macro (including density, concentration, and size of the network, degree of ambidexterity and transferability of links, average geodesic distance, and E-I index), meso (including indicators of peripheral center and density of subgroups) and micro (including input degree centralities, output and intermediate) levels were calculated and evaluated using UCINET software.

Results and Discussion

Based on the calculated indicators, the network of beneficiaries in both villages is stable and balanced. Therefore, it is possible to plan to preserve water and soil resources well. The network of the stakeholders in Ghale Seyed Moghim village is more cohesive, which will be more effective in cooperative activities in the matter of local sustainable development. Instead, people in Seyed Moghim villages were able to connect with each other more quickly, and building trust as well as their collective activities takes place in less time. Also, key actors were identified in both networks and should be involved in the decision-making and participatory management of water and soil resources in the region.

Conclusion and Suggestions

Social network analysis provides managers with an effective tool to identify users and their relationships, making water resources management efficient. Considering the results of network cohesion in Khaeiz, non-key actors should be encouraged to create trust and partnership bonds. Also, through educational and promotional activities, the existing participation and trust in the networks should be maintained, and the opportunity to create new trust and participation of stakeholders should be provided.

Keywords: Collaborative management, local stakeholders, network indicators, social network analysis, water and soil resources



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۳۹۸۱



مآخذ تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تأثیر افزودنی ماده معدنی بنتونیت بر پایداری خاک‌دانه‌های سطحی

زینب براری شهیدانی^۱، لیلا غلامی^{۲*}، عطااله کاویان^۳

۱ - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ساری، ایران

۲ - دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ساری، ایران

۳ - استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ساری، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

خاک، پایه و اساس منابع زیستی و حیات روی کره زمین است. پایداری خاک از شاخص‌های کلیدی است که به‌منظور ارزیابی عملکرد ساختمان خاک در برابر فرسایش خاک استفاده می‌شود. در واقع پایداری خاک‌دانه‌های بیانگر مقاومت ساختمان خاک در برابر نیروهای خارجی مانند برخورد قطرات باران و فرسایش پاشماني است. انرژی قطرات باران، یکی از عامل‌های اصلی ازهم‌پاشیدگی خاک‌دانه‌های خاک در فرسایش آبی است. استفاده از افزودنی‌های گوناگون در سطح یا در داخل خاک با فرایندهای گوناگونی شامل سلب‌بندی سطحی، نفوذ، رواناب، تبخیر و سرانجام فرسایش خاک ارتباط نزدیکی دارد. با توجه به اهمیت پایداری خاک‌دانه‌ها در مهار فرسایش خاک، افزایش قطر ذرات در سطح خاک یکی از راه‌های جلوگیری از حرکت آن‌ها به‌وسیله عامل‌های فرسایشی است. بررسی پژوهش‌های پیشین نشان داد که افزودن ماده معدنی بنتونیت می‌تواند نقش مؤثری در تغییرات پایداری خاک‌دانه‌ها به‌ویژه در خاک‌های تخریب‌یافته داشته باشد. بنابراین هدف از این پژوهش استفاده از افزودنی بنتونیت بر تغییرات خاک‌دانه‌های سطحی خاک بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ماده معدنی بنتونیت با اندازه‌های ۳۰، ۱۵ و ۴۵٪ پوشش سطحی خاک و در سه تکرار استفاده شد. ابتدا خاک جمع‌آوری شده از زمین‌های مرتعی تا ژرفای ۲۰ سانتی‌متری به آزمایشگاه انتقال داده شده در معرض

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: براری شهیدانی، ز.، غلامی، ل.، کاویان، ع. ۱۴۰۳. تأثیر افزودنی ماده معدنی بنتونیت بر پایداری خاک‌دانه‌های سطحی. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۳): ۱۴۳-۱۲۸.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.364343.1561

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۴، پاییز ۱۴۰۳، صفحه‌های ۱۲۸ تا ۱۴۳.

© نویسندگان

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



هوای آزاد خشک شد و از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد. سپس، خاک در فنجان‌های پاشمان ریخته‌شده و تحت شبیه‌ساز باران با شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت و مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. خاک سطحی قبل و بعد از شبیه‌سازی باران به ژرفای دو میلی‌متر و با اندازه ۵۰ گرم از سطح فنجان‌های پاشمان جمع‌آوری شد و پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از روش الک تر محاسبه شد. در این روش خاک باقی‌مانده روی هر الک با روش شستشو به داخل ظروف نشانه‌گذاری‌شده منتقل شد و به مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون رها شد. پس از تخلیه آب اضافی نمونه‌ها، رسوب باقی‌مانده به داخل ظروف مناسب با وزن مشخص منتقل شد. سرانجام به مدت ۲۴ ساعت در کوره حرارتی با دمای 105°C خشک شد. در نهایت اثر کاربرد ماده معدنی بنتونیت بر متغیرهای دانه‌بندی و پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه شد.

نتایج و بحث

با توجه به عملکرد حفاظتی و میانگین وزنی - قطر خاکدانه‌های خاک با استفاده از ماده معدنی بنتونیت با سه اندازه ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ و بر اساس طبقه‌های قطری $500-250$ ، $250-125$ ، $125-100$ ، $100-53$ ، $53-38$ و 38 میکرومتر، نتایج نشان داد که به علت تأثیر ماده معدنی بنتونیت میانگین قطر خاکدانه‌ها به طور معنی‌داری تغییر کرد. میانگین جرم خاکدانه‌ها در قطرهای مزبور در تیمار شاهد به ترتیب 0.18 ، 0.18 ، 0.18 ، 0.18 ، 0.18 و 0.18 گرم بود و با ماده معدنی بنتونیت با اندازه ۱۵٪ به ترتیب 0.16 ، 0.16 ، 0.16 ، 0.16 ، 0.16 و 0.16 گرم بود و با ماده معدنی بنتونیت با اندازه ۳۰٪ به ترتیب 0.14 ، 0.14 ، 0.14 ، 0.14 ، 0.14 و 0.14 گرم و با اندازه ۴۵٪ پوشش سطحی 0.11 ، 0.11 ، 0.11 ، 0.11 ، 0.11 و 0.11 گرم بود. نتایج آزمون GLM نشان داد که تأثیر ماده معدنی بنتونیت بر متغیرهای D_{10} ، D_{30} ، D_{50} و D_{90} و جورشدگی در سطح ۹۵٪ و بر متغیرهای D_{10} ، D_{30} ، D_{50} ، D_{90} و $D_{75}-D_{25}$ و چولگی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود. اما اثر بنتونیت بر متغیر D_{75}/D_{25} و کشیدگی معنی‌دار نبود. همچنین با بررسی نتایج آزمون دانکن مشخص شد که ماده معدنی بنتونیت با اندازه ۱۵ و ۳۰٪ بر پایداری خاکدانه‌های خاک و افزایش میانگین قطر خاکدانه‌ها اثر بیشتری داشت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که ماده معدنی بنتونیت با ایجاد چسبندگی در سطح خاک آن را در برابر قطرات باران محافظت کرد و فرسایش خاک را کاهش داد. با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود که ابتدا پژوهش‌های بیشتری با توجه به شرایط خاک و باران طبیعی انجام شود و سپس اندازه‌های بهینه بنتونیت در مدیریت فرسایش و رواناب مشخص شود.

واژگان کلیدی: الک تر، حفاظت خاک و آب، ساختمان خاک، قطر خاکدانه، ماده معدنی غیر آلی

مقدمه

داشته است. به گونه‌ای که می‌توان گفت سطح پیشرفت تمدن بشری با خاک و چگونگی بهره‌برداری از آن ارتباط تنگاتنگی دارد. بنابراین، مدیریت منابع خاک با کاهش یا جلوگیری از فرسایش خاک برای تولید پایدار ضروری است (اونگر ۲۰۰۹). پایداری خاک از شاخص‌های کلیدی است که به منظور ارزیابی ساختمان خاک در برابر فرسایش خاک استفاده می‌شود. در حقیقت پایداری خاکدانه بیانگر مقاومت ساختمان خاک در برابر نیروهای خارجی مانند برخورد قطرات باران است و می‌تواند موجب افزایش فرسایش خاک از جمله نوع پاشمانی آن شود. پایداری ساختمان خاک از نتایج برهم‌کنش عامل‌های گوناگونی از جمله پوشش گیاهی، فرآیندهای زیستی و

خاک، پایه و اساس دیگر منابع زیستی است. از این رو، درک نادرست آن به وسیله انسان‌ها، موجب از بین رفتن حیات می‌شود. خاک منبع حیاتی برای تولید غذا، چوب و منابع سوختی، همچنین زیربنای امنیت غذایی و کیفیت محیط‌زیست می‌باشد که برای وجود انسان ضروری است. ضرورت حفاظت از خاک برای رفاه حال انسان است؛ اما اغلب تا زمانی که تولید مواد غذایی کم نشود و یا به خطر نیفتد، نابودی زیادی در آن شکل نمی‌گیرد. خاک، با کیفیت خوب و بارآور یکی از ارزشمندترین گنجینه‌هایی است که می‌تواند تأثیر مثبتی بر رفاه مردم داشته باشد. زیرا، تمدن‌های بزرگ بشری در مناطقی از جهان به رشد و شکوفایی رسیده‌اند که خاک آن‌ها کیفیت مطلوبی

کاهش خطراتی چون سیل و فرسایش خاک شده است (غلامی و همکاران ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷ ب). از سوی دیگر، مواد معدنی طبیعی نیز می‌توانند نقش مثبتی در حفاظت از خاک داشته باشند. نتایج افزودنی‌های خاک نشان‌دهنده بهبود پایداری، ساختار خاک، توزیع و پایداری خاکدانه‌ها و ظرفیت تأمین آب خاک است (جی و همکاران ۲۰۲۲). محبتی و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که اثر گذشت زمان باعث تأثیر بیش‌تر افزودنی‌ها برای کاهش اندازه فرسایش پاشمانی شده است. زیرا، این افزودنی‌ها با افزایش پایداری و تخلخل خاک می‌توانند باعث اتصال ذرات خاک شده و در نتیجه مقاومت آن‌ها را در برابر انرژی باران افزایش دهد. در این میان بنتونیت ماده معدنی از دسته رس‌ها یا شبه‌رس‌ها است که از کانی‌های متورم‌شونده تشکیل شده است. محیط تشکیل این سنگ، آب‌های کم‌ژرف، کم انرژی و آب و هوای معتدل است. بنتونیت به دلیل خواص نرم بودن، تورم‌پذیری، کلونیدی و خوب مخلوط شدن با آب، خمیری شدن، پلاستیک بودن، چسبندگی و چسبانندگی و جاذب بودن مصارف زیادی دارد. از جمله مصارف آن شامل گل حفاری، عامل چسباننده در ماسه‌های ریخته‌گری، جلوگیری از نفوذ آب از سدها، کانال‌ها و استخرهای آب، عامل شفاف‌کننده مایعات، زلال کردن آب و صاف کردن مایعات است (خرم‌جاه ۲۰۱۴). رس بنتونیت به‌عنوان یک اصلاح‌کننده^۱ بر ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک تأثیرگذار است و منجر به افزایش حفاظت آب و خاک^۲ در زمین‌های لسی می‌شود (بامری و همکاران ۲۰۲۱). جداسازی ذرات خاک به‌وسیله فرایند فرسایش به چسبندگی ذرات خاک، ویژگی‌های خاکدانه‌های خاک مانند مواد آلی، اندازه رس و فرساینده‌گی باران^۳ بستگی دارد (خالدی‌درویشان و شریفی‌مقدم ۲۰۱۶).

ساختمان خاک، شاخص مهمی برای مدیریت بهینه منابع خاک و آب است. زیرا، به گونه‌ای مستقیم، بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک هم‌چون اندازه آب، هدایت آبی، گرما، تهویه، جرم ویژه ظاهری و تخلخل خاک اثر می‌گذارد (محمدیان و همکاران ۲۰۱۵). بنابراین، استفاده از افزودنی‌های گوناگون در سطح یا در داخل خاک با فرایندهای گوناگون آب‌شناختی و زمین ریخت‌شناسی از قبیل سله‌بندی سطحی، نفوذ، رواناب، تبخیر و سرانجام

غیرزیستی، ویژگی‌های ذاتی خاک و عامل‌های محیطی و مدیریتی است (واعظی و همکاران ۲۰۱۸). پایداری خاک‌دانه‌ها با استفاده از روش الک تر^۱ و بر اساس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار توصیف می‌شود (هریک و همکاران ۲۰۰۱؛ حق‌جو و همکاران ۲۰۱۹). از سوی دیگر پوشش گیاهی به دلیل افزایش ضریب زبری^۲ و نفوذپذیری خاک و کاهش انرژی جنبشی قطرات باران، به‌عنوان عامل کلیدی افزایش پایداری خاک شناخته شده است. تاج پوشش گیاهی مهم‌ترین ویژگی گیاهی برای فرسایش‌های پاشمانی، میان‌شیاری و شیاری است (گیسل و همکاران ۲۰۰۵). انرژی قطرات باران، یکی از عامل‌های اصلی از هم پاشیدگی خاکدانه‌های خاک در فرسایش آبی است. قطرات باران پس از برخورد با زمین، ذرات خاک را متلاشی کرده و به روند فرسایش آبی سرعت می‌بخشد. ویژگی‌های خاک از جمله بافت و توزیع اندازه ذرات^۳ از عامل‌های مهم مؤثر بر فرسایش پاشمانی (حق‌جو و همکاران ۲۰۱۶؛ محبتی و همکاران ۲۰۲۲) و در نتیجه تغییرات رواناب و نفوذ (هوانگ و همکاران ۲۰۱۳) است. نتایج ایشان نشان داد اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تخلخل^۴، مقاومت خاک^۵، فرسایش و توانایی خاک برای انتقال مایعات، املاح، گازها و گرما اثر قابل توجهی داشته است (جیو و همکاران ۲۰۲۰). آنچه مسلم است فرسایش خاک یکی از مسائل محیط‌زیستی جدی است و با توجه به اندازه زیاد فرسایش در بسیاری از مناطق جغرافیایی کشور، باید تلاش‌های زیادی به سمت کم کردن خطرات آن انجام شود. لازمه این کار وجود داده‌های کمی است تا بتوان مناطق بحرانی را که نیازمند حفاظت فوری می‌باشند، تشخیص داده و مدیریت کرد. از این‌رو، در زمینه مهار فرسایش خاک، روش‌های بسیار گوناگونی معرفی شده، اما استفاده از روش‌هایی که بتواند مانع جداشدن ذرات خاک در مراحل اولیه فرسایش شود اهمیت ویژه‌ای دارند.

به‌تازگی استفاده از سوپر جاذب‌های پلیمری در کشاورزی یکی از راه‌کارهای نوین و کارآمد است که افزون بر صرفه‌جویی در مصرف آب و کودهای شیمیایی که به‌شدت در آب محلول‌اند موجب بهبود وزن مخصوص، کاهش تبخیر آب، افزایش سرعت نفوذ آب در خاک و

1 - Wet Sieve

2 - Roughness Coefficient

3 - Particle Size Distribution

4 - Porosity

5 - Soil Resistance

6 - Amendment

7 - Soil and Water Conservation

9 - Rainfall Erosivity

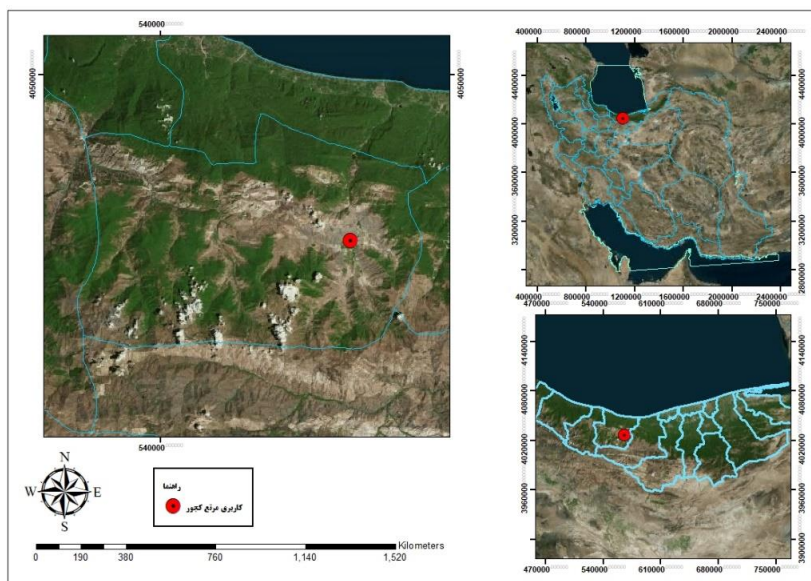
است. بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها با استفاده از افزودنی‌های گوناگون آلی، معدنی و شیمیایی انجام شده است. از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی اثر ماده معدنی بنتونیت بر پایداری خاکدانه‌های خاک در اندازه‌های گوناگون و بعد از سامانه شیشه‌ساز باران در کاربری مرتع انجام شد. متأسفانه برخی از مراتع کشور در چند دهه گذشته به دلیل‌های پرشماری از جمله چرای دام، تغییر کاربری زمین‌ها و آتش‌سوزی در معرض نابودی هستند، و اصلاح و احیای مجدد آن به سال‌ها زمان و هزینه بسیار زیاد نیازمند است. یکی از مهم‌ترین نقش‌های مراتع حفظ محیط‌زیست و کاهش اثرات فرسایش خاک است که در مراحل اولیه فرسایش (فرسایش پاشماني) به دلیل پوشش گیاهی نقش مثبتی در کاهش انرژی قطرات باران دارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده و آماده‌سازی خاک

در این پژوهش خاک بررسی شده از کاربری مرتع شهرستان کجور استان مازندران با مختصات طول شرقی $51^{\circ} 44' 9''$ و عرض شمالی $36^{\circ} 23' 19''$ جمع‌آوری شد (شکل ۱). از آنجایی که انتخاب منطقه مادری خاک در گام اول به‌عنوان تعیین‌کننده‌ترین عامل بود، در این پژوهش خاک سطحی زمین‌های مرتعی از ژرفای صفر تا ۲۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه فرسایش و رسوب دانشکده منابع طبیعی ساری انتقال داده شد. نمونه‌های خاک در معرض هوای آزاد خشک شدند (غلامی و همکاران ۲۰۱۶، ۲۰۱۹). سپس از الک چهار میلی‌متری عبور داده شدند (غلامی و همکاران ۲۰۱۴؛ کریمی و همکاران ۲۰۱۹). آزمایش‌های اولیه روی خاک جمع‌آوری شده نشان داد که بافت خاک منطقه لومی- شنی بود و وزن مخصوص حقیقی، کربن آلی، pH و EC آن به ترتیب با اندازه‌های $2/63$ گرم بر سانتی‌متر مکعب، $0/14$ ، $7/37$ و $0/48$ دسی‌زیمنس بر متر بود.

فرسایش خاک پیوند نزدیکی دارد (پوسن و لوی ۱۹۹۴). ارزیابی و مهار فرسایش خاک به برنامه‌های مدیریتی خاص نیاز دارد و این برنامه‌های مدیریتی نیز نیازمند در نظر گرفتن اثرهای درون و برون منطقه‌ای هدررفت خاک هستند (دونته و همکاران ۲۰۰۸). پایداری خاکدانه اثر مهمی در گسترش ساختار ریشه‌ای، چرخه کربن و آب، و نیز مقاومت خاک در برابر فرسایش دارد (بارتز و همکاران ۲۰۰۸). در این راستا، نتایج سمیع و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که اثر کاربری زمین‌ها بر عامل فرسایش‌پذیری خاک^۹ معنی‌دار بود و کم‌ترین اندازه عامل فرسایش‌پذیری خاک در کاربری جنگل در مقایسه با کاربری مرتع و زراعی مشاهده شد. شاخص حساسیت ویژگی‌های خاک نشان داد که ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و شاخص پایداری ساختمان خاک در مقایسه با دیگر ویژگی‌ها به تغییر کاربری حساس‌تر بودند. خاکدانه‌ها ذرات ثانویه‌ای هستند که در اثر هم‌آوری ذرات اولیه رس، سیلت و شن به همراه مواد آلی و عامل‌های سیمانی و اتصال‌دهنده‌ها تشکیل می‌شوند (برونیک و لال ۲۰۰۵). توزیع اندازه ذرات ثانویه یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک است (اسکاگر و همکاران ۲۰۰۱)، که بر پایه نظر بارتز و همکاران (۲۰۰۸) می‌تواند شاخص مناسبی برای تشخیص حساسیت خاک در برابر تشکیل سله، تولید رواناب و فرسایش آبی باشد. شاخص‌های پایداری خاکدانه با روش الک خشک و الک تر از جمله شاخص‌ها برای ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها هستند (کمپر و روسنا ۱۹۸۶؛ اینارد و همکاران ۲۰۰۴). پایداری خاکدانه‌ها متأثر از ویژگی‌هایی مانند اندازه رس، اکسیدهای آهن، کربنات کلسیم و مواد آلی می‌باشد (بارتز و همکاران ۲۰۰۸). با توجه به اهمیت پایداری خاکدانه‌ها در مهار فرسایش خاک افزایش قطر ذرات در سطح خاک و خاکدانه سازی، یکی از راه‌های جلوگیری از حرکت و جابجایی آن‌ها به وسیله عامل‌های فرسایشی



شکل ۱- نمایی از کاربری مرتع شهرستان کجور و منطقه جمع‌آوری نمونه‌های خاک.

Figure 1- view of the pasture land use in Kojur city and the collection area of soil samples.

پایداری خاکدانه‌ها استفاده شد. بنتونیت استفاده شده از معدن بنتونیت زنجان خریداری شد. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. نمایی از ماده معدنی بنتونیت استفاده شده در این پژوهش و سطح‌های گوناگون آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

تعیین اندازه‌های ماده معدنی بنتونیت برای انجام آزمایش‌ها از ماده معدنی بنتونیت استفاده شد. این افزودنی به شکل جامد و پودری با اندازه‌های گوناگون ۳۰، ۱۵ و ۴۵٪ پوشش سطحی خاک (ایوبی و همکاران ۲۰۱۸) در سه سطح تکرار برای اندازه‌گیری

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی بنتونیت استفاده شده.

Table 1- chemical characteristics of used bentonite (percentage).

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Cl ₂ O (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Chemical properties
57.56	22.05	2.83	8.49	1.13	2.37	1.91	2.84	0.12	

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی بنتونیت استفاده شده.

Table 2- Physical characteristics of used bentonite.

Soil organic matter (%)	Mental limit (%)	pH	Inflation capacity (%)	Granulometry (mm)	Density (gr/cm ³)	Physical characteristics
1.48	410	7.4	8.27	1 to 2	1	



شکل ۲- نمایی از بنتونیت استفاده شده (راست) و کاربرد اندازه‌های گوناگون آن روی سطح خاک در فنجان‌های پاشمان (چپ).

Figure 2- A view of the used bentonite (right) and the application of its different levels on the soil surface in the splash cups (left).

اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها

در این پژوهش از شبیه‌ساز باران واسنجی‌شده با شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت استفاده شد. به این منظور، با استفاده از شاقول، مرکز صفحه آزمایش دقیقاً زیر نازل گذاشته شد و شبکه‌ای از ظروف روی صفحه آزمایش گذاشته شدند. فشار و فاصله نازل‌ها و زاویه نازل به ترتیب ۶۰ کیلوپاسکال و 45° و همچنین فاصله نازل‌ها ۷۰ سانتی‌متر برای مدت زمان ۱۰ دقیقه برآورد شد. سپس، با استفاده از رابطه بلندی بارش به سطح، شدت بارش در یک ساعت بر اساس واحد میلی‌متر بر ساعت محاسبه شد (کریستنسن ۱۹۴۱). برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌های خاک، خاک سطحی پس از شبیه‌سازی باران با ژرفای دو میلی‌متر به اندازه ۵۰ گرم از سطح فنجان‌های پاشمان جمع‌آوری شد. سپس، نمونه‌ها به آزمایشگاه فرسایش و حفاظت خاک انتقال داده شد و در آنجا با استفاده از روش الک تر، پایداری خاکدانه‌ها محاسبه شد (کای و آنگرز ۲۰۰۰؛ نیمو و پرکینز ۲۰۰۲). به منظور انجام عملیات دانه‌بندی از شش الک

با طبقه‌های قطری < 500 ، ۵۰۰-۲۵۰، ۲۵۰-۱۲۵، ۱۲۵-۱۰۰، ۱۰۰-۵۳، ۵۳-۳۸ و > 38 میکرومتر همراه با ظرف جمع‌آوری‌کننده ذرات کوچک‌تر از ۳۸ میکرومتر استفاده شد. برای دانه‌بندی نمونه‌های خاک در شرایط تر از دستگاه شیکر که در قسمت فوقانی آن به یک نازل متصل بود، استفاده شد (محبی و همکاران ۲۰۲۲). عملیات تکان دادن نمونه‌ها با شدت متوسط به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد (ملائی رنای ۲۰۱۳). پس از گذشت این مدت زمان، خاک باقی‌مانده روی هر الک به تفکیک هر تیمار و الک، با روش شستشو به داخل ظروف نشانه‌گذاری‌شده با کدهای تیمار، تکرار و الک مد نظر، تخلیه شد. سپس، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون رها شدند (غلامی و همکاران ۲۰۲۲؛ حق‌جو و همکاران ۲۰۱۹؛ محبی و همکاران ۲۰۲۲). پس از تخلیه آب اضافی نمونه‌ها، رسوب باقی‌مانده به داخل ظروف مناسب با وزن مشخص منتقل شد و به مدت ۲۴ ساعت در آن با دمای 105°C خشک شد و سرانجام به وسیله ترازو توزین شد (شکل ۳).



شکل ۳- دانه‌بندی خاک دانه‌های خاک با روش الک تر (راست) و نمونه‌های جمع‌آوری‌شده به تفکیک هر الک (سمت چپ).

Figure 3- Soil aggregates granulometry using wet sieve (right) and the collected samples separately for each sieve (left).

تحلیل آماری

در این پژوهش تمام مراحل تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS26 انجام شد. سپس، میانگین، ضریب تغییرات، انحراف معیار و درصد تغییرات پایداری خاکدانه‌ها محاسبه شد. در مرحله بعد با استفاده از آزمون آماری GLM در نرم‌افزار SPSS26 تأثیر تیمارها بر پایداری خاکدانه‌ها محاسبه شد. سرانجام از نرم‌افزار گرادینتات به منظور استخراج مؤلفه‌های دانه‌بندی (شامل میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی) و همچنین متغیرهای

D_{75}/D_{25} و $D_{75}-D_{25}$ ، D_{90}/D_{10} ، $D_{90}-D_{10}$ ، D_{90} ، D_{50} ، D_{10} استفاده شد (حق‌جو و همکاران ۲۰۱۹؛ محبی و همکاران ۲۰۲۲).

نتایج

اندازه رسوب برای الک‌ها با طبقه‌های قطری < 500 ، ۵۰۰-۲۵۰، ۲۵۰-۱۲۵، ۱۲۵-۱۰۰، ۱۰۰-۵۳، ۵۳-۳۸ و > 38 میکرومتر در تیمارهای شاهد و ماده معدنی بنتونیت در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- جرم خاکدانه (گرم) با قطرهای گوناگون در تیمارهای شاهد و ماده معدنی بنتونیت.

Table 3- Sediment mass (g) with different diameters in the control and bentonite treatments.

Aggregate diameter (micrometer)							Replication	Treatment
<38	38-53	53-100	100-125	125-250	250-500	>500		
20.55	4.79	10.2	3.47	7.27	2.06	0.86	1	Control
20.53	4.5	8.97	3.4	6.47	1.71	0.72	2	
20.01	4.56	9.43	3.24	6.73	1.87	0.88	3	
20.36	4.62	9.53	3.37	6.82	1.88	0.82		Mean
0.31	0.15	0.62	0.12	0.41	0.18	0.09		SD
0.02	0.03	0.06	0.03	0.06	0.09	0.11		CV
17.49	4.9	8.58	4.72	8.02	2.73	1.29	1	Bentonite conditioner (15% surface coverage)
18.39	3.99	11.07	4.85	8.35	2.55	1.05	2	
17.18	3.16	12.78	3.8	8.13	2.6	1.14	3	
17.68	4.02	10.81	4.46	8.17	2.63	1.16		Mean
0.63	0.87	2.11	0.57	0.17	0.1	0.12		SD
0.04	0.22	0.2	0.13	0.02	0.04	0.11		CV
-13.15	-13.04	13.37	32.28	19.66	39.64	41.85		Conservation efficiency
16.94	2.6	11.78	4.11	7.09	2.05	0.72	1	Bentonite conditioner (30% surface coverage)
19.75	4.24	9.05	4.58	8.57	2.74	0.98	2	
15.46	3.54	12.27	4.26	8.14	2.47	0.82	3	
17.38	3.46	11.03	4.32	7.93	2.42	0.84		Mean
2.18	0.82	1.73	0.24	0.76	0.35	0.13		SD
0.13	0.24	0.16	0.06	0.1	0.14	0.16		CV
-14.62	-25.13	15.73	28.2	16.27	28.63	2.36		Conservation efficiency
17.8	3.41	10.45	3.9	7.06	1.98	0.71	1	Bentonite conditioner (45% surface coverage)
18.65	3.82	8.71	2.97	6.25	1.9	0.85	2	
21.49	3.3	10.89	3.72	7.54	2.01	0.86	3	
19.31	3.51	10.01	3.53	6.95	1.96	0.81		Mean
1.94	0.28	1.16	0.49	0.65	0.06	0.08		SD
0.1	0.08	0.12	0.14	0.09	0.03	0.1		CV
-5.15	-23.99	5.05	4.8	1.84	4.49	-1.02		Conservation efficiency

۰/۸۱، ۱۱/۰۳ و ۳/۴۶ و ۱۷/۳۸ گرم و با اندازه ۰/۴۵٪، ۰/۸۱، ۱/۹۶، ۶/۹۵، ۳/۵۳، ۱۰/۰۱، ۳/۵۱ و ۱۹/۳۱ گرم بود (جدول ۳). نتایج نرم‌افزار گرادیسنت برای تیمارهای شاهد و ماده معدنی بنتونیت در اندازه‌های گوناگون در جدول ۴ نشان داده شده است. همچنین تأثیر حفاظتی این ماده معدنی با اندازه ۰/۱۵٪ در مقایسه با خاک شاهد به ترتیب ۴۱/۸۵، ۳۹/۶۴، ۱۹/۶۶، ۳۲/۲۸، ۱۳/۳۷، ۱۳/۰۴ و ۱۳/۱۵٪، با اندازه ۰/۳۰٪، ۲/۳۶، ۲۸/۶۳، ۱۶/۲۷، ۲۵/۷۳، ۱۴/۶۲٪ و با اندازه ۰/۴۵٪، ۱/۰۲، ۴/۴۹، ۱/۸۴، ۴/۸، ۵/۰۵، ۲۳/۹۹ و ۵/۱۵٪ بود.

نتایج ارزیابی میانگین قطر خاکدانه‌ها و تأثیر حفاظتی ماده معدنی بنتونیت با سه اندازه ۰/۱۵، ۰/۳۰ و ۰/۴۵٪ پوشش سطحی نشان داد که هر سه اندازه ماده معدنی باعث افزایش عملکرد حفاظتی و میانگین قطر خاکدانه‌ها شد. نتایج میانگین قطر خاکدانه‌ها بر اساس گروه الک‌ها با طبقه‌های قطری < 500 ، $500-250$ ، $250-125$ ، $125-100$ ، $100-53$ و > 38 میکرومتر نشان داد که اندازه‌های رسوب باقی‌مانده روی سری الک‌ها بعد از کاربرد ماده معدنی بنتونیت با اندازه ۰/۱۵٪ به ترتیب ۱/۱۶، ۲/۶۳، ۸/۱۷، ۴/۴۶، ۱۰/۸۱، ۴/۰۲ و ۱۷/۶۸ گرم، با اندازه ۰/۳۰٪، ۰/۸۴، ۲/۴۲، ۷/۹۳، ۴/۳۲

جدول ۴- نتایج نرم‌افزار GRADISTAT برای دانه‌بندی خاکدانه‌ها در تیمارهای شاهد و بنتونیت.

Table 4- Results of GRADISTAT software for aggregates granulometry in control and bentonite treatments.

Changes (%)	Average	Variable	Treatment	Changes (%)	Average	Variable	Treatment
2.73	23.86	D ₁₀	Bentonite conditioner (30 % surface coverage)	-	23.22	D ₁₀	Control
28.43	62.06	D ₅₀		-	48.33	D ₅₀	
8.00	219.29	D ₉₀		-	203.04	D ₉₀	
5.16	9.19	D ₉₀ / D ₁₀		-	8.74	D ₉₀ / D ₁₀	
8.69	195.43	D ₉₀ - D ₁₀		-	179.82	D ₉₀ - D ₁₀	
5.47	3.89	D ₇₅ / D ₂₅		-	3.69	D ₇₅ / D ₂₅	
14.86	89.68	D ₇₅ - D ₂₅		-	78.07	D ₇₅ - D ₂₅	
2.83	2.61	Sorting		-	2.54	Sorting	
22.12	-0.96	Skewness		-	-0.79	Skewness	
-0.30	6.86	Kurtosis		-	6.88	Kurtosis	
0.41	23.32	D ₁₀	Bentonite conditioner (45 % surface coverage)	3.34	24.00	D ₁₀	Bentonite conditioner (15% surface coverage)
10.53	53.42	D ₅₀		34.15	64.83	D ₅₀	
2.56	208.24	D ₉₀		11.73	226.86	D ₉₀	
2.15	8.93	D ₉₀ / D ₁₀		8.13	9.45	D ₉₀ / D ₁₀	
2.84	184.92	D ₉₀ - D ₁₀		12.82	202.87	D ₉₀ - D ₁₀	
2.88	3.79	D ₇₅ / D ₂₅		5.44	3.89	D ₇₅ / D ₂₅	
5.03	82.00	D ₇₅ - D ₂₅		16.65	91.07	D ₇₅ - D ₂₅	
1.24	2.57	Sorting		7.64	2.73	Sorting	
6.21	-0.84	Skewness		49.37	-1.18	Skewness	
-1.34	6.78	Kurtosis		4.93	7.22	Kurtosis	

معنی‌دار بود. همچنین اثر این افزودنی بر متغیرهای D_{50} ، D_{90} ، D_{10} ، $D_{90}-D_{10}$ ، $D_{75}-D_{25}$ و چولگی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود اما بر متغیر D_{75}/D_{25} و کشیدگی معنی‌دار نبود.

نتایج تحلیل GLM بر میانگین قطر خاکدانه‌ها بعد از کاربرد ماده معدنی بنتونیت در سطح‌های گوناگون در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج مشخص شد که اثر ماده معدنی بنتونیت بر متغیرهای D_{10} ، D_{90}/D_{10} و جورشدگی در سطح ۹۵٪

جدول ۵- نتایج آماری تأثیر افزودنی بنتونیت بر دانه‌بندی خاکدانه‌های سطحی خاک.

Table 5- Statistical results of the effect of Bentonite conditioner on the granulometry of the soil surface aggregates.

Sig.	F	Average of squares	F	Sum of squares	Dependent variable	Source of change
0.016	6.48	0.37	3	1.10	D10	Bentonite
0.005	9.46	137.37	3	412.12	D50	
0.003	11.48	368.69	3	1106.08	D90	
0.022	5.72	0.35	3	1.06	D90/D10	
0.003	10.87	347.09	3	1041.26	D90-D10	
0.088	3.12	0.04	3	0.13	D75/D25	
0.001	14.93	130.48	3	391.42	D75-D25	
0.019	6.02	0.03	3	0.08	Sorting	
0.001	14.87	0.07	3	0.21	Skewness	
0.676	0.53	0.03	3	0.08	Kurtosis	

جدول ۶- نتایج آزمون دانکن برای اثرات کاربرد بنتونیت با اندازه‌های گوناگون بر دانه‌بندی خاکدانه‌های سطحی خاک.

Table 6- Results of the Duncan test for the effects of the Bentonite application in various sizes on the granulometry of the soil surface aggregates.

Subgroup 3	Subgroup 2	Subgroup 1	Variable
---	30%, 15% (23.85, 23.88)	control, 45% (23.22, 23.32)	D 10
---	15%, 30% (61.99, 62.06)	control, 45% (48.33, 53.41)	D 50
---	30%, 15% (219.29, 227.74)	control, 45% (203.04, 208.24)	D 90
---	30%, 15% (9.19, 9.53)	control, 45%, 30% (8.74, 8.93, 9.19)	D90/D10
30%, 15% (195.43, 203.85)	45%, 35% (184.92, 195.43)	control, 45% (179.81, 184.92)	D90-D10
---	45%, 30%, 15% (3.79, 3.89, 3.96)	control, 45%, 30% (3.68, 3.79, 3.89)	D75/D25
---	30%, 15% (89.67, 92.25)	control, 45% (78.07, 82.00)	D75-D25
---	15% (2.76)	control, 45%, 30% (2.54, 2.57, 2.61)	Sorting
45%, control (-0.83, -0.78)	30%, 45% (-0.96, -0.83)	15% (-1.13)	Skewness
---	---	control, 45%, 30, 15% (6.78, 6.85, 6.87, 7.00)	Kurtosis

بحث و نتیجه‌گیری

و همکاران (۲۰۱۱، ۲۰۱۲) نشان دادند که با کاربرد پلی‌وینیل‌استات در سطح خاک، چسبندگی ذرات خاک بیشتر شد و مقاومت خاکدانه‌ها در برابر فرسایش بادی افزایش یافت. محبتی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که افزودنی کمپوست از راه افزایش پایداری و تخلخل خاک، باعث اتصال ذرات خاک شد و در نتیجه مقاومت آن‌ها را در برابر انرژی باران افزایش داد. از سوی دیگر، بامری و همکاران (۱۴۰۰) دریافتند که رس بنتونیت به‌عنوان افزودنی خاک با ایجاد چسبندگی، بخش فوقانی خاک را در مقابل عامل‌های گوناگون حفاظت کرد و به‌عنوان عایقی در جلوگیری از تغییرات ناگهانی دما و حفظ رطوبت خاک مؤثر بود و فرسایش را تا حدی مهار کرد.

رس بنتونیت به‌دلیل ویژگی‌های خاصی از جمله، شکل‌پذیری، چسبندگی و جذب آب در مهار فرسایش

در این پژوهش با توجه به عملکرد حفاظتی و میانگین وزنی- قطر خاکدانه‌های خاک بر اساس الک‌های استفاده‌شده، تأثیر ماده معدنی بنتونیت نشان داد که هر سه اندازه ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطحی افزودنی باعث عملکرد حفاظتی و افزایش میانگین قطر خاکدانه‌های خاک شد (جدول ۳). از این‌رو، با توجه به عملکرد حفاظتی مشاهده شد می‌توان بیان نمود که سطح ۱۵٪ ماده معدنی بنتونیت باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در ذرات درشت‌تر و اندازه‌های ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطح باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در ذرات ریزتر شد. زیرا، در خاکدانه‌های درشت‌تر، انرژی قطرات باران پس از برخورد با خاک بیشتر صرف متلاشی کردن خاکدانه‌های سطحی و یا جداشدن ذرات خاک از سطح می‌شود (رفاهی، ۲۰۰۷؛ ساتدراند ۱۹۹۶). موحدان

خاک مؤثر است. نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن رس بنتونیت به خاک لسی باعث کاهش قابل توجه غلظت رسوب و در نتیجه باعث کاهش فرسایش خاک به‌ویژه در خاک‌های لسی شد. بر پایه‌ی این نتایج ماده‌ی معدنی بنتونیت چسبندگی ذرات خاک را افزایش داد و موجب افزایش قطر خاکدانه‌های خاک شد. حق‌جو و همکاران (۲۰۱۹) اثر افزودنی پلی‌وینیل‌استات را بر پایداری خاکدانه‌های خاک بررسی کردند و گزارش کردند که این ماده سبب کاهش فرسایش پاشمانی خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک شد که با نتایج این پژوهش هم‌راستا است. همچنین، ایوبی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که استفاده از رس بنتونیت باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها و خاکدانه‌سازی شد که با نتایج این پژوهش هماهنگی دارد. از سوی دیگر، مورگان (۲۰۰۹) دریافت که پخش کردن کانی‌های رسی با ظرفیت زیاد تبادل کاتیونی روی سطح خاک سبب ایجاد یک لایه‌ی نسبتاً محافظ از خاک سطحی در برابر فرسایش پاشمانی شد و در نتیجه به‌طور قابل ملاحظه‌ای هدررفت خاک را کاهش داد. نتایج پژوهش خزائی و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که ماده آلی و رس خاک در ایجاد خاکدانه‌های پایدار نقش تأثیرگذاری داشت. بر این اساس می‌توان گفت با افزودن بنتونیت بر سطح خاک‌ها به‌ویژه خاک شنی، اندازه‌ی فرسایش و در نتیجه غلظت رسوب کاهش می‌یابد.

نتایج آزمون GLM نشان داد که اثر ماده‌ی معدنی بنتونیت بر متغیرهای D_{10} ، D_{90}/D_{10} و جورشدگی در سطح ۹۵٪ معنی‌دار بود. همچنین اثر این افزودنی بر متغیرهای D_{50} ، D_{90} ، D_{10} ، $D_{90}-D_{10}$ و D_{75} و چولگی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود اما بر متغیر D_{75}/D_{25} و کشیدگی معنی‌دار نبود (جدول ۵). در این راستا، مرادی و امامی (۲۰۱۷) دریافتند که اثر افزودن مواد اصلاحی بر پایداری خاکدانه‌های خاک و افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (با روش الک تر، خشک) معنی‌دار بود و سرانجام درصد نابودی خاکدانه‌ها کاهش یافت. این یافته‌ها با نتایج این پژوهش هم‌راستا است. از سوی دیگر، ایوبی و همکاران (۲۰۱۸) با کاربرد خاک‌پوش‌های پلی‌وینیل‌استات و بنتونیت گزارش کردند که این افزودنی‌ها بر شاخص پایداری خاکدانه‌ها اثر معنی‌داری داشتند و کاربرد بنتونیت باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها و خاکدانه‌سازی شد که در نتیجه باعث کاهش فرسایش خاک نیز شد. این نتایج با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است.

با بررسی نتایج آزمون دانکن مشخص شد (جدول ۶) ماده‌ی معدنی بنتونیت زیرگروه‌بندی سطح‌های ۱۵، ۳۰

و ۴۵٪ ماده‌ی معدنی بنتونیت متغیرهای D_{10} ، D_{50} ، D_{90} و $D_{75}-D_{25}$ اندازه ۴۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول و اندازه‌های ۱۵ و ۳۰٪ پوشش سطح ماده‌ی معدنی بنتونیت در زیرگروه دوم بودند. همچنین، متغیر D_{90}/D_{10} ، اندازه‌های ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول و اندازه‌های ۱۵ و ۳۰٪ پوشش سطح در زیرگروه دوم بودند. متغیر $D_{90}-D_{10}$ ، اندازه ۹۰٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول و اندازه‌های ۱۵ و ۳۰٪ پوشش سطح در زیرگروه دوم بودند. چولگی، اندازه‌های ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول و اندازه‌های ۱۵ و ۳۰٪ پوشش سطح در زیرگروه دوم بودند. جورشدگی، اندازه‌های ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول و اندازه ۱۵٪ پوشش سطح در زیرگروه اول و اندازه‌های ۱۵ و ۳۰٪ پوشش سطح در زیرگروه دوم بودند. کشیدگی، اندازه‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطح و شاهد در زیرگروه اول بودند. از این رو، می‌توان گفت که اندازه‌های ۱۵ و ۳۰٪ پوشش سطح ماده‌ی معدنی بنتونیت بر میانگین قطر خاکدانه‌ها بهترین تأثیر را داشت.

رس بنتونیت افزودنی مؤثری در حفاظت خاک است و موجب افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک می‌شود. غلامی و همکاران (۲۰۱۷ الف) نشان دادند که پلیمر پلی‌وینیل‌استات افزون بر افزایش مقاومت خاک سطحی، سبب حفاظت خاک و مهار فرسایش آبی شد. در کاربری مرتع هر سه اندازه ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ پوشش سطحی افزودنی باعث افزایش عملکرد حفاظتی و میانگین قطر خاکدانه‌ها شد. بنکوا و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی اثر ژئولیت بر پایداری خاکدانه‌ها دریافتند که میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. زیرا، ژئولیت تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر اتصال ذرات خاک برای افزایش اندازه خاکدانه‌ها داشت. در کاربری مرتع هر سه سطح افزودنی باعث افزایش عملکرد حفاظتی و میانگین قطر خاکدانه‌ها شد. در این پژوهش افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمارهای حفاظتی در مقایسه با تیمار شاهد تحت تأثیر کاربرد ماده‌ی معدنی بنتونیت مشاهده شد که در این میان اندازه ۱۵٪ پوشش سطح بر افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها بیشترین اثر را داشت. در این راستا، نتایج ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها با توجه به عملکرد حفاظتی و میانگین قطر خاکدانه‌های خاک به‌وسیله‌ی مورگان (۲۰۰۹) نشان داد که با استفاده از ماده‌ی معدنی بنتونیت قطر خاکدانه‌ها افزایش و سرانجام پایداری خاکدانه‌ها نیز افزایش یافت که با نتایج این پژوهش هماهنگی دارد. بوسلیهیم و

سمرانجام بر پایه نتایج این پژوهش می‌توان گفت که ماده معدنی بنتونیت به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک با ایجاد چسبندگی در سطح خاک، آن را در برابر قطرات باران محافظت کرده و فرسایش خاک را کاهش می‌دهد. بنتونیت به‌دلیل ویژگی‌هایی از جمله، شکل‌پذیری، چسبندگی و جذب آب در مهار فرسایش خاک مؤثر است. از این‌رو، می‌توان در مدیریت و کاهش فرسایش و ایجاد تصمیمات اجرایی از کاربرد رس بنتونیت بهره برد. هر چند انجام پژوهش‌های گسترده‌تر در عرصه‌های طبیعی، لازم و ضروری است.

همکاران (۲۰۲۱) دریافتند که مواد آلی موجود در خاک موجب افزایش میانگین قطر خاکدانه‌های خاک شدند. می‌توان گفت ماده معدنی بنتونیت با ایجاد چسبندگی در سطح خاک و افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نقش تخریبی قطرات باران را کاهش داده و به‌عنوان یک عامل حفاظتی عمل می‌کند. رس بنتونیت افزودنی مؤثری در حفاظت خاک است و موجب افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک می‌شود. از این‌رو، استفاده از بنتونیت راه‌کار مفید و مطمئنی برای افزایش پایداری خاکدانه‌ها در مراحل اولیه فرسایش آبی است که نقش مؤثری در کاهش هدررفت خاک خواهد داشت.

فهرست منابع

- Ayoubi A, Feizi Z, Mosaddeghi MR, Besalt-pour AA. 2018. Investigating the application of biochar, bentonite clay and polyvinyl acetate polymer on some mechanical properties of sand deposits. *Agricultural Engineering*, 41(2): 83-97. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/agen.2018.24749.1405>
- Bameri M, khormali F, kheirabadi H. 2021. Effect of bentonite clay and slope on sediment concentration and some hydraulic characteristics flow in the loess soil. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization*, (Scientific Journal of Agriculture): 44(2):159-174. (In Persian). -<https://doi.org/10.22055/agen.2021.30253.1499>
- Barthes BG, KouoaKouoa E, Larre-Larrouy MC, Razafimbelo TM, de Luca EF, Azontonde A, Neves CS, de Freitas PL, Feller CL. 2008. Texture and sesquioxide effects on water stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma*, 143(1-2):14-25.<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.003>
- Benkova M, Filcheva E, Raytchev T, Sokolowska Z, Hajnos M. 2005. Impact of different ameliorants on humus state in acid soil polluted with heavy metals. 46-58. In: Raytchev, T., G. Józefaciuk., Z, Sokołowska and M. Hajnos (Eds), *Physicochemical management of acid soils polluted with heavy metals*. ALF-GRAF, Lublin, Poland.
- Bouslihim Y, Rochdi A, Paaza NEA. 2021. Machine learning approaches for the prediction of soil aggregate stability. *Heliyon*, 7(3): p. e06480. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06480>
- Bronick CJ, Lal R. 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. *Soil Tillage. Research*, 81(2): 239-252. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.09.011>
- De Vente J, poesen J, Verstraeten G, Van Rompaey A, Govers G. 2008. Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. *Global and Planetary Change*, 60(34): 393-415. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.05.002>
- Gholami L, Banasik K, Sadeghi SHR, Khaledi Darvishan AV, Hejduk L. 2014. Effectiveness of straw mulch on infiltration, splash erosion, runoff and sediment in laboratory conditions. *Journal of Water and Land Development*, 22(1): 51-60. <https://doi.org/10.2478/jwld-2014-0022>
- Gholami L, Haghjoo Z, Kavian A. 2017a. Effect of polyvinyl acetate polymer on soil surface resistance variations. *Watershed Management Research*, 31(4): 84-93. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/WMEJ.2018.121533.1108>
- Gholami L, Khaledi Darvishan A, Kavian A. 2017b. Role of woodchips on runoff components control at plot scale. *Watershed Engineering and Management*, 10(3): 357-387. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/IJWMSE.2018.117342>
- Gholami L, Tafaghodi M, Abbasi M, Daroudi M, Kazemi Oskuee R. 2019. Preparation of superparamagnetic iron oxide/doxorubicin loaded chitosan nanoparticles as a promising glioblastoma theranostic tool. *Journal of Cellular Physiology*, 234(2):1547-1559. <https://doi.org/10.1002/jcp.27019>. Epub 2018 Aug 26
- Gholami L, Sadeghi SHR, Homai M. 2013. The effect of straw and rice stubble on the onset and coefficient of runoff caused by rain. *Iranian Water Research*, 8(2): 33-40. (In Persian).
- Guo L, Shen J, Li B, Li Q, Wang C, Guan Y, Tang X. 2020. Impacts of agricultural land use change on soil aggregate stability and

- physical protection of organic C. *Science of the Total Environment*, 707: 136049. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136049>
- Gyssels G, Poesen J, Bochet E, Li Y. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review. *Water-Soil-Vegetation Nexus and Climate Change*, Chapter 12. 345-372.
- Haghjoo Z, Gholami L, Kavian A, Mosavi R. 2016. Evaluation of the application time of polyvinyl acetate on soil spraying. The third national congress of development and promotion of agricultural engineering and soil science of Iran. 24 Augst 2016. Tehran, Iran. (In Persian).
- Haghjoo Z, Gholami L, Kavian A, Mosavi SR. 2019. Changes study of soil splash and stability of soil aggregates using polyvinyl acetate, 13 (47): 52-62. (In Persian).
- Herrick JE, Whitford WG, de Soyza AG, van Zee JW, Havstad KM, Seybold CA, Walton M. 2001. Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. *Catena*, 44(1): 27-35. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00173-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00173-9)
- Huang J, Wu P, Xining Z. 2013. Effects of rainfall intensity, underlying surface and slope gradient on soil infiltration under simulated rainfall experiments. *Catena*, 104(4): 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.10.013>
- Ji BY, Zhao CP, Yue WU, Wei HAN, Song JQ, Wen-bo B. 2022. Effects of different concentrations of super-absorbent polymer on soil structure and hydro-physical properties following continuous wetting and drying cycles. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(11): 3368-3381. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.065>
- Kay BD, Angers DA. 2000. Soil Structure, in: *Handbook of Soil Science*. CRC Press, E. M. Sumner, Ed., USA: F.I., Boca Raton A229-A264.
- Karimi N, Gholami L, Kavian A. 2019. Protective role of Biochar in different soil moisture for prevent soil loss in laboratory conditions. *Journal of Water and Soil Science*, 23 (3): 223-235. (In Persian).
- Kemper WD, Rosenau RC. 1986. Aggregate stability and size distribution, in: *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Klute, A., Ed. pp. 425-442.
- Khaledi Darvishan A, Sharifi Moghadam E. 2016. Effects of aggregate diameter on soil splash under laboratorial conditions. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 10(32): 33-38. (In Persian).
- Khazaei A, Mosaddeghi MR, Mahboubi AA. 2007. Structural stability assessment using wet sieving method and its relations with some intrinsic properties in 21 soil series from Hamadan Province. *Water, Soil and Plants in Agriculture*, 9(1): 171-182. (In Persian).
- Khorram Jah F. 2014. A review of bentonite types and their applications in various industries, especially the drilling industry. The first national conference of new techniques in oil industry laboratory equipment and materials. 5 October 2014, Tehran, Iran. 5pp. (In Persian).
- Mohabbati N, Gholami L, Kavian A, Shokri-an F. 2022. Effect of compost and Zeolite at various time periods on amount of soil splash. *Journal of Water and Soil Conservation*, 28(4): 207- 224. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/JWSC.2022.19579.3503>
- Mohammadian Khorasani S, Homaee M, Pazira E. 2015. Evaluating soil aggregate stability using classical methods and fractal models. *Water and soil protection*, 4(3): 39-51. (In Persian).
- Molai Renani M, Bashri H, Basiri M, Mossadeghi M. 2013. Evaluation of the stability of soil structure by sieve method in some pasture places of Isfahan Province. *Agricultural Sciences and Techniques and Natural*

- Resources, Water and Soil Sciences, 18(70): 131-121. (In Persian).
- Moradi N, Emami H. 2017. The effect of nanoparticles of Aluminum oxide and Silicon oxide on soil structural stability indices. Journal of Water and Soil Conservation, 23(5): 253-265. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/JWFST.2017.10568.2499>
- Morgan RPC. 2009. Soil erosion and conservation. 3rd edition. Publishing John Wiley and Sons. 320 p.
- Movahedan M, Abbasi N, Keramati M. 2011. Experimental investigation of polyvinyl acetate polymer application for wind erosion control of soils. Journal of Water and Soil. 25(3): 606-616. (In Persian).
- Movahedan M, Abbasi N, Keramati M. 2012. Effect study of Polyvenial Acetat on sustainability of dry aggregates. Ianian Journal of Soil Research. 27(1): 71-83. (In Persian).
- Nimmo J R, Perkins K S. 2002. Aggregate stability and size distribution, In: Dane, J.H., and Topp, G.C. (eds). Methods of Soil Analysis, Part 4- Physical Methods: Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. pp. 317-328.
- Poesen J, Lavee H. 1994. Rock fragments in top soils: Significance and processes. Catena, 23(1): 1-28. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90050-7](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90050-7)
- Samie F, Yaghmaeian N, Abrishamkesh S, Maslahatjou A. 2022. Impact of land use change on erodibility and soil quality indicators (Case study: Sidasht, Guilan Province). Agricultural Engineering, 45(1): 57-78. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/agen.2022.39858.1630>
- Skaggs TH, Arya LM, Shouse PJ, Mohanty BP. 2001. Estimating particle size distribution from limited soil texture data. Soil Science Society American Journal, 65(4): 1038-1044. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.6541038x>
- Sutherland RA, Wan Y, Ziegler AD, Lee CT, El-Swaifv SA. 1996. Splash and wash dynamics: An experimental investigation using an Oxisol. Geoderma. 69(1-2): 85-103. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(95\)00053-4](https://doi.org/10.1016/0016-7061(95)00053-4)
- Refahi HGH. 2007. Water erosion and conservation. Tehran, Tehran University Press. 671 p. (In Persian).
- Vaezi AR, Rahmati S, Bayat H. 2018. Evaluating the susceptibility of aggregate sizes to in Terrill erosion based on aggregate stability indices. Journal of Water and Soil Conservation, 25(2): 169-185. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/JWSC.2018.12419.2705>



Fars Agricultural and Natural Resources
Research and Education Center



Agricultural Research, Education
and Extension Organization

Effect of Bentonite Mineral Conditioner on Soil Surface Aggregates Stability

Zeynab Barari Shahidani¹ , Leila Gholami^{*2} , Ataollah Kavian³

1- Master Graduated, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Associate Professor and Corresponding Author, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Sari, Iran

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

Extended Abstract

Introduction and Goal

Soil is the basis of biological resources and life on the earth. Soil stability is one of the key indicators that it used to performance evaluation of soil structure against soil erosion. In fact, the aggregates stability indicates the resistance of the soil structure against external forces such as the raindrops impact and splash erosion. The raindrops energy is one of the main factors in the disintegration of soil aggregates in water erosion. The usage of different conditioners on the surface or inside soil is closely related to various processes such as surface sealing, infiltration, runoff, evaporation and finally soil erosion. Considering the importance of the aggregates stability soil erosion control, increasing the particles diameter on the soil surface can be one of the ways to prevent their movement and by erosive factors. The literatures review showed that the bentonite conditioner as a mineral conditioner can play the effective role in stability changes of aggregates, especially in degraded soils. Therefore, the purpose of present research is to the usage of bentonite conditioner on the changes of soil surface aggregates.

Article Type: Research Article

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

Citation: Barari Shahidani, Z., Gholami, L., Kavian, A. 2024. Effect of Bentonite Mineral Conditioner on Soil Surface Aggregates Stability. Watershed Management Research. 37(3):128-143.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.364343.1561

Received: 09 December 2023, **Received in revised form:** 23 January 2024, **Accepted:** 18 March 2024

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp. 128-143.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

©Author(s)



Materials and Methods

In the present research, the conditioner of bentonite mineral used in amounts of 30, 15 and 45% of soil surface coverage and in three replications. At the first, collected soil from rangeland land to depth of 20 cm transferred to laboratory and was exposed to air-dry and passed through sieve of 4-mm. Then the soil was poured into the splash cups and placed under rainfall simulator with a rainfall intensity of 90 mm h⁻¹ and a duration of 10 min. Surface soil before and after application of rainfall simulator was collected with depth of 2-mm with amount of about 50 g of the surface of splash cups and the aggregates stability was calculated using the method of wet sieve. In the method of wet sieve, the remaining soil on each sieve was drained into marked containers using washing method and then and was put to rest for 24 h. After draining the excess water of samples, the remaining sediment was transferred the appropriate containers with specific weight. Finally dried for 24 h at oven with temperature of 105°C. Finally, the application effect of the bentonite conditioner on the variables of aggregation and aggregates stability was calculated using SPSS software.

Results and Discussion

According to the conservation function and the average diameter of the soil aggregates using bentonite conditioner in three values of 15, 30 and 45 percent and based on diameter classes >500, 250-500, 125-250, 100-125, 100- 53, 38-53 and <38 micrometer, the results showed that the average diameter of soil aggregates significantly changed under the effect of bentonite conditioner. The average mass of the aggregates in the control treatment was with rates of 0.82, 1.88, 6.82, 3.37, 9.53, 4.62 and 20.36 g respectively, in the mentioned diameters, and with bentonite conditioner in the amount of 15% was with rates of 1.16, 2.63, 8.17, 4.46, 10.81, 4.02 and 17.68 g, respectively. Also, in the conditioner with the amount of 30%, this variable was the rates of 0.84, 2.42, 93. 7, 4.32, 11.03, 3.46 and 17.38 g and in the amount of 45% was the amounts of 0.81, 1.96, 6.95, 3.53, 10.01, 3.51 and 31 It was 19 g, respectively. The results of GLM test showed that the effect of bentonite conditioner on the variables D10, D10/ D90 and sorting was significant in level of 95% and on the variables D50, D90, D90- D10, D75- D25 and skewness was significant in level of 99%. But the bentonite effect was not significant on the variable D75/ D25 and kurtosis. Also, the results of Duncan test showed that the bentonite conditioner with rates of 15 and 30% had the better effects on the stability of soil aggregates and increasing the average aggregates diameter.

Conclusion and Suggestions

The obtained results from this research showed that bentonite conditioner can act as a protector against the raindrops and reducing soil erosion with creating adhesion on the soil surface. According to the results of the present research, it is suggested that the first, the more researches be conducted due to the soil conditions and natural rainfall and then the optimal values of bentonite be determined by erosion management and runoff.

Keywords: Aggregate diameter, inorganic conditioner, soil and water conservation, soil structure, wet sieve

نام‌های داورانی که در این شماره با نشریه همکاری کردند:
(به ترتیب حروف الفبا)

آقابیکگی امین، سهیلا

بیات، رضا

پاک‌پرور، مجتبی

چوین، بهرام

حق‌آبی، امیرحمزه

خالدی‌درویشان، عبدالواحد

خسروی، حسن

خلیلی، داور

دستورانی، محمد تقی

رستمی‌زاد، قباد

زارع، محمد

سلیمان‌پور، سید مسعود

صالح‌پورجم، امین

صوفی، مجید

عرفانی‌فرد، سید یوسف

قهاری، غلامرضا

کاویان، عطاالله

کله‌هویی، مهین

کوثر، سید آهنگ

مصطفی‌زاده، رئوف

ملکیان، آرش

مهدوی، سیده خدیجه

نعمت‌اللهی، محمد جواد

۱۰ (وسط چین)

واژه‌های کلیدی فارسی: ۱۱ B Nazanin

متن چکیده انگلیسی: ۱۱ Times New Roman

واژه‌های کلیدی انگلیسی: ۱۰ Times New Roman

عنوان بخش‌های مختلف مقاله: ۱۲ B Nazanin Bold

کلمه Abstract و Keywords در چکیده انگلیسی: Times

۱۱ New Roman Bold

عنوان جدول‌ها و شکل‌ها: ۱۱ B Nazanin Bold (وسط چین)

واژه‌ها و عددهای درون جدول‌ها و شکل‌ها: ۱۰ B Nazanin

منابع: ۱۰ Times New Roman

و پیشنهادهای کاربردی، سپاس‌گزاری (اختیاری)، و منابع.

چکیده

خلاصه‌ای از هدف و روش اصلی پژوهش و نتایج کلی به دست 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 واژه 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 به‌دست‌آمده و نتیجه‌گیری و جمع‌بندی یافته‌ها با تأکید بر مقایسه با پژوهش‌های مشابه، و تحلیل علمی نتایج به‌دست‌آمده و دادن پیشنهادها کاربردی.

سپاس‌گزاری

نویسنده (نویسندگان) می‌توانند (در صورت تمایل) در این قسمت از سازمان‌ها، دانشگاه‌ها، و یا افرادی که در انجام این پژوهش او (ایشان) را یاری کرده‌اند تشکر و قدردانی نمایند.

۴- شکل‌ها و جدول‌ها باید به‌ترتیبی که در متن به آن‌ها اشاره شده است شماره‌گذاری و جا داده شود. عنوان جدول‌ها در بالای آن‌ها، و عنوان شکل‌ها در زیر آن‌ها وسط چین نوشته شود. همه‌ی نوشتار روی شکل‌ها و جدول‌ها باید به فارسی باشد.

۵- همه‌ی رابطه‌های ریاضی باید در سامانه‌ی رابطه‌نویسی Word: Microsoft Equation نگاشته و به‌ترتیب شماره گذاری شود. رابطه‌های ریاضی از سوی چپ سطر نوشته و در سوی راست سطر شماره‌گذاری شود.

نمونه:

$$e=MC^2 \quad ۱$$

۶- خط چهارچوب اطراف نمودارها برداشته شود.

۷- در جدول‌ها تنها خط‌های افقی بالا و پایین ردیف اول و خط افقی پایین ردیف آخر آورده شود.

نمونه:

ردیف	سنجه‌ی الف	سنجه‌ی ب	سنجه‌ی پ
یکم	۱	۱۱	۲۱
دوم	۲	۱۲	۲۲
سوم	۳	۱۳	۲۳

۸- واژگان کلیدی فارسی و انگلیسی به ترتیب حروف الفبای فارسی و انگلیسی باشد.

۹- زیرنویس به‌کار نبرید. اگر لازم است شکل کامل واژه‌ی انگلیسی را در زیرنویس بیاورید، زیرنویس‌ها باید از آغاز تا پایان متن پیوسته (continuous) شماره زده باشد. نام نویسندگان خارجی را در زیرنویس نیاورید.

بخش‌های مقاله

به‌ترتیب: عنوان فارسی، چکیده‌ی فارسی، واژه‌های کلیدی فارسی، عنوان انگلیسی، چکیده انگلیسی، واژه‌های کلیدی انگلیسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری

منابع

همه منابع مورد استفاده باید در متن مقاله با نام نویسنده(گان)، به زبان فارسی، و با ذکر تاریخ منبع مورد استفاده، در داخل علامت دو کمان () نوشته شوند. مانند: کوثر (۲۰۱۵)، و یا تامسون و همکاران (۲۰۱۷). اگر منبع استفاده شده در پایان جمله آورده می‌شود، نام نویسنده و تاریخ باید درون دو کمان () نوشته شود. مانند: (احمدی، ۲۰۱۴)، و (برادفورد و همکاران، ۲۰۱۵).
فهرست منابع در پایان مقاله به ترتیب حروف الفبا آورده شود، و هیچ منبعی در زیرنویس آورده نشود.

ارجاع در متن:

روش این نشریه بر اساس توصیه‌های شورای ویراستاران علمی (سی‌اس‌ای)،

(<http://www.councilscienceeditors.org>)

در ویراست هفتم کتاب مرجع آنان به نام روش و قالب علمی: دستورکار سی‌اس‌ای برای نویسندگان، ویراستاران و ناشران (۲۰۰۶) و با انتخاب روش نام‌سال سی‌اس‌ای است.

۱. ارجاع به منبع را با آوردن نام(های) نویسنده(گان) و پس از آن سال انتشار نوشته انجام دهید. در هر ارجاع برای جدا کردن نام و تاریخ از دو کمان () استفاده کنید. پس از نام یک فاصله‌ی خالی بگذارید، اما ویرگول نگذارید:
تازه‌ترین پژوهش بر شدت بارندگی در این منطقه (سیپیون، ۲۰۱۵) نشان می‌دهد که ...

۲. اگر نام نویسنده بخشی از جمله است، تنها تاریخ را در دو کمان () بگذارید:

هاگیهارا و اینو (۲۰۱۴) دریافتند که ...

۳. کار انجام شده بیش از دو نویسنده: نام نویسنده‌ی اصلی، سپس عبارت "و همکاران" و بعد تاریخ را بنویسید.
(هاگیهارا و همکاران، ۲۰۱۳)

۴. بیش از دو کار انجام شده یک نویسنده: نام نویسنده و سپس تاریخ‌ها را به ترتیب زمانی بیاورید. برای جدا کردن تاریخ‌ها یک ویرگول و یک فاصله بگذارید:

وایل (۱۹۷۸، ۱۹۸۰، ۱۹۸۳) مدل‌های مختلف برآورد سیلاب را شرح داده است.

۵. بیش از دو کار انجام شده یک نویسنده در یک سال: برای تمایز میان منابع چاپ شده از یک نویسنده در یک سال از حروف الفبا (الف، ب، و مانند آن‌ها) استفاده کنید. این ترتیب را هنگام فهرست کردن آن‌ها در بخش منابع نیز حفظ کنید.
راش (۲۰۰۰الف، ۲۰۰۰ب) پذیرفت که ...

۶. کارهایی که یک سازمان به جای نویسنده منتشر کرده است: نام سازمان یا گروه را پیش از تاریخ چاپ بنویسید.
اندازه‌های دقیق مصرف آب در ایالت‌های مختلف به تازگی منتشر شده است (خدمات ملی آمار کشاورزی، ۲۰۰۰).

اگر نام این سازمان‌ها بسیار طولانی است، یا باید بارها در نوشتار به آن‌ها ارجاع دهید، می‌توانید کوتاه‌شده‌ی نام اصلی آن‌ها را بنویسید:

اندازه‌های دقیق مصرف آب در ایالت‌های مختلف به تازگی منتشر شده است (یو اس دی ای، ۲۰۰۰).

در فهرست منابع نیز نخست واژه‌ی کوتاه‌شده و سپس نام کامل را بیاورید

USDA–National Agricultural Statistics Service. 2000.

تذکرات مهم

همه‌ی منابع مورد استفاده در متن مقاله (فارسی و انگلیسی) باید با الفبای انگلیسی و با دستورکار نشریه آورده شود:

۱. پس از نام خانوادگی تنها حرف اول نام کوچک نویسنده‌ها می‌آید و این حرف‌ها با نقطه یا فاصله از هم جدا نمی‌شود. حرف اول تنها در اولین واژه‌ی عنوان مقاله با حروف بزرگ نوشته می‌شود.

۲. پس از نام نویسنده سال انتشار می‌آید. سپس یک نقطه، عنوان مقاله، نام مجله، یک نقطه، شماره‌ی مجلد نشریه، شماره‌ی انتشار در داخل دو کمان ()، یک نشانه‌ی دوقطه (:)، و صفحه‌های مقاله آورده می‌شود. برای نوشتن شماره‌ی صفحه، همه‌ی شماره‌ها را بیاورید: (۱۰۴۵–۱۰۳۷، نه ۴۵–۱۰۳۷).
برای فاصله‌ی میان دو شماره‌ی صفحه از فاصله‌ی متوسط (خطِ ان) – به جای خط تیره – استفاده کنید (نادرست: ۲۳۵–۲۵۰، درست: ۲۵۰–۲۳۵).

نمونه‌هایی از منابع ارجاع شده

مقاله انگلیسی با یک نویسنده

Rahimikhoob A. 2008. Comparative study of Hargreaves's and artificial neural network's methodologies in estimating reference evapotranspiration in a semiarid environment. *Irrigation Science*, 26(3): 253–259.

مقاله انگلیسی با دو نویسنده و بیشتر

Berengena J, Gavilan P. 2005. Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. *Irrigation and Drainage Engineering*, 131(2):147–163.

مقاله فارسی دارای چکیده‌ی انگلیسی

Naderi N, MohseniSaravi M, Malekian A, Ghasemian D. 2011. Analytical Hierarchy Process technique for deciding watersheds.

USDA–National Agricultural Statistics Service. 2000. Published estimates data base (PEDB) [Online]. Available at <http://www.nass.usda.gov/81/ipedb/> (accessed 15 May 2001; verified 24 Aug. 2001. USDA–NASS, Washington, DC. USA.

پایان نامه

Ghorbani M. 2012. The role of social networks in operation mechanisms of rangeland (Case Study: Taleghan area). Ph.D. Dissertation. Faculty of Natural Resources. Tehran University, 430 pages. (In Persian)

Journal of Environment and Development, 4(2): 41–50. (In Persian).

کتاب انگلیسی

Subramanya K. 1994. Engineering Hydrology. Tata McGraw–Hill Education.

فصلی از کتاب ویراسته

Castejon M, Romero–Munoz F, Garcia L. 1987. Phenology and control of Orobanche cernua in sunflower with glyphosate. In: Weber HC, Forstreuter W, Editors. Parasitic flowering plants. Marburg, F.R.G., pp. 121–126.

صفحه اینترنتی